

CONSTRUÍDO COMPETÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA AGRICULTURA BRASILEIRA: ARTICULANDO A POLÍTICA NACIONAL DE INOVAÇÃO COM OS INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA

Leonardo Andrade Rocha (*PPGATS/UFERSA*)

Ahmad Saeed Khan (*ECONOMIA RURAL/UFC*)

Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima (*ECONOMIA RURAL/UFC*)

RESUMO: Este trabalho analisou os impactos do fundo setorial CT-AGRONEGÓCIO e dos investimentos em infraestrutura no crescimento da produtividade agrícola dos estados brasileiros. Os resultados apontam que o efeito de cada investimento depende do grau de proximidade com a fronteira tecnológica. Isto sugere que uma política bem coordenada precisa distribuir os investimentos de forma diferenciada conforme o estágio de desenvolvimento de cada economia. Para confirmar as hipótese, foi empregado um modelo de regressão com dados em painel adotando o Método dos Momentos Generalizados, ao longo de 2000 à 2009. Foi construído um índice de proximidade com a fronteira e percebeu-se que nos estados mais afastados as necessidades de investimentos em infraestrutura são relativamente maiores em relação aos gastos de C,T&I, vice-versa. As conclusões do estudo mostram que a ausência desta compreensão pode conduzir a uma política desequilibrada com custos para a convergência.

ABSTRACT: This study examined the impacts of sector fund CT-AGRONEGÓCIO and infrastructure investments in agricultural productivity growth of Brazilian states. The results indicate that the effect of each investment depends on the degree of closeness to the technological frontier. This suggests that a well-coordinated policy must distribute investments differently according to the stage of development of each economy. To confirm the hypothesis, we used a regression model with panel data adopting the Generalized Method of Moments, during 2000 to 2009. We constructed an index of proximity to the frontier and it was observed that in the more distant states the needs of infrastructure investments are relatively higher compared to expenditures of I, C & T, vice-versa. The conclusions of this study show that the absence of this understanding can lead to an unbalanced political cost for the convergence.

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vem apresentando, nos últimos anos, importantes transformações em sua estrutura. Ao longo destas transformações, o governo vem sustentando uma ampla parcela por meio de uma política direcionada de desenvolvimento tecnológico. Esta política pode ser facilmente compreendida quando se analisa a composição do Agronegócio brasileiro (34% do PIB), distribuído entre agropecuária (30%), insumos agropecuários (6%), agroindústria (31%) e distribuição (33%) - (*GASQUES et al.*, 2004). Somando a agroindústria e a distribuição, juntas, respondem por mais de 60% de todo o agronegócio. Este destaque mostra que a articulação entre os investimentos de Ciência, tecnologia e Inovação (C,T&I) e Infraestrutura afetam significativamente o dinamismo do setor (*VIEIRA FILHO*, 2012).

Dentro desta articulação, a política de inovação na agricultura tem centrado em três importantes temáticas de oportunidades tecnológicas: segurança alimentar, matriz energética e sustentabilidade ambiental. Conforme *Vieira Filho* (2012) afirma: “*Tais temas se inserem no debate do crescimento sustentável. Assim, o fornecimento de alimentos essenciais a custos*

competitivos, a diversificação da matriz energética com a inclusão cada vez maior do uso de biomassa e a incorporação da questão ambiental na dinâmica produtiva fazem parte de uma estratégia mais ampla de crescimento com incorporação tecnológica.” (p.7)

Todas estas questões também estão sendo pautadas nas discussões sobre o futuro da agricultura no cenário mundial. Na recente *Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20)*, as preocupações acerca da dinâmica populacional e do aumento da demanda por energia, alimentos e fontes de água potáveis, têm questionado as consequências sobre as futuras pressões no uso da terra, especialmente para agricultura (UNCCD, 2012). Dentro deste debate, a pesquisa vinculada às restrições de infraestrutura, em várias economias, tem assombrado as previsões de muitos especialistas. Até 2030, espera-se que a demanda por energia, alimentos e água potável crescerão, em média, 50%, 45% e 30%, respectivamente (HIGH-LEVEL PANEL ON GLOBAL SUSTAINABILITY, 2012).

Especialmente no Brasil, as diferenças de infraestrutura e de mercado tem limitado o crescimento do país, uma vez que o processo de desenvolvimento tem-se apresentado de uma forma cada vez mais assimétrica entre os estados e as regiões. Para contornar as consequências negativas de uma política desequilibrada, a concepção interligada entre progresso técnico e estágios de desenvolvimento, tem sido cada vez mais necessária nos estudos de crescimento (ROCHA, 2011). Esta concepção vem sendo apresentada como uma característica fundamental nos novos modelos de crescimento endógeno.

Dentro desta perspectiva, os modelos de crescimento neo-schumpeterianos liderados pelas contribuições de Aghion e Howitt (1998) vêm ganhando um importante espaço devido incorporar as consequências da política no crescimento sustentável dos países. Contudo, poucos estudos nesta abordagem têm-se aventurado em aplicar as modernas técnicas da *Teoria do Controle Ótimo*, diagnosticando os efeitos de uma determinada política nas condições de longo prazo da economia. Além desta restrição, uma parcela ainda menor tem aplicado ambas as abordagens nas questões da agricultura ou mesmo a níveis agregados. Esta ‘janela de oportunidades’ de pesquisa revela que os avanços da ciência econômica estão migrando dos modelos limitados de crescimento em condições de *laissez-faire* para estruturas monopolistas, mais adequadas à realidade do ‘paradigma da tecnologia’ (AGHION E HOWITT, 2009).

Frente a estas considerações, o presente estudo buscou analisar as consequências de uma Política Nacional de Inovação (CT-AGRONEGÓCIO) e de Infraestrutura no crescimento da produtividade agrícola dos Estados, quando incorporada à análise diferentes estágios de desenvolvimento. Para isto, construiu-se um modelo de crescimento schumpeteriano abordando a problemática da agricultura e as consequências da política, a longo prazo, na demanda por recursos de pesquisa (considerando um modelo de controle ótimo). Para testar as hipóteses do modelo, foi estimada uma regressão com dados em painel adotando a metodologia GMM, ao longo dos anos de 2000 a 2009. Os resultados do estudo mostraram que as regiões menos desenvolvidas (mais afastadas da fronteira tecnológica) os investimentos de C,T&I precisam ser complementados com os investimentos em infraestrutura. Esta articulação mostra que nos estados mais afastados da fronteira, a dependência entre os investimentos é maior em decorrência aos potenciais custos de oportunidade dos recursos, ao contrário das economias mais avançadas. O trabalho está dividido em 4 partes: primeira, apresentação do modelo teórico equacionando as condições de equilíbrio (estático e dinâmico) com as armadilhas da não-convergência; segunda, descrição do modelo empírico a ser estimado; terceira, exposição das análises dos resultados e; última, as conclusões finais e as implicações para a política e para futuras pesquisas de natureza correlata.

1. MODELO TEÓRICO

Primeiramente, será considerada uma economia schumpeteriana com especialidade na agricultura, admitindo que esta venha a consumir um determinado fluxo de recursos naturais. Para cada nível consumido, o estoque final de recursos naturais esgota a uma taxa constante e não-observada. Além disto, as inovações serão consideradas como “verdes”, ou seja, elas reduzem o impacto negativo sobre o meio-ambiente. Por fim, iremos demonstrar que a demanda de longo prazo por recursos naturais na agricultura é inversamente relacionada com a taxa de inovação do setor. A seguir será apresentada a base teórica do modelo.

1.1 Ambiente Econômico

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 será considerado contínuo e os insumos intermediários contínuos entre [0,M], que por simplicidade, assumiremos M=1:

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

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”. A mão de obra alocada na produção é definida por “L”. 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 Ω tal que:

$$\Omega: R \rightarrow B \quad \therefore \forall r \in R \Rightarrow b \in B \quad (2)$$

$$A: B \rightarrow X \quad \therefore \forall b \in B \Rightarrow x \in X$$

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 - S. Neste sentido, o fluxo de recursos demandados pela agricultura reduz o estoque final à medida em que o consumo aumenta. O estoque final se acumula no tempo de acordo com a equação diferencial:

$$\dot{S}_t = -r_{it} \quad \therefore S \geq 0 \quad (4.a)$$

$$\dot{r}_{it} = -qr_{it} \quad ; q > 0 \quad (4.b)$$

A equação (4.a) mostra que o estoque final de recursos naturais reduz no tempo quanto maior for a demanda por consumo. O consumo de recursos é limitado e fiscalizado pelo governo, de forma que o mesmo se esgota no tempo de acordo com uma taxa exponencial e negativa “q” – equação (4.b). 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:

$$p_{it} \equiv \frac{\partial Y_t}{\partial x_{it}} = \alpha (A_{it}L)^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha-1} \quad (5)$$

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

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

$$x_{it} = \operatorname{argmáx}\{p_{it}x_{it} - x_{it}\} \equiv \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{it}L \quad (7)$$

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

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

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

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

A equação (10) mostra como o PIB de uma economia é acumulado ao longo do tempo, considerando as equações de equilíbrio (5) e (7). Os gastos em Pesquisa e Desenvolvimento aumentam a probabilidade do sucesso das futuras inovações de forma que pode ser expressa na seguinte equação:

$$\mu_{it} = \phi n_{it}^\lambda \quad (11)$$

Conforme a equação (11), n_{it} corresponde aos gastos em pesquisa por trabalhador, λ corresponde a elasticidade da pesquisa (que iremos supor $\lambda \in (0,1)$, obedecendo a Lei dos Rendimentos Decrescentes¹) e ϕ a produtividade da pesquisa, que por notação, admite-se ser suficientemente pequena para garantir $\mu \in (0,1)$. Caso a inovação garanta uma melhoria de produtividade, o parâmetro tecnológico avança em relação ao período defasado, conforme a restrição abaixo:

$$A_{it+1} = \begin{cases} \gamma A_{it}, & \text{com probabilidade } \mu_{it} \\ A_{it}, & \text{com probabilidade } 1 - \mu_{it} \end{cases} \quad (12)$$

Por consequência em (12), temos que o progresso tecnológico ocorre com a esperança matemática do crescimento da produtividade, obedecendo uma certa inovação incremental ($\gamma - 1$):

$$g_{it} \equiv \frac{\dot{A}_{it}}{A_{it}} = E(\gamma - 1) = \phi n_{it}^\lambda (\gamma - 1) \quad (13)$$

Além destas considerações, alguns importantes pontos ficaram de fora desta análise. Em primeiro, quais os fatores a longo prazo que afetam a demanda por recursos de pesquisa? Em segundo, como o governo pode estimular a aplicação destes recursos visando reduzir o consumo de recursos naturais e evitando, assim, um futuro desequilíbrio ambiental? Todas estas respostas serão apresentadas a seguir considerando um modelo aplicado da teoria do controle ótimo.

