



**Miguel Ferreira Dias**

**Eficiência energética e seus determinantes: uma  
análise empírica**



**Miguel Ferreira Dias**

**Eficiência energética e seus determinantes: uma  
análise empírica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Economia realizada sob a orientação científica das Doutoradas Celeste Maria Dias de Amorim Varum e Margarita Matias Robaina, Professoras Auxiliares do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família, namorada e amigos pelo incansável apoio ao longo deste trajeto.

## **o júri**

presidente

Prof. Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno, Professora Auxiliar,  
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Pedro Filipe Pessoa Macedo, Professor Auxiliar, Universidade de  
Aveiro

Prof. Doutora Celeste Maria Dias de Amorim Varum, Professora Auxiliar,  
Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Quero agradecer, em primeiro lugar, às minhas professoras que foram incansáveis na orientação desta dissertação e nunca desistiram de mim nos momentos mais difíceis. Um agradecimento também muito especial à minha namorada e família pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante e pela energia positiva que me transmitiram em todos os momentos desta jornada. Por último, um obrigado muito forte aos meus amigos pelos momentos de partilha, de convívio e de boa disposição, que tantas vezes me ajudaram a recuperar forças para continuar empenhado na conclusão deste trabalho.

**palavras-chave**

Eficiência energética, Energias Renováveis, DEA, duplo *bootstrap*

**resumo**

Este trabalho pretende analisar as tendências da eficiência energética e quais seus determinantes para um conjunto de alguns dos maiores países produtores de energia renovável no período entre 2009 e 2013. Para isso foi implementada uma metodologia de duas etapas com duplo *bootstrap*. Na primeira etapa foi utilizada uma metodologia DEA, que foi corrigida quanto ao enviesamento para estimar os *scores* de eficiência dos países da amostra. Posteriormente estes *scores* foram utilizados como variável dependente numa regressão truncada com recurso a um *bootstrap* paramétrico para avaliar o impacto de variáveis ambientais na eficiência energética. Na primeira etapa os resultados empíricos refletem um fenómeno de convergência entre países com a eficiência energética média a aumentar no período temporal considerado. Na segunda etapa verificamos que a eficiência energética é positivamente afetada pelo crescimento económico e negativamente pelo consumo de energia renovável e densidade populacional. O trabalho aborda ainda as implicações destes resultados e propõe algumas recomendações que poderão surtir efeitos positivos na eficiência energética.

**keywords**

Energy efficiency, Renewable energy, DEA, double bootstrap

**abstract**

The aim of this thesis is to analyze and compare trends in energy efficiency and to examine its determinants for some of the largest renewable energy producing countries over 2009-2013. To accomplish this, a two steps approach complemented with a double bootstrap was implemented. In the first stage, a DEA methodology was used, which was corrected for bias using a bootstrap procedure, to estimate the efficiency scores of the sample countries. Later these scores were used as a dependent variable in a truncated regression using a parametric bootstrap to evaluate the impact of environmental variables on energy efficiency. In the first stage the empirical results reflect a convergence phenomenon between the scores estimated for each country, with average energy efficiency increasing and standard deviation decreasing for the period considered. In the second stage we verified that energy efficiency is positively affected by economic growth and negatively by the consumption of renewable energy and population density. This thesis also addresses the implications of these results and proposes some recommendations that could have positive effects on energy efficiency.

## Índice

Índice de Tabelas .....	x
Lista Acrónimos .....	xi
1. Introdução.....	1
2. Revisão da Literatura .....	3
3. Metodologia e dados .....	19
3.1 – DEA.....	19
3.1.1 – Metodologia.....	19
3.1.2 – Output e Inputs.....	25
3.1.3 – Amostra.....	25
3.1.4 – Estatística descritiva .....	28
3.2 – Regressão truncada .....	29
3.2.1 – Metodologia.....	29
3.2.2 – Variáveis explicativas.....	30
3.2.3 – Estatística descritiva .....	31
4. Resultados Empíricos .....	33
4.1 – Resultados DEA e discussão .....	33
4.2 – Resultados da Regressão Truncada .....	39
5. Conclusões.....	45
Referências .....	49
Anexos.....	57



## Índice de Figuras

Figura 3.1 - Representação gráfica do modelo BCC .....	21
Figura 3.2 - Representação dos logaritmos dos rácios .....	26
Figura 4.1 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2009 .....	33
Figura 4.2 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2010 .....	33
Figura 4.3 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2011 .....	34
Figura 4.4 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2012 .....	34
Figura 4.5 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2013 .....	34
Figura 4.6 - Comparação entre países eficientes e ineficientes em 2013.....	39

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Revisão de literatura dos estudos de eficiência energética que utilizam DEA.....	14
Tabela 2.2 - Variáveis explicativas usadas na segunda etapa .....	18
Tabela 3.1 - Inputs e output utilizados no DEA .....	25
Tabela 3.2 - Possíveis outliers .....	27
Tabela 3.3 - Estatística descritiva das variáveis usadas no DEA .....	28
Tabela 3.4 - Matriz de correlação das variáveis usadas no DEA .....	29
Tabela 3.5 - Variáveis utilizadas na regressão .....	31
Tabela 4.1 - Estatística descritiva dos scores de eficiência.....	35
Tabela 4.2 - Valores médios estimados de enviesamento e desvio padrão .....	36
Tabela 4.3 - Scores médios por região .....	36
Tabela 4.4 - Scores de eficiência por país ao longo dos anos .....	38
Tabela 4.5 - Resultados da regressão truncada com bootstrap .....	40

## Lista Acrónimos

PIB – Produto Interno Bruto

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

SFA – *Stochastic Frontier Analysis*

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DMU – *Decision Making Unit*

CCR – Modelo Charnes, Cooper e Rhodes

CRS – *Constant Returns of Scale*

BCC – Modelo Banker, Charnes e Cooper

VRS – *Variable Returns of Scale*

DGP – *Data Generating Process*

BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China

RNBpc – Rendimento nacional bruto per capita

FIV – Fator de inflação da variância

UE – União Europeia

EAA - *European Environment Agency*

IEA - *International Energy Agency*

C2E2 – Copenhagen Center on Energy Efficiency

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

## 1. Introdução

O aquecimento global não é um tema novo. Foi, no entanto, por demasiado tempo ignorado e até mesmo negado. Esta passividade por parte dos decisores políticos e da sociedade contribuiu para o seu agravamento e, nos dias de hoje, este assume proporções catastróficas. Se nada for feito, dentro de poucos anos podemos atingir um ponto sem retorno condenando todas as formas complexas de vida na Terra.

