



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA**

LEONARDO ANDRADE ROCHA

**CRESCIMENTO, FRONTEIRA TECNOLÓGICA E A HIPÓTESE
DA RELATIVIDADE DO CAPITAL HUMANO**

**TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, NA ÁREA DE
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, ESPAÇO E
MEIO AMBIENTE.**

PROFA. DRA. MARIA ESTER SOARES DAL POZ – ORIENTADORA

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR LEONARDO ANDRADE ROCHA E
ORIENTADA PELA PROFA. DRA. MARIA ESTER SOARES
DAL POZ.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "L. Andrade Rocha", is written over a horizontal line.

CAMPINAS, 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
Maria Teodora Buoro Albertini – CRB8/2142 –
CEDOC/INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP

R582c Rocha, Leonardo Andrade, 1982-
Crescimento, fronteira tecnológica e a hipótese da relatividade do
capital humano / Leonardo Andrade Rocha. – Campinas, SP: [s.n.],
2011.

Orientador: Maria Ester Soares Dal Poz.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Economia.
1. Capital humano. 2. Instituições. 3. Crescimento econômico.
4. Inovações tecnológicas. I. Dal Poz, Maria Ester Soares, 1956-
II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III.
Título.

11-058-BIE

Informações para Biblioteca Digital

Título em Inglês: Growth, technological frontier and the relative importance of human capital

Palavras-chave em inglês:

Human capital

Institutions

Economic growth

Technological innovations

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente

Titulação: Doutor em Desenvolvimento Econômico

Banca examinadora:

Maria Ester Soares Dal Poz

José Maria Ferreira Jardim da Silveira

Alexandre Gori Maia

Ahmad Saeed Khan

Eliane Pinheiro de Sousa

Data da defesa: 17-11-2011

Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico

Tese de Doutorado

Aluno: LEONARDO ANDRADE ROCHA

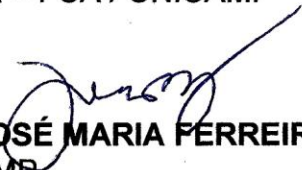
**“Crescimento, fronteira tecnológica e a
hipótese da relatividade do capital humano”**

Defendida em 17 / 11 / 2011

COMISSÃO JULGADORA



Profa. Dra. MARIA ESTER SOARES DAL POZ
Orientadora – FCA / UNICAMP



Prof. Dr. JOSÉ MARIA FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA
IE / UNICAMP



Prof. Dr. ALEXANDRE GORI MAIA
IE / UNICAMP



Prof. Dr. AHMAD SAEED KHAN
UFC



Profa. Dra. ELIANE PINHEIRO DE SOUSA
URCA/CE

*Dedico este trabalho a Deus,
meus pais: Raimundo Edmar
Nóbrega Rocha e Gesilda
Andrade Rocha, à minha esposa
querida Elisabeth Soares e sua
família, e aos meus irmãos:
Vanessa, Veruska e Edmar (In
Memoriam; aos meus sobrinhos
queridos: Júlia, Maria e
Edmarzinho; a Rosinha e aos
meus cunhados: João Marcos e
Gustavo, pelos cuidados
constantes e incentivo à minha
formação acadêmica e pessoal)*

AGRADECIMENTOS

Esta tese surgiu como um questionamento dos modelos mais atualizados de crescimento, que consideram a relação entre as variáveis de forma simples e linear, sem considerar os estágios de desenvolvimento de cada economia. É evidente que a política de educação influencia diretamente nas taxas de crescimento e nos padrões de desenvolvimento a longo prazo das economias. Isto, porque uma maior qualificação da força de trabalho permite aumentos na produtividade que repercutem diretamente na capacidade inovadora ou mesmo na capacidade de implementação de tecnologias já existentes. Neste sentido, a presente tese buscou contribuir para a política de educação mostrando sua ‘estreita’ relação com outras políticas, como a industrial e sua fragilidade quando se abstém da análise o estágio de aprendizado da economia.

Esta investigação se inspirou em um estudo detalhado dos modelos de crescimento schumpeterianos, ou da moderna escola de pensamento dos modelos de crescimento endógenos, ao qual se baseou na aplicação dos estudos de Joseph Schumpeter às sofisticadas ferramentas matemáticas e econométricas do ‘*mainstream*’. Esta escola, liderada por Phillippe Aghion, Peter Howitt, Jean Tirolle, Avinash K. Dixit, Joseph E. Stiglitz, Giovanni Dosi, Daron Acemoglu, dentre outras referências citadas ao longo do estudo, questionou e comprovou a importância de se incorporar os diferentes domínios de tecnologia, estágios de desenvolvimento e aprendizado, nos modelos simplificados de “estado estacionário”, abordados pela escola ortodoxa.

Esta “luta teórica” foi de grande importância na minha formação acadêmica, permitindo ampliar meu horizonte de conhecimento, bem como, dar maior atenção a outros temas da teoria, que não a pura e simples matemática aplicada. Isto não seria possível sem o aprendizado magnífico da UNICAMP, em especial do Instituto de Economia. Nesta influência, destaco os grandiosos debates nas aulas da Profa. Maria Alejandra, nas especiais conversas informais com os Professores Antônio Márcio (Tuca), José Maria (sobretudo este, em especial, na criação e modelagem matemática) e Bastiaan Reydon, e com os colegas de estudo, Paulo, Adriana, Divina, Andréia, Daniel, Izaias, Carol, e outros colegas que, diretamente ou indiretamente, me ajudaram, mas por um lapso de memória minha, acabei por não citá-los.

A grande contribuição do IE/UNICAMP na minha formação deu-se, sem dúvida e inegável da minha parte, no entendimento da dinâmica das políticas e da tecnologia, relacionando-se com as diferentes trajetórias de desenvolvimento. Portanto, esclareço minha afeição a este grande aprendizado na minha vida pessoal e profissional, cujos maravilhosos anos na UNICAMP me proporcionaram.

Não poderia ainda esquecer os funcionários exemplares como a Cida da Secretaria, a Tiana, Alessandro e demais funcionários do IE/UNICAMP.

Na extensão da minha família, agradeço em especial à minha avó Elisabeth por suas inúmeras orações ao meu sucesso e a minha felicidade, te amo vovó.

Aos meus grandes amigos, Guilherme e Aline, Renato, Paulo, Napiê e sua família, Saeed e Riffat, Raquel, Edgar, e a todos que não estão aqui citados.

Por fim, não poderia esquecer a minha orientadora e mentora, Profa. Dra. Maria Ester Dal Poz, que me incentivou a concluir o curso nos “momentos de desespero”, proporcionando grandes oportunidades de crescimento profissional nos trabalhos em parceria, e na sua família que me acolheu de uma forma tão especial. Muito obrigado por tudo.

“Peça a Deus que abençoe os seus planos, e eles darão certo.”
(PROVÉRBIOS, 16:3)

SUMÁRIO

RESUMO	xvii
INTRODUÇÃO	1
1. A EDUCAÇÃO COMO OBJETIVO PARA O DESENVOLVIMENTO DAS NAÇÕES	11
2. DA TEORIA DO CAPITAL HUMANO AO CRESCIMENTO	23
2.1 O Modelo de Lucas (1988)	28
2.2 A Abordagem de Mankiw, Romer e Weil (1992)	33
2.3 Modelo de Difusão Tecnológica de Nelson e Phelps (1966)	37
2.4 Modelo de Crescimento Schumpeteriano com Capital Humano	41
3. PROPOSIÇÃO DE UM NOVO MODELO TEÓRICO	49
3.1 O Ambiente Econômico	49
3.2 As Fontes de Crescimento da Produtividade	50
3.3 A Decisão do Empresário e as Condições de Equilíbrio	53
3.4 Equilíbrio, Convergência e Armadilhas do Crescimento	56
3.5 Políticas de Educação e os Avanços Tecnológicos	63
4. MODELO EMPÍRICO	69
4.1 Operacionalização das Variáveis	69
4.2 Modelo Econométrico	72
4.3 Estimação com Dados em Painel ou Longitudinais	73
4.3.1 Método com Efeitos Fixos	74
4.3.2 Método com Efeitos Aleatórios	76
4.3.3 Método de Máxima Verossimilhança	78
4.4 Método de Estimação: Variáveis Instrumentais (VI)	81
4.4.1 Método EC2SLS versus G2SLS	83
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	89
CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE	127

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Comparativo entre os sistemas Nacionais de Inovação entre as Economias de Industrialização Recente	21
TABELA 2 – Evolução dos indicadores de capital humano na literatura do crescimento econômico	69
TABELA 3 – Relação entre as variáveis do modelo econométrico	71
TABELA 4 – Consistência das estimativas segundo a metodologia adotada na estimação	76
TABELA 5 – Matriz de Correlação das variáveis do modelo	96
TABELA 6 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	97
TABELA 7 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	99
TABELA 8 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	101
TABELA 9 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	102
TABELA 10 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	103
TABELA 11 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	104
TABELA 12 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	106
TABELA 13 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	107
TABELA 14 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra	108
TABELA 15 – Estimativas da Equação Dinâmica	110
TABELA 16 – Estimativas da Equação Dinâmica	111
TABELA A.6 – Relação dos países adotados no modelo econométrico	133

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Crescimento do PIB per capita e a média de escolaridade entre 1960 e 2000	25
GRÁFICO 2 – Crescimento do PIB/L versus crescimento da PTF	89
GRÁFICO 3 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias de maior crescimento no período	90
GRÁFICO 4 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias de menor crescimento no período	90
GRÁFICO 5 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias sul-americanas	91
GRÁFICO 6 – Relação entre o crescimento do PIB/L e a convergência tecnológica ...	92
GRÁFICO 7 – Relação entre proximidade com a fronteira e o indicador de qualidade da infraestrutura local no ano 2007	93
GRÁFICO 8 – Relação entre o percentual de pesquisadores/setor em 2007 e a proximidade com a fronteira em 1960, segundo a amostra de países da RICYT	94
GRÁFICO 9 – Relação entre o logaritmo do valor adicionado das indústrias intensivas em alta tecnologia em 2007 e a proximidade com a fronteira em 1960, segundo a amostra de países da National Science Foundation	95
GRÁFICO 10 – Relação entre as estimativas dos parâmetros de escolaridade superior com a proximidade da fronteira em 2000	113
GRÁFICO 11 – Relação entre as estimativas dos parâmetros de escolaridade básica com a proximidade da fronteira em 2000	113

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Equilíbrio de estado estacionário do modelo de Solow-Swan com capital humano	35
FIGURA 2 – Relação entre o crescimento e as variáveis do modelo	44
FIGURA 3 – Relação entre a derivada do crescimento e as variáveis do modelo	45
FIGURA 4 – Crescimento e as Armadilhas da Não-Convergência	59
FIGURA 5 – Equação do Crescimento, distância da fronteira e esforços de imitação	62

RESUMO

Nas últimas décadas vários estudos têm enfatizado a importância do capital humano para o desenvolvimento das economias. Entretanto, muitos destes estudos não têm incorporado a idéia de que os diferentes estágios de desenvolvimento importam para que se tenha uma visão acurada do papel do capital humano em tal desenvolvimento. Neste sentido, distintos graus de proximidade com a fronteira condicionam os resultados da política econômica, de forma que os aspectos globais afetam o desempenho de cada economia. Para isto, esta investigação analisou os impactos da política de educação na taxa de progresso tecnológico e no crescimento dos países, conforme o grau de proximidade com a fronteira. As economias mais atrasadas demandam por recursos mais estruturais em relação aos investimentos estratégicos em Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I). Nesta mesma direção, outros estudos, como Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby, e Vandenbussche (2009), chegaram a conclusões similares, sinalizando a atualidade do tema. Para esta finalidade, construiu-se um modelo de crescimento schumpeteriano incorporando à produtividade, duas fontes de melhorias adotadas pelas firmas: os componentes de imitação e inovação. O estoque de mão de obra qualificada é alocado nas atividades intensivas de P&D inovadora das firmas. Já o estoque de mão de obra não-qualificada é alocado nos departamentos de implementação de técnicas gerenciais e planejamento já existentes, ou seja, estratégias adaptadas da fronteira. Cada empresário monopolista busca maximizar sua utilidade que é definida pelo consumo esperado menos os custos de contratação da força de trabalho qualificada e não-qualificada. Nas condições de otimização, são construídas duas funções de demanda por cada fator. A demanda do empresário monopolista em cada setor de insumos intermediários é dividida na contratação de mão de obra qualificada e não-qualificada. A função de demanda por fator não-qualificado depende positivamente da distância tecnológica em relação à fronteira. Ou seja, para as economias mais afastadas o trade-off entre C,T&I e os investimentos na criação de oportunidades tecnológicas, vai se tornando mais expressivo à medida em que a distância for aumentando. Para os setores mais avançados, a demanda por mão de obra qualificada

pode oferecer um rápido crescimento em relação aos setores mais atrasados. Para mensurar o estoque de qualificação e não-qualificação, foram utilizados os anos de escolaridade para cada nível de ensino: fator não-qualificado – anos de escolaridade média do ensino primário e secundário e; fator qualificado – anos de escolaridade média do ensino superior ou terciário. Este banco de dados é fornecido por Barro e Lee (2000) e é construído considerando uma defasagem de cinco anos entre 1960-2000. No modelo empírico construiu-se uma regressão do $\ln(\text{PTF})$, $\ln(\text{PIB}/\text{trabalhador})$ e das taxas de crescimento do PIB/trabalhador com função dos anos de escolaridade defasados ($t-1$) e da interação da escolaridade com o coeficiente de distância tecnológica defasado ($t-1$). As regressões foram estimadas com dados em painel adotando vários métodos computacionais de estimação. As primeiras estimativas revelaram que os anos de escolaridade da educação primária e secundária contribuem para a acumulação do PIB por trabalhador e da PTF nas economias mais afastadas da fronteira tecnológica. Já os anos de escolaridade do ensino superior têm um efeito aumentador do PIB por trabalhador e da PTF nas economias mais próximas da fronteira.

Os resultados da tese permitem, então, concluir que o subdesenvolvimento – pelo menos no que se refere à sua face da formação de recursos humanos – apresenta um caráter perverso: aqueles que não estão próximos à fronteira necessitam de esforços ainda maiores para dela se aproximarem.

Palavras-Chave: Capital humano, instituições, crescimento econômico, inovações tecnológicas.

Classificação JEL: I23, O14, O43, O47.

ABSTRACT

In recent years several studies have emphasized the importance of human capital for economic development. However, many of these studies have not incorporated the different stages of development to which the economies are found. In this sense, different degrees of proximity to the technological frontier induce the results of economic policy, so that the global aspects affecting the performance of economies. For this, our research examined the impacts of education policy on the rate of technological progress and the economic growth of countries according to the degree of proximity to the frontier. The most backward economies are demanding more on structural investments in relation to strategic investments in ST&I. In the same direction, other studies such as Vandebussche, Aghion and Megh (2006) and Aghion, Boustan, Hoxby, and Vandebussche (2009), reached similar conclusions, indicating the relevance of this research. For this, we constructed a Schumpeterian growth model incorporating on productivity, two sources of improvements adopted by firms: the components of imitation and innovation. The stock of skilled labor is allocated in the innovation activities by firms. Unlike, the stock of labor is unskilled allocated to departments for implementation of management standards and planning, ie, imitation strategies by firms. Each monopolist entrepreneur seeks to maximize its utility function that is defined by expected consumption less costs of hiring skilled labor force and unskilled. Under conditions of maximization are built two demand functions for each factor. The demand of the monopolist entrepreneur in each sector of intermediate inputs is divided in hiring skilled labor and unskilled. The demand function for factor unskilled depends positively on the distance to frontier , ie, to the backward economies, the trade-off between ST & I and investments on technological opportunities (basic infrastructure), becomes the more significant as the distance increases. For the most advanced sectors, the demand for skilled labor can offer a enhanced-growth in relation to the most backward sectors. To measure the stock of skilled and unskilled, were used average years of schooling within each education level: unskilled labor - average years of schooling in primary and secondary level; skilled labor - the average years of schooling in higher education or tertiary level. This database is provided by Barro and Lee (2000) and is built considering the five years between 1960-2000. The estimated model consisted of the

regression of $\ln(\text{TFP})$, $\ln(\text{GDP per worker})$ and the growth rates of GDP per worker with the years of schooling lagged (t-1) and the interaction between schooling and the coefficient of technological gap lagged (t-1). The regressions were estimated with panel data using various computational methods of estimation. Early estimates show that years of schooling of the primary and secondary education contribute to the accumulation of GDP per worker and TFP when the economy is further away from the technological frontier. The estimated parameters showed statistical significance and expected signs with the hypothesis of the investigation. Since the schooling years of higher education (tertiary) have an increased effect of GDP per worker and TFP when the economy approaches the frontier.

Key-Words: Human Capital, Institutions, Economic Growth, Technological Innovations.

JEL Classification: I23, O14, O43, O47.

INTRODUÇÃO

No Brasil, as matrículas na educação superior cresceram consideravelmente nos últimos anos, destacando a importância da educação para o avanço do país em direção aos padrões de desenvolvimento. Entre 2003 e 2008, estas matrículas aumentaram 46,47% ao longo do período, contra uma redução de -4,84% nas matrículas do ensino médio. Entretanto, observa-se uma falta de prioridade atribuída aos programas de ciência e tecnologia, com a baixa ênfase nos cursos de ciência e engenharia. Em 2006, o Brasil concentrava 18,9% das matrículas do ensino superior nos programas de ciência e engenharia, enquanto em outros países latino-americanos, esta proporção quase que dobrava, destacando Trinidad e Tobago (35,1%), Chile (33%) e México (31,1%)¹.

Com relação aos gastos públicos, relativos ao PIB per capita, por número de estudantes matriculados em cada nível, têm-se que, em 2007, 18% dos gastos públicos por estudante são alocados para o nível médio, contra 29,6% do ensino superior. Ainda considerando o mesmo ano, a Coreia do Sul investia 22,2% no ensino médio, contra 9% no ensino superior. Isto, sem contar que, a distribuição dos diplomados nas áreas de ciências humanas supera consideravelmente os programas de ciência e tecnologia, especialmente no Brasil, ao contrário da Coreia do Sul. Em 2003, 65% de todos os estudantes nas instituições universitárias públicas se formaram em alguma área das ciências humanas e 75% nas instituições particulares². Conforme Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008), isto apresenta uma verdadeira incompatibilidade entre as competências tecnológicas observada no Brasil, que também é visível pela grande assimetria entre as qualificações de nível superior e técnico. Este tem sido um dos principais problemas enfrentados pela América Latina, que ao longo da sua trajetória de industrialização, preocupou-se com questões quantitativas da política ao contrário dos aspectos qualitativos.

Assim, a política que direciona os gastos públicos em cada nível de educação está conectada com os potenciais do crescimento industrial e com as oportunidades de emprego que garantem estes investimentos. Desta forma, as diferenças entre o grau de aprendizado e de domínio de tecnologias condicionam quais os setores que devam ser priorizados para garantir o “máximo” crescimento e avanço, por investimento alocado. Tais estratégias maximizadoras do

¹ IPEADATA, IESALC (2006) e Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008).

² Dados do Banco Mundial.

crescimento e do avanço dependem dos arranjos institucionais, sendo estes os principais fatores de geração de trajetórias tecnológicas entre os países.

Neste sentido, a conectividade entre as políticas de educação e os avanços industriais torna-se evidente quando analisamos os diferentes tipos de política e de produtividade entre os países. Por esta razão, muitos estudos econométricos, tentam “equilibrar” o resultado de tais políticas incorporando os efeitos das diferenças tecnológicas observados entre países, regiões ou mesmo setores, dentro de uma economia particular. Aqui, não se discutirá a importância absoluta do capital humano, mas as suas diferentes concepções e relatividades acerca desta teoria no desempenho econômico quando se aborda os estágios de desenvolvimento.

A relação de causa-efeito do capital humano e do crescimento não é muito conhecida, neste sentido, vários estudos, por meio de metodologias econométricas que tentam controlar este viés de causalidade, têm dado grande ênfase nesta fragilidade. Entretanto, é inquestionável a importância da política de educação para o desenvolvimento de qualquer país.

Por esta razão, é imprescindível um estudo mais detalhado, destacando as reais necessidades e influência da política na mudança estrutural dentro da economia. A política de educação, no Brasil, tem sido um dos principais vetores de mudança ao longo dos últimos anos, como observado também em outros países. Contudo, resta saber o quanto “otimizada” esta política está sendo adotada para reduzir as diferenças observadas entre as economias mais desenvolvidas e as mais atrasadas.

Se a relação de causa-efeito não está bem definida, como incorporar este aspecto a um modelo mais abrangente? Se o desenvolvimento tecnológico determina a demanda por competências dentro de uma economia, os diferentes níveis de tecnologia condicionam a demanda por tais competências. Neste direcionamento, o grau de distância em relação à fronteira tecnológica pode se constituir em um importante parâmetro de definição aos diferentes estágios de desenvolvimento.

Em um contexto histórico, as elevadas taxas de crescimento de países como a Alemanha e o Japão no Pós-2ª Guerra, chamou a atenção dos pesquisadores econômicos para explicar a razão deste desempenho. Alguns economistas atribuíram este desempenho aos avanços tecnológicos da época; contudo, tais avanços dependiam de um outro fator que viria a ser um dos principais temas de estudo da economia moderna: os diferentes arranjos educacionais e de capital humano entre as sociedades. Desde as contribuições de Gary Becker, Theodore Schultz e Robert

Lucas, a educação tem sido associada a uma estratégia de crescimento nas economias mais desenvolvidas

A decisão entre alocar horas adicionais na educação e qualificação ou em contrapartida no lazer depende dos ganhos adicionais que o aumento da produtividade proporcione às pessoas. Consequentemente, os padrões de migração da mão de obra são influenciados pelas oportunidades que surgem com o desenvolvimento. Neste sentido, o crescimento das economias condiciona mudanças na qualificação da força de trabalho em decorrência dos avanços científicos e tecnológicos (SCHULTZ, 1960).

Uma vez que o alto nível de conhecimento serve de “apoio” para os avanços futuros, a relação entre os investimentos em capital humano e crescimento passam a se tornar mais evidentes na literatura empírica. No capital humano é incorporado o conhecimento e as habilidades necessárias ao progresso técnico, consequentemente, os padrões de desenvolvimento dependem dos investimentos para sustentar o crescimento das economias (BECKER, MURPHY E TAMURA, 1990).

Nos EUA, cada ano adicional de escolaridade parece aumentar os rendimentos em aproximadamente 10%, embora a taxa de retorno da educação varie, tanto ao longo do tempo quanto entre os países. O uso de variáveis, como os anos de escolaridade, para mensurar o capital humano vem difundindo a importância de políticas visando a qualificação da força de trabalho local para a geração e sustentabilidade do crescimento (KRUEGER E LINDAHL, 2001).

No modelo de Romer (1990) o capital humano é dividido em dois importantes componentes, um aplicado nos setores que não realizam P&D, e outro alocado nos setores intensivos em P&D. O estoque de capital depende do nível tecnológico e quanto mais pesquisadores são alocados nos setores de P&D, maior a taxa de progresso técnico e de bens de capital. Na condição de estado estacionário, a taxa de crescimento é uma função linear do progresso técnico e do estoque de capital humano alocado nos setores intensivos em P&D.

Muitas investigações sobre o tema revelam que, em geral, não se trabalha os canais de transmissão da educação na mudança organizacional e econômica das firmas. Por esta razão, a teoria tradicional deixa de captar os aspectos evolucionistas do aprendizado, quando as firmas adotam esforços de inovação baseados nos incentivos institucionais. Assim, a educação não pode ser tratada como uma simples variável endógena, mas no quanto ela é importante para as atuais estratégias das firmas (NELSON E WINTER, 1982).

Outros estudos³ vêm demonstrando a importância relativa do capital humano no sentido que, numa dada economia, o aumento da oferta de mão de obra qualificada tem impactos positivos no crescimento quando a economia está inicialmente próxima da fronteira tecnológica. Esta vertente de pensamento parte do princípio que os avanços da produtividade estão associados a dois componentes de melhoria, a imitação e a inovação. Quando a economia inicia com um relativo atraso, os retornos das atividades de imitação superam a inovação devido à elevada taxa de implementação das inovações da fronteira. Este pressuposto está fundamentado nas proposições de Alexander Gerschenkron⁴, que definiu a chamada “*Vantagem do Atraso*”.

Segundo Gerschenkron (1962), economias atrasadas no século XIX como a Alemanha, França e a Rússia cresceram mais rapidamente em relação às economias avançadas, como a Inglaterra, devido aos grandes investimentos de longo prazo e na adoção de tecnologias já existentes. A aplicação interna das tecnologias avançadas provenientes das economias mais desenvolvidas, constituiu-se na principal estratégia de rápido crescimento. As idéias de Gerschenkron (1962) serviram de base teórica para vários estudos, dentre eles, Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2006) que construíram um modelo de crescimento schumpeteriano com estratégias empresariais baseadas na imitação e inovação. Segundo os autores, quando a economia se encontra nos estágios iniciais do desenvolvimento, as firmas locais adotam estratégias baseadas no investimento de tecnologias e gerenciamentos já existentes, abdicando a seleção dos melhores gestores com idéias inovadoras. À medida em que a economia vai avançando em direção à fronteira, as firmas locais vão permutando para estratégias mais inovadoras e a seleção dos novos gerentes inovadores é crucial para a sobrevivência das firmas com maior nível tecnológico. O conhecimento passa a se tornar uma ferramenta necessária para as firmas inovadoras que desejam se perpetuar nos setores mais avançados.

Segundo Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) o efeito estimulador do crescimento, em decorrência de aumento marginal do estoque de mão de obra qualificada tem impactos positivos quando a economia é avançada. Adotando uma amostra de 22 países da OECD entre 1960-2000, os autores construíram um modelo de painel, com efeitos fixos e variáveis instrumentais, visando ilustrar a importância do estágio de desenvolvimento tecnológico para explicar a relação entre crescimento e capital humano. Construindo um indicador de

³ Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006), Aghion, Boustan, Hoxby e Vandenbussche (2009) e Aghion e Howitt (2009).

⁴ Gerschenkron, A. (1962). *Economic Backwardness in Historical Perspective*. Harvard University Press.

distância para fronteira tecnológica, o estudo comprovou que os anos de escolaridade da educação superior têm impactos significativos no crescimento quando a economia é avançada.

Logo, os canais de transmissão da educação no crescimento não são tão evidentes quanto parece. Ainda que seu impacto seja observado, muitas investigações não levam em consideração os erros de mensuração e o viés de variáveis omitidas em seus modelos de regressão. Este procedimento inadequado pode conduzir a conclusões um tanto “precipitadas” sobre esta relação direta entre capital humano e crescimento (KRUEGER E LINDAHL, 2001).

Além disso, muitos dos indicadores que captam este efeito, do capital humano no crescimento, podem incluir informações muito agregadas quando existem diversos tipos e alocações para o capital humano na economia. A distinção entre as diferentes possibilidades de aplicação do capital humano, bem como de suas características distintas, podem se constituir em uma das principais fontes de divergência econômica entre os países (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGUIR, 2006).

Outra importante consideração consiste na política de educação com um instrumento de apoio à política industrial de inovação. Muitos estudos têm apontado a precariedade de algumas das políticas educacionais, sobretudo nas economias emergentes, que desconsideram a sua aplicação subordinada à política industrial (BARTEL E LICHTENBERG, 1987). Desta forma, a fragilidade do capital humano aumenta quando os seus custos de oportunidade não são computados nos modelos de crescimento. Ao mesmo tempo, a política econômica pode não apenas concentrar-se na expansão da oferta qualificada de trabalhadores, mas na alteração dos incentivos, fazendo com que as firmas locais vejam os retornos das atividades de P&D inovadora e na contratação de mão de obra mais qualificada (AGHION E HOWITT, 1998).

Neste sentido, o debate controverso entre capital humano e crescimento vem trazendo a necessidade de novas investigações que visam diagnosticar melhor a direção, grandeza e eficácia de uma política de educação. O desenvolvimento deste estudo constituiu-se na resposta às seguintes perguntas: *as diferenças tecnológicas observadas nas economias globalizadas influenciam a alocação dos recursos humanos destinados ao avanço tecnológico? Em qual momento do estágio de desenvolvimento tecnológico as firmas demandarão por mão de obra qualificada ou não-qualificada? Quais setores ou países ganham mais com a formação do ensino superior (alta qualificação)? A formação de uma educação básica e um ensino técnico direcionado pode se constituir em uma política geradora de crescimento?*

A presente tese buscou responder estas dentre outras perguntas, desagregando os indicadores de educação (anos de escolaridade média por nível de ensino – primário, secundário e terciário ou superior) e sua interação com o grau de distância tecnológica dos países em relação à fronteira. Ressalta-se, também, que apesar de haver alguns estudos (ainda que poucos na literatura mundial) abordando a mesma natureza investigativa, pelo menos cinco fatores destacam a necessidade do presente estudo: (1) a ampliação da amostra, o que permite maior robustez ao modelo e validade das hipóteses indagadas; (2) a inclusão de variáveis que captam os incentivos na economia, destacando as estratégias das firmas em adotar imitação ou inovação tecnológica; (3) as distorções da política de educação quando não-acompanhada de uma política industrial de criação de demanda local por competências de alta qualificação; (4) os potenciais riscos de não-convergência (armadilhas econômicas) quando a economia desconsidera a conectividade dos arranjos institucionais (política industrial e de educação) e em último; (5) os efeitos da política na redistribuição das competências do mercado de trabalho, captado pelas diferenças salariais e nos incentivos.

Adotando uma amostra de 138 países no período de 1960-2007, construiu-se um modelo teórico, com uma abordagem de crescimento endógena schumpeteriana, e empírico, por meio de um painel com efeitos fixos, aleatórios, máxima verossimilhança e variáveis instrumentais, demonstrando que as economias mais avançadas maximizam suas estratégias de crescimento aumentando o nível de escolaridade do ensino superior. Foi criado um indicador de proximidade com a fronteira, o qual foi interagido com os anos de escolaridade média do ensino primário/secundário e superior. O resultado apresentado mostra que, nos estágios iniciais do desenvolvimento, os recursos qualificados destinados à P&D inovadora, enfrentam elevados custos de oportunidade devido ao potencial atraso em que a economia se encontra. Conforme Jones (2000, p.124) afirma “*o estoque de qualificação nos países em desenvolvimento é tão baixo porque as pessoas qualificadas não conseguem auferir, o retorno pleno de suas qualificações*”. Parte deste fato atribui-se ao baixo desenvolvimento dos negócios locais, além de arranjos institucionais que deixam de proteger (apropriação) ou incentivar a acumulação de competências.

Neste estágio, as firmas locais possuem um baixo padrão de cumulatividade tecnológica associado a uma possível escassez de oportunidades. Este custo de oportunidade ao fator qualificado pode desencadear um processo migratório da força de trabalho, buscando uma remuneração mais coerente com a qualificação do fator. Entretanto, a pesquisa não considerou o

efeito migratório no seu processo de desenvolvimento, concentrando a análise na demanda do empresário monopolista nos dois tipos de mão de obra: (i) a força de trabalho alocado nas atividades de adoção de tecnologias da fronteira, onde a qualificação é menos requerida para o desempenho da mão de obra, e; (ii) a força de trabalho alocado nas atividades mais intensivas de P&D nas firmas, ou seja, nas estratégias de criação de novos gerenciamentos, processos e produtos de alta tecnologia.

A demanda do empresário monopolista é função do desenvolvimento tecnológico, sendo este, condicionado à proximidade com a fronteira tecnológica. Ao contrário de algumas abordagens, a “faceta do capitalismo” se revela na complexidade de se construir modelos únicos de desenvolvimento. As diferenças globais podem influenciar de forma significativa o desempenho das economias (ROCHA E SILVEIRA, 2009). Além disto, a teoria da convergência condicional desconsidera os esforços realizados em cada país em inovação tecnológica e na superação das deficiências impostas pela precariedade da infraestrutura local (ROCHA E SILVEIRA, 2009 ; SILVEIRA, 2002).

Na mesma abordagem da Teoria da Convergência, as economias pobres cresceram mais rápidas, em média, do que as economias ricas (JONES, 2000). Isto se sustenta por considerar que ambas as economias se aproximam do mesmo estado estacionário. Neste raciocínio, a demanda por qualificação aumentaria com este crescimento, e as diferenças globais em tecnologia não afetariam direta ou indiretamente a demanda local. Entretanto, questiona-se, se o rápido crescimento das economias pobres impulsionaria a demanda local por competências em alta qualificação (a demanda como sendo uma função do crescimento), porque os trabalhadores qualificados tendem a migrar de países ou regiões pobres para países ou regiões ricas?

Como hipóteses levantadas pela investigação da tese, podem-se citar:

1. A agregação dos dados sobre o capital humano (medido pelos indicadores de escolaridade média em uma população economicamente ativa) deixa de captar os reais mecanismos de influência no crescimento;
2. Existe um antinomia entre as atividades de implementação/imitação de tecnologias da fronteira e as atividades de inovação pelas empresas. Este *trade-off* surge com o elevado custo de oportunidade da pesquisa em inovação quando se observa um atraso muito grande entre as empresas, regiões e países;

3. Para as economias mais afastadas da fronteira, a educação básica e técnica podem se tornar mais atrativa para a demanda local das empresas e consequentemente em um vetor de rápido crescimento em relação ao ensino superior;
4. À medida em que a economia se aproxima da fronteira, o ensino superior pode oferecer retornos maiores ao crescimento devido a uma maior importância das atividades de P&D inovadora dentro das empresas;
5. Um arranjo institucional articulado cria uma rede de políticas que podem tornar a própria política de educação condicionada à outra mais direcionada, como a industrial.

Definindo os objetivos gerais desta tese, procurou-se investigar as diferentes formas de capital humano e suas relações com o crescimento, servindo de amparo para uma política de educação mais ampla e que incorpore a visão de “Estado Desenvolvimentista” da economia. Especificamente, pretende-se:

1. Analisar as diferenças tecnológicas entre os países e sua influência na alocação de recursos estratégicos para o crescimento;
2. Identificar uma concepção sobre capital humano bem mais ampla do que se trata pela teoria ortodoxa. Destacando que sua influência no crescimento é menos direta em relação ao que se propõem alguns estudos;
3. Construir um modelo teórico e empírico que incorpore os diferentes níveis e especificidades do capital humano e da política de educação, proporcionando um instrumento alternativo da política econômica;
4. Avaliar o impacto dos diferentes níveis de capital humano no crescimento dos países quando se considera o estágio de desenvolvimento tecnológico de cada economia.

Para alcançar este objetivo, esta tese está dividida em 5 partes: o primeiro capítulo apresenta uma revisão histórica das políticas de educação e industrial na América Latina, e as suas diferenças em relação às economias de industrialização recente no leste asiático. Vários autores contrapõem as diferentes instituições formadas em cada região, relacionando estas diferenças à fatores de divergência econômica ao longo dos anos.

O capítulo 2 mostra uma ampla revisão teórica confrontando os vários modelos de crescimento, organização industrial e de capital humano, visando demonstrar a relativa fragilidade deste tema. Neste capítulo, apresenta-se o modelo de Lucas (1988) que internaliza os esforços da população entre alocar seu tempo na produção ou na acumulação de qualificação (aumento do capital humano). Em seguida, o modelo de Mankiw, Romer e Weil (1992) apresenta o componente do capital humano como um fator de produção que se acumula ao longo do tempo. Este processo de acumulação define a taxa de crescimento de longo prazo, mostrando que, nas condições de estado estacionário, os diferentes níveis de capital humano se constituem como o fator fundamental de divergência econômica. O modelo seguinte corresponde à abordagem de difusão tecnológica de Nelson e Phelps (1966), onde o capital humano é tratado como um fator estratégico que implementa as tecnologias da fronteira. Neste sentido, sua importância cresce quando o *gap* tecnológico aumenta, devido à rápida velocidade com que as tecnologias da fronteira melhoram a produtividades das economias atrasadas. O quinto e último modelo consiste na modelagem schumpeteriana de crescimento endógeno proposto pelos autores Vandebussche, Aghion e Meguir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby e Vandebussche (2009), que incluem a visão de capital humano qualificado e não-qualificado como fontes de melhoria na produtividade. De acordo com o modelo, existem duas ofertas de trabalho alocado nas atividades de imitação e menos intensivas em inovação e outro fator mais qualificado, que torna-se imprescindível para as firmas situadas próximas da fronteira. Neste exemplo, a massa de trabalhadores com ensino superior tem uma forte influência no crescimento quando a economia se aproxima da fronteira tecnológica (rápida velocidade de convergência). Para as economias menos desenvolvidas, a baixa qualificação, medida pela escolaridade básica e técnica oferece retornos maiores quando a economia está mais afastada da fronteira. O confronto destes modelos, apresentando suas contribuições e críticas de outros autores, consiste na principal base do modelo teórico da tese.

No capítulo 3, o modelo teórico apresenta a concepção do capital humano dividido em dois tipos: (i) o fator mais qualificado alocado nas atividades de P&D inovadora das firmas, e (ii) o fator menos qualificado distribuído nos departamentos de gerenciamento e implementação de tecnologias da fronteira. Partindo deste pressuposto, o crescimento da produtividade é definido pela alocação equilibrada dos dois componentes quando o empresário monopolista de cada setor maximiza sua utilidade. A partir do problema de otimização, constróem-se duas funções de demanda para cada fator, sendo que a demanda por fator não-qualificado depende da distância

tecnológica defasada do setor. Substituindo as funções de demanda na função de progresso tecnológico, a provisão de mão de obra menos qualificada estimula o crescimento das economias mais afastadas em relação ao fator mais qualificado. Isto pode se constituir em uma política diferenciada, dado que o aumento da fração de trabalhadores com qualificação superior conduz a um crescimento bastante residual para estas economias. Neste caso, a política pode se direcionar na acumulação do aprendizado, gerando uma melhoria mais rápida da produtividade. Entretanto, somente as estratégias de inovação podem conduzir a economia a uma trajetória sustentável de crescimento. Caso a economia não permute da imitação de tecnologias da fronteira para a inovação, uma trajetória de risco em direção a uma armadilha da não-convergência pode vir a surgir, comprometendo as trajetórias tecnológicas do setor. Quanto maior o número de setores que não adotam estratégias de inovação por um longo tempo do seu processo de desenvolvimento, maiores as chances da economia, como um todo, convergir para uma armadilha. A ligação entre as diferenças tecnológicas, composição do capital humano e trajetórias de risco, finalizam a contribuição teórica da tese.

Nos capítulos 4, apresentam-se o modelo empírico e as análises dos resultados, destacando as várias metodologias econométricas com dados em painel para dar uma maior robustez às hipóteses do modelo. Para isto, estimou-se o logaritmo do PIB per capita e da produtividade total dos fatores e o crescimento de ambas variáveis, como funções dos níveis desagregados de escolaridade e suas interações com o coeficiente de proximidade com a fronteira. A utilização do coeficiente de proximidade permitiu captar os diferentes contextos de desenvolvimento tecnológico e a sua influência na política. Métodos de estimação com efeitos fixos, aleatórios, máxima verossimilhança e de variáveis instrumentais, ampararam o modelo empírico e comprovaram as hipóteses da tese.

Por fim, o último capítulo apresenta as principais conclusões da tese, relacionando o modelo com uma nova metodologia de política que articula não apenas uma alocação eficiente de recursos, mas o entendimento da política segundo o estágio de desenvolvimento da economia. Este entendimento consiste na principal contribuição proposta pela tese.

1. A EDUCAÇÃO COMO OBJETIVO PARA O DESENVOLVIMENTO DAS NAÇÕES

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura mostrando os diferentes contextos entre educação e desenvolvimento. Até o início de 1990, progressos significativos em termos de cobertura e expansão do acesso à educação foram feitos na América Latina. Com relação às Metas Desenvolvimento do Milênio, a região praticamente havia conquistado um acesso universal à educação primária. Apesar deste resultado, a continuação e a conclusão do ensino primário foram inferiores ao “ideal”. Após duas décadas, a região tem registrado ganhos consideráveis nesta área, mas a conclusão do ensino, como um todo, parece improvável. Acima de tudo, a situação do ensino primário da região é boa, e, portanto, a atenção deve ser centrada no ensino secundário. Apesar dos progressos realizados no domínio do ensino secundário – principalmente em termos de cobertura – as disparidades no acesso, à continuação e a conclusão deste nível constituem uma prioridade para a região. Este “calcanhar de Aquiles” na luta para eliminar a pobreza, aumentar a produtividade e melhorar a competitividade torna-se o ator principal no palco de debates sobre desenvolvimento e convergência econômica. Uma atenção especial deve ser dada às insuficiências e desigualdades na qualidade da educação, evitando qualquer ameaça ao desenvolvimento econômico e social, além de constituírem os pilares da participação cidadã e da democracia⁵ (ECLAC, 2010).

Neste sentido, as políticas de educação nos fazem refletir sobre quais tipos de investimentos venham a contribuir para um rápido processo de convergência e no entendimento sobre a complexidade da educação no desenvolvimento dos países. Para uma melhor compreensão sobre estes dois fatores, a qualidade da educação deva ser priorizada e melhor

⁵ *The majority of international commitments regarding progress in education assume that education is a key component for development. Education is a means for improving a country's social, economic and cultural conditions. Increased levels of education in a population are linked to other key factors for development and wellbeing, such as productivity, social mobility, poverty reduction, building citizenship and social identity and of course, strengthening social cohesion. Education helps societies achieve growth, equity and participation, and plays a crucial role in economic growth, since it can be seen as a high-yield investment and a factor which spurs the creation of value. With added education, individuals increase their ability to make greater contributions—in a more diverse and efficient manner—to the productive development of a country. Moreover, education is one of the principle areas in which future inequalities can be reduced, as well as an outstanding means for overcoming poverty, thanks to the virtuous cycle of increased education, socio-occupational mobility and higher incomes. In addition, at the beginning of the XXI century, which has been a time of cultural conflicts and uncertainty, education helps us carefully analyze our world and develop projects and ideas that promote a multi-cultural vision of it. At a time fraught with profound questions about the workings of democracy, its institutions, the exercise of individual freedoms and citizen security, education could be a means for "training in citizenship" as well. (ECLAC, 2010, p.111)*

adequada dentro dos indicadores quantitativos de escolaridade. Segundo Schwartzman (2005, p.190):

O estudo internacional comparativo da OECD sobre “Competências de Leitura para o Mundo de Amanhã”, conhecido como PISA, permite situar o Brasil no contexto internacional, e ter uma idéia de sua evolução nos anos mais recentes. O estudo compara amostras de estudantes de 15 anos nos países da OECD e de vários outros que resolveram participar do estudo, entre os quais o Brasil e o Chile. Além disto, o estudo trata de identificar os fatores que podem explicar os diferentes resultados obtidos. Quase todos os países que participaram do estudo, entre os quais o Brasil, aumentaram o nível educacional médio de suas populações nos anos mais recentes. Comparando a educação da população entre 55 e 64 anos de idade nos 37 países que participaram do estudo, pode-se ver que, nos Estados Unidos, mais de 80% desta geração já tinha educação secundária completa, comparado com 65% para a média dos países da OECD, 30% para a Coréia, pouco menos de 30% para Argentina e Chile, menos de 15% para o Brasil, e cerca de 10% para o México. Na geração adulta mais nova, entre 25 e 34 anos, a percentagem nos Estados Unidos muda pouco, chegando a um teto de 90%; a OECD também se aproxima dos 90%; e a Coréia dá um salto espetacular, superando os Estados Unidos. Os países latino-americanos, no outro extremo, melhoram pouco. A Argentina passa um pouco dos 50%, superada agora pelo Chile, que se aproxima dos 60%; o Brasil toca os 30%, e o México permanece próximo dos 25%. Apesar de ter dobrado o número de pessoas com educação secundária completa nos 30 anos que separam uma geração da outra, a posição do Brasil, em termos relativos, piorou no período, passando da 32ª para a 34ª posição, enquanto Coréia passava da 24ª para a primeira posição.

Este diagnóstico, em termos relativos, mostra que, apesar dos países latino-americanos, especialmente o Brasil, terem apresentado melhorias substanciais na taxa de crescimento da produtividade do trabalho no pós-guerra, pouca atenção foi dada à redução do *gap* da produtividade em relação às economias mais avançadas. Este fato significa que, embora os termos absolutos mostrem avanços inegáveis da produtividade da mão de obra em decorrência de políticas direcionadas, é preciso analisar se os termos relativos tiveram influência benigna, aproximando as economias mais atrasadas das mais desenvolvidas⁶.