1.2 A Escolha Ótima do Planejador Econômico

Nesta seção, será apresentada a escolha do planejador social em função da intensidade da pesquisa e da taxa de esgotamento, considerando uma trajetória equilibrada e ótima de crescimento. Para isto, iremos considerar que os indivíduos apresentam uma função de utilidade com aversão relativa ao risco constante, ou preferências isoelásticas. Além disto, iremos supor que as preferências dos indivíduos são estritamente iguais, de forma a admitir um único indivíduo representativo na economia.

A função de utilidade é representada da seguinte forma: $u(c_t) = \frac{c_t^{1-\sigma}}{1-\sigma}$. O consumo é dado pela razão entre consumo agregado e o estoque de trabalhadores L . o PIB da economia é distribuído entre o consumo e o investimento, representado pelos gastos agregados em

¹ Esta suposição é bastante realista uma vez que a as chances de futuras inovações virem a ocorrer, em uma dada trajetória tecnológica, diminui em decorrência do esgotamento da tecnologia. Para maiores detalhes, veja Aghion e Howitt (2009).

pesquisa e desenvolvimento – P&D: $PIB_t \geq C_t + N_t$. Considerando em unidades por trabalhador, temos:

$$pib_t \geq c_t + n_t \therefore pib_t \equiv \frac{PIB_t}{L}; c_t \equiv \frac{C_t}{L}; n_t \equiv \frac{N_t}{L} \quad (14)$$

O planejador econômico busca maximizar o bem-estar da economia, representado pelo consumo descontado a uma taxa constante $-\rho$, e à restrição de acumulação tecnológica ($\dot{A}_t = \phi n_{it}^\lambda (\gamma - 1) A_t$):

$$\begin{aligned} \max_{n_t \geq 0} W[n_t, \beta_A] &\stackrel{\text{def}}{=} \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} u(c_t) dt \\ \text{s. a. } \{ \dot{A}_t &= \phi n_t^\lambda (\gamma - 1) A_t \\ pib_t &\geq c_t + n_t \\ pib_t &= \underbrace{\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} (\alpha^{-2} - 1)}_{\equiv \varphi > 0} A_t \end{aligned}$$

Para garantir uma solução única ao problema, precisamos satisfazer algumas condições básicas de otimalidade². Uma vez garantido, o problema pode ser resumido através de uma função especial, denominada Hamiltoniana de valor corrente.

$$\mathcal{H}(n_t, \beta_A) = u(c_t) + \beta_A (\phi n_t^\lambda (\gamma - 1) A_t) \quad (15)$$

A solução do hamiltoniano de valor-corrente é dada conforme as condições necessárias e suficientes de uma trajetória ótima:

$$\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, \beta_A)}{\partial n_t} = 0 \quad (16.a)$$

A equação de Euler consiste em:

$$\dot{\beta}_A = \rho \beta_A - \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, \beta_A)}{\partial A_t} \quad (16.b)$$

Com a condição de transversalidade³:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \beta_A A_t = 0 \quad (16.d)$$

Tomando a solução da primeira equação, temos:

$$\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, \beta_A)}{\partial n_t} = -u'(c_t) + \beta_A (\lambda \phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) A_t) = 0$$

A solução da equação de Euler é dada a seguir:

$$\dot{\beta}_A = \rho \beta_A - \beta_A \cdot [\varphi \lambda \phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) + \phi n_t^\lambda (\gamma - 1)], \text{ tomando } \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, \beta_A)}{\partial n_t} = 0;$$

Diferenciando a equação $\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, \beta_A)}{\partial n_t}$ com relação ao tempo⁴, temos:

$$\begin{aligned} -u''(c_t) \dot{c}_t + \dot{\beta}_A (\lambda \phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) A_t) + \beta_A (\lambda \phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) \dot{A}_t) &= 0 \\ u''(c_t) \dot{c}_t &= \underbrace{\lambda \phi n_{it}^{\lambda-1} (\gamma - 1)}_{\equiv \frac{\lambda}{n_{it}} g_{it}} [\dot{\beta}_A A_t + \dot{A}_t \beta_A] \equiv \frac{\lambda}{n_{it}} g_{it} A_{it} [\dot{\beta}_A + g_{it} \beta_A] \end{aligned}$$

Organizando a solução da equação de Euler:

²Neste problema, tanto a função de produção quanto a função de utilidade instantânea são estritamente côncavas garantindo que o hamiltoniano também seja. Isto permite a unicidade do máximo global em $W[n_t, \beta_A]$. Para demonstrações rigorosas, veja as *Condições de Suficiência de Mangasarian* em: Mangasarian (1966), Caputo (2005, p.53-55 e p.94-95) e Acemoglu (2009, p.236-239).

³Caputo (2005) sugere uma forma alternativa, mas equivalente para as condições de transversalidade: $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \beta_A [A_t - A^*] \geq 0$, onde a variável com asterisco representa o nível de estado-estacionário. Este artifício é implementado quando as condições de convergência para o estado-estacionário não estão bem definidas nas funções de controle e de dinâmica de estado.

⁴ Este procedimento de diferenciação não inviabiliza a trajetória ótima, uma vez que a condição de primeira ordem assegura um resultado para todo $t \in [0, \infty[$. Para maiores detalhes veja Caputo (2005).

$$\dot{\beta}_A = \rho\beta_A - \beta_A \cdot \left[\frac{\varphi\lambda}{n_t} g_t + g_t \right] = \beta_A \left[\rho - \frac{\varphi\lambda}{n_t} g_t - g_t \right] \leftrightarrow \frac{\dot{\beta}_A}{\beta_A} = - \left[g_t \left(\frac{\varphi\lambda}{n_t} + 1 \right) - \rho \right] \blacksquare$$

Colocando em evidência a variável co-estado na solução da equação de primeira ordem, após diferenciação com o tempo, temos:

$$u''(c_t)\dot{c}_t = \frac{\lambda}{n_t} g_t A_t \beta_A \left[\frac{\dot{\beta}_A}{\beta_A} + g_t \right]$$

A equação de primeira ordem pode ser facilmente reorganizada da seguinte forma:

$$-u'(c_t) + \beta_A (\lambda\phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) A_t) = 0 \leftrightarrow u'(c_t) = \frac{\lambda}{n_t} g_t A_t \beta_A \blacksquare$$

A condição acima pode ser aplicada na solução da equação anterior, o que garante a taxa de crescimento do consumo per capita:

$$\dot{c}_t = \frac{u'(c_t)}{u''(c_t)} \left[\frac{\dot{\beta}_A}{\beta_A} + g_t \right] \leftrightarrow \frac{\dot{c}_t}{c_t} = -\frac{1}{\sigma} \left[\frac{\dot{\beta}_A}{\beta_A} + g_t \right] \equiv \frac{1}{\sigma} \left[g_t \left(\frac{\varphi\lambda}{n_t} + 1 \right) - \rho - g_t \right] \blacksquare$$

A solução acima permite definir a condição de estado-estacionário que implica em uma taxa de consumo igual a zero. Além disso, podemos expandir a condição de transversalidade para a variável co-estado⁵ - β_A . A partir destas menções, podemos determinar as condições de longo prazo (estado-estacionário) que afetam a demanda por recursos de pesquisa. Logo, $\exists \tilde{n} \in \text{int}(W) \Rightarrow \dot{c}_t = 0$:

$$\boxed{g_t \frac{\varphi\lambda}{\tilde{n}_t} - \rho = 0 \leftrightarrow \tilde{n}_t = \left[\frac{\varphi\lambda\phi(\gamma-1)}{\rho} \right]^{\frac{1}{1-\lambda}} \blacksquare} \quad (17.A)$$

A partir desta definição apresentada, podemos refletir sobre a relação de influência do tamanho da inovação (γ) nos gastos em pesquisa a longo prazo:

$$\frac{\partial \tilde{n}_t}{\partial \gamma} = \left(\frac{1}{1-\lambda} \right) \left[\frac{\varphi\lambda\phi(\gamma-1)}{\rho} \right]^{\frac{\lambda}{1-\lambda}} \left(\frac{\varphi\lambda\phi}{\rho} \right) \geq 0 \quad (17.B)$$

Conforme a equação (17.B), quanto maior o tamanho da inovação, maior o incentivo em alocar recursos destinado à pesquisa a longo prazo. Este resultado parece tautológico, contudo não é tão simples quanto pareça. O tamanho da inovação depende de uma série de fatores que podem ou não serem resultados das decisões das firmas. Neste caso, os arranjos institucionais podem ter uma influência significativa neste aspecto. Assim, uma legislação de propriedade intelectual, vinculada a expressivos incentivos como uma Política Nacional de Inovação, podem afetar consideravelmente os esforços inovativos, alterando a taxa de esgotamento dos recursos naturais, definido por (q). Esta indagação destaca, pelo menos, algumas considerações da teoria.

Primeiramente, nas economias com elevada taxa de inovação, a tecnologia complementa o fator de maior produtividade que, neste caso, consiste na pesquisa, representada pelos gastos em P&D invadora (efeito Rybczynski). Em segundo lugar, esta complementaridade aumenta os custos de oportunidade relativos ao consumo de unidades adicionais de recursos naturais pela produção, especialmente na agricultura. Em terceiro, a longo prazo os incentivos à pesquisa, seja em decorrência dos padrões tecnológicos ou pelas pressões ambientais, alteram gradativamente a taxa de esgotamento, fazendo migrar os recursos de baixa produtividade (técnicas produtivas obsoletas baseadas na exclusiva exploração dos recursos naturais) para os fatores de elevada produtividade, à medida em que a

⁵ A condição de transversalidade é dada pela solução da equação diferencial, que determina a trajetória da variável co-estado: $\beta_A(t) = \beta_A(0) \cdot \exp \left\{ - \int_0^t \left[\phi n_t^\lambda (\gamma - 1) \left(\frac{\varphi\lambda}{n_t} + 1 \right) - \rho \right] dt \right\}$. Substituindo na equação de transversalidade e simplificando, assumindo que $\beta_A(0) > 0$, uma vez que $u'(c(0)) > 0$ e $\lambda\phi n_t^{\lambda-1} (\gamma - 1) \neq 0$ (primeira equação das condições de otimização em (19.a)), temos a seguinte modificação na condição de transversalidade, $\lim_{t \rightarrow \infty} \left[A_t \cdot \exp \left\{ - \int_0^t \left[\phi n_t^\lambda (\gamma - 1) \left(\frac{\varphi\lambda}{n_t} + 1 \right) \right] dt \right\} \right] = 0 \blacksquare$.

economia se aproxima da fronteira tecnológica. Isto mostra que o desenvolvimento de setores específicos é influenciado pelas condições globais da tecnologia. Em quarto lugar, o “efeito Rybczynski” comprova que o desenvolvimento é sensível às flutuações de proximidade com a fronteira. Ou seja, nas economias com altas taxas de inovação, o esgotamento do meio ambiente não ocorre apenas como função do consumo descoordenado dos recursos naturais, mas também, da transferência de oportunidades que a pesquisa exerce sobre os demais fatores. Resumidamente, a taxa de esgotamento reflete, além da disponibilidade dos recursos naturais, o custo de oportunidade em se consumi-los, que, especialmente, é mais elevado nas economias tecnologicamente mais desenvolvidas⁶.

