

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 222

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E ACUMULAÇÃO DE
CAPITAL HUMANO: UMA ANÁLISE SOBRE A RELAÇÃO
DE CAUSALIDADE**

Alexandre Batista Ferreira

Luciano Nakabashi

Marcello da Cunha Santos

Outubro de 2003

Ficha catalográfica

330.34	Ferreira, Alexandre Batista .
F383c	Crescimento econômico e acumulação de capital
2003	humano: uma análise sobre a relação de causalidade /
	por Alexandre Batista Ferreira, Luciano Nakabashi,
	Marcello da Cunha Santos. - Belo Horizonte:
	UFMG/Cedeplar, 2003.
	27p. (Texto para discussão ; 222)
	1. Desenvolvimento econômico. 2. Capital humano.
	3. Equações simultâneas. I. Nakabashi, Luciano. II.
	Santos, Marcello da Cunha. III. Universidade Federal
	de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e
	Planejamento Regional. IV. Título. V. Série.
	CDU

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL**

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E ACUMULAÇÃO DE CAPITAL HUMANO:
UMA ANÁLISE SOBRE A RELAÇÃO DE CAUSALIDADE**

Alexandre Batista Ferreira

Mestrando em economia pelo CEDEPLAR/UFMG.
E-mail: alex@cedeplar.ufmg.br

Luciano Nakabashi

Doutorando em economia pelo CEDEPLAR/UFMG.
E-mail: nakaba@ibest.com.br

Marcello da Cunha Santos

Mestrando em economia pelo CEDEPLAR/UFMG.
E-mail: marcello@cedeplar.ufmg.br

CEDEPLAR/FACE/UFMG

BELO HORIZONTE

2003

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO: AVANÇO TECNOLÓGICO E O RESÍDUO DE SOLOW	6
2. O PAPEL DO CAPITAL HUMANO, DA INFRA-ESTRUTURA, DA INFORMAÇÃO E DOS GASTOS EM P&D NAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	7
2.1. Capital Humano e Inovações Tecnológicas	7
2.2. Gastos em P&D e Avanço Tecnológico.....	8
2.3. Infra-Estrutura e Informação no Processo de Progresso Tecnológico	9
3. COMO AS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, OS GASTOS EM EDUCAÇÃO FORMAL E INFORMAÇÃO AFETAM A FORMAÇÃO DE CAPITAL HUMANO	10
3.1. Mudanças Tecnológicas e Informação na Formação de Capital Humano	10
3.2. O Papel dos Gastos em Educação Formal na Formação de Capital Humano	11
4. METODOLOGIA	12
5. DADOS	14
6. APRESENTAÇÃO DO MODELO DE EQUAÇÕES SIMULTÂNEAS	15
7. MÉTODO ALTERNATIVO PARA SELEÇÃO DO MODELO	20
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	22
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
10. BIBLIOGRAFIA.....	26
11. APÊNDICE	27

RESUMO

Em teorias de crescimento econômico muito se tem dito sobre o papel da acumulação de capital humano sobre o crescimento econômico. Mas o processo é muito complexo e sugere que o nível de tecnologia de um determinado país também é importante na determinação do montante de capital humano por indivíduo, portanto o crescimento tecnológico também afeta a taxa de acumulação de capital humano. Sendo assim, existe uma possibilidade dessas variáveis serem determinadas conjuntamente em um sistema de equações simultâneas, com a taxa de mudança tecnológica afetando a quantidade de capital humano acumulado e vice-versa. No presente trabalho propomos uma análise desta hipótese para uma série de países.

Palavras Chaves: Crescimento Econômico, Capital Humano, Sistema de Equações Simultâneas

ABSTRACT

The accumulation of human capital plays a crucial role in growth theories and it is incorporated in the growth models in a very simplified way. Therefore it does not take into account the economic development process complexity. They consider that the amount of human capital is an important input in the technological change process, but a country's technology level is also important in the human capital accumulation process. Consequently the two variables are determined endogenously in a simultaneous equation system. In this work we propose an analysis of the human capital and technological changes in a simultaneous equation system by means of a cross-section analysis within a range of countries.

Key Words: Economic Growth, Human Capital, Simultaneous Equation System

JEL: C31, O11

1. INTRODUÇÃO: AVANÇO TECNOLÓGICO E O RESÍDUO DE SOLOW

Um dos grandes desafios da humanidade é a superação da miséria, pobreza e de todos os problemas relacionados a elas, principalmente nos países menos desenvolvidos. De uma forma mais ampla, o desenvolvimento econômico e as melhorias das condições de vida do ser humano tem sido um dos grandes temas que acumulam grande quantidade de esforço para que soluções venham a ser encontradas.

Há muito tempo, sabe-se que um dos principais fatores para que essas melhorias possam ocorrer é o avanço tecnológico, pois este proporciona novas soluções de combate a doenças, melhora os meios de comunicação, a produtividade da agricultura através da biotecnologia, cria novos métodos de ensino que facilitam o aprendizado, entre muitos outros benefícios. De uma forma geral, o progresso tecnológico aumenta a produtividade dos fatores de produção, elevando o produto por pessoa, o que cria possibilidades para a superação da miséria e da pobreza, sendo fundamental na dinâmica econômica e um fator essencial para o crescimento e desenvolvimento das pessoas e nações.

Na análise neoclássica do crescimento, o resíduo de Solow é uma das variáveis que mede o nível de tecnologia de uma determinada economia, ele é o fator responsável pelo crescimento do produto, que não seja pelo aumento do montante dos fatores capital e trabalho utilizados na produção. Supondo que estes apresentem rendimentos marginais decrescentes, pode-se dizer que o crescimento econômico sustentável, em termos *per capita*, só é possível graças à existência do avanço tecnológico

The acceleration in technological progress stimulated the accumulation of human capital and brought about a demographic transition in which fertility rates declined rapidly, paving the way to an era of sustained economic growth with an average annual increase in income per capita of about 2 percent over the twentieth century (Galor and Moav, 2002, pg. 1135-1136).

Nessa perspectiva (do resíduo de Solow), novos produtos, novos processos de produção, maior grau de habilidade e destreza dos trabalhadores, conhecimento acumulado facilitando a busca de novos conhecimentos, *learning by doing*, economias de escala e de aglomeração (e todos os tipos de externalidades positivas), melhor qualidade do capital utilizado na produção, entre outros fatores que afetam a produtividade dos fatores de produção, são considerados como avanços tecnológicos

It will be seen that I am using the phrase “technical change” as a short hand expression for any kind of shift in the production function. Thus slowdowns, speed-ups, improvements in the education of the labor force, and all sorts of things will appear as “technical change” (Solow, 1957, pg. 312).

Porém, cabe ressaltar que nem todas invenções são consideradas avanço tecnológico, como fica claro na definição de tecnologia dada por Root (1973, pg. 116) e a sua relação com inovação

Technology is the accumulated knowledge, skills, and techniques that are applied to the production of goods and services. Inventions and discoveries are the sources of technology, but they must be used in production to become innovation.

Além de que nem todo processo de aprendizado pode ser considerado como avanço tecnológico, pois existem inúmeras atividades que agregam algum tipo de conhecimento ao indivíduo, mas que nunca serão utilizados em algum processo produtivo¹.