As grandes disparidades em termos de qualidade da infraestrutura educacional entre os países e regiões têm chamado a atenção para um novo tratamento da política de educação e sua interação com o desenvolvimento. O grande destaque no conceito de “estágios de desenvolvimento”, sobretudo para as economias emergentes, surge como uma forma adequada de

⁶ “Of the other countries studied, Brazil registered substantial improvements in the growth rate of labour productivity between 1990 and 1996, although it had made little progress in closing the relative labour productivity gap in the previous two decades.” (KATZ, 2000, p.68)

conduzir políticas econômicas conforme as necessidades de avanço de cada país (AGHION E HOWITT, 1998). A América Latina durante anos preocupou-se com a expansão dos formandos, enquanto que a qualidade da formação e as decisões de demanda pelos empregadores da indústria eram encaminhadas para um “segundo plano” de reajuste da política. De fato, a falta de conectividade entre a política industrial e educacional pode se constituir como um dos principais gargalos do processo de desenvolvimento da América Latina nos últimos 50 anos (AMSDEN, 2001).

Neste sentido, a verdadeira influência da educação no desenvolvimento ainda é um tanto desconhecida pelos pesquisadores. Muitas reflexões são feitas sobre esta relação, conforme Netto (2002, p.91):

A sugestão de Lucas desenvolve a velha intuição de que o desenvolvimento tem profundas ligações com a educação [Selowsky, 1962]. Na sua origem, entretanto, a educação parece mais ligada a fatores institucionais e religiosos. A correlação weberiana entre calvinismo e capitalismo talvez seja espúria e derivada do fato de a educação (aprender a ler para conhecer a palavra de Deus) ser o fator comum aos dois. Uma vez posto em marcha o processo, é certo que educação e desenvolvimento se reforçam mutuamente.

Neste caso, conforme Sochazcewski (2002, p.73-74), o fato de países desenvolvidos alcançarem tal estágio deve-se à educação ou *vice-versa*:

Resta saber, no entanto, o sentido da causalidade: se são países desenvolvidos por conta do perfil educacional elevado, ou se têm o perfil educacional elevado por serem desenvolvidos. Ainda que todos concordem com a importância da elevação do nível educacional do país, pouco se discutiu sobre os prazos em que esses investimentos retornariam. (...) Há que se fazer, no entanto, a distinção entre a formação educacional tradicional (fundamental, média e universitária) e a qualificação e a reciclagem da mão-de-obra em face dos avanços tecnológicos da produção.

Desta forma, o destaque da educação no crescimento ganha ênfase com as teorias do capital humano que surgem a partir da década de 1960, baseados nos fundamentos de Theodore Schultz, Jacob Mincer e Gary Becker. A partir da década de 1980, muitos modelos apresentaram suas contribuições “demonstrando” a importância do capital humano e da educação no crescimento e desenvolvimento dos países⁷. Muitas destas contribuições adotam indicadores

⁷ No próximo capítulo será apresentado um estudo detalhado destes modelos.

agregados de educação, como os anos de escolaridade média da população, para comprovar suas teorias e difundir “políticas de expansão dos índices” como justificativas dos padrões de desenvolvimento das “grandes economias capitalistas”.

Conforme Castro (2006, p.6):

Seja como for, tratamos de hipóteses imperfeitamente demonstradas, mas muito persuasivas. Os dados levantados no bojo do presente ensaio tampouco permitem uma resposta totalmente satisfatória. De resto, o elo entre crescimento e educação é uma controvérsia que vem de longa data. (...) Uma hipótese de trabalho bastante razoável é que hoje as restrições na quantidade e na qualidade da educação são causas necessárias para gerar o crescimento mortiço que vemos hoje. Ao mesmo tempo, melhorar a educação não será uma causa suficiente para o avanço da economia. Há muitos outros fatores em jogo e qualquer um que se desarranje é suficiente para bloquear o progresso. Ou seja, educação é necessária, mas não suficiente para o crescimento. Portanto, podemos cautelosamente concluir que educação ajuda, e muito. Mas o resto tem que estar certo. Se desarranjar uma peça da máquina, não será a educação que vai desbloquear o sistema.

Para tratar a educação como uma importante política ao crescimento é preciso compreender e analisar melhor a sua definição – em termos de qualidade, avanços gradativos da escolaridade, formação direcionada ao mercado de trabalho, etc. – e na sua relação com as variáveis do sistema econômico. Quanto aos avanços gradativos, cada fase da escolaridade deve ser alcançada com níveis mais altos de qualidade, para em seguida progredir aos níveis subsequentes. Entretanto, a eficácia de tais avanços depende de um contexto estrutural que não faz parte do planejamento da política de educação, mas de outras políticas articuladas que intensificam ou contraem os efeitos da educação no crescimento. Para os modelos matemáticos da economia ortodoxa, a educação consiste em uma condição necessária, mas jamais suficiente para o desenvolvimento de qualquer economia (CASTRO, 2006).

Na tentativa de captar estes “equívocos” da teoria tradicional, novas formas de pensamento e de contextualização surgem para evidenciar a importância da educação e de outros fatores integrados à “rede de complexidade econômica”. Para exemplificar esta nova condição teórica, quase todos os modelos que associam educação com crescimento admitem a elevada taxa de empregabilidade das novas competências que surgem a cada dia. Adotando uma visão diferente, podemos investigar a economia como vários estágios de aprendizado e de domínio das novas tecnologias que surgem a cada momento no tempo. Neste exemplo, podemos supor uma

enorme heterogeneidade de firmas com vários “graus de aprendizagem”, podendo demandar recursos mais qualificados ou não-qualificados. Esta decisão depende do potencial de aproveitamento da estratégia e do um maior grau de sobrevivência da firma no mercado. Tais fatores são relativos ao atraso tecnológico de cada firma.

Sendo assim, diferentes países possuem, em suas economias, diferentes firmas com demandas distintas para cada tipo de fator-trabalho. A associação de indicadores agregados pode deixar de captar estes “efeitos heterogêneos” das firmas, reduzindo a eficácia de uma determinada política. Em um cenário desfavorável, o desarranjo da política pode comprometê-la com futuros desequilíbrios que serão sanados com restrições ainda maiores em seus investimentos. A este nível “crítico”, os riscos podem se tornar estruturais condenando a economia a uma série de armadilhas de divergência econômica⁸.

Conforme Coad (2008), o conhecimento sobre os estágios de desenvolvimento permite um grande avanço na investigação sobre as fontes do crescimento, destacando as diferenças nos incentivos entre as economias. Partindo deste entendimento, o autor elabora duas importantes hipóteses em seu estudo:

- ❖ **Hipótese 1:** *Os investimentos em P&D inovadora consistem em uma estratégia mais rentável para as firmas líderes do que para as firmas mais afastadas da fronteira;*
- ❖ **Hipótese 2:** *As atividades de patenteamento tem impactos superiores na valoração de mercado das firmas líderes e pouco significativo para as firmas atrasadas.*

Adaptando as hipóteses do autor à demanda por mão de obra qualificada e não-qualificada, as firmas líderes alocam unidades extras de mão de obra com alta qualificação nas atividades de maior retorno. Como tais firmas se concentram nas economias da fronteira, o

⁸ “Firms differ widely in terms of their performance, and there is a case to be made for prescribing different strategies for firms conditional on the distance to the industry frontier. Leader firms, at the technological frontier, may be better suited to innovation, whereas laggard firms can experience relatively rapid productivity growth by exploiting existing technologies and imitating frontier technologies. Furthermore, backward firms should focus on improving production efficiencies whereas leader firms can seek to apply their proven competences to new areas, though growth, diversification, and exporting. (...) Leader firms also have the financial resources available to make such investments. Far from the frontier, however, there is considerable leeway for backward firms to improve their productivity levels merely through the application of existing knowledge on production techniques (i.e. ‘imitation’). Furthermore, these firms do not have sufficient ‘slack’ resources to invest in R&D. (...) An illustration of the special roles of innovation and imitation is provided by the Japanese electronics firm Matsushita (owner of the ‘Panasonic’ and ‘National’ brands). Matsushita started out by imitating existing technologies and became famous for its ‘me-too’ products, to the point where it earned itself the derogatory nickname ‘Maneshita’, meaning ‘copycat’ (Hall (2006)). Having achieved productive efficiency, however, it has focused on the design of new innovative products and has thus been able to establish itself as a world leader.” (COAD, 2008, p.2-3)

impacto da inovação, tanto no crescimento quanto na valoração dos seus ativos, supera ao das firmas mais atrasadas, sendo estas, proporcionalmente maiores nas economias mais afastadas da fronteira. Por esta razão, os padrões tecnológicos mais avançados complementam a mão de obra com alta qualificação, enquanto que a adaptação destas tecnologias, por meio da imitação, venha a complementar uma mão de obra menos engajada nas atividades de P&D inovadora. Assim, as economias possuem complementaridades diferentes entre tecnologias e mão de obra. Estas diferenças surgem com os diferentes estágios de desenvolvimento que condiciona a demanda por trabalho, conforme as necessidades de cada mercado. Uma demanda reprimida por mão de obra com alta qualificação pode não achar rentável, pelo menos a curto prazo, contratar este tipo de fator, que acaba se defrontando com elevados custos de oportunidade, principalmente nas economias mais afastadas da fronteira.

Primeiramente, poderíamos destacar que os altos padrões de educação são alocados aos setores mais estratégicos que empregam tais competências no dinamismo da tecnologia. Entretanto, sabe-se que somente alguns setores são intensivos em alta tecnologia e que possuem maior capacidade de aproveitamento do capital humano que é formado dentro da economia⁹.

Sendo assim, para as economias mais atrasadas, o desenvolvimento de tais setores é precário e aquém do mínimo para demandar recursos humanos com elevado grau de competências. Nos *Indicadores de Ciência e Engenharia*, elaborados pela **National Science Foundation - NSF**, tais setores são importantes para a construção de trajetórias dinâmicas de crescimento entre as economias¹⁰. Por esta razão, muitos estudos de desenvolvimento “concentram” as análises de formação de trabalhadores com alto nível educacional no único e exclusivo fator de divergência nos indicadores de produtividade e de riqueza. Contudo, entende-

⁹ “These industry groups are defined by the OECD and form the basis for databases of economic activity that over a large number of the world’s economies. Knowledge intensive services industries include the commercially tradable business, financial, and communications services, and education and health services, which are considered more nearly location-bound and closer to government functions. High-technology manufacturing industries include aircraft and spacecraft; pharmaceuticals; office, accounting, and computing machinery; radio, television, and communication equipment; and medical, precision, and optical instruments.” (NATIONAL SCIENCE BOARD, 2010, p.36, O-20)

¹⁰ “Governments in many parts of the world are acting on the conviction that knowledge- and technology-intensive economies create well-paying jobs, contribute high-value output, and ensure economic competitiveness. In response to changing opportunities, knowledge-intensive (KI) services industries and high-technology (HT) manufacturing industries have grown more rapidly than other segments of economic activity. In 2007, these knowledge- and technology-intensive (KTI) industries combined contributed just under \$16 trillion to global economic output—about 30% of world GDP. Initially these industries were the province of developed nations, but they have grown rapidly in developing markets. The global value-added volume for the largest aggregate—commercial knowledge-intensive services—increased from \$4.5 trillion in 1995 to \$9.5 trillion in 2007.” (NATIONAL SCIENCE BOARD, 2010, p.17, O-14)

se que as economias da fronteira administraram fortes políticas com grandes incentivos nos setores de alta tecnologia, “impondo” barreiras às economias em desenvolvimento e utilizando como justificativa a teoria das vantagens comparativas (FURTADO, 1959 ; 1969).

A falta de compreensão na relação entre educação e crescimento é bastante visível quando a análise se delimita à mera apresentação dos resultados numéricos. É preciso conhecer a conectividade entre os níveis de escolaridade, destacando o ensino superior, com as necessidades da demanda do setor industrial. A saber, nos EUA, as universidades diferem substancialmente de outros países desenvolvidos, destacando-se: (i) a elevada velocidade de resposta das universidades frente às necessidades da economia; (ii) o alto grau de conectividade entre as universidades e nos padrões de concorrência (competição por recursos, suportes financeiros, etc.); (iii) o tamanho das universidades que contrastam com os padrões europeus (isto permite o aumento da diversidade e especialização dentro do sistema educacional) e; (iv) um mapeamento que permite a implantação de pesquisas avançadas vinculadas a profissionais altamente qualificados (criação de demanda por competências dentro das instituições de pesquisa). (ROSENBERG, 2000 ; SUZIGAN E ALBUQUERQUE, 2011)

No Brasil, as instituições de ensino superior tiveram sua implantação oficial, um pouco antes da década de 1920. Neste mesmo período, a indústria esteve em uma posição de pouco destaque, ao contrário da agricultura de onde a demanda por competências voltadas às atividades de P&D industrial também se encontraram reprimidas e relativamente inalteradas em vários períodos do processo de industrialização¹¹ (SUZIGAN E ALBUQUERQUE, 2011).

Segundo Suzigan e Albuquerque (2011), ao longo deste processo de industrialização, a política foi contraditória em pelo menos dois pontos: ofereceu um protecionismo em muitos ramos industriais, porém, ao mesmo tempo, condicionou cortes orçamentários direcionados a programas de criação de capacidades em áreas intensivas em alta-tecnologia. Estes fatores

¹¹ “*To the belatedness and problematical nature of the process of institution building for the national innovation system must be added, also with negative connotations, the characteristics of the industrialization process, which placed limited and relatively unchallenging demands on the nation’s education and research institutions. Unlike agriculture, whose hegemonic position in the economy and society was capable of influencing, to some extent, scientific and technological progress, manufacturing industry had little or no influence until the end of the 1920s. Being mostly a subsidiary activity to agriculture in terms of direct demand, and dependent on agricultural income to fuel domestic demand, industrialization was restricted throughout this period by the fact that demand from the hegemonic sector — and society in general — was limited. Only from the 1930s onwards did industrialization become an autonomous process focused in the domestic market. Diversification of production advanced throughout until the end of the 1970s, but technological needs were limited and mostly directed to foreign markets in the form of imports of machinery and acquisition of technology.*” (SUZIGAN E ALBUQUERQUE, 2011, p.17)

conduziram a padrões tecnológicos predominantes com poucas demandas ao sistema científico e universitário. A proteção dos setores desacompanhados por investimentos expressivos em criação de competências tecnológicas, ocasionalmente conduziu a um “estrangulamento” nos esforços de inovação.

Neste cenário, a relação entre os principais agentes dinamizadores – governo, instituições de ensino superior e pesquisa e as empresas – depende de conceitos estreitamente relacionados com o estágio de desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, como os EUA e a Alemanha, apesar da predominância de grandes firmas na industrialização de ambos os países, as instituições de ensino e políticas públicas direcionadas para a geração e absorção de competências, tiveram um fator decisivo no plano e avanço tecnológico dessas economias (CHANDLER, 1990).

No Brasil e na América Latina, este laço conectando a “tríplice hélice”¹² esteve muito menos ativo, tendo em vista que a conectividade entre os atores foi construída sobre uma grande instabilidade da política mundial (principalmente no destaque às crises financeiras na década de 1970 e 1980), na dependência dos mercados externos (na forma de importação de maquinários e aquisição de tecnologias sem o desenvolvimento de algumas delas) e na existência de grandes conflitos sociais em que a política era moldada¹³. Ao mesmo tempo, a formação da mão de obra, especialmente no Brasil, não tem contribuído para uma modificação dentro das empresas, aumentando suas produtividades e permitindo ganhos em termos de inovação. Ao contrário, alguns estudos têm demonstrado que no Brasil, os indicadores de inovação e o treinamento

¹² “In recent years, a number of concepts have been proposed for modeling the transformation processes in university-industry-government relations. For example, national systems of innovation (Lundvall 1992; Nelson 1993) have been compared with regional systems (e.g., Gulbrandsen 1997; Gebhardt 1997; De Castro et al. 1998). From the network perspective, the governance level can be considered as a variable. Gibbons et al. (1994) noted that innovation is a fuzzy process: it requires the blurring of boundaries in what these authors have called “Mode 2” of the production of scientific knowledge.” (LEYDESORFF E ETZKOWITZ, 1998)

¹³ “The comparison between the experience of Far Eastern countries and Latin American ones is equally revealing (cf. Amsden (1989) and (2001), Wade (1990), Kim and Nelson (2000), Dosi, Freeman and Fabiani (1994), among others). In a nutshell, Korea - as well as other far-eastern economies - has been able to “twist around” absolute and relative prices and channel the resources stemming from “static” comparative advantages toward the development of activities characterized by higher learning opportunities and demand elasticities (Amsden (1989)). And they did that in ways which penalized rent-seeking behaviors by private firms. In fact, the major actors in technological learning have been large business groups - the chaebols - which were able at a very early stage of development to internalize skills for the selection of technologies acquired from abroad, their efficient use and their adaptation and, not much later, were able to grow impressive engineering capabilities. This process has been further supported by a set of institutions and networks for improving human resources (Amsden (1989)). All this sharply contrasts with the Latin American experience, where the arrangement between the State and the private sector has often been more indulgent over inefficiencies and rent-accumulation, and less attentive to the accumulation of socially diffused technological capabilities and skills.” (CIMOLI, DOSI, NELSON E STIGLITZ, 2006, p. 11-12)

promovido pelas empresas aos funcionários têm apresentado uma relação negativa e significativa, por meio de consistentes evidências econométricas¹⁴.

Conforme Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008, p.164-165):

Obviamente, um sistema educacional mais competente, que proporcionasse uma sólida formação básica, permitiria às empresas redirecionar seus recursos e treinamento para o aperfeiçoamento de habilidades técnicas específicas que pudessem estimular um maior grau de inovação no local de trabalho. Em suma, existe um claro vínculo entre capital humano e inovação, porém mais uma vez essa relação precisa ser desdobrada em componentes mais específicos para que as conclusões possam ser transformadas em políticas públicas. Para que haja um maior número de engenheiros mais qualificados, é necessário expandir o acesso ao ensino superior e enfatizar determinados tipos de profissão. No entanto, as relações entre a inovação e o nível médio de formação dos trabalhadores no chão de fábrica destacam a importância da educação básica.

Além disso, a formação, exclusivamente, não é capaz de resolver outros problemas de coordenação da política. É preciso um arranjo institucional que atue na formação com qualidade e na geração de empregos destinados a alocar as competências formadas para as atividades geradoras de renda. Segundo Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008, p. 168-169):

Há um consenso geral de que é necessário oferecer mais educação com melhor qualidade para aumentar a chance de emprego e de salários mais elevados, mas que apenas isso não é suficiente. Em particular, as taxas de emprego no Brasil pioraram para todos os trabalhadores durante os anos 90, dos analfabetos aos que completaram o ensino fundamental, médio e superior (BERG; ERNST; AUER, 2006), sugerindo entre outras explicações um descompasso na qualificação profissional. Esta é precisamente a razão por que o aperfeiçoamento e a adaptação da capacidade da força de trabalho são essenciais em uma economia global competitiva.

Com os avanços industriais, por meio de incentivos públicos adequados, a política de educação adquire um importante papel na geração e manutenção de competências direcionadas às necessidades industriais. Assim, não se pode negligenciar a importância da educação básica no ganho gradativo da competitividade entre os países, sobretudo para as economias mais afastadas da fronteira. Ao menos historicamente, alguns países inovaram em seus arranjos políticos e convergiram para os padrões de desenvolvimento da fronteira por meio da adaptação de

¹⁴ Isto evidencia que o treinamento tem servido para suprir “gargalos” da educação básica e no nivelamento, ao invés da expansão da produtividade e da eficiência dos trabalhadores. Para maiores detalhes, ver: World Bank (2007) e Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008).

conhecimento e tecnologia estrangeira. Conforme Rodriguez, Dahlman e Salmi (2008, p. 168-169) destacam:

Quando se defrontaram com a nova realidade que a economia do conhecimento estava impondo à força de trabalho, alguns países reagiram de modos diferentes. A Coreia do Sul e Cingapura, seguidos pela China um pouco mais tarde, decidiram investir maciçamente na educação básica. Esses países asiáticos inovaram em grande parte por meio da aquisição e adaptação de conhecimento e tecnologia estrangeira, na qual a capacitação básica – como discutimos anteriormente – desempenhou um papel essencial.

Estas diferenças entre as políticas implementadas no Leste Asiático e na América Latina evidenciam que as mudanças ocorridas entre os dois grandes “blocos de industrialização recente” se devem, em grande proporção, a diferentes “instituições promotoras do crescimento” e fatores históricos enraizados¹⁵. Nesta direção, a grande desigualdade social na América Latina, em especial no Brasil, permitiu uma trajetória desfavorável que impôs uma dinâmica de crescimento que, sistematicamente, reproduzia a exclusão e preservava a desigualdade¹⁶. Estes fatores também contribuíram para resultados distintos em países mais igualitários, como a Coreia do Sul, Taiwan, Cingapura e demais “tigres asiáticos”, em relação aos latino-americanos¹⁷ (FURTADO, 1987).

¹⁵ Segundo Castaldi, Cimoli, Correa e Dosi (2004), algumas economias desenvolvidas tiveram raízes históricas pouco influentes no seu desenvolvimento. Em especial, na América Latina, estas raízes, foram cruciais na trajetória de desenvolvimento.

¹⁶ “Moreover, the inequality of the colonial economy determined by slavery is a key historical reason for the polarity between “modernization and marginalization”, defined by Celso Furtado (1987) as a structural feature of Brazilian economic growth and underdevelopment in general. This polarity and the “inadequacy of technology” also identified by Furtado help explain the structural persistence of inequality in Brazil and suggest questions for evaluating their impact on science and technology (restriction of resources for and interest in the generalization of basic education and elimination of illiteracy, as well as preservation of the elitist nature of higher education, with significant consequences in terms of lack of critical mass to trigger positive feedback processes between science and technology).” (SUZIGAN E ALBUQUERQUE, 2011, p.13)

¹⁷ Amsden (2001) afirma que na América Latina, devido às grandes diferenças sociais, os conflitos pelos recursos eram maiores e por esta razão a política acabou priorizando resultados de curto prazo, como por exemplo, na compra de tecnologia, ao invés do aprendizado e da sua reprodução. Ao contrário da Ásia, a relativa igualdade social permitiu que a política, sem muitos obstáculos, pudesse concentrar os ativos e direcionar a industrialização em poucas representações nacionais (desta forma, priorizando a seleção entre os agentes). Estas diferenças de políticas permitiram distintas trajetórias de crescimento e desenvolvimento, onde a o resultado de políticas paralelas, como a de educação, acabou sendo conduzido a “ideais aristocráticos”, inevitavelmente, nas economias de maior desigualdade. Por esta razão, defini-se, o primeiro grupo, como economias integracionistas, enquanto o segundo, como independentes.

A Tabela 1 sintetiza as diferenças entre as políticas através dos Sistemas Nacionais de Inovação implantados no Leste Asiático e na América Latina, destacando o papel da coordenação da política em diferentes esferas de atuação.

TABELA 1 – Comparativo entre os Sistemas Nacionais de Inovação entre as Economias de Industrialização Recente.

<i>Sistemas Nacionais de Inovação e de Produção</i>	
<i>Leste Asiático</i>	<i>América Latina</i>
(1) Expansão do Sistema de Ensino com elevada proporção nas áreas de engenharia, ciência e tecnologia.	(1) Deterioração do Sistema de Ensino com baixa produção de formandos nas áreas de engenharia e tecnologia.
(2) Rápido crescimento das atividades de técnicas e científicas a níveis empresariais, especialmente em P&D inovadora.	(2) Estagnação do crescimento e declínio das atividades de P&D inovadora a níveis empresariais e outras atividades de aprendizagem.
(3) Política industrial ativa com elevados investimentos e incentivos locais para as atividades de P&D inovadora.	(3) Política industrial direcionada a internacionalização do capital (entrada de firmas estrangeiras com baixo aprendizado), com baixos investimentos e deterioração dos incentivos locais para as atividades de P&D inovadora.
(4) Desenvolvimento de uma massiva infraestrutura científica e tecnológica.	(4) Implantação de uma precária infraestrutura científica e tecnológica.
(5) Formação de agentes inovadores nas indústrias de alta tecnologia voltadas para as exportações.	(5) Carência na formação de indústrias de alta tecnologia com baixo desempenho exportador.
(6) Distribuição da riqueza relativamente igualitária.	(6) Elevada desigualdade na distribuição da riqueza.
(7) Políticas fortemente intervencionistas e com valorização do capital humano em todos os níveis.	(7) Baixos investimentos em recursos humanos e com uma demanda local reprimida nas áreas científicas e tecnológicas.
(8) Esforços políticos bastante sofisticados destinados a promover a aprendizagem mesmo sob regimes de proteção dos mercados domésticos (até a década de 1980).	(8) Baixos incentivos à aprendizagem durante longos períodos da política de proteção aos mercados domésticos.
(9) Política industrial coordenada com outras políticas (dentre elas, a de educação).	(9) Falta de coordenação entre as políticas.

Fonte: Elaboração própria, baseado em Castaldi, Cimoli, Correa e Dosi (2004), Cimoli *et al.* (2006), Etzkowitz e Brisolla (1999) e Amsden (2001).

Além deste resumo comparativo entre os “blocos de industrialização recente”, Etzkowitz e Brisolla (1999) mostraram que a própria política de educação acabou sendo estimulada isoladamente entre os níveis, dependendo das tendências políticas. No Brasil, esta

tendência ficou evidente, enquanto que na Coreia do Sul, os investimentos para cada nível foram gradativamente estimulados pelo “propósito do desenvolvimento”¹⁸.

Desta forma, os diferentes tipos de industrialização observados entre os países mostram a inconsistência de um modelo geral sem a incorporação dos diferentes aspectos do desenvolvimento. Estes aspectos, medidos pelos diferentes graus de proximidade com a fronteira, revelam as dificuldades em se obter resultados adequados nas políticas implementadas, sobretudo, para as economias mais atrasadas.

No intuito de elaborar um arranjo teórico que capte tais aspectos metodológicos, a presente tese se compromete a desagregar os principais indicadores de desempenho educacional de 138 países ao longo de 1960 a 2007 para analisar os diferentes impactos da educação no crescimento. Para alcançar esta finalidade, serão apresentados, a seguir, os diversos debates teóricos sobre o tema e suas “carências metodológicas”. O marco teórico inicia-se com as contribuições de Lucas (1988), com o papel da acumulação do capital humano como um fator fundamental de crescimento no longo prazo. Posteriormente, tem-se o modelo de Mankiw, Romer e Weil (1992) que incorporam o capital humano como um fator de produção com características similares de acumulação ao capital físico. Em seguida, o modelo de difusão de tecnologias de Nelson e Phelps (1966) introduz a importância das inovações tecnológicas como um fator de complementaridade ao capital humano. Logo depois, apresenta-se a inovação teórica de Vandebussche, Aghion, Meghir (2006) que decompõem os indicadores de educação e constroem, através de uma economia schumpeteriana, os mecanismos de influência do capital humano no crescimento dos países. Por último, o modelo proposto adota uma economia schumpeteriana onde as estratégias de inovação ou imitação definem qual o melhor “recurso humano” a ser alocado nas atividades mais rentáveis das firmas. A seguir serão apresentados os modelos de crescimento que incorporam os diferentes níveis de capital humano como um fator de divergência nos padrões de desenvolvimento entre as economias.

¹⁸ “Various differences can be observed between the situation in Southeast Asia and that in Latin America. These are not, however, related to the concepts of protected and non-protected industries. Asian countries social and economic policies included development of educational institutions at all levels, a high rate of R&D funding and initiatives to further social equality. Asian countries typically coupled their economic development policies with social policies designed to raise the human capital level of their countries while most Latin American countries pursued intermittent strategies. Along with improving primary and secondary education, Korea also consistently emphasized higher technical education as a crucial input for economic development. Brazil typically swung back and forth between ‘populist’ and ‘elitist’ human capital strategies, emphasizing one or the other depending upon which political tendency was ascendant.” (ETZKOWITZ E BRISOLLA, 1999, p. 340)

2. DA TEORIA DO CAPITAL HUMANO AO CRESCIMENTO

Vários estudos vêm demonstrando, por meio de metodologias econométricas, a importância dos altos níveis de educação para a geração de uma trajetória virtuosa de desenvolvimento econômico¹⁹. Para um país, a educação pode aumentar o capital humano da força de trabalho, o que eleva a produtividade do trabalho e possibilita um maior nível de equilíbrio do produto por trabalhador. A educação também pode estimular a capacidade inovadora da economia – destacando-se o conhecimento de novas tecnologias, produtos e processos aplicados diretamente no crescimento das firmas (HANUSHEK E WÖBMAN, 2007)²⁰.

Nos trabalhos pioneiros de Jacob Mincer, Theodore Schultz e Gary Becker, apenas a acumulação do capital físico não era responsável pela rápida ascensão, no pós-guerra, de países como a Alemanha e o Japão. Este avanço não se deve à aquisição de ações ou propriedades de empresas das grandes economias capitalistas, mas de outro investimento negligenciado pela teoria econômica²¹.

Becker (1964) ampliou o conceito de capital humano, destacando a escolaridade formal com fator de inclusão às novas fontes de acumulação do capital, como os treinamentos dentro das empresas (formações gerais e específicos – *on-the-job*), estudos específicos de fatores que estimulam a produtividade do trabalhador e outros investimentos necessários à melhoria da "saúde física e emocional." Conforme Becker (1964), o processo de crescimento gera uma maior divisão do trabalho e, conseqüentemente, uma especialização ainda maior da mão de obra engajada nas atividades econômicas.²²

¹⁹ Podem-se destacar estudos clássicos como Schultz (1961), Becker (1964) e Lucas (1988) e trabalhos recentes como Mankiw, Romer e Weil (1992), Barro (2001) e Psacharopoulos e Patrinos (2004).

²⁰ *"And it can facilitate the diffusion and transmission of knowledge needed to understand and process new information and to implement new technologies devised by others, again promoting growth."* (HANUSHEK E WÖBMAN, 2007, p.3)

²¹ *"Laborers have become capitalists not from as diffusion of the ownership of corporation stocks, as folklore would have it, but from the acquisition of knowledge and skill that have economic value. This knowledge and skill are in great part the product of investment and, combined with other human investment, predominantly account for the productive superiority of the technically advanced countries. To omit them in studying economic growth is like trying to explain Soviet ideology without Marx."* (SCHULTZ, 1961, p.3)

²² *"The concept of human capital is relevant not only to micro investments in education, training, and other skills and knowledge by individuals and firms, but also to understanding economy-wide changes in inequality, economic growth, unemployment, and foreign trade. The Introduction to the first edition indicates that research on the relation between human capital and economic growth stimulated much of the early interest in human capital. (...) We show that economic growth stimulates greater specialization even if the extent of the market is unimportant. However, the*

Esta interação entre progresso tecnológico, crescimento e capital humano foi bastante observada principalmente nos Países de Industrialização Recente (NIC – *Newly Industrialized Countries*). O rápido crescimento dos países asiáticos chamou a atenção de vários estudos²³. Países como a Coreia do Sul, Taiwan, Cingapura, e Hong Kong, que nos últimos cinquenta anos, mudaram de economias tecnologicamente atrasadas para os padrões de desenvolvimento das grandes economias capitalistas, despertaram novos aspectos qualitativos que influenciam diretamente o crescimento. A ascensão dos níveis de educação dos NIC's é um fenômeno frequentemente observado e questionado nos estudos de crescimento. Uma abordagem alternativa mostra os efeitos do aumento da escolaridade no “fator de criação” da economia, destacando a importância da formação de engenheiros, gestores e cientistas bem treinados nos avanços tecnológicos dos países. Esta formação tem sido uma importante vantagem comparativa na adaptação das novas oportunidades que surgem em um mercado com grande dinâmica tecnológica. Neste sentido, a educação foi fundamental para a transformação estrutural dos NIC's (NELSON E PACK, 1999).

Uma curiosa citação sobre o tema consiste na composição dos capitais intangíveis das firmas que têm apresentado uma evolução crescente, em termos de valoração de mercado, nos últimos 40 anos. As medidas de capital intangível – gastos em P&D, patentes e o capital intelectual da força de trabalho – têm apresentado diferenças internacionais na composição setorial das atividades tecnológicas, ainda que, tais medidas não apresentem sinais de convergência. Este capital específico depende da formação da mão de obra, o que o torna bastante “sensível” à estrutura de capital humano da economia. A velocidade com que os países vêm convergindo, centra-se, em grande parte, no processo acumulação do capital intangível das economias²⁴ (PAVITT, 1999).

analysis also demonstrates that specialization encourages economic progress. Under certain conditions specified, continuing progress in per capita incomes would not be possible without the increased specialization and greater division of labor that accompanies growth. But the interaction between progress and specialization can produce rapid economic growth.” (p.255-256)

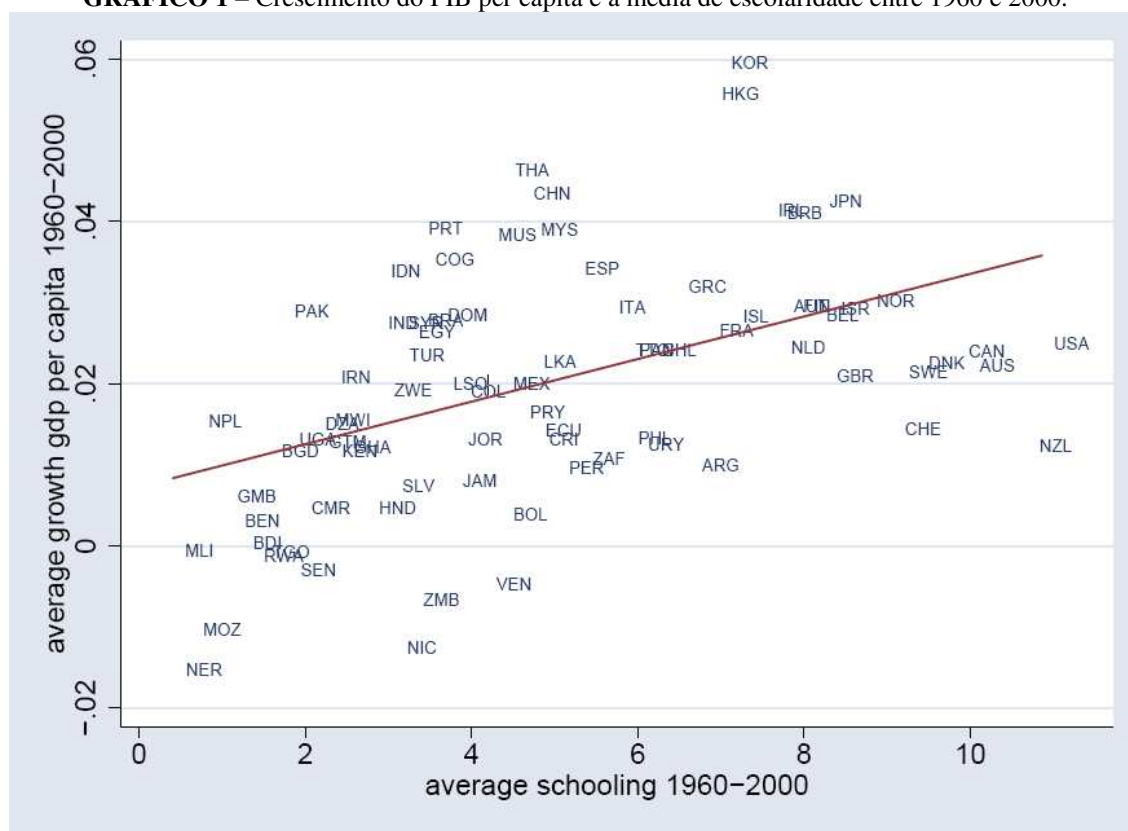
²³ Para um conhecimento aprofundado das economias de industrialização recente, ver Amsden (2001).

²⁴ *“The renewed interest over the past 10 years in the nature and determinants of international patterns of economic growth has confirmed that international “catch up” in technology and productivity is neither automatic nor easy, since it depends on investment in tangible capital, and intangible capital in form of education and training and - at least in the industrially advanced countries - of business expenditure on R&D and related activities. These factors explain why some developing countries have been successful in reducing the technology and productivity gap, while others have not.” (PAVITT, 1999, p. 289)*

Este *link* entre educação e crescimento tem apresentado um crescente destaque nas pesquisas que tentam explicar as diferenças nos padrões de desenvolvimento entre os países (CICCONE E PAPAIOANNOU, 2009). Seja pelo aumento da produtividade da mão de obra, pela expansão do “fator criatividade”, ou pela valoração do capital intangível das empresas, o debate ainda permanece em alta nos relatórios de competitividade do Banco Mundial²⁵ e nos objetivos para o ‘desenvolvimento do milênio’²⁶.

A figura 1 apresenta a relação entre o crescimento do PIB per capita dos países entre 1960 a 2000 e a média de escolaridade no mesmo período. A relação entre as variáveis se apresenta de forma direta, mas, quão direta ela é?

GRÁFICO 1 – Crescimento do PIB per capita e a média de escolaridade entre 1960 e 2000.



Fonte: Acemoglu (2009).

Em uma investigação sobre o impacto dos investimentos da educação no crescimento, Aghion, Boustan, Hoxby e Vandenbussche (2009) demonstraram que tais investimentos

²⁵ SALA-I-MARTIN, X. (2010) "The Global Competitiveness Index." The Global Competitiveness Report 2009–2010, World Economic Forum, Geneva: Switzerland.

²⁶ United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014): International Implementation Scheme, UNESCO (2005).

conduzem a resultados diferentes, conforme o grau de proximidade de cada economia em relação à fronteira. Os autores construíram um modelo teórico e empírico de crescimento endógeno (schumpeteriano) onde a taxa de progresso tecnológico é uma função crescente da proximidade com a fronteira. Para as economias próximas do limite tecnológico, a contribuição da mão de obra qualificada aumenta para o crescimento, ao contrário do fator não-qualificado. Este “efeito Rybczynski (1955)” demonstra que os setores mais intensivos em tecnologia realocam a força de trabalho para as atividades de inovação em vez da imitação²⁷.

Ampliando o modelo, os autores consideram os efeitos da imigração/emigração no crescimento da produtividade. Para as economias mais avançadas, a imigração reforça o efeito positivo da oferta de mão de obra qualificada na proximidade com a fronteira. Desta forma, existem pelo menos três fatores de influência do aumento da força de trabalho qualificada no crescimento: (a) o efeito Rybczynski – um aumento da mão de obra qualificada gera uma expansão mais do que proporcional da inovação; (b) quanto mais afastado da fronteira a economia se encontra, maior o diferencial dos salários com a fronteira tecnológica e consequentemente maior o incentivo para a migração de trabalhadores altamente qualificados em direção à fronteira (neste caso, menor o crescimento das economias atrasadas em decorrência de investimentos no ensino superior); (c) quanto maior a oferta de trabalho qualificado na fronteira maior o valor deste fator na produção, o que torna a migração de mão de obra menos atraente para as economias mais afastadas²⁸. Outro fato interessante consiste na inflação do custo de vida das regiões mais desenvolvidas. Isto ocorre devido o efeito migratório limitar a disponibilidade dos espaços geográficos nestas regiões²⁹.

²⁷ Desta forma, alguns fatos podem ser destacados: “(i) increasing the supply of (residual) skilled labor, leads to a reallocation of skilled and unskilled labor from imitation to innovation (the Rybczynski effect described above); (ii) that a reallocation of skilled and unskilled labor from imitation to innovation, is all the more growth-enhancing that the economy is closer to the technological frontier, so that innovation matters more relative to imitation.” (p. 10)

²⁸ “That the three effects reinforce each other in inducing a positive interaction between the supply of higher education and the proximity to the frontier (...) the fact that the higher the average migration cost as measured by M , the smaller the interaction between high education and distance to frontier, as the migration effect that drives this interaction is reduced with a higher M .” (AGHION, BOUSTAN, HOXBY E VANDENBUSSCHE, 2009, p. 15)

²⁹ “As the number of highly educated workers migrating to a frontier state increases, there may be congestion arising, for example, from the limited supply of land. This may generate rising housing prices in close-to-the-frontier states to which skilled workers are migrating. The higher cost of living in these states will also drive up wages of unskilled service workers who are needed by the skilled workers. These phenomena, which have been explored by Taylor et al (2003) will dampen but not reverse the migration effect. These phenomena do not affect the magnitude of the reallocation effect. Our estimates will, of course, reflect the “dampening” of the effect, although we have not included such phenomena in the model for the sake of clarity.” (AGHION, BOUSTAN, HOXBY E VANDENBUSSCHE, 2009, p. 15)

Neste mesmo raciocínio, Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006) mostraram que as atividades de inovação, mais intensivas na demanda por mão de obra qualificada, alteram o fluxo de mão de obra das atividades de imitação (intensivas em fator não-qualificado) à medida em que a economia se move em direção à fronteira. Definindo que ambos os estoques de trabalho compõem toda a oferta de mão de obra na economia, o aumento do número de trabalhadores qualificados reduz a disponibilidade da mão de obra não-qualificada devido ao processo de realocação do fator dentro da economia. Este processo tende a reduzir a produtividade da mão de obra não-qualificada nos setores mais atrasados à medida que a economia se aproxima da fronteira³⁰.

Na construção do modelo empírico, Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006) estimaram, em um painel com variáveis instrumentais, o crescimento da produtividade como função da fração da população com educação superior, da proximidade com a fronteira e da interação das duas variáveis. As estimativas revelaram os efeitos positivos da educação no crescimento para as economias da fronteira (os sinais mudam de negativo para positivo no modelo quando se incluem os efeitos fixos entre países). O sinal negativo do parâmetro estimado da variável proximidade com a fronteira (t-1) apresenta um processo de convergência tecnológica na amostra³¹.

Este debate tem apresentado estudos com diferentes conclusões onde o verdadeiro canal de transmissão do capital humano no crescimento ainda permanece “oculto”. Destacando que uma investigação mais apropriada deve considerar o estágio de desenvolvimento da economia, a negligência deste estágio pode conduzir o *policy maker* a uma alocação “equivocada” de recursos destinados ao crescimento. Neste sentido, a instituição pode adotar políticas diferenciadas conforme o grau de proximidade da economia com a fronteira.

Pensando nisso, Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002) propuseram um modelo que incorpore na economia um arranjo institucional descontínuo. Ou seja, instituições adaptáveis às necessidades de mercado que estimulam a imitação ou a inovação conforme os seus retornos ao

³⁰ Conforme os autores, duas implicações emergem da análise: “(P1) *The growth-enhancing effect of a marginal increase in the stock of skilled human capital is stronger the closer the economy is to the technological frontier;* (P2) *This complementarity between proximity to the frontier and stock of skilled human capital is weakened by the occurrence of a technological wave which increases the elasticity of skilled labor in innovation.*” (p.20)

³¹ “*We estimate our model including the interaction effect between proximity and the proportion of adults with tertiary education, but excluding country dummies. There indeed we find that the interaction between our education measure and proximity is positive, signifying that adults with tertiary education are more important for growth in economies closer to the frontier. The other side of this is that for countries with higher levels of skilled workers the lagged effect of proximity to the frontier on growth is less negative.*” (p.28)

crescimento. A base do modelo consiste em uma economia onde as empresas se comprometem tanto a inovar quanto a adotar tecnologias a partir da fronteira tecnológica. Em seguida, sugeriram que a seleção de gestores altamente qualificados depende da distância do país em relação à fronteira. Os autores distinguem as estratégias de imitação e inovação como duas fontes de melhorias da produtividade. Enquanto imitação permite a uma empresa a recuperação de um atraso relativo com a fronteira, a inovação permite à empresa uma melhoria da sua tecnologia e, assim, possivelmente, permutar para a liderança tecnológica. No modelo, a economia se defronta com um *trade-off* entre financiar os gestores improdutivos e já estabelecidos, incentivando a imitação, ou estimular a seleção de novos *managers* talentosos, promovendo, assim, a inovação. A escolha entre seleção/inovação e a implementação de tecnologias e processos gerenciais da fronteira (imitação) vai se tornando cada vez mais intensa à medida em que a economia se move em direção à fronteira. A permuta ou não da imitação para a inovação pode convergir ou divergir a economia dos padrões da fronteira. Quando a economia não muda de estratégias gerenciais da fronteira para a criação de novas formas de gestão, as firmas podem comprometer a trajetória tecnológica de inovação do setor, conduzindo a economia para uma armadilha da não-convergência. Quanto maior o número de setores que não permutam (da imitação para inovação³²), maiores os riscos em direção à armadilha.

Tendo em vista a grande divergência teórica que apóia ou não o impacto positivo da educação no crescimento, este estudo se compromete a testar as hipóteses levantadas pela literatura. A seguir, serão abordados os principais modelos de crescimento que incorporam o capital humano e sua relação com o crescimento.

2.1 O Modelo de Lucas (1988)

As diferentes taxas de crescimento e níveis de renda entre os países conduziram Robert Lucas a propor uma visão alternativa à vigente de Solow (1956). A dependência do crescimento da produtividade – progresso tecnológico – que a princípio não é explícita no modelo, motiva um preenchimento de informações que tentam explicar a natureza dessas diferenças e a propor políticas que visam reduzi-las.