Face a esta calamidade à escala planetária e pendente extinção em massa, os países parecem finalmente decididos a tentar solucionar o problema. Numa primeira fase, o objetivo passa por estabilizar as emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera. O próximo passo será reverter a sua concentração para níveis historicamente normais. Perante este cenário, a importância de fontes alternativas de energia menos poluentes e da eficiência energética tem vindo a crescer na esfera económica e política.

Nas últimas décadas assistiu-se a um aumento da preponderância de energia proveniente de fontes renováveis no *mix* energético dos países por forma a controlar as emissões. Este aumento é visível e de fácil medição. Já no caso da eficiência energética o mesmo não acontece. Para além de o termo estar aberto a diferentes interpretações, é muito mais difícil quantificar custos/consumo evitado. É por isso pertinente analisar as tendências na eficiência energética e comparar a performance deste indicador entre países.

Na literatura têm surgido alguns estudos que determinam e comparam a eficiência energética entre países, mas poucos são os que, numa fase posterior, tentam perceber e estudar os seus determinantes. Mais raros são os que questionam o papel desempenhado pelas energias renováveis na promoção da eficiência energética.

Segundo IRENA e C2E2 (IRENA and C2E2, 2017) a adoção de energias renováveis será “apenas” responsável por metade da redução das emissões de

gases de efeito de estufa. A restante será alcançada através de aumentos na eficiência energética. IRENA e C2E2 frisam que existe uma sinergia entre estes conceitos (energias renováveis e eficiência energética) e que, quando desenvolvidos em sintonia, resultados muito recompensadores podem ser alcançados (IRENA and C2E2, 2017). Torna-se, portanto, relevante estudar esta relação simbiótica.

As contribuições desta tese para a literatura existente são as seguintes: a primeira será estimar, analisar e comparar a eficiência energética relativa de alguns dos maiores produtores de energia renovável, algo que, tanto quanto conhecemos, nunca foi feito anteriormente; a segunda será a adição de informação ao escasso corpo de literatura existente acerca dos determinantes da eficiência energética.

Por forma a atingir os objetivos propostos, foram seleccionados 20 dos maiores países geradores de energia renovável e recolhidos dados referentes ao período temporal compreendido entre 2009 e 2013. Foram posteriormente estimados *scores* de eficiência relativa utilizando a metodologia DEA. Estes *scores* foram corrigidos quanto ao seu enviesamento recorrendo à metodologia *bootstrap* proposta por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 1998). Para proceder à análise dos determinantes da eficiência energética foi efetuada uma regressão truncada com *bootstrap* proposta por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007).

Para além da introdução, este trabalho está organizado da seguinte forma: o próximo capítulo serve de contextualização sobre a importância da eficiência energética no panorama atual e reporta a literatura consultada relativa a estudos que utilizam o DEA como ferramenta para o seu cálculo. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada nesta dissertação bem como os dados seleccionados. A apresentação e discussão dos resultados é feita no capítulo 4 e a conclusão encontra-se no capítulo 5, bem como as pistas de investigação para futuros estudos.

## 2. Revisão da Literatura

Nos últimos dois séculos, graças a avanços em diversas áreas e ao fenómeno da globalização, observou-se um crescimento desenfreado da população mundial. Há 200 anos, segundo Roser e Ortiz-Ospina (Roser & Ortiz-Ospina, 2017), a população mundial era menos de um bilião. No século XX a população passou de 1.6 para 6.1 biliões. As últimas medições do *World Bank* indicam que em 2016 este número era de quase 7.5 biliões. A figura **A1** em anexo ilustra esta evolução.

Este crescimento foi acompanhado por uma expansão da economia mundial, sustentada por um consumo crescente de energia. As figuras **A2** e **A3** em anexo dão conta deste crescimento. Esta relação (entre crescimento económico e consumo de energia) tem sido estudada e é, atualmente, um facto estilizado que o consumo de energia é um dos pilares do crescimento económico (Ozturk, 2010).

No entanto, segundo o *World Energy Council* (World Energy Council, 2016), em 2015, cerca de 86% da energia consumida no mundo provinha de fontes não renováveis, nomeadamente de combustíveis fósseis. A figura **A4** em anexo espelha a distribuição do consumo primário de energia por fonte. Estes combustíveis são fáceis de armazenar e transportar, são estáveis e a sua extração é relativamente fácil. Porém, apresentam dois sérios problemas que têm vindo a ser discutidos ao longo destas últimas décadas: (i) a sua escassez, que traz consigo todo um leque de problemas como a variabilidade e possível concertação de preço (Okullo & Reynès, 2016) e (ii) a emissão de gases com efeitos de estufa para a atmosfera (Elum & Momodu, 2017). É precisamente este último que tanto tem ameaçado e afetado todas as formas de vida no planeta.

Durante os últimos 150 anos a concentração destes gases na atmosfera sofreu um aumento bastante significativo (cerca de 55% segundo dados recolhidos junto da *European Environment Agency* (EAA)) fazendo com que a temperatura

do planeta tenha aumentado gradualmente. As figuras **A5** e **A6** em anexo mostram esta evolução. Segundo informação recolhida junto da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), os 10 anos mais quentes desde que se mantem registo ocorreram todos após o ano 2000, sendo que 2015 foi o mais quente de sempre.

As consequências deste aumento global da temperatura são inúmeras, sendo a redução das calotas polares e conseqüente subida do nível do mar uma das mais graves (Vellinga, 1989). Em 2003, Creel (Creel, 2003) estimava que cerca de 3 bilhões de pessoas vivessem a menos de 200 km da costa, e que esse número seria o dobro em 2025. Tendo isto em consideração, esta subida representaria um acontecimento catastrófico. O aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, o desequilíbrio de ecossistemas inteiros e a acidificação dos oceanos são outras das não menos gravosas consequências do aquecimento global (IPCC, 2014).

Posto isto, existem formas de travar e tentar inverter este problema que tem vindo a ganhar dimensão com o passar dos anos. Uma delas passa por encontrar fontes de energia alternativas menos prejudiciais para o meio ambiente. Dentro destas, as energias renováveis têm-se afirmado como a alternativa mais promissora e por isso ao longo dos anos têm ganho maior protagonismo (Elum & Momodu, 2017).

Entende-se por energias renováveis toda a energia que é extraída a partir de recursos que se reabastecem natural e continuamente numa escala temporal humana e que por isso, para todos os efeitos, são consideradas inesgotáveis (Ellabban, Abu-rub, & Blaabjerg, 2014). A energia eólica, solar, hídrica, geotérmica e de biomassa representam algumas das formas mais notáveis de energias renováveis e são utilizadas em 4 áreas: geração de eletricidade, transportes, climatização e fornecimento de energia *Off-Grid* (Ellabban et al., 2014).