2. O PAPEL DO CAPITAL HUMANO², DA INFRA-ESTRUTURA, DA INFORMAÇÃO E DOS GASTOS EM P&D NAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

2.1. Capital Humano e Inovações Tecnológicas

Capital humano é um termo que foi inicialmente empregado por economistas e hoje é amplamente utilizado por uma gama de profissionais em diversas áreas. O capital humano possui um papel crucial na explicação do resíduo tanto de forma direta como de forma indireta, pois ele afeta diretamente a produtividade dos trabalhadores, além de ser o principal insumo nos departamentos que têm como objetivo a manutenção do processo de inovação. Segundo Schultz, a acumulação de capital humano é o principal motor de crescimento:

No doubt the growth in investment in man has improved markedly de quality of work entering into economic endeavor, and these improvements in quality have been a major source of economic growth (1962, pp. 6).

Segundo Lucas (1988, pg. 15), o próprio termo “nível de tecnologia de uma certa sociedade”, está altamente correlacionada com o grau de conhecimento das pessoas que vivem nela

Consider, then, variations across countries in ‘technology’ – its level and rate of change. This seems to me to be the one factor isolated by the neoclassical model that has the potential to account for wide differences in income levels and growth rates. ... I think when we talk in this way about differences in ‘technology’ across countries we are not talking about ‘knowledge’ in general, but about the knowledge of particular people, or perhaps particular subcultures of people.

Os resultados diretos do investimento em capital humano sobre a criação de tecnologia, no sentido do resíduo de Solow, é que pessoas mais capacitadas realizam uma maior quantidade e/ou melhor qualidade de trabalho, considerando o mesmo período de tempo, ou seja, elas possuem maiores qualificações para realização de seus serviços específicos melhorando, dessa forma, a produtividade do trabalho

¹ Um exemplo seria uma pessoa lendo um livro de astronomia ou história egípcia como uma atividade de lazer. Porém, se essa atividade for benéfica à produtividade do indivíduo por deixá-lo mais “relaxado”, ela poderia ser considerada como uma mudança tecnológica na perspectiva do modelo de Solow.

² Como em Lucas (1988), o termo capital humano é usado em referência ao nível geral de habilidades do trabalhador de modo que um trabalhador com o dobro de capital humano de outro será duas vezes mais produtivo que ele.

The schooling implications of modern human capital theory can be stated in a nutshell as three propositions. First, on the labor supply side: In order to induce a person to forgo earnings, pay tuition, and undergo additional schooling, that worker must be compensated by sufficiently higher lifetime earnings. Second, on the labor demand side: In order to be able to command higher earnings, the more schooled workers must be sufficiently more productive in employment than their less schooled fellows workers, that is, marginal products of workers must increase with the level of schooling; otherwise, employers would not pay premium wages for more highly educated workers. Third, on market equilibrium: In long-run competitive equilibrium the relationship between schooling and lifetime earnings must be such that the supply of and demand for workers of each schooling level are equated, end no worker wishes to alter his or her level of schooling (Berndt, 1996, pg. 154).

Os resultados indiretos dos gastos em capital humano são provenientes do fato do processo de geração de inovações possuir uma grande dependência da quantidade, capacidade e grau de conhecimento das pessoas envolvidas nesse processo. Como o conhecimento científico é um dos fatores chaves no processo de inovação e a crescente relevância da ciência no processo inovativo, cabe ressaltar a importância da educação formal como um fator de grande relevância nesse processo.

Os resultados concretos do processo de mudança tecnológica são, fundamentalmente, a criação de novos produtos e/ou processos de produção. Atualmente, em todas as áreas de conhecimento, uma grande quantia de esforço é realizada, de forma contínua, com o objetivo de criar ou aperfeiçoar produtos e processos de produção, sendo assim frutos do empenho e da capacidade humana. Para que se tenha uma inovação com a intenção de resolver problemas práticos é preciso que uma certa quantidade de esforço seja dedicada à pesquisa aplicada. Esta, por sua vez, depende da base tecnológica ou científica que, por sua vez, é fruto da pesquisa básica³. Para o desenvolvimento de qualquer uma das duas, a quantidade, a capacidade e a qualificação das pessoas empregadas nessas áreas são elementos essenciais aos seus respectivos desenvolvimentos.

2.2. Gastos em P&D e Avanço Tecnológico

Os gastos em P&D são o montante de verbas destinadas à criação de inovações e explica, por si só, sua importância nesse processo. Eles representam uma parte significativa das despesas com trabalho e capital envolvidos no processo de transformação tecnológica. Nas palavras de Blackburn, Hung e Pozzolo (2000, pg. 189), o papel desses dois fatores, gastos em P&D e capital humano, é fundamental para inovações

On the one hand, R&D is essential to the processes of invention and innovation from which an economy acquires new and better quality products and technologies. On the other hand, human capital accumulation is the means by which skills are improved for the benefit of any type of productive activity, including R&D.

³ A pesquisa básica é um processo muito amplo, podendo ser desenvolvida sem um objetivo muito prático ou sendo mais direcionada a um determinado problema.

Eles vão além, argumentando que já existe uma considerável comprovação empírica da existência desses mecanismos no processo de desenvolvimento tecnológico.

Uma parte dos gastos em P&D é determinada endogenamente no sistema econômico. Ela é realizada pelo setor privado na luta de cada firma para manter ou ampliar sua fatia de mercado contra concorrentes estabelecidos ou potenciais, dependendo também do seu retorno esperado

... the incumbent's tendency to preempt the race, shows that it is the threat of entry by an outsider that pushes forward the innovative effort by the incumbent, and the incumbent's innovative effort would have been reduced in the absence of such a threat. Hence, competition in the innovative race stimulates innovation, as has also been emphasized in the patent race literature. The second aspect of competition relates to competition in the product market once the innovation has taken place. This is reflected in the flow of profit to the innovative firm. A higher flow of profit will give higher R&D expenditures and more innovation,... (Klette and Griliches, 2000, pg. 375-376).

A outra parte dos gastos em P&D, principalmente em pesquisa básica, é realizada pelo setor governamental. Como ela depende de decisões de política econômica é feita a suposição de que ele é exógeno ao sistema econômico.

Apesar das atividades de pesquisa e inovação representarem somente uma pequena parte da grande indústria do conhecimento, ela é muito significativa no processo de desenvolvimento econômico

But this research and development system is at the heart of the whole complex, for in contemporary society it originates a large proportion of the new and improved materials, products, processes and systems, which are the ultimate source of economic advance (Freeman, pg. 05, 1987).

2.3. Infra-Estrutura e Informação no Processo de Progresso Tecnológico

A infra-estrutura e a informação estão intimamente ligadas, já que o sistema de informação de um país é parte de sua infra-estrutura. A diferença básica é que a infra-estrutura está mais relacionada à redução de custos e criação de novas oportunidades, enquanto a informação é um insumo crucial no processo de aprendizado.

A infra-estrutura de uma determinada economia é de grande relevância na determinação de parte dos custos de investimento, inclusive dos gastos em P&D, afetando o seu retorno esperado desse investimento e, desse modo, a quantidade de recursos destinados a um certo projeto de investimento. Em alguns casos ela é essencial para que certos investimentos aconteçam, pois ela é a base do sistema produtivo e de transporte, gerando novas oportunidades de investimentos que antes eram inviáveis.

