

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO

MESTRADO EM ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**A EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS
PÚBLICOS NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
CONHECIMENTO**

Jorge Filipe Santos Rodrigues da Ponte

Orientação: Professor Doutor Manuel Fernando Cília de Mira Godinho

Júri:

Presidente: Prof. Dr. Vítor Duarte Corado Simões
Professor Auxiliar Convidado do Instituto Superior de Economia e
Gestão da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Prof. Dr. Fernando Miranda Borges Gonçalves
Professor Associado Convidado do Instituto Superior de Economia e
Gestão da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Manuel Fernando Cília de Mira Godinho
Professor Catedrático do Instituto Superior de Economia e Gestão da
Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa
Janeiro de 2012

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Economia e Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação, sob orientação do Professor Doutor Manuel Mira Godinho.

Agradecimentos

À minha extraordinária mulher Marta.

Aos meus Pais que me deram tudo.

À minha irmã pela amizade de sempre.

Abstract

Even though it is one of the most reliable sector to induce economic growth, R&D is not immune to the need to evaluate the State's role as financier. In this sense, the present exploratory study aims to evaluate the efficiency from the use of public resources in the production of new knowledge through the non-parametric methodology of DEA, with posterior bootstrap analysis to obtain efficiency indicators exempt from sampling bias.

Furthermore, the impact of exogenous variables through the correlation analysis and linear regression is analyzed, culminating with a cluster analysis.

Considered inputs are R&D expense and researchers from the Governmental and High Education sectors. Outputs rely on PCT patent appliances, scientific and technological articles published, and royalties and license revenues received.

The most efficient countries from 1998 to 2007, prior to the bootstrap analysis, are the USA, China and Ireland.

Keywords: Efficiency, R&D efficiency, Knowledge Production System, Data Envelopment Analysis, DEA, Use of Public Resources.

Resumo

Apesar de ser um sector com elevado potencial de provocar crescimento económico, a I&D não está imune à necessidade de se avaliar o papel de financiador do Estado. Neste sentido o presente estudo exploratório visa avaliar a eficiência da utilização de recursos públicos no sistema de produção de conhecimento através da metodologia não paramétrica DEA, com posterior *bootstrap* para obter indicadores de eficiência imunes a enviesamento derivados da amostra. Posteriormente analisa-se o impacto de variáveis exógenas através de análise de correlação e regressão linear e termina-se com uma análise de *clusters*.

São utilizados como input indicadores de despesa em I&D e investigadores do sector governamental e Ensino Superior, e como outputs, o número de pedidos de patentes PCT, e de artigos científicos e tecnológicos e os royalties e receitas de licenças recebidas.

Os países mais eficientes entre 1998 e 2007, antes do *bootstrap*, são os EUA, a China e a Irlanda.

Palavras-Chave: Eficiência, Sistema de Produção de Conhecimento, I&D, Análise Envolvente de Dados, DEA, Utilização de Recursos Públicos.

Conteúdo

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 9 |
| 2. Referencial Teórico..... | 11 |
| 2.1. Teorias do Crescimento Económico..... | 11 |
| 2.2. Sistema de Produção de Conhecimento..... | 12 |
| 2.3. Modelo conceptual..... | 14 |
| 2.4. Eficiência dos sistemas de produção de conhecimento..... | 15 |
| 3. Metodologia para cálculo da eficiência..... | 18 |
| 3.1. Metodologias para Análise da Eficiência..... | 20 |
| 3.2. Data Envelopment Analysis..... | 22 |
| 4. Modelo de cálculo da Eficiência..... | 27 |
| 5. Análise dos Resultados..... | 30 |
| 5.1. Eficiência da utilização de recursos públicos..... | 30 |
| 5.2. Controlo das variáveis ambientais..... | 32 |
| 5.3. Análise de Clusters..... | 33 |
| 6. Conclusões..... | 34 |
| Bibliografia..... | 35 |
| Anexos..... | 39 |
| Estatísticas Descritivas dos inputs e outputs..... | 39 |
| Índice de eficiência pura, calculado através do DEA, método BCC com orientação output.... | 41 |
| Benchmarks..... | 42 |
| Evolução da Eficiência Pura..... | 45 |
| Evolução da Eficiência corrigida..... | 46 |
| Fontes dos dados utilizados..... | 47 |
| Taxas Médias de eficiência e Economias de Escala para o período 1998-2007..... | 48 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema da Função de Produção de Conhecimento, sintetizado a partir de Griliches (1998) [Fonte: Quindos-Morán et al (2005)] | 13 |
| Figura 2 - Modelo Conceptual de Eficiência e Eficácia [Fonte: Conte et al (2009)] | 14 |
| Figura 3 - Representação gráfica da eficiência técnica e alocativa [Fonte: Farrel (1957)] | 18 |
| Figura 4 - Metodologias para análise da eficiência..... | 21 |
| Figura 5 - Fronteira de Eficiência obtida por diferentes metodologias | 22 |
| Figura 6 - A fronteira da eficiência e as DMU [Fonte: Rousseau e Rousseau (1997)]..... | 23 |
| Figura 7 - Fronteira de eficiência em cada economia de escala [Fonte: Laranjeira (2008)] | 26 |
| Figura 8 - Comparação das médias das Eficiências Puras e Corrigidas para os diferentes períodos temporais entre 1998 e 2007..... | 31 |

Siglas e Acrónimos

BCC: Modelo DEA de Banker, Charnes & Cooper (1984)

BRICS: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

CCR: Modelo DEA de Charnes, Cooper & Rhodes (1978)

CE: Comissão Europeia

COLS: Corrected Ordinary Least Squares / Método Corrigido dos Mínimos Quadrados

DEA: Data Envelopment Analysis / Análise Envolvente de Dados

DMU: Decision Making Unit

DPI: Direitos de Propriedade Intelectual

EA: Eficiência Alocativa

EE: Eficiência Económica / Eficiência de Escala

EPO: European Patent Office

ET: Eficiência Técnica

ETG: Eficiência Técnica Global

ETI: Equivalente de Tempo Integral

ETP: Eficiência Técnica Pura

EUA: Estados Unidos da América

FEAR: Frontier Efficiency Analysis with R

I&D: Investigação e Desenvolvimento

IDE: Investimento Directo Estrangeiro

ISCED: International Standard Classification of Education

JPO: Japan Patent Office

KIPO: Korean Intellectual Property Office

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PCT: Patent Cooperation Treaty

PIB: Produto Interno Bruto

PPL: Problema de Programação Linear

SFA: Stochastic Frontier Analysis / Análise de Fronteira de Produção Estocástica

SIPO: State Intellectual Property Office of the People's Republic of China

UE: União Europeia

USPTO: United States Patent and Trademark Office

WIPO: World Intellectual Property Organization

1. Introdução

O Conhecimento, e em particular a Investigação e Desenvolvimento (I&D), têm sido considerados pela literatura como o motor do desenvolvimento económico das nações mais avançadas. As externalidades da I&D e o valor acrescentado dos serviços e bens baseados no conhecimento, permitem que os países que saibam gerir com mestria o desenvolvimento das suas capacidades de geração de novo conhecimento e de criação e utilização de uma base ampla de saberes que alimente os seus sectores económicos, cresçam económica e socialmente.

No entanto, o investimento em conhecimento e na I&D implica o não investimento noutras áreas. Mandl et al (2008) constata que um nível elevado de despesa em áreas não discricionárias limita o espaço de manobra dos governos e reduz a possibilidade destes terem políticas robustas para objectivos de promoção do crescimento económico e da equidade. Sendo os recursos utilizados pelos Estados financiados principalmente por impostos, o aumento da carga fiscal - cuja receita é obtida a custos marginais cada vez maiores devido ao crescimento do sector público, aos custos de oportunidade e aos custos fixos de gerir a máquina do Estado, Afonso et al. (2006) - para fornecer recursos aos Estados implica a diminuição destes no sector privado e nas famílias, o que afecta negativamente o crescimento económico.

Afectando este contexto de múltiplas escolhas para promover o crescimento económico estão as alteração das tendências demográficas e a globalização, que se têm intensificado nas últimas duas décadas desde o fim da Guerra Fria. Os novos países emergentes, e em especial os BRICS¹, assim como as recentes democracias do leste Europeu, tornaram-se factores de pressão para o crescimento económico das economias mais avançadas. Crises sistémicas (1997-1998, Ásia, 2000-2001, bolha das *DotCom*, 2001-2002, Argentina, 2008 – 2011, EUA e Europa) e opções económica e financeiramente desastrosas provocaram desequilíbrios orçamentais em vários Estados, ainda não resolvidos.

Neste contexto, tem surgido nas últimas duas décadas um interesse crescente na análise da eficiência e eficácia das despesas públicas, pois torna-se cada vez mais importante que os bens públicos e a despesa efetiva sejam utilizados de uma forma eficiente e eficaz que satisfaça as necessidades sentidas pelos cidadãos de cada Estado.

Os Estados devem, face ao contexto atual e como forma de aumentar as taxas de crescimento económico, melhorar a eficiência e eficácia das suas políticas, libertando recursos e otimizando a relação de input - output do seu processo produtivo. O estudo mais aprofundado

¹ Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

deste processo, procurando comparar internacionalmente os países ao nível da eficiência, e posteriormente indo ao detalhe ao nível da eficácia dos instrumentos das políticas públicas, é, sem dúvida, útil e pertinente.

A I&D, enquanto atividade científica e tecnológica, é potenciadora de mudança e de inovação. É um importante mecanismo para aumentar o potencial de crescimento económico e espelha bem o empenho dos Governos e dos Estados na promoção de crescimento a longo prazo. Tal deve-se tanto à utilização de recursos humanos muito qualificados, como a melhoria das qualificações desses recursos que tem um efeito multiplicador considerável em diversos sectores económicos. De igual forma, as externalidades tecnológicas e científicas que a I&D proporciona permitem que diversos outros sectores, não diretamente ligados às atividades de I&D, possam beneficiar indiretamente do investimento feito.

Tendo como objectivo promover o crescimento económico, atual e futuro, a União Europeia (UE) desenvolveu em 2000 a Estratégia de Lisboa, que visava tornar o espaço europeu no mais vibrante e desenvolvido em termos de conhecimento científico e tecnológico. Para atingir esse fim foi definido, como grande meta, que a despesa em I&D deveria, antes de 2010, atingir em média 3% do PIB na UE. Reconhecendo a importância da mobilização do sector privado, esta estratégia foi completada pelas decisões dos Conselhos de Barcelona, em 2002, e de Bruxelas, em 2003, que estabeleceram que a maior parte desta despesa deveria ser realizada por privados. Esta estratégia, sendo uma linha orientadora para toda a UE, assentou num indicador meramente quantitativo, não impondo métricas qualitativas que realmente pudessem transformar o espaço europeu num grande gerador e consumidor de conhecimento, que potenciasse taxas de crescimento económico que permitissem a manutenção das grandes linhas do sistema social europeu.

Não tendo sido possível cumprir este objectivo, em 2008 a taxa média de despesa em I&D em percentagem do PIB estava em 1,90%, com grandes disparidades entre os Estados Membros, o reconhecimento da sua importância manteve-se, tendo sido estendido o prazo para atingir os 3% do PIB em despesa em I&D para 2020 no âmbito da nova estratégia de desenvolvimento sustentável e crescimento inteligente, Europa 2020.

Não sendo do interesse desta dissertação a análise das razões para o não cumprimento dos objectivos propostos pela Estratégia de Lisboa, é, no entanto, relevante calcular e analisar os resultados ao nível da eficiência da despesa pública em conhecimento que foi realizada na última década, comparando não só países da UE como também outros países da OCDE e emergentes. A análise da eficiência será realizada através do método *Data Envelopment Analysis* (DEA), inicialmente proposto por Charnes et al (1978) com base em Farrel (1957), que permite analisar, através de um conjunto de indicadores de input e output, a eficiência do sistema de produção de conhecimento, conforme definido por Griliches (1998), obtendo um

indicador quantitativo e qualitativo da capacidade de se produzir o máximo de conhecimento com a despesa e recursos utilizados. O método DEA, aprofundado por Banker et al(1984), permite também estudar a tipologia das economias de escala que caracteriza os sistemas de produção de conhecimento dos países analisados, assim como hierarquizar os níveis de eficiência e definir países referência para todos os países não eficientes (*benchmarks*). Possibilita-se assim uma posterior análise qualitativa das características dos países mais eficientes que permita dotar os países menos eficientes de indicações de como alterar as suas políticas científicas e tecnológicas.

O presente estudo está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 faz-se a revisão da bibliografia e do estado da arte do estudo da eficiência da despesa em I&D, da relevância desta despesa para a promoção do desenvolvimento económico e do sistema de produção de conhecimento; no capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada e o método DEA; no capítulo 4 é desenvolvido o modelo adoptado para análise da eficiência e são detalhados os dados de input, output e exógenos utilizados; no capítulo 5 é feita a análise dos resultados; e o capítulo 6 apresenta a conclusão e os contributos para futuras melhorias das políticas de ciência, tecnologia e promoção do conhecimento.

2. Referencial Teórico

2.1. Teorias do Crescimento Económico

O crescimento económico é um objectivo principal de todas as Economias. Só com crescimento económico é possível garantir os recursos para a manutenção de sistemas de apoio social, educacional e de saúde e para permitir o investimento público nas mais variadas áreas. Para atingir o crescimento económico sustentável é reconhecido pela literatura que a Investigação e Desenvolvimento (I&D) desempenha um papel importante na criação de um sistema económico baseado no conhecimento, que, por sua vez, tem um potencial de crescimento superior ao de outros sistemas económicos.

Desde o trabalho fundador de Schumpeter (1942) sobre a I&D, a inovação, o empreendedorismo e o mecanismo económico de destruição criativa, que a literatura sobre a relevância económica do conhecimento se tem vindo a desenvolver. Schmookler (1957) estudou o impacto das alterações tecnológicas, utilizando estatísticas de patentes, como variável endógena do crescimento económico. Solow (1957) identificou o papel importante da mudança tecnológica no crescimento económico, no âmbito da sua teoria neoclássica do crescimento económico exógeno. Posteriormente Romer (1986) e (1990) e Lucas (1988) avançaram com uma nova teoria para o crescimento económico, respondendo às falhas e omissões da teoria de Solow. Os autores consideram que mais do que variáveis exógenas, o que afecta as variações do crescimento económico são variáveis endógenas, tais como o

capital humano, o capital físico, a mudança tecnológica, a despesa pública, o comércio internacional, a distribuição de rendimentos e a política económica. Estas sete variáveis permitem justificar as variações de crescimento entre países diferentes.