De acordo com Apergis e Payne (Apergis & Payne, 2010), o consumo de energia proveniente de fontes renováveis é um dos pilares do desenvolvimento sustentável. Este está intrinsecamente ligado à redução de emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera como comprovado em diversos estudos (Amponsah, Troldborg, Kington, Aalders, & Lloyd, 2014; Bergmann, Hanley, & Wright, 2006; Kulionis, 2013; Moutinho & Robaina, 2016).

A transição para fontes de energia renováveis representa apenas uma parte da solução no desenvolvimento de um sistema energético sustentável. A dissociação do crescimento económico do consumo de energia através de aumentos de eficiência energética representa também um importante passo na redução de emissões de gases de efeito de estufa (International Energy Agency, 2015). A *International Energy Agency* (IEA) define a eficiência energética como uma forma de gerir e controlar o aumento do consumo de energia. Algo é energeticamente mais eficiente se fornece mais serviços pelo mesmo *input* energético ou os mesmos serviços por menos *input* energético. Segundo a diretiva da União Europeia 2006/32/EC a eficiência energética é o rácio entre a performance de um *output* e um *input* de energia.

Determinar a eficiência energética é extremamente importante dada a conjuntura atual. Por este motivo, esta temática tem ganho uma importância crescente na definição de políticas de cariz económico e ambiental. Young et al. (Young et al., 2014) refere que os países podem preservar os seus recursos, abordar o problema do aquecimento global, estabilizar as suas economias e reduzir os custos dos produtos da sua economia ao utilizarem a energia de forma mais eficiente.

Apesar da definição e medição da eficiência energética para as agências internacionais ser relativamente unânime, o mesmo não acontece em estudos empíricos. De uma forma geral, em estudos desta natureza, a primeira preocupação é definir o objeto alvo e qual o procedimento para a sua aferição. Na literatura não existe um consenso quanto ao método para definir e medir a eficiência energética (Bosseboeuf, Chateau, & Lapillonne, 1997; Xie, Shang,



Yang, & Yi, 2014; Zhou, Meng, Bai, & Cai, 2017). Dada a falta de uniformidade no conceito de eficiência energética e das diferenças significativas na escolha dos indicadores usados para o seu cálculo, a eficiência energética calculada por muitos autores diverge significativamente (Hailiang & Dechun, 2010).

É comum utilizar o rácio entre energia consumida e PIB (vulgo intensidade energética) como *proxy* da eficiência energética (Cornillie & Fankhauser, 2004; Markandya, Pedroso-Galinato, & Streimikiene, 2006; Mulder & Groot, 2004a, 2004b; Wing, Eckaus, & No, 2004). No entanto, é do conhecimento geral que este rácio sofre de limitações conceptuais que afetam a sua credibilidade enquanto indicador de eficiência energética (Khademvatani & Gordon, 2013). Por exemplo, países com invernos mais rigorosos irão, *ceteris paribus*, consumir mais energia por unidade de output do que os países com invernos amenos. Não podemos, no entanto, inferir que um usa energia de forma mais eficiente do que o outro (Stern, 2012). Este indicador apenas contempla o consumo de energia como único *input* usado na formação de riqueza, ignorando assim outros *inputs* considerados fundamentais pela teoria económica clássica, como o trabalho e o capital (Zhang, Cheng, Yuan, & Gao, 2011). Por este motivo, o uso deste indicador como medida de eficiência energética tem sido alvo de várias críticas ao longo do tempo (Patterson, 1996; Renshaw, 1981). Wilson, Trieu, e Bowen (B. Wilson, Trieu, & Bowen, 1994) reportam que estimações de eficiência energética parciais são enganadoras. Honma, Hu e Wang advogam, por isso, uma abordagem com múltiplos *inputs*, uma vez que fornece uma imagem mais realista e correta da eficiência energética (Honma & Hu, 2008; Hu & Wang, 2005).

Para haver geração de output económico, o consumo de energia deve ser combinado com outros *inputs* como o capital e o trabalho. Como foi salientado no trabalho de Boyd e Pang (Boyd & Pang, 2000) aumentos de eficiência energética só são conseguidos através de aumentos da produtividade total dos fatores.

Durante as últimas décadas vários são os métodos que têm emergido para aferir a eficiência energética e estudar as suas tendências. Estes métodos podem ser classificados de duas formas: paramétricos ou não paramétricos<sup>1</sup> (Sadjadi & Omrani, 2008). Os métodos mais utilizados no estudo da eficiência são a *Stochastic frontier analysis* (SFA), sendo este um método paramétrico; e o *Data Envelopment Analysis* (DEA), considerado como método não paramétrico (Katharakis, Katharaki, & Katostaras, 2013; Liu, Cheng, & Zhang, 2017). Embora ambos os métodos estabeleçam uma fronteira de eficiência<sup>2</sup> relativa, a metodologia utilizada por cada um para definir e medir a eficiência é bastante diferente. Os dois medem a ineficiência de uma *Decision Making Unit*<sup>3</sup> (DMU) através da distância a que a performance desta se encontra da fronteira composta pelas melhores práticas. No entanto, segundo Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007), o DEA cria esta fronteira através dos dados observados. Após identificadas as DMUs com melhores práticas, uma fronteira é formada pelas suas combinações lineares. Já o SFA usa uma função de produção onde foi adicionado um elemento estocástico, que descreve os choques aleatórios que afetam o processo de produção, para estimar esta fronteira (Aigner, Lovell, & Schmidt, 1977).

Tanto o SFA como o DEA estão associados a vantagens e desvantagens (Katharakis, Katharaki, & Katostaras, 2013). Segundo Jacobs (Jacobs, 2001 p.2), abordagens como o DEA têm a desvantagem de não assumir que na amostra selecionada possam existir variações inexplicáveis. No entanto, têm a vantagem de serem não paramétricos e de por isso requererem poucas suposições quanto à tecnologia empregue. Relativamente às abordagens SFA, estas são apelativas por reconhecerem que numa amostra possam existir variações inexplicáveis, mas tem a desvantagem de requererem fortes pressupostos para ser possível a estimação de uma fronteira de eficiência.

---

<sup>1</sup> Modelos paramétricos assumem que os dados da amostra vêm de uma população que segue uma distribuição probabilística baseada num grupo fixo de parâmetros (Geisser & Johnson, 2006). Nos não paramétricos, o grupo de parâmetros não é fixo e pode variar se nova informação relevante for obtida (Robert, 2014).

