

**Antonio Morales<sup>1\*</sup>**

ORCID: [0000-0001-8212-4522](https://orcid.org/0000-0001-8212-4522)

**Mauro Rodrigues<sup>2</sup>**

ORCID: [0000-0003-3745-3989](https://orcid.org/0000-0003-3745-3989)

**Dejanir Silva<sup>3</sup>**

ORCID: [0000-0002-6051-229X](https://orcid.org/0000-0002-6051-229X)

1 Insper Instituto de Ensino e  
Pesquisa, São Paulo, São Paulo,  
Brasil.

2 Universidade de São Paulo, São  
Paulo, São Paulo, Brasil.

3 University of Illinois at Urbana-  
Champaign, Champaign, Illinois,  
USA.

\* [antoniocm87@gmail.com](mailto:antoniocm87@gmail.com)

## PRODUTIVIDADE AGREGADA E HETEROGENEIDADE DO CAPITAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA

---

### RESUMO

Este artigo analisa quantitativamente a importância relativa dos fatores que determinam o desempenho econômico dos países. Em especial, é incorporada à análise a possibilidade de o capital ser heterogêneo. Estimativas da qualidade do capital são feitas para cada país, a partir de um modelo teórico, e a importância de cada um dos componentes é analisada. Verifica-se que, mesmo depois do ajuste, a qualidade do capital físico não explica grande parte da experiência de crescimento dos países. Além disso, é feita uma análise para o caso brasileiro, com base no arcabouço desenvolvido durante o período correspondente aos anos de 1970 até 2003, concluindo-se que a heterogeneidade do capital não explica grande parte da experiência de crescimento do Brasil.

**Palavras-chave:** capital físico; diferenças de renda entre países; crescimento.

---

### ABSTRACT

This paper evaluates the quantitative importance of factor accumulation on the economic performance of countries. In particular, we allow physical capital to be heterogeneous. We estimate the quality of physical capital for each country using a theoretical model. Our results indicate that, even with the adjustment for quality, factor accumulation does not account for a significant part of income dispersion across countries. Additionally, we analyze the Brazilian experience from 1970 to 2003 using the same framework. Our main conclusion is that capital heterogeneity does not account for a large fraction of the Brazilian growth experience during this period.

**Keywords:** physical capital; cross-country income differences; growth.

**JEL Code:** O47; O33; E22.

## INTRODUÇÃO

Por que alguns países são mais ricos que outros? Poucas questões foram tão influentes e causaram tanta inquietação quanto essa. Trata-se de dúvida que permeia a ciência econômica desde a sua fundação e, ainda hoje, é objeto de esforços e intensa produção acadêmica.

Primordialmente, são apontadas como causas da prosperidade econômica a acumulação de fatores de produção e a produtividade total dos fatores (PTF).

O primeiro componente refere-se, principalmente, ao processo de acumulação de capital físico e capital humano. O capital físico corresponde ao estoque de máquinas, equipamentos e estruturas de uma economia. Já o estoque de capital humano está relacionado com o nível educacional da força de trabalho de um país.

O segundo componente, a chamada PTF, é normalmente obtido como um resíduo; corresponde à parcela do produto que não é explicada pela acumulação de capital físico ou humano. Incorporado à PTF, normalmente associado ao nível tecnológico de cada país, está qualquer fator que não seja diretamente decorrente dos fatores de produção. No entanto, se os insumos forem medidos incorretamente, ao se considerar apenas a quantidade do insumo e não a sua qualidade, por exemplo, a PTF irá refletir o problema de mensuração, e não necessariamente o nível tecnológico.

Este trabalho acrescenta à análise os componentes da qualidade do capital físico, bem como da quantidade de capital físico e humano, para explicar melhor a riqueza das nações e captar parte da importância relativa da PTF através dessa medida. Para tal fim, é desenvolvido um modelo em que produtores de um bem intermediário escolhem a qualidade de sua máquina para a produção desse produto, que será comprado pelo setor de bens finais para a produção final da economia. Através de uma relação entre preço e qualidade do capital físico, é encontrada, empiricamente, a qualidade do capital e esta é incorporada à análise.

No modelo, quanto maior o preço do capital físico, mais as firmas postergam a troca de máquinas obsoletas por máquinas novas, fazendo com que a qualidade média do capital caia e, portanto, haja uma correlação negativa entre o preço relativo do capital e a qualidade média das máquinas da economia.

Vale destacar, também, que existe, na literatura, uma distinção entre as causas próximas (fatores de produção/produtividade) e as causas fundamentais da riqueza de um país (instituições) (ACEMOGLU; JOHNSON e ROBINSON, 2005). Apesar de interessante e do fato de essa distinção estar inserida em uma intensa discussão na literatura, neste trabalho não serão explorados tais aspectos. Sendo assim, o presente estudo se concentra nas chamadas causas próximas da prosperidade econômica.

O principal resultado apresentado indica que modelos com qualidade de capital chegam a explicar 1,3% a mais da diferença de renda entre países do que modelos que desconsideram esse aspecto. Além disso, no caso

brasileiro, a qualidade média do capital faz com que a produtividade total dos fatores tenha um peso ainda maior na variação da renda no país. Isso se dá porque exatamente no período em que a quantidade de capital do país aumenta, o preço do capital também aumenta, fazendo com que a qualidade média do capital seja menor e, portanto, a variabilidade deste componente seja menor na explicação do crescimento.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na segunda seção, será apresentada uma breve revisão da literatura existente sobre *growth accounting* e PTF. Na seção seguinte, será desenvolvido o modelo proposto por Jovanovic e Rob (1997), em que existe heterogeneidade do capital. Nele, a qualidade média do capital é função de parâmetros do modelo e, principalmente, do preço relativo dos bens de capital. Partindo, então, dos resultados teóricos decorrentes do modelo e de dados de preço relativo dos bens de capital, será construída uma medida da qualidade média do capital. Na seção subsequente, é mostrado o exercício empírico realizado por Hall e Jones (1999), incorporando à análise a qualidade do capital. Mesmo levando em consideração o fato de a qualidade do capital variar entre países, tem-se que o nível de produtividade agregada ainda é o principal fator que explica a disparidade de produto observada. Posteriormente, na quinta seção, será estudada a experiência de crescimento brasileiro, através do arcabouço desenvolvido anteriormente. Nesse caso, a metodologia será utilizada para entender os efeitos da alteração do preço relativo do bem de capital ao longo do tempo. Assim como no caso do desempenho relativo dos países, avaliar-se-á qual fator é mais relevante na explicação do desenvolvimento econômico brasileiro no período de 1970 até 2003. Por fim, são apresentadas as conclusões.

## REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, são apresentados os principais trabalhos existentes sobre PTF e *growth accounting* e a relação do presente estudo com os demais, principalmente em termos de contribuição para a literatura.

No centro de toda a discussão sobre como avaliar a diferença de renda entre os países, está o modelo clássico de Solow (1956). Nele, o capital físico é o principal fator de produção e é o que melhor explica diferenças de renda entre os países. A função de produção utilizada é dada por:

$$Y = F(K, L, A) \quad (2.1)$$

em que  $Y$  representa a produção do bem final da economia,  $K$ , o estoque de capital,  $L$ , o total de mão de obra e  $A$ , a tecnologia da economia. Solow (1957) introduz a metodologia de *growth accounting*, que avalia as diferenças de renda entre os países mediante análise do capital físico, da mão de obra e de diferenças de produtividade, dadas pelo resíduo de Solow ou PTF. Isso é feito através de uma diferenciação no tempo da equação (2.1), o que implica:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{F_A A \dot{A}}{Y A} + \frac{F_K K \dot{K}}{Y K} + \frac{F_L L \dot{L}}{Y L} \quad (2.2)$$

em que  $F_A$ ,  $F_K$  e  $F_L$  representam as derivadas parciais da função de produção com relação à tecnologia, ao capital físico e à mão de obra. Assume-se que os fatores de produção possuem mercados competitivos, o que faz com que a taxa de remuneração do capital seja dada por  $r = F_K$  e a taxa de remuneração do trabalho seja dada por  $w = F_L$ . Define-se a participação dos fatores e as taxas de crescimento das variáveis, respectivamente, como  $\alpha_K = rK/Y$ ,  $\alpha_L = wL/Y$ ,  $g_K = \dot{K}/K$ ,  $g_L = \dot{L}/L$  e  $g = \dot{Y}/Y$ . Define-se também  $x = \frac{F_{AA} \dot{A}}{Y \dot{A}}$ . Por fim, a equação (2.2) pode ser escrita como:

$$x = g - \alpha_K g_K - \alpha_L g_L \quad (2.3)$$

Portanto, define-se  $x$  como a PTF, através do resíduo de Solow, ou seja, a PTF nada mais é do que a diferença entre a variação percentual do produto e a participação dos fatores, vezes suas respectivas taxas de crescimento.

Solow (1957) conclui que, durante o período de 1909 a 1949, grande parte do crescimento pode ser explicada pelo resíduo, ou seja, pelo progresso tecnológico.

