

Alves, Patrick Franco; Gomes, Nayara Lopes; Cavalcante, Eric Jardim

**Working Paper**

## Impacto do investimento em máquinas e equipamentos sobre a inovação tecnológica e a produtividade das firmas industriais Brasileiras

Texto para Discussão, No. 1930

**Provided in Cooperation with:**

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

*Suggested Citation:* Alves, Patrick Franco; Gomes, Nayara Lopes; Cavalcante, Eric Jardim (2014) : Impacto do investimento em máquinas e equipamentos sobre a inovação tecnológica e a produtividade das firmas industriais Brasileiras, Texto para Discussão, No. 1930, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/121540>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# 1930

TEXTO PARA DISCUSSÃO

## IMPACTO DO INVESTIMENTO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS SOBRE A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A PRODUTIVIDADE DAS FIRMAS INDUSTRIAS BRASILEIRAS

Patrick Franco Alves  
Nayara Lopes Gomes  
Eric Jardim Cavalcante



# 1930

## TEXTO PARA DISCUSSÃO

Brasília, janeiro de 2014

### **IMPACTO DO INVESTIMENTO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS SOBRE A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A PRODUTIVIDADE DAS FIRMAS INDUSTRIAIS BRASILEIRAS**

Patrick Franco Alves\*

Nayara Lopes Gomes\*\*

Eric Jardim Cavalcante\*\*\*

---

\* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade de Brasília (UnB).

\*\* Mestre em Engenharia Elétrica pela PUC/RJ e Estatística do Ministério da Saúde.

\*\*\* Analista de Projetos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

## Governo Federal

**Secretaria de Assuntos Estratégicos da  
Presidência da República**  
Ministro interino Marcelo Côrtes Neri



Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

### **Presidente**

Marcelo Côrtes Neri

### **Diretor de Desenvolvimento Institucional**

Luiz Cezar Loureiro de Azeredo

### **Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais**

Renato Coelho Baumann das Neves

### **Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia**

Daniel Ricardo de Castro Cerqueira

### **Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas**

Cláudio Hamilton Matos dos Santos

### **Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**

Rogério Boueri Miranda

### **Diretora de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura**

Fernanda De Negri

### **Diretor de Estudos e Políticas Sociais**

Rafael Guerreiro Osorio

### **Chefe de Gabinete**

Sergei Suarez Dillon Soares

### **Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação**

João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

## Texto para Discussão

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2014

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.  
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: L60; D24; O32

# SUMÁRIO

---

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO .....7

2 BASE DE DADOS .....11

3 MODELO ESTRUTURADO .....13

4 RESULTADOS.....19

5 CONCLUSÕES .....25

REFERÊNCIAS .....26



## SINOPSE

Em economias em desenvolvimento, a aquisição de uma nova máquina pode significar para a firma a introdução de um novo produto ou um novo processo para a empresa ou para o mercado doméstico. Este texto busca avaliar a importância das introduções de inovações via tecnologia incorporada em novas máquinas e equipamentos. Para tal, verificou-se o impacto de tais aquisições sobre a produtividade das firmas industriais brasileiras. Visando controlar possíveis relações de simultaneidade e autosseleção existentes entre as variáveis envolvidas, estima-se um sistema de equações estruturadas.

Os resultados encontrados demonstram a existência de impactos positivos e significantes, advindos do investimento em capital físico sobre a inovação tecnológica das firmas. O efeito médio do tratamento advindo da inovação em processo apresenta impacto positivo sobre a produtividade do trabalho. O tamanho da firma possui papel relevante na determinação da decisão de investir, no montante do investimento e sobre as diferentes formas de inovação tecnológica.

**Palavras-chave:** efeito médio do tratamento; investimento em máquinas; inovação tecnológica.

## ABSTRACT<sup>i</sup>

In developing economies the purchase of a new machine by the firm can be a way of introducing a new product or processes. Under such considerations, this paper searches to measure the assumption of innovation via machine embodied technology, by verifying its impacts over the firm's productivity. In order to control for possible simultaneity and self-selection relationship between the variables a structured system of equations is estimated.

The found results reveal the existence of positive and statistically significant impacts from the investments decision on technological innovation over the firm's productivity. The treatment effect estimated for product and process innovation presents positive and significant impact over the labor productivity. The firm size seems to be an important role in shaping the invest decision, the investment intensity choice and the different forms of technological innovation.

**Keywords:** average treatment effect; investment in machines; technological innovation.

---

<sup>i</sup> The versions in English of the abstracts of this series have not been edited by Ipea's publishing department. As versões em língua inglesa das sinopses desta coleção não são objeto de revisão pelo Editorial do Ipea.





## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos de Massel (1962) assinalam que aproximadamente 90% do crescimento da produtividade do trabalho nos Estados Unidos são determinados pelo avanço tecnológico, sendo o restante atribuído ao processo de aprofundamento do capital. Entretanto, grande parte do avanço tecnológico observado nos Estados Unidos ocorreu também devido à incorporação de novos bens de capital ao processo produtivo, originando uma conexão macroeconômica positiva entre progresso técnico e taxa de acumulação de capital.

Alguns modelos teóricos incorporam a adoção de novas tecnologias na decisão do produtor em adquirir máquinas e equipamentos mais modernos (Power, 1998). A compra de novas máquinas e equipamentos se relaciona à decisão empresarial de obter a mais avançada tecnologia disponível no mercado e desencadeia processos de aprendizagem responsáveis pela elevação do nível tecnológico da economia.

Ghosal e Nair-Reichert (2007) realizaram uma avaliação da relação entre o investimento em capital físico, inovação tecnológica e produtividade para as firmas do setor de papel e celulose nos Estados Unidos. Entre as alternativas de viabilização do aumento da produtividade, podem ser listadas: *i*) estratégia de inovação baseada em investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e registro de patentes; *ii*) realização de investimentos em modernização do capital físico; *iii*) realização de fusões e aquisições, tendo em vista o aproveitamento de economias de escala; e *iv*) implantação de mudanças organizacionais baseadas na adoção de novos procedimentos de gerenciamento e administração de fornecedores. Os autores encontram impactos relevantes dos investimentos em bens de capital sobre o aumento da produtividade, bem como sobre a posição relativa de uma firma em relação às demais concorrentes. As firmas do setor de papel e celulose americano possuem uma estratégia caracterizada pela diversificação tecnológica de suas máquinas e equipamentos nos diversos níveis de produção. Tal estratégia possibilita uma modernização tecnológica gradual e constante das plantas produtivas ao longo do tempo.