<sup>2</sup> Fronteira de eficiência é o local geométrico onde se encontram as melhores práticas de produção. É estimada através dos dados observados ( Simar & Wilson, 1998).

<sup>3</sup> DMU é a entidade responsável por transformar *inputs* em *outputs* (W. W. Cooper, Seiford, & Tone, 2007).

Assim, o DEA é preferido em casos em que seja improvável haver erros de medição e em que estejam a ser questionados os pressupostos feitos pela teoria de produção neoclássica<sup>4</sup>. O SFA é preferível quando sejam expectáveis severos erros de medição e onde formas funcionais simples sejam suficientes para igualar as propriedades da tecnologia de produção vigente (Katharakis et al., 2013). Para Gong e Sickles (Gong & Sickles, 1992), à medida que os erros de especificação da forma funcional se tornam mais sérios, as vantagens do DEA tornam-se mais apelativas. Por estes motivos, um número crescente de autores tem adotado o DEA como método para análise da eficiência energética.

As raízes do DEA podem ser traçadas até Farrell (Farrell, 1957) visto que as definições de eficiência técnica e locativa na produção por ele estabelecidas servem de base para este método. Farrell (Farrell, 1957) utilizou uma análise com apenas um *input* e um *output*. Anos mais tarde, Charnes, Cooper e Rhodes (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978) alargaram este modelo permitindo uma análise com múltiplos *inputs* e *outputs*, criando assim a metodologia DEA.

O DEA é um método matemático determinístico que usa programação linear para estimar a eficiência relativa de cada DMU, com o propósito de avaliar a performance de organizações, cidades ou países. Determina o quão eficiente uma DMU é quando comparada com DMUs similares. Este método é o mais utilizado quando o objetivo é medir a eficiência energética a nível nacional ou internacional (Mardani, Zavadskas, Streimikiene, Jusoh, & Khoshnoudi, 2017).

No modelo DEA original, mais conhecido como CCR<sup>5</sup>, assume-se o pressuposto dos retornos de escala constantes (CRS), ou seja, ao longo da fronteira de eficiência os retornos de escala são sempre os mesmos (Charnes et al., 1978). Esta hipótese implica a aceitação da premissa de que quando os *inputs* aumentam numa dada proporção, o *output* também aumenta na mesma proporção. Aos resultados produzidos por este modelo chamamos eficiência

---

<sup>4</sup> Ver (Solow, 1956, 1957; Swan, 1956).

<sup>5</sup> Modelo criado por A. Charnes, W.W. Cooper e E. Rhodes.

técnica, compreendendo tanto a eficiência puramente técnica como a eficiência de escala. Sobre este pressuposto, o tamanho de cada DMU não é importante para o cálculo da eficiência. No entanto, Coelli, Rao, O'Donnell e Battese (Coelli, Rao, O'Donnell, & Battese, 2005) argumentam o contrário, dizendo que o tamanho da DMU é considerado relevante no cálculo da eficiência porque pode influenciar a capacidade da DMU operar a uma escala ótima. Parece improvável que, por ignorar economias ou deseconomias de escala (retornos de escala crescentes ou decrescentes), o pressuposto de retornos de escala constantes seja realista e forneça estimativas corretas (Manchester, 2015). Banker, Charnes e Cooper (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) propuseram uma abordagem diferente: o modelo BCC, que considera retornos de escala variáveis (VRS). Segundo este pressuposto os retornos de escala podem também ser crescentes e/ou decrescentes. No modelo DEA com VRS a variação do *output* ou é maior, ou menor, ou até igual à variação do *input*. Assim, o modelo com VRS fornece apenas informação sobre a eficiência puramente técnica.

A escolha da orientação é outro aspecto a ter em conta na utilização do modelo BCC. Esta pode ser *output* ou *input*. Modelos com a orientação *inputs* são utilizados para testar se uma DMU consegue reduzir os seus *inputs* mantendo o mesmo nível de *outputs*. Inversamente, modelos com a orientação *output* são utilizados para testar se uma DMU consegue aumentar o *output* dados os *inputs* disponíveis (Zhu, 2012). No modelo CCR, a orientação é irrelevante e os *scores* produzidos são os mesmos independentemente da orientação escolhida (Martic, Novakovic, & Baggia, 2009). Já no modelo BCC o mesmo não acontece e consoante a orientação escolhida, os *scores* de eficiência estimados variam.

A tabela 2.1 sintetiza alguns dos estudos que têm sido feitos utilizando o DEA para medir a eficiência energética. Como se pode ver, em estudos que empreguem a metodologia DEA para o estudo da eficiência energética, a utilização dos *inputs* capital e trabalho em conjunto com um ou mais indicadores de energia é quase sempre uma constante. Quanto ao *output*, o

indicador utilizado é invariavelmente o PIB. Relativamente à orientação e aos retornos de escala escolhidos parece haver uma maior preponderância para seguir uma orientação *input* e retornos de escala constantes.

No entanto, ainda que o DEA seja uma ferramenta válida e útil para efetuar medições de eficiência, esta padece de inconvenientes que devem ser considerados e discutidos. Para além de este método não reconhecer que possam existir variações inexplicáveis ao estimar os *scores* de eficiência e por isso ser muito sensível a *outliers*<sup>6</sup> (Zelenyuk & Simar, 2008), segundo Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007) os estimadores DEA são enviesados por natureza, autocorrelacionados e num contexto de análise de duas etapas as variáveis dependentes estão correlacionadas com os erros, o que invalida inferências estatísticas *standard*. Wilson (Wilson, 1993) propôs o método de deteção de *outliers* que é usado neste trabalho naquela que é a primeira medida adotada contra o enviesamento dos *scores*. No entanto, o autor advertiu para o facto de que este deveria ser usado em conjunto com outros métodos de deteção. Por forma a corrigir as estimativas DEA quanto ao enviesamento e conduzir inferências válidas, Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007) propõem uma abordagem com duas etapas (a primeira onde os *scores* de eficiência são calculados através da metodologia DEA e a segunda onde estes *scores* são utilizados como variável dependente numa regressão truncada) e duplo *bootstrap*<sup>7</sup>. Este método permite contornar o problema do enviesamento e explorar quais as causas das variações observadas. Também os problemas de autocorrelação observados em estudos convencionais DEA com duas etapas, e por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007) evidenciados, são assim evitados.

Conforme se constata pela tabela 2.1, dos estudos sobre eficiência energética que utilizam a metodologia DEA, apenas 8 indagam sobre quais os determinantes da eficiência energética e como estes a afetam. Destes 8

---

<sup>6</sup> *Outliers* são observações atípicas, que não são normais, e que por vezes são o produto de erros de medição. Potencialmente podem influenciar significativamente as estimações (Andrews & Pregibon, 1978; Wilson, 1993).