³² Nesta mesma linha de estudo, destacando o sucesso de vários setores na economia coreana, ver: KIM, L. (1997) “*Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*” Boston: Harvard Business School Press.

Partindo disto, Lucas (1988) publica um estudo demonstrando um modelo onde a acumulação do capital humano é o principal fator para o crescimento de longo prazo. O autor considera uma economia fechada com mercados competitivos, agentes racionais idênticos e com retornos constantes de tecnologia. Na data “t” existem $N(t)$ trabalhadores ou horas trabalhadas na produção. A população de trabalhadores cresce exogenamente a uma taxa λ . O consumo per capita é definido em unidades do bem final, $c(t)$, para todo t. As preferências em torno do consumo corrente são dadas por:

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(c) N(t) dt : U(c) = \left[\frac{c(t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \right]; \sigma \geq 0; \rho \geq 0 \quad \text{L.1}$$

Onde os parâmetros “ σ, ρ ” correspondem, respectivamente, ao coeficiente de aversão ao risco e a taxa de desconto intertemporal. Cada indivíduo aloca seu tempo em suas várias atividades que afetam a sua produtividade ou o seu capital humano $h(t)$ em períodos futuros. A função de produção é definida por:

$$F(A, K, h, u, N) = AK(t)^{\beta} [u(t)h(t)N(t)]^{1-\beta} h_a(t)^{\gamma} \quad \text{L.2}$$

Os N trabalhadores disponibilizam uma fração do seu tempo u para o trabalho na produção corrente, o que resulta numa fração $1-u$ para a acumulação do capital humano³³. O nível tecnológico A é assumido constante³⁴. A variável $h_a(t)^{\gamma}$ mede as externalidades do capital humano médio na produção (o autor define como o “efeito externo” do nível de escolaridade, ao contrário do capital humano de cada indivíduo na produção – efeito interno³⁵).

Para completar o modelo, os esforços destinados à acumulação do capital humano $1-u$ devem ser relacionados à taxa de crescimento do nível h . Desta forma, $\dot{h}(t) = h(t)^{\zeta} G(1-u(t)) : 0 < \zeta < 1$. O parâmetro ζ reflete os retornos decrescentes do capital humano na taxa de acumulação. Por suposição, admite-se $\zeta=1$ ³⁶, o que significa uma relação linear na equação de acumulação do capital humano em $h(t)$. Adaptando conforme Uzawa (1965)

³³ No modelo todos os trabalhadores da economia possuem características homogêneas, ditos idênticos, e desta forma, se todos os trabalhadores com qualificação h e um tempo na produção u , logo o número de trabalhadores efetivos na produção é $N^e = uhN$. [p.18]

³⁴ Inicialmente Lucas (1988) admite que o nível tecnológico cresça exogenamente a uma taxa μ .

³⁵ A princípio Lucas (1988) define como *efeito externo* porque apesar de todos os benefícios a partir dele, nenhuma decisão da acumulação individual de capital humano pode ter um efeito significativo sobre ele. [p.18]

³⁶ Uma suposição tratada por Uzawa (1965).

e tomando G como linear, temos $\dot{h}(t) = h(t)\delta(1-u(t))$. Se nenhum esforço é alocado na acumulação do capital humano [$u=1$], então não existe acumulação [$\dot{h}(t)=0$]. Caso contrário [$u=0$], o nível de capital humano cresce a uma taxa máxima, [$\dot{h}(t)=\delta$]. Admitindo que a trajetória de crescimento ótimo coincida com a trajetória de equilíbrio competitivo ou *Walrasiano*, ou seja, $h_a(t) = h(t), \forall t \geq 0$, o problema de maximização é definido como:

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \int_0^\infty e^{-\rho t} N(t) U(c) dt \right\} \therefore U(c) = \left[\frac{c(t)^{1-\sigma}}{1-\sigma} \right] \\ & \text{s.a.} \begin{cases} \dot{K} = F(A, K, h, u, N) - N(t)c(t) \\ \dot{h} = h(t)\delta(1-u(t)) \end{cases} \end{aligned}$$

Definindo o Hamiltoniano de valor corrente:

$$\begin{aligned} H(K, h, \theta_1, \theta_2, c, u, t) &= \\ &= \frac{(c^{1-\sigma} - 1)}{1-\sigma} N + \theta_1 \left[AK^\beta (uhN)^{1-\beta} h^\gamma - Nc \right] + \theta_2 [h\delta(1-u)] \end{aligned}$$

A condição de 1ª ordem do Hamiltoniano é constituída pelas seguintes partes:

$$\frac{\partial H}{\partial c} = 0 \Rightarrow c^{-\sigma} = \theta_1 \quad \text{L.3}$$

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \Rightarrow \theta_1 (1-\beta) AK^\beta (uNh)^{-\beta} Nh^{1+\gamma} = \theta_2 \delta h \quad \text{L.4}$$

$$\dot{\theta}_1 - \rho\theta_1 = -\frac{\partial H}{\partial K} \Rightarrow \dot{\theta}_1 - \rho\theta_1 = -\theta_1 \beta AK^{\beta-1} (uNh)^{1-\beta} h^\gamma \quad \text{L.5}$$

$$\dot{\theta}_2 - \rho\theta_2 = -\frac{\partial H}{\partial h} \Rightarrow \quad \text{L.6}$$

$$\Rightarrow \dot{\theta}_2 - \rho\theta_2 = -\theta_1 (1-\beta+\gamma) AK^\beta (uN)^{1-\beta} h^{-\beta+\gamma} - \theta_2 \delta(1-u)$$

As condições de transversalidade são: (i) $\lim_{t \rightarrow \infty} K(t)\theta_1(t)e^{-\rho t} = 0$ e (ii)

$\lim_{t \rightarrow \infty} h(t)\theta_2(t)e^{-\rho t} = 0$. Reorganizando as equações L.3–L.6, e sabendo que em uma trajetória

balanceada $\dot{h}(t)/h(t) = \nu = \delta(1-u)$:

$$\nu^* = \frac{1}{\sigma} \left[\delta - \frac{1-\beta}{1-\beta+\gamma} (\rho - \lambda) \right] \quad \text{L.7}$$

$$\bar{\nu} = [\sigma(1-\beta+\gamma) - \gamma]^{-1} [(1-\beta)(\delta - \rho + \lambda)] \quad \text{L.8}$$

As equações ν^* e $\bar{\nu}$ correspondem respectivamente às taxas de crescimento eficientes e de equilíbrio do capital humano. As duas taxas podem convergir para um valor comum $\nu^* = \bar{\nu} = \delta$, que consiste na taxa factível máxima³⁷. Definida a taxa de crescimento do consumo como um valor constante $\kappa = \dot{c}(t)/c(t)$, temos:

$$\kappa = \left(\frac{1-\beta+\gamma}{1-\beta} \right) \nu \therefore \gamma \geq 0 \quad \text{L.9}$$

Na equação L.8, caso não existam efeitos externos do capital humano ($\gamma = 0 \Rightarrow \kappa = \nu$) o capital físico cresce à mesma taxa do capital humano, caso contrário ($\gamma > 0 \Rightarrow \kappa > \nu$) os efeitos externos podem induzir um crescimento do capital físico acima do capital humano³⁸. Adotando um $\sigma = 1$, a diferença entre as taxas de crescimento eficiente e de equilíbrio é dada por:

$$\nu^* - \bar{\nu} = \frac{\gamma(\rho - \lambda)}{1-\beta+\gamma} > 0 \quad \text{L.10}$$

É fácil observar que $\nu^* - \bar{\nu} > 0 \Rightarrow \nu^* > \bar{\nu}$, ou seja, as condições de equilíbrio caracterizam uma ineficiência ao incorporar os efeitos externos do capital humano. Segundo Lucas (1988, p.24) “*the inefficiency is small when either the external effect is small ($\gamma = 0$).*” A seguir será tratado o modelo de Lucas (1988) com ausência de efeitos externos do capital humano³⁹.

As proposições anteriores são preservadas, apenas considerando a ausência do fator de externalidade do capital humano. A função de produção é definida como L.2, apenas normalizando $N = 1$.

$$y = K^\beta [uH]^{1-\beta} \therefore \dot{H} = \delta H(1-u) \quad \text{L.11}$$

³⁷ Porém, segundo Lucas (1988) as taxas “*must not exceed the maximum feasible rate δ .*” [p.23]

³⁸ “*Notice that the theory predicts sustained growth whether or not the external effect γ is positive. If $\gamma=0$, $\kappa = \nu$, while if $\gamma > 0$, $\kappa > \nu$, so that the external effect induces more rapid physical than human capital growth.*” [p. 23]

³⁹ Esta parte do modelo está bem definida em Aghion e Howitt (1998, Cap.10, p.329-331) e Aghion e Howitt (2009, Cap.13, p.292-295) com algumas modificações algébricas. Os autores desconsideram a apresentação inicial que está fielmente apresentada conforme Lucas (1988).

Conforme a equação L.11⁴⁰ a função de produção utiliza uma fração do tempo da força de trabalho (u) e disponibiliza outra para a aquisição de qualificação ($1-u$) que aumenta a produtividade em períodos futuros (crescimento de H). Neste tipo específico de função, a aquisição de capital humano não envolve necessariamente externalidades (spillovers) entre os indivíduos da mesma geração. Ainda no mesmo raciocínio, a acumulação do capital humano apresenta retornos constantes ao nível de capital humano, o que produz uma taxa de crescimento positiva na condição de estado-estacionário igual a:

$$g = \frac{\dot{H}}{H} = \delta(1-u^*) \quad \text{L.12}$$

Onde u^* corresponde à alocação ótima do tempo dos indivíduos entre a produção e aquisição de qualificação (educação). Primeiramente, vamos considerar uma versão simplificada do modelo com o tempo discreto e gerações sucessivas de indivíduos que vivem apenas para dois períodos ($t = \{1, 2\}$). No primeiro período de vida, os indivíduos decidem escolher como dividir o tempo entre produção e acumulação de capital humano⁴¹. Abstraindo da equação diferencial do capital, o capital humano se acumula da seguinte forma: $H_2 - H_1 = \dot{H}_t = \delta(1-u)H_1$. O problema de maximização dos indivíduos é constituído da seguinte maneira:

$$\max_{u \geq 0} \{U(H)\} \therefore U(H) = \frac{(H_1 u)^{1-\sigma}}{1-\sigma} + \beta \frac{(H_2)^{1-\sigma}}{1-\sigma}; \beta = e^{-\rho t} \quad \text{L.13}$$

$$s.a. \quad H_2 - H_1 = \delta(1-u)H_1$$

Na equação L.13, o fator de desconto β , é inversamente relacionado com a taxa de preferência temporal ρ , conforme o modelo anterior. O parâmetro σ corresponde ao coeficiente de aversão ao risco. A condição de primeira ordem da solução do problema L.13 é dada a seguir:

$$\begin{aligned} (H_1)^{1-\sigma} (H_1 u^*)^{-\sigma} + \beta (1 + \delta(1-u^*))^{-\sigma} (H_1)^{1-\sigma} (-\delta) &= 0 \\ (H_1 u^*)^{-\sigma} - \delta \beta (1 + \delta(1-u^*))^{-\sigma} &\equiv 0 \\ u^* &= \frac{1 + \delta}{(\beta \delta)^{1/\sigma} + \delta} \end{aligned} \quad \text{L.14}$$

⁴⁰ O estoque de capital K se acumula ao longo do tempo segundo a mesma equação diferencial no modelo de Solow/Ramsey: $\dot{K} = y - c$, onde c representa o consumo corrente.

⁴¹ No período seguinte e último, esta escolha desaparece, tendo em vista que os indivíduos decidem alocar todo o seu tempo na produção (por que será?).

Conforme a equação L.14, num modelo com gerações sucessivas de 2-períodos, a fração do tempo ótima alocada para a produção (u^*) é decrescente na produtividade da escolaridade (δ) e crescente na taxa de preferência (inversamente mensurada por β). A partir desta equação é possível encontrar a taxa de crescimento de equilíbrio denotada por:

$$g = \delta(1 - u^*) \therefore \frac{\partial g}{\partial \delta} > 0; \frac{\partial g}{\partial \rho} < 0 \quad \text{L.15}$$

Continuando o raciocínio, a taxa de crescimento de equilíbrio é positivamente relacionada com a produtividade da escolaridade e inversamente relacionada com a taxa de preferência temporal.

O modelo de Lucas (1988) é bastante intuitivo com aplicações em diversos cenários da economia⁴². Contudo, o pressuposto de retornos constantes do capital humano na sua acumulação ainda permanece um tanto duvidosa quanto a evidências empíricas e teóricas. Segundo Becker (1964) tais retornos apresentam uma relação decrescente com o tempo de vida dos indivíduos, contrariando a hipótese do autor. Entretanto, a contrariedade desta hipótese impossibilita a existência de um equilíbrio estável no modelo, conforme Lucas (1988) afirma⁴³. A seguir, será apresentada outra abordagem relacionando o capital humano como um fator fundamental para o crescimento de longo prazo.

2.2 A Abordagem de Mankiw, Romer e Weil (1992)

Em 1992, um artigo intitulado “*A Contribution to the Empirics of Economic Growth*” publicado no **Quarterly Journal of Economics**, trazia uma ampliação ao modelo de Solow (1956 ; 1957) incorporando o fator capital humano como um insumo à função de produção e com uma nova equação diferencial às condições de equilíbrio do estado-estacionário.

Segundo Mankiw, Romer e Weil (1992) o capital humano é visto como um fator de produção que, similarmente ao estoque de capital físico, tem propriedades de acumulação por meio da alocação de recursos entre educar e consumir, e na depreciação por meio da defasagem do conhecimento no tempo.

O modelo proposto é o seguinte:

⁴² Para uma análise sistemática do modelo de Lucas (1988) com gerações sobrepostas, veja d’Autume e Michel (1994).

⁴³ Segundo Romer (1989), “*Lucas (1988) uses on a notion of human capital that grows without bound that apparently is quite different from the human capital measures like years of schooling and on the job training used by labor economists.*” (p.3)

$$Y = F(K, H, AL) \therefore F : \mathfrak{R}_+^3 \rightarrow \mathfrak{R}_+ \quad \text{MRW.1}$$

O termo “H” indica o nível de capital humano e $A > 0$ novamente corresponde ao parâmetro tecnológico. A função de produção agregada satisfaz as mesmas especificidades da função de Solow (1956):

$$Y_t = K_t^\alpha H_t^\beta (A_t L_t)^{1-\alpha-\beta}, \alpha + \beta < 1 \quad \text{MRW.2}$$

As famílias poupam uma parcela s_K para investimentos em capital físico e outra para investimentos em qualificação s_H . Como as propriedades de acumulação são preservadas, os mesmos investimentos tendem a se depreciar no tempo conforme as taxas de depreciação do capital físico e humano respectivamente, δ_K e δ_H . Fazendo $\hat{y}_t = Y_t / A_t L_t$ e consequentemente $F(K_t / A_t L_t, H_t / A_t L_t, 1) = f(k_t, h_t)$, temos:

$$\hat{y}_t = k_t^\alpha h_t^\beta \quad \text{MRW.3}$$

As equações diferenciais para acumulação do capital físico e humano são as seguintes:

$$\dot{k}_t = s_K f(k_t, h_t) - (\delta_K + g + n)k_t \quad \text{MRW.4}$$

$$\dot{h}_t = s_H f(k_t, h_t) - (\delta_H + g + n)h_t \quad \text{MRW.5}$$

As equações MRW.3 e MRW.4 constituem o mesmo entendimento do modelo tradicional de Solow. Existe um único estado estacionário para o plano (k_t^*, h_t^*) que fazem

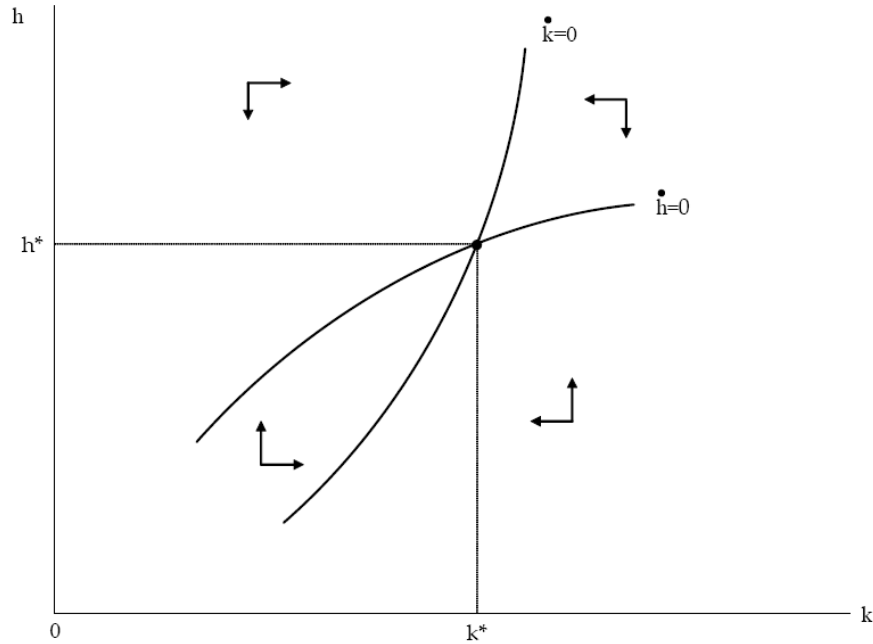
$\dot{k}_t = 0; \dot{h}_t = 0$, como pode ser expresso graficamente conforme a figura 2.

As curvas de acumulação dos fatores no tempo se interceptarão na condição de estacionariedade. Considerando como exemplo dois países com taxas similares de progresso tecnológico, sendo que um deles apresentou uma tendência maior em poupar mais recursos para o capital físico e humano, este, sem dúvida, tenderá a administrar um maior nível de produto por trabalhador. Este novo argumento destaca a importância de políticas voltadas para a qualificação, devido estimular os investimentos necessários às competências produtivas da mão de obra.

Os autores estimaram uma equação da renda por trabalhador em estado-estacionário como função da taxa de investimento em capital físico, da taxa de crescimento populacional e dos níveis de capital humano, mensurado pelo percentual da população com ensino secundário. Como

resultado, as estimativas apresentaram altos índices de significância estatística e de qualidade do ajustamento. Tais instrumentos serviram para validar a importância do capital humano na acumulação da riqueza e na redução das diferenças entre produtividade nos países⁴⁴.

FIGURA 1 – Equilíbrio de estado estacionário do modelo de Solow-Swan com capital humano.



Fonte: Acemoglu (2009).

Tomando em MRW.3, podemos reorganizar as equações MRW.3 e MRW.4 considerando $\dot{k}_t = 0; \dot{h}_t = 0$ (equilíbrio único de estado-estacionário) e achando o nível de renda por trabalhador na condição de estado-estacionário:

$$k^* = \left(\left(\frac{s_k}{n + g + \delta_k} \right)^{1-\beta} \left(\frac{s_h}{n + g + \delta_h} \right)^{\beta} \right)^{\frac{1}{1-(\alpha+\beta)}} \quad \text{MRW.6}$$

$$h^* = \left(\left(\frac{s_k}{n + g + \delta_k} \right)^{\alpha} \left(\frac{s_h}{n + g + \delta_h} \right)^{1-\alpha} \right)^{\frac{1}{1-(\alpha+\beta)}} \quad \text{MRW.7}$$

⁴⁴ “Now turning to cross-country behavior, consider two different countries that experience the same rate of labor-augmenting technological progress, g . This implies that the country with greater propensity to invest in physical and human capital will be relatively richer. This is the type of prediction can be investigated empirically to see whether the augmented Solow model gives us a useful way of looking at cross-country income differences.” (ACEMOGLU, 2009, p.102)

$$\hat{y}^* = \left(\frac{s_k}{n + g + \delta_k} \right)^{\frac{\beta}{1-(\alpha+\beta)}} \left(\frac{s_h}{n + g + \delta_h} \right)^{\frac{\alpha}{1-(\alpha+\beta)}} \quad \text{MRW.8}$$

Apresentando a equação MRW.8 em escalas logarítmicas e reorganizando $\hat{y}_t = Y_t / A_t L_t$ fazendo $y_t = Y_t / L_t$, temos a seguinte equação:

$$\ln y_j(t)^* = \ln \bar{A}_j + gt + \frac{\beta}{1-(\alpha+\beta)} \ln \left(\frac{s_k}{n + g + \delta_k} \right) + \frac{\alpha}{1-(\alpha+\beta)} \ln \left(\frac{s_h}{n + g + \delta_h} \right)$$

$$A_j(t) = \bar{A}_j \exp(gt) \therefore \ln \bar{A}_j = \varepsilon_j A \text{ com } \varepsilon \text{ ortogonal a todas as variáveis e } t=0.$$

As estimativas do modelo apresentaram uma significância estatística do coeficiente de capital humano com os níveis de renda per capita e com as equações de crescimento (convergência). A inclusão do capital humano ao modelo de Solow (1956) teve influência nas estimativas de investimento em capital físico, reduzindo seus valores e concluindo que o impacto das séries de investimento no crescimento é bem menor quando se incorpora o efeito do capital humano. O modelo mostra que 78% das diferenças de renda per capita são explicadas pelas variáveis do modelo, incluindo o capital humano (contra 59% sem a inclusão do capital humano – modelo tradicional de Solow) (ACEMOGLU, 2009).

Este considerável poder de explicação e a relação direta entre capital humano e crescimento, impõem uma forte restrição ao modelo⁴⁵: que os níveis de tecnologia são similares entre as economias e que os países tenham acesso da mesma forma à aquisição de tecnologias no mundo. Esta imposição conduz a interpretações onde as diferenças de renda per capita sejam explicadas, em sua maior parte, pelas diferenças entre capital físico e humano entre os países. Tal conclusão pode conduzir a um sério viés, pois admitir que a tecnologia se comporte como um bem público e comum para todas as economias implica na negligência dos fatores sob os quais a tecnologia surge (gastos em P&D, a legislação de propriedade intelectual, a importância do aprendizado tecnológico, etc.)⁴⁶.

⁴⁵ O pressuposto que o capital humano é um insumo na produção cria uma grande restrição onde os trabalhadores com diferentes níveis de escolaridade são substitutos perfeitos na produção (CASELLI E COLEMAN, 2006).

⁴⁶ Segundo Acemoglu (2009) existem pelo menos dois problemas ao adotar o pressuposto de tecnologia padrão (ortogonalidade tecnológica) para as economias. O primeiro consiste em admitir que os níveis de tecnologia não se relacionem com os níveis de investimento e capital humano. Isto é um grave viés ao modelo, pois nos países com elevada produtividade as decisões de investimento estão condicionadas aos benefícios da aplicação de determinadas tecnologias, o que também pode conduzir a um problema de causalidade reversa. Segundo, as sociedades com alto padrão de tecnologia investiram mais por várias razões, sendo as mesmas para acumularem mais capital físico e humano. Em um terceiro problema exposto por Howitt e Mayer-Foulkes (2005) consiste no descuido teórico em não

A seguir, um modelo de difusão tecnológica tenta explicar como os níveis de capital humano conduzem a diferentes taxas de progresso tecnológico. A importante contribuição desta abordagem consiste na associação do capital humano como estratégia de suporte para a geração das novas tecnologias da fronteira. Esta estratégia pode oferecer um rápido crescimento para as economias mais afastadas da fronteira.

2.3 Modelo de Difusão Tecnológica de Nelson e Phelps (1966)

A abordagem sugerida por Nelson e Phelps (1966) se constitui em uma nova geração dos modelos de crescimento endógeno, incluindo os componentes de inovação e as decisões de investimentos em P&D. A idéia principal por trás do estudo consiste no crescimento como sendo guiado por adaptações de melhorias na produtividade, onde a implementação de tecnologias da fronteira, pelas economias mais afastadas, depende do estoque de capital humano⁴⁷.

Conforme a investigação avança, evidências empíricas da Agricultura nos EUA sustentaram as hipóteses levantadas pelos autores. Agricultores com um alto nível de escolaridade apresentaram uma facilidade maior na implementação de tecnologias mais avançadas em relação aos agricultores com baixa escolaridade⁴⁸. Ao longo do desenvolvimento industrial do século XIX e XX, as grandes corporações tenderam a adotar uma ampla divisão do trabalho, onde a função dos departamentos que acompanhavam os avanços tecnológicos era atribuída a uma ocupação de trabalho muito específica: a dos cientistas nos laboratórios de P&D.

Para capturar este efeito da difusão tecnológica na criação e execução de tecnologias avançadas da fronteira, os autores propuseram uma função de produção tradicional que relaciona o capital físico, a força de trabalho e a tecnologia (*Harrod-Neutra*) a um dado nível de produção no tempo t .

considerar as condições iniciais aos quais as economias mais intensivas em P&D se diferenciam das economias menos intensivas. Ao longo dos séculos XIX e XX, as economias inicialmente atrasadas tiveram mais dificuldade para conduzir uma trajetória paralela de crescimento com as economias mais avançadas. A divisão dos clubes, entre economias intensivas em P&D e outras na execução de tecnologias da fronteira, foi ocultada em grande parte dos estudos de crescimento, enquanto as conclusões eram direcionadas às diferenças entre investimento e capital humano. As economias que convergiram, adotaram um modelo que no presente momento aparentou contrariar a ideologia vigente.

⁴⁷ “We suggest that, in a technologically progressive or dynamic economy, production management is a function requiring adaptation to change and that the more educated a manager is, the quicker will he be to introduce new techniques of production. To put the hypothesis simply, educated people make good innovators, so that education speeds the process of technological diffusion.” (p.70)

⁴⁸ Para alguns detalhes sobre o processo de difusão tecnológica, veja: Rogers, E. M. (2003). **Diffusion of innovations** (5th ed.). New York: Free Press.

$$Q(t) = F[K(t), A(t)L(t)] \quad \text{NP.1}$$

Na equação NP.1, K corresponde ao estoque de capital físico, L a força de trabalho e A ao “nível médio da tecnologia incorporado” a uma ampla variedade de bens de capital inicialmente adquiridos no processo produtivo que dependem do capital humano⁴⁹.

Em uma segunda parte, a taxa de acumulação da tecnologia depende do nível de escolaridade da economia (capital humano – h), sendo que esta está vinculada, proporcionalmente, à distância observada com a melhor prática tecnológica (fronteira) – T(t).

$$\dot{A}(t) = \Phi(h)[T(t) - A(t)] \therefore \Phi(0) = 0; \Phi'(h) > 0 \quad \text{NP.2}$$

$$T(t) = T(0)e^{\lambda t}$$

Conforme a equação NP.2, um alto nível de capital humano conduz a economia a um rápido crescimento, tornando o avanço mais fácil em direção a fronteira tecnológica. A fronteira cresce exogenamente a uma taxa λ . Reorganizando a equação, temos:

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = g_A = \Phi(h) \left[\frac{T(t) - A(t)}{A(t)} \right] \quad \text{NP.3}$$

De acordo com a hipótese levantada pelos autores, a taxa de progresso tecnológico g_A , é uma função crescente da capacidade educacional da economia $\Phi(h)$ e proporcional ao *gap*, $[T(t) - A(t)]/A(t)$.

Conforme os autores, a relação entre educação e crescimento se constitui no papel ativo das inovações tecnológicas e não na sua inclusão direta na função de produção. De acordo com Nelson e Phelps (1966) a inserção da escolaridade na função de produção, como posteriormente se previu na abordagem de Mankiw, Romer e Weil (1992), pode constituir em um grave erro de especificação da relação entre educação e da dinâmica de produção⁵⁰.

O estudo sugere que uma política pró-educação pode ser vista como uma estratégia de investimento nas pessoas, onde as pessoas mais educadas são portadores de um elevado capital humano. Outro fato interessante é que nas sociedades onde o capital humano é priorizado e

⁴⁹ “Alternatively, we could suppose that all technical progress is wholly “disembodied” and that (1) is the “aggregate” production function for the firm, industry or economy and A(t) is the average index of technology common to all vintages of capital, old and new.” [p.71]

⁵⁰ “Our view suggests that the usual, straightforward insertion of some index of educational attainment in the production function may constitute a gross mis-specification of the relation between education and the dynamics of production.” (NELSON E PHELPS, 1966, p.75)

construído, a relação capital intangível/tangível aumenta, tornando a tecnologia mais dinâmica em seu processo evolucionário⁵¹.

Contudo, o modelo ainda é alvo de determinadas críticas. Segundo Benhabib e Spiegel (1994 ; 2005) a equação diferencial proposta por Nelson e Phelps (1966) pode não convergir para uma solução de equilíbrio estável. Para corrigir este problema, os autores reformularam o modelo adotando a seguinte conveniência:

$$\dot{A}_i(t) = g(H_i)A_i(t) + c(H_i)[\bar{A}(t) - A_i(t)] \therefore \text{NP.4}$$

$$g'(H_i) > 0; c'(H_i) > 0$$

Conforme Benhabib e Spiegel (1994 ; 2005), a função $g(.)$ é crescente em H e corresponde ao componente de crescimento de $A(t)$ que depende do nível de capital humano mas independe do gap – $c(.)$ ⁵². Neste sentido, a economias atrasadas não apenas implementam tecnologias da fronteira mas, também, praticam inovações incrementais, permitindo um avanço gradual em direção à fronteira. Caso contrário, não faria sentido os estudos sobre convergência através da simples adaptação de tecnologias entre os países. Em direção oposta, a inovação representa o principal fator de divergência entre os países⁵³.

A falta do componente de capital humano que afeta diretamente a taxa de progresso tecnológico, segundo o modelo tradicional de Nelson-Phelps, levanta uma questão fundamental no estudo de Benhabib e Spiegel (1994): se um país ou uma determinada firma defronta em custos para inovação, porque não esperar e implementar as novas tecnologias da fronteira? Neste caso, o modelo de Nelson-Phelps carece de tal explicação, pois o componente de capital humano está condicionado às estratégias de adoção de tecnologias avançadas. Com isso, o modelo ignora o papel de determinadas economias buscarem gastar mais em P&D em relação a outras, e como as decisões de investimento em futuras tecnologias, a longo prazo, perdem importância quando o capital humano é concentrado apenas no domínio de tecnologias da fronteira (BENHABIB E SPIEGEL, 2005).

⁵¹ NELSON, R.R. ; WINTER, S.G (1982) **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Harvard University Press.

⁵² “Therefore, the level of education not only enhances the ability of a country to develop its own technological innovations, but also its ability to adapt and implement technologies developed elsewhere.” (BENHABIB E SPIEGEL, 1994, p.13)

⁵³ “Benhabib e Spiegel (1994) tested a slightly augmented version of the Nelson-Phelps model in which human capital not only facilitates the adaptation to more advanced technologies, but also makes it easier to innovate at the frontier.” (AGHION E HOWITT, 2009, p.298)

Ainda com críticas fundamentadas, o modelo de Benhabib e Spiegel (1994) não está “isento de algumas correções”. Dentre elas, podemos citar que o capital humano, em toda a sua complexidade, possa assumir diversas formas de aplicação, onde a “agregação indevida” dos dados relativos à sua medida pode conduzir a conclusões equivocadas nos modelos econométricos⁵⁴. Segundo Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006), a distinção entre os diferentes tipos de capital humano e suas distintas aplicações na economia consiste na principal tarefa da política em almejar resultados eficientes. Para as economias avançadas, apenas um tipo específico de capital humano contribui para os avanços da tecnologia. Esta incompreensão pode ter resultados mais drásticos quando a economia inicia com algum tipo de atraso, comprometendo a trajetória de convergência tecnológica⁵⁵.

A grande atenção dada a um determinado tipo de capital humano (como o capital humano qualificado – educação superior) pode desencadear uma alocação ineficiente de recursos, acelerando os padrões de divergência (ou na sua ausência quando devida). Um dos principais problemas neste tipo de diagnóstico têm sido as “barreiras teóricas” que os modelos de crescimento endógeno sofrem ao abordar suas metodologias. Contudo, grandes avanços nesta compreensão vêm surgindo nos últimos anos, tornando o tema um dos principais debates nas mesas de política econômica⁵⁶.

A princípio, o modelo proposto pelos autores faz a distinção entre os níveis de educação e a sua associação com o crescimento, dado o estágio de desenvolvimento das economias. A seguir, será apresentada esta abordagem destacando-a como referência à tese e às futuras investigações sobre este tema.

⁵⁴ Neste sentido é importante destacar ao leitor que esta presente tese se propõe a adequar o conceito e a importância relativa do capital humano, destacando as suas várias aplicações na economia conforme a sua necessidade. Sendo assim, Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006) deram uma grande contribuição neste entendimento (no efeito heterogêneo da educação no crescimento), destacando que os indicadores de capital humano deveriam estar desagregados (considerando os níveis de escolaridade) para permitir uma compreensão melhor da relação, educação e crescimento.

⁵⁵ “We show the importance of distinguishing between different types of human capital and of endogenizing their different allocations at different levels of development. In advanced economies, the potential for catching up is very small and so unskilled human capital contributes little to technological improvement. Therefore the relevant margin is not that of total human capital, but that of skilled human capital. (...) is crucial to distinguish between the two margins of primary/secondary versus tertiary educational attainment and that the latter type of education is a source of economic divergence.” (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGUIR, 2006, p.4-5)

⁵⁶ “The possibility that human capital might play a different role at different stages of development has not often been addressed in the literature, despite the theoretical possibilities opened by endogenous growth theories (see in particular Azariadis and Drazen (1990) and more generally the book by Aghion and Howitt (1998)).” (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGUIR, 2006, p.5)

2.4 Modelo de Crescimento Schumpeteriano com Capital Humano⁵⁷

A atenção do modelo centra-se no papel das inovações, como os avanços de melhoria na produtividade, para explicar as diferentes taxas de progresso técnico observadas entre os países. Ao longo das modernas teorias da organização industrial⁵⁸, esta contribuição, a partir da originalidade proposta em Aghion e Howitt (1992), postula que a competição industrial é guiada por um processo de “destruição criadora⁵⁹”, onde as novas tecnologias tornam obsoletas as tecnologias prévias. Segundo os defensores⁶⁰ desta nova Teoria, a competição tecnológica é o marco do desenvolvimento industrial.

Em uma forma resumida ao proposto por Vandebussche, Aghion e Meguir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby e Vandebussche (2009), considera-se uma economia com uma única produção de bem final em um mercado competitivo. O bem final é produzido utilizando como insumos bens intermediários e um parâmetro tecnológico que reflete a qualidade dos insumos. O mercado de insumos é não-competitivo e cada monopolista desfruta dos lucros do monopólio, caso acerte com a inovação. O tempo é uma variável considerada discreta e em cada período existe um estoque de mão de obra composto por L indivíduos cuja utilidade é, supostamente, admitida ser risco-neutra, ou seja, os indivíduos atuam objetivando maximizar o consumo esperado. Existem “ i ” insumos intermediários contínuos sob a condição $i \in [0,1]$, de acordo com a função de produção:

$$Y_t = L_t^{1-\alpha} \int_0^1 x_{it}^\alpha (A_{it})^{1-\alpha} di \quad \therefore \alpha \in (0,1) \quad \text{SCH.1}$$

O parâmetro de produtividade A_{it} reflete o nível de qualidade do insumo intermediário do setor “ i ” no tempo “ t ”, a quantidade de insumo intermediário no setor “ i ” produzido no período corrente corresponde a x_{it} . Em cada setor intermediário “ i ” uma unidade de produção tem acesso a tecnologia mais produtiva A_{it} que apenas uma “firma líder” desfruta de um monopólio temporário em cada período caso suas inovações obtenham sucesso. Segundo a

⁵⁷ Para maiores detalhes neste tópico, veja Aghion e Howitt (2009), capítulo 13.

⁵⁸ Veja a completa apresentação em Tirole (1988).

⁵⁹ Termo originalmente utilizado por Schumpeter (1943).

⁶⁰ Podemos citar: Romer (1990 ; 1994), Acemoglu (2009), Aghion e Howitt (1992 ; 1998 ; 2009), Grossman e Helpman (1991), Dixit e Stiglitz (1977) dentre outras referências teóricas.

equação SCH.1 o bem final produzido em cada setor intermediário corresponde à seguinte equação:

$$Y_{it} = x_{it}^{\alpha} (A_{it} L_t)^{1-\alpha} \therefore \alpha \in (0,1) \quad \text{SCH.2}$$

A firma líder no setor transforma cada unidade de bem final em uma unidade de insumo intermediário – tecnologia um-para-um (*one-for-one technology*) – através da produtividade padrão ou referência no setor A_{it} . O monopolista do setor atua juntamente com outras “firmas marginais” que buscam incessantemente *roubar* o seu mercado reduzindo a lucratividade do setor. O monopolista age maximizando seu consumo esperado por meio da maximização dos seus lucros – que conseqüentemente correspondem aos lucros do setor – que almeja obter em cada período quando acerta ao inovar, logo:

$$\Pi_{it} = p_{it} x_{it} - x_{it} \quad \text{SCH.3}$$

De acordo com a equação acima, o lucro corrente do setor “i” é auferido pelo monopolista que detém a tecnologia líder determinando a melhor qualidade de insumo intermediário ofertado. Desta forma a receita corresponde ao preço do produto intermediário, relativo ao preço do bem final da economia, multiplicado pela quantidade de insumo produzida menos o seu custo, que corresponde ao mesmo valor em unidades de insumo intermediário produzido.

O setor de bem final é competitivo, logo cada setor produtor de insumos intermediários na data corrente depara-se com uma curva de demanda inversa que iguala o preço do insumo intermediário com a produtividade marginal:

$$p_{it} = \frac{\partial Y_{it}}{\partial x_{it}} = \alpha \left(\frac{A_{it} L_t}{x_{it}} \right)^{1-\alpha} \quad \text{SCH.4}$$

A próxima seção apresenta como o monopolista decide alocar os recursos necessários à inovação, que está intimamente relacionada com a probabilidade de obter sucesso com a inovação. O modelo presume que todos os indivíduos podem imitar a tecnologia corrente após um período. Isto implica que as firmas que buscam a imitação tecnológica e gastam recursos de P&D imitadores não desfrutam de lucros correntes e restringem a lucratividade do setor por meio de uma competição de *Bertrand* com as firmas inovadoras.

Neste sentido, o monopolista do setor i escolhe $x_i(i)$ que resolva o problema de maximização:

$$\hat{x}_t(i) = \arg \max \{ p_t(i)x_t(i) - x_t(i) \} \quad \text{SCH.5}$$

A solução do problema de maximização SCH.5 gera uma função de demanda de equilíbrio:

$$\hat{x}_t(i) = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \quad \text{SCH.6}$$

Substituindo SCH.5 em SCH.3, obtêm-se os lucros de equilíbrio do monopolista do setor:

$$\hat{\pi}_t(i) = (p_t(i) - 1)\hat{x}_t(i) = \pi A_t(i), \text{ onde } \pi \equiv \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \quad \text{SCH.7}$$

Definição 1 – O equilíbrio estático no tempo “ t ” é o conjunto de variáveis $\{Y_{it}, p_{it}, x_{it}, \Pi_{it}\}$ para cada setor i que satisfazem as equações, iniciando a economia no período “ $t-1$ ”.

A melhoria na produtividade das firmas e de cada setor consiste na combinação de dois fatores⁶¹: (a) na adoção de mão de obra com elevada qualificação (S) engajada nas atividades de P&D inovadora das firmas e (b) na utilização de uma mão de obra menos qualificada (U) responsável pela implementação de estratégias gerenciais e processos tecnológicos inovados pela fronteira. A função de produtividade relaciona os dois tipos de fatores de forma não-linear da seguinte maneira:

$$A_{it} = f(U_{it}) \bar{A}_{it-1} + g(S_{it}) \gamma A_{it-1} \therefore A_{it} \leq \bar{A}_{it}, \gamma > 1 \quad \text{SCH.8}$$

As funções $f(\cdot)$ e $g(\cdot)$ associam cada conjunto de fatores a um resultado que ajusta o nível defasado da produtividade ou da produtividade da fronteira. A produtividade da fronteira cresce exogenamente da seguinte forma $\bar{A}_{it} = (1 + \bar{g}) \bar{A}_{it-1}$. Dividindo a equação SCH.8 pela produtividade da fronteira, tem-se:

$$\frac{A_{it}}{\bar{A}_{it}} = a_{it} = \left(f(U_{it}) + g(S_{it}) \gamma a_{it-1} \right) (1 + \bar{g})^{-1} \quad \text{SCH.9}$$

Definição 2 – O equilíbrio dinâmico é o conjunto de variáveis $\{U_t, S_t, a_t\}_{t=1}^{\infty}$ que satisfazem a função SCH.9 de evolução tecnológica da economia.

Integrando os setores, temos a proximidade tecnológica da economia:

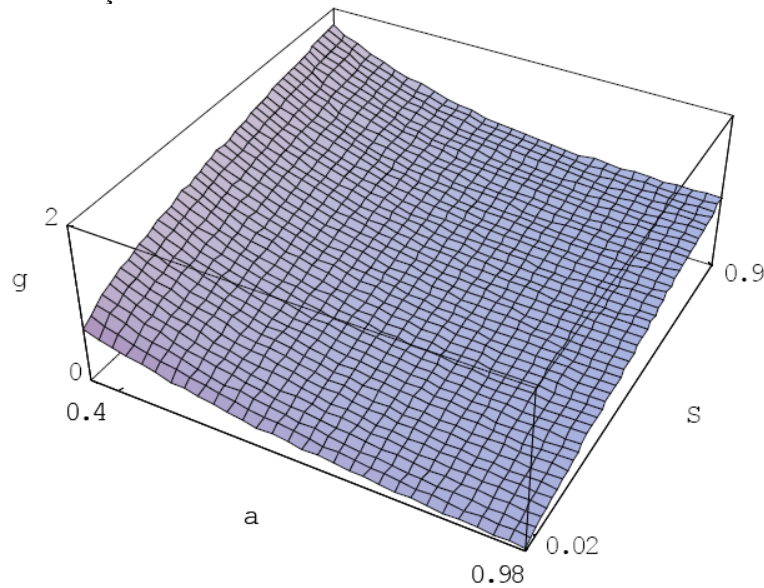
⁶¹ Os autores definem o fator qualificado como o número de trabalhadores com educação superior (terciário) e o não-qualificado como o número de trabalhadores com educação primária/secundária. No estudo foi adotado o percentual da população em cada critério definido, utilizando a base de dados de Barro e Lee (2000).

$$a_t = \left(1 + \bar{g}\right)^{-1} \int_0^1 \left(f(U_{it}) + g(S_{it})\gamma a_{it-1}\right) \cdot di \quad \text{SCH.10}$$

De acordo com a equação SCH.10, em uma economia que se inicia no período $t-1$ com um relativo atraso (a_{t-1} muito pequeno), a importância do fator qualificado na redução do gap tecnológico é pequena para o período seguinte t . Isto ocorre devido à escassez de oportunidades quando a capacidade tecnológica é baixa (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGUIR, 2006).

As Figuras 2 e 3 mostram a relação das taxas de crescimento com as variáveis de proximidade com a fronteira (a_t) e tipo de fator. Os autores adotaram programação matemática e simulação, com valores pré-definidos nas funções, por softwares avançados de análise numérica⁶².

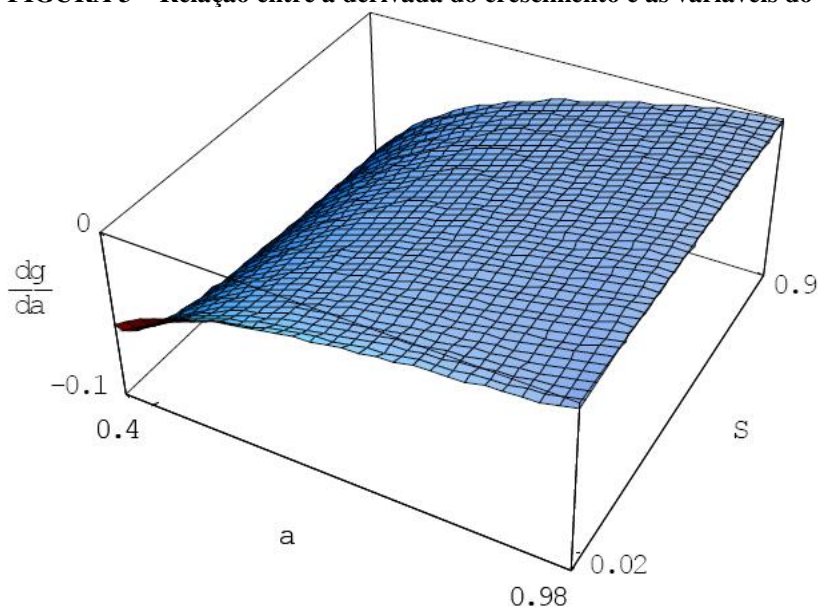
FIGURA 2 – Relação entre o crescimento e as variáveis do modelo.