A relação causal entre os investimentos em máquinas, a inovação tecnológica e o aumento da produtividade possui embasamento teórico no conceito de empreendedor de Schumpeter (Hagedoorn, 1996; Langlois, 2002). O empreendedor pauta suas decisões não somente na realização de lucro, mas também na conquista de novos mercados e na

consolidação de sua empresa. O empreendedor realiza investimentos buscando melhores combinações de insumos e buscando processos produtivos que resultem em novas mercadorias. Tais invenções, quando incorporadas ao processo produtivo da firma, aumentarão a sua participação no mercado. Pela imitação das demais firmas, a atuação do empreendedor resultará na elevação do nível tecnológico da economia. Nesta visão, o investimento em máquinas e equipamentos está associado à mudança tecnológica, ao implicar incorporação de tecnologia à linha de produção.

A mensuração da relação existente entre inovação tecnológica, aquisição de conhecimentos<sup>1</sup> e produtividade tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos. Crepon, Duget e Mairesse (1998) realizaram uma importante contribuição teórica e metodológica para os estudos envolvendo tais variáveis. Os autores enfatizam que são os resultados da inovação, e não os seus insumos, os principais responsáveis pelo incremento na produtividade das firmas. Tal avaliação foi uma das primeiras a considerar as especificidades envolvendo a utilização de bases de dados de firmas na mensuração da relação entre P&D, inovação tecnológica e produtividade. Desde então, uma grande diversidade de aplicações utilizou tal metodologia, conhecida como modelo CDM, em dados de diversos países (Löf e Heshmati, 2002; Araújo e Silva, 2007; Hall e Mairesse, 2006; Janz, Löf e Peters, 2003). Conforme tal literatura, a mensuração da associação entre a inovação tecnológica, o investimento e a produtividade em bancos de dados de firmas encontra-se sujeita a presença de simultaneidade, endogeneidade e autosseleção entre tais variáveis, as quais podem resultar em estimativas viciadas para os parâmetros dos modelos.

As aplicações do modelo CDM utilizam o P&D como insumo da atividade inovativa (*innovation input*) e a receita dos produtos inovados ou o registro de patentes como o seu resultado (*innovation output*). Entretanto, nenhum dos trabalhos analisados aplicou o modelo CDM, considerando especificamente os investimentos em máquinas<sup>2</sup>

---

1. O capital de conhecimentos acumulados de uma firma (*knowledge capital*) apresenta benefícios que ultrapassam os gastos no ano corrente. Tais investimentos são representados pelo treinamento da mão de obra ou pela implantação de processos organizacionais mais eficientes. Na literatura recente, tais investimentos estão frequentemente associados à pesquisa e ao desenvolvimento (Baldwin e Gellatly, 2006).

2. A abordagem original de Crepon, Duget e Mairesse (1998) emprega um sistema estruturado envolvendo: *i*) a decisão de investir em pesquisa e desenvolvimento (P&D); *ii*) a introdução de uma inovação tecnológica; e *iii*) a apropriação desta inovação em forma de produtividade. Tal abordagem visa controlar a presença de possíveis vieses de seleção e simultaneidade entre as variáveis analisadas.

como insumos da inovação, o que é realizado neste trabalho. A hipótese deste estudo é que em algumas situações os investimentos em máquinas acompanham ou precedem a ocorrência de uma inovação tecnológica.

O investimento pode preceder a inovação; ou seja, as firmas podem realizar um investimento em máquinas, tendo em vista a realização de uma inovação tecnológica de produto ou de processo. Por sua vez, o investimento em máquinas pode seguir uma inovação bem-sucedida, tendo em vista a possibilidade de ampliação do tamanho do mercado de atuação da firma. Por este motivo, a abordagem quantitativa adotada neste trabalho se baseia também no modelo de avaliação do efeito de tratamento (ATE), encontrado em Greene (2007). Tal metodologia procura controlar os possíveis efeitos de endogeneidade entre as variáveis envolvidas. O primeiro estágio do sistema estruturado é composto por um modelo de Heckman (1979), o qual possui como variáveis dependentes: *i*) a decisão de investimento; e *ii*) a intensidade do investimento em máquinas e equipamentos realizado pela firma. Este primeiro estágio permite obter uma estimativa do esforço de investimento para as firmas não investidoras, contornando algumas limitações econométricas das equações seguintes.<sup>3</sup> O segundo estágio do modelo estruturado visa avaliar quais os determinantes da inovação tecnológica, dada uma intensidade de investimento estimada. Este segundo estágio permitirá mensurar o impacto do investimento em máquinas e equipamentos sobre a probabilidade de uma firma realizar inovação tecnológica. No último estágio, verifica-se a intensidade da apropriação da inovação tecnológica, representada pelos ganhos de produtividade.

O impacto da inovação sobre a produtividade será avaliado sob três diferentes especificações para a variável dicotômica de inovação tecnológica: *i*) inovação de produto e/ou processo para a firma ou o mercado; *ii*) inovação de processo para a empresa ou o mercado; e *iii*) inovação de produto para o mercado. Espera-se um impacto positivo mais acentuado na avaliação que considera a inovação de processo. O quadro 1 apresenta um resumo de toda a estrutura econométrica adotada.

---

3. Apesar do ajuste do modelo somente entre as firmas investidoras, seus parâmetros são válidos para toda a população (Heckman, 1979). Isto se deve à presença na função verossimilhança da correlação entre o erro na equação de decisão de investimento e de intensidade no investimento, permitindo obter uma estimativa da intensidade do investimento mesmo entre as firmas em que esta informação não é observada.

QUADRO 1  
Estrutura do modelo econométrico

Estágio 1 – modelo de Heckman	Determinantes da decisão de investir
Decisão de investir em máquinas e equipamentos industriais (modelo <i>probit</i> )	Tamanho da firma Investimentos no período anterior Receitas financeiras Exportações no período anterior Qualificação da mão de obra Setor de atividade econômica
	Determinantes da intensidade
Intensidade do investimento em máquinas e equipamentos (regressão OLS)	Tamanho da firma Investimentos no período anterior Taxa de lucro Idade da firma Qualificação da mão de obra Setor de atividade econômica
Estágio 2 – modelo <i>probit</i>	Determinantes da inovação
Inovação tecnológica de produto ou processo novo para empresa ou mercado Inovação de processo novo para empresa ou mercado Inovação de produto novo para empresa ou mercado	Nível de investimento estimado Riscos macroeconômicos à inovação Obstáculos técnicos à inovação Obstáculos organizacionais à inovação Localização geográfica Setor de atividade econômica
Estágio 3 – regressão OLS e ATE	Determinantes da produtividade
Impactos sobre a produtividade do trabalho	Inovação tecnológica: produto ou processo novo para empresa ou mercado Estoque de capital fixo produtivo Proporção de empregados com ensino superior Setor de atividade econômica

Elaboração dos autores.