Mankiw, Romer e Weil (1992) introduzem no modelo de Solow o uso do capital humano e, a partir disso, fazem uma análise da contribuição de cada um dos fatores no crescimento econômico das nações. Essa análise é baseada em regressões que surgem do modelo aumentado de Solow. O resultado indica que a maior parte do crescimento pode ser explicada pelos fatores de produção, ou seja, capital físico e humano.

Young (1995) afirma que o milagre econômico ocorrido nos chamados "Tigres Asiáticos" foi proporcionado principalmente pelo crescimento da força de trabalho e do estoque de capital, e não pelo aumento da produtividade.

Klenow e Rodriguez-Clare (1997), que denominam o movimento que foi descrito acima como "Neoclassical Revival", chegam a conclusões distintas. Eles partem do exercício realizado por Mankiw, Romer e Weil (1992) e, após reproduzirem os resultados com dados mais recentes, analisam outras formas de mensurar o capital humano e testam a robustez das conclusões obtidas por estes autores. A conclusão a que eles chegam é de que o papel desempenhado pelo nível de produtividade aumenta consideravelmente.

Outra abordagem para análise da contribuição da produtividade no crescimento foi feita por Hall e Jones (1999), através de um exercício de calibração. Como resultado, os autores encontram um peso muito maior para a contribuição da PTF no crescimento dos países.

Trabalhos mais recentes incluem qualidade de capital humano como um importante fator para a explicação de diferenças de renda entre os países. Por exemplo, Manuelli e Seshadri (2014) se utilizam dos resultados de um modelo teórico para estimar a qualidade (não apenas a quantidade) de capital humano e seu impacto sobre os resultados referentes à importância relativa da PTF.

Erosa, Koreshkova e Restuccia (2010) também analisam a qualidade do capital humano através de um modelo e chegam à conclusão de que, para

explicar uma diferença de 20 vezes na renda por trabalhador entre dois países, o modelo requer uma diferença de 5 vezes na PTF, enquanto que, mantendo o capital humano fixo entre os países, essa diferença de PTF deve ser de 18 vezes, demonstrando assim a importância de levar em conta a qualidade do insumo.

Schoellman (2012) analisa a diferença de retornos entre os imigrantes nos Estados Unidos. No trabalho, argumenta que o estudo do imigrante foi obtido em seu país natal, representando, portanto, a qualidade da educação desse local. O autor encontra uma alta correlação entre essa medida e os dados de retorno calculados com testes internacionais de qualidade da educação. Trata-se de um forte indício de que a qualidade do capital humano também deve ser incluída na análise. A principal conclusão é de que diferenças de qualidade de capital humano são tão importantes quanto as de quantidade.

Hanushek e Kimko (2000) testam empiricamente se a qualidade da educação tem importância para o crescimento, utilizando as notas do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA). O resultado indica que a qualidade da educação explica grande parte do crescimento.

Entretanto, não há conhecimento de trabalhos que introduzam a qualidade de capital físico, através de um modelo, para a análise da PTF. Essa seria a principal contribuição deste artigo, introduzindo na análise a possibilidade de existência de capitais heterogêneos, ou seja, capital físico com qualidades diferentes.

## MODELO

Jovanovic e Rob (1997) confrontam as implicações empíricas de dois trabalhos: Solow (1956) e Solow (1960). O primeiro apresenta o modelo que hoje é tradicionalmente ensinado nos manuais de macroeconomia (com capital homogêneo e taxa de poupança exógena). Já o segundo permite que haja heterogeneidade do capital, ou seja, é como se houvesse capitais de diferentes “safras” (*vintage capital model*).

Na sequência, será apresentada uma extensão do *vintage capital model* de Solow, em que a escolha entre as diferentes safras de capital se torna endógena e dependente, dentre outras coisas, do preço relativo do bem de capital. O modelo apresentado se baseia em Jovanovic e Rob (1997).

Nesta economia, existem dois setores: o setor de bens finais e o setor de bens intermediários. Em contraposição ao modelo de Solow (1956), em que o produtor pode variar apenas a quantidade de suas máquinas, neste modelo assume-se o contrário: o produtor pode variar apenas a qualidade de sua máquina, não a quantidade. Cada produtor do bem intermediário usa uma única máquina no processo de produção. As máquinas funcionam exatamente como quando novas até que, de forma aleatória, simplesmente param de funcionar. O tempo de vida das máquinas é distribuído exponencialmente, com taxa de falha  $\gamma$ . Além disso, o produtor do bem intermediário toma o preço da máquina como dado, ou seja, não tem poder de mercado para mudar o preço de equilíbrio.

Já o produtor do bem final utiliza o bem intermediário e capital humano para a produção desse bem.

### Setor de Bens Intermediários

Nesta economia, existe um contínuo de produtores de bens intermediários distribuídos uniformemente no intervalo  $[0, K]$ .

Define-se  $\phi_i$  como sendo a qualidade da máquina efetivamente utilizada no processo de produção pelo produtor  $i$  de bem intermediário, e  $\Phi$  como sendo a qualidade da máquina que incorpora a tecnologia de fronteira. Além disso, assume-se que a qualidade de fronteira das máquinas cresce exponencialmente com taxa  $g$ , ou seja,  $\Phi_t = e^{gt}$ .<sup>1</sup>

Neste modelo, o processo tecnológico (expansão da fronteira) é exógeno. O produtor do bem intermediário deve definir, a cada período, se vai adquirir uma máquina nova ou simplesmente manter a antiga. Ou seja, deve definir uma banda para o valor de  $k_i$ , em que ele decide manter a máquina e, fora desta, em que adquire uma máquina nova, o que é conhecido na literatura como política  $(s, S)$ .

Inicialmente, será obtida a distribuição da qualidade das máquinas para uma dada política  $(s, S)$  no setor de bens intermediários, para em seguida definir-se a escolha da política ótima.

#### *Distribuição da Qualidade das Máquinas*

Define-se  $T$  como sendo a idade em que a máquina será substituída, se ela ainda não quebrou, e assume-se que será sempre trocada por uma de fronteira (nesta seção, considera-se que o valor de  $T$  é dado, mas essa hipótese será relaxada em seguida). Define-se, também,  $u \equiv e^{-gT}$  como a qualidade da máquina prestes a ser substituída. Portanto, a política  $(s, S)$  será de manter a máquina enquanto  $\phi_i \in (u\Phi, \Phi]$  e substituí-la quando quebrar ou quando  $\Phi$  alcançar o nível em que  $u\Phi = \phi_i$ .

Com base na política  $(s, S)$  acima e na hipótese de que o tempo de vida das máquinas segue uma distribuição exponencial no intervalo  $[0, T]$ , pode-se então encontrar a proporção de máquinas de idade menor ou igual a  $\tau$  na população  $(H(\tau))$ .

$$H(\tau) = \frac{\int_0^\tau \gamma e^{-\gamma v} dv}{1 - \int_T^\infty \gamma e^{-\gamma v} dv} = \frac{1 - e^{-\gamma\tau}}{1 - e^{-\gamma T}}, \text{ para } \tau \in [0, T] \quad (3.1)$$

O numerador de  $H(\tau)$  mostra a função de distribuição acumulada (fda) das máquinas até a idade  $\tau$ , se a distribuição de probabilidade não fosse truncada. Já o denominador representa toda a distribuição acumulada menos a parte truncada. Por essa razão,  $H(\tau)$  representa a fda das máquinas com idade até  $\tau$ .

<sup>1</sup> Assume-se  $\Phi_0 = 1$ .

A partir da equação acima, é definida a distribuição da qualidade relativa das máquinas. Define-se  $\theta \equiv \gamma/g$ ,  $z_i \equiv \phi_i/\Phi$  e  $F(z_i|u, \theta)$  como a função de distribuição acumulada (fda) de  $z_i$ , condicional em  $u$  e  $\theta$ . Então:

$$F(z_i|u, \theta) = 1 - H(\tau(z_i)) = \frac{e^{-\gamma\tau} - e^{-\gamma T}}{1 - e^{-\gamma T}} = \frac{z_i^\theta - u^\theta}{1 - u^\theta}, z_i \in [u, 1] \quad (3.2)$$

Portanto, a função densidade (fdp) de  $z_i$  é:

$$f(z_i|u, \theta) = \frac{dF(z_i|u, \theta)}{dz_i} = \frac{\theta z_i^{\theta-1}}{1 - u^\theta} \quad (3.3)$$

É possível mostrar que, quanto maior o valor de  $\theta$ , mais a massa de probabilidade estará concentrada em valores elevados de  $z_i$  (quanto mais alta a probabilidade de a máquina falhar, mais rápido deve-se trocá-la e, conseqüentemente, mais perto da fronteira as máquinas estarão).