Nelson e Winter (1982) introduziram a teoria evolucionista segundo a qual as inovações e a mudança tecnológica decorrem de assimetrias de informação e imperfeições concorrenciais nos mercados, e que o potencial de crescimento económico de cada país, ou região, está diretamente ligado com a acumulação de conhecimento e à evolução histórica dessa acumulação. A criação de uma economia baseada em conhecimento obriga à sua acumulação através de interações intra ou inter-sistema, sendo estas afectadas pelas condições socioeconómicas de cada país, assim como pelas condições de cada mercado. A este propósito, David *et al* (1999) indica que, atualmente, o principal argumento para a intervenção dos Governos no apoio à I&D é precisamente a correção das falhas de mercado na produção de conhecimento científico e tecnológico, já previamente reconhecido por Arrow (1962) e Nelson (1959)

Lundvall (1985) introduz o conceito de sistema de inovação, cujo modelo conceptual do processo de promoção de inovação é posteriormente desenvolvido por Kline e Rosenberg (1986) enquanto modelo interativo (*chain-link model*) por oposição ao modelo linear. Este novo modelo, por ser interativo, encara a inovação como um processo complexo com múltiplas iterações entre os diversos agentes que participam no processo de concepção e produção de uma inovação.

No seguimento destes trabalhos de contextualização da inovação e do conhecimento no seio da economia, Freeman (1987) e (1995) desenvolve o conceito de Sistema Nacional de Inovação, definido como o conjunto rede de entidades do sector público e privado cujas atividades e interações iniciam, obtêm, alteram e difundem novo conhecimento, novas tecnologias e inovações. Este conceito foi adoptado por diversos autores e desenvolvido, desde a sua introdução, através de estudos ao nível das empresas, regiões ou países, uma vez que é amplamente consensual que conhecer mais e melhor as características das interações entre os diversos agentes envolvidos na inovação e na criação e difusão de conhecimento é uma chave para melhorar a performance da tecnologia e da economia (OECD 2007).

2.2. Sistema de Produção de Conhecimento

A geração de conhecimento é um processo conceptual complexo e de difícil mensuração. Procurando resolver este problema a literatura tem olhado para a I&D como o processo empírico mais semelhante e mais facilmente determinável. Ao aliar a investigação de novas ideias e conceitos à produção de novos bens e serviços, este processo permite resumir a geração de conhecimento a um conjunto de inputs e outputs, mais facilmente mensuráveis. Isto permite a definição de limites dentro dos quais se torna possível estudar as interações entre os diversos agentes do sistema de produção de conhecimento. O investimento em I&D é, pois,

considerado fundamental num sistema de produção de conhecimento. No entanto, para além do volume deste investimento é necessário avaliar a forma como estes recursos são utilizados pois qualquer país que os utilize de forma ineficiente arrisca-se a uma elevada penalização na forma de um desenvolvimento muito mais lento em relação aos seus parceiros. Estudar a eficiência/ineficiência dos sistemas de produção de conhecimento tem-se tornado crucial para melhorar a sua gestão e para melhorar as políticas de alocação de recursos (Wang e Huang 2007).

Em associação com os modelos de crescimento descritos anteriormente está o conceito de uma função de produção de conhecimento/ideias, que descreve a criação de novo conhecimento dentro de uma economia. Griliches (1990) e (1998) definiu o processo de produção de conhecimento como a utilização de recursos (inputs), capital e trabalho, ou seja, despesa em I&D (representando o stock de conhecimento) e o número de cientistas, num processo de geração de inovação e conhecimento que se pretende que tenham valor económico.

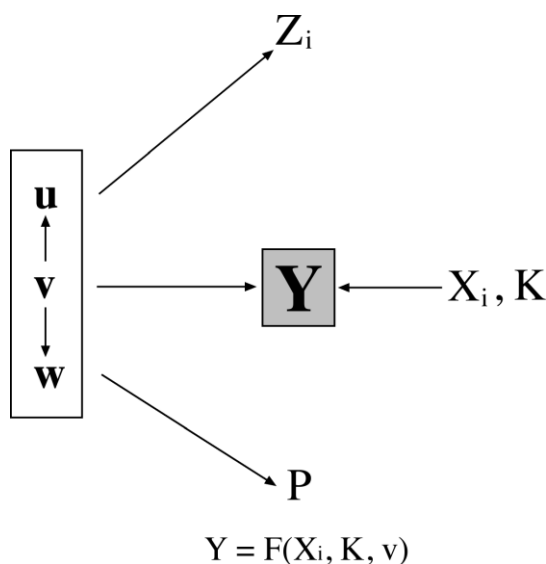


Figura 1 - Esquema da Função de Produção de Conhecimento, sintetizado a partir de Griliches (1998) [Fonte: Quindos-Morán et al (2005)]

A Figura 1, sintetizada a partir de Griliches (1998), exemplifica o esquema da função de produção de conhecimento. Y representa o output do novo conhecimento, Zi é um indicador de benefícios decorridos ou expectáveis do novo conhecimento, P representa o número de patentes (enquanto indicador quantitativo do numero de invenções), Xi representa o conjunto dos inputs, sendo K o stock de conhecimento, e por último, u, v e w são factores não mensuráveis ou não observados.

A obtenção do valor económico do output final do sistema produtivo/função de produção é o principal objectivo. No entanto, o valor económico do novo conhecimento é de difícil

mensuração, razão pela qual é necessário encontrar indicadores que meçam de forma indireta este output, representado na Figura 1 por Zi. Infelizmente, a não existência de dados estatísticos que permitam medir todos os benefícios económicos do sistema de produção de conhecimento obriga a reduzirmo-nos ao indicador representado na figura por P. O número de patentes é o indicador mais utilizado na literatura para medir a produção de novas ideias. Este indicador consegue medir eficazmente o output da I&D científica e tecnológica mas não é o mais indicado para medir inovações de serviços e processos. Não obstante isto, e apesar de este indicador não permitir também medir com eficácia os efeitos das atividades de I&D na melhoria da produtividade, dos factores produtivos e do crescimento económico, continua a ser o que mais se aproxima do resultado do processo produtivo dos sistemas de produção de conhecimento, Griliches et al (1987). Para além disto, a produtividade, o crescimento económico e a alteração do desempenho dos factores produtivos estão relacionados com diversos outros factores e políticas o que torna difícil, se não impossível, liga-los linearmente num modelo causa-efeito com a I&D.

2.3. Modelo conceptual

A análise da eficiência relaciona inputs e outputs de um processo produtivo. Dentro do mesmo quadro de análise é possível também analisar a eficácia ao incluir no modelo os resultados do processo produtivo a médio/longo prazo.

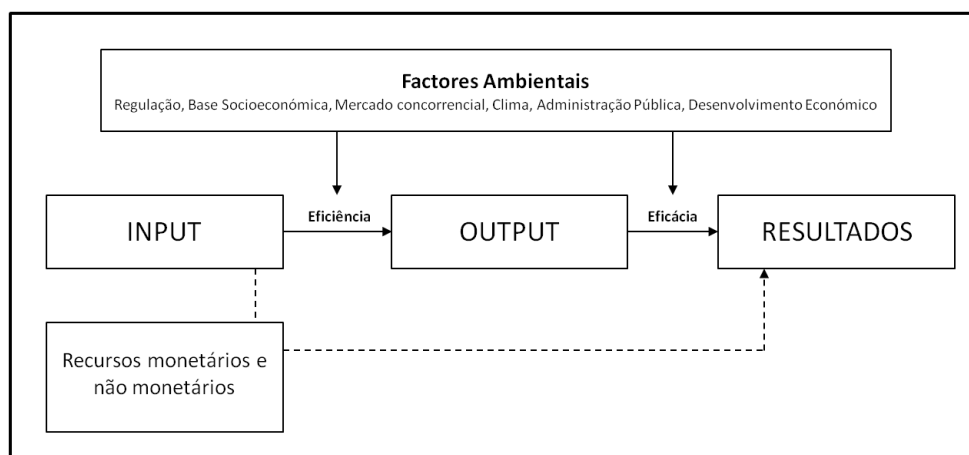


Figura 2 - Modelo Conceptual de Eficiência e Eficácia [Fonte: Conte et al (2009)]

O conceito de eficiência está relacionado com a produção do máximo possível de output para um dado valor de input. Esta maximização tem como limite uma fronteira de produção possível, definida, em grande parte, pela capacidade tecnológica e produtiva das entidades que fazem parte do mesmo sector. No entanto, factores ambientais também têm grande relevância na definição da fronteira e na capacidade das entidades a atingirem. Os factores ambientais

variam de país para país, de região para região, conforme o contexto socioeconómico e as políticas governamentais ou as conjunturas transnacionais.

Dentro deste modelo foram definidos os inputs relevantes para analisar a eficiência da utilização de recursos públicos (monetários e humanos) no sistema de produção de conhecimento. Estes inputs são: a despesa em I&D financiada pelo Governo e pelas instituições de Ensino Superior em percentagem do PIB, e o número de investigadores em instituições governamentais e do Ensino Superior em Equivalente de Tempo Integral (ETI) por milhão de habitantes.

Como indicadores do output mensurável foram seleccionados: número de pedidos de patente PCT por país de origem, número de artigos científicos e tecnológicos por país de origem, e royalties e taxas de licenciamento recebidas em percentagem do PIB.

Estes indicadores serão desenvolvidos com maior detalhe no capítulo 4.

As escolhas dos indicadores de input e output não foi, necessariamente, alheia à metodologia utilizada. Uma vez que se desconhece a função de produção do sistema que se quer avaliar foi escolhida uma metodologia não-paramétrica que permite através de programação linear estimar a eficiência. No capítulo 3 é desenvolvida a problemática do estudo económico da eficiência.

2.4. Eficiência dos sistemas de produção de conhecimento

Rousseau e Rousseau (1997) foram, pela revisão bibliográfica efectuada, os pioneiros na aplicação de técnicas não-paramétricas, concretamente a *Data Envelopment Analysis* (DEA), no estudo da eficiência da I&D. Utilizando uma amostra de 18 países com um modelo de dois outputs, número de patentes concedidas pelo *European Patent Office* (EPO) e número de artigos científicos, e três inputs, população ativa, produto interno bruto e despesa em I&D, os autores aplicam o método DEA (capítulo 3), orientado para inputs e com rendimentos constantes à escala, para obterem a eficiência do processo produtivo da I&D. Os resultados indicam a existência de 8 países com eficiência relativa de 100%, nomeadamente, a Áustria, a Alemanha, a Irlanda, a Holanda, a Suécia, a Suíça, o Reino Unido e o Canadá.

Rousseau e Rousseau (1998) continuaram a desenvolver o estudo da eficiência da I&D com o alargamento da amostra a países desenvolvidos não Europeus. Os autores abordam o problema da escassez de dados e do possível enviesamento tendencioso dos dados sobre patentes favorecendo os países europeus devido a utilizarem dados sobre patentes do EPO. Os autores utilizam o mesmo conjunto de inputs e outputs do estudo anterior e chegam a conclusões idênticas, havendo, no entanto, a particularidade de terem aplicado restrições à variação dos outputs, tentando com isto controlar efeitos de eficácia da I&D, uma vez que se impunham limites mínimos e máximos para assegurar que a metodologia considerava sempre os dois outputs.

Wang e Huang (2007) estudaram a eficiência das atividades de I&D através de uma metodologia de três etapas: primeiro aplicaram a metodologia DEA a um conjunto de dois inputs, stock da despesa em I&D² e número de recursos humanos em atividades de I&D, e dois outputs, um rácio de patentes, que inclui o número de patentes atribuídos por cada país da amostra aos residentes e o número de patentes concedidas pelos Estados Unidos da América (EUA) a cada país da amostra, e um rácio ponderado sobre o número de publicações científicas. Na segunda etapa utilizam os desperdícios ou ineficiências dos inputs (*input slacks*), ou seja, a quantidade de inputs que cada país está a consumir a mais do que devia para ser eficiente, como variável dependente numa regressão *Tobit* para controlar o impacto dos factores exógenos ao sistema. Com os resultados desta segunda etapa é de novo utilizado a DEA para obter eficiências limpas desses factores. A amostra neste estudo é de 30 países.

Sharma e Thomas (2008) desenvolveram um estudo com base em 18 países considerando uma diferença temporal entre os inputs, despesa em I&D e o número de investigadores por milhão de habitantes, e os outputs, patentes concedidas a residentes e artigos científicos e tecnológicos. Os autores utilizam o índice de produtividade de *Malmquist* para compararem séries temporais. As principais conclusões prendem-se com o crescimento dos países asiáticos e a melhoria dos seus indicadores de eficiência, nomeadamente da China, da Coreia do Sul e do Japão. A China consegue esta subida através do aumento do número de artigos científicos e tecnológicos e a Coreia do Sul apresenta taxas de crescimento elevadas no número de patentes.

Cullmann et al (2009a) e (2009b) estudam a eficiência da I&D através de uma metodologia de duas etapas: primeiro calculam os índices de eficiência através de DEA utilizando simultaneamente todas as séries temporais dos países da amostra, com o intuito de se estimar uma fronteira de produção intertemporal. Na segunda etapa utilizam o procedimento proposto por Simar e Wilson (2007) para, através de *bootstrap*, controlarem o impacto dos sistemas nacionais de contribuições e impostos.

Cincera et al(2009) analisam a eficiência da despesa pública em I&D e do suporte público de I&D desenvolvida por privados, através de uma amostra de 27 países. A eficiência calculada é posteriormente explicada por factores exógenos. O artigo propõe a existência de três grupos de países que se distinguem pelo desempenho das suas atividades de I&D e sugere a existência de impacto ambiental do sistema de impostos sobre o comércio internacional, da regulação do mercado de trabalho e concorrencial, assim como do sistema de proteção da propriedade

² O stock do investimento em I&D foi calculado através do método de inventário perpétuo sugerido por Guellec e van Pottelsberghe de la Potterie (2004). Estudos posteriores concluíram que não há diferenças relevantes que imponham a utilizam de stocks ou fluxo de despesa. Tal deve-se, naturalmente, à forte correlação entre os dois indicadores.

industrial. Os resultados obtidos demonstram uma forte correlação com o tamanho da economia e das empresas que desenvolvem atividades de I&D. Demonstram também que o investimento em I&D é fortemente eficiente, principalmente porque aumenta a qualificação dos recursos humanos, que por sua vez influencia também a eficiência neste sector. Outra conclusão foi que financiamentos de média dimensão são mais eficazes do que os de grande dimensão.