Ao avaliar os determinantes do investimento das firmas industriais brasileiras, Bahia (2006) verificou que a utilização de bases de dados de firmas em algumas situações pode não produzir boas estatísticas de ajustamento. Tal fato se deve à existência de interações setoriais não mensuráveis, essenciais na determinação do momento de investimento. Baseando-se em tais conclusões, este trabalho buscou utilizar, no primeiro estágio do modelo estruturado, determinantes fortemente associados com a intensidade de investimento e a decisão de investimento, procurando-se reforçar o potencial preditivo do modelo bivariado – estágios 1 e 2 no quadro 1 – por meio de variáveis explicativas defasadas. Tal preocupação é justificada pela inclusão do valor predito da intensidade no investimento como variável explicativa nas equações de inovação tecnológica.

Existe uma vasta discussão na literatura a respeito dos determinantes da decisão de investir, do nível de investimento das firmas e das relações de simultaneidade e endogeneidade entre o investimento, a produtividade e o crescimento econômico. Em modelos de crescimento econômico, o investimento da firma é habitualmente incluído com um período de defasagem (Colombo e Stanca, 2006; Barbosa, Lacerda

e Ribeiro, 2007). Neste trabalho, incluiu-se também a defasagem do esforço de investimento como um dos determinantes da decisão de investir, além da receita financeira e o total exportado, ambos referentes ao ano anterior. Assim como o investimento em máquinas e equipamentos, a inovação tecnológica apresenta importância fundamental no desempenho e na eficiência das firmas. Existe simultaneidade entre o investimento e a inovação, uma vez que a realização de uma inovação tecnológica frequentemente demanda investimentos em novos equipamentos (Ames, 1961).

## 2 BASE DE DADOS

As informações utilizadas neste estudo foram obtidas pela concatenação de diferentes bases de dados de firmas. Entre elas, encontram-se a Pesquisa Industrial Anual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PIA/IBGE), a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC/IBGE), a Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (Rais/MTE) e o Registro de Operações de Exportações, da Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Secex/MDIC).

Foram selecionadas para o estudo as firmas entrevistadas na PINTEC de 2003 a 2005 e que aparecem ao mesmo tempo no estrato censitário da PIA em 2004 e 2005. Dessa forma, o universo de análise é composto por firmas com mais de trinta pessoas ocupadas em dois anos consecutivos. Do cruzamento das informações da PINTEC e da PIA, obtiveram-se 8.748 empresas – sem o fator de expansão da PINTEC. Por sua vez, as informações da Secex e da Rais permitiram a incorporação, no modelo, de informações relevantes sobre as exportações das firmas e a qualificação da mão de obra.

TABELA 1  
**Distribuição do investimento por faixas de tamanho (2005)**  
(Em R\$ 1.000)

Pessoal ocupado	Investimento em máquinas	Investimento total
De 30 até 49	756.406 (50,7%)	1.491.193 (2,0%)
De 50 até 99	1.352.774 (60,5%)	2.236.789 (3,0%)
De 100 até 249	2.688.078 (58,1%)	4.622.697 (6,2%)
De 250 até 499	3.645.484 (58,2%)	6.263.009 (8,4%)
Mais que 500	24.491.702 (40,9%)	59.945.945 (80,4%)
<b>Total</b>	<b>32.934.445</b>	<b>74.559.633</b>

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).  
Elaboração dos autores.

Obs.: as porcentagens entre parênteses na coluna *investimento em máquinas* foram calculadas em relação às linhas da coluna *investimento total*.

Na tabela 1, as porcentagens apresentadas na coluna *investimento total* foram obtidas pela razão entre o investimento em cada categoria de tamanho e o investimento total no estrato certo da PIA 2005 (R\$ 74.559,633). Os percentuais apresentados entre parênteses na coluna *investimento em máquinas* foram calculados sobre os totais das linhas de cada categoria de tamanho. Mais de 80% do investimento realizado na indústria em 2005 foram efetuados por firmas tendo mais de quinhentas pessoas ocupadas, sendo que este investimento se concentra principalmente em máquinas e equipamentos (40,9%). Entre as firmas com até 49 pessoas ocupadas, o investimento em máquinas equivale a aproximadamente metade de todo o tipo de investimento.

O investimento industrial concentra-se na aquisição e na produção própria de máquinas e equipamentos, mesmo quando se avalia também a frequência relativa de empresas investidoras nas diferentes categorias de pessoal ocupado. A tabela 2 mostra a distribuição do número de firmas investidoras entre as categorias de pessoal ocupado. Observa-se que entre firmas com mais de quinhentas pessoas ocupadas, 89,2% realizam investimento especificamente em máquinas e equipamentos,<sup>4</sup> enquanto 91,7% realizam qualquer forma de investimento.

O percentual de firmas investidoras decresce com o tamanho das firmas. Entre as firmas que possuem entre trinta e 49 pessoas ocupadas, observa-se que 30,5% realizam investimento especificamente em máquinas e equipamentos, enquanto 38,3% realizam qualquer tipo de investimento (tabela 2). Têm-se 30.567 firmas representadas nesta análise, sendo que a maior parte das investidoras aplicou recursos em máquinas e equipamentos.

TABELA 2  
Distribuição do número de firmas investidoras por faixas de tamanho (2005)

Pessoal ocupado	Investimento em máquinas (R\$ 1.000)	Total de investidoras	Total de firmas
De 30 até 49	4.068 (30,5%)	5.104 (38,3%)	13.329
De 50 até 99	4.493 (49,3%)	5.078 (55,7%)	9.120
De 100 até 249	3.268 (67,5%)	3.616 (74,7%)	4.842
De 250 até 499	1.487 (84,2%)	1.532 (86,7%)	1.766
Mais que 500	1.347 (89,2%)	1.382 (91,5%)	1.510
<b>Total</b>	<b>14.663 (48,0%)</b>	<b>16.712 (54,7%)</b>	<b>30.567</b>

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).  
Elaboração dos autores.

4. As informações sobre investimento, oriundas da Pesquisa Industrial Anual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PIA/IBGE), contêm a aquisição, a manutenção e a produção próprias das seguintes categorias: *i)* máquinas e equipamentos; *ii)* terrenos e edificações; *iii)* meios de transporte; e *iv)* computadores, móveis e equipamento para escritório.