<sup>7</sup> Metodologia de reamostragem com reposição.

apenas 3 exploram a relação que o consumo de energia renovável tem com a eficiência energética. A tabela **2.2** sumariza quais as variáveis explicativas selecionadas pelos autores destes estudos.

A respeito do impacto que o consumo de energia renovável tem na eficiência energética, a literatura consultada é contraditória. Numa amostra composta por países da UE, Bento e Paula (Bento & Paula, 2015) reportam um efeito positivo desta variável na eficiência energética. Chien e Hu (Chien & Hu, 2007) concluem, no entanto, que esta variável não é estatisticamente significativa a menos que seja desagregada e testadas as suas componentes individualmente. Já Jebali, Essid, e Khraief (Jebali, Essid, & Khraief, 2017) verificam que, para a sua amostra de países mediterrânicos, o consumo de energia renovável afeta negativamente a eficiência energética.

Quanto a indicadores que sirvam de *proxy* para o nível de desenvolvimento económico de um país, a literatura também não é unânime acerca da sua relação com a eficiência energética. Embora a maioria aponte para a existência de uma relação positiva entre ambos (Chien & Hu, 2007; Jebali et al., 2017; Jia & Liu, 2012; Zhou et al., 2017), Camioto, Moralles, Mariano e Rebelatto (Camioto, Moralles, Mariano, & Rebelatto, 2014) e Zhang et al. (Zhang et al., 2011) reportam um efeito negativo. Porém, estes dois últimos estudos realçam que a relação entre os dois parece não ser linear adotando uma forma em “U”. Quer isto dizer que, de acordo com os autores, até certo nível de desenvolvimento económico a relação é negativa e que esta se parece inverter passado esse nível.

Verifica-se também que, nos estudos considerados, a relação entre densidade populacional e eficiência energética não é consensual. Segundo Jebali et al. (Jebali et al. 2017), a densidade populacional surte um efeito positivo sobre a eficiência energética, ou seja, quanto maior for a densidade populacional de um território, maior será a sua eficiência energética. Já os resultados alcançados por Jia e Liu (Jia & Liu, 2012) parecem não corroborar esta narrativa. No seu estudo sobre a eficiência energética e ambiental em 30 províncias chinesas, os

autores indicam que o impacto da taxa de urbanização<sup>8</sup> na eficiência energética é negativo.

Relativamente ao efeito que os impostos têm na ecoeficiência, Moutinho, Madaleno e Robaina (Moutinho, Madaleno, & Robaina, 2017) reportam que o seu impacto difere consoante a ecoeficiência dos países. Impostos sobre energia e transporte exercem um impacto positivo em países com baixa ecoeficiência. Já os impostos sobre a poluição têm um efeito negativo. No entanto, registam que os países mais ecoeficientes são também aqueles onde os impostos sobre a poluição são mais elevados.

Dois dos estudos consultados, (Jia & Liu, 2012; Zhou et al., 2017), indagam sobre a contribuição dos sectores industrial e terciário para a eficiência energética. Ambos os trabalhos concluem que impacto que estes sectores têm na economia é positivo.

Relativamente à energia consumida proveniente de fontes tradicionais, Chien e Hu (Chien & Hu, 2007) advertem para os seus impactos negativos na eficiência energética.

Analisando o trabalho de Bento e Paula (Bento & Paula, 2015), pode-se constatar que os autores encontram uma relação negativa entre as emissões de gases de efeito de estufa e a eficiência energética. Reportam também que, para a sua amostra, o preço da eletricidade não se mostra estatisticamente significativo.

Com o presente estudo pretende-se identificar tendências na eficiência energética e analisar comparativamente a performance dos países que constituem a amostra. Para isso recorre-se à metodologia DEA para o cálculo dos *scores* de eficiência utilizando o PIB como único output e como *inputs* o trabalho, a energia e o capital. Efetua-se ainda uma regressão nos *scores* de

---

<sup>8</sup> Taxa de população urbana em relação à população total de uma região (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2014).

eficiência por forma a perceber quais os seus determinantes e como é que estes a impactam, com especial foco para o consumo de energia renovável.



Tabela 2.1 - Revisão de literatura dos estudos de eficiência energética que utilizam DEA

<b>Autor</b>	<b>Países/Regiões</b>	<b>Período</b>	<b>Inputs</b>	<b>Outputs</b>	<b>Método</b>	<b>Orientação</b>	<b>2ª Fase</b>
(Alp & Sözen, 2014)	29 Europeus	1998-2006	PTEP, ILGN, ILEP, ILCDP, GTBE	CIBEP, CFE	DEA CCR, BCC	<i>Output</i>	Não
(Bampatsou, Papadopoulos, & Zervas, 2013)	EU-15	1980-2008	Mix Energético	PIB	DEA CCR	<i>Output</i>	Não
(Bento & Paula, 2015)	Eu-28	2009-2013	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA CCR Boostrap	<i>Output</i>	<i>Bootstrap</i> regressão truncada
(Camioto et al., 2014)	G7 + BRICS	1993-2010	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA SBM	<i>Input+Output</i>	Modelo de Tobit
(Chien & Hu, 2007)	45 Países	2001-2002	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA CCR	<i>Input</i>	Regressão linear
(Gökgöz & Erkul, 2014)	23 Países Europa.	2011-2012	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA CCR BCC	<i>Input</i>	Não
(Hailiang & Dechun, 2010)	Província Jiangsu	1995-2008	Capital Energia Trabalho N. Patentes	PIB	DEA BCC	<i>Input</i>	Não
(Honma & Hu, 2008)	47 Regiões Japão	1993-2003	14 <i>inputs</i> (11 energéticos 3 produtivos)	GRP	DEA CCR ROPE	<i>Input</i>	Não

Tabela 2.1 – Continuação

<b>Autor</b>	<b>Países/Regiões</b>	<b>Período</b>	<b>Inputs</b>	<b>Outputs</b>	<b>Método</b>	<b>Orientação</b>	<b>2ª Fase</b>
(Hu & Kao, 2007)	17 APEC	1991-200	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA CCR ROPE	<i>Input</i>	Sim mas não nos scores DEA
(Hu & Wang, 2005)	29 Regiões China	1995-2002	Capital Energia Trabalho ATS	PIB	DEA CCR	<i>Input</i>	Não
(Jebali et al., 2017)	Países mediterrânicos	2009-2012	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA BCC <i>bootstrap</i>	<i>Input</i>	<i>Bootstrap</i> regressão truncada
(Jia & Liu, 2012)	30 Regiões China	2003-2009	Emissões CO2 e CQO Energia	PIB	DEA BCC MI	<i>Input</i>	Modelo de Tobit
(Lee, Hu, & Kao, 2011)	27 Regiões China	2000-2003	Trabalho Capital Consumo Carvão, gasolina e eletricidade	PIB	DEA CCR	<i>Input</i>	Não
(Lu, Chiu, Shyu, & Lee, 2013)	32 Países OCDE	2005-2007	Industria População	PIB Emissões CO2	DEA M.E.Híbrido	-	Não