Fonte: Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006).

⁶² Ao longo da nova abordagem proposta pela tese, apresentam-se gráficos similares por meio de funções diferentes do modelo. Adotam-se valores específicos para as funções e obtêm-se, por meio de simulação numérica, gráficos tridimensionais sem muita perda de generalidade. A importância destes gráficos para a tese consiste no “manifesto” de relações não-lineares entre as variáveis de educação e crescimento, e da impossibilidade de determinados efeitos serem tratados em modelos econométricos.

FIGURA 3 – Relação entre a derivada do crescimento e as variáveis do modelo.



Fonte: Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006).

Os autores testaram o modelo por meio de métodos de estimação com dados em painel com efeitos fixos, aleatórios e variáveis instrumentais. Teste de posto da matriz de regressores endógenos foi adotado para testar a validade dos instrumentos.

Foi utilizada a base de dados de Barro e Lee (2000) para quantificar o estoque de mão de obra qualificada e não-qualificada⁶³. Considerando o percentual da população com ensino superior, esta variável interagida com o coeficiente de proximidade da fronteira apresentou estimativas de parâmetros positivas e coerentes com o modelo teórico. Neste sentido, o indicador de educação qualificada é mais importante para o crescimento quando a economia se aproxima da fronteira tecnológica (parâmetro significativo a 1%)⁶⁴. Adotando os anos de escolaridade de cada grupo de fator, a interação entre a escolaridade do ensino primário e secundário com a

⁶³ Conforme a metodologia adotada nesta tese, os autores utilizaram os anos de escolaridade e o percentual da população com educação terciária e secundária como Proxy para as medidas de capital humano. Contudo os autores adotaram uma metodologia diferente para calcular a produtividade total dos fatores – PTF. Nesta Tese, foi utilizada a mesma metodologia neoclássica de cálculo para a PTF (empiricamente fundamentada por vários estudos aqui citados), considerando-a como Hick's Neutra.

⁶⁴ “Very similar conclusions can be drawn when we use the De la Fuente and Domenech (2002) data, where we impose the same groups as in the Barro and Lee (2000) data set. The coefficients obtained using the De la Fuente and Domenech (2002) data set are of comparable precision and the threshold for a positive impact of tertiary education on growth is lower at 60% of the frontier. The results are therefore consistent with each other and confirm our original implication. Most and maybe all OECD countries would benefit from having a larger fraction of skilled workers in 2000, according to our estimates.” (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGHIR, 2006, p.30)

proximidade da fronteira, apresentou um efeito negativo e significativo, ao contrário da educação superior, confirmando as hipóteses levantadas⁶⁵.

As hipóteses confirmadas pelo estudo mostram a relatividade do capital humano no crescimento. Contudo o modelo carece de alguns aspectos metodológicos. Dentre eles, podemos destacar a relação entre o crescimento com a taxa de acumulação do capital humano que poderia ser aplicado ao modelo empírico, mas, não foi utilizado. A associação do crescimento do PIB por trabalhador com a taxa de crescimento do capital humano pode oferecer uma ferramenta analítica adicional na investigação. Conforme Barbosa Filho e Pessoa (2010, p.287-288):

“Tanto o trabalho de Benhabib e Spiegel (2005) quanto o de Vandebussche, Aghion e Meghir (2006) apresentam a deficiência de supor que o efeito do capital humano ocorre na forma de facilitador de adoção de novas tecnologias. Isto, pois ao calcular a evolução da PTF para as diversas economias não consideram o crescimento do capital humano. (...) Esta omissão pode explicar a importância que o nível do capital humano apresenta nas suas regressões.” (p.287-288)

Ao contrário, o modelo centra-se na relação das taxas de crescimento com o nível de cada capital humano, sem que, na análise, a expansão do estoque de capital humano seja vista com um aumento ou não do crescimento. No modelo empírico, é importante lembrar que a política de educação pode ser conduzida não apenas para melhoria dos arranjos educacionais. Isto porque uma instituição que aumente os retornos das atividades de imitação/implementação pode oferecer, naturalmente, uma distribuição da força de trabalho para as atividades menos intensivas em P&D inovadora. Este alto custo de oportunidade da pesquisa, pode se constituir como um instrumento necessário para um adequado aprendizado tecnológico e, posteriormente, na mudança gradativa para as atividades mais intensivas em inovação, seguindo um planejamento coerente de desenvolvimento (KIM, 1997). É importante citar que as estratégias das firmas em adotar práticas de inovação, condicionadas a uma política econômica, podem ter uma forte influência na redistribuição dos empregos e dos salários. Esta redistribuição conduz a demandas

⁶⁵ “By contrast the years of primary/secondary have a negative interaction with the proximity to the frontier, implying that given the level of tertiary education more primary/secondary educated individuals are decreasingly contributing to growth when a country approaches the frontier. However this effect is not significant. These two results are consistent with our theoretical analysis and offer support to our implication (P1). Almost all OECD countries benefit from tertiary education according to the BL data since the threshold above which tertiary education has a growth-enhancing effect is at 30% below the frontier. The results for the DD data set are again in broad agreement to those obtained based on the BL data.” (VANDENBUSSCHE, AGHION E MEGHIR, 2006, p.32)

diferenciadas por fatores de trabalho, gerando, na maioria dos casos, uma influência direta da política industrial sobre a política de educação. Esta influência pode ser tratada como uma subordinação de uma política em relação à outra (BARTEL E LICHTENBERG, 1987)⁶⁶.

Isto enfatiza a “dualidade” da política pública em não apenas aumentar os investimentos na educação, mas também na sua influência indireta por meio da criação de oportunidades nos setores intensivos em P&D inovadora. Isto gera uma expansão da demanda e da relação salários/tecnologia nos setores mais estratégicos, conforme diagnosticado por Aghion e Howitt (1998)⁶⁷. Desta forma, a compreensão sobre a composição do capital humano e o estágio de desenvolvimento é um fator importante para direcionar as políticas de educação e industrial visando o maior retorno ao crescimento. O progresso tecnológico não apenas depende do nível de capital humano, mas da sua composição adequada e da sua evolução, à medida em que a economia se desenvolve tecnologicamente. Esta distinção pode fazer a diferença em uma política maximizadora do crescimento⁶⁸.

A modificação teórica e empírica do estudo proposto por Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby e Vandenbussche (2009)⁶⁹ torna-se o centro da investigação proposta por esta tese. Ressalta-se que a contribuição dos autores foi imprescindível para os estudos de crescimento. A próxima seção aborda o “novo modelo teórico”, destacando as condições de equilíbrio e a importância da política “adequada” na convergência ou divergência tecnológica. Esta “nova construção” do modelo teórico subsidia o entendimento mais amplo da influência da educação no crescimento. A partir das condições de equilíbrio do empresário

⁶⁶ “First, it suggests that macroeconomic policies which affect rates of innovation and investment (particularly in equipment) will affect the relative demand for workers classified by education, and hence the aggregate skill distribution of employment and earnings.” (BARTEL E LICHTENBERG, 1987, p.10)

⁶⁷ “In order words, governments will increase the average level of education not only directly through education policy but also indirectly by actively supporting R&D activities. Conversely, government subsidies to education will increase the profitability of research and development activities, and thereby speed up technological progress.” (AGHION E HOWITT, 1998, p.339)

⁶⁸ “More specifically, consider two countries, 1 and 2, that have the same total human capital stock and lie at the same distance from the world technology frontier. The only difference is the country 1 is better endowed in highly educated labor whereas country 2 is better endowed in unskilled labor. Thus $H1 = H2 = H$, but $H = S1 + U1 = S2 + U2$, where $S1 > S2$. Which of these two countries grows faster? The answer depends upon these countries’ proximity to the world technology frontier. Namely country 1 will grow faster if the two countries are sufficiently close the frontier, because country 1 is better endowed in what is most important for growth close to the frontier. And country 2 will grow faster if both countries are far from frontier, since country 2 is better endowed in what is more important for growth far below the frontier. Yet the two countries have the same total amount of human capital.” (AGHION E HOWITT, 2009, p. 306-307)

⁶⁹ Outra restrição importante no estudo dos autores, destacando ainda Krueger e Lindahl (2001), é a restrição da amostra para países da OECD, ainda que a justificativa se restrinja ao “grau de homogeneidade” da própria amostra. Isto é destacado por Savvides e Stengos (2009).

monopolista, fica evidente que o resultado da política depende da formação da estrutura econômica. O grau de desenvolvimento tem uma forte influência na demanda local e com as condições de equilíbrio da economia. Quando a economia se encontra com um elevado atraso tecnológico, a expansão da oferta de competências com alta qualificação pode não ser suficiente para alavancar o crescimento, principalmente quando se verifica uma demanda reprimida por este fator. Esta economia consiste no principal foco da investigação.

Esta percepção influencia todo o escopo da política de educação e seus resultados para o desenvolvimento. A história econômica apresenta vários exemplos com direções opostas no resultado da mesma política⁷⁰. Em seguida ao modelo teórico proposto, tem-se o modelo empírico que testa as hipóteses levantadas e contrapõe com os trabalhos citados.

Várias metodologias econométricas são propostas para testar e validar as hipóteses do modelo. Posteriormente, as conclusões encerram as contribuições apresentadas e debatem a possível correlação com outros estudos e direcionamentos para futuras pesquisas.

⁷⁰ Neste caso, podemos citar a política da Coreia do Sul e dos EUA ao longo das décadas de 1960 a 1980 que tiveram resultados divergentes. Para maiores detalhes, veja Nelson (1996) e Kim (1997).

3. PROPOSIÇÃO DE UM NOVO MODELO TEÓRICO

3.1 O Ambiente Econômico

O modelo consiste em uma economia com um número finito de setores, cada um deles composto por empresários intermediários e por uma população de trabalhadores que ofertam sua força de trabalho num mercado competitivo. O comércio internacional será abstraído, porém sua menção será retratada posteriormente. Os trabalhadores possuem dotações heterogêneas de capital humano onde, a nível agregado, a economia divide-se entre S unidades de trabalho altamente qualificada e U unidades com baixa qualificação, dados exogenamente e a uma taxa constante no tempo. Com um mercado competitivo e a oferta de trabalho definida elasticamente, tem-se $(s = \tilde{S}, u = \tilde{U}) \in \mathfrak{R}_+^2$, onde $\tilde{S}, \tilde{U}$ correspondem, respectivamente, aos níveis de equilíbrio da mão de obra qualificada e não-qualificada no mercado de trabalho.

As firmas adotam estratégias de imitação (implementam as inovações dos setores/firmas mais avançados) e inovação. Cada empresário decide empregar uma composição equilibrada das duas estratégias, visando auferir os lucros do monopólio temporário do setor. Esta decisão, entre usar uma prática mais inovadora ou imitadora, depende do seu potencial atraso em relação à liderança do setor (firma com a tecnologia referência)⁷¹.

Assume-se que o tempo é discreto e todos os agentes vivem somente um período. O produto final da economia é produzido utilizando uma massa contínua de insumos intermediários de acordo com a função de produção Cobb-Douglas:

$$Y_t = \int_0^1 A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^\alpha di \therefore \alpha \in (0,1) \quad (1)$$

Segundo a equação (1), $x_t(i)$ corresponde ao fluxo de insumos intermediários do setor i no tempo t . A produtividade do setor é dada pelo parâmetro tecnológico $A_t(i)$ que é definido pelo nível defasado $A_{t-1}(i)$ mais um “componente estratégico do setor”. A definição deste componente será abordada na próxima seção. O setor de insumo intermediário é monopolizado pela firma líder que detém o monopólio em um curto período de tempo.

⁷¹ Oportunamente, a decisão do empresário em imitar as tecnologias do setor depende dos arranjos institucionais (a legislação de proteção à propriedade intelectual), da sua capacidade operacional em contratar mão de obra engajada na pesquisa (neste caso, a formação de mestres e doutores passa a adquirir uma importância na análise) e da percepção sobre os investimentos de longo prazo. Neste último caso, em especial, depende dos incentivos adequados para a construção de uma virtuosa trajetória tecnológica.

Partindo do pressuposto que o setor do produto final é competitivo, cada produtor de insumos intermediários se defronta com uma curva de demanda inversa que defini o preço do insumo intermediário:

$$p_t(i) = \frac{\partial Y_t}{\partial x_t(i)} = \alpha A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1} \quad (2)$$

Em cada setor intermediário, apenas um produtor intermediário pode produzir o produto i com a produtividade do setor $A_t(i)$ usando o produto final como capital. Este processo dar-se-á por meio de uma tecnologia um-para-um (*one-for-one technology*), seguindo a especificidade $A_t(i) : \mathfrak{T} \rightarrow \Omega : Y_t \in \mathfrak{T}; y_t(i) \in \Omega$.

Neste sentido, o monopolista do setor i escolhe $x_t(i)$ que resolva o problema de maximização:

$$\max_{x_t(i)} \{p_t(i)x_t(i) - x_t(i)\} \quad (3)$$

A solução do problema de maximização (3) gera uma função de demanda de equilíbrio:

$$\hat{x}_t(i) = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3), obtêm-se os lucros de equilíbrio do monopolista do setor:

$$\hat{\pi}_t(i) = (p_t(i) - 1)\hat{x}_t(i) = \pi A_t(i) \quad (5)$$

$$\text{Onde } \pi \equiv \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}.$$

A seguir, serão definidos as fontes de crescimento da produtividade e como elas se relacionam com a fronteira tecnológica.

3.2 As Fontes de Crescimento da Produtividade

A melhoria na produtividade das firmas e de cada setor depende da combinação de dois fatores: (a) a aplicação de estratégias gerenciais focadas na imitação de tecnologias da fronteira tecnológica, onde a mão de obra menos qualificada adquire uma grande importância nesta atividade, e (b) na adoção de estratégias inovadoras, onde a força de trabalho engajada em atividades de P&D e na criação de novas tecnologias demanda por elevadas horas de qualificação e de aprendizado tecnológico.

A dinâmica da tecnologia no setor i pode ser capturada por uma função positiva e crescente, $\Phi(\cdot)$, nos seguintes argumentos da função:

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + \underbrace{\Phi(\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i), A_{t-1}(i), u_t(i), s_t(i))}_{\text{COMPONENTE ESTRATÉGICO}} \quad (6)$$

Onde $\bar{A}_{t-1}(i), A_{t-1}(i), s_t(i), u_t(i)$ correspondem, respectivamente, à fronteira tecnológica do setor i no final do período $t-1$, à produtividade do setor i no final do período $t-1$, às unidades de mão de obra qualificada e não-qualificada do setor i no final do período t .

Seguindo alguns autores⁷² da recente literatura do crescimento endógeno, este estudo adota o progresso tecnológico como uma função linear nos componentes de imitação e inovação e não-linear nos recursos humanos. Especificamente a seguir, tem-se:

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + [s_t(i)^\varphi (\gamma - 1) A_{t-1}(i) + u_t(i)^\beta \eta (\bar{A}_t(i) - A_{t-1}(i))]^\sigma \quad (7)$$

Onde os parâmetros γ, η correspondem às habilidades inovadoras e imitadoras adotadas pelas firmas em cada setor i , satisfazendo as seguintes desigualdades: $\gamma > 1$ (*one-step-forward*) e $\eta \leq 1$ (*one-step-behind*). O parâmetro σ reflete a elasticidade do componente estratégico, que por simplicidade é assumida como $\sigma = 1$.

A fronteira tecnológica cresce a uma taxa constante $\bar{g}$, $\bar{A}_t(i) = (1 + \bar{g})\bar{A}_{t-1}(i)$, e o estado tecnológico de cada setor está limitado ao nível da fronteira, ou seja, $A_t(i) \leq \bar{A}_t(i)$.

❖ **Proposição 1** – *A elasticidade do trabalho qualificado é maior do que no trabalho não-qualificado, $\varphi > \beta$. (APÊNDICE A.5)*

A proposição acima mostra que a taxa de retorno das atividades inovadoras na melhoria da produtividade é maior que as atividades imitadoras. Esta consideração mostra que, numa dada economia, o processo de inovação conduz a um crescimento sustentável a longo prazo. Ainda que a economia venha desfrutar de um rápido crescimento no curto prazo por meio de práticas imitadoras em alguns dos seus setores, a convergência tecnológica surgirá se, e somente se, a maioria dos setores adotarem estratégias contínuas de inovação. Outra explicação consiste no fato do crescimento da firma ser estimulado pelas atividades de inovação que

⁷² Veja Benhabib e Spiegel (1994), Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002), Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006), Caselli e Coleman (2006), Aghion e Howitt (2009) e Otto e Soretz (2011).

demandam por unidades adicionais de mão de obra com alta qualificação, na medida em que esta se aproxima da fronteira tecnológica. Como a proporção dos fatores com alta qualificação é maior nas economias próximas da fronteira, consequentemente a mudança tecnológica será direcionada para alta tecnologia, sendo esta complementar ao fator mais qualificado. Caso contrário, não faria sentido teórico, nem muito menos empírico, imaginar que as firmas situadas na fronteira demandassem por fatores com menor produtividade em relação ao trabalho menos qualificado (AGHION, BOUSTANI, HOXBY E VANDENBUSSCHE, 2009).

Com relação aos valores dos parâmetros de elasticidade de cada fator ($\beta \geq 0; \varphi \geq 0$), segue-se que ambos satisfazem a *Lei dos Rendimentos Decrescentes* e, por esta razão, serão admitidos valores possíveis de acordo com a restrição $\beta, \varphi \in (0,1)$ ⁷³. Contudo, esta restrição ainda não é suficiente para a análise, tendo em vista que as atividades de inovação e imitação venham a apresentar algum grau de complementaridade, permitindo que valores atribuídos a elasticidade de um fator específico venha a influenciar a elasticidade do outro fator (GROSSMAN E HELPMAN, 1991). Para capturar as influências das elasticidades entre ambos os fatores constitui-se uma nova restrição, que satisfaz tanto a *Lei dos Rendimentos Decrescentes* e de complementaridade⁷⁴: $\beta + \varphi = 1$. Desta forma, ambas as elasticidades pertencerão a um intervalo numérico entre 0 e 1, além de não serem atribuídos valores sem qualquer conexidade entre os fatores. Esta condição também não viola a **Proposição 1**.

Uma restrição forte seria a condição de que as elasticidades se ajustariam em função da proximidade com a fronteira, fazendo com que a mudança tecnológica fosse direcionada para a inovação e consequentemente para o fator com alta-qualificação, satisfazendo a proposição de Caselli e Coleman (2006). Isto modificaria a relação dos parâmetros da seguinte maneira, $\beta(t, a_{it}) + \varphi(t, a_{it}) = 1$, onde t representa o tempo e a_{it} o indicador de proximidade com a fronteira – $a_{it} \equiv A_{it} / \bar{A}_{it}$. As derivadas parciais de cada elasticidade apresentam-se da seguinte

⁷³ Para maiores detalhes sobre a Lei dos Rendimentos Decrescentes, veja Mas-Colell, Whinston e Green (1995).

⁷⁴ A complementaridade surge da noção dos regimes tecnológicos proposto em Malerba (2004) e Malerba e Orsenigo (1993 ; 1996 ; 1997). Como a tecnologia apresenta padrões cumulativos, as estratégias de imitação podem se constituir nos primeiros estágios do aprendizado para uma seguida mudança à inovação. Os setores mais atrasados têm dificuldade na implementação de inovações devido ao baixo padrão de cumulatividade e apropriabilidade dos resultados econômicos. Com isto, a transferência de oportunidades faz com que a produtividade relativa entre a imitação e inovação se altere ao longo do tempo, dando um peso maior aos fatores de rápida absorção. Nas economias mais afastadas este peso maior se concentra na demanda por fatores com baixa qualificação, ao contrário das economias da fronteira.

forma, $\frac{\partial \beta(t, a_{it})}{\partial a_{it}} < 0; \frac{\partial \varphi(t, a_{it})}{\partial a_{it}} > 0$. A intuição por trás disto mostra que as atividades de inovação são mais intensivas em mão de obra mais qualificada, fazendo com que a produtividade deste fator aumente quando a economia se aproxima da fronteira, ao contrário das economias mais afastadas (AGHION, BOUSTANI, HOXBY E VANDENBUSSCHE, 2009)⁷⁵. Em consequência disto, o fluxo de trabalhadores altamente qualificados é conduzido para novas atividades de inovação nos períodos seguintes, aumentando a produtividade marginal em relação aos trabalhadores menos qualificados. Quanto mais a economia se aproxima da fronteira, unidades extras de trabalhadores com alta-qualificação são demandadas pelos empregadores da indústria, tornando-os mais rentáveis em relação à mão de obra não-qualificada. Esta redistribuição no mercado de trabalho (ou efeito Rybczynski) é responsável por alterações na produtividade relativa dos fatores, tornando o mercado de trabalho sensível às flutuações de proximidade com a fronteira.

A seguir, será apresentado o *trade-off* do empresário monopolista em alocar recursos na contratação de mão de obra qualificada ou não-qualificada, cuja decisão depende da distância em relação à fronteira. Quanto maior o seu atraso, mais a atividade imitadora sinalizará uma estratégia mais atrativa, impulsionando-o para uma rápida melhoria da produtividade por meio da adoção de tecnologias da fronteira. Entretanto, à medida em que a produtividade cresce, a inovação será inevitável para a sobrevivência das firmas no mercado.

3.3 A Decisão do Empresário e as Condições de Equilíbrio

O empresário monopolista decide investir na contratação de mão de obra qualificada e não-qualificada, de acordo com a sua posição e na melhor taxa de retorno deste investimento. Se a sua posição for de um atraso muito grande em relação à fronteira tecnológica, a alocação de recursos na contratação de mão de obra não-qualificada pode gerar numa melhoria superior em relação à mão de obra qualificada, ou seja, $\Delta u_t(i)^\beta \eta(\bar{A}_t(i) - A_{t-1}(i)) > \Delta s_t(i)^\varphi (\gamma - 1) A_{t-1}(i)$.

Sua decisão também depende da máxima satisfação alcançada ao se consumir bens com os lucros do setor, menos o que gastar na aquisição de mão de obra qualificada ou não qualificada. Logo, a função de utilidade do monopolista pode ser expressa da seguinte maneira:

⁷⁵ Para evitar uma complexidade muito elevada do modelo e centrar as análises apenas nas decisões do empresário, será admitido que os parâmetros de elasticidade de cada fator são exógenos no modelo, mas que atendam a **Proposição 1**, a complementaridade entre as estratégias e a *Lei dos Rendimentos Decrescentes*. Isto sugere também, futuros caminhos de pesquisa sobre o tema.

$$U_t(i) = E(c) - W_t \quad (8)$$

Onde, $c = \begin{cases} \hat{\pi}_t(i) = \pi A_t(i), & \text{com probabilidade } \lambda \\ 0, & \text{com probabilidade } (1 - \lambda) \end{cases}$, e W_t é o gasto total da contratação de

mão de obra qualificada e não-qualificada. Os salários da força de trabalho são denotados por $w^u A_{t-1}(i)$ (não-qualificada) e $w^s A_{t-1}(i)$ (qualificada)⁷⁶. Por definição $w^i \therefore i \in (s, u)$ corresponde à taxa salarial, consequentemente:

$$W_t = w^u A_{t-1}(i) u_t(i) + w^s A_{t-1}(i) s_t(i) = (w^u u_t(i) + w^s s_t(i)) A_{t-1}(i)$$

O problema de maximização da utilidade do empresário é definido:

$$\max_{u_t(i), s_t(i)} U$$

$$\max_{u_t(i), s_t(i)} \left\{ \lambda \pi A_t - (w^u u_t(i) + w^s s_t(i)) A_{t-1}(i) \right\}$$

A condição de primeira ordem com relação aos argumentos $u_t(i), s_t(i)$ geram as seguintes equações de equilíbrio (APÊNCICE A.2):

$$\frac{\partial U}{\partial s_t(i)} = \lambda \pi \varphi s_t(i)^{\varphi-1} (\gamma - 1) A_{t-1}(i) - w^s A_{t-1}(i) \equiv 0 \quad \text{U.1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial u_t(i)} = \lambda \pi \beta u_t(i)^{\beta-1} \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)) - w^u A_{t-1}(i) \equiv 0 \quad \text{U.2}$$

Reorganizando as equações U.1 e U.2, temos as funções de demanda do empresário monopolista com relação à mão de obra qualificada e não-qualificada. Estas funções são estritamente negativas com relação à taxa salarial e positivas com os demais argumentos da função. A seguir as funções demanda são reportadas:

$$\hat{s}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi (\gamma - 1)}{w^s} \right)^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad \text{E.1}$$

$$\hat{u}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} \therefore d_{t-1} = \frac{\bar{A}_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)} = (a_{t-1})^{-1} \quad \text{E.2}$$

Com o mercado de trabalho competitivo e em equilíbrio, a demanda pela força de trabalho iguala-se à oferta, esta última, dada exogenamente $\hat{u}_t(i) = \tilde{U}$; $\hat{s}_t(i) = \tilde{S}$. A interpretação

⁷⁶ Os salários são proporcionais à produtividade devido aos avanços tecnológicos elevarem os retornos da mão de obra engajada em suas atividades. Entretanto, $w^s \gg w^u$, para maiores detalhes veja: Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby e Vandenbussche (2009).

da equação E.1 mostra que a demanda por mão de obra qualificada depende positivamente da probabilidade de sucesso λ da firma inovadora, do parâmetro de equilíbrio dos lucros π e do tamanho incremental da estratégia de inovação $(\gamma - 1)$. Este último depende, dentre outros fatores, da política industrial de incentivo à inovação. Uma política que executa uma legislação eficiente de proteção intelectual eleva os custos de oportunidade das práticas imitadoras.

A segunda equação E.2 mostra que a demanda do empresário por mão de obra não-qualificada é uma função positiva da distância tecnológica $d_{t-1}(i)$ do setor i . Neste sentido, o baixo nível de aprendizado das firmas revela interesses de curto prazo direcionados às estratégias imitadoras. O elevado atraso das firmas faz com que os empresários aloquem uma fração de trabalhadores não-qualificados para as atividades menos intensivas em inovação. Quando o setor estiver se aproximando do nível da fronteira, a demanda do empresário monopolista consistirá cada vez mais na força de trabalho engajada nas atividades de P&D.

Isto ocorre porque o setor apresenta um baixo nível de cumulatividade tecnológica. Conforme Malerba (2004) e Malerba e Orsenigo (1993 ; 1996 ; 1997), os setores caracterizados por uma baixa cumulatividade apresentam uma concorrência, entre firmas, baseada na destruição de suas inovações. Este tipo de ambiente surge quando as firmas são impossibilitadas de se apropriarem do resultado econômico das inovações (elevado η e um baixo γ). Tal regime é definido por Mark Schumpeter I, e é caracterizado por uma estrutura insustentável de progresso técnico a longo prazo.

Destaca-se ainda, importantes considerações sobre as funções de demanda: não é apenas o crescimento isolado que condiciona a demanda por fatores do empresário, mas o crescimento acompanhado da redução do *gap* tecnológico entre as economias. À medida em que a economia cresce e reduz as diferenças, mudanças estruturais impulsionam a demanda empresarial repercutindo novamente no crescimento e em novas demandas⁷⁷. Aqui percebe-se uma causalidade reversa entre crescimento e demanda local. Em primeiro plano, a economia cresce e avança para as melhores práticas, isto altera a demanda do empresário local por novas competências que reforçam o crescimento. Quanto mais a economia se desenvolve e aproxima da

⁷⁷ Conforme o “enigma” de Dosi, Fagiolo e Roventini (2010), não é apenas o crescimento que conduz às mudanças tecnológicas de longo prazo, mas também os fatores de demanda. “*Is the long-term growth just driven by changes in the technological ‘fundamentals’? Or, can variations in aggregate demand influence future dynamics? And, ultimately, can one identify multiple growth paths whose selection depends on demand and institutional conditions*” [p.1748]

fronteira, mais o empresário utilizará de estratégias que reforçam a sua competitividade. Por mais que a economia cresça sem qualquer redução nas desigualdades (a economia cresce, mas não reduz o *gap* tecnológico), isto pode, não necessariamente, induzir o empresário em uma nova demanda por fatores estratégicos (voltados para a inovação). A “chave” para o entendimento do modelo é que as diferenças globais são um forte condicionante no resultado da política econômica. Os modelos aplicados pelas economias da fronteira podem (condição necessária, mas não suficiente) não se adaptar, adequadamente, para as economias em atraso. O resultado dependerá de outros fatores que precisam está muito bem definidos e incorporados na análise. A fragilidade das economias em atraso cresce quanto mais se observa as desigualdades em relação às economias da fronteira.

A próxima seção apresenta a ligação das funções de demanda com trajetórias de risco, revelando que uma ênfase inadequada na demanda por mão de obra não-qualificada pode conduzir a economia a uma armadilha da não-convergência.

3.4 Equilíbrio, Convergência e Armadilhas do Crescimento

Partindo das funções de demanda E.1 e E.2, a taxa de progresso tecnológico pode ser reformulada da seguinte maneira:

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + s_t(i)^\varphi (\gamma - 1) A_{t-1}(i) + u_t(i)^\beta \eta (\bar{A}_t(i) - A_{t-1}(i)), \quad \sigma = 1$$

$$g_t(i) = \frac{A_t(i) - A_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)} = \hat{s}_t(i)^\varphi (\gamma - 1) + \hat{u}_t(i)^\beta \eta (d_{t-1}(i) - 1); \quad \text{G.1}$$

A taxa de progresso técnico é função das curvas de demanda, sendo que estas estabelecem as condições de equilíbrio dos parâmetros de imitação e inovação, e da distância da fronteira. Substituindo E.1 e E.2 em G.1, temos:

$$g_t(i) = (\gamma - 1)^{\frac{1}{1-\varphi}} \left(\frac{\lambda \pi \varphi}{w^s} \right)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}} + \eta^{\frac{1}{1-\beta}} \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}} \quad \text{G.2}$$

$$g_t(i) = \begin{cases} f(\gamma) + \kappa(\eta) \cdot (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, & d_{t-1}(i) > 1 \\ f(\gamma) & , d_{t-1}(i) = 1 \end{cases} \quad \text{G.3}$$

As equações G.2 e G.3 apresentam um *insight* importante da teoria:

❖ **Proposição 2** – *Os setores mais atrasados e afastados da fronteira tecnológica possuem uma demanda por recursos diferenciada em relação aos setores mais avançados. Esta demanda*

levada em consideração estimula um crescimento mais acelerado do setor. Ou seja, $d_{t-1}(i) \geq 1 \Rightarrow \hat{u}_t(i) \geq 0$.

Esta proposição incorpora o que Gerschenkron (1962) afirma como “A Vantagem do Atraso”. Os setores mais afastados da fronteira crescem mais rápido devido a elevada frequência de implementação das inovações da fronteira (imitação). Devido ao potencial atraso de algumas economias, a aplicação de tecnologias da fronteira, por meio da transferência tecnológica, oferece grandes retornos à melhoria na produtividade das firmas e na proteção de setores em fase de “amadurecimento”⁷⁸.

De acordo com a equação G.2, a derivada parcial de 2ª ordem com relação à distância e o parâmetro de imitação nos diz outro importante conceito:

❖ **Proposição 3** – *Quanto maior a distância tecnológica ou o potencial atraso de um setor ou economia, maior será a taxa de progresso tecnológico, se a política industrial for favorável à implementação de tecnologias da fronteira (práticas de imitação) e ao aprendizado.*

– **Prova:** Reescrevendo a equação G.2, temos:

$$\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \geq 0 \Rightarrow d_{t-1}(i) \geq 1 \blacksquare \quad \text{G.4}$$

A equação G.4 mostra a taxa de variação do progresso técnico, considerando dois fatores de direcionamento (neste caso a derivada parcial de segunda ordem). De acordo com a equação G.3, na existência de algum atraso possível ($d_{t-1}(i) > 1$), o aprendizado, por meio de práticas intensivas de imitação, pode proporcionar oportunidades tecnológicas viáveis que reforçam o crescimento a curto prazo.

Admitindo que as instituições locais condicionam as estratégias de inovação e imitação pelas firmas, temos: $\gamma \in (\underline{\gamma}, \bar{\gamma})$. $\eta \in (\underline{\eta}, \bar{\eta})$, (i) $(\bar{\gamma}, \underline{\eta})$ onde a instituição estimula as firmas locais a adotarem estratégias de inovação e, (ii) $(\underline{\gamma}, \bar{\eta})$ a instituição estimula as firmas locais a adotarem estratégias de imitação.

⁷⁸ “Under these conditions the statement may be hazarded that, to the extent that industrialization took place, it was be largely by application of the most modern and efficient techniques that backward countries could hope to achieve success, particularly if their industrialization proceeded in the face of competition from the advanced country.” (GERSCHENKRON, 1962, p.9)

Esta ampliação do modelo incorpora aspectos importantes da política que influenciam diretamente a competitividade das firmas locais, tais como: políticas protecionistas no comércio internacional, legislação de propriedade intelectual, dificuldades de obtenção e preços altos para manutenção de patentes, dentre outras questões relevantes. Estes fatores são afetados diretamente pela política econômica e moldam as estratégias das firmas em inovarem ou não. Portanto, o modelo passa a incluir parte do arranjo institucional que condiciona a capacidade das firmas na geração de novas tecnologias ou de absorverem e adaptarem tecnologias da fronteira.

Outra importante consideração consiste na posição do empresário local que detém de lucros extraordinários por baixa concorrência nos mercados locais. Esta menção será abordada no exemplo da armadilha da não-convergência, vista a seguir.

A solução para a equação G.3, segundo os parâmetros institucionais, é dada por:

$$g_i(i) = \begin{cases} f(\bar{\gamma}) + \kappa(\bar{\eta}) \cdot (d_{i-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, (\bar{\gamma}, \bar{\eta}) & \therefore \forall d_{i-1} > 1 \\ f(\underline{\gamma}) + \kappa(\underline{\eta}) \cdot (d_{i-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}, (\underline{\gamma}, \underline{\eta}) & \end{cases} \quad G.5$$

No cenário $(\bar{\gamma}, \bar{\eta})$, a economia desfruta de uma população considerável de inovadores em quase todos os setores da economia. Entretanto, dependendo do tamanho do atraso $d_{i-1} > 1$, as incertezas podem ser elevadas e as atividades de P&D são desestimuladas pela baixa oportunidade. Neste caso, a economia cresce gradativamente, mas sempre converge em direção à fronteira (isto depende da velocidade de convergência, podendo ser rápida ou lenta). Ao contrário do primeiro cenário $(\underline{\gamma}, \underline{\eta})$, os retornos da adoção de tecnologias da fronteira podem oferecer um rápido crescimento na economia. A adaptação de tecnologias da fronteira conduz a um rápido crescimento por meio da criação de oportunidades locais⁷⁹. Em muitos setores da economia, as inovações patenteadas surgem de um processo legal e dinâmico da imitação de tecnologias⁸⁰. A

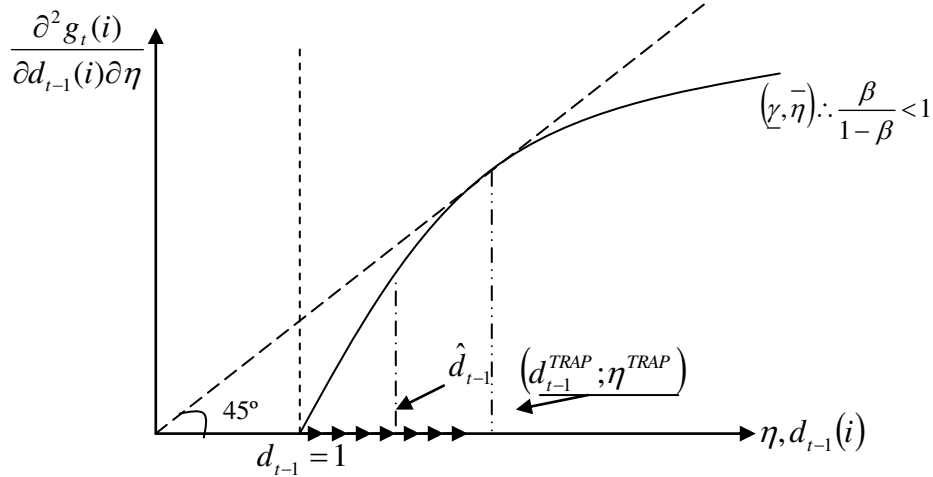
⁷⁹ Conforme Kim (1997), a rápida industrialização da Coreia do Sul foi fundamentada em grande parte pela imitação, sem que necessariamente implicasse na falsificação ou na clonagem de mercadorias importadas da fronteira. A atividade imitadora, pelas empresas locais, pode se constituir numa atividade legal, lucrativa e de rápido aprendizado, sem que envolva a violação de patentes [p.27].

⁸⁰ Segundo Kim (1997) a estratégia de desenvolvimento tecnológico adotada na Coreia do Sul, entre as décadas 1960 e 1970, foi largamente conectada às imitações. Este processo desenvolveu-se por meio da produção em larga escala, cópias ou clonagens de produtos desenvolvidos no exterior e mercadorias reproduzidas com suas próprias marcas ou com as marcas dos fabricantes originais vinculados a preços competitivos. Este modelo de industrialização da Coreia do Sul persistiu até meados da década de 1980.

descrença de que as inovações são totalmente protegidas das atividades de imitação reproduz um ciclo de incompreensão do dinamismo tecnológico⁸¹.

A Figura 4 mostra a relação entre imitação e os ganhos no crescimento, dado um potencial atraso tecnológico do setor/país.

FIGURA 4 – Crescimento e as Armadilhas da Não-Convergência.



Fonte: Elaboração do autor.

Conforme a Figura 4, as estratégias de imitação podem oferecer retornos consideráveis ao crescimento, porém a sua aplicação persistente ao longo do tempo pode comprometer as trajetórias tecnológicas do setor (APÊNDICE A.4). Isto evidencia que a educação básica é um importante fator de crescimento na economia, porém, isoladamente, não consiste em um instrumento sustentável. A educação superior conduz a economia à inovação da fronteira, porém, a eficácia deste nível depende dos investimentos em educação básica. A clara fragilidade dos investimentos desequilibrados na educação repercute nos futuros esforços em inovação. A armadilha da não-convergência mostra que, apesar da educação básica e técnica oferecerem uma rápida velocidade de convergência, a economia estará fora da trajetória de risco se, e somente se, a educação superior for direcionada para os setores intensivos em inovação tecnológica.

⁸¹ “Patented innovations seem to be imitated surprisingly often and quickly. In our sample, about 60 percent were imitated within four years of their initial introduction. Reality seems to depart sharply from the commonly held belief that a patent holder is free from imitation for the life of the patent. In my view, it is very important that this fact be taken into account by the excellent economic theorists working in this area, since sometimes models of the innovation process tend to assume that the innovator receives all of the benefits from an innovation and that imitation can be ignored.” (MANSFIELD, 1984, p.131)

Outro ponto de destaque é que, na condição da armadilha, as instituições locais não ofereceram incentivos adequados para a mudança entre imitação e inovação. As empresas locais não contratam mão de obra qualificada nas atividades de P&D inovadora por diversos motivos, dentre eles, o padrão de concorrência que é influenciado pela política econômica. Neste sentido, as economias que adotaram um forte protecionismo comercial, vinculado à criação de “empresas” (filiais da fronteira) com baixa competitividade tecnológica e com grandes lucros apropriados no setor, podem não ter os incentivos necessários para a adoção de estratégias de inovação tecnológica. Isto pode, ainda mais, reprimir a demanda por competências, limitando os esforços futuros em inovação (AMSDEN, 2001).

Em uma comparação das empresas na América Latina com os países Asiáticos, os fatores institucionais foram bastante distintos de forma que, neste último, os incentivos acabaram por ser mais “destinados à inovação de longo prazo” em comparação com a América Latina⁸². As assimetrias tecnológicas dentro de cada país ou economia podem ou não construir uma trajetória de inovação, isto depende de quão necessária esta estratégia é para preservar a atual estrutura. Neste sentido os conflitos de interesse dentro da economia/setor podem conduzir ou não às mudanças estruturais, podendo aproximar ou não a economia/setor aos padrões da fronteira. Todas as possibilidades são relativas, de forma que a política se torna mais delicada quanto maior for à desigualdade (DOSI, 1984).

Um questionamento parecido foi apresentado em uma importante contribuição ao trabalho de Caselli e Coleman (2006). Os autores comprovaram que, quando os trabalhadores qualificados e não-qualificados são considerados substitutos imperfeitos, a tradicional inclusão o capital humano na função de produção agregada perde validade empírica. Os modelos

⁸² "Our analysis also implies that barriers to competition should have limited costs (or even benefits) when countries are far from the world technology frontier but should become much more costly near the frontier. Although this implication appears to be consistent with the experiences of many Latin American countries as well as with those of Korea and Japan, we are not aware of any systematic empirical investigation. To take a first step in this direction, we consider a sample of non-OECD countries including those that joined the OECD in the 1990s, such as Korea and Mexico, but excluding former socialist countries. The sample is chosen so as to approximate "follower" countries, which are significantly behind the world technology frontier and therefore provide us with an opportunity to investigate convergence patterns. (...) A number of Latin American countries, most notably Brazil, Mexico, and Peru, which grew relatively rapidly with import substitution and protectionist policies until the mid 1970s, stagnated and were taken over by other economies with relatively more competitive policies, such as Hong Kong or Singapore. The experiences of Korea and Japan are also consistent with this story. Though in many ways more market friendly than the Latin American countries, for much of the post-war period both Korea and Japan achieved rapid growth and convergence relying on high investment, large conglomerates, government subsidies, and relatively protected internal markets. Convergence and growth came to an end in the mid 1980s in Japan and during the Asian crisis in Korea (though Korea appears to have adopted a number of important reforms and resumed growth rapidly after the crisis)." (ACEMOGLU, ZILIBOTTI E AGHION, 2006, p.41)

tradicionais do crescimento consideram os trabalhadores com diferentes níveis de escolaridade como substitutos perfeitos dentro e entre os países. Este pressuposto contraria as evidências práticas. Isto ocorre devido à abordagem tradicional considerar que a elasticidade de substituição entre os fatores se aproxima do infinito, ao contrário da literatura empírica do mercado de trabalho⁸³. Em seguida, as tecnologias implementadas em cada país complementa cada fator isoladamente, ou seja, a economia desfruta dos dois tipos de fatores com tecnologias distintas para cada tipo de trabalho. Trabalhadores com baixa qualificação tendem a manusear determinadas técnicas ou tecnologias sofisticadas com grandes limitações, ao contrário da mão de obra qualificada. Quando as diferenças tecnológicas, definidas pela razão da tecnologia altamente qualificada pela de baixa qualificação (A_s/A_u), crescem no tempo, diz-se que a mudança tecnológica é indutora (tendenciosa) à alta qualificação. Nos países de alta renda este viés é significativamente elevado, fazendo com que a economia utilize a mão de obra qualificada com mais eficiência do que a mão de obra não-qualificada (ao contrário dos países de baixa renda). Já para os países de baixa renda, o fator não-qualificado é mais bem utilizado, mesmo em comparação com os países ricos, devido ao tipo de tecnologia que complementa este fator⁸⁴. Por tais motivos, a política de educação tem repercussões diferenciadas principalmente quando não se considera os resultados efetivos da política (os custos e benefícios analisados pela escolha)⁸⁵.

Conforme a figura 5, quanto maior o atraso tecnológico, maior será o impacto da atividade imitadora ao crescimento e maior o risco de uma armadilha da não-convergência. Ou seja, uma política industrial que não estimula a inovação durante um longo tempo no processo de desenvolvimento, pode comprometer a economia a uma armadilha com taxas de crescimento bastante residuais e sem qualquer convergência aos padrões tecnológicos da fronteira.

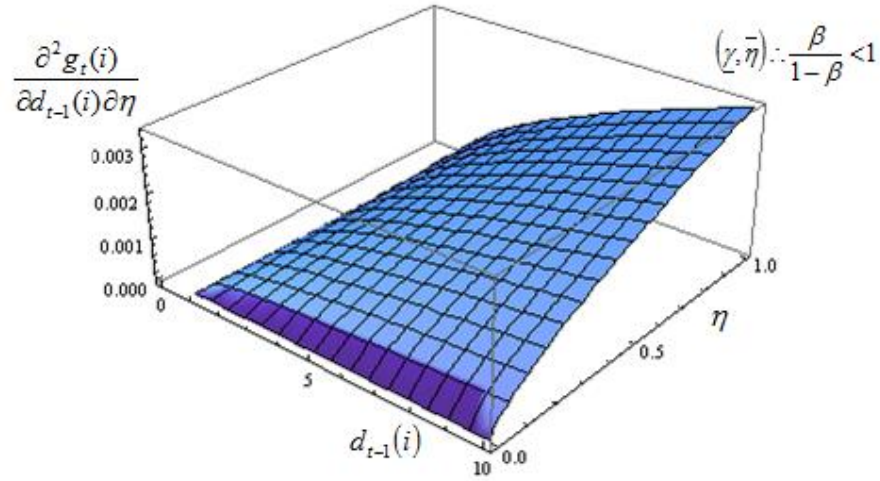
⁸³ KATZ, L.F. ; AUTOR, D.H. (1999) "Changes in the Wage Structure and Earnings Inequality," in Orley Ashenfelter and David Card, eds., Handbook of labor economics. Vol. 3A. Amsterdam: Elsevier Science, North-Holland, pp. 1463-555.