Porém, estas conclusões precisam de um refino mais analítico. Isto revela que nas economias mais atrasadas, limitadas tanto em recursos para pesquisa quanto na defasagem de aprendizado e de competências tecnológicas, as barreiras são bem maiores ao desenvolvimento. As estratégias de inovação dependem em grande parte de expressivos investimentos em infraestrutura, permitindo que as firmas locais reduzam seus custos de transação e aloquem grande parte de suas receitas nas estratégias de maior lucratividade, especialmente afetadas pela política econômica. À medida em que o aprendizado e as competências vão aumentando, a distância relativa à fronteira diminui, intensificando as estratégias que demandam unidades extras de gastos em P&D para manutenção da tecnologia (GROSMAN E HELPMAN, 1994). Esta dinâmica da economia será apresentada no item a seguir.

1.3 A Dinâmica da Tecnologia

Vimos anteriormente que a demanda por recursos naturais de longo prazo é inversamente proporcional à taxa de inovação. Além disto, a política econômica afeta os incentivos direcionando o consumo de recursos naturais para as pesquisas aplicadas, por meio de investimentos estratégicos na criação de competências tecnológicas. Contudo, a tecnologia depende de uma ampla carteira de investimentos que envolvem desde recursos básicos em infraestrutura a gastos estratégicos em P&D inovadora. Neste sentido, a escolha ótima entre os recursos depende do nível de aprendizado das firmas, que é diretamente afetado pelo grau de proximidade com a fronteira.

Agora, considerando que a tecnologia é afetada por duas importantes estratégias (imitação e inovação), as instituições locais podem conduzir, por meio de uma política direcionada, avanços de melhoria na produtividade conforme o maior retorno ao crescimento:

$$A_{it} = \eta \bar{A}_{it-1} + \gamma A_{it-1} \quad (18)$$

De acordo com a equação (18) os componentes $\eta \bar{A}_{it-1}, \gamma A_{it-1}$ representam, respectivamente, os elementos de imitação e de inovação responsáveis pelo crescimento da produtividade. A fronteira tecnológica cresce a uma taxa constante \bar{g} , $\bar{A}_{it} = (1 + \bar{g})\bar{A}_{it-1}$. Dividindo por \bar{A}_{it} , integrando todos os setores e simplificando a equação (22), temos: $a_t =$

$$(1 + \bar{g})^{-1}(\eta + \gamma a_{t-1}), a_t \equiv \frac{A_t}{\bar{A}_t} \therefore A_t \int_0^1 A_{it} di \quad (19)$$

A equação (19) mostra a importância relativa da inovação para as economias aderentes à fronteira ($a_t \rightarrow 1$) e da imitação para as economias mais afastadas ($a_t \rightarrow 0$). Uma vez que os valores dos parâmetros são limitados ($\eta \in \{\underline{\eta}, \bar{\eta}\}$ e $\gamma \in \{\underline{\gamma}, \bar{\gamma}\}$) e admitindo que as instituições locais influenciem as decisões das firmas entre imitar e inovar, iremos considerar que existem dois importantes arranjos institucionais: (i) instituições promotoras da qualificação-técnica, com baixa intensidade inovadora e alta intensidade imitadora – $(\bar{\eta}, \underline{\gamma})$ e

⁶ Estas conclusões reafirmam a aplicação teórica de um modelo com degradação ambiental proposto por Acemoglu, Aghion, Bursztyn e Hemous (2012).

as; (ii) instituições promotoras da inovação, com alta intensidade inovadora e baixa intensidade imitadora – $(\underline{\eta}, \bar{\gamma})$.

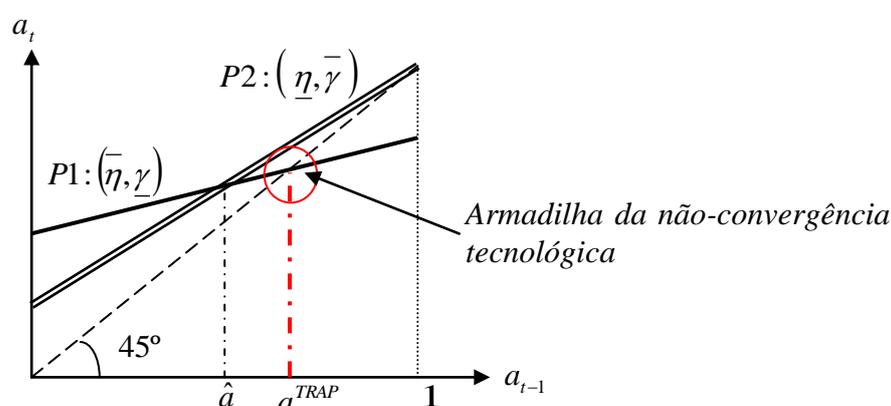
Para esboçar os dois grupos institucionais, reescrevemos a equação (19) considerando cada tipo:

$$P1: a_t = (1 + \bar{g})^{-1} (\bar{\eta} + \underline{\gamma} a_{t-1})$$

$$P2: a_t = (1 + \bar{g})^{-1} (\underline{\eta} + \bar{\gamma} a_{t-1})$$

Cada equação corresponde ao limite de possibilidades para cada conjunto de valores aos parâmetros $(\eta \in \{\underline{\eta}, \bar{\eta}\})$ e $(\gamma \in \{\underline{\gamma}, \bar{\gamma}\})$, dados valores pré-definidos e não-nulos em \bar{g} e a_{t-1} . Graficamente, podemos visualizar as curvas-fronteira em um plano- $(a_t \times a_{t-1})$ da seguinte forma:

FIGURA 1 – Relação entre os tipos de instituições e o crescimento da produtividade.



Fonte: Adaptado de Aghion e Howitt (2009).

Conforme a curva P2, a economia sempre converge para a fronteira, condição visível quando $a_t = a_{t-1} = 1$. Ao longo desta curva, a economia desfruta de grandes incentivos para inovação, mesmo nos estágios iniciais do desenvolvimento. Uma vez que os investimentos públicos são limitados, nos estágios iniciais do desenvolvimento ($a_t \rightarrow 0$), os recursos de infraestrutura, responsáveis pela criação de oportunidades tecnológicas e de redução nos custos de transação das firmas, geram uma velocidade de crescimento relativamente superior aos investimentos estratégicos de inovação. Isto ocorre porque estes investimentos complementam e reforçam os gastos de P&D inovadora nos períodos seguintes.

À medida em que a economia se aproxima da fronteira, a dinâmica tecnológica impõe restrições sobre o comportamento das firmas fazendo com que os gastos adicionais sejam alocados nas atividades inovadoras. Junto a isto, a política pode oferecer grandes subsídios por meio de financiamento para as pesquisas, legislando penalidades que incentivam as práticas inovadoras e oferecendo uma educação de qualidade que permita aos trabalhadores a aplicação do conhecimento nas atividades produtivas. Neste caso, a economia inicia sua trajetória sobre a curva P1 e permuta para curva P2 no ponto de mudança estrutural da política (\hat{a})⁷. Em sentido oposto, a economia pode gravitar em direção a uma armadilha do

⁷Segundo Lee (2000) existem 3 estágios de desenvolvimento: o estágio da imitação, o estágio da internalização e o estágio da criação.

crescimento (a^{TRAP}), onde a convergência se torna cada vez mais improvável em função do ‘paradoxo da política’⁸.

2. MODELAGEM EMPÍRICA

2.1 Definição da Amostra e Operacionalização das Variáveis

Para testar as hipóteses do modelo teórico apresentado, foram utilizados os gastos do Fundo CT-AGRONEGÓCIO considerando as 27 Unidades Federativas (26 Estados mais o Distrito Federal). O corte de tempo considerado correspondeu ao período de 2000 a 2009, conforme a disponibilidade dos dados obtidos pela Parceria IPEA/MCTI. Em seguida, foram calculados os investimentos em infraestrutura básica por meio da composição de gastos específicos em cada unidade federativa: (1) Segurança Pública; (2) Saúde; (3) Saneamento; (4) Urbanismo; (5) Habitação; (6) Energia e; (7) Transporte⁹. Estes dados foram obtidos na Coordenação-Geral das Relações e Análise Financeira dos Estados e Municípios - COREM, Secretaria do Tesouro Nacional, Ministério da Fazenda¹⁰. Para controlar os efeitos da utilização dos recursos naturais na Agricultura, aplicou-se a participação da lavoura temporária em relação à área total de cada unidade federativa, informações disponíveis no IBGE¹¹.

Para construir o indicador de produtividade na agricultura foram adotadas as variáveis: (VA) valor adicionado bruto na agricultura – obtido pelo IPEA e; (L) o número de trabalhadores empregados na agricultura – disponibilizados pelo IBGE. Os indicadores tradicionais de produtividade são construídos utilizando a simples razão entre o valor adicionado e o número de trabalhadores: $A = VA/L$. Contudo, este cálculo desconsidera a contribuição de cada Estado no cenário brasileiro, conduzindo a distorções entre os Estados de baixa representatividade. Para contornar este equívoco, foi empregada a mesma metodologia apresentada em Rocha e Silveira (2009)¹²: $A = (VA/L) * \square$ onde a variável \square representa a contribuição do valor adicionado de cada Estado em relação ao valor adicionado do País. Por fim, foi utilizado, como parte dos instrumentos, o dispêndio dos governos estaduais em ciência e tecnologia (C&T), obtidos pelo MCTI.