Wang (2007) utiliza o método paramétrico da análise da fronteira de produção estocástica para analisar a eficiência das atividades de I&D de 30 países. Controlando factores ambientais o autor obtém eficiências superiores às inicialmente estimadas, o que corresponde a um impacto negativo do ambiente exógeno.

Diversos outros estudos foram desenvolvidos para o cálculo da eficiência da I&D ou áreas conexas. Hu et al (2011), Lee e Park (2005), Thomas et al (2009), Quindos-Morán et al (2005) e Conte et al (2009) contribuíram para o estado da arte da literatura sobre a eficiência da I&D testando modelos e metodologias diferentes e métodos de controlo das variáveis ambientais.

O estudo da eficiência tem sido feito maioritariamente noutros sectores, sendo de referir os trabalhos Afonso et al (2005), que analisou a eficiência da despesa pública de 23 países industrializados da OCDE e, posteriormente, atualizou o estudo [Afonso et al (2006)] para os novos Estados-Membros da UE e alguns países asiáticos, através da criação de indicadores compósitos de performance e eficiência utilizando indicadores de recursos e de resultados; Afonso e St. Aubyn (2007), calcularam a eficiência da despesa no sector da saúde e concluíram que as ineficiências são elevadas neste sector: em média seria possível que os países aumentassem os seus resultados em 40% utilizando os mesmos recursos. Foram analisados os países da OCDE utilizando a metodologia DEA, controlando os factores exógenos e geradores de ineficiências através de regressões *Tobit* e técnicas *bootstrap*. Outros estudos na área da saúde foram desenvolvidos por Braz et al (2009) e Moreira (2008). Na educação Pereira e Moreira (2007) estudaram, com o recurso ao método da Análise de Fronteira de Produção Estocástica, a eficiência das escolas secundárias e concluíram que existe uma ineficiência técnica na utilização dos recursos, os resultados (medidos com base nos exames nacionais) deviam ser em média 10% superiores ao que são.

Outros estudos de eficiência foram realizados na área da construção, Edvardsen (2004), da banca e do sistema financeiro, Silva (2010), da estratégia empresarial, Laranjeira (2008), ou da Administração Local, Afonso e Fernandes (2005), entre outros.

3. Metodologia para cálculo da eficiência

A eficiência é definida por Farrel (1957) como a utilização ótima de recursos num sistema produtivo. Um sistema produtivo, por definição, utiliza recursos (inputs) no seu processo produtivo para produzir bens ou serviços (outputs). Uma entidade é eficiente quando produz o máximo de outputs utilizando uma determinada quantidade de inputs (orientação para os outputs), ou quando utiliza o mínimo de inputs para produzir uma determinada quantidade de outputs (orientação para os inputs). Em ambos os casos esta entidade estará a produzir ao nível da fronteira de produção.

Farrel (1957) decompõe a eficiência em três componentes: eficiência técnica, eficiência alocativa (ou de preços) e eficiência económica (ou geral).

Ao se calcularem as quantidades ótimas de outputs ou inputs (conforme a orientação) obtém-se a eficiência técnica do sistema produtivo. Caso a relação entre inputs e outputs da entidade em análise corresponda à melhor combinação possível, ou seja, à fronteira de produção (quantidades ótimas de input e output), essa entidade é considerada tecnicamente eficiente.

Quando se toma em consideração o valor monetário dos inputs, a combinação ótima de inputs é obtida quando as quantidades utilizadas permitem minimizar o custo de produção dos outputs. Uma entidade a operar neste cenário é considerada alocativamente eficiente.

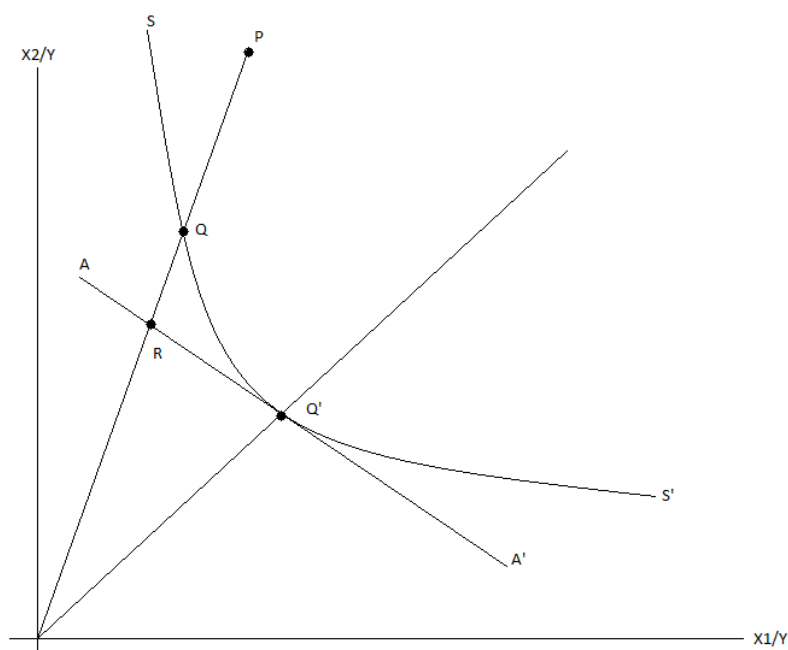


Figura 3 - Representação gráfica da eficiência técnica e alocativa [Fonte: Farrel (1957)]

Considerando a Figura 3, que representa a utilização dos inputs X1 e X2 na produção do output Y, e seguindo uma orientação para os inputs, conclui-se que uma entidade é tecnicamente eficiente se estiver sobre a isoquanta (S, S') ³, conforme é o caso da entidade Q. A eficiência técnica da entidade Q será então igual a 1. Analisando a eficiência técnica da entidade P, definida pela equação (1), o segmento QP representa a diminuição de inputs que esta entidade poderá fazer sem haver redução do output, por forma a melhorar a sua eficiência técnica.

$$ET_P^{input} = \frac{OQ}{OP} = 1 - \frac{QP}{OP} \quad (1)$$

A eficiência técnica da entidade P fica compreendida entre 0 e 1, sendo sempre comparada com o *benchmark* da amostra, ou seja, com as entidades presentes na amostra que tenham a combinação óptima de inputs para produzir uma quantidade de outputs, isto é que estejam sobre a fronteira de produção, neste caso representada pela entidade Q.

A eficiência alocativa, ou eficiência preço, é calculada adicionando ao gráfico da Figura 3 a recta dos isocustos, que tem um declive igual ao rácio dos preços dos inputs X1 e X2. Assim, para a entidade P a eficiência alocativa é representada pela equação (2).

$$EA_P^{input} = \frac{OR}{OQ} \quad (2)$$

Esta equação representa também a eficiência alocativa da entidade Q. Esta entidade, apesar de ser tecnicamente eficiente, não se encontra na melhor combinação de preços. No caso da entidade Q querer melhorar a sua eficiência alocativa mantendo o nível da eficiência técnica teria que reduzir os seus custos de produção por um factor de $\frac{OR}{OQ}$, o que seria conseguido

através de uma deslocação ao longo da fronteira de produção para o ponto Q'. Com esta movimentação a entidade Q, agora no ponto Q', seria simultaneamente eficiente técnica e alocativamente, ou seja, produziria uma determinada quantidade de outputs com a menor quantidade de inputs e ao mais baixo custo possível.

Considera-se, então, que todas as entidades em que a recta que passa na origem até ao ponto que representa a sua combinação de inputs para a produção de outputs tenha o mesmo declive partilham a mesma eficiência alocativa.

O produto destas duas eficiências constitui a eficiência económica (ou global, ou produtiva), equação (3), que traduz a capacidade de uma entidade produzir um output utilizando as quantidades mínimas de inputs (eficiência técnica) e a combinação de inputs que minimiza os custos (eficiência alocativa).

$$EE = ET \times EA \quad (3)$$

³ Assume-se que a função de produção é conhecida e que os rendimentos são constantes à escala.

No caso da entidade P, a eficiência económica é definida pela equação (4). Este rácio representa a fracção pela qual a combinação de inputs tem que ser alterada para permitir a optimização da produção para que se torne eficiente técnica e alocativamente.

$$EE = \frac{0Q}{0P} \times \frac{0R}{0Q} = \frac{0R}{0P} \quad (4)$$

A combinação óptima que equivale à eficiência económica máxima é óptima também no sentido de Pareto, uma vez que não é possível alterar qualquer input ou output sem provocar um aumento ou uma diminuição noutros inputs ou outputs, diminuindo o bem-estar desta ou de outras entidades. Seguindo também a óptica de Pareto esta combinação não tem necessariamente de ser socialmente óptima (e aceitável) para a entidade em causa. Desta forma, poderá ser necessário em alguns sectores económicos funcionar fora da eficiência económica.

Farrel (1957) definiu com este estudo o quadro teórico de análise da eficiência dos sistemas de produção. A limitação inicial ao nível da quantidade de inputs e outputs foi posteriormente eliminada com a generalização para um cenário de múltiplos inputs e outputs, equação (5).

$$E_k = \frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}} \quad (5)$$

em que:

- Y_{jk} representa o output j da entidade k
- X_{ik} representa o input i da entidade k
- u_j representa o peso de cada output j
- v_i representa o peso de cada input i

Um conceito que por vezes se confunde com a eficiência é a produtividade. Coelli et al (1998) define a produtividade como a relação entre o nível de outputs e os custos dos inputs. A eficiência, por outro lado, relaciona os outputs produzidos com a quantidade de outputs que poderiam ter sido produzidos utilizando os mesmos inputs. O foco principal do estudo da eficiência é identificar o grau de concretização face aos objectivos iniciais que cada entidade autodefiniu num plano de comparação com o *benchmark* da amostra.

3.1. Metodologias para Análise da Eficiência

Existem dois grandes grupos de metodologias para analisar a eficiência: métodos de fronteira e indicadores de desempenho.

Indicadores de desempenho, utilizados por exemplo em Afonso et al (2006), consistem na utilização de indicadores individuais ou compósitos para avaliar aspectos concretos da entidade estudada. Conseguem agregar diversos sub-indicadores mas a possível não relação entre estes e a escolha aleatória dos ponderadores a aplicar a cada sub-indicador, não os torna indicadores para avaliar corretamente a eficiência de uma entidade ou de uma política. Os métodos de fronteira utilizam o conceito de fronteira de produção, indicado anteriormente, para o cálculo que um indicador de eficiência. Estes métodos podem ser divididos em dois grupos: métodos paramétricos e métodos não-paramétricos ou semi-paramétricos. A diferença entre os dois está na admissão, ou não, de uma função de produção definida à priori.

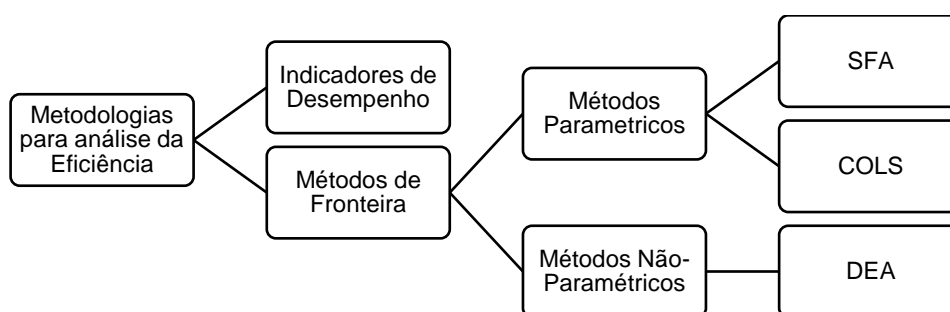


Figura 4 - Metodologias para análise da eficiência

Os métodos paramétricos utilizam técnicas econométricas, incluindo no cálculo componentes que representam o erro estatístico, derivado do ruído que os dados possam ter e da inadequação da função de produção, e a ineficiência relativa, representando o desvio face à fronteira. Estas componentes permitem controlar a presença de factores exógenos ao sistema produtivo. A técnica mais representativa deste método é a Análise de Fronteira de Produção Estocástica (SFA⁴), sendo também utilizado o método COLS – Método Corrigido dos Mínimos Quadrados.

Os métodos não-paramétricos, ou semi-paramétricos, por não determinarem à priori a função de produção, utilizam programação matemática para construir a fronteira de produção com base nos dados de input e output. A fronteira é determinada com os elementos da amostra mais eficientes, que se tornam no *benchmark* para todas as outras entidades. As entidades não eficientes medem o seu nível de eficiência/ineficiência em relação às entidades que definem a fronteira de produção. Estes métodos têm a vantagem de conseguir lidar com múltiplos inputs e outputs, mas no entanto, por depender fortemente dos dados da amostra e da sua dimensão, são sensíveis a variações extremas nos dados, a *outliers* e a ruído estatístico. A técnica mais utilizada é a DEA – Análise Envoltente de Dados⁵.

⁴ SFA – Stochastic Frontier Analysis

⁵ DEA – Data Envelopment Analysis

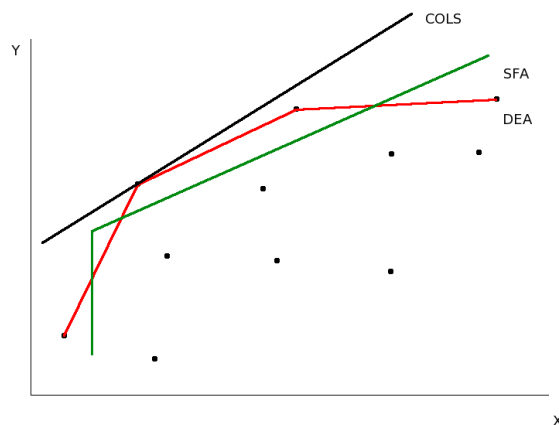


Figura 5 - Fronteira de Eficiência obtida por diferentes metodologias

As metodologias de fronteira têm sido fortemente utilizadas nos últimos anos, no entanto, a decisão entre quais das duas metodologias, paramétrica ou não-paramétrica, é a melhor continua a ser objecto de intenso debate, nomeadamente entre os que advogam a SFA e os que advogam a DEA. A SFA requer a definição de uma função de produção e a estimação da distribuição estatística do erro, o que pode influenciar fortemente os resultados, além de que implica cálculos complexos. A DEA, apesar de não permitir estimar automaticamente a inferência de factores exógenos, permite a utilização de múltiplos outputs e inputs e não requer nenhum conhecimento apriorístico da função de produção.