### 3 MODELO ESTRUTURADO

#### 3.1 Modelo de Heckman

O modelo de Heckman (1979) é composto de duas equações, sendo um modelo probabilístico (equação de seleção) e um modelo linear (equação de resposta):

$$y_i = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Z_i^* = w_i' y + u_i \quad (2)$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{se } z_i^* \geq 0 \\ 0 & \text{se } z_i^* < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$P(z_i = 1) = \Phi(w_i' y) \quad (4)$$

Na equação (1),  $y_i$  representa a intensidade do investimento em máquinas e equipamentos industriais, realizada pela firma  $i$ . Na equação (2),  $Z_i^*$  representa a propensão não observável da firma em realizar investimento. Mais especificamente,  $Z_i^*$  é uma variável latente que origina a decisão de investimento ( $Z_i$ ), bem como o processo de autoseleção atuante em  $y_i$ . As equações (3) e (4) representam um modelo *probit* que explica a decisão de investimento da firma. O sistema de equações apresentado é estimado por uma função de verossimilhança e corresponde ao primeiro estágio do modelo estruturado aplicado neste estudo.

No ajuste do modelo de Heckman, a função de verossimilhança possui um termo de correlação ( $\rho$ ) entre o erro da equação de seleção e o erro da equação de resposta. Teoricamente, admite-se que os termos  $\varepsilon_i$  e  $u_i$  tenham distribuição normal bivariada com variâncias  $\sigma_\varepsilon^2$  e  $\sigma_u^2$ :

$$\begin{pmatrix} u_i \\ \varepsilon_i \end{pmatrix} \sim N \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_u^2 & \rho \sigma_u \sigma_\varepsilon \\ \rho \sigma_u \sigma_\varepsilon & \sigma_\varepsilon^2 \end{pmatrix} \right] \quad (5)$$

A função de verossimilhança pode ser escrita por:

$$\ln L(\gamma, \beta) = \sum_{i=1}^n \ln \{1 - \Phi(w_i' \gamma)\} + \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\varepsilon^2}} \right\} + \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - x_i' \beta)^2}{2\sigma_\varepsilon^2} + \sum_{i=1}^n \ln \Phi \left\{ w_i' \gamma + \rho \left( \frac{y_i - x_i' \beta}{\sqrt{(1-\rho)^2}} \right) \right\} \quad (6)$$



As duas primeiras equações do sistema estruturado (quadro 1) equivalem à estimação de um modelo de Heckman. Estas serão estimadas por uma função de verossimilhança. Os parâmetros estimados em tal sistema de equações permitem a obtenção de um vetor de intensidade de investimento predita para todas as firmas. Tais valores preditos são, em seguida, incluídos na equação de inovação.

### 3.2 Efeito médio do tratamento

Pesquisas observacionais não permitem o estabelecimento de relações de causa e efeito devido à existência de autosseleção entre as variáveis pesquisadas. A abordagem de estimação do ATE é uma forma de controlar a autosseleção (Angrist e Imbens, 1995). Neste trabalho, a abordagem de estimação de ATE (Greene, 2007) é encontrada nos dois últimos estágios do sistema estruturado (quadro 1).

A principal distinção entre o modelo de Heckman e um modelo de estimação de ATE é dada pela presença da variável dependente do modelo de seleção (3, 4) entre as variáveis explicativas da equação resposta (1). Representando a produtividade do trabalho por  $q_i$  e suas variáveis explicativas por  $s_i$ . O valor predito do modelo de produtividade será dado por  $\zeta_i$ . A variável indicadora de introdução de inovação tecnológica será representada por  $tec_i$  e seu vetor de variáveis explicativas, por  $m_i$ . Realiza-se inicialmente o ajuste em dois estágios dos seguintes modelos:

$$q_i = \delta tec_i + \eta' s_i + \beta_\lambda \lambda + \zeta_i \quad (7)$$

$$tec_i = \begin{cases} 1 & \text{se } t_i^* \geq 0 \\ 0 & \text{se } t_i^* < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$tec_i^* = \alpha' m_i + \xi_i \quad (9)$$

$$P(tec_i = 1) = \Phi(\alpha' m_i) \quad (10)$$

Onde,  $tec_i^*$  é uma variável latente representando a propensão a realizar inovação. Os termos  $\zeta_i$  e  $\xi_i$  representam, respectivamente, o erro aleatório do modelo de produtividade e do modelo de inovação tecnológica. Na equação (7),  $\lambda$  representa a razão inversa de Mills, a qual possui forma funcional diferenciada entre as firmas inovadoras e não inovadoras.

$$\begin{cases} se \quad tec_i = 1 & \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\phi(\alpha' \mathbf{m}_i)}{\Phi(\alpha' \mathbf{m}_i)} \\ se \quad tec_i = 0 & \Rightarrow \quad \lambda = \frac{-\phi(\alpha' \mathbf{m}_i)}{1 - \Phi(\alpha' \mathbf{m}_i)} \end{cases} \quad (11)$$

O valor esperado da produtividade, condicional às características presentes no vetor de variáveis explicativas dos modelos, é dado por:

$$E[q_i | tec_i = 1, \mathbf{s}_i, \mathbf{m}_i] = \boldsymbol{\eta}' \mathbf{s}_i + \delta + \rho \sigma_\varepsilon \left[ \frac{\phi(\alpha' \mathbf{m}_i)}{\Phi(\alpha' \mathbf{m}_i)} \right] \quad (12)$$

$$E[q_i | tec_i = 0, \mathbf{s}_i, \mathbf{m}_i] = \boldsymbol{\eta}' \mathbf{s}_i + \rho \sigma_\varepsilon \left[ \frac{-\phi(\alpha' \mathbf{m}_i)}{1 - \Phi(\alpha' \mathbf{m}_i)} \right] \quad (13)$$

Onde (12) é a produtividade esperada entre firmas inovadoras ( $q_i = 1$ ) e (13) representa a produtividade entre as não inovadoras ( $q_i = 0$ ). O parâmetro estimado para a variável indicadora de inovação ( $\delta$ ) é viciado, sendo sua correção dada pelo diferencial entre (12) e (13).

$$ATE(\delta) = E[q_i | t_i = 1, \mathbf{s}_i, \mathbf{m}_i] - E[q_i | t_i = 0, \mathbf{s}_i, \mathbf{m}_i] \quad (14)$$

Essa expressão é o efeito médio do tratamento,<sup>5</sup> que pode ser escrita como:

$$ATE(\delta) = \delta + \rho \sigma_\varepsilon \left[ \frac{\phi(\alpha' \mathbf{m}_i)}{\Phi(\alpha' \mathbf{m}_i) \{1 - \Phi(\alpha' \mathbf{m}_i)\}} \right] \quad (15)$$

Quando estimado em dois estágios, o modelo de efeito de tratamento possui erros heterocedásticos (Greene, 2007). Para contornar tal característica, realizou-se a correção da matriz de covariância dos parâmetros estimados na equação de produtividade.<sup>6</sup>

A variância do ATE, que permitirá obter sua significância estatística, foi obtida pelo método delta (Oehlert, 1992), conforme a expressão:<sup>7</sup>

$$Var(ATE) = Var(\hat{\delta}) + Var(\hat{\beta}_\lambda) \left[ \frac{\phi}{\Phi[1-\Phi]} \right]^2 + 2Cov(\hat{\delta}, \hat{\beta}_\lambda) \left[ \frac{\phi}{\Phi[1-\Phi]} \right] \quad (16)$$

5. Average treatment effect.

6. A correção matriz de covariância no segundo estágio do modelo ATE utiliza a programação IML/SAS. Disponível em: <<http://support.sas.com/kb/24/979.html>>.