Com a função de densidade de  $z_i$ , pode-se obter a qualidade média do capital, que é definida como (omitindo o condicionante na variável  $\theta$ ):

$$e^{gt} E\{z_i|u\}, \text{ em que } E\{z_i|u\} = \int_u^1 z_i f(z_i|u, \theta) dz = \frac{\theta(1-u^{\theta+1})}{(1+\theta)(1-u^\theta)} \quad (3.4)$$

Dado o valor de  $\theta$ ,  $E\{z_i|u, \theta\}$  aumenta à medida que se eleva o valor de  $u$ . Isso implica dizer que, quanto maior o valor  $u$  de uma economia, mais próximo da qualidade de fronteira estará a qualidade média de suas máquinas.

### Substituição Ótima de Máquinas

Até o momento, considerou-se a qualidade-limite de substituição ( $u$ ) como um dado, uma variável exógena. No entanto, o momento em que o produtor decide substituir sua máquina depende do ambiente econômico em que ele está inserido e das restrições a que ele está sujeito. Portanto, essa deve ser uma variável determinada endogenamente.

Seguindo Jovanovic e Rob (1997), será adotada uma abordagem indireta, em que ao invés de encontrar uma solução fechada para o modelo, simplesmente serão obtidos alguns resultados de interesse, os quais serão de utilidade no prosseguimento deste trabalho.

Dessa forma, pode-se formular o problema de maximização do agente e determinar a sua escolha a partir das condições de otimização. A função de produção de cada produtor do bem intermediário é  $k_i = \phi_i$ , em que  $\phi_i$  é a qualidade da máquina utilizada pelo produtor  $i$ . Definindo  $v_i(\phi_i, \Phi)$  como o valor presente das receitas líquidas do produtor do bem intermediário, o problema de maximização do agente  $i$  é:

$$v_i(\phi_i, \Phi) = \max_t \left\{ \int_0^t \gamma e^{-\gamma s} \left\{ \frac{\phi_i(1 - e^{-rs})}{r} + e^{-rs} [\Phi e^{gs}(\lambda - p)] \right\} ds \right. \\ \left. + e^{-\gamma t} \left\{ \frac{\phi_i(1 - e^{-rt})}{r} + e^{-rt} [\Phi e^{gt}(\lambda - p)] \right\} \right\}$$

em que  $r$  representa a taxa de juros da economia e  $p$ , o preço da máquina. O primeiro termo de  $v_i(\phi_i, \Phi)$  mostra as probabilidades de quebra para os

períodos  $s \in [0, t]$ , dado que a máquina não quebrou até o período  $s$ , vezes o ganho futuro com a troca do equipamento. Já o segundo termo mostra a probabilidade de a máquina sobreviver até o período  $t$ , vezes o ganho futuro com a sua troca.

Além disso, Jovanovic e Rob (1997) mostram que, ao comprar uma máquina, é sempre ótimo para o produtor adquirir uma máquina de fronteira. Isso faz sentido, dada a estrutura do modelo, uma vez que ao adquirir uma máquina, essa passa a sofrer uma espécie de “depreciação tecnológica”. Como a qualidade de fronteira cresce continuamente, a máquina vai ficando cada vez mais defasada tecnologicamente e mais próxima do limite que levaria o produtor a substituí-la novamente. Como a função de valor presente da máquina é linear, é sempre ótimo para o produtor, ao adquirir uma máquina, obter a que está na fronteira da qualidade.<sup>2</sup>

Vale ressaltar que Jovanovic e Rob (1997) supõem que a economia está em estado estacionário para esse problema, ou seja, que a distribuição de probabilidade da idade das máquinas e os preços  $p$  e  $r$  são estacionários.

A partir do problema de maximização do produtor de bem intermediário, obtém-se a seguinte relação (não linear) entre  $u$  e  $p$ , que será importante para a parte empírica deste trabalho:<sup>3</sup>

$$(r + \gamma - g)p + u = 1 - \frac{g}{r + \gamma} (1 - u^{(r + \gamma)/g}) \quad (3.5)$$

É intuitivo que a determinação de  $u$  dependa de alguma forma tanto dos parâmetros do modelo quanto do preço relativo dos bens de capital.

A partir da aplicação do teorema da função implícita à equação (3.5), tem-se que para  $p \in \left[0, \frac{1}{r + \gamma}\right]$ :

$$\frac{du}{dp} = -\frac{r + \gamma - g}{1 - u} \frac{r + \gamma - g}{g} < 0 \quad (3.6)$$

Esse resultado estabelece uma relação entre o preço relativo dos bens de capital ( $p$ ) e o tempo de espera para substituir uma máquina (lembrando que, por definição,  $T$  e  $u$  estão intimamente ligados:  $T = -\frac{\ln u}{g}$ ).

Com isso, é estabelecido um importante canal pelo qual o preço relativo dos bens de capital pode afetar o estoque de capital e, por fim, o nível do produto. Uma elevação do preço faz com que o produtor atrase a decisão de substituir sua máquina por uma de qualidade de fronteira. Portanto, um crescimento de  $p$  leva a um aumento de  $T$ , ou de forma equivalente, a uma queda de  $u$ . Aliás, pelo que foi visto anteriormente, uma queda de  $u$  leva a um declínio da qualidade média do capital (em relação à máquina de fronteira).

<sup>2</sup> Uma forma de adaptar esse resultado para situações em que pode ser ótimo adquirir máquinas mais antigas seria introduzir custos de adaptação da tecnologia às condições locais de cada economia [ver Klenow e Rodríguez-Clare (1997)].

<sup>3</sup> Ver apêndice A para a demonstração.



Por fim, tem-se que a produção total desse setor é dada por:

$$\int_0^K \phi_i d_i = qK \tag{3.7}$$

em que  $q$  representa a qualidade média do capital no setor de bens intermediários e é dado por  $q = \Phi E\{z|u\}$ .

### Setor de Bens Finais

Finalmente, tem-se que a função de produção do bem final é dada por:

$$Y = (qK)^\alpha h^{1-\alpha} \tag{3.8}$$

em que  $qK$  representa a produção do setor intermediário,  $h$  é a quantidade de capital humano utilizada na produção do bem final e, sob a hipótese de que os mercados de produto e fatores são perfeitamente competitivos,  $\alpha \in (0,1)$  corresponde à parcela da renda nacional dedicada ao capital.

### Calibragem

Nesta seção, serão apresentados os principais parâmetros do modelo *benchmark*, com base no arcabouço teórico que foi apresentado. O objetivo principal é desenvolver uma medida de qualidade média do capital, a partir do modelo. Além disso, foram utilizados dados do preço relativo dos bens de capital de cada país.

Foi utilizada como medida da qualidade média do capital a variável  $q_t = e^{gt} E\{z|u\}$ . Expressando a qualidade média do capital como uma fração da qualidade da máquina de fronteira, tem-se  $\frac{q}{\phi} = E\{z|u\} = \frac{\theta(1-u^{\theta+1})}{(1+\theta)(1-u^\theta)}$ .

Portanto, para definir a qualidade média do capital, é necessário o valor do parâmetro  $\theta = \frac{\gamma}{g}$  e o valor de  $u$ , que é específico para cada país. Inicialmente, serão definidos os valores dos parâmetros do modelo, descritos na Tabela 1, considerados comuns a todos os países ( $r$ ,  $\gamma$  e  $g$ ). Os valores de  $r$  e  $\gamma$  foram escolhidos de acordo com Jovanovic e Rob (1997).<sup>4</sup> Uma análise da robustez dos resultados quanto à escolha dos parâmetros se encontra na próxima seção.

**Tabela 1. Valores dos parâmetros utilizados na calibragem do modelo**

Taxa de quebra ( $\gamma$ )	Taxa de progresso tecnológico ( $g$ )	Taxa de juros ( $r$ )	$\theta = \gamma/g$
5,0%	2,5%	4,0%	2,0

Fonte: Elaboração própria.

<sup>4</sup> Com esse valor de  $\gamma$ , uma máquina dura em média 20 anos. O valor para a taxa de juros é o mesmo de Jovanovic e Rob (1997), mas é padrão na literatura macro. Por exemplo, calibrações do modelo neoclássico de crescimento frequentemente utilizam o valor de 0,96 para o fator de desconto subjetivo, que é consistente com uma taxa de juros de longo prazo de 4% ao ano. De qualquer forma, na próxima seção é avaliada a robustez dessa hipótese ao considerar valores alternativos para  $r$ .

O próximo passo consiste em obter uma estimativa do valor de  $u$  para cada país da amostra. Para isso, é usada a relação entre os valores de  $p$  e de  $u$  obtida na equação (3.5).

Obtido o valor de  $u$  e dado o valor dos parâmetros, é possível estimar a qualidade média do capital (relativa à qualidade de fronteira).

## UMA ANÁLISE DO DESEMPENHO RELATIVO DAS NAÇÕES

Nesta seção, serão explorados alguns aspectos da literatura empírica sobre crescimento econômico. O objetivo é determinar a importância relativa de cada um dos seguintes componentes para o desempenho econômico dos países: a acumulação de capital (físico e humano) e o nível de produtividade total dos fatores. Será replicado o exercício de Hall e Jones (1999), atualizando os resultados para o ano de 2000 (originalmente realizado para o ano de 1988). Além disso, avalia-se o quanto das conclusões obtidas por esses autores se altera ao incluir a medida de qualidade do capital calculada com base na metodologia descrita na seção anterior. Realizam-se, ainda, alguns testes de robustez do resultado.