Apesar de existirem alguns estudos sobre a forma da função de produção de conhecimento, Solow (1957) e Griliches (1992) entre outros, estes são inconclusivos para aplicação a nível macroeconómico. Também ao nível da inferência do impacto de factores exógenos, Simar e Wilson (2007), apresentam uma metodologia que inclui um segundo passo para controlo destes factores utilizando o procedimento *bootstrap*, pelo que é possível ultrapassar esta deficiência. Foi também considerado a necessidade de se utilizar mais que um indicador de output para estimar corretamente a produção de novo conhecimento.

Devido a estes factores optou-se pela utilização do método DEA.

3.2. Data Envelopment Analysis

A técnica DEA foi desenvolvida, no seu modelo inicial, por Charnes et al (1978) que a conceberam como uma estimação empírica da fronteira de produção através da utilização de programação linear. Sendo uma metodologia não-paramétrica, e desconhecendo-se por isso a forma da função de produção, a DEA analisa as combinações de inputs e outputs das entidades presentes na amostra, denominadas DMU⁶, por forma a calcular os seus níveis de

⁶ DMU – Decision Making Unit

eficiência técnica relativa, ou seja, em relação às DMU consideradas totalmente eficientes. Ao relacionar os inputs e outputs, através de ponderadores, esta técnica cria uma envolvente que engloba todos os sistemas produtivos das DMU. As DMU que pertencerem à envolvente são consideradas tecnicamente eficientes, sendo os seus níveis de input e output óptimos. A DEA permite então, com base em inputs e outputs de DMUs homogêneas, estimar empiricamente a forma da função de produção e calcular quais as DMUs tecnicamente eficientes, que constituem a fronteira de produção. A eficiência das restantes DMUs será comparada com a fronteira de produção, possibilitando a identificação de ineficiências, ou seja, a distancia radial relativa à fronteira de produção.

Os níveis de eficiência calculados são, no entanto, apenas válidos para o conjunto da amostra estudada. A DEA está fortemente dependente dos valores dos inputs e outputs incluídos no modelo. A inclusão de novas DMU irá alterar a fronteira de produção e, conseqüentemente, os níveis de eficiência.

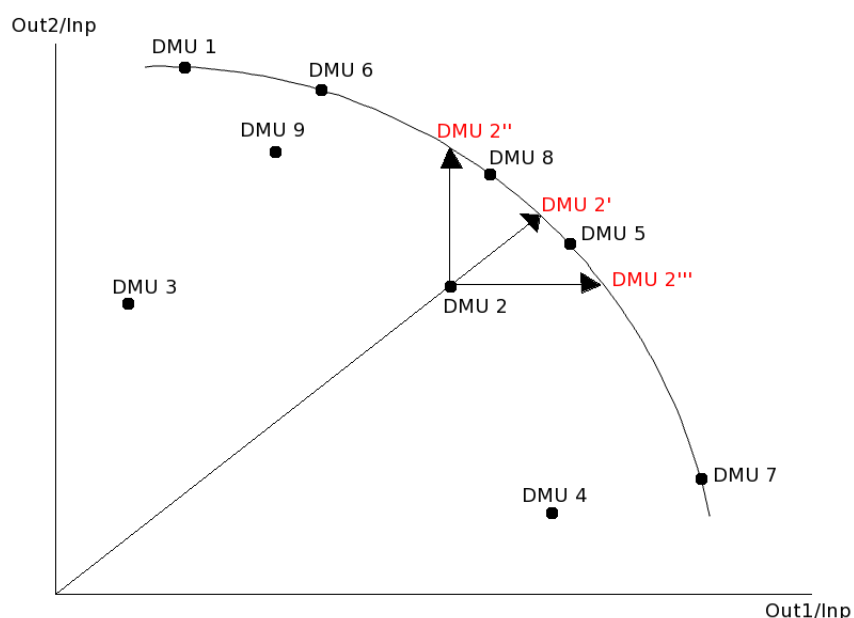


Figura 6 - A fronteira da eficiência e as DMU [Fonte: Rousseau e Rousseau (1997)]

A DEA é uma metodologia de duas fases: primeiro são identificadas as DMU eficientes que constituem a fronteira de produção, segundo é atribuída a cada DMU uma ponderação em termos de eficiência comparando o rácio de outputs/inputs com as DMU eficientes que formam a fronteira, e especialmente com aquelas que são consideradas o *benchmark* da DMU em análise. A Figura 6 representa a fronteira de eficiência, formada pela união de todas as DMU eficientes num segmento convexo, e as DMU que não são eficientes. No caso da DMU 2, esta é ineficiente na medida em que existem outras DMUs que para uma combinação de inputs igual ou semelhante produzem mais output. A DEA permite que se identifique quais as DMU eficientes que servem de *benchmark* à DMU 2, neste caso serão as DMU 8 e DMU 5. Este

benchmark permite que se calcule qual a redução dos inputs, ou o aumento dos outputs, necessários para que a DMU 2 atinja a fronteira de eficiência e se torna 100% eficiente. O caminho identificado pela DEA baseia-se numa evolução radial desde a origem até à fronteira de produção, ou seja, a evolução óptima para a DMU 2 atingir o ponto DMU 2'. No entanto, existem outros caminhos, que não o radial, e opções para chegar à fronteira da eficiência (por exemplo DMU 2'' ou DMU 2'''), Rousseau e Rousseau (1997).

Charnes et al (1978) formularam o seguinte problema de cálculo da eficiência, orientado aos inputs e com rendimentos constantes à escala (exemplificado o caso da DMU 0):

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}} \quad (6)$$

sujeito a (s. a):

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m$$

sendo:

- Y_{r0} representa o output r da entidade 0
- X_{i0} representa o input i da entidade 0
- u_r representa o peso de cada output r, necessariamente maior que zero
- v_i representa o peso de cada input i, necessariamente também maior que zero

As variáveis que o modelo vai calcular são os pesos associados aos outputs e inputs (u_r e v_i). Estes pesos são definidos de forma a maximizar a eficiência, sendo por isso associados pesos maiores aos outputs mais produzidos e menores aos inputs mais utilizados, Rousseau e Rousseau (1997). Os pesos estão, no entanto, sujeitos à condição que se forem aplicados a outras DMU estas não podem ter uma eficiência superior a 1 (100%).

Este modelo, conhecido como CCR, Charnes et al (1978), é não linear e não convexo, possuindo infinitas soluções óptimas. Logo, para resolvê-lo é necessário transformá-lo num sistema de equações lineares, tendo em conta a necessidade de maximização e as restrições impostas. Tal é possível igualando o denominador a uma constante, sendo esta normalmente a unidade. Assim, o modelo do PPL⁷ da DMU 0 é o seguinte:

⁷ Problema de Programação Linear

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} \quad (7)$$

s.a:

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, j$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m$$

Esta forma do modelo é também conhecida como modelo multiplicador, nome pelos quais são também identificados os pesos u_r e v_i . O modelo minimiza os consumos dos inputs, por forma a colocar o nível de produção no seu ponto mínimo, através da maximização do output ponderado pelo multiplicador. O modelo está também restrito a uma eficiência máxima de 1, uma vez que a primeira e a segunda restrição impedem que a maximização atinja valores superiores a este valor.

A orientação para outputs do modelo CCR tem a seguinte formulação:

$$\min h_0 = \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} \quad (8)$$

s.a:

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

$$r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n$$

O objectivo deste modelo é a maximização do output, utilizando, no máximo, os inputs já em utilização.

O modelo CCR foi ampliado por Banker et al (1984), que desenvolveram o modelo BCC que, em vez de rendimentos constantes à escala apresenta rendimentos variáveis à escala, permitindo assim que a eficiência varie em função da escala da produção. Esta diferença é

importante uma vez que afecta a relação entre inputs e outputs, logo a fronteira de produção, Figura 7, e consequentemente a eficiência das DMU.

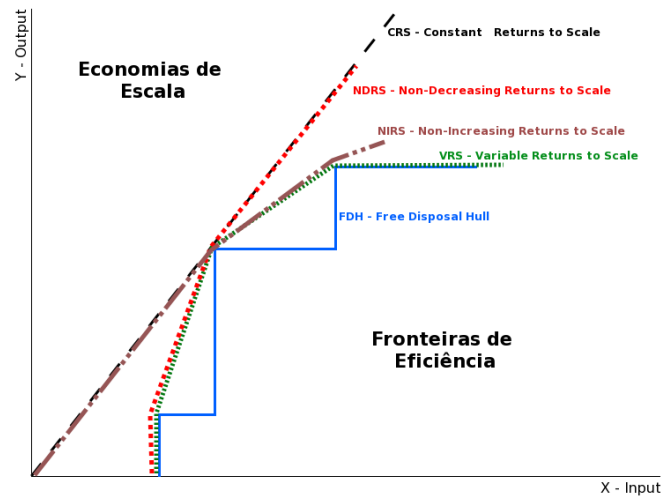


Figura 7 - Fronteira de eficiência em cada economia de escala [Fonte: Laranjeira (2008)]

A formulação matemática do modelo BCC, com orientação aos inputs, é a seguinte:

$$\max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - u_k \quad (9)$$

s.a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - u_k &\leq 0 \\ u_r, v_i &\geq 0 \\ r &= 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

A variável u_k representa os retornos variáveis de escala e, por isso, não respeita a restrição de positividade, podendo assumir valores negativos.

A formulação matemática do modelo BCC com orientação aos outputs é a seguinte:

$$\min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + v_k \quad (10)$$

s.a:

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_k \leq 0 \\
& u_r, v_i \geq 0 \\
& r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n
\end{aligned}$$

Neste caso a variável v_k representa também a possibilidade de existência de retornos de escala variáveis, podendo por isso assumir valores negativos ou positivos.

A combinação dos dois modelos, CCR e BCC, permite a obtenção da eficiência de escala (EEs). A eficiência calculada com o modelo CCR corresponde à eficiência técnica global (ETG), uma vez que não toma em consideração efeitos de escala de produção, ou seja, as ineficiências provocadas pelas DMU operarem com economias a escala não constante. Por seu lado o modelo BCC calcula a eficiência técnica pura (ETP), uma vez que se encontra depurado das componentes relacionadas com as ineficiências de produção a escalas inadequadas. Ao combinar estas duas eficiências obtém-se o indicador de eficiência de escala:

$$EEs = \frac{ETG}{ETP} \quad (11)$$

Se a ETG for igual a 1 a DMU opera com eficiência técnica global. Se a ETG for inferior a 1, a DMU apresenta ineficiências produtivas que podem estar relacionadas com ineficiências técnicas ou de escala.

Se a ETP for igual a 1, a ineficiência produtiva é decorrente da DMU produzir a uma escala inapropriada. Se a ETP for inferior a 1, a DMU produz com ineficiência técnica. Neste cenário, se a EEs for igual a 1, a ineficiência da DMU é decorrente de factores técnicos. Por outro lado, se a EEs for inferior que 1, a DMU analisada apresenta factores de ineficiências técnicas e de escala.

4. Modelo de cálculo da Eficiência

A utilização da DEA permite a utilização de um conjunto alargado de inputs e outputs. Para o estudo da eficiência da utilização de recursos públicos foram considerados como inputs⁸ a despesa em I&D financiada pelo Governo e pelas instituições de Ensino Superior em percentagem do PIB, e o número de investigadores em instituições governamentais e do Ensino Superior em Equivalente de Tempo Integral (ETI) por milhão de habitantes.

A escolha do indicador de despesa na óptica do financiador e não do executor prende-se, precisamente, com a intenção de se estudar o funcionamento do sistema de produção na

⁸ Ver estatísticas descritivas nos anexos

óptica do investimento público. A indexação ao PIB faz-se para permitir a comparabilidade dentro da amostra.

Devido à forte correlação entre a despesa em I&D e os recursos humanos envolvidos nestas atividades alguma literatura desconsidera este indicador não o incluindo no modelo. No entanto considera-se para o presente estudo que os recursos humanos envolvidos, e especialmente os investigadores, são importantes para se dar a maior diversidade de factores relevantes ao modelo.

Como output⁹ foram utilizados o número de pedidos de patente PCT por país de origem, o número de artigos científicos e tecnológicos por país de origem, e os royalties e taxas de licenciamento recebidas em percentagem do PIB.

A opção por pedidos de patentes PCT prende-se com a relevância económica que estes pedidos terão, uma vez que permitem ganhar vantagem e mais fácil acesso aos procedimentos de concessão de patentes na maioria dos mercados económicos relevantes. A escolha de indicadores compósitos a partir de dados do EPO, USPTO¹⁰, JPO¹¹ e do SIPO¹², ou diretamente do WIPO¹³, foi considerada tendo sido criado um indicador com a média ponderada para cada país dos pedidos de patentes internacionais (nas quatro entidades indicadas anteriormente) e nacionais por residentes. No entanto ao serem comparados as eficiências calculadas utilizando esse indicador ponderado com as eficiências calculadas com recurso a outros indicadores de patentes (pedidos PCT ou pedidos de residentes em cada instituto nacional de protecção de propriedade industrial), considerou-se que o indicador de pedidos de patentes PCT era mais robusto e espelhava um maior potencial económico.

Sendo o processo produtivo de novo conhecimento complexo e, por definição, inventivo, este necessita de um período de produção algo extenso entre a utilização dos inputs e a produção dos outputs. Devido a este aspecto particular do sistema de produção de conhecimento é necessário, para os cálculos do DEA, considerar inputs e outputs que tenham uma diferença temporal. Não existe um consenso final sobre qual a duração desta diferença temporal, Adams e Grilliches (2000) consideram 5 anos, Guellec and van Pottelsberghe de la Potterie (2004) consideram 1 ano para entidades empresariais e 2 para entidades públicas, Wang e Huang (2007) consideram 3 anos. Por forma a ter um número elevado de intervalos, e porque se pretende estudar a produção da globalidade do sistema, e não apenas de entidades públicas, considera-se, para o presente estudo, que no cálculo da eficiência os inputs e os outputs estarão separados temporalmente por 2 anos. Este intervalo é razoável, e em linha com a média das considerações da literatura de referência, para, a partir de investimento e recursos públicos, serem produzidos os outputs que irão ser utilizados no modelo.

⁹ Ver estatísticas descritivas nos anexos

¹⁰ United States Patent and Trademark Office

¹¹ Japan Patent Office

¹² State Intellectual Property Office of the People Republic of China.