⁸ Caso a economia falhe em mudar de política, a economia pode ser conduzida para uma armadilha com elevados custos de oportunidade para as práticas de inovação. Isto porque, a parcela dos lucros que deveria ser remetida para as atividades de P&D inovadora passa a ser alocada para o financiamento de práticas improdutivas como a corrupção e o lobby político (AGHION E HOWITT, 2009).

⁹ Gastos em Infraestrutura = (1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)+(7).

¹⁰ Disponível no site: http://www.tesouro.fazenda.gov.br/estados_municipios/

¹¹ Esta importante variável mostra a distribuição da área total destinada ao plantio de culturas temporárias. Desta forma, o aumento da área plantada visa compreender os impactos no aumento da produtividade da agricultura levando em consideração, a disponibilidade de áreas para futuras expansões.

¹² Outra maneira de calcular a produtividade seria considerando o método do resíduo de Solow a partir de uma função de produção: $Y = K^\alpha(AL)^\alpha$. Esta técnica permitiu a construção de várias metodologias - calibragem da produtividade a partir de valores específicos em α , método DEA, análise de fronteira estocástica, etc. Contudo, em todos os métodos, importantes restrições são feitas na construção do modelo, destacando: estruturas de mercado perfeitamente competitivas, ausência de externalidades tecnológicas e da pesquisa, falta de arranjos institucionais regulatórios, inexistência de custos de oportunidade da pesquisa e dos talentos locais, dentre outras limitações. Esta restrição não se adéqua ao ‘paradigma da tecnologia’, especialmente quando consideramos a influência dos estágios de desenvolvimento na construção de trajetórias tecnológicas, *vice-versa* (AGHION E HOWITT, 2009).

2.2 Metodologia Econométrica

Para analisar os impactos dos fundos setoriais no aumento da produtividade da agricultura, aplicou-se um modelo de regressão com dados em painel relacionando o índice de produtividade com os gastos do fundo CT-AGRONEGÓCIO visando calcular a sua elasticidade parcial:

$$\ln A_{it} = \alpha + \gamma L_{it} + \mathbf{W}'_{it-1} \boldsymbol{\beta} + \mu_i + \delta_j + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad \text{ME.1}$$

Conforme a equação ME.1 as variáveis A_{it} e L_{it} representam, respectivamente, ao índice de produtividade e a proporção da área plantada da lavoura temporária em relação a área total no estado i no tempo t . O parâmetro a ser estimado γ mede o efeito da distribuição da lavoura temporária no aumento da produtividade. O vetor \mathbf{W}'_{it-1} corresponde ao conjunto de variáveis endógenas representado pelo índice de proximidade com a fronteira ($a_{it-1} \equiv A_{it-1}/\max\{A_{it-1}\}$), logaritmo dos gastos em infraestrutura ($\ln(G - \text{INFRAEST.})_{it-1}$), ao logaritmo dos gastos do fundo CT-AGRONEGÓCIO ($\ln(\text{CT} - \text{AGRO})_{it-1}$) e a variável de interação entre o indicador de proximidade com a fronteira e cada gasto ($a_{it-1} * \ln(G - \text{INFRAEST.})_{it-1}$; $a_{it-1} * \ln(\text{CT} - \text{AGRO})_{it-1}$).

Em adição ao modelo, μ_i, δ_j , representam os conjuntos de efeitos fixos relativos às características ou fatores de heterogeneidade observável entre os estados e as regiões, respectivamente, sendo necessário o controle no processo de estimação. Analogamente, τ_t , representa os efeitos de tempo que capturam choques comuns entre os estados e as regiões, mas de natureza aleatória. Por último, tem-se o termo do erro estocástico, ε_{it} , que corresponde a todos os demais fatores comuns, mas que estão de fora do controle estatístico, satisfazendo a condição: $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ para todo i e t .

A interpretação do vetor de parâmetros das variáveis endógenas, a ser estimado, deva ser feita com bastante cautela. Pela teoria econômica, tem-se que a elasticidade mede o grau de sensibilidade com que uma variável exerce sobre outra. Assim, um aumento de 1% nos gastos de um fundo específico pode contribuir ou não para um aumento relativo na produtividade da agricultura no período seguinte. Contudo, este efeito final a ser observado depende do estágio de desenvolvimento de cada estado, que é capturado pelo indicador de proximidade com a fronteira.

Assim, aplicando a metodologia tradicional para se calcular a elasticidade à presente investigação, podemos estimar o efeito relativo do fundo CT-AGRO no aumento da produtividade pela seguinte fórmula:

$$\epsilon \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln(\text{CT} - \text{AGRO})_{it-1}} = \beta_1 + \beta_2 * a_{it-1} \quad \text{ME.2}$$

Segundo a equação ME.2, a relação entre produtividade e os fundo setoriais ocorre em períodos diferentes, uma vez que os recursos aplicados na geração de novas tecnologias e conseqüentemente em um novo conhecimento, não são instantaneamente observados no crescimento da produtividade. Assim, os resultados econômicos advindos dos investimentos em P&D são, em média, capturados somente nos períodos seguintes.

Para compreensão adequada do coeficiente de elasticidade, dois importantes cenários são dados uma maior ênfase, especificamente, nos limites em que $\lim a_{it-1} \rightarrow 1$ e $\lim a_{it-1} \rightarrow 0$. No primeiro caso, estamos aprofundando a análise para o grupo de economias que se encontram na vizinhança da fronteira. No segundo, estamos abordando o grupo de economias com relativo atraso em relação à fronteira. No caso do Estado com a maior produtividade (fronteira), o efeito total da elasticidade parcial do fundo é representado por $\epsilon = \beta_1 + \beta_2$, tendo em vista que $a=1$. Assim, conforme o grau de proximidade, o efeito total

da elasticidade se altera, dando um peso maior para os Estados com estágios mais avançados de desenvolvimento¹³.

Partindo desta premissa, podemos considerar algumas possibilidades plausíveis a estimativa em ME.2:

$$\hat{\epsilon} \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln (CT-AGRO)_{it-1}} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1} > 0 \quad \text{ME.2 (a)}$$

Cenário (1): $\hat{\beta}_1 > 0; \hat{\beta}_2 > 0 \rightarrow \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Neste caso, o fundo CT-AGRO tem impactos positivos para todos os estados, de forma que os estados mais avançados e situados próximos da fronteira tecnológica o seu efeito na melhoria da produtividade é maior em relação aos Estados mais afastados. Este cenário contraria a possibilidade de convergência na amostra, uma vez que os estados mais avançados utilizam os recursos de P&D inovadora com maior eficiência em relação aos estados mais atrasados, obtendo taxas de crescimento superiores na sua produtividade.

Cenário (2): $\hat{\beta}_1 > 0; \hat{\beta}_2 < 0 \rightarrow \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Este cenário mostra uma possível convergência dentro da amostra, em decorrência dos estados mais avançados apresentarem um coeficiente de elasticidade inferior aos estados mais atrasados. Neste caso, as oportunidades tecnológicas da pesquisa tendem a apresentar padrões de dispersão do centro para a periferia, contrariando a hipótese do ‘paradigma schumpeteriano’ (AGHION E HOWITT, 1998).

Cenário (3): $\hat{\beta}_1 < 0; \hat{\beta}_2 > 0 \rightarrow -\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Este último caso, somente a partir de um determinado grau de proximidade com a fronteira ($\tilde{a}_{it-1} > \hat{\beta}_1/\hat{\beta}_2$) é que as economias venham a apresentar uma utilização mais eficiente dos recursos de pesquisa, gerando futuros aumentos na produtividade. Assim, os gastos em P&D inovadora não são auto-suficientes para garantir, de imediato, novos aumentos na produtividade.

No presente diagnóstico, as economias mais atrasadas exibem baixas oportunidades tecnológicas vinculadas a mecanismos ineficientes de apropriabilidade¹⁴. Como praticamente inexitem restrições na migração de recursos entre os estados, muitos resultados da pesquisa tendem a migrar na busca de oportunidades melhores, que em última instância, estão mais presentes nas ‘economias da fronteira’. Assim, os aspectos globais da tecnologia tendem a influenciar consideravelmente o desempenho econômico entre os estados. Para suavizar este resultado, os investimentos em infraestrutura oferecem um efeito complementar aos gastos em C,T&I, especialmente para os estados mais atrasados. Esta possibilidade mostra que os padrões de desenvolvimento são influenciados de maneira relativa e não absoluta entre as economias, de forma que os setores, estados, regiões ou mesmo países são afetados positivamente ou negativamente pela fronteira, conforme o estágio de desenvolvimento em que a economia se encontra (ROCHA, 2011).

O outro coeficiente de elasticidade corresponde ao efeito dos gastos em infraestrutura no aumento da produtividade:

$$\hat{\epsilon}' \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln (G-INFRAEST.)_{it-1}} = \hat{\beta}_3 + \hat{\beta}_4 * a_{it-1} \quad \text{ME.3}$$

Conforme ME.3, a elasticidade parcial dos gastos em infraestrutura depende dos sinais esperados das estimativas. Assim, têm-se as seguintes possibilidades:

¹³ A princípio precisamos fazer inferências sobre o sinal dos parâmetros, admitindo que, estritamente falando, $\beta_2 > 0$. Isto porque à medida em que a economia se aproxima da fronteira, os recursos necessários para execução de estratégias voltadas para a inovação vão apresentando uma importância relativamente maior, o que torna a aplicação de recursos de P&D inovadora mais eficiente em relação às economias mais atrasadas (AGHION E HOWITT, 2009).

¹⁴ Este cenário se aproxima do regime tecnológico **Mark Schumpeter I** em Malerba e Orsenigo (1996) e Malerba (2004).