Tabela 2.1 – Continuação

<b>Autor</b>	<b>Países/Regiões</b>	<b>Período</b>	<b>Inputs</b>	<b>Outputs</b>	<b>Método</b>	<b>Orientação</b>	<b>2ª Fase</b>
(Madaleno, Moutinho, & Robaina, 2016)	26 Países Europa.	2001-2012	Capital Trabalho En. Renovável Combustíveis Fosseis PIB/T PIB/C CF/PIB ER/PIB	PIB/EGEE	DEA CCR BCC	<i>Input+Output</i>	Não
(Menegaki, 2013)	31 Países Europa.	1997-2010	PER Em. CO2 Trabalho Capital CFE	PIB per cap.	DEA CCR BCC MI	<i>Input+Output</i>	Não
(Moutinho et al., 2017)	26 Países Europa.	2001-2012	PT PC PER/PIB CF/PIB	PIB/EGEE	DEA CCR BCC	<i>Output</i>	Regressão de quartil
(Song, Zhang, Liu, & Fisher, 2013)	BRICS	2009-2010	Capital Energia Trabalho	PIB	<i>Bootstrap</i> Super DEA CCR	<i>Input</i>	Não
(Wei, Ni, & Sheng, 2011)	156 Países	1980-2007	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA CCR BCC	<i>Input</i>	Não

Tabela 2.1 - Continuação

Autor	Países/Regiões	Período	Inputs	Outputs	Método	Orientação	2ª Fase
(Zhang et al., 2011)	23 Países	1980-2005	Capital Energia Trabalho	PIB	DEA BCC Análise janela	<i>Input</i>	Modelo de Tobit dinâmico
(Zhou & Ang, 2008)	21 Países OCDE	1997-2001	Capital Trabalho Petróleo Gás natural Carvão OFE	PIB Emissões CO2	Modelos baseados em DEA	-	Não
(Zhou et al., 2017)	19 APEC	1995-2013	Capital Trabalho Petróleo Gás natural Carvão EPFNF	PIB Emissões CO2	DEA BCC Análise janela Congestão energética	<i>Output</i>	Regressão linear utilizando congestão energética como variável dependente

**Notas:** **PTEP:** Produção total energia primária; **ILGN:** Importações líquidas gás natural; **ILEP:** Importações líquidas energia primária; **ILCDP:** Importações líquidas de crude e derivados de petróleo; **GTBE:** Geração total bruta de eletricidade; **CIBEP:** Consumo interno bruto energia primária; **CFE:** Consumo final energia; **SBM:** *Slacks based model*; **ATS:** área total semeada; **MI:** Índice de Malmquist; **PRB:** produto regional bruto; **CQO:** carência química de oxigênio; **PER:** Percentagem de energia renovável produzida na produção de energia total; **CFE:** Consumo final de energia; **EGEE:** emissão gases efeito de estufa; **EPFNF:** energia proveniente de fontes não fósseis; **OFE:** Outras fontes de energia; **PT:** Produtividade do trabalho; **PC:** Produtividade do capital

Tabela 2.2 - Variáveis explicativas usadas na segunda etapa

<b>Autor</b>	<b>Variáveis explicativas</b>
(Bento & Paula, 2015)	EGEE; PE; CER/CET
(Camimoto et al., 2014)	EMV; AEE; RNBpc; NP
(Chien & Hu, 2007)	PIB; Capital; Trabalho; EPFT; ER
(Jebali et al., 2017)	RNBpc; DP; CER/CET
(Jia & Liu, 2012)	PIBpc; PITPIB; TU; IPA/PRB
(Moutinho et al., 2017)	IE; IT; IP; PR; CMD
(Zhang et al., 2011)	RNBpc; EETF
(Zhou et al., 2017)	ETC; PIBpc; VAI/PIB

**Nota:** **EGEE:** Emissão de gases efeito de estufa; **PE:** Preço eletricidade; **CER:** Consumo de energia renovável; **EMV:** Esperança média de vida; **AEE:** Anos de escolaridade esperados; **RNBpc:** Rendimento nacional bruto *per capita*; **NP:** Número de patentes; **EPFT:** Energia proveniente de fontes tradicionais; **ER:** Energia renovável; **PITPIB:** Peso da indústria terciária no PIB; **TU:** taxa de urbanização; **IPA/PRB:** investimento em proteção ambiental / produto regional bruto; **IE:** Imposto sobre a energia; **IT:** Imposto sobre os transportes; **IP:** Imposto sobre a poluição; **PR:** Produtividade dos recursos; **CMD:** Consumo de material doméstico; **EETF:** Eficiência energética total dos fatores; **VIA:** Valor industrial adicionado; **DP:** densidade populacional

### **3. Metodologia e dados**

O propósito deste trabalho é estimar e analisar, para alguns dos maiores países geradores de energia renovável, as tendências da eficiência energética, indagar sobre os seus determinantes e quantificar os seus impactos. Para isso a metodologia DEA foi utilizada para estimar a eficiência energética de cada país para os diferentes anos e de seguida, por forma a perceber como as variáveis a afetam, foi efetuada uma regressão truncada.

Os próximos subcapítulos explicam em detalhe como cada passo foi feito.

#### **3.1 – DEA**

##### **3.1.1 – Metodologia**

Em estudos em que o objeto de análise é a eficiência energética, um dos métodos mais utilizados para a sua aferição é o DEA. Na análise DEA deve-se escolher a orientação e o tipo de retornos de escala. A orientação escolhida foi a *input*, a que visa a minimização dos recursos utilizados. Dado o panorama atual de excessiva utilização dos recursos naturais, esta pareceu-nos a orientação mais adequada. Foi também esta a orientação escolhida em vários dos estudos consultados (Hu & Kao, 2007; Jebali et al., 2017; Jia & Liu, 2012; Song et al., 2013; Wei et al., 2011; Zhang et al., 2011).

Quanto ao tipo de retornos de escala, os escolhidos foram os variáveis. Halkos e Tzeremes (Halkos & Tzeremes, 2009) advertiram para o facto de que, se é provável que o tamanho das DMUs sobre investigação possa influenciar a sua capacidade de gerar *output* eficientemente, então o pressuposto CRS não é apropriado. A fronteira criada com o pressuposto VRS é menos restritiva, o que permite que as melhores práticas variem com o tamanho da DMU (Halkos & Tzeremes, 2009).