¹³ World Intellectual Property Organization

Como variáveis exógenas ao modelo foram consideradas as exportações de produtos de alta tecnologia em percentagem da produção exportada; o índice de protecção de direitos de propriedade intelectual, calculados por Park (2008)¹⁴; o índice de liberdade e tamanho do governo, calculado todos os anos pelo Frasier Institute no âmbito do relatório “Economic Freedom of the World”, quanto maior for o tamanho do Governo, e do Estado, de mais recursos ele precisará, provocando uma diminuição na liberdade de cada um decidir o que fazer com os seus recursos; valor acrescentado da indústria em percentagem do PIB; e o números de alunos da Educação Superior (ISCED 5 e 6) por milhão de habitantes.

O modelo seguirá os seguintes passos: na primeira fase serão calculadas através da metodologia DEA e com os dois inputs e os três outputs as eficiências das DMU. Num segundo passo, e seguindo Simar e Wilson (1998) e (2007) e Edvardsen (2004), é utilizada o método bootstrap para corrigir os indicadores de eficiência que, devido à dimensão reduzida da amostra, contêm enviesamentos. A fronteira de produção definida pelo DEA baseia-se nos melhores elementos da amostra. No entanto, no universo real esses elementos podem não ser os melhores, e, ao terem sido incluídos naquela amostra enviesaram negativamente a análise. Para que a fronteira de produção estimada pelo DEA se aproxime da fronteira real é necessário que a amostra tenha muitos elementos e de grande variedade. Não sendo isto possível na maioria das vezes, Simar e Wilson (1998) sugeriram a utilização do método bootstrap que permite, a partir de uma amostra, inferir o universo e criar novas amostras. Utilizando este método é possível recalcular consecutivamente a fronteira de produção do modelo reduzindo o enviesamento. Ao ser definida uma nova fronteira será também definido uma nova ineficiência, necessariamente maior do que a inicial pois a nova fronteira estará mais longe das DMU existentes.

Posteriormente, num terceiro passo, os novos indicadores de eficiência são correlacionados com as variáveis exógenas e é feita uma regressão linear para controlar os seus impactos.

O cálculo das eficiências foi feito com recurso ao *software* MaxDEA 6.0 (Beta 2), posteriormente confirmados através dos pacotes FEAR¹⁵ e Benchmarking¹⁶ do ambiente de programação para computação estatística R. Estes dois pacotes de software foram utilizados para o cálculo e correção do enviesamento estatístico com recurso ao método *bootstrap*.

Posteriormente as correlações e as regressões lineares foram feitas com o *software* SPSS.

¹⁴ O Índice de Protecção de Direitos de Propriedade Intelectual (*Index of Patent Rights*), desenvolvido por Ginarte e Park (1997), e completado com dados mais recentes e para mais países por Park (2008), quantifica a protecção das leis nacionais aos direitos de propriedade intelectual. O índice é apresentado numa escala de 0 a 5 (sendo 5 a protecção mais forte) e é composto por 5 categorias de análise: amplitude da cobertura, duração da protecção, mecanismos de *enforcement*, participação em tratados internacionais de direitos de propriedade intelectual, e restrições ou limitações ao uso dos direitos de propriedade intelectual.

¹⁵ FEAR: Frontier Efficiency Analysis with R, de Paul W. Wilson (<http://www.clemson.edu/economics/faculty/wilson/Software/FEAR/fear.html>)

¹⁶ Benchmark and frontier analysis using DEA and SFA, de Peter Bogetoft e Lars Otto (<http://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/>)

5. Análise dos Resultados

5.1. Eficiência da utilização de recursos públicos

Dos resultados do primeiro passo do modelo conclui-se que as entidades presentes na amostra têm economias variáveis à escala e, como tal, será mantida a utilização da metodologia BCC com orientação aos outputs. Esta orientação prende-se com o facto do objectivo geral do financiador, os Estados, não ser, teoricamente, a diminuição de inputs mas sim a maximização dos outputs para atingir o máximo de efeitos possíveis.

A tabela “Taxas Médias de eficiência e Economias de Escala para o período 1998-2007”, presente nos anexos, apresenta as taxas médias de eficiência e economias de escala para o período analisado, 1998-2007. A tabela encontra-se ordenada de forma decrescente pela eficiência pura. Neste período os países mais eficientes foram os Estados Unidos da América (EUA), a Irlanda e a China. A contribuição do Governo dos EUA no sistema de produção de conhecimento tem rendimentos constantes à escala, enquanto que na Irlanda e na China, a contribuição dos poderes públicos apresenta rendimentos crescentes.

Em 28 países apenas 6 apresentam rendimentos decrescentes à escala. No entanto apenas nos EUA a Eficiência de Escala, ou seja, o rácio entre a eficiência técnica e a eficiência pura, é igual a 1, todos os outros países têm que modificar o seu processo produtivo e resolver erros de gestão e alocação de recursos de forma a atingirem a máxima eficiência neste indicador.

É de realçar também que ao longo do período em análise os *benchmarks* (ver anexo) das DMUs presentes na amostra foram sendo alterados, o que é explicável com o evoluir dos sistemas nacionais de inovação e de produção de conhecimento. Nos anexos “Evolução da Eficiência Pura” e “Evolução da Eficiência corrigida” podem-se ver as evoluções entre 1998 e 2007, em termos de eficiência pura e eficiências corrigidas, dos 28 países.

A evolução da Grécia, apesar de ser feita contra a tendência natural das políticas de incentivo macroeconómicas, ou seja, através da redução de inputs, é notável. Entre o ciclo 2002-2004 e 2003-2005 a Grécia teve uma diminuição de 0,1% do PIB no investimento público em I&D. Mesmo com este corte a Grécia conseguiu manter os mesmos, ou idênticos, outputs comprovando a possibilidade de redução de custos (ou inversamente de aumento dos outputs) mantendo o mesmo nível de produção, não sendo, no entanto, expectável, a manutenção deste desempenho a médio prazo.

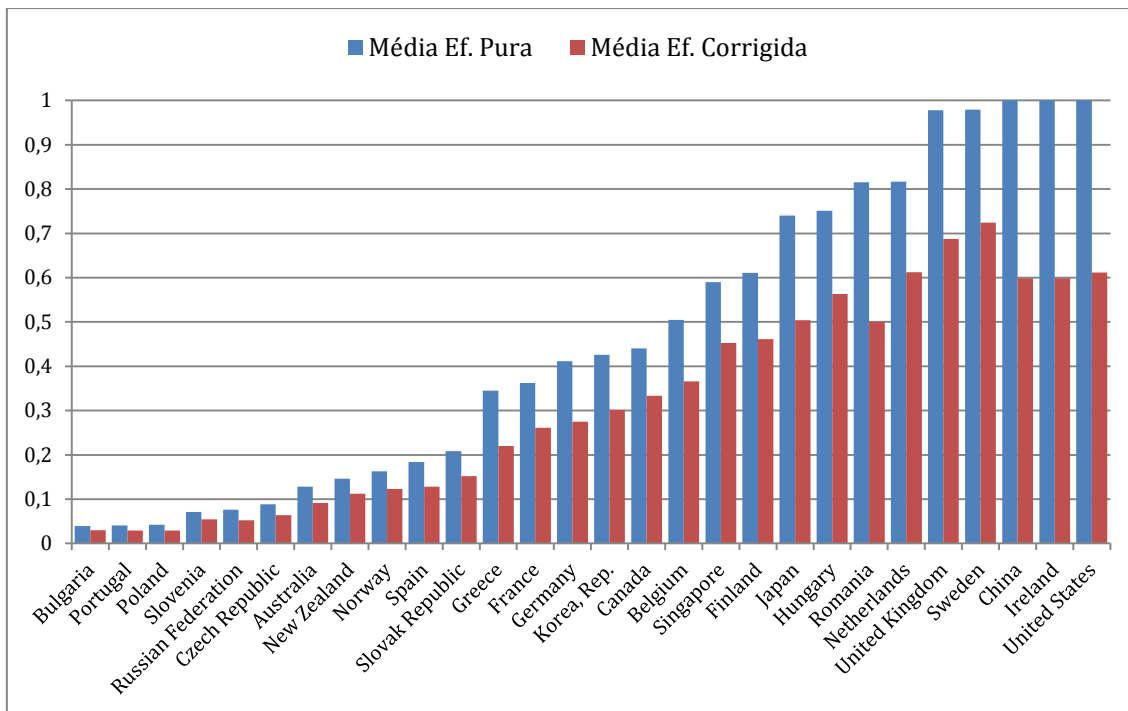


Figura 8 - Comparação das médias das Eficiências Puras e Corrigidas para os diferentes períodos temporais entre 1998 e 2007

Conforme já indicado no capítulo anterior, o recurso a um método de *bootstrap* é feito para reduzir as tendências de enviesamento da fronteira de produção estimada que o DEA provoca. Estando o DEA fortemente dependente da amostra para calcular a fronteira, só aumentando a amostra é possível eliminar esse problema. O *bootstrap* permite simular a existência de DMUs virtuais que provoquem no DEA o redesenho da fronteira de produção para níveis superiores aos existentes na amostra.

No caso do sistema de produção de conhecimento este raciocínio, apesar de à-priori válido, necessita de ser futuramente confirmado por testes empíricos mais robustos. Esta necessidade prende-se com o facto da amostra de 28 países incluir os países com mais produção científica, e como tal, não se perspectivam que outros países fora deste conjunto venham, no curto prazo, a redefinir a fronteira de produção.

No entanto, tendo em consideração a área em questão, e à luz da evolução tecnológica, faz sentido não concluir que um país é 100% eficiente, uma vez que existem diversos factores que podem condicionar, ou potenciar, a eficiência mas que são desconhecidos ou não mensuráveis. A análise *bootstrap* ao ampliar a amostra permitiria aumentar a influência desses factores provocando uma redução da eficiência. A Figura 8 confirma que foram os países economicamente mais importantes e mais complexos os mais penalizados pela correção da eficiência. Pode-se pois estar perante países que, por força da sua vantagem competitiva estrutural, se apresentam perante análises mais simples como os mais eficientes, mas que quando se conseguem controlar essas vantagens sofrem uma penalização.

5.2. Controlo das variáveis ambientais

Para testar o impacto das variáveis ambientais, exógenas ao modelo, apresentadas no capítulo 4, foi feito para cada ciclo produtivo¹⁷ uma análise de correlação entre a eficiência pura, a eficiência corrigida, e as 5 variáveis exógenas. Esta análise identificou forte correlação positiva entre as duas eficiências e a exportação de produtos de alta tecnologia, significativa ao nível de 0,01. Foi também identificada outra correlação, significativa ao nível de 0,05, com o índice de proteção de Direitos de Propriedade Intelectual.

Estas correlações estão presentes em todos os ciclos produtivos em análise, podendo-se concluir que a eficiência da utilização de recursos públicos no sistema de produção de conhecimento contribui positivamente para as exportações de bens de alta tecnologia, assim como melhoria do respeito pelos Direitos de Propriedade Intelectual.

Como já foi anteriormente identificado o papel dos Governos na regulamentação dos mercados de alta intensidade tecnológica e baseados no conhecimento é de extrema importância para garantir a proteção contra a imitação, a cópia e a violação de direitos. Noutros mercados sem dinamismo concorrencial, por serem monopólios naturais ou por terem pouco interesse económico, o papel dos Governos deve ser o de incentivar ou, por vezes, assumir o papel de dinamizador das áreas do conhecimento mais ligadas à investigação básica e de elevado custo. O investimento eficiente em investigação básica pelos governos, contribuindo para a melhoria dos sistemas de produção de conhecimento através de *spill-overs* da investigação, nas suas mais diversas formas, permite contribuir para o dinamismo económico dos sectores mais avançados.

A análise de regressão confirmou a relação entre a eficiência corrigida e a exportação de produtos de alta tecnologia, sendo esta relação significativa em todos os ciclos. Já no caso do índice de Direitos de Propriedade Intelectual, apenas entre 2000 e 2003 os resultados foram significativamente diferentes de zero.

Em relação às restantes variáveis, a análise de correlação identificou cenários interessantes, como a correlação negativa entre o índice de proteção de Direitos de Propriedade Intelectual e o valor acrescentado da indústria, em percentagem do PIB, e outros já expectáveis, como a correlação positiva e significativa entre a exportação de produtos de alta tecnologia e o índice de Liberdade e Tamanho do Governo. Este índice é mais elevado quanto menor for o peso do Governo no país e na economia, logo o aumento deste índice vai diminuir o peso dos impostos que, por sua vez, aumenta os recursos disponíveis para a empresa, que podem ser encaminhados para o sector de alta tecnologia, e atrai investimento directo estrangeiro (IDE), que, pelas suas características, possibilita a aquisição de novos conhecimentos e técnicas provenientes do exterior (inter-sistema). Outra correlação identificada é entre, novamente, a

¹⁷ Foram considerados 8 ciclos: 1998-2000, 1999-2001, 2000-2002, 2001-2003, 2002-2004, 2003-2005, 2004-2006, e 2005-2007

exportação de produtos de alta tecnologia e o índice de Proteção de Direitos de Propriedade Intelectual. Esta correlação também é natural pois com o aumento da proteção e apropriabilidade de novo conhecimento e inovações torna-se possível rentabilizá-las através de relações comerciais.

5.3. Análise de Clusters

De forma a obter mais conhecimento sobre as diferenças entre países na utilização de recursos públicos na I&D procedeu-se a uma análise de possíveis *clusters* existentes na amostra, a partir do indicador da eficiência corrigida, e utilizando como método a média das ligações entre grupo (“*Average Linkage (Between Groups)*”). A análise possibilita a identificação de 4 *clusters*:

- *Cluster 1*
 - Composto pelos países mais avançados e com maior eficiência. Definem, na maioria dos casos, o *benchmark* para todos os outros que não estão incluídos neste grupo. É composto pelos seguintes países: China, Grécia, Irlanda, Roménia, EUA, Hungria, Suécia, Reino Unido, e Japão.
- *Cluster 2*
 - Inclui países com boas práticas e em processo de melhoria da eficiência. É composto pelos seguintes países: Holanda, Singapura, Bélgica, Finlândia, Alemanha e França.
- *Cluster 3*
 - Inclui países que apesar das deficiências no seu processo produtivo de criação e difusão de conhecimento estão num processo de *catching-up*, equiparando-se, em alguns casos, a países do *cluster 2*. Os países que constituem este grupo são: Noruega, Espanha, Canada, Coreia do Sul, e Eslováquia.
- *Cluster 4*
 - É composto pelos países com as menores taxas de eficiência. Deparam-se com problemas ao nível da gestão do sistema de produção de novo conhecimento e não utilizam eficientemente os recursos públicos. Os países que o integram são: Polónia, Portugal, Rússia, Bulgária, Eslovénia, República Checa, Austrália e Nova Zelândia.