Em um mundo crescentemente globalizado, as transações econômicas entre países e as interações entre indivíduos e comunidades de vários pontos do planeta, tendem a ser realizadas através de uma infra-estrutura global de informação, baseada em redes de alta velocidade. Além disso a informação é um insumo básico no processo de progresso tecnológico pois grande parte deste se deve à imitação, e não simplesmente de “novidades”. Assim, a competitividade das nações está ligada a forma como elas incorporam no seu tecido produtivo e social os avanços verificados no domínio da tecnologia da informação, como ferramenta para a aquisição, gestão e tratamento da informação e, em última instância, de conhecimento.

3. COMO AS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, OS GASTOS EM EDUCAÇÃO FORMAL E INFORMAÇÃO AFETAM A FORMAÇÃO DE CAPITAL HUMANO

3.1. Mudanças Tecnológicas e Informação na Formação de Capital Humano

Mudanças tecnológicas acabam com certos tipos de trabalho e meios de produção, criando outros afetando, indiretamente, o nível de habilidade do trabalhador, pois aumenta o retorno sobre os gastos com educação, pelo aumento da demanda por pessoas com certos conhecimentos específicos para lidar com os novos tipos de trabalho e métodos de produção. Como relatado por Galor e Weil (2000), quando o nível tecnológico de uma determinada economia muda lentamente, os filhos vão adquirir a maior parte dos conhecimentos através da observação das técnicas utilizadas pelos pais ou pessoas mais velhas que já possuem conhecimentos prévios. Portanto, a educação formal tem pouca importância para o aprendizado dos indivíduos. Já em uma economia na qual a taxa de avanço tecnológico é elevada, o conhecimento adquirido através da observação das técnicas previamente utilizadas será de menor valor, pois existirão novas técnicas que, se estiverem sendo empregadas, serão superiores às antigas. Desse modo, cria-se uma demanda por indivíduos que possuem o conhecimento dessa nova técnica, aumentando os retornos do investimento em educação formal.

As maneiras pelas quais as transformações tecnológicas afetam diretamente a qualidade da mão-de-obra empregada são pela utilização de métodos melhores e mais rápidos para transmitir conhecimento e novos métodos de ensino, por exemplo, a utilização de novos equipamentos pelos professores como televisão, computador, etc. A maior eficiência na transmissão do conhecimento facilita o acesso à informação, além de reduzir seu custo, proporcionando aos indivíduos maiores oportunidades de aprendizado, de acesso a descobertas e desenvolvimentos recentes, além de permitir maior cooperação internacional como, por exemplo, a participação conjunta em trabalhos científicos entre indivíduos de diferentes países:

From 1995-97, scientists in the United States co-authored articles with scientists from 173 other countries; scientists in Brazil with 114, in Kenya with 81, in Algeria 59 (UNDP, 2001, pg. 31).

O acesso à informação assume um papel central na formação educacional como um processo de capacitação do indivíduo, além de ser essencial no processo de difusão tecnológica, que aumenta a

produtividade do capital e/ou do trabalho. Os novos métodos de ensino reduzem os seus custos e/ou melhoram a sua qualidade, com ambos aumentando o retorno dos gastos em educação. Para se ter uma idéia da redução de custos na transmissão de informações devido à utilização de novas tecnologias, foi reproduzido o seguinte trecho da UNDP (2001, pg. 30):

In 2001 more information can be send over a single cable in a second than in 1997 was sent over the entire Internet in a month. The cost of transmitting a trillion bits of information from Boston to Los Angeles has fallen from \$150,00 in 1970 to 12 cents today. A three minute phone call from New York to London that in 1930 cost more than \$300 (in today's price) costs less than 20 cents today. E-mailing a 40-page document from Chile to Kenya costs less than 10 cents, faxing it about \$10, sending it by courier \$50.

3.2. O Papel dos Gastos em Educação Formal na Formação de Capital Humano

Os gastos em educação formal são feitos tanto por agentes privados quanto pela esfera pública. Eles (os gastos) aumentam a quantidade e/ou a qualidade de pessoas com conhecimentos específicos, aumentando, desse modo, a quantidade de anos de escola por pessoa. Sendo assim, os gastos em educação formal constituem uma parte importante da formação do capital humano

Although there is undoubtedly a certain amount of sheer enjoyment and consumption value to life as student, schooling also represents an investment. In particular, additional schooling entails opportunity costs in the form of forgone earnings, as well as expenses such tuition (Berndt, 1996, pg. 154).

A parte dos gastos em educação formal realizada pelo governo depende de decisões de política econômica relacionadas com o desenvolvimento econômico e social do país, enquanto que o montante de gastos em educação formal realizado pelos indivíduos é endógena ao sistema econômico

In choosing education level so as to maximize the present value of their wealth, individuals will consider the costs and the benefits of schooling (Berndt, 1996, pg. 155).

Onde os indivíduos com maior potencial acabam tendo uma certa vantagem nesse processo tanto pelo maior aproveitamento de seus gastos em educação formal quanto maior facilidade ao acesso de recursos governamentais

Individuals with high aptitude and abilities will find it relatively easy to accumulate human capital, since learning comes easily to them. Therefore the human capital benefits of one hour of studying for the more able may be larger than for the less able. Suppose that the more able individuals also have relatively easy access to

investable funds owing to, say, scholarships given on the basis of ability. If true, these conditions would imply that high-ability individuals would have greater incentives to accumulate human capital in the form of education than would individuals with fewer abilities (Berndt, 1996, pg. 155).

Os efeitos diretos da educação formal incidem sobre o nível de habilidades do trabalhador, isto é, no desenvolvimento psíquico e mental, além do aprendizado e aperfeiçoamento de novas técnicas, juntamente com o fato de indivíduos mais capacitados terem um menor custo no processo de acumulação de capital, por terem maior facilidade no aprendizado e de acesso a certos recursos do governo como bolsas relacionadas ao desempenho, nos leva a crer em uma correlação positiva entre gastos em educação formal e produtividade do trabalho e, portanto, na formação de capital humano.

4. METODOLOGIA

Os argumentos utilizados anteriormente sugerem a existência de uma dependência do avanço tecnológico em relação à quantidade de capital humano por pessoa. Por outro lado, a quantidade de capital humano por indivíduo também depende da taxa de mudança tecnológica. Sendo assim, existe uma possibilidade dessas variáveis serem determinadas conjuntamente em um sistema de equações simultâneas, com a taxa de mudança tecnológica afetando a quantidade de capital humano acumulado e vice-versa.

No caso de um sistema de equações simultâneas onde as duas variáveis são endógenas e uma determina a outra, os parâmetros de uma única equação não podem ser estimados sem que se leve em conta as informações fornecidas pela outra equação do sistema. Se isso for feito, os estimadores resultantes serão enviesados e inconsistentes. Como exemplo, tem-se o seguinte sistema de equações:

$$Y_{1i} = \beta_{10} + \beta_{12} Y_{2i} + \gamma_{11} X_{1i} + \mu_{1i} \quad (1)$$

$$Y_{2i} = \beta_{20} + \beta_{21} Y_{1i} + \gamma_{21} X_{1i} + \mu_{2i} \quad (2)$$

Onde os coeficientes de regressão β s e γ s são os parâmetros estruturais relativos às variáveis endógenas e exógenas, respectivamente, μ_1 e μ_2 são os termos de perturbação estocástica, assim ambas as variáveis Y_1 e Y_2 também são estocásticas. Como uma variação em μ_{2i} afeta Y_{2i} que, por sua vez, afeta Y_{1i} , provavelmente existirá uma correlação entre μ_{2i} e Y_{1i} , violando uma das hipóteses do modelo clássico de regressão linear, a de inexistência de correlação entre o erro e as variáveis explicativas (do lado direito da regressão). No caso de existência de correlação, quando μ_2 varia, Y_1 se altera gerando uma estimativa enviesada e inconsistente para β_{21} .