7. Relação entre correlação, desvio-padrão e o parâmetro estimado para a inversa de Mills:  $\hat{\beta}_\lambda = \rho \sigma_\varepsilon$ .

Uma vez que a variável dependente se encontra na base logarítmica, para se analisar o ATE efetua-se a transformação:  $\exp(ATE) - 1$ . Aplicando-se o método delta, obtém-se:

$$Var[e^{ATE} - 1] = \left( \frac{d}{d ATE} [e^{ATE} - 1] \right)^2 \times Var[ATE] = e^{2ATE} \times Var[ATE] \quad (17)$$

A subseção 3.3 a seguir apresenta mais detalhes sobre a construção das variáveis explicativas incluídas em cada um dos estágios.

### 3.3 Determinantes da decisão de investimento em máquinas: estágio (1)

Este primeiro modelo foi ajustado para toda a amostra de 30.567 firmas (tabela 2) e permitirá calcular a propensão da firma à realização de investimento.

$$DINV = \Phi[\gamma_0 + \gamma_1 \ln(PO) + \gamma_2 \ln(ESF INV) + \gamma_3 \ln(RECINV) + \gamma_4 \ln(EXP) + \gamma_5 \ln(SKILL) + SETOR] \quad (18)$$

*DINV*: a variável dependente da primeira equação assume valor igual a 1 se a firma realizou investimento em máquinas e equipamentos em 2005 e 0 em caso contrário.

*PO*: número de pessoas empregadas na firma.

*ESFINV*: o esforço em investimento é a razão entre o investimento em máquinas e o estoque de capital fixo.

*RECFIN*: razão entre a receita financeira e o faturamento no ano anterior.

*EXP*: exportação no ano anterior.

*SKILL*: escolaridade média dos empregados. Caselli (1999) apresenta um modelo teórico em que a qualificação da força de trabalho reflete a escolha tecnológica adotada pela firma.

*SETOR*: variáveis indicadoras para a classificação de atividade tecnológica.

### 3.4 Determinantes do nível de investimento: estágio (1)

Esta equação será estimada somente para as firmas que investiram em 2005 (tabela 2). A correlação de Pearson na função de verossimilhança (equação 6) equivale à

inclusão da razão inversa de Mills na estimação em dois estágios. A partir da estimação de (19), será obtido o valor estimado para a intensidade do investimento.

$$ESF\ INV = \beta_0 + \beta_1 \ln(lag(ESF\ INV)) + \beta_2 \ln(TXRL) + \beta_3 \ln(IDADE) + \beta_4 \ln(IDADE^2) + \beta_5 \ln(PO) + SETOR \quad (19)$$

$\ln(lag(ESF\ INV))$ : esforço de investimento no ano anterior.

$TXRL$ : taxa de lucro é a razão entre o lucro líquido obtido no ano anterior e o estoque de capital no ano anterior.

$IDADE$ : a idade da firma é uma *proxy* da experiência empresarial.

As demais variáveis seguem a definição da subseção 3.3.

Sejam  $x_i$  as variáveis explicativas e  $\hat{\beta}$  o vetor de parâmetros estimados de (19). O esforço em investimento predito será  $ESF\ \hat{INV} = x_i' \hat{\beta}$ . Este será incluído como variável explicativa no modelo de inovação tecnológica.

### 3.5 Determinantes da inovação tecnológica: estágio (2)

A seguir, as descrições das variáveis explicativas incluídas no modelo.

$$TEC = \Phi \left( \begin{array}{l} \eta_0 + \eta_1 ESF\ \hat{INV} + \eta_2 MACRO + \eta_3 INF\ TEC + \eta_4 ORG \\ + REG + SETOR \end{array} \right) \quad (20)$$

$TEC$ : serão utilizadas três definições para inovação tecnológica: *i*) inovação de produto novo para a empresa ou para o mercado ( $INOVPROD$ ); *ii*) inovação de processo novo para a empresa ou para o mercado ( $INOVPROC$ ); e *iii*) qualquer forma de inovação para a empresa ou o mercado ( $INOV$ ).

$MACRO$ : indica uma percepção alta de riscos econômicos, custos da atividade inovadora, escassez de fontes de financiamento e fraca resposta dos consumidores como obstáculo à atividade de inovação.<sup>8</sup>

8. Firms que declararam obstáculo "alto" nas perguntas 176, 177, 178 e 185 da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC).

*INF TEC*: indica uma percepção alta de falta de pessoal qualificado, falta de informação sobre a tecnologia e sobre os mercados, e escassez de serviços técnicos como obstáculo à atividade de inovação.<sup>9</sup>

*ORG*: indica uma percepção alta de rigidez organizacional, escassas possibilidades de cooperação, dificuldade de adequação a padrões e centralização da atividade inovativa como obstáculo à atividade de inovação.<sup>10</sup>

*REG*: localização geográfica da firma – Norte, Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste.

Representando as variáveis explicativas de (20) por  $m_i$ , as probabilidades individuais de inovação são dadas por  $\Phi(\acute{a}' m_i)$ , onde  $\acute{a}$  é o vetor de parâmetros estimados do modelo probabilístico. A equação (20) permitirá calcular a propensão à inovação tecnológica, representada pela razão inversa de Mills.

### 3.6 Equação de produtividade: estágio (3)

Uma diversidade de estudos sobre a relação entre inovação tecnológica e produtividade utiliza a função de produção Cobb-Douglas. Procura-se explicar a produtividade por meio do capital humano, do capital físico, do tamanho da firma e do setor de atividade econômica (Janz, Löf e Peters, 2003). Neste trabalho, os efeitos do investimento em máquinas e o tamanho da firma são incluídos indiretamente pela razão inversa de Mills.

$$\ln(PROD) = \alpha_0 + \delta TEC + \alpha_1 PO3G + \alpha_2 \ln(ATIVO) + \alpha_3 Mills(TEC) + SETOR \quad (21)$$

*PROD*: a variável dependente é definida como o valor da transformação industrial sobre o número de pessoas ocupadas.

*TEC*: indica o fato de uma firma ter realizado inovação tecnológica.

*Mills (TEC)*: razão inversa de Mills ou propensão a inovar.