Cenário (1): $\hat{\beta}_3 > 0$; $\hat{\beta}_4 > 0 \rightarrow \hat{\beta}_3 + \hat{\beta}_4 * a_{it-1}$

Neste caso, os investimentos em infraestrutura resultam em um aumento superior na produtividade das economias situadas próximas da fronteira. Isto parece pouco plausível, tendo em vista que os estados mais afastados encontram-se mais limitados em relação a sua infraestrutura local. Desta forma, unidades adicionais de recursos investidos na infraestrutura sinalizam novas oportunidades em decorrência da redução de custos consideráveis de transação (ROCHA E SILVEIRA, 2009). Para representar este ‘efeito reverso’ dos investimentos em infraestrutura, é mais provável analisar o seguinte cenário alternativo:

Cenário (2): $\hat{\beta}_3 > 0$; $\hat{\beta}_4 < 0 \rightarrow \hat{\beta}_3 - \hat{\beta}_4 * a_{it-1}$

Assim, os retornos dos investimentos em infraestrutura são maiores para as economias mais afastadas da fronteira. Ao contrário disto, nas economias mais avançadas as atividades intensivas em P&D inovadora demandam mais por recursos destinados ao avanço gradual da tecnologia em direção à fronteira ou no próprio deslocamento desta, em decorrência das novas descobertas. Assim, quanto mais a economia se aproxima da fronteira unidades extras de investimentos em P&D inovadora vão sendo mais necessários para manutenção da tecnologia, baixando os custos de oportunidade da pesquisa. Este cenário é completamente oposto para as economias mais atrasadas, uma vez que os investimentos em infraestrutura, nos estágios iniciais do desenvolvimento, complementam os futuros investimentos na pesquisa (AGHION E HOWITT, 2009).

Para estimar de forma fidedigna o efeito das elasticidades sem incorrer a interpretações tendenciosas, precisamos definir o método adequado de estimação na equação ME.1. A próxima seção discute os vários métodos e qual o mais apropriado para a metodologia vigente.

2.3 Método de Estimação

A equação ME.1 pode ser estimada por meio da abordagem tradicional de mínimos quadrados ordinários com dados agrupados – MQO *Pooled*. Esta metodologia exclui os efeitos fixos de estados, regiões e tempo no processo de estimação, tornando-os parte integrante do erro estocástico. Entretanto, caso o modelo verdadeiro inclua os efeitos fixos, a omissão pode levar a um sério erro de especificação, podendo a covariância entre os regressores e a perturbação estocástica ser estatisticamente diferente de zero¹⁵. Este provável resultado sinaliza para uma precariedade da metodologia tradicional de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) quando os efeitos fixos não estão controlados.

Nesta ordem de idéias, é mais razoável admitir a influência dos efeitos fixos nos resultados das estimativas, sendo necessária a estimação por painel com a inclusão dos efeitos. Contudo esta metodologia ainda não se encontra isenta de algumas peculiaridades. A consistência das estimativas por painel com efeitos fixos depende da covariância

¹⁵Visto de outra forma, podemos definir a covariância a partir de reformulação em ME.1: $\ln A_{it} = \alpha + \gamma L_{it} + \mathbf{W}'_{it-1} \boldsymbol{\beta} + \omega_{it} \therefore \omega_{it} \equiv \mu_i + \delta_j + \tau_t + \varepsilon_{it}$. Assim temos que $cov(L_{it}, \omega_{it}) = 0$ e $cov(\mathbf{w}'_{it-1}, \omega_{it}) = 0$, para algum j . Para garantir a consistência dos parâmetros a serem estimados, γ e $\boldsymbol{\beta}$, as condições de igualdade precisam estar satisfeitas. Contudo, sabe-se que uma parcela considerável dos fundos está vinculada a distribuição geográfica dos recursos, especificamente para as regiões Norte e Nordeste, o que contraria esta especificidade. Logo movimentos sistemáticos no erro estocástico agrupado (ω_{it}) seriam acompanhados de mudanças em alguns dos regressores \mathbf{w}'_{it-1} . Ademais, como estamos analisando os impactos de determinados gastos públicos em melhorias subseqüentes na produtividade estamos considerando que informações defasadas em alguns dos regressores \mathbf{w}'_{it-1} estão contidas em ε_{it} , conduzindo a outro problema de endogeneidade. Para contornar estes ‘malefícios’ estatísticos, é mais prudente admitir a hipótese de $cov(\mathbf{w}'_{it-1}, \omega_{it}) \neq 0$. Caso $cov(L_{it}, \omega_{it}) \neq 0$, testes estatísticos irão confirmar, por meio da sua inclusão como parte dos instrumentos (instrumentos incluídos), a violação da ortogonalidade com a perturbação estocástica, ratificando um sério erro de especificação.

estatisticamente igual a zero entre regressores e o erro estocástico, $cov(\mathbf{w}_{it-1}^j, \varepsilon_{it}) = 0$, para algum j e $cov(L_{it}, \varepsilon_{it}) = 0$.

Ao contrário desta restrição, forças de natureza geopolítica exercem uma importante influência nas decisões sobre os gastos em C,T&I. Este ‘vetor de influência’ faz com que os resultados passados dos gastos estejam correlacionados com os futuros investimentos, levando a uma covariância diferente de zero: $cov(\mathbf{w}_{it-1}^j, \varepsilon_{it}) \neq 0$, para algum j . Este padrão de influência ocorre porque à medida em que a economia se aproxima da fronteira, os recursos de P&D vão sendo mais necessários para a convergência tecnológica, criando uma significativa associação entre os investimentos entre diferentes pontos do tempo. Esta associação é mais forte para a vizinhança da fronteira e mais ‘suave’ para as economias mais afastadas, em decorrência dos diferentes custos de oportunidade com que a pesquisa se defronta (AGHION E HOWITT, 2009).

Esta violação de pressuposto faz com que a metodologia de painel com efeitos fixos seja inconsistente, levando a necessidade de uma abordagem alternativa denominada de Variáveis Instrumentais.

2.4 Variáveis Instrumentais e Método dos Momentos Generalizados

A metodologia de variáveis instrumentais tem apresentado uma maneira bastante prática na solução de problemas de endogeneidade nos modelos de regressão linear. Resumidamente, a abordagem de variáveis instrumentais supõe que exista um conjunto de variáveis, denominado de instrumentos (Z), que são bastante correlacionados com as variáveis endógenas (X), porém, não correlacionados com o erro estocástico:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad \text{VI.1}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{Z}\boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\eta} \quad \text{VI.2}$$

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

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{VI} = (\mathbf{X}'\mathbf{P}_Z\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{P}_Z\mathbf{Y}$$

onde, $\mathbf{P}_Z = \mathbf{Z}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'$ corresponde a matriz de projeção de \mathbf{Z} . Isto é numericamente equivalente a estimar VI.1 e VI.2 por mínimos quadrados em dois estágios (MQO2E). Contudo, para este método produzir estimativas não-tendenciosas dos parâmetros é preciso satisfazer as seguintes condições de validade (HSIAO, 2003): (a) ortogonalidade entre os instrumentos e a perturbação estocástica ($cov(\mathbf{z}^j, \boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{0}$, para todo j) e; (b) a correlação entre X e Z for suficientemente elevada, captada pelo $R_{X,Z}^2$ em VI.2. Isto pode ser facilmente demonstrado da seguinte forma¹⁶:

$$plim\hat{\boldsymbol{\beta}}_{VI} = \boldsymbol{\beta} + cov(\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{Z}\hat{\boldsymbol{\theta}}; \boldsymbol{\varepsilon})/var(\mathbf{X}); plim\hat{\boldsymbol{\beta}}_{MQO} = \boldsymbol{\beta} + cov(\mathbf{X}; \boldsymbol{\varepsilon})/var(\mathbf{X}) \quad \text{VI.3}$$

Em primeiro lugar, sabemos que $var(\mathbf{X}) \neq 0$, o que evidencia a tendenciosidade do estimador de MQO dependendo apenas da possível correlação entre regressores e erro estocástico. Uma vez que se admite $cov(\mathbf{X}; \boldsymbol{\varepsilon}) \neq 0$, as estimativas de MQO ficam claramente tendenciosas, trazendo a necessidade de um estimador por variáveis instrumentais. Contudo, a consistência do estimador VI depende da ortogonalidade entre os valores preditos de \mathbf{X} e o erro, $cov(\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{Z}\hat{\boldsymbol{\theta}}; \boldsymbol{\varepsilon}) = 0$.

Para testar a hipótese da $cov(\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{Z}\hat{\boldsymbol{\theta}}; \boldsymbol{\varepsilon}) = 0$, a estatística J de Hansen será útil na análise, tendo em vista que ela testa a hipótese dos instrumentos serem ortogonais ao erro estocástico. Sob a hipótese nula, os instrumentos (incluídos e excluídos) são exógenos em relação ao termo do erro da equação VI.1, portanto, a covariância entre a perturbação estocástica e os instrumentos é estatisticamente igual a zero, $H_0: cov(\mathbf{Z}; \boldsymbol{\varepsilon}) = 0$. Assim, a rejeição da hipótese nula implica que os instrumentos não satisfazem um dos critérios de validade do modelo.

¹⁶Para um detalhamento maior acerca desta metodologia, veja Bound, Jaeger e Baker (1995).

Reorganizando VI.3, podemos facilmente encontrar a importância do critério (b) de validade instrumental:

$$\frac{\text{plim}\hat{\beta}_{VI}}{\text{plim}\hat{\beta}_{MQO}} = (\text{cov}(\hat{X} = Z\hat{\theta}; \varepsilon) / \text{cov}(X; \varepsilon)) / R_{X,Z}^2 \quad \text{VI.4}$$

Em VI.4, temos que, na existência de alguma correlação entre os valores preditos de X e o erro estocástico, uma baixa associação entre os instrumentos e os regressores endógenos (captado pelo R^2 parcial entre instrumentos e regressores no primeiro passo da estimação) potencializam grandes distorções assintóticas entre o estimador $\hat{\beta}_{VI}$ e o verdadeiro parâmetro β . Isto torna o estimador de variáveis instrumentais tão inconsistente quanto o de MQO, quando a correlação entre os instrumentos e os regressores endógenos for baixa.

Para testar esta possibilidade, a estatística de Kleibergen e Paap (2006) será necessária na presente investigação. Assim, a hipótese nula será de uma covariância estatisticamente igual a zero entre os instrumentos excluídos e os regressores endógenos, implicando na rejeição da validade (b). Neste sentido, os instrumentos não são relevantes para a análise em questão, implicando uma potencial tendenciosidade das estimativas de VI.

Resumidamente, o teste de Kleibergen e Paap (2006) pode ser facilmente representado como:

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

A estatística padrão testa a hipótese do determinante da matriz Ω_{xz} ser nulo. Se o determinante de Ω_{xz} for estatisticamente igual à zero, isto implica que a covariância entre os regressores endógenos e os seus instrumentos também serão zero. Desta forma, poucas informações serão extraídas no processo de estimação entre X e Z , tornando as estimativas de variáveis instrumentais tão inconsistentes quanto MQO.