HAMERMESH, D.S. (1993) **Labor demand**. Princeton: Princeton University Press.

⁸⁴ "Our finding of skill bias suggests that cross-country differences in technology are not merely a matter of some countries having an overall higher level of technical efficiency than others, as assumed in most of the theories that aim to explain cross-country income differences. Rather, these theories may need to be enriched to account for the fact that poor countries seem to use certain factors relatively, and perhaps even absolutely more efficiently than rich ones." [p.500]

⁸⁵ "In what follows, the focus will be on determining those policies that speed up convergence of an economy to the technology frontier. In doing so, no attention is paid to the costs that are induced by any policy. We are quite aware of the fact that an overall assessment of any governmental policy, especially in the context of welfare analysis, would imply to derive the net effect, i.e. including costs and benefits of such a policy. Nevertheless, following the arguing within the public choice literature, we think that it is quite reasonable to assume that governments do not always consider all relevant aspects when deciding on a certain policy." (OTT E SORETZ, 2011, p.1442)

FIGURA 5 – Equação do Crescimento, distância da fronteira e esforços de imitação.



Fonte: Elaboração própria do autor.

A equação G.4 no ponto da armadilha e integrando os setores é definida como:

$$\left(\frac{\partial^2 g_t}{\partial d_{t-1} \partial \eta} \right)^{TRAP} = \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right)^{\frac{2(1-\beta)}{1-2\beta}} \int_0^1 \left[\left(\lambda \pi \beta \left(d(i)_{t-1}^{TRAP} - 1 \right) / w^u \right)^{\frac{\beta}{1-2\beta}} \right] \cdot di \quad \blacksquare \quad G.6$$

Quanto maior o número de setores que não adotam táticas de inovação por um longo tempo do seu processo de desenvolvimento, maiores as chances da economia, como um todo, convergir para uma armadilha. Os modelos que apresentam armadilhas de não-convergência são bastante conhecidos pela literatura⁸⁶. Um fato interessante, é que tais estudos “convergem” em uma conclusão:

❖ ***Proposição 4*** – *Em uma economia cujo dinamismo tecnológico é predominante nos setores mais estratégicos, as habilidades e atividades necessárias à inovação são fundamentais para a convergência tecnológica.*

Esta mudança de estratégias de imitação para inovação foi bem sucedida na industrialização asiática. Na medida em que a Coréia do Sul foi se aproximando das fronteiras tecnológicas, muitas aptidões construídas pelo modelo de imitação permitiram transformações, sem muitas dificuldades, em atividades de P&D. A exemplo disto, a engenharia reversa na Coréia do Sul permitiu uma efetiva interação entre os técnicos de uma equipe de projetos juntamente

⁸⁶ Veja Aghion e Howitt (2009) capítulo 11 p. 237, Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002) e Wu (2010).

com os departamentos de produção, *marketing*, institutos locais de P&D e as universidades. Tal planejamento constituiu o mesmo preparo da organização para as atividades de inovação em P&D (KIM, 1997, p.31).

Para o sucesso de algumas economias, uma política adequada de educação tem uma função não apenas “maximizadora” do crescimento, mas na sua capacidade de resposta às novas oportunidades e na sua receptividade às futuras inovações. Nos EUA a educação primária e secundária teve um importante papel na liderança e no plano tecnológico americano. É verdade que a educação básica nos departamentos de supervisão e administrativos, contribuiu bastante ao aumento da produtividade. Entretanto, na medida que os níveis educacionais de base foram atingindo um bom desempenho horizontal, as universidades americanas conduziram a um aumento acentuado da produtividade das indústrias, entre 1920 e 1960, com a porcentagem diferenciada da população que teve acesso ao ensino superior⁸⁷ (NELSON, 1996).

3.5 Políticas de Educação e os Avanços Tecnológicos

Em alguns exemplos de sucesso nas *Economias de Industrialização Recente* (EIR), a política de educação esteve muito mais articulada às estratégias de acumulação, aprendizado e criação nos setores mais estratégicos da indústria, do que um “instrumento político isolado” de crescimento na economia. É notório que os investimentos na educação tenham impactos substanciais, a longo prazo, no desenvolvimento cognitivo da população e na geração de aptidões que se constituem na base do conhecimento necessário ao aprendizado tecnológico (KIM, 1997).

Contudo, vale ressaltar que uma política articulada não apenas se concentra em um lado do comportamento econômico (como na expansão da oferta de recursos qualificados). No entanto, tal política planeja e implementa resultados nos diversos arranjos da economia, visando integrar, de forma eficiente, a formação de recursos e a capacidade de adequação do profissional frente às oportunidades geradas pelos empregadores da indústria (NELSON, 1996 ; KIM, 1997).

Neste sentido, a subordinação da política de educação fica parcialmente evidente, mas, em quais momentos do desenvolvimento as políticas de educação e industrial se conectam em um planejamento equilibrado? Ou melhor, quais os exemplos que podemos destacar para

⁸⁷ Conforme Nelson (1996), a expansão do ensino médio no século XX não ocorreu apenas nos EUA. Tendências similares podem ser constatadas em quase todas as economias “avançadas” do mundo, destacando França, Grã-Bretanha e Alemanha. Este cenário global enfatiza que uma ampla escolarização só contribui para a liderança tecnológica se os conhecimentos dela derivados forem efetivamente aplicados pelos empregadores da indústria.

projetarmos modelos adequados de desenvolvimento? Essas, dentre outras perguntas, serão respondidas, ou ao menos parcialmente respondidas, neste último capítulo teórico da tese.

De acordo com os resultados da seção anterior, os incentivos na economia para a adoção de estratégias intensivas em imitação $(\gamma, \bar{\eta})$ podem oferecer retornos substanciais ao crescimento quando a economia/setor se defronta com um relativo atraso (alto grau de distância tecnológica). Neste caso, o aumento da oferta de técnicos profissionalizantes (intensivos em educação básica) alocados nos departamentos de execução de processos gerenciais e tecnologias da fronteira, pode se constituir em uma estratégia rentável às firmas locais. Para este exemplo, a Coreia do Sul apresentou uma sólida política industrial a partir da década de 1960, que consistia na expansão da educação básica e nos cursos profissionalizantes internalizados pelas empresas que recebiam subsídios governamentais (KIM, 1997). Resumidamente, o crescimento da massa de trabalhadores mais educados na ausência de um moderno setor em expansão, pode oferecer benefícios um tanto limitados e residuais ao crescimento (NELSON E PACK, 1999).

Conforme Nelson e Pack (1999) propuseram, as diferenças de rentabilidade entre setores intensivos em alta tecnologia e os mais “artesaniais” conduzem a um desvio de recursos destes últimos para os primeiros (processos de realocação induzida). A velocidade com que este desvio de recursos acontece entre os setores é definida como a eficácia empresarial, que consiste no grau de execução do planejamento estratégico das firmas frente às oportunidades que surgem. Desta forma, um rápido crescimento dos setores modernos (intensivos em tecnologia) causará um rápido crescimento na demanda por fator qualificado. Este processo foi bastante observado na Coreia do Sul e Taiwan nas décadas de 1950 e 1960. Contudo, o crescimento da demanda por trabalho qualificado, dentro dos setores e da economia, depende fortemente da eficácia empresarial e das diferenças tecnológicas.

A ligação do modelo proposto pelos autores com o desenvolvido por esta tese consiste em um conceito, aqui apresentado, denominado de *processos de realocação induzida*⁸⁸. Para exemplificar este processo, consideramos uma economia com dois tipos de mão de obra, qualificada e não-qualificada, alocadas em atividades tecnológicas intensivas em qualificação e

⁸⁸ Este conceito surge com os estudos sobre inovação induzida nas teorias do crescimento endógeno. Esta teoria mostra o processo endógeno do desenvolvimento das novas tecnologias e sua aplicação dentro da economia. Os modelos de mudança tecnológica induzida não apenas geram novos *insights* sobre a natureza do progresso tecnológico endógeno, mas também permitem explicar o histórico recente e a evolução tecnológica. Muitos autores da economia ortodoxa tentaram quantificar esta “força” dentro do mercado, destacando-se as contribuições de Jones (1995). Para maiores detalhes, veja Acemoglu (2009) e Aghion e Howitt (2009).

não-qualificação. A razão entre a taxa salarial dos fatores consiste no preço relativo de um fator em comparação ao outro. As mudanças da tecnologia podem ocorrer com um viés para o fator qualificado ou não-qualificado. Isto depende do “prêmio” pago pelo desenvolvimento da tecnologia, que é definido pelo preço relativo dos fatores. Como destacado pela teoria, a lucratividade relativa entre os diferentes tipos de tecnologia pode ser condicionado pelos seguintes fatores (ACEMOGLU, 2009):

1. **Efeito-Preço**: haverá incentivos ao desenvolvimento de tecnologias quando os bens produzidos por estas tecnologias impuserem preços mais elevados;
2. **Efeito-Tamanho de Mercado**: é mais rentável o desenvolvimento de tecnologias com mercados maiores (Aghion e Howitt (2009) define este efeito pela renda dos consumidores).

Adaptando este princípio às desigualdades salariais entre a força de trabalho qualificada e não-qualificada, Acemoglu (1998) propôs um modelo cuja direção da mudança técnica é determinada pelo tamanho do mercado das diferentes inovações. Quando há mais trabalhadores qualificados, o mercado de tecnologias que complementam as competências (mão de obra qualificada) é maior, portanto, maior o processo de inovação e o surgimento de novas tecnologias que serão complementares às habilidades qualificadas. Nesta perspectiva, os salários dos graduados e de outros trabalhadores qualificados em relação aos trabalhadores não-qualificados aumentaram dramaticamente nos Estados Unidos ao longo das décadas de 1980 e 1990⁸⁹.

O modelo é coerente com alguns fatos; entretanto, ao considerar que a oferta de trabalho no curto prazo é inelástica, as limitações começam a surgir. Isto fortifica as conclusões do modelo por aceitar que o aumento da oferta de mão de obra qualificada no tempo sempre conduz a geração de novas tecnologias que complementam a formação destas competências. Ao admitir que os EUA já se constituíam uma potência tecnológica no período em análise (fronteira tecnológica), é coerente supor que esta expansão de oferta seja absorvida após um tempo de maturação e adaptação das novas tecnologias (KIM, 1997 ; NELSON, 1996).

⁸⁹ “I showed that an exogenous increase in the ratio of skilled workers or a reduction in the cost of acquiring skills could increase wage inequality. The likely path is first a decline, and then a large increase in the skill premium. These observations fit the U.S. facts where the large increase in the ratio of college graduates during the late 1960s and 1970s first depressed the college premium and then increased it to higher levels than before. (...) The testable implication of the model is that after an increase in the supply of college graduates, R&D directed at technologies complementary to college graduates should increase.” (ACEMOGLU, 1998, p. 1082-1083)

Entretanto, esta mesma análise não se aplica ao modelo coreano na década de 1960. Quando a expansão do sistema educacional ocorreu mais rapidamente que o desenvolvimento, um outro problema surgia a curto prazo: o desemprego associado ao número de diplomados que excedeu a demanda local, na maioria das áreas. Esta deficiência juntamente com a baixa qualidade dos egressos condicionaram sub-investimentos em educação nos períodos seguintes, gerando uma escassez de recursos humanos com alto nível de qualificação e de capacitação (KIM, 1997, p. 107). A deficiência de uma política industrial paralela pode repercutir em um cenário similar, administrando a economia para futuros desequilíbrios. Para contornar este efeito, o planejamento estratégico nos diversos setores é crucial para uma trajetória virtuosa de desenvolvimento. Partindo do trabalho de Acemoglu (1998) adaptado para as funções de demanda E.1 e E.2, temos o “*prêmio para qualificação*” (APÊNDICE A.5):

$$\omega_t(i) \equiv \frac{w^S A_{t-1}(i) \hat{s}_t(i)}{w^U A_{t-1}(i) \hat{u}_t(i)} = (\lambda \pi)^{\frac{\varphi-\beta}{(1-\varphi)(1-\beta)}} \cdot \left[\frac{(\varphi(\gamma-1))^{\frac{1}{1-\varphi}}}{(\beta\eta(d_{t-1}(i)-1))^{\frac{1}{1-\beta}}} \right] \cdot \frac{(w^U)^{\frac{1}{1-\beta}}}{(w^S)^{\frac{1}{1-\varphi}}} \quad \text{W.1}$$

Inicialmente, precisamos analisar a equação W.1 com bastante cautela. Em primeiro lugar, o prêmio para qualificação aumenta quando as firmas locais adotam estratégias de elevada inovação e baixa imitação ($\bar{\gamma}, \underline{\eta}$). Em uma política industrial que planeje avançar para setores de alta tecnologia, os esforços de inovação são fundamentais para direcionar o resultado da política. À medida em que os setores mais desenvolvidos forem sendo implantados na economia, a demanda por mão de obra qualificada aumenta, elevando o prêmio para a qualificação. O aumento do prêmio realoca os recursos humanos das atividades menos intensivas para as mais intensivas em tecnologia. Este processo de realocação induzida termina quando a economia se situa na fronteira. Neste estágio de desenvolvimento, o prêmio para qualificação deixa de existir, e por esta razão a equação W.1 é não-definida quando a economia/setor encontra-se na fronteira ($d_{t-1}(i)=1$). Isto ocorre devido à demanda do setor se concentrar apenas na contratação de mão de obra qualificada, redistribuindo o mercado de trabalho e neutralizando os custos de oportunidade do fator qualificado. Entretanto, quando a economia se inicia com um determinado atraso ($d_{t-1}(i)>1$) e implementa uma política industrial de estímulo às práticas de imitação durante longos períodos, a equação W.1 pode ser modificada. Considerando o exemplo da armadilha da não-convergência:

$$\underline{\omega}_t(i) = (\lambda\pi)^{\frac{\varphi-\beta}{(1-\varphi)(1-\beta)}} \cdot \left[\frac{(\varphi(\gamma-1))^{\frac{1}{1-\varphi}}}{(\beta\bar{\eta}(d_{t-1}^{TRAP}(i)-1))^{\frac{1}{1-\beta}}} \right] \cdot \frac{(w^u)^{\frac{1}{1-\beta}}}{(w^s)^{\frac{1}{1-\varphi}}} \quad \text{W.2}$$

Segundo a equação W.2, o prêmio para qualificação é baixo e estável ao longo do tempo. Isto implica que a expansão da mão de obra qualificada se defronta com elevados custos de oportunidade e com uma demanda reprimida. Para este exemplo, a política compromete as trajetórias tecnológicas de inovação por não conduzir os incentivos da imitação à inovação durante longos períodos do desenvolvimento. A trajetória de risco será menor quanto maior for a distância do prêmio em relação a sua condição mínima:

$$\{\omega_t(i) - \underline{\omega}_t(i)\}_{t=1}^T \rightarrow \zeta > 0 \quad \text{W.3}$$

Quando mais o prêmio se distancia da sua condição mínima, mais a estrutura de mercado redistribui os recursos entre as atividades de baixa intensidade tecnológica para as mais intensivas. É crucial para esta modificação um planejamento adequado da *instituição promotora* do crescimento, atuando desde a formação dos recursos à criação de oportunidades para a adequação da mão de obra às atividades tecnológicas. Fica evidente o cenário da política de educação com arranjos subordinados (ou condicionados) à política industrial (LEE, 2000). Conforme o exemplo da armadilha, o empenho das firmas nas estratégias de imitação, sob condições persistentes no tempo, pode “enrijecer” a demanda por mão de obra qualificada⁹⁰, gerando estruturas de estrangulamento nos futuros esforços de inovação⁹¹. Este cenário “crítico” sugere que a política, na tentativa de corrigir as distorções entre demanda e oferta, pode atuar equivocadamente na restrição de investimentos em educação. Quando a economia é atrasada, a expansão da demanda local, por meio de fortes incentivos à inovação, pode “contrabalancear” muito mais a falha da política, ao invés da redução dos investimentos em educação.

A seguir, será apresentado o modelo empírico, segundo os métodos estatísticos estimados e a construção dos indicadores necessários para a análise do estudo. Em seguida, tem-se a análise dos resultados e posteriormente as conclusões da tese.

⁹⁰ Na Coreia do Sul, especificamente no início dos anos 1960, os desequilíbrios entre a oferta de mão de obra qualificada e a sua demanda conduziu a uma política de sub-investimentos em educação nos anos seguintes. Este processo gerou sérios problemas, destacando a baixa qualidade na educação, tempos posteriores. Entretanto, a forte política industrial redefiniu o cenário criando incentivos e expandindo a demanda por competências qualificadas nas décadas seguintes. Somente depois da expansão do “*parque tecnológico*” sul-coreano, as décadas seguintes a 1980 ficaram estáveis com uma ampla demanda por trabalhadores com alta qualificação. (KIM, 1997, p. 100–112)

⁹¹ Segundo Lee (2000) existem 3 estágios de desenvolvimento: o estágio da imitação, o estágio da internalização e o estágio da criação.

4. MODELO EMPÍRICO

4.1 Operacionalização das Variáveis

O modelo empírico consistiu em um painel com 138 países no período de 1960 a 2007. Esta amostra foi considerada segundo a disponibilidade da base de dados de Barro e Lee (2000). Os dados sobre o PIB, força de trabalho e as séries de investimento foram obtidos na base de dados da Penn World Tables 6.3 compilados por Heston, Summers e Aten (2009). As informações sobre educação foram obtidos pelo banco de dados de Barro e Lee (2000) dispostos em intervalos de 5 anos entre 1960-2000. Esta série divide os anos de escolaridade em três níveis: primário, secundário e terciário ou superior.

A utilização da variável, anos de escolaridade, segue as evidências empíricas da microeconomia minceriana que associa a relação entre os anos médios de escolaridade com o retorno salarial. Esta abordagem do capital humano relaciona o indicador de qualificação como uma função exponencial da escolaridade média, medida em anos de estudo, de forma que as estimativas econométricas apresentam uma modelagem log-linear entre renda e o indicador de capital humano (COHEN E SOTO, 2007). A tabela 2 mostra a evolução dos indicadores de capital humano adotado nos principais estudos de crescimento.

TABELA 2 - Evolução dos indicadores de capital humano na literatura do crescimento econômico.

Anos de Escolaridade (primário, secundário e superior)	Fração de trabalhadores com qualificação (primário, secundário e superior)
Barro e Lee (2000)	Barro e Lee (2000)
Cohen e Soto (2007)	Mankiw, Romer e Weil (1992)
De la Fuente e Doménech (2006)	Aghion, Boustani, Hoxby e Vandenbussche (2009)
Ang, Madsen e Islam (2011)	
Aghion, Boustani, Hoxby e Vandenbussche (2009)	
Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006)	
Benhabib e Spiegel (2005)	

Fonte: Elaboração própria do autor.

Para se calcular os estoques de capital (K) de cada país, fez-se uso do método do inventário perpétuo definido a seguir:

$$K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1}$$

Na equação acima, δ reflete a taxa de depreciação do estoque de capital. A série inicial do estoque é definida como:

$$K_{t=0} = \frac{I_{1950}}{g + \delta}; \delta = 0,06$$

A variável g corresponde à taxa de crescimento médio anual do PIB entre 1950-2007. Para determinar o estoque de mão de obra qualificada e não-qualificada utilizou-se como *proxy*, os anos de escolaridade média do ensino superior (S) e os anos de escolaridade média do ensino primário e secundário (U), considerando uma população com 25 anos ou mais⁹².

Para quantificar a produtividade total dos fatores – PTF (Hick's neutra) adotou-se uma função de produção agregada do tipo Cobb-Douglas:

$$Y_{it} = A_{it} f(K_{it}, L_{it}) = A_{it} (K_{it})^\alpha (L_{it})^{1-\alpha}$$

$$A_{it} = \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) \left(\frac{K_{it}}{L_{it}} \right)^\alpha$$

$$\ln A_{it} = \ln \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) - \alpha \ln \left(\frac{K_{it}}{L_{it}} \right)$$

Aonde Y/L corresponde ao PIB por trabalhador, K/L ao estoque de capital por trabalhador, α a elasticidade parcial do capital e A produtividade total dos fatores. Para calibrar a PTF utilizou-se um valor $\alpha = 0,3$, além das demais séries mencionadas⁹³. Em seguida, o modelo econométrico aplicado constituiu-se num painel com efeitos fixos, aleatórios (Generalized Least Squares – GLS), máxima verossimilhança e de variáveis instrumentais (Two-Stage Least Square with Fixed Effects– 2SLS, Component Error Two-Stage Least Squares – EC2SLS).

A medida de distância tecnológica foi obtida pela razão da PTF de cada país em relação à maior em cada ano (ao longo do período a PTF dos EUA foi considerada como a fronteira tecnológica):

⁹² Os modelos de crescimento apresentados por Hall e Jones (1996 ; 1999) e Benhabib e Spiegel (1994) adotam os anos de escolaridade média para mensurar o estoque de capital humano. Os autores Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) adotaram os anos de escolaridade média e o percentual da população com a escolaridade completa entre os três níveis para analisar os impactos da política educacional no crescimento.

⁹³ Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) adotam o mesmo valor $\delta = 0,06$. O valor da elasticidade parcial do estoque de capital foi o mesmo aplicado por Hall e Jones (1996 ; 1999).

$$a_{it} = \frac{A_{it}}{\max\{A_t\}} \in (0,1] \therefore \forall A_{it} \leq \max\{A_t\} \equiv \bar{A}_t$$

Para estimar o modelo, um dos principais problemas encontrados pela literatura dos modelos de crescimento consiste na endogeneidade da variável educação. Por esta razão, testes de Hausman são necessários para comprovar a validade do estimador de efeitos fixos e compará-lo com os demais estimadores. Entretanto, o estimador de variável instrumental também passa a adquirir uma importância no tratamento da estimação, por adotar um conjunto de instrumentos que visam retirar o viés da endogeneidade (HAYASHI, 2000). A utilização dos instrumentos consiste numa tarefa trabalhosa para os pesquisadores econômicos e de áreas correlatas⁹⁴.

Alguns autores⁹⁵ adotam variáveis geográficas como forma de retirar a endogeneidade dos modelos de crescimento. No entanto, tais variáveis podem não captar adequadamente o processo dinâmico do desenvolvimento⁹⁶. Neste sentido, assim como em Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006), Aghion e Howitt (2009) e Ang, Madsen e Islam (2011), foi adotado, como instrumento, a segunda defasagem ($t-2$) das variáveis de escolaridade (cada nível) e de interação com a distância tecnológica⁹⁷. A tabela 3 apresenta as variáveis do modelo e suas relações entre instrumentadas e instrumentos:

TABELA 3 – Relação entre as variáveis do modelo econométrico.

Variáveis Dependentes	Variáveis Instrumentadas	Instrumentos
$\ln(\text{PIB}/L)_{it}$; $\ln(A)_{it}$; $g(\text{PIB}/L)_{it}$; $g(A)_{it}$; a_{it}	S_{it-1} ; U_{it-1} ; $(S^*a)_{it-1}$; $(U^*a)_{it-1}$	S_{it-2} ; U_{it-2} ; $(S^*a)_{it-2}$; $(U^*a)_{it-2}$

Fonte: Elaboração própria do autor.

A seguir será apresentado o modelo de impacto segundo os métodos de estimação do painel.

⁹⁴ Para mais detalhes sobre a endogeneidade da educação nos modelos de crescimento, veja Bils e Klenow (2000).

⁹⁵ Hall e Jones (1999), Klenow e Rodríguez-Clare (1997) e Gallup, Sachs e Mellinger (1999).

⁹⁶ “Note also that geography is indeed “exogenous” in the sense that, with some notable exceptions such as global warming, it is not much influenced by economic decisions. But this does not make it “econometrically exogenous”. Geographic characteristics may still be (and in fact likely are) correlated with other factors that influence economic growth.” (ACEMOGLU, 2009, p.145)

⁹⁷ Barro e Lee (2010) também adotaram como instrumentos, em um modelo de painel com efeitos fixos e aleatórios de variáveis instrumentais, a defasagem de 10 anos da escolaridade média para retirar o viés da endogeneidade e da simultaneidade das variáveis de capital humano e crescimento.

4.2 Modelo Econométrico

Foi considerada a seguinte especificação empírica para os níveis de PIB por trabalhador, produtividade, crescimento do PIB por trabalhador e crescimento da PTF:

$$(1) \ln A_{it} = \beta_0 + \beta_1 * a_{it-1} + \beta_2 * a_{it-1} * U_{it-1} + \beta_3 * a_{it-1} * S_{it-1} + \beta_4 * U_{it-1} + \beta_5 * S_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

$$(2) \ln \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) = \beta_0 + \beta_1 * a_{it-1} + \beta_2 * a_{it-1} * U_{it-1} + \beta_3 * a_{it-1} * S_{it-1} + \beta_4 * U_{it-1} + \beta_5 * S_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

$$(3) g \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) = \beta_0 + \beta_1 * g(A_{it}) + \beta_2 * a_{it-1} * g(U_{it}) + \beta_3 * a_{it-1} * g(S_{it}) + \beta_4 * U_{it} + \beta_5 * S_{it} + \beta_6 * a_{it-2} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it}$$

$$(4) a_{it} = \beta_0 + \beta_1 * U_{it-1} + \beta_2 * S_{it-1} + \beta_3 * a_{it-2} + \beta_4 * u_{it-1} * a_{it-1} + \beta_5 * s_{it-1} * a_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

$$\varepsilon_{it} = \beta_i + \beta_t + \eta_{it} \therefore u_{it-1} = U_{it-1} / L_{it-1} ; s_{it-1} = S_{it-1} / L_{it-1}$$

Conforme o modelo acima, as variáveis, A , Y/L , a , S , U e $g(\cdot)$, são respectivamente a PTF, PIB por trabalhador, proximidade com a fronteira tecnológica, anos de escolaridade média do ensino terciário (superior), anos de escolaridade média do ensino primário e secundário, e as funções de crescimento. As variáveis u e s correspondem à proporção da população com formação completa no ensino secundário e superior em cada país.

Para validar as estimativas do painel com efeitos fixos em relação aos efeitos aleatórios (GLS e máxima verossimilhança) adotou-se o teste de Hausman. Sob a hipótese nula, os coeficientes de heterogeneidade individual e temporal (β_i, β_t) não são correlacionados com a matriz de regressores e o método de efeitos aleatórios apresenta-se consistente. Caso contrário, o estimador de efeitos fixos torna-se mais aconselhado.

Para testar o método de estimação por variáveis instrumentais adotou-se uma série de procedimentos estatísticos (testes de hipótese) para validar o modelo.

A próxima seção destina-se a uma revisão teórica do método de estimação, destacando os principais testes de hipótese para amparar a consistência do modelo investigado.

4.3 Estimação com Dados em Painel ou Longitudinais

O conjunto de dados em painel ou longitudinais tem sido a principal opção nos estudos econométricos, por incluírem múltiplas observações no tempo para cada série (*cross-section*). Os dados em painel costumam oferecer, ao pesquisador, um número considerável de observações, aumentando os graus de liberdade e reduzindo a colinearidade entre as variáveis explicativas – consequentemente, melhorando a eficiência das estimativas econométricas. Mais importante, os dados longitudinais permitem ao investigador uma análise mais detalhada de questões econômicas que não podem ser tratadas através de corte transversal (*cross-section*) ou do conjunto de dados de séries temporais (HSIAO, 2003).

Segundo Baltagi (2008), podem-se listar os seguintes benefícios com a metodologia de dados em painel:

- 1) ***Heterogeneidade individual***: os dados em painel sugerem que os indivíduos, as firmas, os estados e os países são heterogêneos. Os estudos de séries temporais ou cortes transversais não controlam esta heterogeneidade, podendo levar a resultados inconsistentes;
- 2) ***Mais informações sobre os dados***: os dados longitudinais oferecem mais informações sobre as variáveis de estudo, destacando maior variabilidade, menor colinearidade, mais graus de liberdade e mais eficiência das estimativas;
- 3) ***Dinâmica***: os dados em painel oferecem mais informações sobre a dinâmica de ajustamento entre as unidades de corte transversal;
- 4) ***Abrangência na medição dos efeitos***: os dados longitudinais são mais capazes de identificar e medir efeitos que não são simplesmente detectáveis em dados puramente temporais ou de corte transversal. Tendências enviesadas resultantes do processo de agregação de microdados podem ser reduzidos ou eliminados nos modelos com dados em painel;
- 5) ***Testes comportamentais***: os modelos de dados em painel são mais complexos em seus estudos comportamentais, de forma que os dados temporais e de corte transversal estão limitados na investigação;

As vantagens do uso de metodologias econométricas com dados em painel tem sido um consenso em vários estudos (WOOLDRIDGE, 2002). A seguir, serão apresentados os principais métodos de estimação que serão adotados na metodologia empírica da tese.

4.3.1 Método com Efeitos Fixos

O processo de estimação com dados em painel difere do método com dados em *cross-section* ou temporais, em alguns aspectos metodológicos. Entre eles, podemos citar o componente de heterogeneidade individual e/ou temporal, caso aceita a hipótese de sua existência, que passa a ser incorporado ao método de estimação (HAYASHI, 2000). Resumidamente, temos:

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + u_{it} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \text{EF.1}$$

Onde i denota os indivíduos, as firmas, os países, etc. e t o tempo. Consequentemente, os subscritos i e t , apresentam as dimensões de corte transversal e temporal. Os parâmetros α e β , representam, respectivamente, os coeficientes lineares e angulares médios da amostra. O componente de erro u_{it} passa a incorporar os efeitos de heterogeneidade da amostra, perceptível entre indivíduos e no tempo: $u_{it} = \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it}$. Em forma matricial, temos

$$\begin{matrix} \mathbf{Y} \\ (NT \times 1) \end{matrix} = \begin{matrix} \mathbf{X} \\ (NT \times K) \end{matrix} \times \begin{matrix} \beta \\ (K \times 1) \end{matrix} + \begin{matrix} \mathbf{u} \\ (NT \times 1) \end{matrix} \quad \text{EF.2}$$

❖ *Pressupostos:*

- (1) Sistema de T equações lineares;
- (2) Amostra aleatória: $\{y_{it}, x'_{it}\} \sim \text{i.i.d.}$;
- (3) Ortogonalidade: $E(x_{it}\varepsilon_{it}) = 0$, para todo i, t , isto é $\Leftrightarrow E(\varepsilon_i \otimes x_i)$, onde $\otimes$ corresponde ao produto de Kronecker⁹⁸;
- (4) Ortogonalidade dos efeitos fixos: $E(x_{it}\gamma_t) = 0$ e $E(x_{it}\mu_i) = 0$
- (5) Homocedasticidade condicional⁹⁹: $E(\varepsilon_i \varepsilon'_i | X_i) = E(\varepsilon_i \varepsilon'_i) \equiv \Sigma$

⁹⁸ Esta operação matricial particular é chamada de produto de Kronecker em Homenagem ao Matemático Alemão Leopold Kronecker (1823–1891). Este produto é definido da seguinte maneira: sejam duas matrizes $\mathbf{A}$ ($M \times N$) e $\mathbf{B}$ ($K \times L$) o produto de Kronecker é: $\mathbf{A} \otimes \mathbf{B} = [a_{mn}\mathbf{B}]$, onde $m=1, \dots, M$ e $n=1, \dots, N$.

⁹⁹ A violação deste pressuposto geralmente é mais vista em painéis não-balanceados, o que gera estimativas ineficientes.

Sobre estes pressupostos, podemos organizar um método eficiente de estimação para os parâmetros. Reorganizando a equação matricial para T e N, incluindo os componentes de heterogeneidade, temos:

$$\underset{(NT \times 1)}{Y} = \alpha \underset{(NT \times 1)}{1_{NT}} + \underset{(NT \times K)}{X} \times \underset{(NT \times 1)}{\beta} + \underset{(NT \times 1)}{u} \therefore u = Z_{\mu} \mu + Z_{\gamma} \gamma + \varepsilon \quad \text{EF.3}$$

$$Y = Z' \delta + Z'_{\mu} \mu + Z'_{\gamma} \gamma + \varepsilon \quad \text{EF.4}$$

Nas equações EF.2 e EF.3, o vetor 1_{NT} de dimensão NT tem como elementos os números “1”, as matrizes de efeitos fixos $Z'_{\mu} = I_N \otimes 1_T$ e $Z'_{\gamma} = 1_N \otimes I_T$ de dimensão $(NT \times N)$ e $(NT \times T)$, respectivamente, $\delta' = [\alpha, \beta]$ ao vetor de parâmetros transformado e as matrizes identidade I_N de ordem N e I_T de ordem T, compõem a equação final a ser estimada.

Segundo Baltagi (2008), se N ou T forem grandes na amostra, haverá muitas estimativas dos efeitos fixos $\{(N-1)+(T-1)\}$ o que reduz os graus de liberdade no modelo. Entretanto, tais estimativas reduzem os efeitos da multicolinearidade entre as variáveis, o que torna as estimativas dos parâmetros mais consistentes¹⁰⁰.

Quando o pressuposto de ortogonalidade dos efeitos fixos falha, existe um método conhecido como Método de Estimação com Efeitos Fixos¹⁰¹ que admite a violação deste pressuposto, mas preservando a não-tendenciosidade das estimativas. Desta forma, existe uma matriz Q e um projetor P, tal que:

$$\exists Q, P \therefore P_i = 1_{NT} (1'_{NT} 1_{NT})^{-1} 1'_{NT} \quad \text{EF.5}$$

$$\underset{(NT \times NT)}{Q} \equiv I_{NT} - 1_{NT} (1'_{NT} 1_{NT})^{-1} 1'_{NT} = I_{NT} - \frac{1}{NT} 1_{NT} 1'_{NT} \quad \text{EF.6}$$

Aplicando a matriz Q em EF.4 temos o estimador de efeitos fixos:

$$QY = QZ' \delta + Qu \Rightarrow \tilde{Y} = \tilde{Z}' \tilde{\delta} \therefore Qu = 0$$

$$\tilde{Z}' \tilde{Y} = \tilde{Z}' \tilde{Z} \tilde{\delta} = (Z' Q' Q Z)^{-1} Z' Q' Q Y$$

Q é simétrica e idempotente.

$$\tilde{\delta}_{EF} = (Z' Q Z)^{-1} Z' Q Y \quad \text{EF.7}$$

¹⁰⁰ Isto também é enfatizado por Hayashi (2000) e Hsiao (2003).

¹⁰¹ Lee (2002) e Cameron e Trivedi (2005) chamam o método de estimação com efeitos fixos e aleatórios por métodos correlacionados e não-correlacionados, respectivamente.

Se o verdadeiro modelo considerar os efeitos de heterogeneidade e temporal, o estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO) produzirá estimativas viesadas e inconsistentes dos parâmetros da regressão. Isto por que as estimativas de MQO ignoram a influência do conjunto de efeitos fixos, levando uma correlação assintótica entre os regressores e a perturbação estocástica (HSIAO, 2003). A seguir, será apresentado um método alternativo quando o pressuposto (4) não é violado.

4.3.2 Método com Efeitos Aleatórios

Em alguns modelos, os componentes de heterogeneidade individual e temporal são assumidos variáveis aleatórias cujas distribuições independem dos regressores. Neste caso, o pressuposto de ortogonalidade dos efeitos com os regressores é satisfeito e um método alternativo ao de efeitos fixos pode produzir estimativas não-tendenciosas (CAMERON E TRIVEDI, 2005).

A Tabela 1 apresenta a consistência das estimativas segundo o método de estimação, obedecendo ou não o real modelo:

TABELA 4 - Consistência das estimativas segundo a metodologia adotada na estimação.

Estimador de β	Modelo Real Considerado		
	MQO	MEA	MEF
	Equação EF.1	Equação EF.1	Equação EF.1
Mínimos Quadrados Ordinários - MQO	Consistente	Consistente	<i>Inconsistente</i>
Método de Efeitos Fixos - MEF	Consistente	Consistente	Consistente
Método de Efeitos Aleatórios - MEA	Consistente	Consistente	<i>Inconsistente</i>

Fonte: Adaptado de Cameron e Trivedi (2005, p.699)

Em um modelo de regressão com dados em painel, a estimação por mínimos quadrados ordinários pode oferecer estimativas consistentes caso os efeitos fixos sejam rejeitados no modelo real. Este mesmo argumento vale para a estimação com efeitos aleatórios. Contudo, a rejeição indevida dos efeitos de heterogeneidade individual e temporal pode ocasionar estimativas assintoticamente tendenciosas aos parâmetros. Neste sentido, podemos destacar um pressuposto de exogeneidade forte aos coeficientes de heterogeneidade (individual e temporal):

- ❖ **Exogeneidade Forte ou Estrita:** A perturbação estocástica tem média condicional zero com os seus valores passados, correntes e futuros, além das variáveis explanatórias e dos efeitos de heterogeneidade.

$$E(\varepsilon_{it} | \gamma_t, \mu_i, X) = 0 \therefore \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad \text{EA.1}$$

$$E(\gamma_t x_{it}) = E(\mu_i x_{it}) = 0 \quad \text{EA.2}$$

Para estimar o modelo com efeitos aleatórios é preciso conhecer a distribuição dos componentes de efeitos e da perturbação estocástica (esta última já é bastante conhecida pela literatura). Conforme Baltagi (2008):

$$\gamma_t \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_\gamma^2) \therefore \mu_i \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_\mu^2) \therefore \varepsilon_{it} \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad \text{EA.3}$$

$$E(\gamma_t \mu_i) = E(\varepsilon_{it} \mu_i) = E(\gamma_t \varepsilon_{it}) = 0, \text{ para todo } t. \quad \text{EA.4}$$

Em seguida, a estimação da matriz de variância-covariância de u_{it} será necessária para compor o estimador de efeitos aleatórios. Para facilitar o método, vamos considerar $\gamma_t = 0$ para todo t .

$$E(uu') = \sigma_\varepsilon^2 I_{NT} + \sigma_\mu^2 (\mathbf{1}'_{NT} \mathbf{1}_{NT}) = V, \quad \text{EA.5}$$

$$\text{onde } (\mathbf{1}'_{NT} \mathbf{1}_{NT}) = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{(NT \times NT)}$$

$$V^{-1} = \frac{1}{\sigma_\varepsilon^2} \left[I_{NT} - \frac{\sigma_\mu^2}{\sigma_\varepsilon^2 + \sigma_\mu^2} (\mathbf{1}'_{NT} \mathbf{1}_{NT}) \right] \quad \text{EA.6}^a$$

$$V^{-1} = \frac{1}{\sigma_\varepsilon^2} \left[Q + \frac{\sigma_\mu^2}{\sigma_\varepsilon^2 + \sigma_\mu^2} (\mathbf{1}'_{NT} \mathbf{1}_{NT}) \right] \quad \text{EA.6}^b$$

As equações EA.6^a e EA.6^b são formas alternativas para estimar a inversa da matriz V. Wallace e Hussain (1969) e Graybill (1961) adotam a equação “a”, enquanto Maddala (1971) sugere a modificação na equação “b”. Segue-se que:

$$\tilde{\delta}_{EA} = (Z' V^{-1} Z)^{-1} Z' V^{-1} Y \quad \text{EA.7}$$

Decompondo o vetor de parâmetros, teremos estimativas para cada coeficiente segundo método de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG). Este procedimento oferece estimativas não-tendenciosas quando os efeitos de heterogeneidade satisfazem o critério de exogeneidade estrita ou forte.

A próxima seção apresenta outro método popular na teoria da regressão linear, este método é conhecido como máxima verossimilhança. Esta metodologia de estimação é utilizada para comparar as propriedades assintóticas com os demais estimadores. O método é eficiente e não-tendencioso.

4.3.3 Método de Máxima Verossimilhança

O conceito do estimador de máxima verossimilhança deve-se às contribuições do estatístico britânico *Ronald Aylmer Fisher* (1890–1962) que, na década de 1920, popularizou suas aplicações e demonstrou a eficiência dos estimadores segundo o método¹⁰². A partir de então, este método de estimação ficou famoso por suas inúmeras aplicações, cujas propriedades assintóticas desejadas aos parâmetros são satisfeitas (DAVIDSON E MACKINNON, 2004).

O modelo parte do pressuposto que, se a perturbação estocástica é normalmente distribuída, os estimadores de máxima verossimilhança – EMV – coincidem com os estimadores de mínimos quadrados ordinários, além de excelentes propriedades assintóticas¹⁰³.

Tomando um caso simples de regressão com dados cross-section, temos $\{y_i\}_{i=1}^n \sim \text{i.i.d.}$, com uma seqüência de amostras aleatórias independente e identicamente distribuídas. A função de densidade de probabilidade de cada amostra é um elemento de uma família de funções de densidade cuja forma funcional conhecida $f(.,.)$ não dependa de i . De forma usual à teoria, será designado variável dependente o vetor n -dimensional y . Para um vetor k -dimensional de parâmetros θ , a função de densidade conjunta de y é definida como $f(y; \theta)$. Neste sentido, procura-se o vetor paramétrico $\hat{\theta}$ que maximiza a função de densidade que é definida como função de verossimilhança. Supondo que θ_0 seja o real valor da estimativa $\hat{\theta}$ e que ele pertença ao espaço paramétrico $\theta_0 \in \Theta$, a função de densidade para as n amostras é chamada de função de verossimilhança¹⁰⁴:

¹⁰² FISHER, R.A. (1925) "Theory of statistical estimation" *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 22: 700–725.

¹⁰³ Segundo Davidson e MacKinnon (2004): "(...) maximum likelihood can also be applied to an extremely wide variety of models other than regression models, and it generally yields estimators with excellent asymptotic properties. The major disadvantage of ML estimation is that it requires stronger distributional assumptions than does the method of moments." (p.399)

¹⁰⁴ Para um estudo detalhado sobre este método, veja Hayashi (2000, cap.7, p.448).

$$f(y_1, \dots, y_n; \theta_0) = \prod_{i=1}^n f(y_i; \theta_0) \quad \text{MV.1}$$

Aplicando uma modificação monotônica através de uma transformação logarítmica, temos:

$$\log f(y_1, \dots, y_n; \theta_0) = \log \left[\prod_{i=1}^n f(y_i; \theta_0) \right] = \sum_{i=1}^n \log f(y_i; \theta_0) \quad \text{MV.1}$$

A função $\log f(\cdot, \cdot)$ é chamada de log da função de verossimilhança ou definida como função $L(\cdot, \cdot)$. Admitindo a normalidade de y , podemos definir sua distribuição da seguinte maneira: $\gamma_t \sim N(X' \beta, \sigma^2)$. No modelo tradicional de regressão, Greene (2003, p.472) apresenta:

$$\begin{aligned} L(y | \theta, X) &= \sum_{i=1}^n \ln f(y_i | \theta, x_i) \\ &= -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[\ln \sigma^2 + \ln(2\pi) + (y_i - x_i' \beta)^2 / \sigma^2 \right] \end{aligned} \quad \text{MV.2}$$

Considerando o modelo com dados em painel e sem efeitos no tempo ($\gamma_t = 0$), segundo Hsiao (2003) tem-se:

$$\begin{aligned} L &= -\frac{NT}{2} \log 2\pi - \frac{N}{2} \log |V| \\ &\quad - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_i - \iota_N \mu - x_i \beta)' V^{-1} (y_i - \iota_N \mu - x_i \beta) \\ |V| &= \sigma_\varepsilon^{2(T-1)} (\sigma_\varepsilon^2 + T \sigma_\mu^2) \end{aligned} \quad \text{MV.3}$$

O estimador de máxima verossimilhança (EMV) é o vetor paramétrico $\tilde{\delta}' = (\mu, \beta, \sigma_\varepsilon^2, \sigma_\mu^2)$ que maximiza o log da função de verossimilhança – L. Logo podemos aplicar as condições de 1ª ordem:

Solução para μ, β :

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = \frac{T}{\sigma_\varepsilon^2 + T \sigma_\mu^2} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \mu - \bar{x}_i' \beta) = 0 \quad \text{MV.4}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = \frac{1}{\sigma_{\varepsilon}^2} \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \iota_N \mu - x_i \beta) Q x_i - \frac{T \sigma_{\varepsilon}^2}{\sigma_{\varepsilon}^2 + \sigma_{\mu}^2} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \mu - \bar{x}_i' \beta) \bar{x}_i' \right] = 0 \quad \text{MV.5}$$

Solução para $\sigma_{\varepsilon}^2, \sigma_{\mu}^2$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \sigma_{\varepsilon}^2} &= -\frac{N(T-1)}{2\sigma_{\varepsilon}^2} - \frac{N}{2(\sigma_{\varepsilon}^2 + T\sigma_{\mu}^2)} \\ &+ \frac{1}{2\sigma_{\varepsilon}^4} \sum_{i=1}^N (y_i - \iota_N \mu - x_i \beta)' Q (y_i - \iota_N \mu - x_i \beta) \quad \text{MV.6} \\ &+ \frac{T}{2(\sigma_{\varepsilon}^2 + T\sigma_{\mu}^2)} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \mu - \bar{x}_i' \beta)^2 = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma_{\mu}^2} = -\frac{NT}{2(\sigma_{\varepsilon}^2 + T\sigma_{\mu}^2)} + \frac{T^2}{2(\sigma_{\varepsilon}^2 + T\sigma_{\mu}^2)} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \mu - \bar{x}_i' \beta)^2 = 0 \quad \text{MV.7}$$

Segundo Hsiao (2003) a solução simultânea das equações MV.4-7 pode se tornar complicada. Para solucioná-las faz-se necessário um procedimento de iteração conhecido como Newton–Raphson¹⁰⁵. Este procedimento adota um valor inicial de teste $\hat{\delta}^{(1)}$ para $\tilde{\delta}$, substituindo na seguinte fórmula:

$$\hat{\delta}^{(j)} = \hat{\delta}^{(j-1)} - \left[\frac{\partial^2 L}{\partial \tilde{\delta} \partial \tilde{\delta}'} \right]_{\tilde{\delta} = \hat{\delta}^{(j-1)}}^{-1} \cdot \frac{\partial L}{\partial \tilde{\delta}} \Big|_{\tilde{\delta} = \hat{\delta}^{(j-1)}}$$

Este processo se repete até que a j-ésima solução iterada $\hat{\delta}^{(j)}$ se aproxima da (j-1)-ésima solução iterada $\hat{\delta}^{(j-1)}$. O algoritmo de Newton–Raphson é aplicado em vários pacotes econométricos (destacando STATA e Eviews). Outras formas de estimação também estão disponíveis¹⁰⁶. As propriedades assintóticas dos estimadores de máxima verossimilhança são desejáveis quando tanto a amostra de corte N e a temporal convergem assintoticamente.