---

9. Firms que declararam obstáculo "alto" nas perguntas 180, 181, 182, 184 e 186 da PINTEC.

10. Firms que declararam obstáculo "alto" nas perguntas 179, 183 e 187 da PINTEC.

*PO3G*: razão entre o número de empregados de nível superior e o total de empregados da firma.

*ATIVO*: total do ativo da firma utilizada como variável *proxy* para o estoque de capital fixo da firma.

Na equação (21), o parâmetro  $\delta$  não possui interpretação, sendo corretamente avaliado somente pelo efeito médio do tratamento. Esperam-se impactos positivos e significantes da realização de inovação, segundo o efeito médio do tratamento, sobre a produtividade da firma, seja esta inovação de produto, seja de processo ou ambas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Resultados do estágio 1

De forma geral, as variáveis incluídas na equação da decisão e na equação de intensidade de investimento apresentam efeito significativo sobre a variável dependente (tabela 3). A idade da firma apresenta significância estatística somente para o seu termo quadrático.

Na equação de intensidade do investimento, serão analisados os efeitos marginais obtidos segundo a expressão (Greene, 2007, p. 783):

$$\frac{\partial E(y_i | z_i^* > 0)}{\partial x_{ik}} = \beta_k + \gamma_k \left( \frac{\rho \sigma_\varepsilon}{\sigma_u} \right) \delta_i$$

Na equação de decisão de investimento, serão analisados os efeitos marginais obtidos segundo  $\partial E(z_i) / \partial w_k = \phi(w_i' \gamma) \gamma_k$ .

Conforme a tabela 3, um aumento de 1% no número de funcionários da firma está associado a uma elevação de 0,19% na probabilidade de decisão da firma em realizar investimento. Ao mesmo tempo, o tamanho da firma está associado a um aumento de 0,15% na intensidade deste investimento. Tais resultados reafirmam a importância do tamanho da firma no processo de investimento. Posteriormente, o tamanho da firma será incluído também no modelo de inovação tecnológica.

TABELA 3  
Equação de decisão de investir e da intensidade do investimento (2005)

Equação	Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão	Efeito marginal
Decisão de investir	Intercepto	-0,27*	0,104	-0,17
	ln (PO)	0,30*	0,011	0,19
	ln (SKILL)	0,16*	0,038	0,10
	Lag (ln (ESF INV))	0,10*	0,002	0,07
	ln (RECFIN)	0,05*	0,002	0,03
	ln (EXP)	0,03*	0,002	0,02
	SETOR	–	–	–
Intensidade do investimento	Intercepto	-4,82*	0,231	-3,15
	ln (PO)	0,23*	0,020	0,15
	Lag (ln (ESF INV))	0,09*	0,010	0,05
	ln (TXRL)	0,19*	0,021	0,12
	Ln (SKILL)	0,31*	0,070	0,21
	ln (IDADE)	0,18 <sup>ns</sup>	0,152	0,12
	[ln (IDADE)] <sup>2</sup>	-0,11*	0,030	-0,07
	REGIÃO	–	–	–
	SETOR	–	–	–
	Sigma	1,74*	0,012	–
Rho (ρ)	0,32*	0,023	–	
Verossimilhança	-36.914	–	–	

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \* 1% de significância.

<sup>ns</sup> Não significante.

A qualificação da força de trabalho, bem como a receita financeira da firma, é determinante significativa na equação de decisão de investimento, ainda que em menor intensidade em relação ao tamanho da firma. Conforme análise dos efeitos marginais, um aumento de 1% na qualificação da força de trabalho está associado a uma elevação de 0,1% na decisão de investir. Um aumento de 1% na receita financeira no ano anterior está associado a uma elevação de 0,03% na probabilidade de investir no ano consecutivo (tabela 3).

Um aumento de 1% no investimento do ano anterior está associado a uma elevação de 0,07% na probabilidade de ser realizado um investimento no período seguinte e a um aumento de 0,05% na intensidade deste mesmo investimento. Cabe observar que, neste modelo, a inclusão da defasagem como variável dependente no vetor de variáveis explicativas não implica endogeneidade entre tais variáveis no modelo. A idade da firma não

apresentou significância estatística (tabela 3). Uma possível explicação é que as empresas mais experientes possuem possivelmente sua estrutura de capital consolidada e menores taxas de investimento em máquinas e equipamentos.

## 4.2 Resultados do estágio 2

Os resultados da tabela 4 resumem os modelos, tendo como variável dependente a inovação tecnológica de produto, processo ou ambos. Conforme mencionado na subseção 3.5, o valor estimado do esforço em investimento obtido no estágio anterior foi incorporado à equação de inovação tecnológica.

TABELA 4  
Determinantes da inovação tecnológica na firma (2005)

Parâmetro	Inovação de produto ou processo		Inovação de processo		Inovação de produto	
	Estimativa	Efeito marginal	Estimativa	Efeito marginal	Estimativa	Efeito marginal
Intercepto	0,25 *	0,11	1,50 *	0,59	-0,59 *	-0,16
Ln (PO)	0,35 *	0,19	0,27 *	0,11	0,28 *	0,10
ESF INV	0,05 *	0,03	0,28 *	0,12	0,02 *	0,01
MACRO	0,21 *	0,09	0,24 *	0,09	0,24 *	0,06
INF TEC	0,45 *	0,20	0,21 *	0,08	0,39 *	0,11
ORG	0,17 *	0,08	0,04 <sup>ns</sup>	0,01	0,15 *	0,04
REGIÃO	–	–	–	–	–	–
SETOR	–	–	–	–	–	–
R2	0,35	–	0,30	–	0,31	–
Verossimilhança	1803,6	–	2142,3	–	2168,9	–

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \* 1% de significância.

<sup>ns</sup> Não significante.

Um aumento de 1% no esforço de investimento estimado está associado a uma elevação de 0,03% na probabilidade de uma firma realizar qualquer tipo de inovação tecnológica e de 0,01% na probabilidade de ela realizar inovação de produto novo para o mercado. Os parâmetros estimados para o esforço de investimento deixam claro que há uma relação positiva do esforço de investimento com a inovação tecnológica. As maiores elasticidades ocorrem na equação de inovação de processo, o que é um resultado esperado. Um aumento de 1% no esforço de investimento estimado está associado a uma elevação de 0,12% na probabilidade de uma firma realizar inovação de processo (tabela 4).



As variáveis: *MACRO*, *INFTEC* e *ORG* representam a percepção quanto aos riscos na realização de projetos de inovação tecnológica. Estes riscos se relacionam ao ambiente macroeconômico e institucional do país. Escassez de fontes de financiamento, fraca resposta dos consumidores, rigidez institucional e nível de qualificação da força de trabalho na economia. Tais variáveis apresentaram significância estatística no modelo de inovação, o que se explica pelo fato de as firmas que realizam inovação apresentarem maiores percepções a tais dificuldades e riscos.