6. Conclusões

Conforme exposto anteriormente, a importância da I&D no contexto do crescimento económico é muito significativa pois permite a aceleração das mudanças tecnológicas que alteram o tecido económico dos países e a produtividade dos factores, o que provoca alterações ao ritmo do crescimento económico. Devido a esta importância, e tendo em conta as falhas de mercado que existem nestes sectores, nomeadamente devido à imaterialidade do conhecimento, é necessário que os Governos intervenham. Esta intervenção tem diversas características, sintetizando são de realçar duas: por um lado a intervenção governamental pretende regulamentar a apropriabilidade do conhecimento, criando assim incentivos ao investimento privado em I&D, permitindo porém que este seja acessível por todos enquanto bem público e que os *spill-overs*, Griliches (1992), continuem a influenciar outros sectores; por outro lado, a não atratividade de alguns sectores de conhecimento por parte dos agentes privados levam à necessidade do Governo assumir parte do esforço de I&D, nomeadamente na investigação básica que tem pouco atrativo para as entidades privadas.

Neste âmbito, e havendo uma pressão crescente sobre os Governos e sobre os Estados para assegurar o bom desempenho das contas públicas, é necessário aumentar o retorno do investimento público, garantindo que este é aplicado em áreas que dele necessitem e que tenham externalidades positivas. O presente estudo visou contribuir para o cálculo do impacto da despesa pública criando um indicador que, além do valor quantitativo, transmitisse um valor qualitativo para se avaliar a eficiência da despesa do Estado.

Através de um método não paramétrico de cálculo da fronteira de produção, denominado DEA, é possível, com base num conjunto de inputs e outputs exemplificativos do processo produtivo, calcular a fronteira de produção e, por comparação com esta, calcular índices de eficiência (ou ineficiência) do processo produtivo.

Os resultados obtidos indicam que no período entre 1998 e 2007 os EUA, a Irlanda e a China foram os países, em média, mais eficientes na utilização de recursos públicos no sistema de produção de conhecimento. Quando se controlam os indicadores de eficiência devido à existência de um possível enviesamento nos dados, o país mais eficiente passa a ser a Suécia com 72,4%, seguido do Reino Unido com 68,7%.

Foi também identificado uma correlação significativa entre a eficiência da despesa pública na I&D com a exportação de produtos de alta tecnologia e com o Índice de Proteção de Direitos de Propriedade Intelectual.

Para desenvolvimento futuro seria interessante caracterizar os 4 *clusters* definidos com base no indicador de eficiência, e comparar as políticas científicas, tecnológicas e de inovação de cada país não eficiente com as mesmas políticas desenvolvidas nos países *benchmarks*. Esta análise possibilitará a definição de estratégias de *cacthing-up* que contribuam activamente para a melhoria da eficiência da utilização de recursos públicos.

Bibliografia

- Adams, J.D., Griliches, Z., (2000), "Research productivity in a system of universities", in: Encaoua, D. (Ed.), "The Economics and Econometrics of Innovation", Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Afonso, A., Fernandes, S., (2005), "Assessing and Explaining the Relative Efficiency of Local Government: Evidence for Portuguese Municipalities", ISEG-UTL, Working Paper, 19/2005/DE/UECE
- Afonso, A., Gaspar, V., (2007), "Dupuit, Pigou and the cost of inefficiency in public services provision", *Public Choice*, 132
- Afonso, A., Schuknecht, L., Tanzi, V., (2006), "Public sector efficiency: Evidence for new EU member states and emerging markets", ECB, Working Paper 581
- Afonso, A., Schuknecht, L., Tanzi, V., (2005), "Public sector efficiency: An international comparison," *Public Choice*, 123 (3), 321-347. [ECB WP 242, 2003]
- Afonso, A., St. Aubyn, M., (2007). "Assessing health efficiency across countries with a two-step and bootstrap analysis", ISEG-UTL, Working Paper, 33/2006/DE/UECE
- Arrow, K.J., (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", in Nelson, R.R. (ed.): "The Rate and Direction of Inventive Activity", Princeton University Press.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., (1984), "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science* 30. 1078– 1092
- Braz, C., Campos, M. M., Cunha, J. C., Moreira, S., Pereira, M. C., (2009), "Finanças públicas em Portugal: tendências e desafios" in "A Economia Portuguesa no Contexto da Integração Económica, Financeira e Monetária", pp 339 – 422, Departamento de Estudos Económicos, Banco de Portugal, Lisboa
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978), "Measuring the inefficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research* 2. 429–444
- Cincera, M., Czarnitzki, D., Thorwarth, S., (2009), "Efficiency of public spending in support of R&D activities," *European Economy - Economic Papers* 376, Directorate General Economic and Monetary Affairs, European Commission, Abril 2009
- Coelli, T., Rao, D.S.P., Battese, G.E., (1998), "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis", Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Conte, A., Schweizer, P., Dierx, A., Ilzkovitz, F., (2009), "An analysis of the efficiency of public spending and national policies in the area of R&D", European Commission, Occasional Papers 54, Setembro 2009

- Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K., (2007), "Data Envelopment Analysis – A comprehensive text with models, applications, references and DEA- Solver Software", NY: Springer.
- Cullmann, A., Schmidt-Ehmcke, J., Zloczynski, P. (2009a), "R&D efficiency in the OECD - A two stage semi-parametric approach", DIW Berlin
- Cullmann, A., Schmidt-Ehmcke, J., Zloczynski, P. (2009b), "Innovation, R&D Efficiency and the impact of the Regulatory Environment - A two stage semi-parametric approach", DIW Berlin
- David, P. A., Hall, B., Toole, A. A. (1999), "Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A review of the econometric evidence", *Research Policy*, 29(4-5). 497–529.
- Edvardsen, D. F., (2004), "Efficiency of Norwegian Construction Firms" in "Four Essays on the Measurement of Productivity Efficiency", Doctoral Thesis, Department of Economics, School of Economics and Commercial Law, Goteborg University
- Farrel, M. J., (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 120 No. 3.
- Freeman, C., (1987), "Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan", London: Pinter.
- Freeman, C., (1995), "The National System of Innovation", in "Historical Perspective", *Cambridge J. Econ.*, vol. 19, pp. 5-24.
- Ginarte, J.C., Park, W.G., (1997), "Determinants of Patent Rights: A Cross-National Study," *Research Policy*, 26, 283-301
- Griliches, Z.; Pakes, A. and Hall, B. H., (1987), "The value of patents as indicators of inventive activity", in Partha, D. and Stoneman, P. (Eds.), "Economic Policy and Technological Performance", Cambridge University Press
- Griliches, Z., (1990), "Patent Statistics as Economic Indicators: a Survey", *Journal of Economic Literature* 28, 1661–1707.
- Griliches, Z., (1992), "The Search for R&D Spillovers," NBER Working Papers 3768, National Bureau of Economic Research
- Griliches, Z., (1998), "R&D and productivity: the econometric evidence", The University of Chicago Press
- Guellec, D. , van Pottelsberghe de la Potterie, B., (2004), "From R&D to Productivity Growth: Do the Institutional Settings and the Source of Funds of R&D Matter," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 66, 353–378.
- Hu, Jin-Li, Yang, Chih-Hai, Chen, Chiang-Ping, (2011), "R&D Efficiency and National Innovation System: An International Comparison Using the Distance Function Approach", *Bulletin of Economic Research*

- Kline, S., Rosenberg, N., (1986), "An overview of innovation", in "The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth", Landau, R., Rosenberg, N., Eds. Washington, DC: National Academy Press.
- Laranjeira, G.J.F., (2008), "Proposta de um modelo de avaliação de eficiência relativa para aferir o desempenho empresarial", Tese de mestrado em Ciências e Tecnologias da Informação, ISCTE
- Lee, H. Y., Park, Y. T., (2005), "An international comparison of R&D efficiency: DEA Approach", Asian J. Technology Innovation, vol. 13, no. 2, pp. 207-222.
- Lucas, R. E. Jr., (1988), "On the Mechanics of Economic Development", J. Monetary Econ., vol. 22, pp. 3-42.
- Lundvall, B.-Å., (1985), "Product Innovation and User-Producer Interaction", Aalborg: Aalborg University Press
- Mandl, U., Dierx, A., Ilzkovitz, F., (2008), "The effectiveness and efficiency of public spending", European Commission, Economy Pappers 301, February 2008
- Moreira, S., (2008), "Efficiency analysis of public hospitals transformed into public corporation: An application of Data Envelopment Analysis", Boletim Económico, Primavera 2008, Banco de Portugal
- Nelson, R. R., (1959), "The Simple Economics of Basic Scientific Research," Journal of Political Economy, University of Chicago Press, vol. 67, pages 297
- Nelson, R. R., Winter, S., (1982), "An Evolutionary Theory of Economic Change", Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press
- Nelson, Richard R, 1982. "The Role of Knowledge in R&D Efficiency," The Quarterly Journal of Economics, MIT Press, vol. 97(3), pages 453-70
- OECD (2007), "Science, technology and industry scoreboard"
- Park, W. G. (2008), "International Patent Protection: 1960-2005", Research Policy, Vol. 37(4), pp. 761–766.
- Pereira, M. C., Moreira, S., (2007), "Eficiência das escolas secundárias portuguesas: Uma análise de Fronteira de Produção Estocástica", Boletim Económico, Primavera 2007, Banco de Portugal
- Quindos-Morán, M.P., Rubiera-Morollón, F., Vicente-Cuervo, M.R., (2005), "R&D Efficiency DEA indexes within the European Union Countries"
- Romer, P. M., (1986), "Increasing Returns and Long-Run Growth", Journal of Political Economy, Vol. 94(5), pp. 1002–1037.
- Romer, P. M., (1990), "Endogenous Technological Change", J. Political Econ., vol. 98, no. 5, Part 2, pp. S71-S102.
- Rousseau, S., Rousseau, R., (1997), "Data analysis as a tool for constructing scientometric indicators", Scientometrics 40. 45-46
- Rousseau, S., Rousseau, R., (1998), "The scientific wealth of european nations: Taking Effectiveness into Account", Scientometrics. 42. 75-87.

- Schmookler, J., (1957), "Inventors Past and Presente", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No 3, 321-333
- Schumpeter, J. A., (1942), "Capitalism, Socialism and Democracy", New York: Harper and Row.
- Sharma, S., Thomas, V.J. (2008), "Inter-country R&D efficiency analysis: an application of data envelopment analysis", *Scientometrics* 76. 483-501.
- Silva, C.P.V.C., (2010), "O Sistema Bancário Português: Eficiência e outras porpostas de valor", dissertação de mestrado em Ciências Económicas, ISEG-UTL
- Simar, L., Wilson, P., (1998), "Sensitivity analysis of efficiency scores. How to bootstrap in nonparametric frontier models", *Management Science* 44. 49-61
- Simar, L, Wilson, P (2007), "Estimation and inferences in two-stage, semi-parametric models of production process", *Journal of Econometrics* 136. 31-64
- Solow, R. M., (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function," *Review Econ. & Stat.*, vol. 30, no. 3, pp. 312-320.
- Thomas,V.J., Jain, S. K., Sharma, S., (2009), "Analyzing R&D Efficiency in Asia and the OECD: An Application of the Malmquist Productivity Index", Atlanta Conference on Science and Innovation Policy 2009
- Wang, E.C., (2007), "R&D efficiency and economic performance: a cross-country analysis using the stochastic frontier approach", *Journal of Policy Modelling* 29. 345-360
- Wang, E.C., Huang, W., (2007), "Relative efficiency of R&D activities: a cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach", *Research Policy* 36. 260-273
- Wilson, P.W., (2006), "FEAR: A software package for Frontier Efficiency Analysis with R"

Anexos

Estatísticas Descritivas dos inputs e outputs

| | Despesa Governamental e do Ensino Superior com I&D em % do PIB (GOVERD+HERD) | Número de Investigadores Governamentais e do Ensino Superior em ETI por Milhão de Habitantes | Numero de Pedidos de Patentes PCT | Nº de Artigos de Ciência e Tecnologia | Royalty e Receitas de Licenças, recebidos (% do PIB) |
|-------------------------|---|---|--|--|---|
| 1998-2000 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003518838 | 260,24 | 21 | 891,6 | 4,30079E-05 |
| Máximo | 0,020432734 | 2790,61 | 38010 | 192743 | 0,007282361 |
| Médias | 0,00923618 | 1263,556071 | 3067,928571 | 18999,80714 | 0,002042237 |
| Descio-Padrão | 0,003535398 | 550,863222 | 7459,177285 | 37304,40269 | 0,002248756 |
| Coeficiente de Variação | 0,382777117 | 0,435962625 | 2,431339945 | 1,963409545 | 1,101123761 |
| 1999-2001 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003216206 | 267,57 | 20 | 746,1 | 8,30311E-05 |
| Máximo | 0,030004193 | 2907,98 | 43055 | 190592,6 | 0,007237159 |
| Médias | 0,00962163 | 1290,520714 | 3547,732143 | 18835,61071 | 0,001935507 |
| Descio-Padrão | 0,004833735 | 566,1643045 | 8467,907132 | 36770,31603 | 0,001906156 |
| Coeficiente de Variação | 0,502382185 | 0,438709971 | 2,386850752 | 1,952170099 | 0,984835725 |
| 2000-2002 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003535363 | 270,24 | 25 | 814,8 | 6,54671E-05 |
| Máximo | 0,028058326 | 2991,77 | 41319 | 190496,1 | 0,006565605 |
| Médias | 0,009954098 | 1368,840714 | 3589,821429 | 18993,10714 | 0,002079341 |
| Descio-Padrão | 0,004560471 | 604,5479047 | 8276,706721 | 36711,96456 | 0,001965136 |
| Coeficiente de Variação | 0,458150103 | 0,441649564 | 2,305604021 | 1,932909886 | 0,945076741 |
| 2001-2003 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003643034 | 278,5 | 16 | 774,7 | 5,04139E-05 |
| Máximo | 0,02925931 | 2999,62 | 41048 | 196431,6 | 0,007107784 |
| Médias | 0,010129119 | 1403,848571 | 3732,535714 | 19598,72857 | 0,002033468 |
| Descio-Padrão | 0,004653341 | 633,6794957 | 8425,284532 | 37786,73942 | 0,001968842 |
| Coeficiente de Variação | 0,459402386 | 0,451387357 | 2,2572549 | 1,928019937 | 0,968218471 |
| 2002-2004 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003658223 | 287,02 | 18 | 807,8 | 0,000105975 |
| Máximo | 0,029462025 | 3267,12 | 43408 | 202084,3 | 0,009822681 |

| | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Médias | 0,009714902 | 1429,797857 | 3980,321429 | 20282,62143 | 0,002448072 |
| Descio-Padrão | 0,004724531 | 677,1421169 | 9006,367073 | 38768,66785 | 0,002585292 |
| Coeficiente de Variação | 0,486317918 | 0,473592902 | 2,26272356 | 1,911422938 | 1,05605216 |
| 2003-2005 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003364387 | 293,34 | 15 | 766,5 | 6,97424E-05 |
| Máximo | 0,026721416 | 3403,61 | 46882 | 205516,3 | 0,00931639 |
| Médias | 0,008456848 | 1493,102143 | 4449,142857 | 20899,3 | 0,002745263 |
| Descio-Padrão | 0,004303026 | 704,5030882 | 9907,514252 | 39444,85748 | 0,002749401 |
| Coeficiente de Variação | 0,508821453 | 0,471838509 | 2,226836622 | 1,887376969 | 1,001507397 |
| 2004-2006 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003120926 | 306,24 | 25 | 766,4 | 7,53806E-05 |
| Máximo | 0,018950042 | 3296,93 | 51280 | 209237,2 | 0,009891006 |
| Médias | 0,007281952 | 1545,794643 | 4858,785714 | 21640,77857 | 0,002652462 |
| Descio-Padrão | 0,00312276 | 710,7895618 | 10792,4821 | 40222,13047 | 0,002601721 |
| Coeficiente de Variação | 0,428835544 | 0,459821468 | 2,22123031 | 1,858626774 | 0,980870367 |
| 2005-2007 | | | | | |
| Nº | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Mínimo | 0,003233712 | 323,91 | 29 | 801,4 | 9,8062E-05 |
| Máximo | 0,014793201 | 3288,74 | 54042 | 209694,7 | 0,010276942 |
| Médias | 0,006942025 | 1619,954286 | 5181,107143 | 22014,16071 | 0,002804247 |
| Descio-Padrão | 0,002532791 | 721,4875308 | 11326,12045 | 40444,5631 | 0,002812225 |
| Coeficiente de Variação | 0,364848996 | 0,445375241 | 2,186042508 | 1,837206679 | 1,002844863 |