Até agora, nada se cogitou nos problemas clássicos dos modelos de regressão linear, especialmente no método de variáveis instrumentais com dados em painel: heterocedasticidade e autocorrelação serial. Na existência de ambas as violações de pressuposto estatístico, o método de VI torna-se consistente, porém, ineficiente. Desta maneira, os testes tradicionais de validade instrumental, J de Hansen e de Posto¹⁷, tornam-se inválidas e suas interpretações tendenciosas. Estes problemas podem ser resolvidos com a utilização de matrizes robustas e consistentes. Ainda assim, o estimador convencional de VI é não desejável na presença de tais problemas, especialmente quando a forma funcional da heterocedasticidade é desconhecida. Frente a isto, a abordagem usual mais apropriada nestas circunstâncias corresponde à metodologia desenvolvida por Hansen (1982), denominada "*Método dos Momentos Generalizados*" ou GMM¹⁸.

Especialmente na presença de heterocedasticidade, o método GMM apresenta estimativas mais eficientes em relação aos tradicionais estimadores de VI. Contudo, o estimador padrão de VI é um caso especial de GMM. Sob o pressuposto de que os instrumentos são exógenos e podem ser expressos como $E(Z \cdot \varepsilon) = 0$, têm-se L condições de momentos referentes aos instrumentos excluídos:

$$g_i(\hat{\beta}) = z_i' \varepsilon_i = z_i'(y_i - x_i \hat{\beta}) \quad , \quad \text{GMM.1}$$

¹⁷O teste tradicional de correlação canônica de Anderson (1984) não é robusto quanto à heterocedasticidade e autocorrelação, resultando interpretações tendenciosas. Mais a frente será apresentado um procedimento de estimação robusto quanto às violações de pressuposto estatístico. Para isto, será adotada a estatística de posto de Kleibergen e Paap (2006).

¹⁸Em inglês *Generalized Method of Moments* - GMM. Para maiores detalhes sobre este tema, ver Hayashi (2000) e Baum, Schaffer e Stillman (2003).

onde g_i é um vetor ($L \times 1$). As condições de ortogonalidade dos instrumentos implica que existam L condições de momentos, que serão satisfeitas para o verdadeiro valor do parâmetro, $E(g_i(\beta)) = 0$. Cada uma das L equações de momento correspondem a L momentos amostrais que são representados por:

$$\bar{g}(\hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i(\hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i' (y_i - x_i \hat{\beta}); n = N * T \quad \text{GMM.2}$$

A metodologia GMM implica em encontrar um estimador para β que resolva o problema $\bar{g}(\hat{\beta}) = 0$. Porém, para a solução ser facilmente encontrada, precisamos analisar o número de incógnitas e equações no sistema. Se a equação a ser estimada for exatamente identificada, tem-se que o número de instrumentos L é igual ao número de equações no primeiro estágio K ($L = K$), que corresponde ao número de regressores. Neste caso, o sistema é perfeitamente solucionado e o estimador GMM se iguala ao tradicional de VI.

Outra possibilidade consiste no número de instrumentos ser superior ao número de regressores, gerando um sistema sobre-identificado ($L > K$). Neste caso, não será possível encontrar $\hat{\beta}$ que solucione o problema, uma vez que os momentos amostrais superam as equações do sistema. Nesta situação, precisamos definir uma ‘Matriz de Ponderação’ – W ($L \times L$) – para criar uma forma quadrática nas condições de momento. Esta nova formulação gera a função-objetivo da abordagem GMM:

$$J(\hat{\beta}) = n \bar{g}(\hat{\beta})' W \bar{g}(\hat{\beta}) \quad \text{GMM.3}$$

O estimador GMM corresponde à solução do problema de minimização $\hat{\beta} = \text{argmin}\{J(\hat{\beta})\}$. A maior vantagem do estimador GMM consiste na sua robustez na presença de heterocedasticidade e autocorrelação. Assim, o estimador é mais eficiente, preservando as propriedades de consistência assintótica em relação ao tradicional VI. Neste conjunto de informações, esta metodologia tem sido aplicada em diversos estudos de crescimento (DURLAUF, JOHNSON E TEMPLE, 2005). Além disto, esta metodologia apresenta uma capacidade superior ao tradicional VI, especialmente na análise de variáveis com restrições de estacionariedade, que é comum nos modelos de painel (BOND, HOEFFLER E TEMPLE, 2001).

Todas estas vantagens não isentam a metodologia GMM de alguns cuidados. É preciso destacar que, as mesmas fragilidades do método VI também estão susceptíveis à abordagem GMM. Estas restrições correspondem às condições de validade dos instrumentos, especialmente na relevância destes. Na utilização de instrumentos com ‘fraca’ correlação com as variáveis endógenas podem induzir a um sério viés nas estimativas dos parâmetros. Desta maneira, o estimador GMM perde propriedades de consistência assintótica da mesma forma que o estimador de VI (BOND, HOEFFLER E TEMPLE, 2001). Portanto, os testes de validade instrumental (exogeneidade – teste J de Hansen – e relevância – teste de posto de Kleibergen e Paap (2006)) serão necessários para evitar estimativas tendenciosas dos parâmetros.

Além dos referidos testes, uma importante estatística corresponde ao teste RESET de Ramsey adaptado para o método GMM. Na versão tradicional de Ramsey (1969), se o modelo de regressão proposto está corretamente especificado¹⁹, a adição de qualquer função não-linear dos valores preditos da variável dependente deve ter uma influência irrelevante sobre esta, com a hipótese nula dos parâmetros estimados (dos polinômios preditos) serem estatisticamente iguais a zero. Na rejeição da hipótese nula, efeitos não-lineares, causados por

¹⁹ Além dos regressores serem ortogonais à perturbação estocástica, logo no caso em questão, $cov(w_{it-1}^j, \varepsilon_{it}) = 0$ para algum j, o que é inviável considerando as restrições do modelo. A equação na forma $y = X\beta + Y\gamma + \varepsilon$ é estimada por mínimos quadrados ordinários, onde o vetor Y corresponde a potência dos valores preditos de \hat{y} .

diversos fatores²⁰, exercem influência significativa na variável dependente, de forma que a equação não se encontra corretamente especificada. A falha ao rejeitar a hipótese nula implica que os “resquícios” de efeitos não-lineares não afetam a especificação do modelo, de forma que este encontra-se adequadamente bem formulado. O maior problema deste teste no método de VI e GMM corresponde a restrição de que os valores preditos da variável dependente $\hat{y} \equiv W'_{it-1}\hat{\beta}$ incluem regressores endógenos que são correlacionados com a perturbação estocástica. Ao invés da metodologia tradicional de Ramey (1969), iremos considerar os “forecast values” da variável independente tomando os instrumentos (incluídos e excluídos) como fator de predição: $\hat{y} \equiv Z'\hat{\beta}$.

Para se calcular a estatística de teste, duas metodologias são mais apropriadas: (1) a abordagem de Pagan e Hall (1983) e; (2) o método de Pesaran e Taylor (1999). A principal diferença entre as duas estatísticas consiste no modo com que os instrumentos são aplicados na forma funcional do teste²¹. Quando a equação é sobre-identificada, no caso do presente modelo, o teste de Pesaran e Taylor (1999) se apresenta mais adequado uma vez que os valores previstos de \hat{y} são transformados em “valores ótimos de previsão”²².

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 1 apresenta as estimativas do modelo empírico conforme o método GMM com efeitos fixos. No primeiro modelo (I), foi calculada a elasticidade dos investimentos do fundo CT-AGRO na produtividade da agricultura. Segundo os resultados, o indicador de elasticidade interagido com o coeficiente de proximidade com a fronteira apresentou-se positivo e significativo (1%). Isto sugere, *coeteris paribus*, que o aumento nos gastos do fundo tem resultados positivos, porém com intensidades diferentes, no crescimento da produtividade dos estados. Para os estados com 80% de proximidade com a fronteira, um aumento de 1% no fundo gera um crescimento de 0,32% em média na produtividade. Considerando os estados mais afastados, com aproximadamente 30% de proximidade a elasticidade cai para 0,12% (isto considerando apenas o coeficiente de interação, tendo em vista que o coeficiente isolado não apresentou significância estatística). Mesmo excluindo as demais variáveis da estimação, o teste RESET não rejeitou a hipótese nula de especificação adequada do modelo. No conjunto de testes de validade instrumental²³, o teste de posto rejeita a hipótese de covariância nula entre instrumentos e regressores endógenos (são relevantes),

²⁰ Os erros de especificação podem ter diversas origens, tais como: a omissão de variáveis relevantes, forma funcional incorreta, erros de mensuração nos regressores, causalidade reversa, inclusão de valores defasados da variável dependente quando os resíduos têm correlação serial, dentre outros fatores.

²¹ Conforme o teste de Pagan e Hall (1983), no modelo tradicional de regressão linear, (a) $y = X\beta + u$, o componente do erro inclui os instrumentos que são correlacionados com os regressores endógenos, $u = Z\gamma + \varepsilon$. Assim, os valores preditos da variável dependente são obtidos através da reformulação (b) $y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon \rightarrow \hat{y} \equiv X\hat{\beta} + Z\hat{\gamma}$. Se em (a) for corretamente especificado, logo γ é estatisticamente igual à zero.

²² No caso da estatística de Pesaran e Taylor (1999), a “previsão ótima” do preditor \hat{y} é definida como $\hat{y} \equiv \hat{X}\hat{\beta}$, onde $\hat{\beta}$ é obtido pelo método GMM e $\hat{X} \equiv [Z\hat{\theta}, Z_2]$, ou seja, a forma reduzida dos valores preditos dos regressores endógenos mais os regressores exógenos (instrumentos excluídos). Se a equação for exatamente identificada, os testes serão idênticos.

²³ Como candidatos a instrumentos, teríamos o número de projetos aprovados em cada estado por fundo distribuído. Contudo não seriam bons (baixa correlação), no sentido que muitos projetos apresentam cronogramas de execução diferentes entre si, de forma que a distribuição dos recursos não é explicada pelo número total de projetos. Poucos projetos absorvem grande parte dos recursos e vice-versa. Para contornar este efeito, optou-se pelo valor com dupla defasagem dos valores uma vez que muitos estados, especialmente as regiões norte e nordeste, os recursos possuem limitações orçamentárias previamente definidas, como cota mínima de proporção para estas regiões. Neste sentido, sabe-se que estas cotas mínimas ocorrem como forma de compensar as diferenças entre as regiões, o que novamente demanda como instrumento, o coeficiente de proximidade com a fronteira com dupla defasagem.

além de não rejeitar a hipótese de ortogonalidade entre os instrumentos e a perturbação estocástica (instrumentos válidos e devidamente excluídos).