Caso a correlação entre o erro e variável explicativa seja positiva o viés do coeficiente de regressão é para cima (aumentando o seu valor), e caso a correlação seja negativa o viés é para baixo

...within the sales equation the regressor M_t and the disturbance term u_t are positively correlate; hence estimation by ordinary least squares (OLS) would yield biased and inconsistent estimates of the structural parameters. Using analogous reasoning, one can conclude that within the advertising equation, S_t and w_t (termo de perturbação) are also positively correlated, so that OLS estimation of that equation would yield biased and inconsistent parameter estimates as well. In fact, under the above assumptions it has been show that OLS estimates of b (coeficiente de M_t) and e (coeficiente de S_t) are upward biased (Berndt, 1996, pg. 376)⁴.

Para resolver esse problema das equações simultâneas é preciso, em primeiro lugar, saber se a equação está sub-identificada, exatamente identificada ou sobre-identificada. O problema da identificação está relacionado basicamente ao número de parâmetros da equação na forma estrutural e reduzida do sistema de equações. O sistema em sua forma estrutural é aquele em sua forma original, como apresentado pelas equações (1) e (2) e na forma reduzida é a que expressa uma variável endógena unicamente em termos das variáveis exógenas e perturbações estocásticas, podendo assim estimar cada uma das equações, em sua forma reduzida, pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), já que todas as variáveis do lado direito da equação de regressão são exógenas ao sistema, não sendo, portanto, correlacionadas com o erro.

Os coeficientes da equação de regressão na forma reduzida medem o impacto imediato da mudança de uma unidade no valor da variável exógena sobre a variável endógena e eles são uma combinação não linear dos coeficientes estruturais. Assim, estes podem ser encontrados a partir dos coeficientes estimados na forma reduzida. Esse método de cálculo dos coeficientes estruturais é conhecido como o método dos mínimos quadrados indiretos (MQI). Ele só pode ser utilizado caso a quantidade de coeficientes da equação reduzida seja maior ou igual à quantidade de coeficientes estruturais. Se for maior, a equação estará sobre-identificada e se for igual, ela estará exatamente identificada.

Pelo método MQI, só é possível achar valores únicos para os coeficientes estruturais caso a equação esteja exatamente identificada, pois o número de coeficientes estruturais é igual ao número de equações para estimá-los, que são encontradas a partir dos coeficientes na forma reduzida. Se alguma das equações do sistema estiver sobre-identificada, ter-se-á mais de um valor para pelo menos um dos coeficientes estruturais. Outra desvantagem do MQI é que mesmo na equação exatamente identificada não se obtém diretamente os resíduos e, desse modo, os valores estimados da estatística t e como os coeficientes estruturais são, geralmente, uma combinação não linear dos coeficientes na forma reduzida, não há um método simples de estimar seus erros-padrão pelos erros-padrão dos coeficientes na forma reduzida.

Os métodos de sistema ou de informação completa são alternativos para se calcular os coeficientes da regressão estrutural. Em tais métodos se estimam todas as equações do modelo simultaneamente, levando em conta todas as restrições sobre tais equações pela omissão ou ausência de algumas variáveis. Na prática, tais métodos não são comumente usados por uma série de razões:

⁴ O que está entre parênteses foi adicionado pelos autores.

Em primeiro lugar, a dificuldade de cálculo é enorme. ... Embora tais modelos elaborados possam fornecer detalhes mais requintados sobre os vários setores da economia, efetuar os cálculos é uma estupenda tarefa mesmo nesta era de computadores de alta velocidade, sem falar nos custos envolvidos. Em segundo lugar, os métodos de sistema, assim como o MVIC (Método de Máxima Verossimilhança com Informação Completa), leva a soluções que são altamente não-lineares nos parâmetros e, portanto, muitas vezes é difícil determiná-las. Em terceiro lugar, se houver um erro de especificação (...) em uma ou mais equações do sistema, esse erro é transmitido para o resto do sistema (Gujarati, 2000, pg.685).

Outro método, o mais utilizado e mais popular, é o dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E)

The two-stage least squares, or 2SLS, method is the most popular procedure for estimating a simultaneous equation model. Its mechanics can be described very simply. In the first stage, each endogenous variable is regressed on all the exogenous variables, and fitted values are obtained. In the second stage, each structural equation is taken in turn, right-hand-side endogenous variable are replaced by their fitted values, and LS in turn. The 2SLS algorithm does not involve nonlinear optimization, which accounts for its popularity (Goldberger, 1997, pg. 369).

Assim, o método MQ2E obtém uma *proxy* da variável explicativa que estava correlacionada com o termo de erro aleatório que não possui esse problema, podendo-se utilizar o MQO no segundo estágio. No sistema de equações apresentado anteriormente (equações (1) e (2)), o método MQ2E seria utilizado no intuito de “purificar” as variáveis explicativas estocásticas Y_1 e Y_2 da influência da perturbação estocástica μ_2 e μ_1 , respectivamente. A aplicação do método MQO gera, portanto, estimativas consistentes dos coeficientes estruturais, assintoticamente, isto é, eles convergem para seus valores verdadeiros conforme o tamanho da amostra aumenta indefinidamente. Uma observação a ser feita é que os resíduos das regressões do segundo estágio precisam ser modificados porque se está utilizando um parâmetro estimado para se fazer a regressão e, consequentemente, a variância resultante não é a mesma do modelo original.

5. DADOS

As inovações tecnológicas são consideradas, no presente trabalho, como a forma de criação de nova tecnologia ou de progresso tecnológico. A variável utilizada como *proxy* para o avanço tecnológico é a quantidade de patentes concedidas (Patents), que está disponível no site da *World Intellectual Property Organization*, e para a quantidade de capital humano por pessoa se utiliza o montante de cientistas e engenheiros que trabalham em P&D (SciEngine), isto é, o número de pessoas que possuem o diploma de terceiro grau que trabalham em qualquer campo de ciência que estejam engajados em atividades profissionais de P&D, tendo como fonte o anuário do Banco Mundial “*World*

*Development Indicators – 2002*⁵. As duas variáveis foram divididas pela população de cada país e multiplicadas por um milhão, encontrando-se, desse modo, a quantidade de patentes e de engenheiros e cientistas com diploma de terceiro grau por milhão de habitantes. A população dos países também foi retirada do “*World Development Indicators – 2002*”.