Índice de eficiência pura, calculado através do DEA, método BCC com orientação output

| DMU | Eficiência Pura | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1998- 2000 | 1999- 2001 | 2000- 2002 | 2001- 2003 | 2002- 2004 | 2003- 2005 | 2004- 2006 | 2005- 2007 |
| Australia | 0,1437 | 0,1389 | 0,1402 | 0,1493 | 0,1172 | 0,1129 | 0,1187 | 0,1063 |
| Belgium | 0,2122 | 0,3693 | 0,4957 | 0,5451 | 0,5346 | 0,6357 | 0,6434 | 0,6035 |
| Bulgaria | 0,0413 | 0,0339 | 0,0465 | 0,0425 | 0,0416 | 0,0237 | 0,0472 | 0,0357 |
| Canada | 0,4823 | 0,5708 | 0,5989 | 0,5547 | 0,4044 | 0,3184 | 0,3145 | 0,2796 |
| China | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Czech Republic | 0,1274 | 0,1449 | 0,1396 | 0,1117 | 0,0681 | 0,0534 | 0,0371 | 0,0250 |
| Finland | 1 | 0,6475 | 0,6317 | 0,4499 | 0,4682 | 0,6620 | 0,5214 | 0,5078 |
| France | 0,2907 | 0,3250 | 0,3938 | 0,3804 | 0,3327 | 0,3900 | 0,3722 | 0,4143 |
| Germany | 0,4126 | 0,3730 | 0,3703 | 0,3594 | 0,3529 | 0,4361 | 0,4693 | 0,5199 |
| Greece | 0,1237 | 0,0595 | 0,0532 | 0,0695 | 0,1031 | 0,3491 | 1 | 1 |
| Hungary | 0,3541 | 0,3599 | 0,9969 | 0,6946 | 0,7887 | 1 | 0,8272 | 0,9877 |
| Ireland | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Japan | 0,4998 | 0,6243 | 0,6803 | 0,6954 | 0,7274 | 0,8786 | 0,9509 | 0,8638 |
| Netherlands | 0,8446 | 0,7439 | 0,7932 | 0,9357 | 1 | 0,8238 | 0,6997 | 0,6907 |
| New Zealand | 0,1403 | 0,1622 | 0,1847 | 0,1771 | 0,1205 | 0,1105 | 0,1397 | 0,1350 |
| Norway | 0,1395 | 0,1367 | 0,1525 | 0,1483 | 0,1396 | 0,1859 | 0,1906 | 0,2118 |
| Poland | 0,0355 | 0,0448 | 0,0333 | 0,0335 | 0,0367 | 0,0429 | 0,0480 | 0,0640 |
| Portugal | 0,0345 | 0,0313 | 0,0323 | 0,0330 | 0,0261 | 0,0445 | 0,0632 | 0,0615 |
| Korea, Rep. | 0,2477 | 0,4759 | 0,3690 | 0,5417 | 0,6069 | 0,4543 | 0,4268 | 0,2837 |
| Romania | 0,0444 | 0,4753 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Russian Federation | 0,0891 | 0,0822 | 0,0835 | 0,0784 | 0,0738 | 0,0702 | 0,0648 | 0,0665 |
| Singapore | 0,1370 | 0,6263 | 0,6025 | 0,5438 | 0,6571 | 0,7753 | 0,7065 | 0,6709 |
| Slovak Republic | 0,0835 | 0,1524 | 0,2059 | 0,2221 | 0,2497 | 0,2148 | 0,2296 | 0,3082 |
| Slovenia | 0,0878 | 0,1159 | 0,0560 | 0,0611 | 0,0444 | 0,0751 | 0,0824 | 0,0446 |
| Spain | 0,2192 | 0,1806 | 0,1297 | 0,1432 | 0,1451 | 0,1916 | 0,2416 | 0,2181 |
| Sweden | 0,8328 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| United Kingdom | 0,8735 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,9522 |
| United States | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Benchmarks

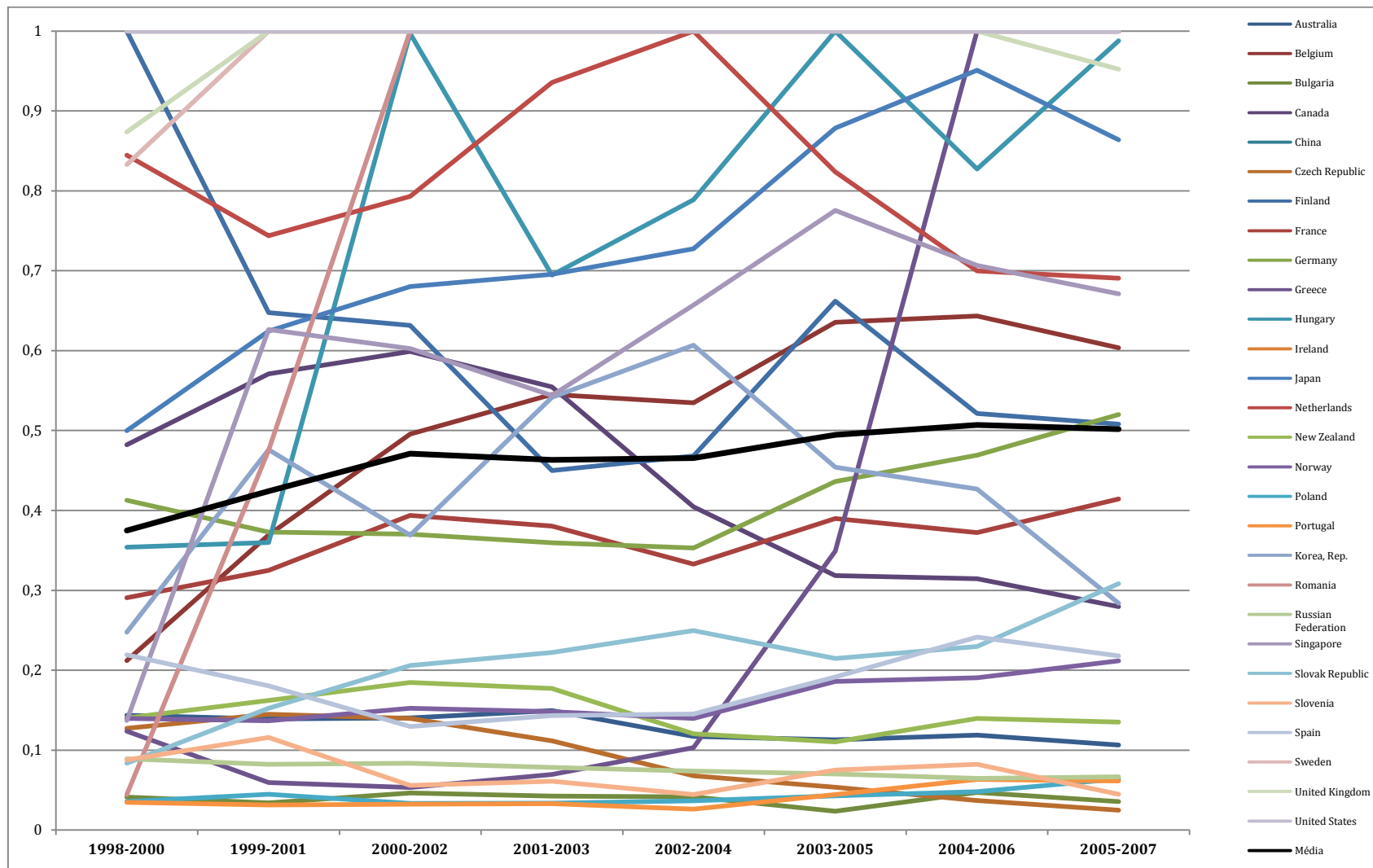
No quadro em baixo encontram-se para cada DMU as entidades que atuam como referência (*benchmark*) para melhorarem as suas performances. É de realçar a evolução ao longo do período estudado.

| Benchmark(Lambda) | 1998-2000 | 1999-2001 | 2000-2002 | 2001-2003 | 2002-2004 | 2003-2005 | 2004-2006 | 2005-2007 |
|-----------------------|--|---|---|---|--|--|--|---|
| País | | | | | | | | |
| Australia | Finland(0,467) Ireland(0,018) United States(0,515) | Sweden(0,478) United States(0,522) | Sweden(0,492) United States(0,508) | Sweden(0,516) United States(0,484) | Sweden(0,359) United States(0,641) | Sweden(0,327) United States(0,673) | Sweden(0,210) United Kingdom(0,138) United States(0,652) | Ireland(0,016) Sweden(0,193) United States(0,790) |
| Belgium | Finland(0,216) Ireland(0,655) United States(0,130) | Ireland(0,033) United Kingdom(0,967) | Ireland(0,060) United Kingdom(0,893) United States(0,047) | Ireland(0,042) United Kingdom(0,792) United States(0,166) | Ireland(0,153) Netherlands(0,307) United Kingdom(0,540) | Ireland(0,640) Sweden(0,324) United Kingdom(0,008) United States(0,028) | Ireland(0,644) Sweden(0,305) United Kingdom(0,029) United States(0,022) | Ireland(0,718) Sweden(0,247) United States(0,036) |
| Bulgaria | Finland(0,227) Ireland(0,670) United States(0,103) | Sweden(0,269) United States(0,731) | Sweden(0,125) United States(0,875) | Sweden(0,096) United States(0,904) | China(0,019) Netherlands(0,950) United States(0,030) | Hungary(0,834) Sweden(0,020) United States(0,146) | Sweden(0,125) United States(0,875) | Ireland(0,102) Sweden(0,150) United States(0,748) |
| Canada | Finland(0,269) Ireland(0,498) United States(0,233) | Sweden(0,446) United States(0,554) | Sweden(0,397) United States(0,603) | Sweden(0,366) United States(0,634) | Netherlands(0,437) Sweden(0,310) United States(0,253) | Hungary(0,227) Sweden(0,400) United States(0,373) | Sweden(0,448) United States(0,552) | Sweden(0,552) United States(0,448) |
| China | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) | China(1,000) |
| Czech Republic | China(0,052) Ireland(0,859) United States(0,089) | China(0,161) United States(0,839) | China(0,155) United States(0,845) | China(0,037) United States(0,963) | China(0,247) Netherlands(0,604) United States(0,149) | China(0,174) Hungary(0,580) United States(0,246) | China(0,066) United States(0,934) | Sweden(0,311) United States(0,689) |
| Finland | Finland(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(0,809) United Kingdom(0,181) United States(0,010) | Sweden(0,924) United Kingdom(0,062) United States(0,014) | Sweden(1,000) | Sweden(0,996) United States(0,004) | Sweden(0,994) United States(0,006) |
| France | Finland(0,248) Ireland(0,199) United States(0,553) | Sweden(0,479) United States(0,521) | Sweden(0,505) United States(0,495) | Sweden(0,429) United States(0,571) | Netherlands(0,189) Sweden(0,398) United States(0,413) | Hungary(0,219) Ireland(0,048) Sweden(0,376) United States(0,357) | Ireland(0,096) Sweden(0,375) United States(0,529) | Ireland(0,108) Sweden(0,467) United States(0,425) |
| Germany | Ireland(0,199) United States(0,801) | Ireland(0,058) United Kingdom(0,078) United States(0,864) | Sweden(0,069) United States(0,931) | Sweden(0,007) United States(0,993) | Sweden(0,007) United States(0,993) | Ireland(0,148) Sweden(0,076) United States(0,776) | Greece(0,138) Ireland(0,169) United States(0,694) | Greece(0,276) Ireland(0,091) United States(0,633) |
| Greece | Ireland(0,882) United States(0,118) | Ireland(0,724) United States(0,276) | Ireland(0,665) United States(0,335) | Ireland(0,744) United States(0,256) | Ireland(0,819) United States(0,181) | Ireland(0,950) United States(0,050) | Greece(1,000) | Greece(1,000) |