Conforme Greene (2003) as propriedades dos estimadores de máxima verossimilhança podem apresentar um resultado sub-ótimo em amostras finitas. Em exemplos

¹⁰⁵ Este método deve-se às contribuições em análise numérica de Isaac Newton (1643-1727) e Joseph Raphson (1648-1715).

¹⁰⁶ Veja Hsiao (2003, p.40).

apresentados pelo autor, as estimativas de variância apresentaram um viés para baixo [p.473]. Em algumas situações de amostras grandes, os parâmetros também podem apresentar sinais de tendenciosidade. Isto destaca a importância de confrontar várias técnicas de estimação no modelo empírico para comprovar as potenciais distorções a que alguns métodos podem estar sujeitos.

A seguir será apresentada uma metodologia alternativa denominada método de estimação por variáveis instrumentais.

4.4 Método de Estimação: Variáveis Instrumentais (VI) ¹⁰⁷

Este método de estimação tem-se tornado cada vez mais freqüente nos principais estudos de crescimento econômico. A adoção de um conjunto de instrumentos válidos, que possam retirar o viés atribuído à endogeneidade de alguns dos regressores, tem facilitado grande parte das análises empíricas.

Partindo do modelo tradicional de regressão linear com dados em painel, temos:

$$\begin{bmatrix} y_{i1} \\ \vdots \\ y_{iT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z'_{i1} \delta \\ \vdots \\ z'_{iT} \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_i \\ \vdots \\ \alpha_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_t \\ \vdots \\ \alpha_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_{i1} \\ \vdots \\ \eta_{iT} \end{bmatrix} \therefore \begin{cases} \mathbf{y}_i = \mathbf{z}'_i \boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\varepsilon}_i \therefore (i = 1, 2, \dots, n) \\ \boldsymbol{\varepsilon}_i = \mathbf{1}_T \alpha_i + \mathbf{1}_1 \alpha_t + \boldsymbol{\eta}_i \end{cases}$$

Adotando um conjunto de instrumentos $\{\mathbf{x}_i\}$ para retirar o viés atribuído à violação do pressuposto $E(\mathbf{z}_i | \boldsymbol{\varepsilon}_{it}) \neq 0$, a validade do método depende de algumas restrições importantes que precisam ser impostas ao modelo:

❖ **Condições de Ortogonalidade:** Todas K -variáveis em $\{\mathbf{x}_i\}$ são pré-determinadas, ou seja, cada elemento é ortogonal à perturbação estocástica.

$$E[\mathbf{x}_i \cdot (\mathbf{y}_i - \mathbf{z}'_i \boldsymbol{\delta})] = 0 \therefore E(\mathbf{g}_i) = 0; \mathbf{g}_i \equiv \mathbf{x}_i \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_i$$

❖ **Instrumentos válidos:** Os instrumentos precisam estar correlacionados com os regressores endógenos. Caso contrário, o estimador de variáveis instrumentais pode não ser definido (HAYASHI, 2000).

Para verificar as condições de validade dos instrumentos, o teste de condição de posto (rank) da matriz constitui uma ferramenta muito importante para a comprovação.

¹⁰⁷ *Instrumental Variables*. Para maiores detalhes sobre este método, veja Theil, H. (1953) “*Repeated Least Squares Applied to Complete Equation Systems*.” The Hague: Central Planning Bureau (Mimeo).

❖ **Condição de posto (rank) da matriz:** A matriz $E(\mathbf{x}_i \mathbf{z}_i')$ $K \times L$ tem posto completo. Isto é, o posto é igual a L , o número de colunas/regressores endógenos). Esta matriz é denotada por $\mathbf{\Omega}_{xz}$.

Para testar isto, basta demonstrar que a $Cov(\mathbf{x}_i \mathbf{z}_i') = E(\mathbf{x}_i \mathbf{z}_i') - E(\mathbf{x}_i)E(\mathbf{z}_i')$ é diferente de zero, logo:

$$\mathbf{\Omega}_{xz} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & E(\mathbf{z}_i) \\ E(\mathbf{x}_i) & E(\mathbf{x}_i \mathbf{z}_i') \end{bmatrix} \therefore \det(\mathbf{\Omega}_{xz}) \neq 0$$

A condição de posto da matriz mostra que $\mathbf{g}_i = \mathbf{g}(\mathbf{w}_i, \boldsymbol{\delta}) \equiv \mathbf{x}_i \cdot (\mathbf{y}_i - \mathbf{z}_i' \boldsymbol{\delta})$, implica em $E[\mathbf{g}(\mathbf{w}_i, \boldsymbol{\delta})] = \mathbf{0}_{(K \times 1)}$, para $\mathbf{w}_i = (\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i, \mathbf{z}_i')$ e $\boldsymbol{\delta} = \tilde{\boldsymbol{\delta}}$ solução do sistema.

Como o modelo estimado é linear, a função $\mathbf{g}(\mathbf{w}_i, \tilde{\boldsymbol{\delta}})$ é também linear em $\tilde{\boldsymbol{\delta}}$ e podemos escrever $\mathbf{x}_i \cdot (\mathbf{y}_i - \mathbf{z}_i' \boldsymbol{\delta})$ como um sistema de K equações lineares:

$$E(\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{y}_i) - E(\mathbf{x}_i \mathbf{z}_i') \tilde{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{0} \therefore \mathbf{\Omega}_{xz} \tilde{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{\Omega}_{xy}$$

Para a solução acima existir, a inversa $(\mathbf{\Omega}_{xz})^{-1}$ também deva existir. Logo o determinante da matriz precisa ser estatisticamente diferente de zero. Portanto, a condição de ordem para identificação é definida como $rank(\mathbf{\Omega}_{xz}) \geq L$ ¹⁰⁸:

- **Super identificada:** se a condição de posto é satisfeita e $K > L$;
- **Exatamente identificada:** se a condição de posto é satisfeita e $K = L$;
- **Sub-identificada:** a condição de posto não é satisfeita e $K < L$.

O teste adotado para verificação da regra de posto consiste na estatística da razão de verossimilhança de Anderson¹⁰⁹.

Para verificar as condições de exogeneidade dos instrumentos, a estatística de Sargan-Hansen¹¹⁰ (SARGAN (1958); HANSEN (1982)) fez parte do escopo analítico desta investigação. Sob a hipótese nula, os instrumentos são não-correlacionados com a perturbação estocástica, ou seja, os instrumentos são corretamente excluídos da equação estimada:

¹⁰⁸ A hipótese nula é a condição de sub-identificação e a alternativa é a identificação exata ou super-identificação. Adotando um conjunto de instrumentos, a estatística testa a sua validade por meio da rejeição da hipótese nula (aceitação da alternativa).

¹⁰⁹ Testes de Heterocedasticidade e correlação serial rejeitaram a hipótese de existência. Como para amostras finitas o estimador de IV-2SLS apresenta ganhos de eficiência em relação ao GMM, optou-se pelo primeiro. Para maiores detalhes, veja Kleibergen e Paap (2005).

¹¹⁰ Para maiores detalhes sobre as estatísticas de restrição para superidentificação, veja Hayashi (2000).

(*) $J\left(\tilde{\delta}, \left(\hat{\sigma}^2 \cdot S_{XX}\right)^{-1}\right) \equiv \frac{n \cdot g\left(\tilde{\delta}\right)' \cdot \left(S_{XX}\right)^{-1} \cdot g\left(\tilde{\delta}\right)}{\hat{\sigma}^2}$; Onde, $g(.)$ é a função distância definida como:

$$g\left(\tilde{\delta}\right) = \left(S_{XY} - S_{XZ}\tilde{\delta}\right) \therefore J\left(\tilde{\delta}, \left(\hat{\sigma}^2 \cdot S_{XX}\right)^{-1}\right) \xrightarrow{d} \chi^2(K-L) \therefore S_{XX} = 1/n \sum x_i x_i'.$$

Na estatística de Sargan-Hansen, o parâmetro $\tilde{\delta}$ corresponde ao estimador de variáveis instrumentais. Se a equação é exatamente identificada, é possível escolher um $\tilde{\delta}$ que implica em $g\left(\tilde{\delta}\right) = 0 \Leftrightarrow J\left(\tilde{\delta}, \left(\hat{\sigma}^2 \cdot S_{XX}\right)^{-1}\right) = 0$. Entretanto, se a equação é super-identificada, a função distância $g(.)$, e consequentemente a estatística $J(.)$, assumirão um valor mínimo e próximo a zero, mas não exatamente zero (não-rejeição de H_0).

Neste sentido, a hipótese testada é a de super-identificação ou exatamente identificada contra a alternativa de sub-identificação.

4.4.1 Método EC2SLS versus G2SLS

Em um estudo sobre a eficiência dos estimadores em equações simultâneas, Baltagi e Li (1992) mostraram que os estimadores de mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erro (EC2SLS) apresentavam uma eficiência maior em relação aos mínimos quadrados generalizados em 2-estágios (G2SLS). Sob condições de amostra pequena, a matriz de diferenças entre os dois estimadores era semi-definida positiva. Contudo, as diferenças tenderiam para zero quando a amostra convergia para o infinito, demonstrando ganhos de eficiência do estimador EC2SLS em amostra finita.

Considerando um modelo de regressão com dados em painel e componente de erro, temos:

$$y_{it} = Z'_{it}\beta + u_{it} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad \text{VI.1}$$

Onde $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ com $\mu_i \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_\mu^2) \therefore v_{it} \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_v^2)$ e o vetor Z'_{it} com $(1 \times g)$ observações de variáveis explanatórias que incluem regressores endógenos. X_{it} é um conjunto de k instrumentos exógenos cuja equação pode ser reescrita da seguinte maneira $Y = Z'\beta + u$, onde Y e u são vetores $(n \times 1)$, Z é um vetor $(n \times g)$ e X $(n \times k)$, com $n = NT$.

Para a estimação de β , Balestra e Varadharajan-Krishnakumar (1987) adotaram a seguinte maneira: $\hat{\beta}_{G2SLS} = (Z^* P_X^* Z^*)^{-1} Z^* P_X^* Y^*$, onde $\hat{\beta}_{G2SLS}$ é um estimador não-tendencioso de β . Na formula do estimador, a matriz projetora- X é definida como:

$$P_X^* = X^* (X^{*'} X^*)^{-1} X^{*'} \therefore X^* = \Omega^{-1/2} X \quad \text{VI.2}$$

$$\Omega^{-1/2} = \frac{P}{\sigma_1} + \frac{Q}{\sigma_v} \quad \text{e} \quad P = I_N \otimes \bar{J}_T, \quad \text{onde} \quad \otimes \quad \text{corresponde ao produto de}$$

Kronecker¹¹¹ e I_N é uma matriz identidade de dimensão N .

$$\bar{J}_T = J_T / T \therefore Q = I_{NT} - P \quad \text{e} \quad \sigma_1^2 = T\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2 \quad \text{VI.3}$$

Onde J_T corresponde a uma matriz de valores “1” com dimensão T .

Baltagi (1981) e Baltagi e Li (1992) adotaram uma mudança no estimador da seguinte maneira:

$$\hat{\beta}_{EC2SLS} = (Z^* P_A Z^*)^{-1} Z^* P_A Y^* \quad \text{VI.4}$$

O estimador $\hat{\beta}_{EC2SLS}$ consiste em uma alternativa ao $\hat{\beta}_{G2SLS}$ com algumas modificações:

$$P_A = A (A' A)^{-1} A' \therefore A = [\tilde{X}, \bar{X}] \quad \text{e} \quad \tilde{X} = P X, \bar{X} = Q X \quad \text{VI.5}$$

As definições das demais matrizes são as mesmas da equação anterior. A matriz A , abrange o mesmo conjunto de instrumentos propostos por Balestra e Varadharajan-Krishnakumar (1987)¹¹²:

$$X^* = \Omega^{-1/2} X = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \tilde{X} \\ \sigma_1 \\ \sigma_v \end{bmatrix} \Leftrightarrow P_A = P_{\tilde{X}} + P_{\bar{X}} \quad \text{VI.6}$$

Em seguida, Baltagi e Liu (2009) demonstraram que, em amostras pequenas, a variância assintótica do estimador EC2SLS é mais eficiente do que o estimador G2SLS. Segundo a prova a seguir, temos¹¹³:

¹¹¹ Esta operação matricial particular é chamada de produto de Kronecker em Homenagem ao Matemático Alemão Leopold Kronecker (1823–1891). Este produto é definido da seguinte maneira: sejam duas matrizes A ($M \times N$) e B ($K \times L$) o produto de Kronecker é: $A \otimes B = [a_{mn} B]$, onde $m=1, \dots, M$ e $n=1, \dots, N$.

¹¹² Para maiores detalhes sobre esta demonstração, veja Baltagi (2008, Cap. 7, p.115).

¹¹³ “In this note, we show that the asymptotic variance of G2SLS differs from that of EC2SLS by a positive semi-definite matrix. Although this difference tends to zero as the sample size tends to infinity, in small samples, this

❖ **Prova:**

$\text{avar}(\sqrt{n}\hat{\beta}_{G2SLS}) = \text{plim}\left(\frac{Z^{*'}P_X Z^*}{n}\right)^{-1}$; $\text{avar}(\sqrt{n}\hat{\beta}_{EC2SLS}) = \text{plim}\left(\frac{Z^{*'}P_A Z^*}{n}\right)^{-1}$ Em seguida, temos que: $\text{avar}(\sqrt{n}\hat{\beta}_{G2SLS}) - \text{avar}(\sqrt{n}\hat{\beta}_{EC2SLS})$ é uma matriz semi-definida positiva se $\text{plim}\left(\frac{Z^{*'}P_A Z^*}{n}\right)^{-1} - \text{plim}\left(\frac{Z^{*'}P_X Z^*}{n}\right)^{-1}$ também for. Logo: $\left(\frac{Z^{*'}(P_A - P_X)Z^*}{n}\right)$ deva ser também semi-definida positiva. Portanto, quando $n \rightarrow \infty$, o termo $\left(\frac{Z^{*'}(P_A - P_X)Z^*}{n}\right) \rightarrow 0$, para $Z^{*'}(P_A - P_X)Z^*$ finito. Consequentemente, os dois estimadores possuem a mesma variância assintótica. Entretanto para um n finito e suficientemente pequeno, o termo $\left(\frac{Z^{*'}(P_A - P_X)Z^*}{n}\right) \rightarrow \xi > 0$ pode não convergir para um valor nulo. Isto implica que o estimador EC2SLS pode ser mais eficiente do que o estimador G2SLS em amostras finitas.

A finalização desta prova também está bem definida em Baltagi (2008, p. 121-123). A utilização deste estimador – EC2SLS – e o seu comparativo com os demais, nas estimativas do modelo, terão uma grande importância na investigação desta tese. Podem-se destacar algumas razões:

- 1) O estimador EC2SLS satisfaz a natureza da amostra, considerando que o número de países na amostra adotada por esta tese é elevado (138 países); Segundo Baltagi (2008) o procedimento de estimação EC2SLS, ao contrário do usual 2SLS-Efeitos Fixos, requer estimativas da variância dos componentes. As estimativas das variâncias são corrigidas pelos graus de liberdade, o que torna imprescindível um painel com amostra de corte suficientemente grande (N grande).

difference may be different from zero and can lead to gains in small sample efficiency.” (BALTAGI E LIU, 2009, p.2)

- 2) O comparativo entre os métodos (2SLS-Efeitos Fixos *versus* EC2SLS) pode se tornar uma ferramenta útil na investigação. Isto porque o método de 2SLS-Efeitos Fixos admite que o componente de heterogeneidade individual μ_i possa estar correlacionado com a perturbação estocástica v_{it} , o que torna o procedimento de EC2SLS inviável e tendencioso.
- 3) A utilização do estimador EC2SLS, em relação ao 2SLS-Efeitos Fixos, consiste nas possíveis modificações das estatísticas de Hausman (1978). Isto ocorre devido à “suposição” de que o problema de endogeneidade existe, em grande proporção, devido à correlação entre os efeitos fixos e as variáveis explanatórias¹¹⁴. Em alguns estudos apresentados por Baltagi (2008), após a correção do estimador, a estatística de Hausman apresenta uma rejeição significativa das correlações entre os efeitos fixos e os regressores.
- 4) Em especial, a última menção considera que os efeitos da “endogenia” entre educação e crescimento são essencialmente efeitos de relação entre as variáveis e não de heterogeneidade da amostra. Conforme Baltagi (2008) e Baltagi e Liu (2009), esta compreensão evita que o viés assintótico persista mesmo com o método de estimação de efeitos fixos. Desta forma, o estimador EC2SLS corrige a “falha metodológica” desincorporando a endogeneidade da amostra para a relação entre as variáveis¹¹⁵.

Apesar do efeito de causalidade não estar bem definido entre educação e crescimento, o método de estimação por variáveis instrumentais controla esta relação gerando estimativas consistentes do impacto da educação no crescimento. Desta forma, se os instrumentos forem válidos, de acordo com os testes especificados, esta relação de causalidade é bastante controlada

¹¹⁴ “Obtaining an estimate of the last coefficient is an advantage of EC2SLS over the fixed effects estimators, because it allows us to recapture estimates of variables that were invariant across time and wiped out by the fixed effects transformation.” (BALTAGI, 2008, p.121)

¹¹⁵ “This was based on the contrast between fixed effects and random effects assuming that the endogeneity comes entirely from the correlation between the county effects and the explanatory variables. This does not account for the endogeneity of the conventional simultaneous equation (...).” (BALTAGI, 2008, p.121)

pelo método e suas estimativas serão consistentes¹¹⁶. Caso contrário, a interpretação das estimativas dos parâmetros pode ser bastante tendenciosa, ainda que a amostra cresça assintoticamente. Por esta razão o método de estimação por variáveis instrumentais é bastante conhecido na literatura do crescimento. A validade do método dependerá da “eficácia” dos instrumentos a serem utilizados no modelo econométrico.

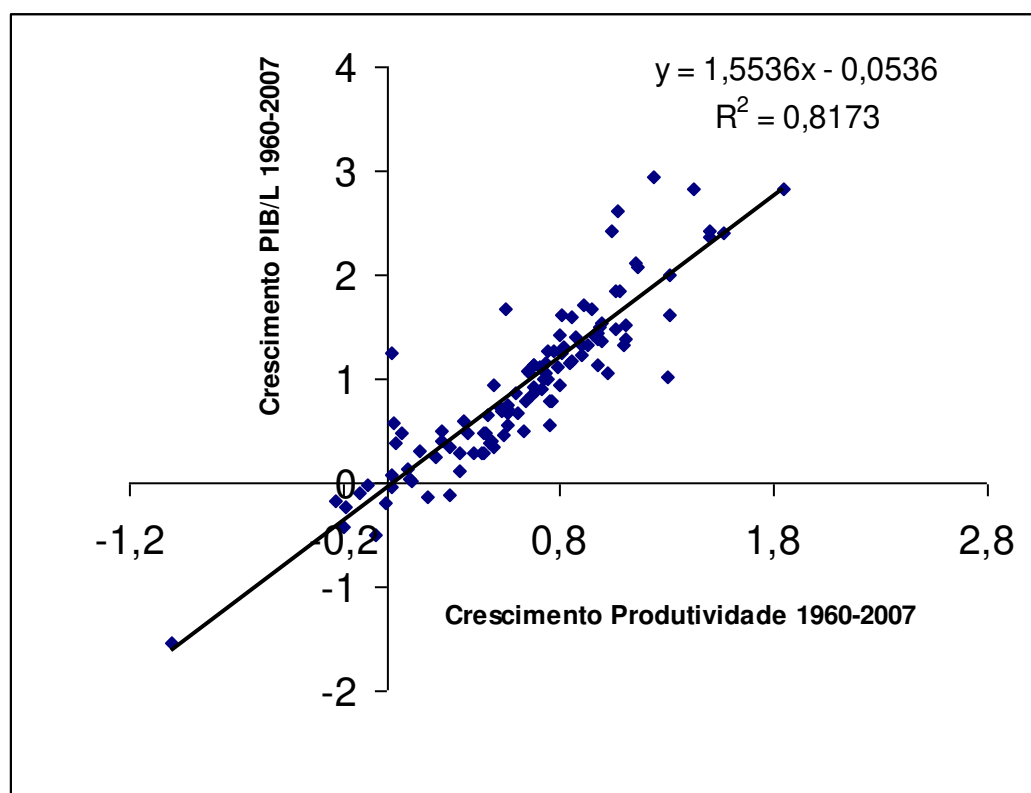
Esta seção completa a metodologia de teste ao modelo empírico, destacando os principais estimadores quando se observa o problema de endogeneidade na amostra. A seguir, serão apresentados as análises e os resultados do modelo, ligando as bases teóricas desta contribuição com outros estudos de relevância sobre o tema. Em seguida, têm-se as conclusões que resumem os resultados apresentados e sugerem aplicações aos futuros desenhos da política econômica.

¹¹⁶ “Endogeneity of the right-hand regressors is a serious problem in econometrics. By endogeneity we mean the correlation of the right-hand side regressors and the disturbances. This may be due to the omission of relevant variables, measurement error, sample selectivity, selfselection or other reasons. The applied literature is full of examples of endogeneity: demand and supply equations for labor, money, goods and commodities to mention a few. Endogeneity causes inconsistency of the usual OLS estimates and requires instrumental variable (IV) methods like two-stage least squares (2SLS) to obtain consistent parameter estimates.” (BALTAGI, 2008, p.113)

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira parte da análise apresenta os gráficos que relacionam os indicadores construídos, como a aproximação tecnológica dos países ao longo do tempo, e outros indicadores relevantes para a investigação. Em seguida, a segunda parte da análise disponibiliza os resultados do modelo segundo os métodos econométricos de estimação, testes de hipótese e as variáveis do modelo.

GRÁFICO 2 – Crescimento do PIB/L versus crescimento da PTF.

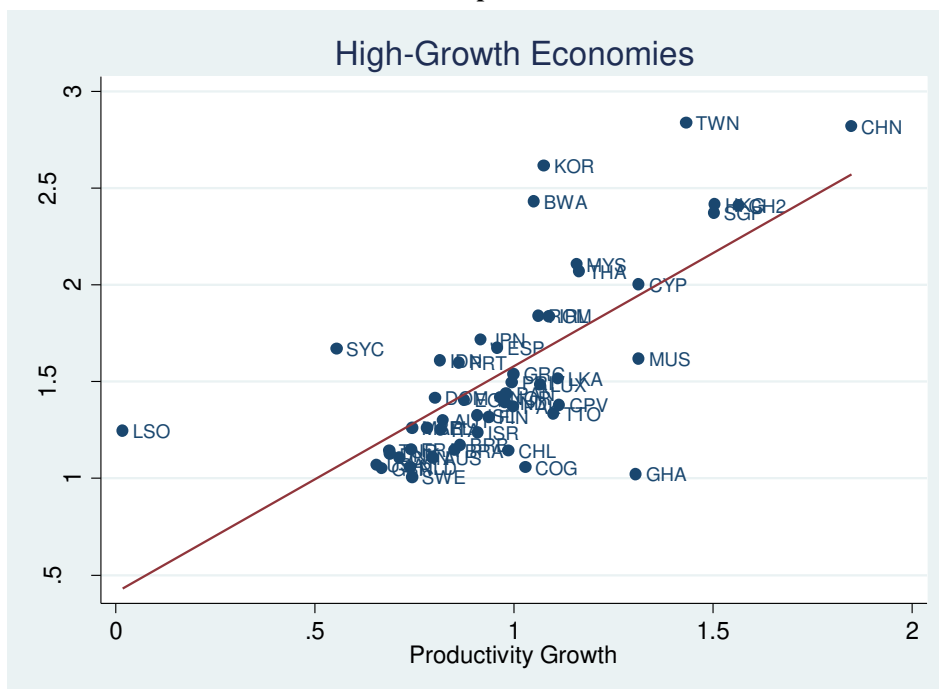


Fonte: Elaboração do autor.

Segundo o gráfico 2, a relação positiva entre o crescimento do PIB por trabalhador e o progresso tecnológico confirma a teoria¹¹⁷. O ajustamento mostra que aproximadamente 82% das variações do crescimento do PIB por trabalhador, na amostra, são explicadas apenas pelas variações da taxa de progresso tecnológico. Esta mesma relação também é apresentada nos gráficos 3 e 4, dividindo a amostra entre as economias de maior e menor crescimento.

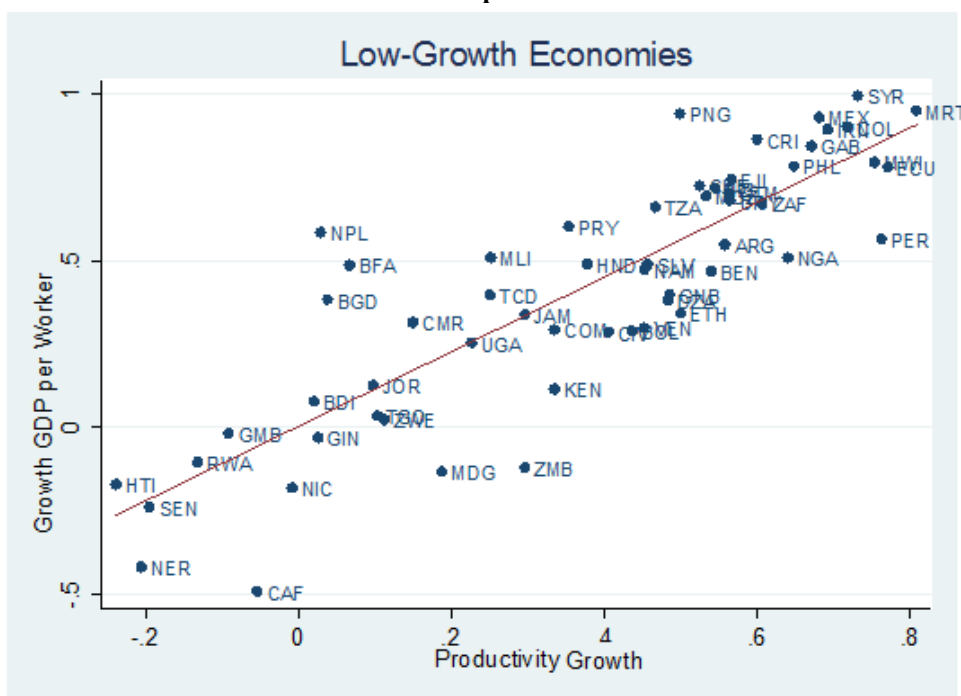
¹¹⁷ Veja Solow (1956 ; 1957).

GRÁFICO 3 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias de maior crescimento no período.



Fonte: Elaboração do autor.

GRÁFICO 4 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias de menor crescimento no período.

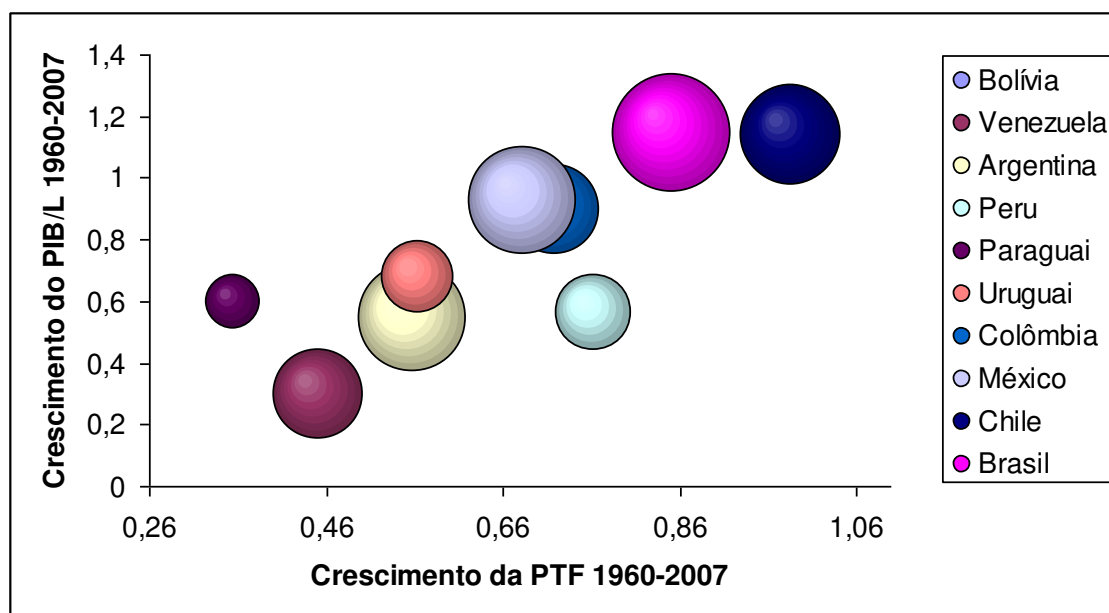


Fonte: Elaboração do autor.

O Brasil cresceu o PIB/trabalhador em 114,55% no período (média de 2,44% a.a.) e obteve uma taxa de progresso tecnológico de 85,08% no período (média de 1,81% a.a.). Após o Brasil, encontra-se o Chile com um crescimento de 114,31% no período (média de 2,43% a.a.) e o México com crescimento de 92,99% no período (média de 1,98% a.a.). Na amostra total, a China teve o maior crescimento do PIB por trabalhador com 283,60% no período (média de 6,03% a.a.) e progresso tecnológico de 184,82% no período (média de 3,93% a.a.), seguida de Taiwan com crescimento de 282,05% no período (média de 6% a.a.) e Coréia do Sul com crescimento de 261,55% no período (média de 5,56% a.a.). No ranking dos países com maior crescimento do PIB por trabalhador e progresso tecnológico, os países Asiáticos compõem do 1º ao 11º lugar.

O gráfico 4, mostra os países selecionados da América do Sul destacando a posição tecnológica de cada país em relação à fronteira – ano 2007 (a dimensão das bolas). Segundo o gráfico, o Brasil é o país mais próximo (0,353677) seguido da Argentina (0,248374), México (0,288519) e Chile (0,198494).

GRÁFICO 5 – Relação entre o crescimento do PIB/L e o da PTF, segundo as economias sul-americanas.



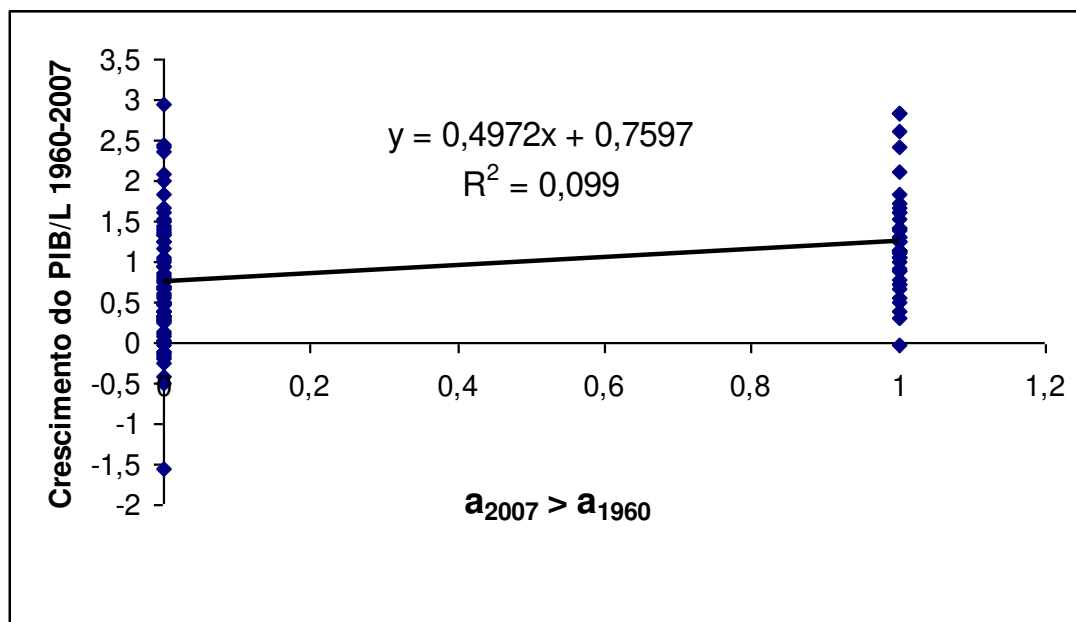
Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Neste gráfico, o tamanho das “bolhas” é definido pelo indicador de proximidade com a fronteira no ano 2007.

O gráfico 6 apresenta um indicador importante para a análise, o coeficiente de convergência tecnológica. O coeficiente é definido como: $a_{1960} < a_{2007}$, assume valor 1 e 0, caso contrário $a_{1960} \geq a_{2007}$. Caso a economia esteja mais próxima da fronteira em 2007 em relação a 1960, significa dizer que ela avançou tecnologicamente, ainda que este avanço não seja tão proporcional em relação às outras economias. Este indicador ajuda a definir que as economias que avançam nos estágios de desenvolvimento, fazem isto progredindo tecnologicamente em algum grau.

Segundo o gráfico, o fato das economias estarem mais próximas em 2007 ajuda a explicar o desempenho medido pelas taxas de crescimento (o parâmetro estimado da variável binária é estatisticamente significativo a 1%). As economias que avançaram tecnologicamente (estão mais próximas em 2007) obtiveram uma taxa de crescimento média acima do outro grupo, de aproximadamente 50% no período.

GRÁFICO 6 – Relação entre o crescimento do PIB/L e a convergência tecnológica.



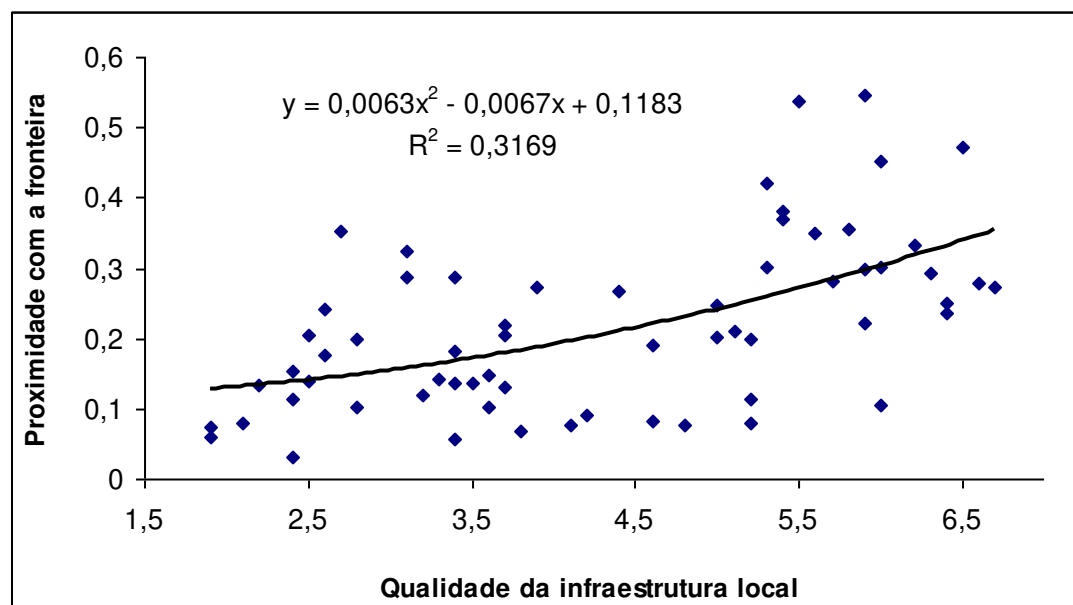
Fonte: Elaboração do autor.

Nota: A definição de convergência aqui proposta consiste na comparação entre as distâncias tecnológicas em períodos distintos. Caso uma determinada economia possui uma distância menor no ano 2007 em relação a 1960, isto indica que ela avançou e reduziu o *gap* em relação aos respectivos anos.

No gráfico 7 o indicador de proximidade com a fronteira é relacionado com um índice de qualidade da infraestrutura de cada país. O índice de qualidade da infraestrutura é calculado pelo Banco Mundial no relatório de competitividade mundial – *The Global*

Competitiveness Report, World Economic Forum (2010). O índice é medido em uma escala de 1-7 onde os baixos valores indicam uma percepção ineficiente da infraestrutura local e os altos valores indicam uma percepção eficiente. Assim, uma boa infraestrutura local favorece a atividade empresarial por meio da redução dos custos de transação. Segundo o gráfico, a relação é positiva e significativa, onde aproximadamente 32% das variações da proximidade com a fronteira tecnológica são explicadas apenas pela qualidade da infraestrutura. Isto revela que as economias da fronteira desfrutam de uma infraestrutura básica e tecnológica propícia para o dinamismo dos negócios (ROCHA E SILVEIRA, 2009). Em 2009 o Brasil ocupava, no ranking das melhores infraestruturas, a posição de 71º lugar, estando à frente da Rússia (77º lugar), Argentina (78º lugar) e a Índia (80º lugar)¹¹⁸.

GRÁFICO 7 – Relação entre proximidade com a fronteira e o indicador de qualidade da infraestrutura local no ano 2007.



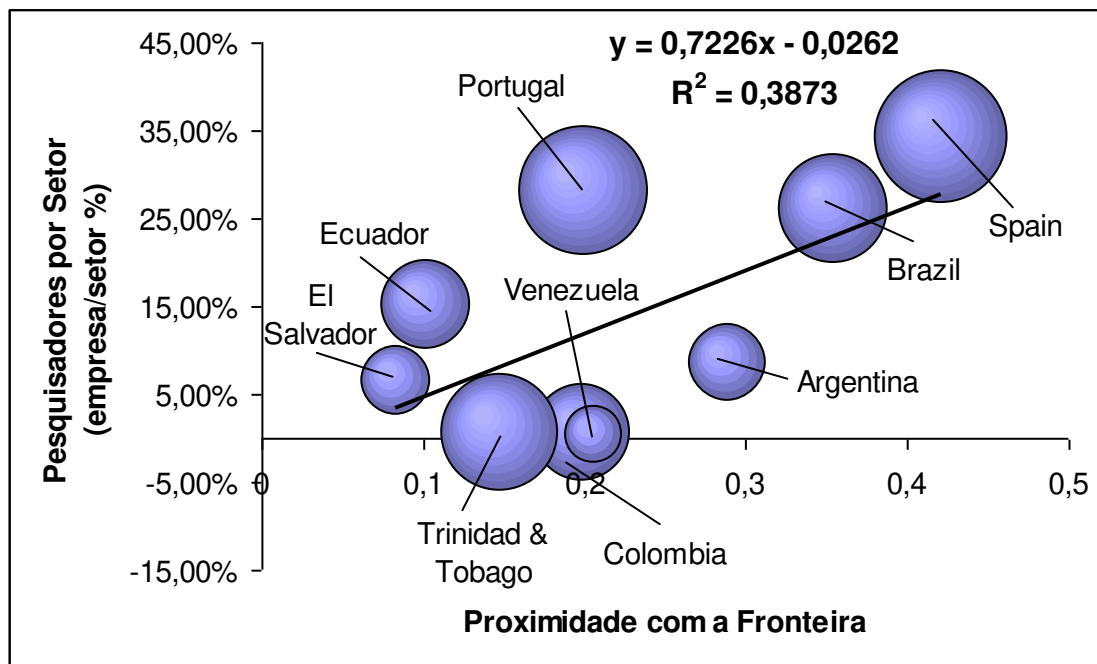
Fonte: Elaboração do autor.

Nota: O índice de qualidade da infraestrutura é calculado pelo Banco Mundial considerando uma amostra de 125 países (World Economic Forum (2010). **The Global Competitiveness Report**. Genebra: Palgrave MacMillan).

¹¹⁸ É essencial para as economias a aplicação de investimentos em infra-estrutura destinados à reduzir os custos logísticos das atividades produtivas. Países com grande extensão territorial detêm grandes desvantagens na criação e adoção de políticas em infra-estrutura. Segundo o *The Urban Land Institute and Ernst & Young* (2009) o Brasil, juntamente com a Rússia, apresentam uma grande restrição no financiamento destinado à manutenção de sua infraestrutura instalada. A previsão de investimentos em infra-estrutura nos próximos 10 anos, segundo o relatório, será de U\$ 9 trilhões pela China, U\$ 2,8 trilhões pela Índia, U\$ 2,2 trilhões pela Rússia e U\$ 1,1 trilhões pelo Brasil.

Conforme o gráfico 8, a proporção de pesquisadores atuando nas empresas, segundo o tipo de setor (Governo, Empresas, Instituições de ensino Superior e Organizações sem fins lucrativos), possui uma relação direta e significativa com o grau de proximidade com a fronteira. Segundo o gráfico, 38,73% das variações da proporção de pesquisadores nas empresas são explicadas pelas variações da proximidade com a fronteira, de acordo com as informações da RICYT¹¹⁹. No Brasil, o cenário de C,T&I vem passando por mudanças gradativas e positivas em sua estrutura. Entretanto, algumas deficiências ainda persistem.

GRÁFICO 8 – Relação entre o percentual de pesquisadores/setor em 2007 e a proximidade com a fronteira em 1960, segundo a amostra de países da RICYT.



Fonte: Elaboração do autor.

Nota: No gráfico o tamanho das “bolhas” é definido pela taxa de crescimento do PIB/trabalhador ao longo da série 1960-2007.

Segundo Sala-i-Martin (2010)¹²⁰, o Brasil tem desempenhado um grande esforço através de uma evolução crescente na intensidade dos gastos agregados em pesquisa (P&D).