Como a amostra de países considerada para este estudo é bastante heterogénea quanto à sua dimensão, o modelo escolhido foi o BCC. O modelo

BCC é apenas uma modificação/extensão do modelo CCR sendo que a adição da restrição de convexidade é a única diferença entre os dois (Coelli et al., 2005). Formalmente considera-se que cada unidade de decisão ( $DMU_j = j = 1, \dots, n$ ) transforma um vetor de *inputs*  $X_j = (x_{1j} \dots x_{mj}) \in R_+^m$  num vetor de *outputs*  $Y_j = (y_{1j} \dots y_{sj}) \in R_+^s$ . O estimador DEA com orientação *input* e VRS é então dado por:

$min \theta$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m$$

(1)

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{kj} \geq y_{k0}, \quad k = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

onde  $\theta$  é um escalar compreendido entre 0 e 1 e representa a eficiência energética do país  $j$ . Um valor igual a 1 indica que a DMU se encontra na fronteira de eficiência não havendo assim nenhuma DMU mais eficiente.  $\lambda_j$  representa o vetor dos *weights* dos *inputs* e *outputs* associados ao país  $j$ . A restrição  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  impõem o pressuposto de retornos de escala variáveis (Jebali et al., 2017).

A figura **3.1** representa um modelo BCC simplificado e hipotético com apenas um *input* e um *output*. Os pontos que se encontram sobre a fronteira representam a performance das DMUs eficientes. Os que se encontram abaixo da fronteira representam as ineficientes.

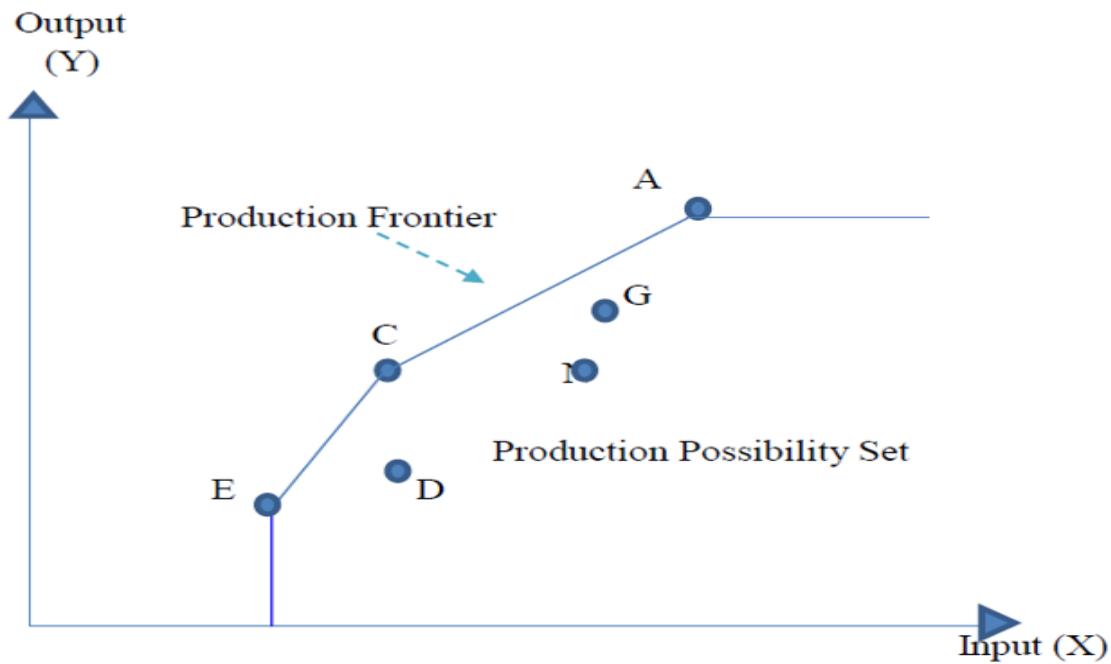


Figura 3.1 - Representação gráfica do modelo BCC  
 Fonte: (Cooper, Seiford, Lawrence, & Tone, 2006)

Como já foi dito anteriormente, os scores DEA são extremamente sensíveis a valores extremos e são enviesados por natureza. Assim, para tentar corrigir este enviesamento, foram postos em prática dois métodos: a detecção de *outliers* e uma metodologia de correção dos scores por *bootstrap*.

*Outliers* são observações atípicas e por vezes o produto de erros de medição. Se possível estas observações devem ser corrigidas ou eliminadas (Wilson, 1993).

Para a detecção de *outliers* o método escolhido foi o proposto por Wilson (Wilson, 1993), que mais não é do que uma extensão do método de Andrews e Pregibon (Andrews & Pregibon, 1978). Para um único *output*, a estatística para a detecção dos *outliers* é definida por:

$$R_L^{(i)}(X^*) \equiv \left[ D_L^{(i)}(|X^{*'}X^*|) \right] |X^{*'}X^*|^{-1} \quad (2)$$

onde  $X^* = [XY]$  e  $X$  é a matriz dos inputs e  $Y$  a dos outputs.  $D_L^{(i)}$  é o operador que elimina os  $i$  elementos, que formam o subconjunto  $L$ , do conjunto de



observações  $S = \{1, \dots, n\}$ .  $R_L^{(i)}(X^*)$  é o rácio que permite a medição da variação relativa devido à eliminação dos elementos contidos no subconjunto  $L$ . Pequenos valores de  $R_L^{(i)}(X^*)$  estão associados com observações desviantes/aberrantes e/ou influentes. Independentemente do caso, é desejável isolar os subconjuntos das observações que produzem valores pequenos para escrutínio.

De seguida, encontra-se o valor observado mínimo de  $R_L^{(i)}$  para todos os  $\binom{n}{i}$  possíveis subconjuntos de  $L$  de tamanho  $i$ . Este valor é denominado por  $R_{min}^{(i)}$ .

Andrews e Pregibon (Andrews & Pregibon, 1978) sugeriram uma análise gráfica dos logaritmos dos rácios ( $\log[R_L^{(i)}(X^*)/R_{min}^{(i)}]$ ,  $(i = 1, \dots, i_{max})$ ). Estes são calculados para os subconjuntos  $\binom{2^{i_{max}}}{i}$  com os maiores valores  $q_i^* q_i^{*'}$ , onde  $q_i^*$  é a  $i$ th coluna de  $Q^*$  e  $Q^*$  é a matriz ortogonal na decomposição  $X^* = Q^*R^*$ . Quando a separação entre os dois valores mais pequenos é considerável, as observações do conjunto em questão poderão ser consideradas *outliers*.