A proporção da área cultivada com lavoura temporária tem um efeito negativo no crescimento da produtividade, tendo em vista que esta técnica não representa ganhos, em termos de aumento do valor adicionado na produção (significante a 5%). Estes resultados são semelhantes com o modelo (V), ressaltando que somente os estados situados acima de 62% de proximidade com a fronteira apresentam elasticidade positiva (cenário 3), dentre eles, os estados das Regiões Sudeste, Centro-Oeste (Mato-Grosso) e Sul. O teste RESET não rejeita a hipótese nula de o modelo estar bem especificado (p -valor = 0,1946). Novamente os instrumentos apresentaram boa validade – estatisticamente relevantes e não correlacionados com a perturbação estocástica.

TABELA 1 – Resultados do modelo empírico segundo os métodos de estimação.

	Variável Dependente: $\text{Log}(\text{Produtividade da Agricultura})_{it}$								
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)	(IX)
	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos
a^{AGR}_{it-1}	-	20,751**	-	28,3154*	-	33,500*	-	39,517**	3,639*
		9,0014		8,5598		7,6833		19,3058	0,915
$[a^{\text{AGR}*} \log(\text{G-INFRAEST.})]_{it-1}$	-	-0,78007*	-	-1,1172*	-	-1,3142*	-	-1,5886***	-
		0,39899		0,1415		0,11841		0,8542	
$\log(\text{G-INFRAEST.})_{it-1}$	-	0,31252**	-	0,4999*	-	0,5615*	0,7178**	-	0,5344***
		0,13765		0,3806		0,3415	0,3179		0,3116
$[a^{\text{AGR}*} \log(\text{CT-AGRO})]_{it-1}$	0,40219*	-	0,3294*	-	0,3296*	-	0,2259*	-	-
	0,0687		0,0422		0,051		0,05026		
$\log(\text{CT-AGRO})_{it-1}$	0,10206	-	-	-	-0,2036***	-	-0,5805**	0,406	-0,2581
	0,19187				0,1238		0,2357	0,2679	0,2493
L_{it}	-5,3440**	-	-3,7795*	-	-2,6599	-	-	-	-3,2718*
	2,6223		1,2466		1,7341				1,1152
- Efeitos Fixos									
---- Região	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
---- Estado	não	não	não	sim	não	não	não	não	não
---- Ano	não	não	sim						
- Teste RESET de Ramsey/Pesaran-Taylor ^(a)									
---- P-Valor (Qui^2)	0,1628	0,2521	0,2191	0,1896	0,1946	0,0254	0,4874	0,7682	0,3063
- Teste de Posto [Multiplicador Lagrangeano de Kleibergen e Paap (2006)]									
---- P-Valor (Qui^2)	0,0052	0,0026	0,0014	0,0003	0,0035	0,0000	0,0049	0,0032	0,0049
- Estatística F									
---- F	36,7300	76,9300	31,3000	48,4700	22,2400	29,1800	28,9000	21,7900	30,6900
---- P-Valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
- Estatística J de Hansen									
---- P-Valor (Qui^2)	0,5157	0,8258	0,1682	0,3441	0,1291	0,4746	0,4136	0,7922	0,3858

Nota: As estimativas de erro-padrão estão destacadas em negrito e itálico. Testes de autocorrelação e heterocedasticidade confirmaram a presença, fazendo necessário o recálculo da matriz de covariância dando robustez quanto às violações de pressuposto estatístico. Os asteriscos *, **, *** correspondem, respectivamente, aos parâmetros significativos aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os instrumentos utilizados na estimação dos painéis consistiram nas variáveis endógenas com segunda defasagem ($t-2$) e na proporção dos gastos estaduais em C&T com relação à receita com dupla defasagem ($t-2$). ^(a) O teste de especificação linear de Ramsey/Pesaran-Taylor é robusto quanto a existência de heterocedasticidade e autocorrelação serial. Para isto, a estatística de teste foi recalculada a partir do método GMM com matriz de covariância robusta.

Analisando o modelo (II), temos uma inversão de interpretações ao se comparar com os impactos do fundo CT-AGRO no crescimento da produtividade. Comparando a estimativa de interação ($[a^{AGR*} \log(G-INFRAEST.)]_{it-1}$), o efeito aumentador dos gastos em infraestrutura na produtividade é maior para os estados mais afastados da fronteira. Avaliando o resultado total da elasticidade dos gastos tem-se que os estados situados abaixo de 40% de proximidade (regiões norte e nordeste), o efeito aumentador da produtividade é visível em relação aos estados com maior proximidade. Para os estados com 30% de proximidade com a fronteira, 1% de aumento nos gastos em infraestrutura geram um crescimento de 0,08% na produtividade agrícola, enquanto que o mesmo aumento para os estados com 20% de proximidade o crescimento salta para 0,16%, uma variação bastante expressiva considerando diferentes estágios de desenvolvimento.

Confrontando estes resultados com os efeitos do fundo CT-AGRO tem-se a importante conclusão: os recursos estratégicos destinados à formação de competências tecnológicas, como os investimentos em C,T&I, precisam ser complementados com recursos em infraestrutura, especialmente para as economias mais afastadas da fronteira ou nos estágios iniciais do desenvolvimento. A ausência desta compreensão pode desencadear uma distribuição de recursos ineficientes conduzindo a um precário crescimento da economia.

Comparando o modelo os modelos (II) e (IV), percebe-se uma diferença entre os parâmetros de interação (-0,78007 contra -1,1172), garantido um efeito positivo dos gastos em infraestrutura para as economias com 44% de proximidade com a fronteira (contra 40% no modelo (II)). Esta diferença pode ser explicada pela inclusão dos efeitos fixos de estado e ano. Mesmo assim, ambos os modelos falharam em rejeitar a hipótese nula de um modelo bem especificado (p-valor = 0,2521 em (II) contra p-valor = 0,1896 em (IV)). No teste de posto, ambos os modelos rejeitaram a hipótese dos instrumentos serem redundantes (p-valor = 0,0026 em (II) contra p-valor = 0,0003 em (IV)).

Com relação ao teste de exogeneidade dos instrumentos, os dois modelos falharam em rejeitar a hipótese nula, sugerindo que, em ambos os casos, os instrumentos eram estatisticamente relevantes e devidamente excluídos do modelo principal.

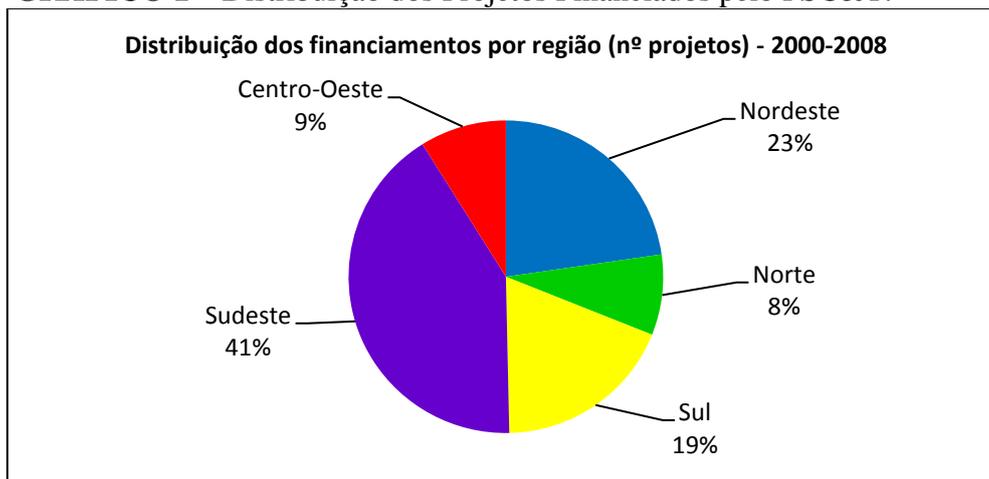
Com base nos dois últimos testes, pode-se concluir que os instrumentos satisfazem os critérios de relevância, apresentando-os como bons candidatos ao presente método. Em todas os modelos estimados que incluíam a proporção da lavoura temporária em relação a área total de cada estado, apresentou um efeito negativo no crescimento da produtividade (significante nos modelos (I)-5%, (II)-1% e (IX)-1%).

Considerando as estimativas da variável proximidade com a fronteira (a^{AGR}_{it-1}), em todos os modelos, apresentou sinal positivo e significativo a 1% (modelos (IV), (V) e (IX)) e 5% (modelos (II) e (VIII)). Este resultado sugere rejeitar a possibilidade de convergência, uma vez que, à medida em que a produtividade se aproxima da fronteira, maior a contribuição para um novo crescimento da produtividade no período seguinte²⁴. Desta forma, as economias situadas na vizinhança da fronteira apresentam taxas de inovação e de crescimento na produtividade superior às economias mais atrasadas, uma vez que estes estados absorvem com maior eficiência os resultados da pesquisa.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição dos projetos financiados ao longo de 2000 a 2008 por região:

²⁴ Este fato confirma os resultados apresentados no estudo proposto por Aghion, Alesina e Trebbi (2008) e Wu (2010).

GRÁFICO 1 – Distribuição dos Projetos Financiados pelo FSC&T.

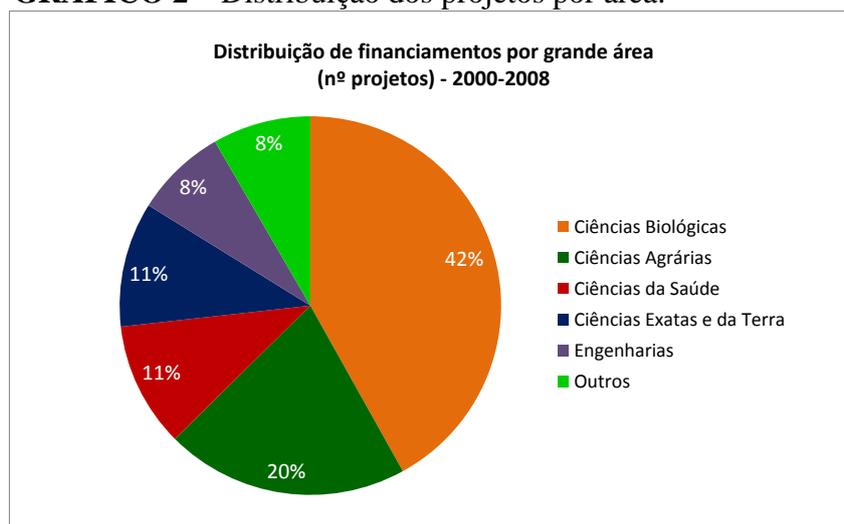


Fonte: Parceria MCT/IPEA, 2009.