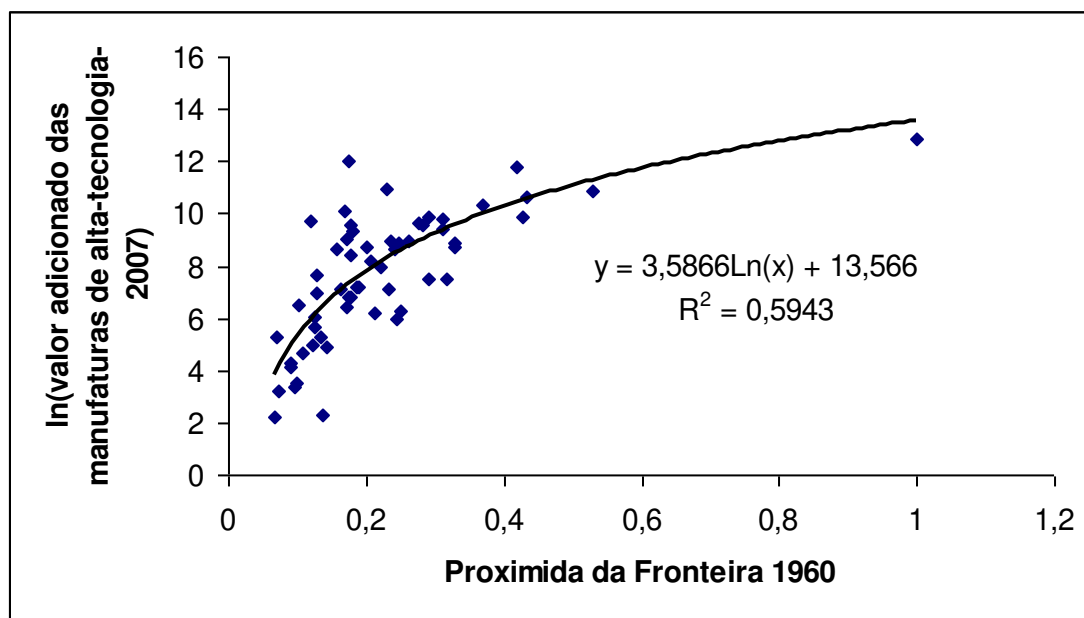
¹¹⁹ Red de Indicadores de Ciencia Y Tecnología – RICYT (2010).

¹²⁰ The Global Competitiveness Report 2009-2010. Segundo o relatório, existem 3 estágios definidos do processo de desenvolvimento dos países. O primeiro estágio, **Basic requirements**, garante uma base necessária para uma *performace* sustentável da economia. O segundo estágio, **Efficiency enhancers**, define os altos padrões de educação, eficiência nos mercados de bens e trabalho, um sofisticado mercado financeiro, dentre outros fatores. O terceiro e último estágio, **Innovation and sophistication factors**, constitui a fase final do desenvolvimento, quando a economia converge para os padrões de inovação da fronteira.

Entretanto, gargalos institucionais, como a elevada burocracia, um poder judiciário lento na condução dos processos, uma educação básica ainda deficiente, corrupção e as grandes assimetrias regionais nos investimentos em infra-estrutura, ainda persistem e restringem o potencial da economia para avançar tecnologicamente. Tais deficiências fazem o Brasil e outras economias gravitarem no estágio de eficiência econômica (**Stage 2 – Efficiency Driven**), enquanto que outros países com menores esforços em inovação acabam por superar este estágio de desenvolvimento, avançando aos estágios intermediários de eficiência econômica e de inovação (Transition from 2 to 3, **Stage 3 – Innovation Driven**), que é o caso do México e da Rússia.

O gráfico 9 mostra a relação entre a proximidade com a fronteira e o valor adicionado das indústrias intensivas em alta tecnologia.

GRÁFICO 9 – Relação entre o logaritmo do valor adicionado das indústrias intensivas em alta tecnologia em 2007 e a proximidade com a fronteira em 1960, segundo a amostra de países da *National Science Foundation*.



Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Os dados sobre o valor adicionado das indústrias intensivas em alta tecnologia são obtidos pelo relatório *Science and Engineering Indicators 2010 - National Science Foundation*. Segundo o relatório a classificação destas indústrias segue as normas da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico - OCDE. As indústrias são: Aeroespacial, Telecomunicações, Semicondutores, Máquinas para escritório, Farmacêutica, Instrumentos científicos e equipamentos de precisão.

A relação é direta e significativa (aproximadamente 60% das variações do logaritmo do valor adicionado destas indústrias é explicado apenas pelas variações da proximidade com a

fronteira), onde as economias próximas da liderança tecnológica estão contribuindo mais para a geração de valor agregado nos setores de alta tecnologia em relação as economias mais afastadas. Segundo o relatório *Science and Engineerind Indicators 2010* da **National Science Foundation** – NSF, os governos de diversas partes no mundo estão aderindo a um consenso onde as economias intensivas em conhecimento e tecnologia respondem pela geração de empregos com elevada remuneração, criando produtos com alto valor agregado e garantias adequadas de competitividade econômica. Estas indústrias têm crescido a um ritmo mais acelerado do que qualquer outra indústria. Em 2007, este setor contribuiu com pouco menos do que US\$ 16 trilhões para a produção mundial, aproximadamente 30% do PIB global.

A tabela 5 apresenta a matriz de correlação com as variáveis do modelo. As correlações apresentam uma relação moderada (0,55 entre o grau de proximidade e os anos de escolaridade da educação primária/secundária) e elevada (0,87 entre o logaritmo da produtividade e o grau de proximidade com a fronteira).

TABELA 5 – Matriz de Correlação das variáveis do modelo.

	ln(A)	ln(Y/L)	a	U	S
ln(A)	1,00	-	-	-	-
ln(Y/L)	0,78	1,00	-	-	-
a	0,87	0,64	1,00	-	-
U	0,67	0,85	0,58	1,00	-
S	0,61	0,66	0,55	0,79	1,00

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 6 mostra o modelo geral num painel estimado com efeitos fixos, aleatórios e de máxima verossimilhança. No primeiro método de efeitos fixos, os efeitos de heterogeneidade de países e no tempo foram incluídos na estimação. As estimativas mostram a relação log-linear entre os níveis de escolaridade e renda de cada país. Nesta relação, os parâmetros estimados representam ganhos percentuais na renda para cada pequeno aumento na escolaridade. Esta formulação, baseada nas contribuições de Mincer (1958 ; 1974), apresenta que os anos de escolaridade afetam diretamente as funções salariais por meio da mesma relação não-linear. Esta literatura mostra que os anos de escolaridade adquiridos ao longo da formação dos indivíduos são reinvestidos em um novo capital humano e, conseqüentemente, em futuros ganhos salariais. Este novo investimento supera, proporcionalmente, o aprendizado acumulado nos programas de treinamento que são oferecidos pelas empresas. Nas condições de equilíbrio no mercado de trabalho, as diferentes escolhas de escolaridade só são possíveis quando os indivíduos são

indiferentes a cada nível, que são expressos em anos de escolaridade média (primário, secundário e superior). Como as alocações dos indivíduos com diferentes níveis de capital humano (medidos em anos de escolaridade média) são movidas pelas condições de demanda, isto fortifica as hipóteses do modelo (HECKMAN, LOCHNER E TODD, 2003).

TABELA 6 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente: ln(PIB/L)_t; t=1960-2007</i>			
	Efeitos Fixos (1)	Efeitos Fixos (2)	Efeitos Aleatórios	Máx. Verossim.
a_{t-1}	3,361629* <i>0,6266241</i>	3,09866* <i>0,60282</i>	2,19847* <i>3,9500</i>	2,438488* <i>0,5741499</i>
U_{t-1}	0,2065717* <i>0,0341856</i>	0,2599903* <i>0,02396</i>	0,2299316* <i>9,6900</i>	0,2385224* <i>0,0236605</i>
S_{t-1}	-0,4114854* <i>0,1339371</i>	-0,2811409** <i>0,12258</i>	-0,2477833** <i>1,9600</i>	-0,2569756** <i>0,1211467</i>
$a_{t-1} * S_{t-1}$	0,5270159* <i>0,1846613</i>	0,6560627* <i>0,17589</i>	0,7207822* <i>4,0100</i>	0,6992355* <i>0,1730051</i>
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-0,1321664** <i>0,0518723</i>	-0,06990 <i>0,04504</i>	-0,025292 <i>0,5700</i>	-0,03810 <i>0,0440164</i>
Efeitos Fixos				
--- Países	sim	sim	-	-
Estat F	163,7100	161,867	-	-
Prob F	0,0000	0,0000	-	-
--- Ano	sim	não	-	-
Estat F	23,9800	-	-	-
Prob F	0,0000	-	-	-
LR Teste - χ^2	-	-	-	498,82
Prob χ^2	-	-	-	0,0000
Wald Teste - χ^2	-	-	243,4400	-
Prob χ^2	-	-	0,0000	-
R ²	0,9753	0,9740	-	-
R ² - Ajustado	0,9695	0,9692	-	-
Teste Hausman - χ^2	21,8000	36,4300	-	-
Prob χ^2	0,0000	0,0000	-	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Os parâmetros de efeitos fixos demonstraram significância estatística (países – F: 163,71 ; tempo – F: 23,98). A proximidade com a fronteira no período anterior ($t-1$) ajuda a explicar o

nível do PIB por trabalhador (parâmetro positivo e significativo a 1%). Os parâmetros estimados para a escolaridade U_{t-1} e S_{t-1} apresentaram significância estatística a 1%. Embora o parâmetro estimado para escolaridade superior tenha demonstrado uma relação negativa com o PIB por trabalhador, a interação desta variável com a proximidade tecnológica demonstrou coerência com o modelo teórico (parâmetro positivo e significativo a 1%). Isto demonstra que, nas economias próximas de fronteira tecnológica, o ensino superior tem um impacto superior em relação ao ensino primário e secundário para a acumulação da riqueza. O resultado negativo do parâmetro da escolaridade superior pode ter duas razões fundamentais: (a) como a amostra consiste em países desenvolvidos, em desenvolvimento e subdesenvolvidos, somente o grupo de países situados próximo da fronteira teria uma distribuição das áreas de formação voltadas para as atividades de inovação tecnológica, como os cursos de ciência e engenharia. A formação de trabalhadores nestas áreas se defronta com uma elevada demanda nos setores de alta tecnologia contribuindo para os avanços da fronteira, ao contrário dos países não desenvolvidos (RODRIGUEZ, DAHLMAN E SALMI, 2008) ou; (b) as estimativas dos parâmetros, ainda que controladas pelos efeitos de heterogeneidade individual, apresentam indícios de tendenciosidade que podem levar a conclusões errôneas sobre a magnitude e sentido da relação entre as variáveis. Por esta razão, o estimador de variáveis instrumentais corrige o viés apresentado pelos parâmetros, tornando-o um método importante para o confronto entre as metodologias.

O parâmetro de interação entre escolaridade primária e secundária com a proximidade com a fronteira mostrou ser significativo e negativamente relacionado com o PIB por trabalhador. Como o indicador de proximidade possui um valor que varia entre (0,1), valores próximos a 1 indicam um efeito negativo maior na redução do PIB por trabalhador. Desta forma, a educação primária e secundária perde importância para as economias situadas próximas da fronteira. O ajustamento do modelo apresentou elevada significância no poder de explicação ($R^2 = 0,9753$ e R^2 ajustado = 0,9695). Estes resultados confirmam a hipótese levantada pelos autores Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006). O método de efeitos fixos (2) apresenta resultados similares ao (1), apenas com a falta de significância do parâmetro $a_{t-1} * U_{t-1}$. Entretanto a significância do modelo ainda é considerada elevada, mesmo sem incluir os efeitos fixos de tempo ($R^2 = 0,9740$ e R^2 -ajustado = 0,9692). O teste hausman indica que o método de efeitos fixos é mais aconselhado em relação ao de efeitos aleatórios (máxima verossimilhança) – teste hausman: 21,8 no modelo (1) e 36,43 no modelo (2). Nos demais métodos de estimação, efeitos

aleatórios e máxima verossimilhança, os sinais dos parâmetros ainda confirmam as hipóteses do modelo, com exceção da significância do parâmetro estimado $a_{t-1} * U_{t-1}$ (entretanto os testes de Wald – 243,44 e a razão de verossimilhança – 498,82, apresentaram significância conjunta dos parâmetros).

Na tabela 7, considerando como variável dependente o logaritmo da PTF, a previsão do modelo ainda se confirma.

TABELA 7 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

<i>Variável Dependente: $\ln(PTF_t)$; t=1960-2007</i>			
	Efeitos Fixos (1)	Efeitos Fixos (2)	Efeitos Aleatórios
a_{t-1}	2,080104* <i>0,47773</i>	1,806441* <i>0,46254</i>	1,118289* <i>0,43457</i>
U_{t-1}	0,1337908* <i>0,02606</i>	0,1742867* <i>0,01839</i>	0,1531353* <i>0,01860</i>
S_{t-1}	-0,2222788** <i>0,10211</i>	-0,11409 <i>0,09406</i>	-0,10800 <i>0,09947</i>
$a_{t-1} * S_{t-1}$	0,2708823*** <i>0,14078</i>	0,3807678* <i>0,13496</i>	0,4757277* <i>0,14124</i>
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-0,0727144*** <i>0,03955</i>	-0,02551 <i>0,03456</i>	0,00262 <i>0,03495</i>
Efeitos Fixos			
--- Países	sim	sim	-
Estat F	170,4690	168,564	-
Prob F	0,0000	0,0000	-
--- Ano	sim	não	-
Estat F	20,4100	-	-
Prob F	0,0000	-	-
Wald Teste - χ^2	-	-	190,6700
Prob χ^2	-	-	0,0000
R^2	0,9803	0,9790	-
R^2 - Ajustado	0,9757	0,9751	-
Teste Hausman - χ^2	29,7900	29,3700	-
Prob χ^2	0,0000	0,0000	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Os métodos de efeitos fixos (1) e (2) apresentam parâmetros significativos (o método (1) apresenta significância em todos os parâmetros; no método (2) os parâmetros $a_{t-1} * U_{t-1}$ e S_{t-1} não

apresentam significância) e com elevado poder de explicação ($R^2 = 0,98033$ e R^2 ajustado = $0,9757$ no modelo (1) e $R^2 = 0,9790$ e R^2 ajustado = $0,9751$ no modelo (2)). As estatísticas de hausman mostram que a perturbação estocástica é correlacionada com a matriz de variáveis explanatórias (29,79 método (1) e 29,37 no método (2)). No método de efeitos aleatórios, existe uma perda significância do parâmetro $a_{t-1} * U_{t-1}$; entretanto, a significância conjunta dos parâmetros é preservada (teste Wald = 190,67). Comparando os efeitos cumulativos da educação superior ($\frac{\partial \ln PTF}{\partial S_{it}} = -\beta_3 + \beta_4 * a_{it}$), podemos distinguir o grupo de países, conforme o grau de proximidade com a fronteira, que se beneficiam com o aumento da escolaridade do ensino superior. Tomando os valores líquidos positivos, ou seja, $-\beta_3 + \beta_4 * a_{it} > 0 \Leftrightarrow a_{it} > \beta_3 / \beta_4$, os países com proximidade superior a 82% (Efeitos Fixos (1)) tendem a apresentar retornos positivos com o aumento da escolaridade (71% para Efeitos Fixos (2) e 23% para Efeitos aleatórios). Entretanto, esta análise pode estar equivocada caso seja detectado a presença de viés nas estimativas (somente após o confronto com as estimativas de variáveis instrumentais é que se pode confirmar tais resultados).

A tabela 8 mostra os resultados do modelo considerando o método de estimação por variáveis instrumentais (IV). Para esta finalidade fez-se uso de dois métodos de estimação: mínimos quadrados em 2-estágios com efeitos fixos (Two-Stage Least Squares – 2SLS) e mínimos quadrados em 2-estágios com componente de erros (Error Component Two-Stage Least Squares – EC2LSL). Segundo as estimativas, os países mais próximos da fronteira em $t-1$ possuem uma PTF superior em relação aos países mais afastados. O parâmetro estimado da variável $a_{t-1} * U_{t-1}$ apresenta significância estatística (1%) e sinal esperado (negativo). O teste de posto da matriz de instrumentos mostra que eles são relevantes para explicar o comportamento das variáveis endógenas (o teste rejeita a hipótese nula a 1% e aceita a alternativa de que matriz de instrumentos é identificada ou super-identificada). A estatística de Sargan-Hansen ($\chi^2 = 0,693$) não-rejeita a hipótese nula de que os instrumentos são ortogonais ao erro idiossincrático (os instrumentos são válidos no sentido de serem exógenos e devidamente excluídos do modelo principal). O teste de endogeneidade ($\chi^2 = 8,654$) rejeita a hipótese nula a 5% de que as variáveis endógenas sejam ortogonais ao erro no modelo principal.

TABELA 8 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente: $\ln(\text{PIB}/L)_t$; t=1960-2007</i>		
	IV - 2SLS (E. Fixos)	IV - EC2SLS (E. Aleatórios)	IV - 2SLS (E. Fixos)
a_{t-1}	3,14148* <i>0,80223</i>	2,951821* <i>0,75100</i>	-
U_{t-1}	0,3298458* <i>0,03796</i>	0,3264444* <i>0,03622</i>	0,3680596* <i>0,04105</i>
S_{t-1}	-	-	-
$a_{t-1}*S_{t-1}$	-	-	-
$a_{t-1}*U_{t-1}$	-0,1927353* <i>0,07448</i>	-0,1867812* <i>0,07041</i>	-0,2412034* <i>0,08154</i>
Efeitos Fixos			
-- Países	sim	-	sim
-- Ano	não	-	não
Teste do posto da matriz			
-- Ho: rank=K<L (underidentified)			
-- Ha: rank=K ≥ L (identified or overidentified)			
--- LM Teste - χ^2	58,6900	-	57,0050
--- Prob χ^2	0,0000	-	0,0000
Sargan statistic			
--- χ^2	3,579	-	5,1280
--- Prob χ^2	0,3107	-	0,1626
Endogeneity test			
--- χ^2	9,08	-	10,383
--- Prob χ^2	0,0107	-	0,0056
Teste Wald - χ^2	-	125,0600	-
Prob χ^2	-	0,0000	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Conforme a tabela 9, no método EC2SLS os parâmetros possuem significância conjunta (teste Wald = 106,5400). A estimativa do parâmetro $a_{t-1}*U_{t-1}$ apresenta significância estatística a 10% e com sinal esperado (negativo, o impacto da educação primária e secundária vai perdendo importância relativa quando a economia se aproxima da fronteira). Os parâmetros associados às variáveis U_{t-1} e $a_{t-1}*U_{t-1}$ apresentaram sinais de relação iguais às estimativas de efeitos fixos e aleatórios nas tabelas anteriores (Tabelas 6 e 7). Isto mostra que, mesmo após a

correção de endogeneidade entre as variáveis, a relação foi preservada de forma que as estimativas destes parâmetros apresentaram sinais coerentes com os resultados esperados.

Segundo as informações da tabela 9, o parâmetro de interação entre a proximidade com a fronteira e os anos de escolaridade primário/secundário apresentou um impacto negativo para a acumulação da produtividade (parâmetro significativo a 1%).

TABELA 9 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente: ln(PTF_t); t=1960-2007</i>		
	IV - 2SLS (E. Fixos)	IV - EC2SLS (E. Aleatórios)	IV - 2SLS (E. Fixos)
a_{t-1}	2,004749*** <i>0,63567</i>	1,875098* <i>0,59941</i>	-
U_{t-1}	0,2384802* <i>0,03008</i>	0,2385781* <i>0,02869</i>	0,2670094* <i>0,03180</i>
S_{t-1}	-	-	-
$a_{t-1} * S_{t-1}$	-	-	-
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-0,1058466* <i>0,05901</i>	-0,1065457*** <i>0,05598</i>	-0,1414365** <i>0,06318</i>
Efeitos Fixos			
-- Países	sim	-	sim
-- Ano	não	-	não
Teste do posto da matriz			
-- Ho: rank=K<L (underidentified)			
-- Ha: rank=K ≥ L (identified or overidentified)			
--- LM Teste - χ^2	58,6950	-	57,0050
--- Prob χ^2	0,0000	-	0,0000
Sargan statistic			
--- χ^2	0,693	-	2,4460
--- Prob χ^2	0,8749	-	0,4851
Endogeneity test			
--- χ^2	8,654	-	10,827
--- Prob χ^2	0,0132	-	0,0045
Teste Wald - χ^2	-	106,5400	-
Prob χ^2	-	0,0000	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *,**,***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

As estatísticas de posto também confirmam a não-redundância dos instrumentos (no método de efeitos fixos, os instrumentos explicam uma parte significativa dos regressores

endógenos - estatística de posto rejeita a hipótese nula a 1%). A estatística de Sargan-Hansen não-rejeita a hipótese nula de que os instrumentos não estão correlacionados com a perturbação estocástica - probabilidade do erro tipo I de 87,49%. No método de EC2SLS as estatísticas ainda são significativas, destacando o parâmetro negativo de interação entre escolaridade primária/secundária e proximidade com a fronteira (significante a 10%).

Na tabela 10, a variável dependente corresponde ao logaritmo do PIB por trabalhador.

TABELA 10 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente: ln(PIB/L)_i; t=1960-2007</i>		
	IV - 2SLS (E. Fixos)	IV - EC2SLS (E. Aleatórios)	IV - 2SLS (E. Fixos)
a_{t-1}	5,891813* <i>0,9513521</i>	4,102732* <i>0,7889892</i>	42,17268 <i>42,27426</i>
U_{t-1}	-	-	-
S_{t-1}	1,291253* <i>0,28204</i>	1,246355* <i>0,2958701</i>	-
$a_{t-1} * S_{t-1}$	1,270106*** <i>0,741488</i>	1,389575** <i>0,6864682</i>	7,877014*** <i>4,353084</i>
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-	-	-
Efeitos Fixos			
-- Países	sim	-	sim
-- Ano	não	-	não
Teste do posto da matriz			
-- Ho: rank=K<L (underidentified)			
-- Ha: rank=K ≥ L (identified or overidentified)			
--- LM Teste - χ^2	34,4690	-	0,9570
--- Prob χ^2	0,0000	-	0,6197
Sargan statistic			
--- χ^2	0,032	-	0,3010
--- Prob χ^2	0,8577	-	0,583
Endogeneity test			
--- χ^2	12,25	-	11,857
--- Prob χ^2	0,0022	-	0,0027
Teste Wald - χ^2	-	65,7600	-
Prob χ^2	-	0,0000	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Na primeira estimativa de IV com efeitos fixos, o parâmetro estimado da variável $a_{t-1} * S_{t-1}$ apresenta significância estatística (10%) e com sinal esperado (positivo, onde as economias situadas próximas da fronteira se beneficiam mais com a educação superior).

O teste de posto da matriz de instrumentos rejeita a hipótese nula de subidentificação ($\chi^2 = 34,469$), ou seja, os instrumentos são importantes para explicar as variáveis endógenas. Além disto, a estatística de Sargan-Hansen ($\chi^2 = 0,032$) revela que os instrumentos são válidos e não correlacionados com a perturbação estocástica. Por fim, o teste de endogeneidade ($\chi^2 = 12,25$) rejeita a hipótese de ortogonalidade das variáveis endógenas.

TABELA 11 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente: ln(PTF_{it}); t=1960-2007</i>	
	IV - 2SLS (Efeitos Fixos)	IV - EC2SLS (Efeitos Aleatórios)
a_{t-1}	3,956529* <i>0,715519</i>	2,086225* <i>0,6101408</i>
U_{t-1}	-	-
S_{t-1}	1,005198* <i>0,1897642</i>	0,8135546* <i>0,2117686</i>
$a_{t-1} * S_{t-1}$	0,8322084 <i>0,5323655</i>	1,416299* <i>0,5101454</i>
$a_{t-1} * U_{t-1}$	-	-
Efeitos Fixos		
-- Países	sim	-
-- Ano	não	-
Teste do posto da matriz		
-- Ho: rank=K<L (underidentified)		
-- Ha: rank=K≥L (identified or overidentified)		
--- LM Teste - χ^2	43,5050	-
--- Prob χ^2	0,0000	-
Sargan statistic		
--- χ^2	5,914	-
--- Prob χ^2	0,1159	-
Endogeneity test		
--- χ^2	15,518	-
--- Prob χ^2	0,0004	-
Teste Wald - χ^2	-	52,1400
Prob χ^2	-	0,0000

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros. Elaboração do Autor.

Na tabela 11, são reportados as estimativas dos parâmetros segundo os métodos de estimação IV - 2SLS (Efeitos Fixos) e EC2SLS. Em cada método, as variáveis apresentam a mesma relação esperada pelo modelo teórico. O parâmetro $a_{t-1} * S_{t-1}$ apresentou um sinal positivo em ambos os métodos, indicando a importância relativa da educação superior para as economias da fronteira. A estimativa do parâmetro $a_{t-1} * S_{t-1}$ apresenta um sinal positivo e significativo a 1% (EC2SLS). O parâmetro da variável $a_{t-1} * S_{t-1}$ apresentou sinal positivo, porém não-significativo (2SLS). Os parâmetros estimados das variáveis, a_{t-1} e S_{t-1} apresentaram significância estatística (1% ambos) e com sinais esperados (positivos). O teste de posto da matriz apresenta a relevância dos instrumentos ($\chi^2 = 43,5050$) – rejeita a hipótese nula de que o modelo é subidentificado. A estatística de Sargan-Hansen ($\chi^2 = 5,914$) não-rejeita a hipótese nula de ortogonalidade dos instrumentos, ou seja, os instrumentos são válidos e devidamente excluídos da equação principal. O teste de endogeneidade mostra que os regressores são de fato endógenos e correlacionados com a perturbação estocástica ($\chi^2 = 15,518$). No método de efeitos aleatórios (EC2SLS), todos os parâmetros estimados são estatisticamente significativos (1%) e de sinal esperado (destacando a variável, $a_{t-1} * S_{t-1}$, mostrando que a importância relativa da educação superior, no aumento da PTF dos países, vai aumentando quando a economia inicia-se próxima da fronteira). O teste Wald mostra que os parâmetros possuem significância conjunta a 1% (52,1400).

A tabela 12 apresenta as estimativas do modelo considerando as taxas de crescimento entre os países. No primeiro método de estimação (2SLS), a taxa de crescimento do PIB por trabalhador está negativamente associada com o crescimento dos anos de escolaridade da educação primária e secundária (significativo a 1%). O progresso tecnológico (crescimento da PTF) apresenta uma relação positiva e coerente com a literatura (parâmetro significativo a 1%), ou seja, um aumento de 10% na taxa de mudança técnica gera um crescimento aproximado de 2,2% na razão PIB/trabalhador. As economias mais próximas da fronteira no período $t-2$ apresentaram taxas de crescimento inferior no período de 10 anos (parâmetro negativo, -0,2911116, e significativo a 1%). O teste de posto rejeita a hipótese nula de subidentificação ($\chi^2 = 19,7810$) – os instrumentos são relevantes. A estatística de Sargan-Hansen ($\chi^2 = 3,5810$) não-rejeita a hipótese nula de exogeneidade dos instrumentos. Já o teste de endogeneidade mostrou ser significativo a 1% (os regressores são endógenos e correlacionados com o erro).

No segundo método (EC2SLS), todos os parâmetros apresentaram significância estatística (o parâmetro da variável $a_{t-1} * g(U_t)$ apresentou sinal negativo e significância estatística de 5%, ou seja, para as economias que inicialmente situaram-se próximas da fronteira, o crescimento da educação primária e secundária vai perdendo importância relativa para o crescimento). O teste Wald mostra que os parâmetros possuem significância conjunta a 1%.

TABELA 12 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente</i> : Crescimento do (PIB/L) _t ; t=1960-2007	
	IV - 2SLS (Efeitos Fixos)	IV - EC2SLS (Efeitos Aleatórios)
$g(A_t)$	0,2188365* <i>0,01131</i>	0,2417052* <i>0,01049</i>
a_{t-2}	-0,2911116* <i>0,07728</i>	0,0441756*** <i>0,02583</i>
U_t	-	-
$a_{t-1} * g(U_t)$	-0,0375401* <i>0,01279</i>	-0,0052657** <i>0,00251</i>
Efeitos Fixos		
-- Países	sim	-
-- Ano	não	-
Teste do posto da matriz		
-- Ho: rank=K<L (underidentified)		
-- Ha: rank=K ≥ L (identified or overidentified)		
--- LM Teste - χ^2	19,7810	-
--- Prob χ^2	0,0002	-
Sargan statistic		
--- χ^2	3,5810	-
--- Prob χ^2	0,3100	-
Endogeneity test		
--- χ^2	9,1000	-
--- Prob χ^2	0,0100	-
Teste Wald - χ^2	-	635,3200
Prob χ^2	-	0,0000

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Segundo as estimativas da tabela 13, no método 2SLS o crescimento da escolaridade do ensino superior tem um grande impacto no crescimento do PIB por trabalhador para as economias próximas da fronteira – iniciando no período $t-1$ (significância estatística a 1%). O

teste de posto comprova a relevância dos instrumentos ($\chi^2 = 17,8120$). A estatística de Sargan-Hansen não-rejeita a hipótese nula de instrumentos válidos ($\chi^2 = 1,778$). O teste de endogeneidade rejeita a hipótese nula de regressores ortogonais ao erro ($\chi^2 = 12,489$). As estimativas do segundo método (EC2SLS) apresentam o mesmo padrão de resultados do primeiro método (2SLS) – os parâmetros são significativos a 1% e 5%. O teste de Wald mostra que os parâmetros são significativos conjuntamente (1%).

TABELA 13 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente</i> : Crescimento do (PIB/L) _t ; t=1960-2007	
	IV - 2SLS (Efeitos Fixos)	IV - EC2SLS (Efeitos Aleatórios)
g(A _t)	0,2306166* <i>0,00938</i>	0,2398094* <i>0,00968</i>
a _{t-2}	-	-
S _t	-0,0512111* <i>0,00904</i>	-0,0276109** <i>0,01127</i>
a _{t-1} *g(S _t)	0,2576286* <i>0,08457</i>	0,0948349** <i>0,04572</i>
U _t	-	-
a _{t-1} *g(U _t)	-	-
Efeitos Fixos		
-- Países	sim	-
-- Ano	não	-
Teste do posto da matriz		
-- Ho: rank=K<L (underidentified)		
-- Ha: rank=K≥L (identified or overidentified)		
--- LM Teste - χ^2	17,8120	-
--- Prob χ^2	0,0000	-
Sargan statistic		
--- χ^2	1,778	-
--- Prob χ^2	0,4112	-
Endogeneity test		
--- χ^2	12,489	-
--- Prob χ^2	0,0019	-
Teste Wald - χ^2	-	692,0500
Prob χ^2	-	0,0000

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

Ainda na tabela 13, percebe-se que os sinais dos parâmetros estimados da variável escolaridade do ensino superior, S_t , apresentaram um resultado negativo no crescimento. Isto evidencia a hipótese de que as economias da fronteira administram melhores resultados na distribuição das áreas voltadas para inovação tecnológica. O método de variáveis instrumentais não corrige o sinal, demonstrando a dualidade do ensino superior no crescimento e avanço tecnológico dos países.

A tabela 14 apresenta as estimativas do modelo de crescimento segundo os métodos de estimação com efeitos fixos, aleatórios e máxima verossimilhança.

TABELA 14 – Estimativas do modelo segundo os países da amostra.

	<i>Variável Dependente:</i> Crescimento do (PIB/L) _t ; t=1960-2007			
	Efeitos Fixos (1)	Efeitos Fixos (2)	Efeitos Aleatórios	Máx.Verossim.
$g(A_t)$	0,217447* <i>0,00575</i>	0,2168977* <i>0,00498</i>	0,2309289* <i>0,00611</i>	0,2258112* <i>0,00592</i>
a_{t-2}	-0,024147* <i>0,00841</i>	-0,0208795* <i>0,00672</i>	0,00927 <i>0,00610</i>	0,00142 <i>0,00726</i>
U_t	-	-	-	-
S_t	-0,0391768* <i>0,00436</i>	-	-	-0,0298024* <i>0,00409</i>
$a_{t-1} * g(S_t)$	0,02153 <i>0,01324</i>	-	0,0021838** <i>0,00096</i>	0,00170 <i>0,00107</i>
$a_{t-1} * g(U_t)$	-	-0,0084975** <i>0,00332</i>	-	-
Efeitos Fixos				
--- Países	sim	sim	-	-
Estat F	5,6760	7,136	-	-
Prob F	0,0000	0,0000	-	-
--- Ano	não	sim	-	-
Estat F	-	235,66	-	-
Prob F	-	0,0000	-	-
LR Teste - χ^2	-	-	-	559,34
Prob χ^2	-	-	-	0,0000
Wald Teste - χ^2	-	-	1503,6700	-
Prob χ^2	-	-	0,0000	-
R^2	0,8946	0,9296	-	-
R^2 - Ajustado	0,8777	0,9162	-	-
Teste Hausman - χ^2	38,6500	47,8900	-	-
Prob χ^2	0,0000	0,0000	-	-

Nota: O painel estimado considerou os intervalos de 5 anos conforme os dados de Barro e Lee (2000), com exceção ao intervalo 2000-2007. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os valores em itálico e negrito correspondem às estimativas de erro-padrão dos parâmetros.

Elaboração do Autor.

No primeiro método (efeitos fixos com componente do tempo), a taxa de progresso tecnológico (crescimento da PTF) tem impacto positivo no crescimento do PIB por trabalhador (parâmetro significativo a 1%). Um aumento de 10% na taxa de progresso técnico aumenta, em média, de 2,17% a 2,30% o PIB/trabalhador. O crescimento da escolaridade do ensino superior tem efeito aumentador do crescimento para as economias que iniciaram próximas da fronteira, no período $t-1$. Os efeitos fixos de tempo apresentaram significância estatística a 1% ($F = 5,6760$). O ajustamento do modelo mostrou ser elevado e com qualidade ($R^2 = 0,8946$ e $R^2\text{-ajustado} = 0,8777$). O teste de Hausman ($\chi^2 = 38,65$) revela que a hipótese nula é rejeitada, o método de efeitos fixos apresenta ser consistente em relação ao estimador de efeitos aleatórios. No segundo método de efeitos fixos, os parâmetros são significativos a 1% e 5%, destacando o efeito negativo do crescimento da escolaridade primária e secundária no crescimento das economias avançadas (situadas próximas da fronteira no período $t-1$). O modelo apresentou um forte ajustamento ($R^2 = 0,9296$ e $R^2\text{-ajustado} = 0,9162$). O teste Hausman ($\chi^2 = 47,89$) novamente confirma a inconsistência do estimador de efeitos aleatórios. As estimativas dos parâmetros das variáveis de proximidade com fronteira e crescimento da escolaridade superior, $a_{t-1} * g(S_t)$, apresentaram distorções visíveis entre os métodos de efeitos fixos (0,02153 – EF (1)) e variáveis instrumentais (0,2576286 IV-2SLS/EF (1)). No primeiro método, um aumento de 10% na escolaridade do ensino superior para as economias situadas a 80% de proximidade com a fronteira contribui para um crescimento médio de 0,17%. Esta estimativa é subestimada ao se compara com o método de variáveis instrumentais, cujo mesmo aumento de escolaridade ao mesmo posicionamento tecnológico, contribui para um crescimento no PIB/trabalhador de aproximadamente 2,06% ao período.

Na estimativa de efeitos aleatórios, o parâmetro estimado da variável $a_{t-1} * g(S_t)$ apresentou significância estatística a 5% e com sinal positivo (o crescimento da escolaridade superior estimula o crescimento do PIB por trabalhador das economias mais avançadas – próximas da fronteira). A elevada significância do teste Wald revela a significância conjunta dos parâmetros (significativamente diferentes de zero a 1%, $\chi^2 = 1503,67$). As estimativas de máxima verossimilhança apresentam resultados similares com a exceção da significância do parâmetro da variável $a_{t-1} * g(S_t)$. Entretanto, o teste da razão de verossimilhança revela que os parâmetros são estatisticamente diferentes de zero ($\chi^2 = 559,34$; significância a 1%).

As tabelas 15 e 16 mostram as estimativas do modelo de equação dinâmica, conforme o modelo proposto por Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006).

TABELA 15 – Estimativas da Equação Dinâmica.

	<i>Variável Dependente: a_t</i>		
	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios	Máx. Veross.
a_{t-1}	0,2216152* 0,06563	0,1913296* 0,05880	0,1913723* 0,05876
U_{t-1}/L_{t-1}	0,0004604*** 0,00029	0,0004623*** 0,00028	0,0004623*** 0,00028
S_{t-1}/L_{t-1}	0,0010822** 0,00056	0,0010317** 0,00056	0,0010317*** 0,00056
Efeito Fixos			
--- Países			
-- Estat. F	243,82400	-	-
-- Prob. F	0,00000	-	-
--- Ano			
-- Estat. F	-	-	-
-- Prob. F	-	-	-
R^2	0,9704	-	-
R^2 - Ajustado	0,9664	-	-
Teste Wald	-	16,55	-
Prob - χ^2	-	0,0000	-
LR Teste - χ^2	-	-	16,36000
Prob - χ^2	-	-	0,00000

Nota: As variáveis (U_{t-1}/L_{t-1}) e (S_{t-1}/L_{t-1}) correspondem ao percentual da população com educação primária/secundária e superior ou terciária, respectivamente. Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%.

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 15 apresenta como variável dependente, o grau de proximidade no tempo t , e como variáveis independentes, a proporção da população com escolaridade completa do ensino primário/secundário (U_{t-1}/L_{t-1}) e superior (S_{t-1}/L_{t-1}), sendo esta última, interagida com a proximidade (Tabela 12). As estimativas confirmaram a tese levantada pelos autores, onde o fator qualificado contribui mais para o crescimento quando a economia se aproxima da fronteira (a proporção de mão de obra com o ensino superior completo contribui mais para o avanço tecnológico em t quando a economia inicia-se no período $t-1$ próxima da fronteira). Os autores mostraram que nos países que possuíam até no máximo 84% do nível tecnológico da

fronteira (EUA), o aumento na proporção de mão de obra com o ensino primário/secundário era mais importante para o crescimento.

A tabela 16 ilustra o efeito da convergência quando a proporção de trabalhadores com formação superior é comparada com o coeficiente de proximidade com a fronteira no período anterior.

TABELA 16 – Estimativas da Equação Dinâmica.

	<i>Variável Dependente: a_t</i>		
	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios	Máx. Veross.
U_{t-1}/L_{t-1}	0,0005 0,0003	0,0004 0,0003	0,0005 0,0003
$a_{t-1}*(S_{t-1}/L_{t-1})$	0,0495973* 0,0062	0,0482706* 0,0019	0,0490962* 0,0019
Efeitos Fixos			
--- Países			
-- Estat. F	-	-	-
-- Prob. F	-	-	-
--- Ano			
-- Estat. F	34,9500	-	-
-- Prob. F	0,0000	-	-
R^2	0,6030	-	-
R^2 - Ajustado	0,5954	-	-
Teste Wald	-	666,3100	-
Prob - χ^2	-	0,0000	-
LR Teste - χ^2	-	-	461,4300
Prob - χ^2	-	-	0,0000

Nota: Estimativas do modelo segundo Vandenbussche, Aghion e Meguir (2006). Os asteriscos *, **, ***, correspondem respectivamente à significância dos parâmetros aos níveis de 1%, 5% e 10%.

Fonte: Elaboração do autor.

Nas regressões que interagiam a fração de trabalhadores com ensino superior e a proximidade com a fronteira, os autores mudaram o banco de dados utilizando as informações de escolaridade disponíveis em De la Fuente e Domenech (2006). Os resultados mostraram que o impacto da educação superior no crescimento é menor para os países com no máximo 60% de aproximação tecnológica em relação à fronteira (razão das PTF's). Os parâmetros estimados apresentaram significância estatística e com sinais esperados segundo as hipóteses do modelo.

No estudo proposto por Aghion, Boustan, Hoxby e Vandenbussche (2009)¹²¹, os efeitos dos investimentos na educação, medidos pelos gastos em pesquisa pelas instituições universitárias em cada estado americano, mostraram que a ampliação dos gastos per capita nos estados mais próximos da fronteira contribuíam para um aumento significativo de 0,04% no crescimento. Considerando os estados mais afastados da fronteira, o aumento dos gastos em pesquisa pelas instituições de ensino superior reduzia o crescimento em 0,07% (ao contrário dos investimentos em educação básica que aumentavam o crescimento em 0,03%). Tais resultados dão robustez à tese por considerar que, os diferentes estágios de desenvolvimento podem condicionar os resultados da política.

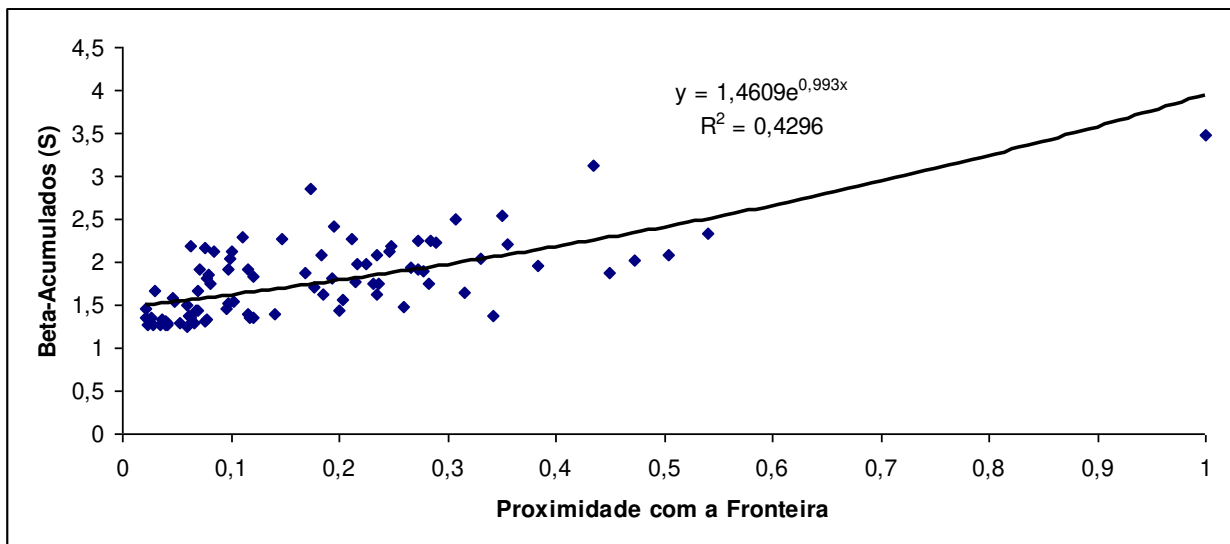
Embora a política de educação tenha efeitos sociais acima dos retornos privados, na sua complexa dimensão, é importante que o *policy maker* conheça os reais canais de transmissão da política no crescimento. A falta de uma análise com diferentes graus de desenvolvimento tecnológico pode comprometer a convergência das economias (ANG, MADSEN E ISLAM, 2011).

Em uma breve sumarização, os sinais dos parâmetros da escolaridade superior e escolaridade interagida com a proximidade da fronteira apresentaram sinais negativos e positivos, respectivamente (tabelas 6 e 7). Isto levanta a hipótese de uma distribuição inadequada do ensino superior em áreas pouco intensivas em inovação tecnológica ou em estimativas tendenciosas de metodologias econométricas que não incorporam os efeitos da endogeneidade da educação nos modelos de crescimento. Esta “faceta metodológica” fica visível ao se confrontar as estimativas de efeitos fixos com variáveis instrumentais, conforme as tabelas 10 e 11.

O gráfico 10 mostra a influência da proximidade com a fronteira no resultado líquido dos parâmetros acumulados (ou compostos) da educação superior sobre o crescimento dos países da amostra. A aproximação tecnológica em relação à fronteira faz com que as economias distribuam de maneira mais adequada a formação do ensino às necessidades de demanda no mercado de trabalho. A mesma característica é visível para o ensino básico nas economias mais afastadas da fronteira. Como a educação apresenta padrões de cumulatividade, as economias mais afastadas ainda não avançaram para os estágios finais do desenvolvimento (fronteira) e, por esta razão, demandam por investimentos maiores na formação básica.

¹²¹ Para mensurar a proximidade com a fronteira os autores usaram o número de patentes ajustado pelo tamanho da economia de cada estado. A razão deste indicador com supremo da amostra, em cada período, compõe o indicador de proximidade com a fronteira. [p.29]

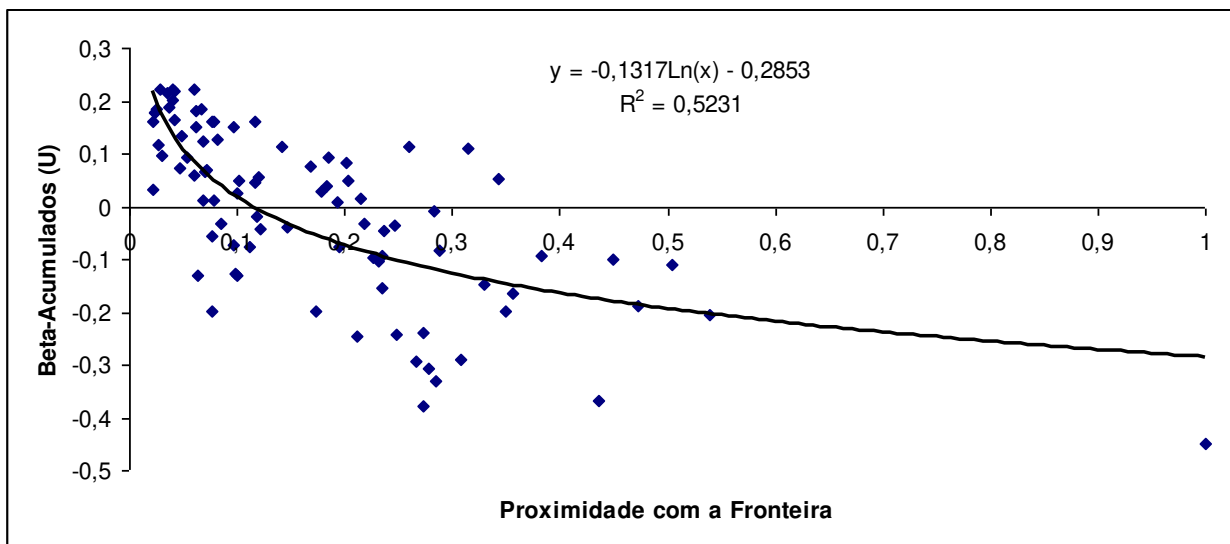
GRÁFICO 10 – Relação entre as estimativas dos parâmetros de escolaridade superior com a proximidade da fronteira em 2000.