As *proxies* utilizadas como representação das variáveis exógenas estão listadas a seguir: 1) para os gastos em educação formal são utilizados gastos do governo em educação no ensino superior (*Expenedusup*), pois esta é a parte dos gastos em educação que é determinada exógenamente, como foi visto. Essa variável foi montada através do produto nacional bruto (PNB) dos países, dos gastos em educação como parcela da renda nacional bruta e da parcela dos gastos no terceiro grau em relação aos gastos totais do governo em educação. A primeira foi retirada do Relatório Sobre Desenvolvimento Mundial do Banco Mundial de 1998/1999 enquanto que as duas últimas são do “*Human Development Report – 2002*” das Nações Unidas (*United Nations Development Programme*). Dessa forma foi obtida a quantidade total de gastos no ensino superior para cada país que, por sua vez, foi dividida pela sua respectiva população e multiplicada por um milhão; 2) para gastos em P&D foram empregados os gastos correntes e de capital, como porcentagem da renda nacional bruta, em atividades sistemáticas que aumentam o estoque de conhecimento (*ExpenPeD*). As atividades incluídas são gastos em pesquisa básica e aplicada, e trabalhos experimentais de desenvolvimento de novos mecanismo, processos e produtos. Esses gastos foram multiplicados pela renda nacional bruta de cada país, divididos pela população e multiplicados por um milhão. Essa transformação foi feita com o objetivo de se utilizar à quantidade de gastos em P&D por milhão de habitantes. Todas as variáveis utilizadas na transformação, inclusive os próprios gastos em atividades que visam o acúmulo de conhecimento, foram retirados do “*World Development Indicators – 2002*”; 3) para infra-estrutura é usada a quantidade de linhas de telefonia fixa por mil habitantes do “*World Development Indicators – 2002*” (*Telephone*); 4) para meios de transmissão de informações é empregado a quantidade de pessoas que possuem acesso à internet por mil habitantes do “*World Telecommunication Development Report – 2001*” (*Internet*).

Os dados de todas as variáveis são de 2000, com exceção dos gastos em educação que são de 1995-1997, dependendo do país em questão. Assim, os gastos em educação estão defasados, pois como é de se esperar, seus resultados se dão através do tempo.

6. APRESENTAÇÃO DO MODELO DE EQUAÇÕES SIMULTÂNEAS

Pelos argumentos apresentados anteriormente temos um sistema de equações simultâneas dadas pelas equações (3) e (4). Nele há duas variáveis endógenas e três exógenas em cada equação. Como cada uma das equações não possui uma variável exógena que pertence ao sistema e só existem duas variáveis endógenas, o sistema está exatamente identificado, podendo-se utilizar o MQ2E para a

⁵ É importante notar que esta abordagem de capital humano leva em consideração apenas aquele montante que é empregado no processo de inovação, excluindo, desse modo, o papel do capital humano sobre a produtividade direta dos trabalhadores. Essa simplificação foi feita para facilitar a montagem das *proxies*, ficando para futuros trabalhos a introdução de uma nova *proxy* que seja mais completa.

estimação da regressão⁶. O nível de significância utilizado para analisar os testes de hipótese será de 5%, em todos os testes. O sistema está apresentado abaixo

$$Patents_i = \beta_{10} + \beta_{11}SciEngine_i + \gamma_{10}expenPeD_i + \gamma_{11}telephone_i + \gamma_{12}internet_i + \mu_i \quad (3)$$

$$SciEngine = \beta_{20} + \beta_{21}patents + \gamma_{20}expeneducsup + \gamma_{21}telephone + \gamma_{22}internet + v_i \quad (4)$$

Onde os coeficientes de regressão β s e γ s são os parâmetros estruturais relativos às variáveis endógenas e exógenas, respectivamente, μ e v são os termos de perturbação estocástica. Primeiramente serão apresentados os resultados pelo método MQO para comparar com aqueles obtidos através do método MQ2E. Os resultados da equação (3) estão apresentados abaixo⁷

TABELA 6.1
Resultados da equação de regressão (3) utilizando o método MQO

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	2.91e+07	1.21e+08	0.24	0.811
SciEngine	-2956.66	72256.04	-0.04	0.968
ExpenPeD	10.44	3.95	2.64	0.011
Internet	0.0007993	0.0006864	1.16	0.251
Telephone	84685.02	357164.9	0.24	0.814
Número de Obs.	48		R ²	0.5813
F(4,43)	14.92		R ² ajustado	0.5423
Prob>F	0.000			

Os resultados obtidos não foram bons. Apenas a variável gastos em P&D é significativamente diferente de zero ao nível de 5%. A quantidade de cientistas e engenheiros com terceiro grau envolvidos em atividades ligadas a departamentos de criação de conhecimento não parece ser importante para explicar a criação de patentes. Resultados muito diferentes dos esperado, considerando que este é um insumo crucial nesse processo. As *proxies* para informação e infraestrutura também não foram significativas. O R² de 50% é relevante, pois considerando a complexidade desse processo, a quantidade de variáveis utilizadas é pequena. Pode estar havendo erros devido as *proxies* escolhidas para determinar o modelo e o próprio problema da simultaneidade pode estar alterando os resultados. É preciso também verificar os problemas de multicolinearidade, heterocedasticidade e normalidade dos erros⁸. Para analisar o problema e grau da multicolinearidade,

⁶ A série de países utilizada nos exercícios de regressão estão apresentados no apêndice.

⁷ Devido à utilização de *proxies* que, em alguns casos, não tenha um sentido óbvio, como por exemplo o impacto da quantidade de linhas telefônicas sobre os o número de patentes, não faz muito sentido analisar o valor dos coeficientes de regressão. Assim, neste trabalho, estamos preocupados com a análise do nível de significância desses parâmetros e com os seus respectivos sinais.

⁸ O problema da autocorrelação não foi levado em conta pelo fato de estarmos trabalhando com dados de corte, além de não termos uma classificação dos países em uma ordem que fizesse sentido para tal teste.

será utilizado o VIF⁹; para testar heteroscedasticidade o teste de White¹⁰ e para normalidade dos resíduos o teste de Jarque-Bera¹¹:

TABELA 6.2
Testes dos resultados da equação de regressão (3)

	χ^2	P-valor
Teste Normalidade Jarque-Bera	6.69	0.035
Teste de White	20.99	0.101
	VIF	1/VIF
ExpenPeD	4.43	0.225973
Internet	3.78	0.264214
SciEngine	3.23	0.309817
Telephone	2.06	0.484370
VIF Médio	3.38	

Pelos testes não há problema de heteroscedasticidade nem de multicolinearidade, mas, ao nível de 5% de significância, entretanto, não se pode rejeitar a hipótese de não-normalidade, podendo este ser resultado da má especificação do modelo.

Fazendo a regressão para a equação 4, obtém-se os seguintes resultados

TABELA 6.3
Resultados da equação de regressão (4) utilizando o método MQO

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	655.8396	280.5808	2.34	0.025
Patents	3.11e-07	3.99e-07	0.78	0.442
Expendedsup	-0.0000117	0.0000203	-0.58	0.566
Internet	7.03e-09	2.39e-09	2.94	0.006
Telephone	0.2102328	0.8840477	0.24	0.813
Número de Obs.	40		R ²	0.5804
F(4,35)	12.10		R ² ajustado	0.5324
Prob>F	0.0000			

⁹ *Variance Inflation Factor*. Esse fator mede o aumento da variância devido à existência de multicolinearidade. Quanto maior seu valor, mais problemática ou colinear é a variável explicativa em questão. Como uma regra prática, se o VIF de uma variável exceder 10, diz-se que essa variável é altamente colinear (Gujarati, 2000, pg. 337).

¹⁰ O teste de White é obtido através de uma regressão auxiliar, onde a variável dependente é composta pelo vetor dos erros do modelo original, e as independentes são as variáveis explicativas originais, seus valores elevados ao quadrado e os produtos cruzados destas mesmas variáveis. Por fim, a estatística é calculada multiplicando o R² da regressão auxiliar pelo tamanho da amostra. Esta estatística segue assintoticamente distribuição qui-quadrado, com grau de liberdade igual ao número de regressores (excluindo o termo constante) da regressão auxiliar.