### 4.3 Resultados do estágio 3

O último estágio do sistema de equações visa capturar o impacto da inovação tecnológica advinda do investimento da firma em máquinas e equipamentos sobre a produtividade das firmas.

Conforme comentado na seção 3, o modelo ATE estimado em dois estágios (tabelas 5, 6, e 7) apresentam heterocedásticos. Esta heterocedasticidade foi confirmada pela significância estatística no teste de White (SPEC). Por esta razão, a significância dos parâmetros será analisada por meio do erro-padrão heterocedástico, obtido pela metodologia apontada em Greene (2007, p. 785).

TABELA 5  
Impacto da inovação tecnológica sobre a produtividade da firma

Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão heterocedástico	Estatística t
Intercepto	8,62	0,08	107,8*
Tec (INOV)	-0,16	0,09	-1,82*
Ln (ATIVO)	0,09	0,05	1,80**
PO3G	3,40	0,05	69,3*
MILLS (INOV)	0,22	0,06	3,96**
SETOR	–	–	–
R <sup>2</sup>	31,44%	SPEC ( $\chi^2$ )	176,4*
Estatística F	266,99*	Sigma ( $\sigma_e$ )	1,086

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \* 1% de significância.

\*\* 5% de significância.

Um aumento de 1% no ativo total da firma está associado a uma elevação de 0,09% em sua produtividade. A proporção de empregados com ensino superior constitui um importante determinante da produtividade da firma.

O parâmetro estimado para a razão inversa de Mills é positivo e estatisticamente significativo. Tal fato indica a existência de autosseleção entre inovação tecnológica e produtividade; ou seja, as firmas mais produtivas são mais propensas a inovar. A correlação entre propensão a realizar inovação tecnológica e produtividade obtida pelo produto entre o parâmetro estimado para a inversa de Mills (0,22) e a variância do erro na equação resposta (1,1794) é de 25,95%.

TABELA 6  
**Impacto da inovação de processo sobre a produtividade da firma**

Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão heterocedástico	Estatística t heterocedástico
Intercepto	8,59	0,06	136,5*
Tec (INOVPROC)	0,15	0,09	1,67***
Ln (ATIVO)	0,08	0,05	1,80*
PO3G	3,41	0,05	70,2*
MILLS (INOV)	-0,006	0,476	-0,80 <sup>ns</sup>
SETOR	–	–	–
R <sup>2</sup>	31,51%	SPEC ( $\chi^2$ )	192,02*
Estatística F	267,77*	Sigma ( $\sigma$ )	1,105

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE), e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \* 1% de significância.

\*\*\* 10% de significância.

<sup>ns</sup> Não significativo.

A tabela 6 apresenta o modelo de produtividade tendo entre as suas variáveis explicativas a inovação em processo novo para empresa ou mercado. Um incremento de 1% no ativo total da firma está relacionado a uma elevação de 0,08% em sua produtividade. Uma elevação de 1% na proporção de pessoas ocupadas com nível superior está associada a um aumento de 3,41% na produtividade da firma.

O parâmetro estimado para a razão inversa de Mills não é estatisticamente significativo. Tal fato indica uma ausência de autosseleção envolvendo inovação em processo e produtividade. Visando-se uniformidade de interpretações, optou-se pela interpretação do ATE também neste caso. O viés existente na variável indicadora de inovação em processo (*INOVPROC*) determina a interpretação do ATE, independentemente da significância estatística da razão inversa de Mills.

Conforme resultados na tabela 7, um incremento de 1% no ativo total da firma está relacionado a uma elevação de 0,09% em sua produtividade. Uma elevação de 1% na proporção de pessoas ocupadas com nível superior está associada a um aumento de

3,41% na produtividade da firma. O parâmetro estimado para a razão inversa de Mills é estaticamente significativo. A correlação entre propensão à inovação e produtividade é de 19,83%. Tais resultados indicam que as firmas que realizam inovação de produto novo para o mercado possuem maiores níveis de produtividade.

TABELA 7  
Impacto da inovação de produto sobre a produtividade da firma

Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão heterocedástico	Estatística t
Intercepto	8,74	0,06	136,0*
Tec (INOVPROD)	0,16	0,12	-1,37**
Ln (ATIVO)	0,09	0,05	1,90**
PO3G	3,41	0,05	70,6*
MILLS (INOV)	0,17	0,07	2,46*
SETOR	–	–	–
R <sup>2</sup>	31,22%	SPEC (X <sup>2</sup> )	167,48*
Estatística F	264,26*	Sigma ( $\sigma_e$ )	1,080

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE) e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \* 1% de significância.

\*\* 5% de significância.

TABELA 8  
Efeito médio do tratamento sobre a produtividade das firmas (2005)

Tipo de tratamento	ATE (%)	Desvio-padrão	Estatística t
Inovação de processo e/ou produto	23,26	0,1613	1,45***
Inovação de processo	15,47	0,1137	1,36***
Inovação de produto	14,54	0,1724	0,84 <sup>ns</sup>

Fonte: PIA (IBGE), PINTEC (IBGE), Rais (MTE) e Registro de Operações de Exportações da Secex (MDIC).

Elaboração dos autores.

Notas: \*\*\* 10% de significância.

<sup>ns</sup> Não significante.

A tabela 8 apresenta as estimativas para o efeito médio do tratamento, as quais apresentam significância estatística ao nível de 10%, mesmo após os controles econométricos de autosseleção e correções de variâncias. A única exceção se deve ao impacto da inovação de produto novo para empresa ou mercado, cujo ATE não apresentou significância estatística. De fato, a análise de Licandro, Illera e Puch (2005) conecta mais intimamente o investimento em máquinas e inovação em processo.

Os resultados obtidos evidenciam que a decisão de investir em máquinas e equipamentos, em uma estratégia de inovação tecnológica, resultam em impactos positivos sobre a produtividade das firmas.

## 5 CONCLUSÕES

A ênfase dos mais recentes trabalhos empíricos de investimento em P&D tem obscurecido também a importância da formação bruta de capital físico sobre a inovação tecnológica das firmas. Para empresas localizadas em países em desenvolvimento, a aquisição de uma nova máquina pode significar a introdução de um novo produto ou um novo processo na empresa. Buscou-se neste estudo modelar as decisões empresariais, envolvendo-se a decisão e a intensidade de investimento em máquinas, a inovação tecnológica e os impactos sobre a produtividade.