O trabalho de Hall e Jones (1999) busca responder a uma questão recorrente em economia: por que alguns países produzem muito mais produto por trabalhador do que outros? Por que os EUA apresentam 38 vezes mais produto por trabalhador do que Níger, por exemplo? A abordagem adotada por eles consiste na utilização de uma função de produção agregada, como tradicionalmente realizado na literatura (MANKIW, ROMER e WEIL, 1992; KLENOW e RODRIGUEZ-CLARE, 1997).

Assume-se que o produto  $Y_i$  no país  $i$  é produzido usando a seguinte função de produção Cobb-Douglas:

$$Y_i = K_i^\alpha (A_i H_i)^{1-\alpha} \quad (4.1)$$

em que  $K_i$  representa o estoque de capital físico,  $H_i$ , o capital humano usado na produção e  $A_i$ , uma medida de produtividade. Além disso, sob a hipótese de que os mercados de produto e fatores são perfeitamente competitivos,  $\alpha \in (0,1)$  é a parcela da renda nacional dedicada ao capital.

Assume-se também que o trabalho  $L_i$  é homogêneo em cada país, e recebe  $E_i$  anos médios de educação. O capital humano pode, então, ser expresso da seguinte forma:

$$H_i = e^{\psi(E_i)} L_i \quad (4.2)$$

O objetivo, ao adotar esse tipo de especificação para o capital humano, é o de se valer de evidências microeconômicas sobre o retorno do investimento em educação. A derivada  $\psi'(E_i)$  pode ser associada ao retorno da educação estimado em uma regressão minceriana (MINCER, 1974). Se  $\psi(E_i) = 0, \forall E_i$ , voltar-se-á ao caso da função de produção com trabalho indiferenciado. Pode-se expressar o produto por trabalhador ( $y = Y/L$ ) como:

$$Y_i^{1-\alpha} = \left(\frac{K_i}{Y_i}\right)^\alpha (A_i H_i)^{1-\alpha}$$

$$y_i = \left(\frac{K_i}{Y_i}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h_i A_i \quad (4.3)$$

em que  $h_i = H_i/L_i = \exp\{\psi(E_i)\}$  representa o capital humano por trabalhador.

Dessa forma, decompõe-se o nível do produto por trabalhador em três componentes distintos: o valor da relação capital/produto, o montante de capital humano por trabalhador e o nível de produtividade total dos fatores.

### Dados

Descreve-se, a seguir, a fonte dos dados para o exercício empírico realizado. A descrição refere-se principalmente ao que foi de fato utilizado neste trabalho, não correspondendo necessariamente ao que foi originalmente aplicado por Hall e Jones (1999).

A fonte principal dos dados consiste nas Penn World Tables (PWT)<sup>5</sup>, segundo revisão de Heston, Summers e Aten (2006). A variável “produto por trabalhador” é obtida diretamente das PWTs (variável RGDPW), enquanto as séries de estoque de capital físico e capital humano precisam ser estimadas: a primeira a partir dos dados de investimento, e a segunda com base nos dados de escolaridade.

A série de estoque de capital é construída com base em dados de investimento, utilizando o método de inventário perpétuo. Especificamente, dado o capital do período  $t$  ( $K_t$ ), é possível obter o capital em  $t + 1$  por meio da seguinte expressão:

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + I_t \quad (4.4)$$

em que  $I_t$  é o investimento no ano  $t$ . Entretanto, para construir essa série, é necessário dispor de uma estimativa do estoque inicial de capital ( $K_0$ ). Aqui, seguimos a literatura – ver, por exemplo, Hall e Jones (1999), Klenow e Rodriguez-Clare (1997), King e Levine (1994), Nehru e Dhareshwar (1993) – ao supor que inicialmente cada economia encontra-se no estado estacionário consistente com o do modelo de crescimento de Solow. Em outras palavras, o capital por unidade de trabalhador-eficiência é constante, de modo que o investimento cobre exatamente a depreciação do capital, ajustada pelo crescimento da força de trabalho e progresso técnico.<sup>6</sup> Tem-se que:

$$I_0 = (n + g + \delta)K_0 \quad (4.5)$$

<sup>5</sup> Utilizou-se a versão 6.2.

<sup>6</sup> Como o estado estacionário é definido em termos de capital por trabalhador-eficiência, é preciso incluir na taxa de depreciação o crescimento do denominador da variável em questão, ou seja, o aumento exponencial do número de trabalhadores-eficiência, seja por causa do crescimento da população, seja pelo aumento exógeno de sua produtividade.

em que  $I_0$  é o investimento no período inicial,  $n$  é a taxa de crescimento da força de trabalho e  $g$  é a taxa de progresso técnico que, em estado estacionário, corresponde à taxa de crescimento do produto per capita. A partir da expressão acima, é possível obter a estimativa para o estoque de capital  $K_0$ .

Para que os resultados não sejam muito sensíveis à escolha do ano inicial, é preciso considerar períodos relativamente afastados. Por conta disso, será considerado como ano inicial 1970, porém as decomposições de crescimento utilizarão dados do ano 2000. Seguindo Hall e Jones (1999), adotaremos uma taxa de depreciação  $\delta = 6\%$ , comum a todos os países. Dado o valor de  $K_0$  (estimado como descrito acima) e tal taxa de depreciação, juntamente com a série de investimento, é possível obter estimativas do estoque de capital para o ano 2000, aplicando sucessivamente a equação (4.4).

As estimativas dos estoques de capital humano foram obtidas com base em dados acerca da escolaridade média da população adulta. A metodologia é padrão na literatura empírica de crescimento – ver Caselli (2005). Especificamente, o capital humano por trabalhador de um país  $i$  é  $h_i = \psi(E_i) = \exp\{\varphi E_i\}$ , em que  $E_i$  é o número médio de anos de estudo da população adulta, e  $\varphi$  representa o retorno à educação, isto é, o aumento percentual no capital humano per capita, decorrente do acréscimo de 1 ano de estudo.

Adotaremos, entretanto, uma formulação mais flexível, a qual permite que o retorno à educação varie com o estágio educacional. Como em Hall e Jones (1999), esse valor é mais alto para a educação mais básica, e decai à medida que o nível educacional aumenta. Os valores específicos utilizados baseiam-se no trabalho de Psacharopoulos (1994), que mapeia o impacto de anos adicionais de educação sobre os salários em diversos países.<sup>7</sup> Consideram-se três níveis educacionais: de zero a quatro anos de estudo,  $\varphi = 13,4\%$ , de acordo com evidências sobre o retorno à educação na África Subsaariana; de cinco a oito anos, supõe-se  $\varphi = 10,1\%$ , correspondente ao retorno médio à educação no mundo todo; e, por último, para níveis de educação acima de oito anos, foi usado  $\varphi = 6,8\%$ . Dessa forma, o capital humano per capita de um país  $i$  é dado por:

$$h_i = \begin{cases} \exp\{0,134 \times E_i\}, & \text{se } E_i \leq 4 \\ \exp\{4 \times 0,134 + 0,101 \times (E_i - 4)\}, & \text{se } 5 \leq E_i \leq 8 \\ \exp\{4 \times 0,134 + 4 \times 0,101 + 0,068 \times (E_i - 8)\}, & \text{se } E_i \geq 9 \end{cases} \quad (4.6)$$

Os dados acerca dos anos médios de estudo advêm do trabalho de Barro e Lee (2001) e dizem respeito ao ano de 2000.

### Decomposição do Produto

A partir dos dados sobre produto por trabalhador, estoque de capital físico, retorno à educação e anos de escolaridade, pode-se estimar (por resíduo) o

<sup>7</sup> Como estamos supondo um cenário com mercados perfeitamente competitivos, o impacto no capital humano per capita será idêntico ao impacto sobre os salários.

valor de  $A_i$ . Seguindo a tradição na literatura sobre crescimento econômico [e.g. Mankiw, Romer e Weil (1992), Hall e Jones (1999), Gollin (2002)], é estabelecido  $\alpha = 1/3$ .

Considerando a equação (4.3), pode-se expressar a decomposição do produto como:

$$\ln(y_i) = \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln\left(\frac{K_i}{Y_i}\right) + \ln(h_i) + \ln(A_i) \quad (4.7)$$

Dessa forma, já é possível obter as estimativas das três partes em que se decompõe o produto: capital físico, capital humano e produtividade. Na Tabela 2, é reproduzido o exercício realizado por Hall e Jones (1999) para alguns países selecionados<sup>8</sup>, atualizado para o ano 2000. Para facilitar a comparação dos dados e seguindo a abordagem adotada originalmente, os termos da decomposição são apresentados em relação ao respectivo componente dos EUA. Por exemplo, os dados nos mostram que o Brasil possuía um PIB per capita correspondente a 23% do PIB per capita dos EUA em 2000, enquanto sua produtividade era de 45% em relação à dos EUA.