¹¹ O teste de Jarque-Bera avalia a hipótese de que determinada variável tem distribuição normal com média e variância especificada, contra a hipótese alternativa de que não tem distribuição normal. Este teste calcula primeiro a assimetria e a curtose dos resíduos de MQO e utiliza a seguinte estatística:

$$JB = n \left[\frac{A^2}{\zeta} + \frac{(C - 3)^2}{\gamma A} \right],$$

em que A representa a assimetria e C representa a curtose. Assintoticamente essa estatística segue distribuição qui-quadrado com 2 gl.

Os resultados obtidos também não foram bons. Apenas internet é significativamente diferente de zero, ao nível de 5%. Variáveis como gastos educacionais e patentes não se mostraram significativas, contrariando a teoria apresentada. O R² de quase 60% é relevante pela a complexidade do processo. Pode estar havendo erros devido as *proxies* escolhidas para determinar o modelo e o próprio problema da simultaneidade pode estar alterando os resultados. Os testes de verificação do comportamento dos resíduos estão apresentados abaixo

TABELA 6.4
Testes dos resultados da equação de regressão (4)

	χ^2	P-valor
Teste Normalidade Jarque-Bera	7.92	0.019
Teste de White	8.83	0.842
	VIF	1/VIF
Internet	5.74	0.174300
ExpeneduSup	4.42	0.226100
Patents	1.88	0.531617
Telephone	1.72	0.581645
VIF Médio	3.44	

Os resultados são muito semelhantes ao do caso anterior, não sendo possível rejeitar a hipótese alternativa de existência de erros não normais, hipótese fundamental para todo o modelo de regressão linear clássica dos mínimos quadrados ordinários. Assim, pode haver possíveis problemas de especificação ou a própria simultaneidade pode estar causando algumas distorções. Desse modo, vamos passar para o procedimento do MQ2E.

Como apresentado anteriormente, esse procedimento consiste em dois estágios. No primeiro, cada uma das variáveis exógenas é regredida contra todas as exógenas do sistema e depois utiliza seus valores preditos como instrumento no sistema original, sendo esse o segundo estágio. Na tabela 6.5 apresentamos os resultados do segundo estágio

TABELA 6.5
Resultados da equação de regressão (1) utilizando o método MQ2E

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	3.66e+08	5.23e+08	0.7	0.490
Yscile	-306182.4	562992.7	-0.54	0.590
ExpenPeD	14.40276	15.43233	0.93	0.358
Internet	0.0023885	0.0020266	1.18	0.248
Telephone	-264510	551526.9	-0.48	0.635
Número de Obs.	36		R ²	0.4616
F(4,31)	6.65		R ² ajustado	0.3922
Prob>F	0.0006			

Onde *yscile* é a variável instrumental para cientistas e engenheiros do primeiro estágio. Os resultados foram piores que os obtidos no primeiro estágio, sendo nenhuma variável significativamente diferente de zero e com uma redução no valor do R^2 . Os resultados dos testes dos resíduos são:

TABELA 6.6
Testes dos resultados da equação de regressão (1)

	χ^2	P-valor
Teste Normalidade Jarque-Bera	4.89	0.086
Teste de White	21.02	0.101
	VIF	1/VIF
<i>Yscile</i>	78.91	0.012673
ExpenPeD	38.25	0.026146
Internet	19.15	0,052212
Telephone	2.85	0.351280
VIF Médio	34.79	

Dois problemas apareceram nos erros: não é possível rejeitar a hipótese de normalidade e há um sério problema de colinearidade das variáveis instrumentais gastos em P&D e internet. O problema da normalidade já indica que, possivelmente, há algum problema de especificação do modelo e não é possível continuar com o modelo atual, pois todos os outros testes são baseados nessa hipótese.

Os resultados para o MQ2E para a outra equação estão apresentados abaixo:

TABELA 6.7
Resultados da equação de regressão (2) utilizando o método MQ2E

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	555.7773	308.679	1.80	0.082
<i>Ypatle</i>	4.51e-06	1.57e-06	2.87	0.007
Expeneducksup	-0.0000375	0.0000212	-1.77	0.086
Internet	3.21e-10	3.30e-09	0.10	0.923
Telephone	-0.5317558	0.8836381	-0.60	0.552
Número de Obs.	36		R^2	0.6407
F(4,31)	13.82		R^2 ajustado	0.5943
Prob>F	0.0000			

Onde *ypatle* é a variável instrumental para patentes do primeiro estágio. Os resultados não melhoraram muito. A única que continua sendo significativa é a proxy para patentes. Se fosse considerar nível de significância de 10%, gastos em educação também seriam significativos, mas com o sinal trocado. O R^2 melhorou passando para quase 65%. De um modo geral, os resultados não melhoraram. Falta realizar os teste dos resíduos:

TABELA 6.8
Testes dos resultados da equação de regressão (2)

	χ^2	P-valor
Teste Normalidade Jarque-Bera	5.44	0.065
Teste de White	15.18	0.365
	VIF	1/VIF
Ypatle	14.54	0.068784
Internet	11.24	0.088935
Expeneducksup	5.14	0.194380
Telephone	1.62	0.616412
VIF Médio	8.14	

Pelos resultados, não se pode rejeitar a hipótese de erros normais nem de homocedasticidade dos erros, mas há um problema de colinearidade da variável instrumental e também da variável internet. Com o ajuste dos erros não muda muito os resultados, a diferença é que os valores do teste t serão multiplicado por um valor próximo a 0,96, em ambos os casos.

7. MÉTODO ALTERNATIVO PARA SELEÇÃO DO MODELO

Pela fragilidade dos resultados encontrados, chega-se à conclusão de que se pode estar cometendo um erro de especificação do modelo ou de se estar utilizando *proxies* que não são bem adequadas para representação das variáveis relevantes. Com o objetivo de melhorar a sua eficiência e levando em consideração a complexidade da infra-estrutura dos países, será utilizado um método para seleção do modelo com a inclusão de inúmeras *proxies* para testar qual delas é mais consistente com as suposições do modelo.

Além das variáveis já utilizadas na seção anterior como *proxies* para infra-estrutura, utilizar-se-á no método alternativo a quantidade de usuários de celulares por mil habitantes; custo da chamada local de telefone fixo com duração de três minutos (que não seja de telefone público), no horário de pico; quantidade de minutos de telefonemas internacionais de telefone fixo por habitante; quantidade total de telefones fixos dividida pela quantidade de pessoas empregadas por empresas telefônicas fornecedoras de serviços de telecomunicações públicos; e o consumo de energia elétrica *per capita*, sendo que todas são do “*World Development Indicators – 2002*”. Para os meios de transmissão de informações foram empregadas a quantidade de computadores pessoais por mil habitantes; a quantidade de televisores em uso por mil habitantes; e jornais publicados, que circulam pelo menos quatro vezes por semana, por mil habitantes sendo que as duas primeiras variáveis foram publicadas pelo “*World Telecommunication Development Report – 2001*” enquanto que a última foi pelo “*World Development Indicators – 2002*”.

Algumas das variáveis exógenas poderiam servir como *proxy* tanto para infra-estrutura quanto para meios de transmissão de informação como, por exemplo, internet, computadores pessoais, entre outras. A separação em uma ou outra classe foi, em certa medida, arbitrária. O mais importante é que ambos os efeitos estejam identificados em uma ou mais das variáveis exógenas do modelo.