Os resultados encontrados demonstram a existência de efeitos positivos advindos da decisão de investimento sobre a inovação tecnológica de produto e processo das firmas. Conforme esperado, o investimento em máquinas e equipamentos possui mais impacto sobre a probabilidade de uma firma realizar inovação de processo novo para a empresa. Entretanto, o investimento em máquinas e equipamentos também apresenta impacto significativo sobre a probabilidade de uma firma introduzir um produto novo no mercado.

A realização de uma inovação de produto novo para o mercado apresenta um impacto de 14,5% sobre a produtividade das firmas, enquanto a inovação em processo novo para empresa ou mercado apresenta impacto de 15,5% (tabela 8). Tal resultado apresenta conformidade com as expectativas de que o mecanismo de transmissão entre formação bruta de capital fixo e incremento na produtividade ocorresse com mais intensidade pela inovação em processo. Tais impactos são positivos e significantes mesmo sob os controles dos processos de autoseleção implantados pelas correções de significância do ATE.

Os resultados encontrados indicam que políticas de incentivo ao investimento em capital físico levariam ao acionamento de mecanismos de incremento do nível tecnológico associados, devido ao comportamento empresarial em adquirir a tecnologia mais desenvolvida do mercado.

## REFERÊNCIAS

- AMES, E. Research, invention, development and innovation. **The American economic review**, v. 51, n. 3, p. 370-381, 1961.
- ANGRIST, J.; IMBENS, G. Two-stage least square estimation of average treatment causal effects in models with variable treatment intensity. **Journal of American Statistical Association**, v. 90, n. 430, p. 431-442, 1995.
- ARAÚJO, B. C.; SILVA, A. M. A microeconomia do crescimento de empresas industriais e inovação tecnológica: evidências para o Brasil e 7 países europeus. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 35., 2007, Recife, Pernambuco. **Anais...** Recife: ANPEC, 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/QoUlNe>>.
- BAHIA, L. D. Os determinantes do investimento das firmas industriais brasileiras. *In*: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C. (Orgs.). **As empresas brasileiras e o comércio internacional**. Brasília: Ipea, 2006.
- BALDWIN, J. R.; GELLATLY, G. **Innovation capabilities**: the knowledge capital behind the survival and growth of firms. Ottawa: statistics Canada, 2006. (The Canadian Economy in Transition Series. 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/3j5WGj>>.
- BARBOSA, L.; LACERDA, A.; RIBEIRO, N. **Investment decisions and financial standing of Portuguese firms**: recent evidence. Lisboa: Banco de Portugal, 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/Xg2TJd>>.
- CASELLI, F. Technological revolutions. **The American economic review**, v. 89, n. 1, p. 78-102, 1999.
- COLOMBO, E.; STANCA, L. **Investment decisions and the soft budget constraint**: evidence from Hungarian manufacturing. MPRA, 2006. (Paper, n. 18.708). Disponível em: <<http://goo.gl/wK5nDA>>.
- CREPON, B.; DUGUET, E.; MAIRESSE, J. Research, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level. **Economic of innovation and new productivity**, v. 7, p. 115-156, 1998.
- GHOSAL, V.; NAIR-REICHERT, U. **Investments in modernization, innovation and gains in productivity**: evidence from firms in the global paper industry. MPRA, 2007. (Paper, n. 5.459). Disponível em: <<http://goo.gl/VohE3N>>.
- GREENE, W. **Econometric analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- HAGEDOORN, J. Innovation and entrepreneurship: schumpeter revisited. **Industrial and corporate change**, v. 5, n. 3, p. 883-896, 1996.

HALL, B. H.; MAIRESSE, J. **Empirical studies of innovation in the knowledge driven economy**. Cambridge, MA: NBER, 2006. (Working Paper, n. 12.320).

HECKMAN, J. Sample selection bias as a specification error. **Econometrica**, v. 47, p. 153-161, 1979.

JANZ, N.; LÖÖF, H.; PETERS, B. **Firm level innovation and productivity**: is there a common story across countries? Centre for European Economic Research, 2003. (Discussion Paper, n. 3-26). Disponível em: <<http://goo.gl/x4o8XS>>.

LANGLOIS, R. **Schumpeter and the obsolescence of the entrepreneur**. Department of Economics, University of Connecticut, 2002. (Working Paper, n. 19). Disponível em: <<http://goo.gl/QU1MWx>>.

LICANDRO, O.; ILLERA, M. R. M.; PUCH, L. **Innovation, machine replacement and productivity**. London: Center for Economic Policy Research, 2005. (Discussion Paper, n. 5422). Disponível em <<http://ideas.repec.org/p/cpr/ceprdp/5422.html>>.

LÖÖF, H.; HESHMATI, A. Knowledge capital and performance heterogeneity: a firm level innovation study. **International journal of production economics**, v. 76, n. 1, p. 61-85, 2002.

MASSELL, B. F. Investment, innovation, and growth. **Econometrica**, v. 30, n. 2, p. 239-252, Apr. 1962. Disponível em: <[www.jstor.org/stable/1910215](http://www.jstor.org/stable/1910215)>.

OEHLERT, G. W. A note on the delta method. **The American statistician**, v. 46, n. 1, p. 27-29, 1992.

POWER, L. The missing link: technology, investment and productivity. **The review of economics and statistics**, v. 80, n. 2, p. 300-313, 1998.







## **EDITORIAL**

### **Coordenação**

Cláudio Passos de Oliveira

### **Supervisão**

Everson da Silva Moura

Reginaldo da Silva Domingos

### **Revisão**

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Laetícia Jensen Eble

Leonardo Moreira de Souza

Marcelo Araujo de Sales Aguiar

Marco Aurélio Dias Pires

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Karen Aparecida Rosa (estagiária)

Luana Signorelli Faria da Costa (estagiária)

Tauãnara Monteiro Ribeiro da Silva (estagiária)

### **Editoração**

Bernar José Vieira

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniella Silva Nogueira

Danilo Leite de Macedo Tavares

Diego André Souza Santos

Jeovah Herculano Szervinsk Junior

Leonardo Hideki Higa

### **Capa**

Luís Cláudio Cardoso da Silva

### **Projeto Gráfico**

Renato Rodrigues Bueno

### **Livraria do Ipea**

SBS – Quadra 1 - Bloco J - Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5336

Correio eletrônico: [livraria@ipea.gov.br](mailto:livraria@ipea.gov.br)



---

Composto em adobe garamond pro 12/16 (texto)  
Frutiger 67 bold condensed (títulos, gráficos e tabelas)  
Impresso em offset 90g/m<sup>2</sup>  
Cartão supremo 250g/m<sup>2</sup> (capa)  
Brasília-DF

---



### **Missão do Ipea**

Produzir, articular e disseminar conhecimento para aperfeiçoar as políticas públicas e contribuir para o planejamento do desenvolvimento brasileiro.



**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

Secretaria de  
Assuntos Estratégicos