**Tabela 2. Decomposição do produto (dados como proporção do respectivo valor dos EUA)**

País	Y/L	K/Y	H/L	PTF
Estados Unidos	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Canadá	0.7426	1.0792	0.9462	0.7273
Itália	0.7581	1.1361	0.6774	0.9851
Alemanha	0.7605	1.1836	0.8437	0.7615
França	0.8242	1.1207	0.7685	0.9570
Reino Unido	0.7338	0.9830	0.8211	0.9091
Hong Kong	0.7497	1.0410	0.8277	0.8701
Cingapura	0.8758	1.2060	0.7551	0.9617
Japão	0.6643	1.3354	0.8422	0.5907
México	0.2925	0.9339	0.6589	0.4754
Argentina	0.4171	0.9380	0.7744	0.5742
Brasil	0.2306	0.9628	0.5292	0.4526
Uruguai	0.3556	0.8548	0.6944	0.5992
Índia	0.0899	0.6689	0.5408	0.2487
China	0.0997	0.9117	0.5962	0.1835
Quênia	0.0366	0.7366	0.4994	0.0996
Níger	0.0261	0.6356	0.3266	0.1256
Média (97 países)	0.3364	0.8609	0.6300	0.5121
Desvio-padrão	0.2929	0.2254	0.1736	0.3275
Correlação c/ Y/L (logs)	1.0000	0.6299	0.8619	0.9224
Correlação c/ A (logs)	0.9224	0.3097	0.6454	1.0000

Fonte: Elaboração própria (dados de 2000).

<sup>8</sup> A amostra utilizada é menor do que a originalmente usada por Hall e Jones (1999) para fins de comparação com os próximos exercícios, em que será necessária a disponibilidade do preço relativo dos bens de capital.

Além disso, a Tabela 2 mostra medidas de médias e desvios-padrão das variáveis. Através dessas medidas, verifica-se que a produtividade é o principal fator de distância em relação aos EUA e é o fator com maior dispersão entre os países.

Esses resultados estão em linha com os principais achados de Hall e Jones (1999), que trazem a primazia do nível de produtividade para a determinação do desempenho relativo dos países. Implica dizer que a acumulação de fatores de produção não é capaz de explicar a grande disparidade entre os níveis de produção por trabalhador encontrada nos dados.

Na Tabela 3, replica-se mais uma vez o exercício, porém acrescentando a medida de qualidade de capital. Especificamente, essa medida de capital é agora dada por  $qK$ , em que  $q$  é a qualidade do capital implicada pela equação (3.5), isto é, obtida a partir de dados de preço relativo do capital entre países. A decomposição agora se baseia na seguinte equação:

$$\ln(y_i) = \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln\left(\frac{q_i K_i}{Y_i}\right) + \ln(h_i) + \ln(B_i) \quad (4.8)$$

em que  $B_i$  representa a PTF do país  $i$ , após levar em conta diferenças de qualidade do capital implicadas por diferenças de preço relativo.

**Tabela 3. Decomposição do produto com ajuste de qualidade (dados como proporção do respectivo valor dos EUA)**

País	Y/L	qK/Y	H/L	PTF
Estados Unidos	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Canadá	0.7426	1.0804	0.9462	0.7264
Itália	0.7581	1.1317	0.6774	0.9889
Alemanha	0.7605	1.1792	0.8437	0.7644
França	0.8242	1.1217	0.7685	0.9561
Reino Unido	0.7338	0.9813	0.8211	0.9107
Hong Kong	0.7497	1.0270	0.8277	0.8819
Cingapura	0.8758	1.2111	0.7551	0.9577
Japão	0.6643	1.3356	0.8422	0.5906
México	0.2925	0.9235	0.6589	0.4807
Argentina	0.4171	0.9300	0.7744	0.5792
Brasil	0.2306	0.9474	0.5292	0.4600
Uruguai	0.3556	0.8481	0.6944	0.6039
Índia	0.0899	0.6540	0.5408	0.2543
China	0.0997	0.8903	0.5962	0.1879
Quênia	0.0366	0.7159	0.4994	0.1025
Níger	0.0261	0.6189	0.3266	0.1290
Média (97 países)	0.3364	0.8431	0.6300	0.5235
Desvio-padrão	0.2929	0.2356	0.1736	0.3329
Correlação c/ Y/L (logs)	1.0000	0.6329	0.8619	0.9123
Correlação c/ A (logs)	0.9123	0.2875	0.6305	1.0000

Fonte: Elaboração própria (dados de 2000).

Nota-se que os principais resultados se mantêm, ou seja, o maior desvio-padrão continua sendo relacionado à PTF. Além disso, ao comparar as médias para a amostra de 97 países, nota-se que a PTF é o fator que apresenta maior distância em relação aos Estados Unidos.

Klenow e Rodríguez-Clare (1997) adotam uma forma interessante de analisar a importância relativa de cada componente na explicação das disparidades de renda.

Em primeiro lugar, agrupa-se a acumulação de fatores de produção no componente X:

$$y_i = \left(\frac{K_i}{Y_i}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h_i A_i \Rightarrow \ln(y_i) = \ln(X_i) + \ln(A_i) \tag{4.9}$$

em que  $X_i = \left(\frac{K_i}{Y_i}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h_i$ .

Em seguida, pode-se realizar uma decomposição da variância de  $y_i$  nos componentes  $X_i$  e  $A_i$ , na *cross-section*:

$$\frac{\text{var}(\ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} = \frac{\text{cov}(\ln y_i, \ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} = \frac{\text{cov}(\ln X_i, \ln y_i) + \text{cov}(\ln A_i, \ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} \text{ ou,}$$

$$1 = \frac{\text{cov}(\ln y_i, \ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} = \frac{\text{cov}(\ln X_i, \ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} + \frac{\text{cov}(\ln A_i, \ln y_i)}{\text{var}(\ln y_i)} \tag{4.10}$$

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados da decomposição da variância do produto por trabalhador.<sup>9</sup>

**Tabela 4. O papel de A e X na prosperidade em 1988 e 2000**

	$\frac{\text{cov}[\ln(Y/L), \ln(X)]}{\text{var}(Y/L)}$			
	$Z = (K/Y)^{\alpha/(1-\alpha)}$	$Z = h$	$Z = X$	$Z = A$
1988	18.01%	23.11%	41.11%	58.89%
2000	15.31%	21.19%	36.50%	63.50%

Fonte: Elaboração própria (dados de 1988 e 2000).

Aqui os dados indicam uma clara resposta a uma das perguntas com que se iniciou este trabalho: a importância relativa da acumulação de fatores e da produtividade. Este resultado indica a preponderância da PTF na explicação das disparidades de desempenho entre os países: cerca de dois terços da variância do produto por trabalhador em 2000 (60% para 1988) pode ser explicado pela produtividade total dos fatores.

<sup>9</sup> Tamanho da amostra: 97 países.

Uma possível falha nesse tipo de exercício empírico é o fato de não incorporar a possibilidade de heterogeneidade do capital, como a ilustrada pelo modelo de Jovanovic e Rob (1997), analisado anteriormente. O fato de o preço relativo do capital ser maior (menor) em determinado país faz com que, através do modelo, os produtores demorem mais (menos) para trocar o capital físico, afetando, conseqüentemente, a qualidade média das máquinas da economia. A possibilidade de o capital não ser homogêneo pode estar causando certo viés nos resultados obtidos até então. Portanto, através da série do preço relativo do capital, pode-se avaliar melhor o impacto da heterogeneidade do capital entre os países.

Por esse motivo, na próxima subseção, será feita uma extensão do modelo utilizado por Hall e Jones (1999), em que se admite a possibilidade de o capital ser heterogêneo, partindo do referencial já desenvolvido.

### **Incorporando a Heterogeneidade do Capital**

Nesta subseção, o objetivo é corrigir a medida de estoque de capital pelas possíveis diferenças em termos de qualidade média do estoque de capital.

Nessa nova estrutura, incorpora-se na função de produção agregada um fator que permite não apenas que a quantidade de capital em cada país varie, mas também a sua qualidade. Com base na equação (3.8), tem-se que:

$$Y_i = (q_i K_i)^\alpha (B_i H_i)^{1-\alpha} \quad (4.11)$$

em que  $q_i$  representa a qualidade média do capital do país  $i$ , e  $B_i$  representa o nível de produtividade (a mudança de  $A_i$  para  $B_i$  ocorreu para indicar que esse parâmetro de produtividade é calculado com o capital ajustado pela qualidade).

Pode-se identificar a medida de qualidade média do capital já obtida como sendo a contraparte empírica do valor de  $q_i$ . Dessa forma, o valor do estoque de capital físico para cada país será ajustado por um fator de correção da qualidade, que depende do preço relativo dos bens de capital, conforme demonstrado anteriormente.

A cadeia de causas poderia ser descrita da seguinte forma: em dois países similares, exceto pelo preço relativo dos bens de capital, aquele em que as máquinas forem mais caras em termos de produto verá seus produtores adiarem a decisão de investimento e ficará com as máquinas tecnologicamente defasadas por mais tempo, o que levará a uma menor qualidade média do capital. Portanto, ainda que os dois invistam o mesmo montante, aquele em que o preço relativo do capital for maior terá menor nível de produto por trabalhador.