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 infraestrutura 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)²⁵.

GRÁFICO 2 – Distribuição dos projetos por área.



Fonte: Parceria MCT/IPEA, 2009.

De acordo com o gráfico 2, as áreas das ciências biológicas seguidas das ciências agrárias respondem por mais de 60% dos projetos financiados pelos fundos setoriais. Esta

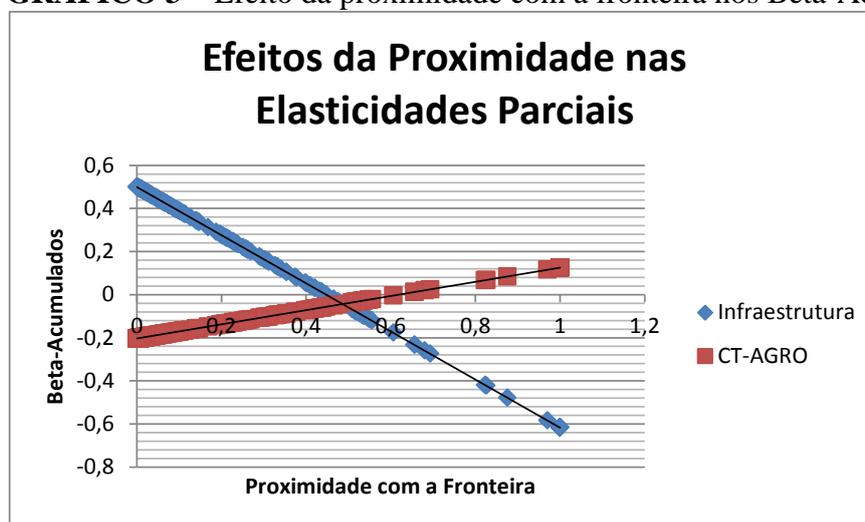
²⁵Veja: www.mct.gov.br

expressiva distribuição mostra que os avanços da política de Ciência, Tecnologia e Inovação vem dando uma atenção especial à agricultura brasileira. Assim, esta articulação entre Governo, empresas e institutos de pesquisa corresponde a um dos principais arranjos responsáveis não apenas pelo desenvolvimento sustentável do setor, mas também, na garantia de uma convergência equilibrada em direção às melhores práticas (fronteira tecnológica).

É importante ressaltar que a organização da atividade agrícola envolve um amplo conjunto de atividades que engloba desde um setor fornecedor, uma unidade produtiva à um sofisticado sistema de distribuição da cadeia produtiva. Assim, o segmento fornecedor de insumos tecnológicos responde pelas inovações mecânicas (máquinas, implementos, equipamentos de irrigação), químicas (fertilizantes e defensivos) e biológicas (sementes, micro-organismos, controle biológico, melhoramento genético, transgênicos), que são afetados pelos resultados de muitas pesquisas, especialmente pelos recursos do fundo CT-AGRO (VIEIRA FILHO, 2012).

Contudo, outro importante segmento corresponde ao da distribuição que é afetado diretamente pelos investimentos em infraestrutura. Em especial, a logística, a comercialização, o transporte e a armazenagem, dependem especialmente dos investimentos em infraestrutura básica. Uma infraestrutura bem definida reduz a distância entre as regiões, integrando o mercado doméstico e conectando a baixo custo com o mercado em outros países e regiões²⁶. Porém, esta eficiência depende de um planejamento coordenado que reduza as assimetrias de investimentos dentro do país. Na presença de grandes distorções entre as regiões, a capacidade de integração entre os mercados passa a ser deficitária, canalizando incentivos para as regiões menos desprovidas. Esta descoordenação de capacidade instalada aumenta os custos de desenvolvimento para as economias mais atrasadas. O gráfico abaixo mostra o efeito final das elasticidades para cada tipo de investimento conforme o estágio de desenvolvimento da economia (proximidade com a fronteira).

GRÁFICO 3 – Efeito da proximidade com a fronteira nos Beta-Acumulados.



Fonte: Elaboração própria. Simulação a partir dos resultados do modelo econométrico.

Conforme o gráfico 3, o efeito de ‘aproximação com a fronteira’ vai reduzindo o retorno dos investimentos em infraestrutura em decorrência da importância relativa da pesquisa no aumento da produtividade. Desta forma, à medida em que a economia reduz o

²⁶SALA-I-MARTIN, X. (2011) “**The Global Competitiveness Index**”. The Global Competitiveness Report 2011–2012. World Economic Forum, Geneva: Switzerland.

‘gap tecnológico’, os gastos em P&D inovadora são mais responsáveis pelo aumento da produtividade, que é visto no ponto crítico de interseção entre as curvas. O retorno de determinados investimentos são transferidos para outros mais responsáveis pela manutenção, geração e aplicação do conhecimento no crescimento da produtividade. Esta dinâmica de oportunidades entre os investimentos é a principal característica do ‘paradigma schumpeteriano’.

Para analisar o desenvolvimento entre os estados e as regiões é preciso compreender como as diferenças afetam o desempenho entre as economias. Este processo endógeno do progresso tecnológico é a principal característica da ‘faceta do capitalismo’.

4. CONCLUSÕES E AS IMPLICAÇÕES PARA A POLÍTICA

A presente investigação analisou os impactos dos investimentos em infraestrutura e dos fundos setoriais de ciência e tecnologia (CT-AGRONEGÓCIO) no crescimento da produtividade da agricultura entre os estados, conforme o estágio de desenvolvimento de cada economia. Para confirmar as hipóteses do modelo teórico, construiu-se um modelo econométrico baseado na metodologia de estimação conhecida como Método dos Momentos Generalizados – GMM, devido ao potencial grau de endogeneidade entre os regressores. Os instrumentos adotados atenderam aos critérios de validade instrumental, permitindo uma boa qualidade assintótica dos parâmetros estimados. As estimativas do modelo revelaram que, nos estados situados próximos da fronteira tecnológica, os investimentos do fundo CT-AGRO são responsáveis por um maior crescimento da produtividade em relação aos estados mais ‘atrasados’. Em direção oposta, os investimentos em infraestrutura são relativamente mais importantes no aumento da produtividade para os estados mais afastados da fronteira. Este comportamento mostra que os investimentos apresentam padrões de complementaridade, garantindo uma convergência entre os estados quando o planejamento estatal incorpora a influência dos diferentes estágios de desenvolvimento na alocação adequada entre os recursos. Frente à limitação orçamentária do governo, a demanda por recursos nas economias mais afastadas é consideravelmente mais crítica devido às barreiras impostas por um desenvolvimento assimétrico.

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 da 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* ou pela distorção de uma determinada política. Este efeito, que é característico do padrão tecnológico **Mark Schumpeter II**²⁷, 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 cuja tecnologia molda o desenvolvimento e *vice-versa*. Esta compreensão é fundamental para entender como o desenvolvimento ocorre e se projeta dentro da agricultura brasileira.

²⁷ Para maiores detalhes sobre os regimes tecnológicos, ver Malerba (2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEMOGLU, D. (2009). Introduction to Modern Economic Growth. UK: Princeton University Press.
- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURSZTYN, B.; HEMOUS, D. (2012) The Environmental and Directed Technical Change. *American Economic Review*, 102(1): pp.131-166.
- AGHION, P. ; HOWITT, P. (1998) Endogenous Growth Theory. Cambridge, MA: MIT Press.
- AGHION, P. ; HOWITT, P. (2009) The Economics of Growth. Cambridge, MA: MIT 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.
- ANDERSON, T.W. (1984) Introduction to Multivariate Statistical Analysis. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- BAUM, C.F., SCHAFFER, M.E.; STILLMAN, S. (2003) Instrumental variables and GMM: Estimation and testing. *Stata Journal* 3: 1–31.
- BOND, S.; HOEFFLER, A.; TEMPLE, J. (2001). "GMM Estimation of Empirical Growth Models". University of Oxford, Institute for Fiscal Studies.
- BOUND, J.; JAEGER, D.A.; BAKER, R.M. (1995) Problems with Instrumental Variables Estimation When the Correlation Between the Instruments and the Endogenous Explanatory Variable is Weak. *Journal of the American Statistical Association* Vol. 90, No. 430 (Jun., 1995), pp. 443-450.
- CAPUTO, M.R. (2005) Foundations of dynamic economic analysis, New York, NY: Cambridge University Press.
- DOSI, G.; MARENGO, 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.
- GASQUES, J.G. *et al.* (2004) Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil. Brasília: Ipea (TextoparaDiscussão, n. 1.009), 39 p.
- GROSSMAN, G.M. ; HELPMAN, E. (1994) Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8, No. 1, pp. 23-44.
- HANSEN, L.P. (1982) "Large sample properties of generalized method moments estimators". *Econometrica* 50, pp.1029–1054.
- HAYASHI, F. (2000) *Econometrics*. Princeton: Princeton University Press.
- HIGH-LEVEL PANEL ON GLOBAL SUSTAINABILITY (2012). Resilient people, resilient planet: A future worth choosing, Overview. New York: United Nations.
- 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.
- LEE, W.-Y. (2000) "The Role of Science and Technology Policy in Korea's Industrial Development." In: KIM, L.; NELSON, R.R. *Technology Learning and Innovation: Experiences of Newly Industrializing Economies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MALERBA, F. (2004) *Sectoral Systems of Innovations: Concepts, Issues And Analyses Of Six Major Sectors In Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MANGASARIAN, O.L. (1966) Sufficient conditions for the optimal control of nonlinear systems. *SIAM Journal of Control* 4, 139-152.
- ROCHA, L.A. (2011) *Crescimento, Fronteira Tecnológica e a Hipótese da Relatividade do Capital Humano*. Tese de Doutorado. 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. (Anais eletrônicos, vol. 37).
- UNCCD (2012) Zero Net Land Degradation: A Sustainable Development Goal for Rio+20, UNCCD Secretariat Policy Brief, May (2012).
- VIEIRA FILHO, J.E.R. (2012) Políticas Públicas de Inovação no Setor Agropecuário: Uma Avaliação dos Fundos Setoriais. Brasília: Ipea (Texto para Discussão, n. 1.722), 30 p.