Fonte: Elaboração própria do autor a partir das estimativas dos parâmetros nas tabelas 9 e 10.

No gráfico acima, o efeito positivo da educação superior no crescimento aumenta quando a economia se aproxima da fronteira. Isto pode estar atribuído ao crescimento da demanda por alta qualificação e no efeito Rybczynski se relacionam mutuamente, intensificando a complementaridade entre a mão de obra qualificada e as “tecnologias de ponta”. Esta mesma atribuição também pode ser feita para a educação básica em relação às economias mais afastadas da fronteira.

GRÁFICO 11 – Relação entre as estimativas dos parâmetros de escolaridade básica com a proximidade da fronteira em 2000.



Fonte: Elaboração própria do autor a partir das estimativas dos parâmetros nas tabelas 7 e 8.

Estes dois gráficos, apesar de não retratados nos trabalhos abordados pela referência citada, ilustram de forma bastante clara a ‘dualidade’ do ensino e suas relações com o crescimento dos países. As economias situadas próximas da fronteira avançaram nos estágios de desenvolvimento, criando estruturas econômicas bastante diferenciadas em relação às economias mais afastadas. Por esta razão, alguns tipos de fatores de produção (altamente qualificados) são mais complementares às novas tecnologias, aumentando sua produtividade em relação aos outros fatores (mão de obra menos qualificada). Este cenário é bastante visível para as economias da fronteira, fazendo da política econômica um instrumento suscetível aos estágios de desenvolvimento de cada economia.

Contudo, isto não quer dizer que as economias mais atrasadas, nos estágios de desenvolvimento, não venham a se beneficiar de um crescimento com investimentos na formação superior. Mas revela que os custos ao avanço são sempre maiores para estas economias, de forma que os investimentos devam ser mais expressivos e mais equilibrados. A integração entre as políticas, por meio de um amplo planejamento, aperfeiçoa o resultado das políticas isoladamente. É importante ressaltar que a falta deste planejamento pode conduzir as economias atrasadas para uma armadilha da não-convergência, comprometendo assim, a formação de suas trajetórias tecnológicas.

Vários estudos, destacando Acemoglu, Aghion e Zilibotti (2002) e Wu (2010), já fazem destaque às possibilidades de armadilhas para as economias mais atrasadas por não destacarem a importância das inovações tecnológicas dentro dos seus setores. Estes estudos vêm apresentando um notório crescimento nas pesquisas sobre o tema e na formação de futuros *policy makers* com destaque aos modelos de crescimento endógenos.

CONCLUSÕES

Este estudo propôs uma reformulação teórica e empírica dos canais de geração do crescimento por meio de uma política de educação. Atualmente, existem vários estudos que comprovam a relação direta entre educação e crescimento (SCHULTZ, 1961 ; BARRO E SALAI-MARTIN, 2003 ; HALL E JONES, 1996 ; 1999 ; BENHABIB E SPIEGEL, 1993 ; LUCAS, 1988). Contudo, esta relação pode oferecer uma difícil tarefa ao investigador na determinação dos reais efeitos do capital humano no crescimento. Contrapondo evidências teóricas e empíricas sobre o tema, foi possível responder os questionamentos da parte introdutória desta tese: o aumento da escolaridade ou dos investimentos em educação pode promover um crescimento sustentável para os países ou regiões? Existem vários tipos de capital humano, ou apenas um, que conduza a uma estratégia equilibrada de crescimento? A compreensão sobre as diferentes estruturas tecnológicas entre os países influencia a eficácia de uma política de educação? Qual a melhor política de educação para o crescimento?

No intuito de decifrar tais *puzzles* da teoria do crescimento, esta tese foi composta por 5 partes: 1) a primeira parte apresentou um panorama histórico da política; 2) a segunda consistiu na apresentação dos principais estudos que relacionam o capital humano com o crescimento, destacando as evidências empíricas e as críticas à cada abordagem; 3) a terceira parte correspondeu ao modelo teórico da tese, considerando um modelo de crescimento endógeno schumpeteriano com duas fontes de melhoria no componente da produtividade e a relação de cada componente com o crescimento; 4) a quarta parte apresenta a metodologia econométrica segundo os principais métodos de estimação. Neste estudo, considerou-se os 5 principais métodos com dados em painel: (i) efeitos fixos, (ii) efeitos aleatórios, (iii) máxima verossimilhança e, (iv) variáveis instrumentais. A utilização de 5 métodos de estimação visou buscar a melhor robustez na comprovação das hipótese do modelo; 5) na última parte, tem-se as análises dos resultados, relacionado as estimativas do modelo com os resultados de outros estudos do tema.

Em um breve resumo do primeiro capítulo, foram apresentados alguns debates que auxiliaram na compreensão da relação entre capital humano e crescimento. Isto permitiu uma coerente ligação com os modelos de crescimento com capital humano abordados no capítulo seguinte. Destacando o modelo de Lucas (1988), que apresenta a dicotomia na alocação do tempo para a produção e acumulação da qualificação. Os fortes pressupostos ligados às questões práticas do comportamento do agente racional tornaram este modelo uma referência nos estudos

do capital humano. Contudo, a hipótese de retornos constantes do capital humano parece oferecer resistência pelas evidências empíricas (ROMER, 1989). Em seguida, o modelo de Mankiw, Romer e Weil (1992) apresenta o capital humano como um fator adicional à função de produção. Com um processo de acumulação similar ao do capital físico, as condições de estacionariedade passam a ser influenciadas pelos estoques de capital humano. A sutileza desta abordagem é fortificada pelos elevados ajustamentos das regressões estimadas e pelas evidências históricas levantadas pelos autores. Novamente, algumas restrições surgem ao longo da discussão; entre elas podemos citar a padronização da tecnologia como um ‘bem público’ entre os países (KIM, 1997 ; NELSON E PACK, 1999 ; NELSON, 1996). Posteriormente, a abordagem de Nelson e Phelps (1966) parece oferecer grandes subsídios ao entendimento da dinâmica tecnológica. A endogeneidade da tecnologia pelo capital humano apresenta um ‘realismo mais interessante’ ao comportamento do progresso técnico. No entanto, a falta de argumentos sobre os incentivos das firmas na tomada de decisões e dos gastos em P&D foge ao realismo da dinâmica tecnológica (BENHABIB E SPIEGEL, 2005). Por último, a nova abordagem dos modelos de crescimento endógenos, iniciados por Aghion e Howitt (1992), resgata importantes contribuições à concepção dos diferentes tipos de capital humano e das suas necessidades conforme o grau de desenvolvimento de cada economia. A coerência do modelo é notória, porém, suas restrições estatísticas, enfatizando a limitação da amostra para países da OECD e a regressão das taxas de crescimento com os estoques de capital humano, são “alvos” de críticas fundamentadas (BARBOSA FILHO E PESSOA, 2010).

Ainda que tais modelos venham a levantar um “juízo de valores” interessantes sobre o tema, suas contribuições são inevitáveis, e a apresentação de tais estudos vem reforçando o debate sobre a importância das políticas de educação para a redução nas diferenças de renda entre os países. Pensando em cooperar para o avanço da ciência, esta tese surgiu como uma tentativa de responder as críticas levantadas nos modelos apresentados, e colaborar no aperfeiçoamento das técnicas de investigação.

Para isto, o terceiro capítulo propôs uma nova formulação teórica do modelo de produtividade com duas fontes de crescimento. A nova formulação consistiu na apresentação da dicotomia do capital humano (a divisão do estoque entre fator qualificado e não-qualificado) e da inclusão dos incentivos às estratégias de inovação ou imitação das firmas. Esta última compreensão permitiu uma análise mais detalhada sobre as diferenças salariais e sobre os

processos de realocação induzida no mercado de trabalho. Além disto, o debate histórico com alguns exemplos mostrou que as políticas de educação estiveram muito mais coordenadas aos avanços industriais do que vetores isolados de crescimento. Em destaque, a armadilha da não-convergência mostra dos custos relativos da política quando não é dada a devida atenção à inovação tecnológica.

No modelo empírico, apresentado no quarto capítulo, várias metodologias de estimação foram adotadas, destacando, efeitos fixos, aleatórios, máxima verossimilhança e variáveis instrumentais. A utilização destas metodologias permitiu um melhor comparativo e uma maior robustez dos resultados empíricos. Para tentar captar o efeito diferenciado do capital humano no crescimento, calculou-se a produtividade total dos fatores (PTF) de uma amostra de 138 países entre 1960-2007. O modelo estimado consistiu na associação dos níveis do PIB por trabalhador, PTF e das taxas de crescimento (do PIB por trabalhador e da PTF) com cada indicador de capital humano. Em seguida, uma medida de “proximidade com a fronteira”, a partir dos indicadores da PTF, foi calculada e estimada a sua interação no modelo empírico.

As primeiras estimativas revelam que os anos de escolaridade da educação primária e secundária contribuem para a acumulação do PIB por trabalhador e da PTF nas economias que inicialmente estiveram mais afastadas da fronteira tecnológica. Os parâmetros estimados apresentaram significância estatística e com sinais esperados pela hipótese da investigação (em cada método de estimação os parâmetros estimados das variáveis de interação – $\alpha * U$ – apresentaram sinais negativos). As estatísticas de posto da matriz de regressores apresentaram uma potencial relevância dos instrumentos nos métodos de variáveis instrumentais. Pode-se ainda destacar que, os testes de ortogonalidade apresentaram não-rejeitar a hipótese nula de validade dos instrumentos em todos os modelos (os instrumentos foram devidamente excluídos da equação estrutural). Nos métodos de efeitos fixos, aleatórios e de máxima verossimilhança, as hipóteses foram confirmadas e as estatísticas de Hausman mostraram, em todos os modelos estimados, a adequação do método de efeitos fixos.

Já os anos de escolaridade do ensino superior (terciário) têm um efeito aumentador do PIB por trabalhador e da PTF nas economias mais próximas da fronteira. Este ‘efeito-gravidade’ mostra que as economias mais atrasadas e afastadas da fronteira podem alcançar taxas de crescimento bastante residuais ao adotar uma política de educação superior com “gargalos” não resolvidos da educação básica. Neste mesmo sentido, as estimativas dos parâmetros de interação

com a proximidade da fronteira apresentaram significância estatística e com sinais esperados conforme as hipóteses da tese (em cada método de estimação os parâmetros estimados das variáveis de interação – α^*S – apresentaram sinais positivos). Nos métodos de efeitos fixos, aleatórios e máxima verossimilhança, a significância estatística dos parâmetros é alcançada juntamente com a coerência dos sinais (parâmetro positivo em todos os métodos de estimação). As estatísticas de Hausman novamente mostraram a adequação do método de efeitos fixos. Considerando os métodos de variáveis instrumentais, a significância e o sentido de impacto da educação superior na acumulação do PIB por trabalhador e na PTF ainda são preservados. Os testes de posto da matriz e de ortogonalidade comprovam a relevância e validade dos instrumentos. Estes resultados confirmam as hipóteses de um crescimento diferenciado da ‘vizinhança da fronteira’, mostrando que a concepção dos diferentes tipos de capital humano e estágios de desenvolvimento podem afetar o crescimento relativo das economias.

No modelo com as funções de crescimento, o aumento da escolaridade superior contribui para um maior crescimento do PIB por trabalhador nas economias mais avançadas e próximas da fronteira. Os parâmetros estimados por variáveis instrumentais apresentaram significância estatística e com sinais esperados. Os testes de posto indicaram uma relevância dos instrumentos, seguidos de teste de exogeneidade (Sargan-Hansen) e de endogeneidade. Em todos os modelos estimados, os testes estatísticos foram válidos e significativos. Entretanto, o aumento da escolaridade básica, medida pelo nível educacional primário/secundário, contribui mais para o crescimento das economias mais afastadas da fronteira. Para as duas funções de crescimento (considerando o crescimento do PIB por trabalhador e a PTF), em todos os métodos de estimação (efeitos fixos, aleatórios e de máxima verossimilhança) os parâmetros satisfazem as hipóteses e apresentam forte significância no modelo.

A importante consideração é que os resultados deste trabalho comprovam as conjecturas levantadas por outros estudos, como Vandenbussche, Aghion e Meghir (2006) e Aghion, Boustan, Hoxby, e Vandenbussche (2009), Rocha e Silveira (2009), Coad (2011) e Ang, Madsen e Islam (2011). Os investimentos em educação devem ser alocados conforme as necessidades de cada economia, diagnosticando a sua real influência e propondo arranjos conectados com uma política industrial. Este planejamento evita a aplicação de modelos desconexos com a realidade de cada economia.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D. (1998) "Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality" *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 113, No. 4, pp. 1055-1089.
- ACEMOGLU, D. (2009). **Introduction to Modern Economic Growth**. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; ZILIBOTTI, F. (2002) "Distance to Frontier, Selection and Economic Growth", *Journal of the European Economic Association*, March, 4(1):37–74.
- AGHION, P.; BOUSTAN, L.; HOXBY, C; VANDENBUSSCHE, J. (2009) “The Causal Impact of Education on Economic Growth: Evidence from United States” *Brookings Papers on Economic Activity*, April 2009 Conference.
- AGHION, P.; HOWITT, P., (1992) “A Model Of Growth Through Creative Destruction.” *Econometrica*, 60,323-351.
- _____ (1998) **Endogenous Growth Theory**. Cambridge, MA: MIT Press.
- _____ (2005) Growth with Quality-Improving Innovations: An Integrated Framework, **Handbook of Economic Growth**, Volume 1A, edited by Philippe Aghion and Steven N. Durlauf. Amsterdam, North-Holland, 2005, 67-110.
- _____ (2009) **The Economics Of Growth**. Cambridge, MA: MIT Press.
- AMSDEN, A.H. (2001) “**The Rise of the Rest: Challenges to the West from Late-Industrializing Economies**”. Oxford: Oxford University Press.
- ANG, J.B.; MADSEN, J.B.; ISLAM, Md.R. (2011) The effects of human capital composition on technological convergence. **Journal of Macroeconomics**, 33 (2011), pp. 465–476.
- AZARIADIS, C. ; DRAZEN, A. (1990) "Threshold Externalities in Economic Development", *Quarterly Journal of Economics*, 501-526.
- BALESTRA, P., ; VARADHARAJAN-KRISHNAKUMAR, J. (1987) “Full-Information Estimations of a System of Simultaneous Equations with Error Component Structure,” *Econometric Theory*, Vol. 3, pp. 223–246.
- BALTAGI, B.H. (1981) “Simultaneous equations with error components.” *Journal of Econometrics* 17, 189–200.
- BALTAGI, B.H. (2008) **Econometric Analysis of Panel Data**. John Wiley: Chichester.

- BALTAGI, B.H. ; Q. LI, (1992) "A note on the estimation of simultaneous equations with error components" *Econometric Theory*, vol. 8, 113-119.
- BARBOSA FILHO, F.H. ; PESSÔA, S.A. (2010) "Educação e Crescimento: O Que a Evidência Empírica e Teórica Mostra?" *Revista Economia*, vol. 11(2), pages 265-303.
- BARRO, R. (2001) "Human Capital and Growth." *American Economic Review* 91 (2): 12–17.
- BARRO, R. ; LEE, JW (2010) "A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010." NBER Working Paper No. 15902.
- BARRO, R. ; SALA-I-MARTIN, X. (1992). *Convergence*. *Journal of Political Economy* 100, 223-251.
- BARRO, R. ; SALA-I-MARTIN, X. (1995). **Economic Growth**. New York: McGraw-Hill.
- BARTEL, A.P. ; LICHTENBERG, F.R. (1987) "The Comparative Advantage of Educated Workers in Implementing New Technology: Some Empirical Evidence," *Review of Economics and Statistics*, Vol. LXIX, No. 1, pp. 1-11.
- BECKER, G. (1964). **Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education**. Chicago, University of Chicago Press.
- BECKER, G. ; MURPHY, K.; TAMURA, R. (1990) "Human Capital, Fertility, and Economic Growth," *Journal of Political Economy* 98, no. S5 (1990): 12.
- BENHABIB, J.; SPIEGEL, M. (1994). "The Role of Human Capital in Economic Development: Evidence from Aggregate Cross-Country Data." *Journal of Monetary Economics*, 34, 143-174
- BENHABIB, J. ; SPIEGEL, M.M. (2005) "Human Capital and Technology Diffusion," *Handbook of Economic Growth*, In: PHILIPPE AGHION & STEVEN DURLAUF (ed.), *Handbook of Economic Growth*, edition 1, volume 1, chapter 13, pages 935-966, Elsevier.
- BILS, M.; KLENOW, P. (2000), "Does Schooling Cause Growth?", *American Economic Review*, 90, 1160-1183.
- CAMERON, A.C. ; TRIVEDI, P.K. (2005) **Microeconometrics: Methods and Applications**. New York: Cambridge University Press.
- CASTALDI, C.; CIMOLI, M.; CORREA, N.; DOSI, G. (2004) "Technological Learning, Policy Regimes and Growth in a 'Globalized' Economy: General Patterns and the Latin

- American Experience," LEM Papers Series 2004/01, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.
- CASTRO, M.H.G. de (2006) Atrasos e Turbulências na Educação Brasileira. Documento elaborado no âmbito do Convênio CEPAL/IPEA (Projeto: Brasil: o estado de uma nação), Maio de 2006.
- CHANDLER JR., A. (1990) **Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism**. Harvard: Belknap.
- CICCONE, A. ; PAPAIOANNOU, E. (2009) "Human Capital, the Structure of Production and Growth," The Review of Economics and Statistics, February 2009, 91(1): 66–82.
- CIMOLI, M.; HOLLAND, M.; PORCILE, G.; PRIMI, A.; VERGARA, S. (2006) "Growth, Structural Change and Technological Capabilities. Latin America in a Comparative Perspective," LEM Papers Series 2006/11, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.
- CIMOLI, M.; DOSI, G.; NELSON, R.R.; STIGLITZ, J. (2006) "Institutions and Policies Shaping Industrial Development: An Introductory Note," LEM Papers Series 2006/02, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy.
- COAD, A. (2008) "Distance to Frontier and Appropriate Business Strategy". Laboratory of Economics and Management - LEM, Working Papers Series, 2008/13.
- _____ (2011) Appropriate business strategy for leaders and laggards. **Industrial and Corporate Change**, Volume 20, Number 4, pp. 1049–1079.
- COHEN, D.; SOTO, M. (2007) Growth and Human Capital: Good Data, Good Results. Journal of Economic Growth, 12(1) (March): 51-76.
- CASELLI, F. ; COLEMAN, W.J. (2006). "The World Technology Frontier." American Economic Review 96: 499-522.
- D'AUTUME, A. ; MICHEL, P. (1994). Education et croissance. Revue d'Economie Politique, 104 (4), 457—499.
- DAVIDSON, R. ; MACKINNON, J.G. (2004) **Econometric Theory and Methods**. Oxford: Oxford University Press.

- DIXIT, A. ; STIGLITZ, J.E. (1977) "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity," *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 67(3), pages 297-308.
- DOSI, G. (1984) **Technical change and industrial transformation: the theory and an application to the semiconductor industry**. London: Macmillan.
- DOSI, G.; FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. (2010) Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34 (2010), pp.1748–1767.
- ECLAC (Economic Commission for Latin America and the Caribbean) (2010), **Achieving The Millennium Development Goals With Equality In Latin America And The Caribbean: Progress And Challenges** (LC/G.2460), Santiago, Chile, August, United Nations Publications.
- ETZKOWITZ, H.; BRISOLLA, S.N. (1999) "Failure and Success: the Fate of Industrial Policy in Latin America and South East Asia", **Research Policy**, 28, pp. 337–50.
- FISHER, R.A. (1925) "Theory of statistical estimation" *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 22: 700–725.
- FURTADO, C. (1959) **Formação Econômica do Brasil**. RJ, Fundo de Cultura.
- _____ (1969) **Formação econômica da América Latina**. RJ, Lia Editora.
- GERSCHENKRON, A. (1962). **Economic Backwardness in Historical Perspective**. Harvard University Press.
- GRAYBILL, F.A. (1961) *An Introduction to Linear Statistical Models* (McGraw-Hill, New York).
- GREENE, W.H. (2003) **Econometric Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, fifth edition.
- GROSSMAN, G.M. ; HELPMAN, E. (1991) **Innovation and Growth in the Global Economy**. Cambridge, MIT Press.
- HAYASHI, F. (2000) **Econometrics**. Princeton: Princeton University Press.
- HANUSHEK, E.A.; WÖßMANN, L. (2007) *Education quality and economic growth*. Washington: World Bank.
- HAUSMAN, J.A. (1978). "Specification Tests in Econometrics". *Econometrica*, 46 (6), 1251–1271.

- HECKMAN, J.J.; LOCHNER, L.J.; TODD, P.E. (2003) Fifty Years of Mincer Earnings Regressions. NBER Working Paper, nº 9732.
- HOWITT, P. (2005) Health, Human Capital, and Economic Growth: A Schumpeterian Perspective, In *Health and Economic Growth: Findings and Policy Implications*, edited by Guillem Lopez-Casasnovas, Berta Rivera and Luis Currais. Cambridge, MA: MIT Press, 19-40.
- HOWITT, P. ; MAYER-FOULKES, D. (2005) R&D, Implementation and Stagnation: A Schumpeterian Theory of Convergence Clubs. *Journal of Money, Credit and Banking* 37 (February 2005): 147-77.
- HSIAO, C. (2003) **Analysis of Panel Data**. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- JONES, C. I. (2000) **Introdução à Teoria do Crescimento Econômico**. Edição: 2. São Paulo: Campus.
- JONES, C.I. (2005) “The Shape of Production Functions and the Direction of Technical Change.” *Quarterly Journal of Economics*, 2, pp. 517-549.
- KATZ, J. (2000) Structural Changes and Productivity in Latin American Industry, 1970-1996. *CEPAL Review*, nº 71 (August), pp. 63-80.
- KIM, L. (1997) **Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning**. Boston: Harvard Business School Press.
- KRUEGER, A.; LINDAHL, M. (2001) "Education for Growth: Why and For Whom?", *Journal of Economic Literature*, December 2001, 39, 1101-1136.
- LEE, M.-J. (2002) *Panel Data Econometrics: Methods-of-Moments and Limited Dependent Variables*, San Diego, Academic Press.
- 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.
- LEYDESDORFF, L.; ETZKOWITZ, E. (1998) The Triple Helix as a Model for Innovation Studies. **Science & Public Policy**, Vol. 25(3), pp. 195-203.
- LUCAS, R. (1988) “On the Mechanics of Economic Development.” *Journal of Monetary Economics*, 22: 3–42.

- MADDALA, G.S. (1971). "The Use of Variance Components Models in Pooling Cross Section and Time Series Data," *Econometrica*, 39, 341–58.
- MALERBA, F. (2004) **Sectoral Systems of Innovations: Concepts, Issues And Analyses Of Six Major Sectors In Europe**. Cambridge: Cambridge University Press.
- MALERBA, F. ; ORSENIGO, L. (1993) Technological regimes and firm behavior. *Industrial and Corporate Change*, p. 45-71.
- _____. (1996) Schumpeterian Patterns of Innovation. *Cambridge Journal of Economics*. 19, 1, 47-45.
- _____. (1997) Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative. *Industrial and Corporate Change*, 6, 1, 83-117.
- MANKIW, N.G., ROMER, D. ; WEIL, D. (1992) "A Contribution to the Empirics of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics* 107 (2): 407–37.
- MANSFIELD, E. (1984) R&D and Innovation: Some Empirical Findings. IN: Griliches, Z. (1984) **R&D, Patents, and Productivity**. Chicago: University of Chicago Press, p.127-154.
- MAS-COLLEL, A.; WHINSTON, M; GREEN, J. (1995) **Microeconomic Theory**, Oxford: University Press.
- NELSON, R.; PACK, H. (1999) The Asian Miracle And Modern Growth Theory. *The Economic Journal* vol. 109 (July), pp. 416-36.
- NELSON, R.R. ; PHELPS, E.S. (1966) "Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth," *American Economic Review*, 56, 69-75.
- NELSON, R.R. ; WINTER, S.G (1982) **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Harvard University Press.
- NELSON, R.R. (1996) **The Sources Of Economic Growth**. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- NETTO, D. (2002) "A Economia Política do Desenvolvimento". In BIELSCHOWSKY, R. ; MUSSI, C. **Políticas Para A Retomada Do Crescimento – Reflexões De Economistas Brasileiros**. Brasília: IPEA.
- MINCER, J. (1958) Investment in Human Capital and Personal Income Distribution. *Journal of Political Economy*, 66(4): 281-302.
- _____ (1974) **Schooling, Experience, and Earnings**. New York: NBER Press.

- OTT, I. ; SORETZ, S. (2011) "Public policies and convergence", *Journal of Economic Dynamics & Control*, vol.35(2011), pp.1435–1450.
- PAVITT, K. (1999) *Technology, management and systems of innovation*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- PSACHAROPOULOS, G.; PATRINOS, H. (2004) "Returns to Investment in Education: A Further Update." *Education Economics* 12 (2): 111–34.
- RODRIGUEZ, A.; DAHLMAN, C.; SALMI, J. (2008) **Knowledge and innovation for competitiveness in Brazil**. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development; World Bank
- 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).
- ROGERS, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- ROMER, P. (1989) "Human Capital and Growth: Theory and Evidence" NBER Working Paper Series, Vol. w3173.
- ROMER, P. (1990) "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, vol. 98, n. 2 , pp. 71-102.
- ROMER, P. (1994) "The Origins of Endogenous Growth", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, n. 1, pp. 3–22.
- ROSENBERG, N. (2000) **Schumpeter and the Endogeneity of Technology: Some American Perspectives**. London: Routledge.
- RYBCZYNSKI, T. M. (1955). "Factor Endowment and Relative Commodity Prices". *Economica* 22 (88): 336–341.
- SAVVIDES, A. ; STENGOS T. (2009) "Human capital and economic growth" California: Stanford University Press.
- SCHWARTZMAN, S. (2005) "Educação e Desenvolvimento: Onde Estamos e para onde Vamos ?" In CASTRO, A., C. , LICA, A. PINTO JR, H. , SABOIA, J. (org) **Brasil em Desenvolvimento**. vol.2, Editora: Civilização Brasileira.
- SCHULTZ, T. W. (1961) "Investment in Human Capital." *American Economic Review*, 51(1): 1
- SCHUMPETER, J. (1943) **Capitalism, Socialism and Democracy**. New York: Harper.

- SOCHAZCEWSKI, A.C. (2002) "Políticas De Crescimento e o Futuro Do Brasil" In Bielschowsky, R. ; Mussi, C. Políticas Para A Retomada Do Crescimento – Reflexões De Economistas Brasileiros. Brasília: IPEA.
- SOLOW, R. (1956) A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quarterly Journal of Economics, 70, pp.65-94.
- SILVEIRA, J.M.F.J. da (2002) Inovação Tecnológica e Crescimento da Teoria da Inovação Induzida às Teorias do Crescimento Endógeno. Tese de Doutorado. Ie Unicamp, mimeo, 223p.
- TAYLOR, J.E., ROZELLE, S. ; DE BRAUW, A., (2003) "Migration and incomes in source communities: a new economics of migration perspective from China," Economic Development and Cultural Change, 52, 2003, pp. 75-101.
- THEIL, H. (1953) "Repeated Least Squares Applied to Complete Equation Systems." The Hague: Central Planning Bureau.
- TIROLE, J. (1988) **The Theory of Industrial Organization**. Cambridge, MA: MIT Press.
- UZAWA, H. (1965) Optimum technical change in an aggregative model of economic growth. International Economic Review 6, 18-31.
- VANDENBUSSCHE, J.; AGHION, P.; MEGUIR, C. (2006) Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital. Journal of Economic Growth. v.11, 97-127.
- SALA-I-MARTIN, X. (2010) "The Global Competitiveness Index." The Global Competitiveness Report 2009–2010, World Economic Forum, Geneva: Switzerland.
- SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E.D. (2011) The underestimated role of universities for the Brazilian system of innovation. **Brazilian Journal of Political Economy**, Vol.31, nº1 (121), pp.3-30, January-March/2011.
- WALLACE, T.D. ; HUSSAIN, A. (1969) The use of error components models in combining cross-section and time-series data, Econometrica 37, 55–72.
- WOOLDRIDGE, J.M. (2002) **Econometric Analysis of cross-section and panel data**, The MIT Press, London, England.
- WU, H. (2010) Distance to frontier, intellectual property rights, and economic growth. Economics of Innovation and New Technology, 19(2):165-183, 2010.

APÊNDICE

A.1 Economia Schumpeteriana

Partindo de uma economia schumpeteriana, especificada na página 48, temos:

$$Y_t = \int_0^1 [A_t(i)^\alpha x_t(i)^{1-\alpha}] di$$

Os preços de cada mercado de insumo intermediário são definidos pela produtividade marginal do insumo, logo:

$$p_t(i) = \frac{\partial Y_t}{\partial x_t(i)} = \alpha A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1}$$

A condição de otimização do empresário monopolista no setor de insumos intermediários é definida pela maximização dos lucros (Método de Kuhn-Tucker):

$$\max_{x_t(i) \geq 0} \{p_t(i)x_t(i) - x_t(i)\}$$

$$(a) \quad \alpha^2 A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1} - 1 \leq 0$$

$$(b) \quad x_t(i) \geq 0$$

$$(c) \quad [\alpha^2 A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1} - 1] \cdot x_t(i) \equiv 0$$

A solução interior para a condição de folga complementar (c) exige que em (b), $x_t(i) > 0$, logo temos em (a):

$$\alpha^2 A_t(i)^{1-\alpha} x_t(i)^{\alpha-1} - 1 = 0, \text{ isto implica que:}$$

$$\hat{x}_t(i) = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \quad \blacksquare$$

A.2 Função-Lucro

A função-lucro é definida pela condição de lucro do setor substituindo a solução anterior nos lucros do monopolista:

$$\hat{\pi}_t(i) = p_t(i)\hat{x}_t(i) - \hat{x}_t(i)$$

$$\begin{aligned}
\hat{\pi}_t(i) &= \alpha A_t(i)^{1-\alpha} \left[\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \right]^\alpha - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) \\
&= \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)} \\
\hat{\pi}_t(i) &= \alpha^{1+\frac{2\alpha}{1-\alpha}} A_t(i) - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_t(i) = \left[\alpha^{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \right] A_t(i) \\
\Rightarrow \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)} &= \left(\frac{\alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)} - \alpha \alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)}}{\alpha} \right) = \frac{\alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)} - \alpha^{\left(\frac{3-\alpha}{1-\alpha} \right)}}{\alpha} = \\
&= \alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)} \alpha^{-1} - \alpha^{\left(\frac{3-\alpha}{1-\alpha} \right)} \alpha^{-1} = \alpha^{\left(\frac{2-1+\alpha}{1-\alpha} \right)} - \alpha^{\left(\frac{3-\alpha-1+\alpha}{1-\alpha} \right)} = \alpha^{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \quad \blacksquare
\end{aligned}$$

$$\hat{\pi}_t(i) = \pi A_t(i) \therefore \pi \equiv \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \alpha^{\left(\frac{2}{1-\alpha} \right)}$$

A função-lucro ($\hat{\pi}_t(i)$) possui as seguintes características:

- 1) É estritamente crescente em $A_t(i)$;
- 2) É homogênea de grau 1 em $A_t(i)$;
- 3) É contínua em $A_t(i)$;

PROVA:

$$\frac{\partial \hat{\pi}_t(i)}{\partial A_t(i)} = \pi > 0 \therefore \forall A_t(i) \geq 0$$

$$\hat{\pi}_t(i) = \pi A_t(i) ; \exists A_t(i)' > 0 \therefore A_t(i)' > A_t(i) \Leftrightarrow \hat{\pi}_t(i)' > \hat{\pi}_t(i) \quad \blacksquare$$

$$\exists \tau > 0 \therefore \hat{\pi}_t(i) = \pi(\tau A_t(i)) = \tau \underbrace{(\pi A_t(i))}_{\hat{\pi}_t(i)} = \tau \hat{\pi}_t(i) \quad \blacksquare$$

$$\{A_t(i)_j\}_{j=0}^\infty \rightarrow \tilde{A}_t(i) \Rightarrow \{\hat{\pi}_t(i)_j\}_{j=0}^\infty \rightarrow \tilde{\pi}_t(i) = \pi \tilde{A}_t(i) \quad \blacksquare$$

A.2 Funções de Demanda

As funções de demanda por cada fator de trabalho são construídas a partir da otimização da utilidade de cada empresário monopolista (pág. 51):

$$\max_{s_t(i), u_t(i) \geq 0} \{U_t(i)\}$$

$$\max_{s_t(i), u_t(i) \geq 0} \{\lambda \pi A_t(i) - (w^u u_t(i) + w^s s_t(i)) A_{t-1}(i)\}$$

$$A_t(i) = A_{t-1}(i) + s_t(i)^\varphi (\gamma - 1) A_{t-1}(i) + u_t(i)^\beta \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)) \quad [\text{p. 50}]$$

Pelo Método de Kuhn-Tucker, temos as seguintes soluções:

$$(a) \quad \lambda \pi \varphi s_t(i)^{\varphi-1} (\gamma - 1) A_{t-1}(i) - w^s A_{t-1}(i) \leq 0$$

$$(b) \quad s_t(i) \geq 0$$

$$(c) \quad \lambda \pi \beta u_t(i)^{\beta-1} \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)) - w^u A_{t-1}(i) \leq 0$$

$$(d) \quad u_t(i) \geq 0$$

$$(e) \quad [\lambda \pi \varphi s_t(i)^{\varphi-1} (\gamma - 1) A_{t-1}(i) - w^s A_{t-1}(i)] \cdot s_t(i) \equiv 0$$

$$(f) \quad [\lambda \pi \beta u_t(i)^{\beta-1} \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)) - w^u A_{t-1}(i)] \cdot u_t(i) \equiv 0$$

As soluções de interior para as condições de folga complementar (e) e (f) exigem que em (b) e (d), $s_t(i) > 0$; $u_t(i) > 0$, logo temos em (a) e (c):

$$\lambda \pi \varphi \hat{s}_t(i)^{\varphi-1} (\gamma - 1) A_{t-1}(i) - w^s A_{t-1}(i) = 0$$

$$\lambda \pi \varphi (\gamma - 1) = w^s \hat{s}_t(i)^{1-\varphi} \Rightarrow \hat{s}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi (\gamma - 1)}{w^s} \right)^{\frac{1}{1-\varphi}} \quad \blacksquare$$

$$\lambda \pi \beta u_t(i)^{\beta-1} \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)) - w^u A_{t-1}(i) = 0$$

$$\lambda \pi \beta \eta \left(\frac{\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)} \right) = w^u u_t(i)^{1-\beta} \Rightarrow \hat{u}_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (\bar{A}_{t-1}(i) - A_{t-1}(i))}{w^u A_{t-1}(i)} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} \quad \blacksquare$$

A.3 Equações do Crescimento

A equação de progresso tecnológico é definida a seguir (página 53, equação G.1):

$$g_t(i) = \hat{s}_t(i)^\varphi(\gamma - 1) + \hat{u}_t(i)^\beta \eta(d_{t-1}(i) - 1) \therefore d_{t-1}(i) = \frac{\bar{A}_{t-1}(i)}{A_{t-1}(i)}$$

Substituindo as funções de demanda por fator-trabalho na equação do progresso tecnológico, temos:

$$g_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi (\gamma - 1)}{w^s} \right)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}} (\gamma - 1) + \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta (d_{t-1}(i) - 1)$$

$$g_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi}{w^s} \right)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}} (\gamma - 1)^{\frac{\varphi}{1-\varphi} + 1} + \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{\beta}{1-\beta} + 1} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{\beta}{1-\beta} + 1}$$

$$g_t(i) = \left(\frac{\lambda \pi \varphi}{w^s} \right)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}} (\gamma - 1)^{\frac{1}{1-\varphi}} + \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{1}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta}}$$

Derivando parcialmente com relação ao índice de distância tecnológica ($d_{t-1}(i)$), a equação de progresso tecnológico é reescrita como:

$$\frac{\partial g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i)} = \frac{1}{1-\beta} \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{1}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{1}{1-\beta} - 1}$$

$$\frac{\partial g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i)} = \frac{1}{1-\beta} \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{1}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \blacksquare$$

Aplicando a derivada parcial de segunda ordem com relação ao parâmetro de imitação, a equação é reescrita como:

$$\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \left(\frac{1}{1-\beta} \right) \left(\frac{1}{1-\beta} \right) \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{1}{1-\beta} - 1} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{\beta}{1-\beta}}$$

$$\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \left(\frac{1}{1-\beta} \right) \left(\frac{1}{1-\beta} \right) \left(\frac{\lambda \pi \beta}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \eta^{\frac{\beta}{1-\beta}} (d_{t-1}(i) - 1)^{\frac{\beta}{1-\beta}}$$

$$\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \blacksquare$$

A.4 Armadilha da Não-Convergência

Na condição da armadilha a curva de crescimento tangencia a linha de 45° e, portanto neste ponto, $\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} = \bar{\eta}^{trap}$. Por conseguinte temos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} &= \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \left(\frac{\partial g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \\ \left(\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} \right)^{1-\frac{\beta}{1-\beta}} &= \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \\ \left(\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} \right)^{\frac{1-2\beta}{1-\beta}} &= \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^2 \left(\frac{\lambda \pi \beta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \\ \left(\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} \right)^{TRAP} &= \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^{\frac{2(1-\beta)}{1-2\beta}} \left(\frac{\lambda \pi \beta (d_{t-1}^{TRAP}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-2\beta}} \end{aligned}$$

Integrando os setores, temos:

$$\left(\frac{\partial^2 g_t(i)}{\partial d_{t-1}(i) \partial \eta} \right)^{TRAP} = \left(\frac{1}{1-\beta} \right)^{\frac{2(1-\beta)}{1-2\beta}} \int_0^1 \left[\left(\frac{\lambda \pi \beta (d_{t-1}^{TRAP}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{\beta}{1-2\beta}} \right] di \blacksquare$$

Pela **Proposição 1**, $\varphi > \beta$, e a condição de retornos decrescentes (e complementaridade) entre os fatores $\varphi + \beta = 1$, isto implica que os valores assumidos entre os parâmetros de elasticidade sejam: $\varphi \in [1/2, 1) \therefore \beta \in (0, 1/2)$. Assim, a armadilha da não-convergência fica claramente definida sob as seguintes condições, especificamente nas razões das elasticidades.

Para uma economia com uma distância acima da condição de armadilha, a tangente da curva de crescimento no ponto é menor do que a curva de 45°, que consiste no limite máximo de retorno das atividades de imitação ao crescimento. Caso contrário, a economia poderia explorar, indefinidamente, mais transferência de tecnologias sem custos para sua convergência (GROSSMAN E HELPMAN, 1991).

A.5 Diferenças Salariais

O prêmio da qualificação é definido pela razão entre os salários da mão de obra qualificada em relação aos salários da mão de obra não-qualificada.

$$\begin{aligned}\omega_t(i) &\equiv \frac{w^s \hat{s}_t(i)}{w^u \hat{u}_t(i)} = \frac{w^s \left(\frac{\lambda \pi \varphi (\gamma - 1)}{w^s} \right)^{\frac{1}{1-\varphi}}}{w^u \left(\frac{\lambda \pi \beta \eta (d_{t-1}(i) - 1)}{w^u} \right)^{\frac{1}{1-\beta}}} \\ \omega_t(i) &= \frac{(w^s)^{1-\frac{1}{1-\varphi}} (\varphi (\gamma - 1))^{\frac{1}{1-\varphi}}}{(w^u)^{1-\frac{1}{1-\beta}} (\beta \eta (d_{t-1}(i) - 1))^{\frac{1}{1-\beta}}} (\lambda \pi)^{\frac{1}{1-\varphi}} (\lambda \pi)^{-\frac{1}{1-\beta}} \\ \omega_t(i) &= \frac{(w^s)^{-\frac{\varphi}{1-\varphi}} (\varphi (\gamma - 1))^{\frac{1}{1-\varphi}}}{(w^u)^{-\frac{\beta}{1-\beta}} (\beta \eta (d_{t-1}(i) - 1))^{\frac{1}{1-\beta}}} (\lambda \pi)^{\frac{(1-\beta)-(1-\varphi)}{(1-\varphi)(1-\beta)}} \\ \omega_t(i) &= \left(\frac{(w^u)^{\frac{\beta}{1-\beta}}}{(w^s)^{\frac{\varphi}{1-\varphi}}} \right) \left[\frac{(\varphi (\gamma - 1))^{\frac{1}{1-\varphi}}}{(\beta \eta (d_{t-1}(i) - 1))^{\frac{1}{1-\beta}}} \right] (\lambda \pi)^{\frac{\varphi-\beta}{(1-\varphi)(1-\beta)}} \blacksquare\end{aligned}$$

Pela **Proposição 1** (pág. 51) temos que $\varphi > \beta$, logo os lucros do setor e a probabilidade de sucesso do empresário inovador estão diretamente relacionados com o prêmio da qualificação. Isto pode ser visto na equação anterior, onde o expoente $\frac{\varphi-\beta}{(1-\varphi)(1-\beta)}$ é positivo, pois $\varphi - \beta > 0 \Leftrightarrow \varphi > \beta$ ■.

A.6 Países da Amostra

A amostra constituiu de 138 países (conforme a base de dados disponíveis pelos autores Barro e Lee (2000)) entre 1960 a 2007. Esta amostra foi utilizada em decorrência da limitação de dados sobre as séries de educação. Como a base de dados disponibilizada pelos autores consiste na mais adotada nos modelos de crescimento com capital humano, a restrição de 138 países não consistiria em grandes limitações para a investigação.

TABELA A.6 - Relação dos países adotados no modelo econométrico.

Afghanistan	Cote d'Ivoire	Indonesia	New Zealand	Suriname
Algeria	Cyprus	Iran, I.R. of	Nicaragua	Swaziland
Angola	Denmark	Iraq	Niger	Sweden
Argentina	Dominica	Ireland	Nigeria	Switzerland
Australia	Dominican Rep.	Israel	Norway	Syria
Austria	Ecuador	Italy	Oman	Taiwan
Bahamas, The	Egypt	Jamaica	Pakistan	Tanzania
Bahrain	El Salvador	Japan	Panama	Thailand
Bangladesh	Ethiopia	Jordan	Papua New Guin.	Togo
Barbados	Fiji	Kenya	Paraguay	Tonga
Belgium	Finland	Korea	Peru	Trinidad & Tob.
Benin	France	Kuwait	Philippines	Tunisia
Bolivia	Gabon	Lesotho	Poland	Turkey
Botswana	Gambia	Liberia	Portugal	Uganda
Brazil	Germany, West	Luxembourg	Rwanda	United Arab Em.
Burkina Faso	Ghana	Madagascar	Saudi Arabia	United Kingdom
Burundi	Greece	Malawi	Senegal	United States
Cameroon	Grenada	Malaysia	Seychelles	Uruguay
Canada	Guatemala	Mali	Sierra Leone	Vanuatu
Cape verde	Guinea	Malta	Singapore	Venezuela
Central Afr. R.	Guinea-Bissau	Mauritania	Solomon Islands	Western Samoa
Chad	Guyana	Mauritius	Somalia	Yemen, N.Arab
Chile	Haiti	Mexico	South Africa	Yugoslavia
China	Honduras	Morocco	Spain	Zaire
Colombia	Hong Kong	Mozambique	Sri Lanka	Zambia
Comoros	Hungary	Myanmar (Burma)	St.Lucia	Zimbabwe
Congo	Iceland	Nepal	St.Vincent & G.	
Costa Rica	India	Netherlands	Sudan	

Fonte: Barro e Lee (2000).