O próximo passo é investigar a relevância empírica desse canal e qual o seu impacto sobre o papel relativo da produtividade na explicação das disparidades do nível de produção por trabalhador.

Seguindo o que foi realizado originalmente por Hall e Jones (1999), pode-se decompor o produto em três componentes:



$$y_i = \left(\frac{q_i K_i}{Y_i}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h_i B_i \Rightarrow \ln(y_i) = \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln\left(\frac{q_i K_i}{Y_i}\right) + \ln(h_i) + \ln(B_i) \quad (4.12)$$

Em seguida, pode-se realizar a decomposição da variância proposta por Klenow e Rodriguez-Clare (1997), nos três componentes acima. A seguir, replica-se o exercício para o ano de 2000.

A Tabela 5 mostra uma queda da importância da PTF e uma elevação do papel do estoque de capital após o ajuste da qualidade. Esse resultado é intuitivo, uma vez que existe uma correlação negativa entre o preço relativo dos bens de capital e a renda per capita, o que significa que países mais pobres terão estoque de capital de menor qualidade. Isso aumenta a variabilidade do capital e reduz o papel do resíduo na explicação do produto. No entanto, esse efeito é quantitativamente pequeno, e o nível de produtividade total dos fatores continua sendo o principal fator explicativo da variabilidade nos níveis de produto por trabalhador.

**Tabela 5. O papel de B e X na prosperidade em 2000**

	cov[ln (Y/L), ln (X)]			
	var(Y/L)			
	Z = (K/Y) <sup>α/(1-α)</sup>	Z = h	Z = X	Z = B
2000 (sem ajuste de qualidade)	15.31%	21.19%	36.50%	63.50%
2000 (com ajuste de qualidade)	16.62%	21.19%	37.81%	62.19%

\* Tamanho da amostra: 97 países

Fonte: Elaboração própria (dados de 2000).

Pode-se notar que o resultado obtido a respeito da importância da PTF é robusto a alterações na forma de mensuração da qualidade do estoque de capital. Além disso, a inclusão da qualidade do capital diminui em 1,31% a importância da PTF na análise, o que se pode considerar um ganho pequeno se compararmos com os 10% de ganho na inclusão da qualidade de capital humano presente em Schoellman (2012).

### Robustez dos Resultados

Nesta seção, será feita uma análise de robustez dos resultados, variando diversos dos parâmetros escolhidos até então para avaliar se os resultados anteriores se mantêm. Dessa forma, é possível avaliar a sensibilidade das conclusões a variações nos parâmetros.

A Tabela 6 apresenta resultados para a configuração padrão (*benchmark*), utilizada previamente neste trabalho, e para as diversas configurações alternativas testadas.

**Tabela 6. Análise de Robustez**

$\alpha$	$\gamma$	$g$	$r$	$Z=(qK/Y)^{\alpha/(1-\alpha)}$	$Z = h$	$Z = X$	$Z = B$	Ajuste
33.33%	5.00%	2.50%	4.00%	15.31%	21.19%	36.50%	63.50%	não
33.33%	5.00%	2.50%	4.00%	16.62%	21.19%	37.81%	62.19%	sim
33.33%	1.00%	2.50%	4.00%	17.04%	21.19%	38.23%	61.77%	sim
33.33%	10.00%	2.50%	4.00%	16.19%	21.19%	37.38%	62.62%	sim
33.33%	20.00%	2.50%	4.00%	15.52%	21.19%	36.71%	63.29%	sim
33.33%	5.00%	1.00%	4.00%	16.10%	21.19%	37.29%	62.71%	sim
33.33%	5.00%	5.00%	4.00%	17.15%	21.19%	38.34%	61.66%	sim
33.33%	5.00%	10.00%	4.00%	17.95%	21.19%	39.14%	60.86%	sim
33.33%	5.00%	2.50%	2.00%	16.50%	21.19%	37.69%	62.31%	sim
33.33%	5.00%	2.50%	6.00%	16.76%	21.19%	37.95%	62.05%	sim
50.00%	5.00%	2.50%	4.00%	30.63%	21.19%	51.82%	48.18%	não
50.00%	5.00%	2.50%	4.00%	33.24%	21.19%	54.43%	45.57%	sim
66.67%	5.00%	2.50%	4.00%	61.25%	21.19%	82.44%	17.56%	não
66.67%	5.00%	2.50%	4.00%	66.48%	21.19%	87.67%	12.33%	sim

Fonte: Elaboração própria (dados de 2000).

Nota-se que, quanto maior o valor de  $\gamma$ , menor a contribuição do capital para explicar a variação do produto. Isso porque maior será a taxa de quebra das máquinas, o que faz com que elas estejam sempre mais próximas às máquinas de fronteira, diminuindo, assim, o impacto do preço relativo do capital sobre as estimativas de qualidade. O mesmo ocorre para valores mais baixos de  $g$ , que implicam menor contribuição para o capital na decomposição – o que importa nesse caso, é a reposição relativa à fronteira (parâmetro  $\theta = \gamma/g$ ). Além disso, quanto maior a taxa de juros ( $r$ ), maior será a contribuição do capital.

Um dos parâmetros de interesse é a participação do capital na renda ( $a$ ). A escolha padrão, nesse tipo de exercício, é o valor  $a = 1/3$ . Nessa situação, uma diferença na qualidade do capital entre dois países de quatro vezes será capaz de explicar uma diferença de apenas duas vezes na renda entre eles. Especificamente, para os países  $i$  e  $j$ , com  $h_i = h_j$ ,  $K_i = K_j$ ,  $B_i = B_j$  e  $q_i = 4q_j$ , tem-se que:

$$\frac{y_i}{y_j} = \left[ \frac{\left(\frac{q_i K_i}{Y_i}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}}{\left(\frac{q_j K_j}{Y_j}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}} \right] \frac{h_i B_i}{h_j B_j} = \left(\frac{q_i}{q_j}\right)^{1/2} = 2 \quad (4.13)$$

Parente e Prescott (2002) analisam a possibilidade de que as medidas de investimento registradas na contabilidade nacional subestimem a verdadeira importância do capital no produto. Considerando essa possibilidade, analisa-se um caso extremo em que a participação do capital no produto seria  $a = 2/3$ . Nessa situação, uma diferença de 4 vezes na qualidade do capital leva a uma diferença de 16 vezes no nível de renda.

Desse modo, refaz-se o exercício empírico para cada uma das configurações propostas na Tabela 6. Nota-se que a mudança do valor de  $a$  aumenta o papel do estoque de capital e das diferenças de qualidade. Porém, esse

último componente, mesmo nessa configuração extrema, não é capaz de explicar parte significativa das disparidades no nível de produto. O objetivo desse exercício, mais do que sugerir a utilização de um valor diferente de  $a$ , é avaliar o comportamento dos resultados do modelo e o papel da qualidade do capital em particular, sob condições distintas da normalmente adotada.

A conclusão é de que os resultados não são muito sensíveis a modificações nos parâmetros do modelo, e as diferenças no nível de produtividade total dos fatores permanecem como a explicação mais plausível para as no desempenho econômico observadas entre os países.

Além disso, é possível notar que a qualidade do capital traz um ganho pequeno à análise do crescimento das nações. O maior ganho observado sem a mudança do parâmetro  $a$  foi de 2,64%.

## UMA ANÁLISE DO DESEMPENHO ECONÔMICO DO BRASIL

Até o momento, foi feita a análise do desempenho econômico dos países, e seus determinantes, em um dado ano (*cross-section*). O objetivo agora é realizar uma breve análise da experiência de crescimento do Brasil, a partir do arcabouço desenvolvido anteriormente, sob uma perspectiva de longo prazo.

### Dados

Neste exercício, será utilizada a metodologia adotada por Hall e Jones (1999) para a construção do estoque de capital humano para o Brasil, ou seja, serão considerados dados sobre a média de anos de escolaridade e evidências microeconômicas (regressões mincerianas de salário) a respeito de taxas de retorno à educação. Os dados sobre a média de anos de estudo são do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA)<sup>10</sup> e, devido à baixa variabilidade da série, os dados para os anos em que não houve divulgação foram interpolados. Desse modo, a análise se concentra no período de 1970 a 2003.

Além disso, para o cálculo do preço relativo dos bens de capital, foram utilizadas as séries do deflator da formação bruta de capital fixo e do deflator do PIB, encontradas no IBGE. Por último, a série de capital físico foi construída a partir dos dados da formação bruta de capital fixo pelo mesmo método exposto na seção anterior.

### Componentes do desempenho econômico do Brasil

Nesta subseção, será analisada a experiência brasileira a partir da década de 1970. Segue-se estratégia semelhante à utilizada anteriormente, porém avaliando para um país como a variação temporal do preço relativo do capital afeta a evolução da qualidade desse insumo (ao invés de relacionar

---

<sup>10</sup> Dados provenientes do portal Ipeadata.

a dispersão do preço relativo e da qualidade entre países, para um dado ponto no tempo). Com base nisso, corrige-se o estoque de capital por esse índice de qualidade, e avalia-se seu impacto na explicação do crescimento da renda per capita brasileira no período de 1970a 2003.