A primeira equação a ser estimada se refere a que possui como variável dependente o número de patentes (patents). O primeiro passo foi regredir essa variável contra todas as possíveis variáveis explicativas disponíveis, quais sejam: linhas de telefonia fixa (telephone), quantidade de usuários de celulares (mobilephones), custo da chamada local de telefone fixo (costcalltel), quantidade de minutos de telefonemas internacionais (phoneinternational), quantidade de telefones por empregados de empresas fornecedoras de serviços de telecomunicações (phoneperemployee), consumo de energia elétrica *per capta* (eletric), jornais publicados (newspaper), número de televisores (television), acesso à internet (internet), quantidade de cientistas e engenheiros (SciEngine) e gastos em P&D (expenPeD). A partir da estimação deste modelo foi sendo estimada uma seqüência de regressões, nas quais a cada passo retirava-se uma das variáveis explicativas.

Para realizar esta exclusão sucessiva de variáveis utilizou-se, primeiramente, o critério do maior fator de inflação da variância (VIF) associado com a matriz de correlação entre as variáveis e o nível de significância. Onde as variáveis que apresentavam alto fator e não se mostravam estatisticamente significantes eram automaticamente eliminadas. Para aquelas que se mostraram com auto fator, porém estatisticamente significativas, empregou-se ainda a matriz de correlação das variáveis para realizar a exclusão. Por exemplo, quando determinada variável se apresentava altamente correlacionada com outra, retirava-se a que apresentava menor significância. Após alguns passos chegou-se a um modelo sem problema de multicolinearidade pelo critério VIF e todos os coeficientes de regressão significativos. O segundo procedimento de seleção do modelo foi obtido pelo critério de eliminação das variáveis cujo coeficiente de regressão possuía o menor valor da estatística t. Observou-se que as duas equações finais de cada critério eram exatamente as mesmas. A qual se encontra especificada a seguir:

$$Patents = \beta_0 + \beta_1 phoneinternational + \beta_2 expenPeD + \mu \quad (5)$$

onde μ é o distúrbio aleatório.

A mesma lógica foi empregada para especificar a segunda equação do sistema, a que tem como variável dependente o número de cientistas e engenheiros (SciEngine). O primeiro modelo a ser estimado para essa variável dependente possui as seguintes variáveis explicativas: linhas de telefonia fixa (telephone), quantidade de usuários de celulares (mobilephones), custo da chamada local de telefone fixo (costcalltel), quantidade de minutos de telefonemas internacionais (phoneinternational), quantidade de telefones por empregados de empresas fornecedoras de serviços de telecomunicações (phoneperemployee), jornais publicados (newspaper), número de televisores (television), número de computadores pessoais (computer), número de patentes (patents) e gastos em educação superior (expeneducsup). Após as exclusões que se mostraram necessárias obteve-se a seguinte equação:

$$SciEngine = \alpha_0 + \alpha_1 newspaper + \alpha_2 costcalltel + \alpha_3 patents + \nu \quad (6)$$

onde ν é o erro aleatório.

A partir das equações obtidas acima se verifica que a variável dependente na equação (5) é regredida apenas em função de variáveis exógenas, enquanto que na equação (6) a variável SciEngine

depende das variáveis exógenas newspaper e costcalltel e da variável endógena patents. Este é o caso denominado pela literatura econométrica de modelos recursivos, triangulares ou causais. Nesse modelo as perturbações são tais que $\text{cov}(\mu_t, \nu_t) = 0$, ou seja, as perturbações de um mesmo período nas diferentes equações não tem correlação – hipótese da correlação contemporânea zero. Assim, o método MQO pode ser aplicado a cada equação separadamente.

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados nas Tabelas 8.1 e 8.2 referem-se aos modelos das equações (5) e (6), respectivamente. Em conformidade com os resultados apresentados na Tabela 8.1, observa-se que o coeficiente da variável expendPeD é estatisticamente significativo até mesmo ao nível de significância de 1%, enquanto que o coeficiente da variável phoneinternational só é significativo ao nível de 5,3%. Pelo coeficiente de determinação constata-se que as duas variáveis em conjunto são responsáveis pela explicação de 59,88% da variação do número de patentes. Os sinais também são os esperados, assim quanto melhor a infra-estrutura, medida pela quantidade de telefones internacionais, e quanto maior o nível de gasto em P&D, maior é o progresso tecnológico, como pode ser visto pela tabela 8.1.

TABELA 8.1
Resultados da regressão da equação (5)

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	7967321	7.69e+07	0.10	0.918
Phoneinternational	662736.6	333606.2	1.99	0.053
ExpenPeD	13.33746	1.859012	7.17	0.000
Número de Obs.	48		R ²	0.5988
F(2,45)	33.59		R ² ajustado	0.5810
Prob>F	0.0000			

Pela Tabela 8.2 se verifica que todos os coeficientes das variáveis explicativas são estatisticamente diferentes de zero, ao nível de significância de 5%. Pelo teste F constata-se que o modelo é globalmente significativo e pelo R² observa-se que essas variáveis são responsáveis por 58,89% da variação no número de cientistas e engenheiros. Os sinais também são os esperados, assim quanto melhor o sistema de informações do país (medido pela proxie quantidade de jornais que circulam no país), melhor a sua infra-estrutura (medida pelos custos da chamadas telefônicas), maior for o avanço tecnológico, maior será a taxa de acumulação de capital humano.

TABELA 8.2
Regressão da equação (6)

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	990.583	237.4289	4.17	0.000
Newspaper	4.647965	0.9942371	4.67	0.000
Costcalltel	-5754.618	2357.506	-2.44	0.019
Patents	8.92e-07	2.83e-07	3.15	0.003
Número de Obs.	48		R ²	0.5889
F(3,44)	21.01		R ² ajustado	0.5609
Prob>F	0.0000			

A fim de tornar esses resultados mais confiáveis, alguns testes estatísticos se fazem necessários. O primeiro teste aplicado a esses modelos refere-se ao teste de Jarque-Bera para testar se os resíduos dessas regressões são normalmente distribuídos (Tabela 8.3).

TABELA 8.3
Teste de Jarque-Bera

	Equação 5	Equação 6
Chi (2)	4,138	1,022
P-valor	0,1263	0,5999

Segundo esse teste os resíduos dessas regressões apresentam distribuição normal ao nível de significância de 5%, dado que as hipóteses de normalidade, em ambas as equações, não podem ser rejeitadas.

Em seguida são apresentados os resultados do VIF (Tabela 8.4) e da matriz de correlação entre as variáveis (Tabela 8.5); esses sugerem que não há problemas de multicolinearidade entre as variáveis.

TABELA 8.4
Fator de Inflação da Variância

	VIF da equação 5	VIF da equação 6
Phoneinternational	1,07	-
ExpenPeD	1,07	-
Newspaper	-	1,36
Patents	-	1,37
Costcalltel	-	1,03
Mean VIF	1,07	1,25

TABELA 8.5
Matriz de Correlação*

	phoneinternational	expenPeD	newspaper	patents	Costcalltel	SciEngine
phoneinternational	1,0000					
ExpenPeD	0,2569	1,0000				
Newspaper	-	-	1,0000			
Patents	-	-	0,5097	1,0000		
costcalltel	-	-	0,1415	0,1675	1,0000	
SciEngine	-	-	0,6743	0,5848	-0,1056	1,0000

* As células que estão sem informações referem-se as variáveis que não se encontram em uma mesma equação.

Para se testar a presença (ou não) de heteroscedasticidade utilizou-se o teste de White. Os resultados deste teste encontram-se na Tabela 8.6.