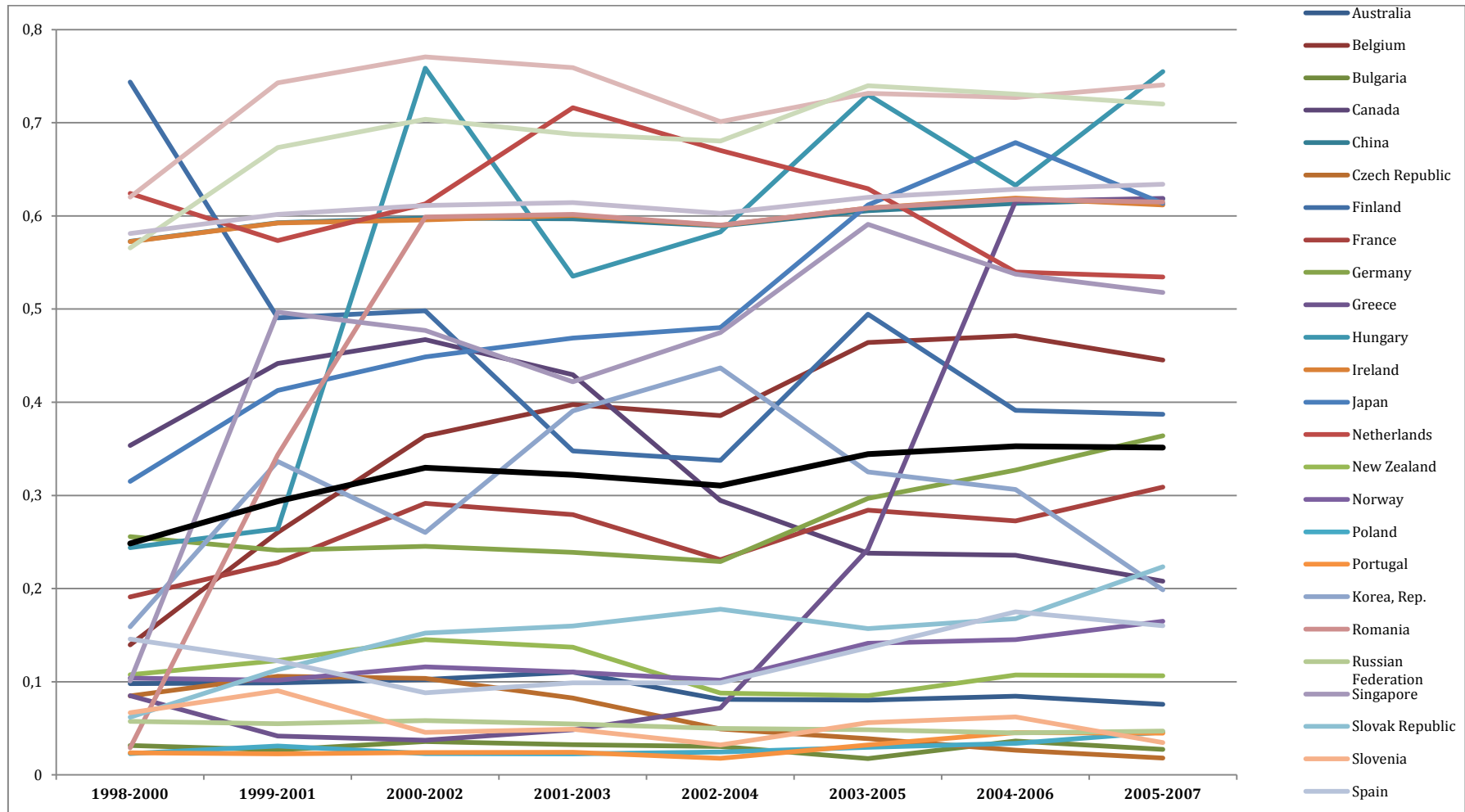
| Benchmark(Lambda) | 1998-2000 | 1999-2001 | 2000-2002 | 2001-2003 | 2002-2004 | 2003-2005 | 2004-2006 | 2005-2007 |
|---------------------------|--|---|---|---|---|--|--|---|
| Pais | | | | | | | | |
| Hungary | Finland(0,051) Ireland(0,923) United States(0,026) | Sweden(0,068) United States(0,932) | Sweden(0,124) United States(0,876) | Sweden(0,114) United States(0,886) | China(0,028) Netherlands(0,972) | Hungary(1,000) | Ireland(0,254) Sweden(0,045) United States(0,701) | Ireland(0,214) Sweden(0,086) United States(0,700) |
| Ireland | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) | Ireland(1,000) |
| Japan | Ireland(0,410) United States(0,590) | Ireland(0,309) United Kingdom(0,286) United States(0,405) | Ireland(0,431) United Kingdom(0,083) United States(0,486) | Ireland(0,263) United Kingdom(0,148) United States(0,589) | Ireland(0,252) United Kingdom(0,122) United States(0,626) | Ireland(0,399) United States(0,601) | Greece(0,122) Ireland(0,327) United States(0,551) | Ireland(0,385) Sweden(0,026) United States(0,590) |
| Netherlands | China(0,175) Ireland(0,647) United States(0,178) | China(0,208) United States(0,792) | China(0,232) United States(0,768) | China(0,269) United States(0,731) | China(0,379) Netherlands(0,556) United States(0,065) | China(0,304) Hungary(0,494) United States(0,202) | China(0,199) United States(0,801) | China(0,168) United States(0,832) |
| New Zealand | Finland(0,268) Ireland(0,656) United States(0,076) | Sweden(0,382) United Kingdom(0,120) United States(0,498) | Sweden(0,359) United Kingdom(0,124) United States(0,517) | Sweden(0,311) United Kingdom(0,252) United States(0,438) | Netherlands(1,000) | Hungary(0,273) Ireland(0,218) Sweden(0,421) United States(0,088) | Ireland(0,228) Sweden(0,429) United States(0,343) | Ireland(0,260) Sweden(0,498) United States(0,242) |
| Norway | Finland(0,476) Ireland(0,434) United States(0,090) | Sweden(0,765) United Kingdom(0,149) United States(0,085) | Sweden(0,973) United States(0,027) | Sweden(0,945) United Kingdom(0,028) United States(0,027) | Sweden(0,705) United Kingdom(0,275) United States(0,020) | Ireland(0,011) Sweden(0,509) United Kingdom(0,480) | Ireland(0,093) Sweden(0,561) United Kingdom(0,346) | Ireland(0,439) Sweden(0,477) United States(0,084) |
| Poland | Finland(0,550) Ireland(0,350) United States(0,100) | Sweden(0,761) United Kingdom(0,204) United States(0,035) | Sweden(0,382) United Kingdom(0,618) | Sweden(0,241) United Kingdom(0,759) | Sweden(0,303) United Kingdom(0,697) | Ireland(0,161) Sweden(0,534) United Kingdom(0,305) | Ireland(0,177) Sweden(0,503) United Kingdom(0,320) | Ireland(0,609) Sweden(0,322) United States(0,069) |
| Portugal | Finland(0,155) Ireland(0,042) United States(0,803) | Sweden(0,327) United States(0,673) | Sweden(0,052) United States(0,948) | United States(1,000) | Ireland(0,100) United States(0,900) | Ireland(0,225) United States(0,775) | Greece(0,286) United States(0,714) | Greece(0,465) Ireland(0,015) United States(0,520) |
| Korea, Rep. | Finland(0,150) Ireland(0,576) United States(0,274) | Sweden(0,147) United Kingdom(0,385) United States(0,468) | Sweden(0,266) United Kingdom(0,007) United States(0,727) | Sweden(0,181) United Kingdom(0,187) United States(0,632) | Ireland(0,008) Netherlands(0,133) United Kingdom(0,422) United States(0,437) | Ireland(0,431) Sweden(0,135) United Kingdom(0,162) United States(0,272) | Ireland(0,547) Sweden(0,133) United Kingdom(0,075) United States(0,245) | Ireland(0,610) Sweden(0,138) United States(0,252) |
| Romania | China(0,722) Ireland(0,236) United States(0,042) | China(0,841) United States(0,159) | Romania(1,000) | Romania(1,000) | Romania(1,000) | Romania(1,000) | Romania(1,000) | Romania(1,000) |
| Russian Federation | United States(1,000) | United States(1,000) | Sweden(0,004) United States(0,996) | Sweden(0,016) United States(0,984) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) |
| Singapore | Finland(0,146) Ireland(0,774) United States(0,079) | Sweden(0,286) United States(0,714) | Sweden(1,000) | Sweden(0,955) United States(0,045) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(0,921) United States(0,079) | Sweden(1,000) |
| Slovak Republic | Finland(0,292) Ireland(0,660) | Sweden(0,260) United Kingdom(0,633) | Sweden(0,013) United Kingdom(0,987) | Ireland(0,130) United Kingdom(0,822) | Ireland(0,365) Netherlands(0,116) | Ireland(0,659) Sweden(0,341) | Ireland(0,735) Sweden(0,264) | Ireland(0,799) Sweden(0,201) |

| Benchmark(Lambda) | 1998-2000 | 1999-2001 | 2000-2002 | 2001-2003 | 2002-2004 | 2003-2005 | 2004-2006 | 2005-2007 |
|-----------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|
| Pais | | | | | | | | |
| | United States(0,048) | United States(0,107) | | United States(0,048) | United Kingdom(0,519) | | United Kingdom(0,001) | |
| Slovenia | Finland(0,309) Ireland(0,651) United States(0,040) | Sweden(0,478) United Kingdom(0,153) United States(0,369) | Sweden(0,488) United States(0,512) | Sweden(0,453) United States(0,547) | Netherlands(0,593) Sweden(0,360) United States(0,047) | Hungary(0,468) Ireland(0,404) Sweden(0,074) United States(0,053) | Ireland(0,545) Sweden(0,085) United States(0,370) | Ireland(0,088) Sweden(0,639) United States(0,273) |
| Spain | Ireland(0,656) United States(0,344) | Ireland(0,508) United Kingdom(0,066) United States(0,425) | Ireland(0,336) United Kingdom(0,023) United States(0,642) | Ireland(0,269) United Kingdom(0,210) United States(0,521) | Ireland(0,423) United States(0,577) | Ireland(0,540) United States(0,460) | Greece(0,474) Ireland(0,152) United States(0,374) | Greece(0,554) United States(0,446) |
| Sweden | Finland(0,543) Ireland(0,384) United States(0,073) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) | Sweden(1,000) |
| United Kingdom | Finland(0,146) Ireland(0,576) United States(0,278) | United Kingdom(1,000) | United Kingdom(1,000) | United Kingdom(1,000) | United Kingdom(1,000) | United Kingdom(1,000) | United Kingdom(1,000) | Ireland(0,622) Sweden(0,157) United States(0,221) |
| United States | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) | United States(1,000) |

Evolução da Eficiência Pura



Evolução da Eficiência corrigida



Fontes dos dados utilizados

| Indicador | Fonte |
|--|---|
| Inputs | |
| Despesa Governamental e do Ensino Superior com I&D em % do PIB (GOVERD+HERD) | OECD Main Science and Technology Indicators |
| Número de Investigadores Governamentais e do Ensino Superior em ETI por Milhão de Habitantes | OECD Main Science and Technology Indicators |
| Outputs | |
| Numero de Pedidos de Patentes PCT | WIPO Statistics Database |
| Nº de Artigos de Ciência e Tecnologia | World Bank (National Science Foundation, Science and Engineering Indicators) |
| Royalty e Receitas de Licenças, recebidos (% do PIB) | World Bank (International Monetary Fund, Balance of Payments Statistics Yearbook) |
| Factores Ambientais | |
| Exportação de Produtos de Alta Tecnologia (% produção exportada) | World Bank (United Nations) |
| Índice de Proteção de Direitos de Propriedade Intelectual | Park (2008) |
| Índice de Liberdade e Tamanho do Governo | Fraser Institute (Economic Freedom of the World) |
| Valor Acrescentado da Indústria (% do PIB) | World Bank |
| Nº de Alunos da Educação Superior (ISCED 5-6) por Milhão de Habitantes | UNESCO Institute for Statistics |
| Auxiliares | |
| Produto Interno Bruto | World Bank (national accounts data) |
| População | World Bank |

Taxas Médias de eficiência e Economias de Escala para o período 1998-2007

| | Ef. Técnica Global (CCRout) | Ef. Técnica Pura (BCCout) | Ef. Escala | Ef. Pura corrigida | Economias de Escala |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| United States | 1 | 1 | 1 | 0,6117 | Constante |
| Ireland | 0,7774 | 1 | 0,7774 | 0,5987 | Crescente |
| China | 0,535 | 1 | 0,535 | 0,5984 | Crescente |
| Sweden | 0,8785 | 0,9791 | 0,889 | 0,7241 | Constante |
| United Kingdom | 0,9609 | 0,9782 | 0,9804 | 0,6876 | Constante |
| Netherlands | 0,3874 | 0,8165 | 0,5573 | 0,6126 | Crescente |
| Romania | 0,0732 | 0,815 | 0,1713 | 0,5005 | Crescente |
| Hungary | 0,716 | 0,7511 | 0,9477 | 0,5629 | Crescente |
| Japan | 0,6897 | 0,7401 | 0,9306 | 0,5037 | Crescente |
| Finland | 0,4971 | 0,6111 | 0,8493 | 0,4613 | Decrescente |
| Singapore | 0,4549 | 0,5899 | 0,7674 | 0,4522 | Decrescente |
| Belgium | 0,4811 | 0,5049 | 0,9419 | 0,3659 | Crescente |
| Canada | 0,3843 | 0,4405 | 0,8833 | 0,3335 | Decrescente |
| Korea, Rep. | 0,0385 | 0,4257 | 0,1792 | 0,3017 | Crescente |
| Germany | 0,3764 | 0,4117 | 0,9139 | 0,2747 | Crescente |
| France | 0,3307 | 0,3624 | 0,9085 | 0,2608 | Crescente |
| Greece | 0,0513 | 0,3448 | 0,3427 | 0,2201 | Crescente |
| Slovak Republic | 0,192 | 0,2083 | 0,8964 | 0,1516 | Crescente |
| Spain | 0,1437 | 0,1836 | 0,7978 | 0,1282 | Crescente |
| Norway | 0,1244 | 0,1631 | 0,7766 | 0,1231 | Crescente |
| New Zealand | 0,7476 | 0,1463 | 4,9184 | 0,1124 | Crescente |
| Australia | 0,109 | 0,1284 | 0,8583 | 0,0914 | Decrescente |
| Czech Republic | 0,0847 | 0,0884 | 0,9499 | 0,0637 | Crescente |
| Russian Federation | 0,0462 | 0,0761 | 0,6077 | 0,052 | Decrescente |
| Slovenia | 0,0609 | 0,0709 | 0,8696 | 0,0547 | Crescente |
| Poland | 0,1485 | 0,0423 | 3,346 | 0,0291 | Crescente |
| Portugal | 0,0366 | 0,0408 | 0,9466 | 0,0293 | Crescente |
| Bulgaria | 0,0352 | 0,039 | 0,9048 | 0,0298 | Decrescente |