A qualidade do capital físico ( $q$ ) foi calculada através da equação (3.5), inicialmente utilizando a variação anual do preço relativo do capital. Embora essa equação seja resultado de estado estacionário, será utilizada em uma primeira análise. Na sequência, o exercício é realizado com médias referentes a intervalos de 5 em 5 anos para atenuar esse problema.

Na Tabela 7, segue a configuração de parâmetros que foi utilizada na simulação.

**Tabela 7. Valores dos parâmetros utilizados na simulação**

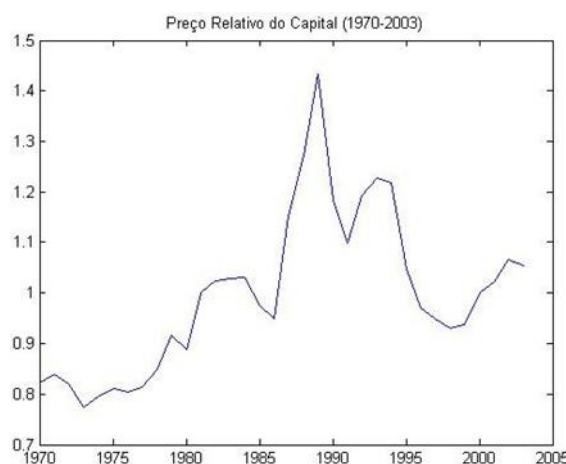
Taxa de juros ( $r$ )	Taxa de quebra ( $\gamma$ )	Taxa de progresso tecnológico ( $g$ )
4,0%	5,0%	2,5%

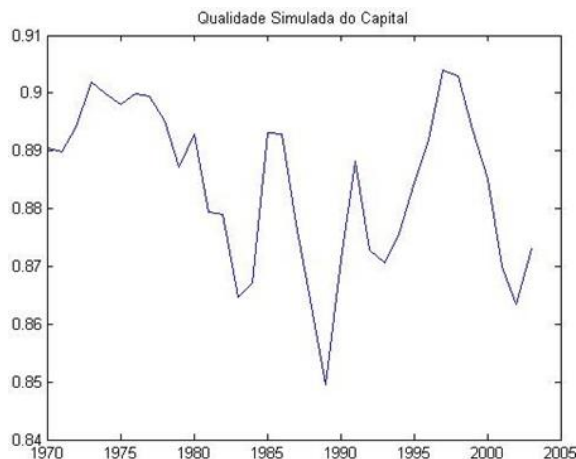
Fonte: Elaboração própria.

Os parâmetros são os mesmos utilizados no *benchmark* em seções anteriores. Para comparar os resultados desse método, será feita uma avaliação do crescimento econômico e de seus fatores, ou *growth accounting*, como em Solow (1957), com e sem o ajuste de qualidade.

## Resultados

A partir dos dados obtidos, foram descritas, na Figura 1, as séries de preço de capital e qualidade estimada do capital no Brasil para os anos de 1970 até 2003.



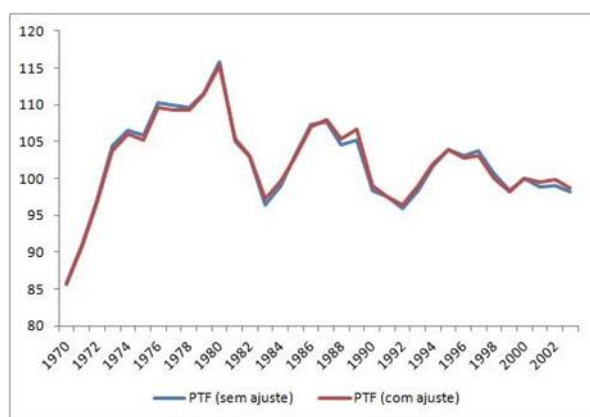


**Figura 1. Preço e qualidade do capital, no período de 1970 a 2003, na simulação**

Fonte: Elaboração própria.

Como esperado, nota-se que toda vez que o preço do capital tem um aumento, a qualidade do capital decai, em consonância com a relação estabelecida na equação (3.5).

Na Figura 2, são apresentados os resultados do cálculo da PTF, com e sem o ajuste de qualidade do capital, tomando como base o ano 2000.



**Figura 2. Produtividade Total dos Fatores, com e sem ajuste de qualidade do capital, para o Brasil nos anos de 1970 a 2003**

Fonte: Elaboração própria.

Apesar da inclusão da qualidade do capital no modelo, ambas as estimativas de PTF são próximas. Por fim, na Tabela 8, estão descritos os principais resultados do exercício de *growth accounting* para a experiência brasileira.

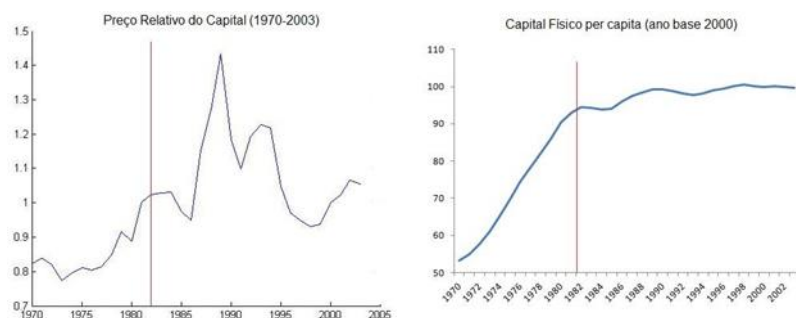
**Tabela 8. Resultados de *growth accounting* para a experiência brasileira no período de 1970 a 2003**

Crescimento dos componentes				
	Produto	Capital Físico	Capital Humano	PTF
sem ajuste	2.04%	1.95%	1.36%	0.49%
com ajuste	2.04%	1.90%	1.36%	0.50%
Contribuição para o crescimento do produto per capita				
	Produto	Capital Físico	Capital Humano	PTF
sem ajuste	100.00%	31.81%	44.35%	23.84%
com ajuste	100.00%	31.03%	44.35%	24.61%

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se concluir, pela Tabela 8, que a experiência de crescimento do Brasil se concentrou, principalmente, na acumulação de fatores de produção, com destaque para o papel do capital humano, que contribuiu para cerca de 44% do crescimento econômico brasileiro no período. Apesar de ainda estar distante em relação aos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o capital humano tem esse papel no Brasil em razão do fato de o retorno à educação ser maior quando o nível educacional é baixo. Isso está em linha com a experiência internacional, bem como com as evidências encontradas para o caso brasileiro [ver Langoni (1973)].

Por fim, pode-se notar que a inclusão do ajuste na qualidade do capital diminui a importância deste na explicação do crescimento do produto, ao contrário do que ocorreu no exercício em *cross-section*. A contribuição do capital físico para o crescimento econômico passou de 31,81% para 31,03% com o ajuste da qualidade do capital. A explicação para tal é a ocorrência de uma elevação do estoque de capital justamente no período em que ocorre um aumento do preço relativo dos bens de capital. Em outras palavras, a elevação na quantidade de capital acaba sendo, em certa medida, compensada pela queda na qualidade média, o que reduziria a variação no insumo capital ao longo do tempo, aumentando a importância relativa da PTF. Isso pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3. Preço do capital e capital per capita no período de 1970 a 2003**

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que, de 1970 a 1982, ocorreu o maior crescimento de capital físico no Brasil, e o período foi marcado pela elevação do preço do capital, o que implicou uma diminuição da qualidade média, gerando, assim, o resultado descrito acima.

### Análise de Robustez

Nesta subseção, serão utilizadas médias das variáveis, referentes a intervalos de 5 em 5 anos<sup>11</sup>, para atenuar o fato de a equação (3.5) ser de estado estacionário. Além disso, será feita uma análise de robustez. Na Tabela 9, estão descritos os principais resultados.