TABELA 8.6
Teste de White*

	Chi-sq(5)	Chi-sq(9)
Equação 5	14,28829 (0,0139)	-
Equação 6	-	15,01064 (0,0906)

* Os valores entre parênteses se referem ao p-valor

Verifica-se que para a equação 6 não há presença de heteroscedasticidade ao nível de significância de 5%, enquanto para a equação 5 o teste acusa heteroscedasticidade a esse nível de significância. Para corrigir esse problema estimou essa equação de regressão corrigindo os desvios-padrão (Tabela 8.7).

TABELA 8.7
Regressão da equação (5) corrigidos os desvios-padrão

Variável Explicativa	Coeficiente	Desvio Padrão	t	P> t
Constante	7967321	4.99e+07	0.16	0.874
Phoneinternational	662736.6	438853.2	1.51	0.138
ExpenPeD	13.33746	2.334243	5.71	0.874
Número de Obs.	48		Prob>F	0.0000
F(2,45)	24.51		R ²	0.5988

A partir destes resultados observa-se que o coeficiente para a variável telefonemas internacionais não é significativo ao nível de significância de 5% adotado ao longo do trabalho. Assim, das variáveis utilizadas na explicação do progresso tecnológico, que tem com *proxy* a criação de patentes, a única relevante é a variável gastos em P&D.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao possível problema de equação simultânea das variáveis progresso tecnológico e acumulação de capital humano, a análise foi feita de modo a incluir essa simultaneidade. No primeiro modelo de equação simultânea os resultados obtidos não foram consistentes possivelmente por haver problemas nas variáveis utilizadas como *proxy*, erros de medidas e pela quantidade de países utilizada. A maioria dos testes e o próprio método MQ2E são para amostras grandes e os resultados são válidos assintoticamente. Uma maneira de tentar aumentar o tamanho da amostra seria utilizar vários anos para a mesma amostra de países, utilizando técnicas de dados em painéis que podem ser uma opção de desenvolvimento futuro.

Os resultados obtidos com o segundo método foram mais consistentes e superiores, e mostrou que não há problemas de simultaneidade das duas equações, pois o modelo encontrado é recursivo, o que nos leva a concluir que o principal problema nos resultados das duas primeiras equações de regressão era as *proxies* que tinham sido escolhidas. Na análise da equação (5), a infra-estrutura (tendo como *proxy* a quantidade de chamadas internacionais) e gastos em P&D se mostraram importantes na criação de tecnologia (patentes). Mas havia um problema de heteroscedasticidade que, com a correção, revelou que a *proxy* para infra-estrutura não era significativa. Em todas as regressões, os gastos em P&D mostraram ser importantes como uma variável explicativa, como seria de se esperar, no modelo teórico. Mas, mais uma vez, a quantidade de cientistas e engenheiros, ou seja, de capital humano utilizada neste processo não foram relevantes, o que não nos fornece uma base segura para afirmar que estas não sejam importantes no processo de avanço tecnológico.

Na equação de regressão (6), as variáveis relevantes no processo de acumulação de capital humano (cientistas e engenheiros) foram informação, tendo como *proxy* jornais publicados (newspaper), infra-estrutura, tendo como *proxy* o custo da chamada local (costcalltel) e a criação de tecnologia, sendo patentes a *proxy* (patents), de acordo com a teoria exposta em seções anteriores. Nessa regressão, todas essas variáveis se mostraram significativas e com o sinal previsto pela teoria.

O modelo utilizado foi, portanto, o recursivo, podendo-se utilizar o método MQO normalmente. Os resultados foram favoráveis a uma análise dos resíduos não se podendo rejeitar as hipóteses nulas de homocedasticidade e normalidade dos erros, além da multicolinearidade ter sido baixa.

De forma geral, os dados corroboraram com parte do previsto pela teoria apresentada, com alguns problemas, mas que não permitem rejeitar o modelo, pois seriam necessárias mais evidências empíricas. O resultado mais surpreendente foi que, ao contrário do que se espera, a quantidade de capital humano não se mostrou importante na criação de tecnologia, enquanto que esta foi importante para explicar a primeira. O que se tem encontrado em análises empíricas tem sido uma confirmação do papel do capital humano no processo de progresso tecnológico, nos levando a crer que há algum problema com os dados e/ou com as *proxies* utilizadas, além da reduzida amostra, considerando que os resultados são para grandes amostras.

10. BIBLIOGRAFIA

- Berndt, Ernst R. (1996) – “*The Practice of Econometrics: Classic and Contemporary*” – United States: Addison-Wesley Publishing Company.
- Blackburn, Keith; Hung, Victor T. Y. e Pozzolo, Alberto F. (2000) – “*Reserch, Development and Human Capital Accumulation*” – *Journal of Macroeconomics, volume 22, number 2, Spring*.
- Freeman, Christopher (1987) – “*The economics of industrial innovation*” – Cambridge, MIT Press, 1987, Second Edition.
- Galor, Oded e Moav, Omer (2002) – “*Natural Selection and the Origin of Economic Growth*” – *The Quarterly Journal of Economics, Issue 4, November*.
- Goldberger, Arthur S. (1997) – “*A Course en Econometrics*” – United States of America: Harvard University Press, Third printing.
- Gujarati, Damodar N. (2000) – “Econometria Básica” – Brasil: MAKRON Books, terceira edição.
- Klette, Tor Jakob e Griliches, Zvi (2000) – “*Empirical Patterns of Firm Growth and R&D Investment: a Quality Ladder Model Interpretation*” – *The Economic Journal, volume 110, number 463, April*.
- Lucas, Robert E., Jr. (1988) – “*On the Mechanics of Economic Development*” – *Journal of Monetary Economics, n° 22*.
- Root, Frank R. (1973) – “*International Trade & Investment: Theory, Policy, Enterprise*” – United States: South-Western Publishing CO., Third Edition.
- Schultz, Theodore W. (1962) – “*Reflections on Investment in Man*” – *The Journal of Political Economy, Volume LXX, Number 5, Supplement: October*.
- Solow, Robert M. (1956) – “*A Contribution to the Theory of Economic Growth*” – *The Quarterly Journal of Economics, Volume 70, Issue 1,February*.
- Solow, Robert M. (1957) – “*Technical Change and the Aggregate Production Function, Review of Economics and Statistics, n° 39, August*.
- United Nations Development Programme (2001) – “Human Development Report 2001, Making New Technologies Work For Human Development” – New York: Oxford University Press.
- World Development Indicator (2002) - <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>

11. APÊNDICE

TABELA A.1
Conjunto de países utilizados nas regressões

Países utilizados					
1	Argentina	17	Hungary	33	Romania
2	Armenia	18	Ireland	34	Russian Federation
3	Australia	19	Israel	35	Slovak Republic
4	Austria	20	Italy	36	Slovenia
5	Belarus	21	Japan	37	Sweden
6	Belgium	22	Kyrgyz Republic	38	Switzerland
7	Bulgaria	23	Latvia	39	Syrian Arab Republic
8	Canada	24	Lithuania	40	Tajikistan
9	Chile	25	Macedonia, FYR	41	Thailand
10	China	26	Mexico	42	Turkey
11	Croatia	27	Netherlands	43	Ukraine
12	Denmark	28	New Zealand	44	United Kingdom
13	Egypt, Arab Rep.	29	Norway	45	United States
14	France	30	Philippines	46	Uzbekistan
15	Germany	31	Poland	47	Venezuela, RB
16	Greece	32	Portugal	48	Vietnam