**Tabela 9. Crescimento dos fatores**

$\alpha$	$\gamma$	$g$	$r$	Ajuste	$(qK/Y)^{\alpha/(1-\alpha)}$	$h$	$B$
33.33%	5.00%	2.50%	4.00%	não	2.03% (33.64%)	1.26% (41.81%)	0.49% (24.56%)
33.33%	5.00%	2.50%	4.00%	sim	2.00% (33.07%)	1.26% (41.81%)	0.50% (25.12%)
33.33%	1.00%	2.50%	4.00%	sim	2.00% (33.06%)	1.26% (41.81%)	0.50% (25.13%)
33.33%	10.00%	2.50%	4.00%	sim	2.00% (33.12%)	1.26% (41.81%)	0.50% (25.07%)
33.33%	20.00%	2.50%	4.00%	sim	2.02% (33.33%)	1.26% (41.81%)	0.49% (24.87%)
33.33%	5.00%	1.00%	4.00%	sim	2.20% (33.28%)	1.26% (41.81%)	0.43% (24.91%)
33.33%	5.00%	5.00%	4.00%	sim	2.23% (32.85%)	1.26% (41.81%)	0.42% (25.34%)
33.33%	5.00%	10.00%	4.00%	sim	2.17% (32.53%)	1.26% (41.81%)	0.44% (26.66%)
33.33%	5.00%	2.50%	2.00%	sim	2.23% (33.11%)	1.26% (41.81%)	0.42% (25.08%)
33.33%	5.00%	2.50%	6.00%	sim	2.25%	1.26%	0.42%
66.67%	5.00%	2.50%	4.00%	não	2.03% (67.27%)	1.26% (20.90%)	0.23% (11.82%)
66.67%	5.00%	2.50%	4.00%	sim	2.00% (66.15%)	1.26% (20.90%)	0.26% (12.95%)

Os termos entre parênteses representam a contribuição de cada fator para o crescimento. Fonte: Elaboração própria.

Nas quatro primeiras colunas da Tabela 9 são mostrados os valores dos parâmetros utilizados em cada uma das análises. A quinta coluna indica se a análise foi feita com ou sem ajuste da qualidade do capital físico. Por fim, as três últimas colunas expõem a variação percentual dos fatores e sua respectiva contribuição para o crescimento de 2,02% ao ano do produto, no período analisado.

<sup>11</sup> Nesse caso, foram utilizados os dados de 1970 até 2000, deixando de fora os três últimos anos.

Nota-se que a participação do capital físico no crescimento do produto diminui com a inclusão da medida de qualidade. Esse resultado permanece em todas as simulações, com  $a = 1/3$ . O mesmo vale para o caso de  $a = 2/3$ . A inclusão da qualidade de capital diminui a contribuição do capital e aumenta a contribuição da PTF.

## CONCLUSÃO

O que determina a prosperidade das nações? A literatura tem concentrado sua atenção em dois fatores: a acumulação de capital (físico e humano) e os ganhos de produtividade.

Neste trabalho, foi analisado se a importância dada ao nível de produtividade total de fatores permanece após correções de possíveis erros na mensuração do estoque de capital. A partir de resultados obtidos de um modelo teórico, baseado em Jovanovic e Rob (1997), construiu-se um índice de qualidade média do capital. A principal contribuição para a literatura é a inclusão de um modelo de *vintage capital* para a mensuração da qualidade média de capital físico em determinada economia. A partir dos dados, chegou-se à conclusão de que essa medida de qualidade não explica muito da variação do produto entre os países.

Em seguida, foi realizada uma breve análise da experiência do crescimento econômico brasileiro. Incluiu-se, na análise, o papel do preço relativo dos bens de capital e seu impacto sobre a qualidade média do capital. Desse modo, foi feita a aplicação de *growth accounting* da experiência brasileira entre 1970 e 2003 para avaliar a importância relativa de cada um dos componentes do crescimento incorporados no modelo. A inclusão da qualidade de capital físico não conseguiu explicar o crescimento econômico do Brasil no período. No entanto, os resultados destacaram a importância da acumulação de capital, físico e humano, na explicação da experiência brasileira.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Carlos Eduardo Gonçalves, Fabio Kanczuk, Jorge Pires de Oliveira, Gabriel Madeira, Sergio Sakurai e participantes do Encontro Nacional da Anpec de 2010 por comentários e sugestões. Antonio Morales agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado. Os autores também agradecem à Capes por financiar o programa de pós-graduação em Economia da FEA/USP.

## REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. A. Institutions as a fundamental cause of long-run growth. In: AGHION, P.; DURLAUF, S. N. (Org.) *Handbook of Economic Growth*. Elsevier, 2005, v. 1, Part A, p. 385-472.



CASELLI, F. Accounting for cross-country income differences. In: AGHION, P.; DURLAUF, S. N. (Org.) *Handbook of Economic Growth*. Elsevier, 2005, v. 1, Part A, p. 679-741.

EROSA, A.; KORESHKOVA, T. A.; RESTUCCIA, D. How important is human capital? A quantitative theory assessment of world income inequality. *Review of Economic Studies*, Oxford University Press, v. 77, no. 4, p. 1421-1449, 2010.

GOLLIN, D. Getting income shares right. *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, v. 110, n. 2, p. 458-474, 2002.

HALL, R. E.; JONES, C. I. Why do some countries produce so much more output per worker than others? *Quarterly Journal of Economics*, Oxford University Press, v. 114, n. 1, p. 83-116, 1999.

HANUSHEK, E. A.; KIMKO, D. D. Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. *American Economic Review*, American Economic Association, v. 90, n. 5, p. 1184-1208, 2000.

HESTON, A.; SUMMERS, R.; ATEN, B. *Penn World Table Version 6.2*. Center for International Comparisons of Production, Income, and Prices, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2006. <<https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/pwt-releases/pwt-6.2>>

JOVANOVIC, B.; ROB, R. Solow vs. Solow: machine prices and development. In: NBER WORKING PAPER SERIES, no. 5871, 1997, Cambridge: NBER. <<https://www.nber.org/papers/w5871>>

KING, R. G.; LEVINE, R. Capital fundamentalism, economic development, and economic growth. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, Elsevier, v. 40, p. 259-292, 1994.

KLENOW, P. J.; RODRÍGUEZ-CLARE, A. The neoclassical revival in growth economics: has it gone too far? In: BERNANKE, B. S.; ROTEMBERG, J. J. (Org.). *NBER Macroeconomics Annual*. Cambridge: NBER, 1997, v. 12, p. 73-103.

LANGONI, C. G. *Distribuição da renda e desenvolvimento econômico do Brasil: uma reafirmação*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1973.

MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, Oxford University Press, v. 107, n. 2, p. 407-437, 1992.

MANUELLI, R. E.; SESHADRI, A. Human capital and the wealth of nations. *American Economic Review*, American Economic Association, v. 104, no. 9, p. 2736-2762, 2014.

MINCER, J. *Schooling, experience, and earnings*. Human Behavior & Social Institutions no. 2. Cambridge: NBER, 1974.

NEHRU, V.; DHARESHWAR, A. A new database on physical capital stock: sources, methodology and results. *Revista de Análisis Económico*, Facultad de Economía y Negocios, Universidad Alberto Hurtado, v. 8, n. 1, p. 37-59, 1993.

PARENTE, S. L.; PRESCOTT, E. C. *Barriers to riches*. Cambridge: The MIT Press, 2002.

PSACHAROPOULOS, G. Returns to investment in education: a global update. *World Development*, Elsevier, v. 22, n. 9, p. 1325-1343, 1994.

SCHOELLMAN, T. Education quality and development accounting. *Review of Economic Studies*, Oxford University Press, v. 79, n. 1, p. 388-417, 2012.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, Oxford University Press, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, Oxford University Press, v. 39, n. 3, p. 312-320, 1957.

SOLOW, R. M. Investment and technical progress. In: ARROW, K. J.; KARLIN, S.; SUPPES, P. (Org.). *Mathematical Methods in the Social Sciences*. Redwood City: Stanford University Press, 1960.

YOUNG, A. The tyranny of numbers: Confronting the statistical realities of the East Asian growth experience. *Quarterly Journal of Economics*, Oxford University Press, v. 110, n. 3, p. 641-680, 1995.

**APÊNDICE**

O problema do produtor de bem intermediário é:

$$v_i(\phi_i, \Phi) = \max_t \left\{ \int_0^t \gamma e^{-\gamma s} \left\{ \frac{\phi_i(1 - e^{-rs})}{r} + e^{-rs}[\Phi e^{gs}(\lambda - p)] \right\} ds \right. \\ \left. + e^{-\gamma t} \left\{ \frac{\phi_i(1 - e^{-rt})}{r} + e^{-rt}[\Phi e^{gt}(\lambda - p)] \right\} \right\}$$

Se  $\phi_i = u\Phi$ , então  $t = 0$ , o que implica que  $v_i(u\Phi, \Phi) = (\lambda - p)\Phi$ . Já se  $\phi_i = \Phi$ , então  $t = T$ , o que implica que  $v_i(\Phi, \Phi) = \lambda\Phi$ , em que:

$$\lambda = \frac{(1 - e^{-(\gamma+r)T})}{r + \gamma} + \frac{\lambda - p}{r + \gamma - g} \{ \gamma + (r - g)e^{-(\gamma+r-g)T} \}$$

A condição de primeira ordem com relação a  $t$  é:

$$\phi_i e^{-rt} - r\Phi e^{-(r-g)t}(\lambda - p) + g\Phi e^{-(r-g)t}(\lambda - p) = 0$$

Isso implica que:

$$\phi_i + (g - r)\Phi e^{gt}(\lambda - p) = 0$$

Como  $\phi_i$  é sempre  $\Phi$  ou  $u\Phi$  (troca-se ou não a máquina), isto resulta em:

$$u = (\lambda - p)(r - g)$$

Das equações de  $\lambda$  e de  $u$ , chega-se à equação (3.5) descrita no texto.