O segundo método usado para acautelar e corrigir contra o enviesamento foi o método de correção por *bootstrap* proposto por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 1998). O *bootstrap* é um método que consiste em retirar, aleatoriamente e com reposição, observações de uma amostra de dados de modo a formar novas amostras. Deste modo, o processo de geração de dados (DGP) do modelo é replicado e é possível gerarem-se estimativas que podem ser utilizadas para cálculos estatísticos. Ao se utilizar este método a probabilidade da distribuição do estimador de interesse segue a verdadeira, mas desconhecida, distribuição dos dados. Assim, ao se retirar várias amostras, é possível construir uma distribuição amostral empírica para todos os *scores* DEA (Efron, 1979, 1981).

No entanto, segundo Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007), um procedimento de *bootstrap* normal, o *naive bootstrap*, baseado na reamostragem através da

distribuição empírica dos dados, é inconsistente para a abordagem de duas etapas.

De acordo com Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007), para se proceder ao estudo das propriedades dos estimadores DEA é preciso definir um DGP coerente. Estes autores propõem um conjunto de pressupostos que estabelece um DGP<sup>9</sup> consistente com o propósito deste trabalho, a regressão de estimações de eficiência DEA em variáveis “ambientais”. Só depois de estabelecer estes pressupostos é possível saber que a metodologia *bootstrap* imita a distribuição da amostra dos estimadores de interesse.

A precisão do método de *bootstrap* é derivada do enviesamento do processo e da variância dos resíduos. Esta depende do tamanho da amostra. Quanto mais pequena for a amostra mais erráticas serão as observações e maior será o enviesamento (Simar & Wilson, 2007). Assim, para Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007), o tamanho da amostra é essencial para se obter estimações de eficiência fidedignas. Por este motivo o número de replicações escolhido foram 2000 como sugerido por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2008).

Segundo Simar e Wilson (Simar & Wilson, 1998), para se construir um conjunto de estimativas de eficiência *bootstrap* homogéneo  $\theta_b^*$  (com  $\{\theta_b^*(x_n, y_n) | b = 1, \dots, B\}$  e onde  $B$  é o número de replicações *bootstrap*) para os scores DEA originais  $\theta$  de um ponto observado  $(x_n, y_n)$ , devem ser implementados os passos descritos em (Simar & Wilson, 1998, pag. 56-57).

O enviesamento é depois calculado para o estimador DEA original através de:

---

<sup>9</sup> Ver (Simar & Wilson, 2007)

$$BIAS_B(\theta(x, y)) = (B^{-1} \sum_{b=1}^B \theta_b^*(x, y)) - \theta(x, y), \quad (3)$$

onde  $\theta_b^*(x, y)$  fornece os *scores bootstrap* DEA e  $\theta(x, y)$  os *scores* DEA originais. Os *scores* corrigidos nada mais são do que a subtração do enviesamento aos *scores* originais. Assim,

$$\begin{aligned} \theta^*(x, y) &= \theta(x, y) - BIAS_B(\theta(x, y)) \\ &= 2\theta(x, y) - B^{-1} \sum_{b=1}^B \theta_b^*(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

Efron, Tibshirani, Simar e Wilson (Efron & Tibshirani, 1993; Simar & Wilson, 2008) argumentam que esta correção pode introduzir ainda mais ruído<sup>10</sup> na amostra. Por isso é preciso voltar a recalcular a variância amostral do valor *bootstrap* dada por

$$\sigma^{2*} = B^{-1} \sum_{b=1}^B [\theta_b^*(x, y) - B^{-1} \sum_{b=1}^B \theta_b^*(x, y)]^2 \quad (5)$$

De acordo com Dario, Simar e Wilson (Dario & Simar, 2007; Simar & Wilson, 2008), se o valor absoluto do enviesamento for maior que o do desvio padrão então os *scores* corrigidos são preferíveis aos originais.

Esta primeira fase do trabalho foi feita utilizando o *software* estatístico R com recurso à *library* *FEAR* compilada por Simar e Wilson.

---

<sup>10</sup> Variações inexplicáveis

### 3.1.2 – Output e Inputs

Nesta dissertação foram usados para o cálculo dos scores DEA dados anuais referentes às variáveis apresentadas na tabela 3.1.

	Variável	Sigla	Unidade	Fonte
<i>Output</i>	Produto interno bruto	PIB	Milhões USD preços correntes	<i>World Bank</i>
<i>Inputs</i>	Força Laboral	T	Milhares de pessoas	<i>World Bank</i>
	Formação bruta de capital fixo	FBCF	Milhões USD preços correntes	<i>World Bank</i>
	Consumo primário de energia	E	Equivalente a milhões de toneladas de petróleo	<i>Enerdata</i>

Tabela 3.1 - Inputs e output utilizados no DEA

A base para esta escolha foi a literatura consultada. Dos estudos apresentados na tabela 2.1, 10 usam estes indicadores.

### 3.1.3 – Amostra

Foram recolhidos dados referentes a 40 países durante o período de tempo compreendido entre 2009 e 2013. O critério para a sua seleção foi a quantidade de eletricidade gerada proveniente de fontes renováveis. Estes dados foram recolhidos junto da *International Renewable Energy Agency* (IRENA) e podem ser consultados na tabela A7 em anexo. No entanto, uma parte foi posteriormente excluída por falta de disponibilidade de dados para a segunda parte deste trabalho. No final, esta amostra ficou reduzida a 21 países (10 europeus, 4 pertencentes à região Asia-Pacífico (APAC) e 7 americanos).

De seguida, foi feito um despiste de possíveis *outliers*. Para esta análise decidiu-se implementar a sugestão de Andrews e Pregibon (Andrews &

Pregibon, 1978) e proceder à análise gráfica dos rácios calculados pelo método proposto por Wilson (Wilson, 1993). Esta foi feita com auxílio da tabela 3.2 que indica qual o conjunto de observações com  $i$  elementos que produz o  $R_{min}^{(i)}$ . Para cada  $i = 1, 2, 3, \dots, 15$  a figura 3.2 mostra os 30 valores mais baixos de  $\log[R_L^{(i)}(X^*)/R_{min}^{(i)}], (i = 1, \dots, i_{max})$  computados para os  $\binom{30}{i}$  subconjuntos com os maiores valores de  $q_i^*q_i'$ . Se a separação entre os dois rácios mais baixos for grande, os elementos desse conjunto são considerados *outliers*.

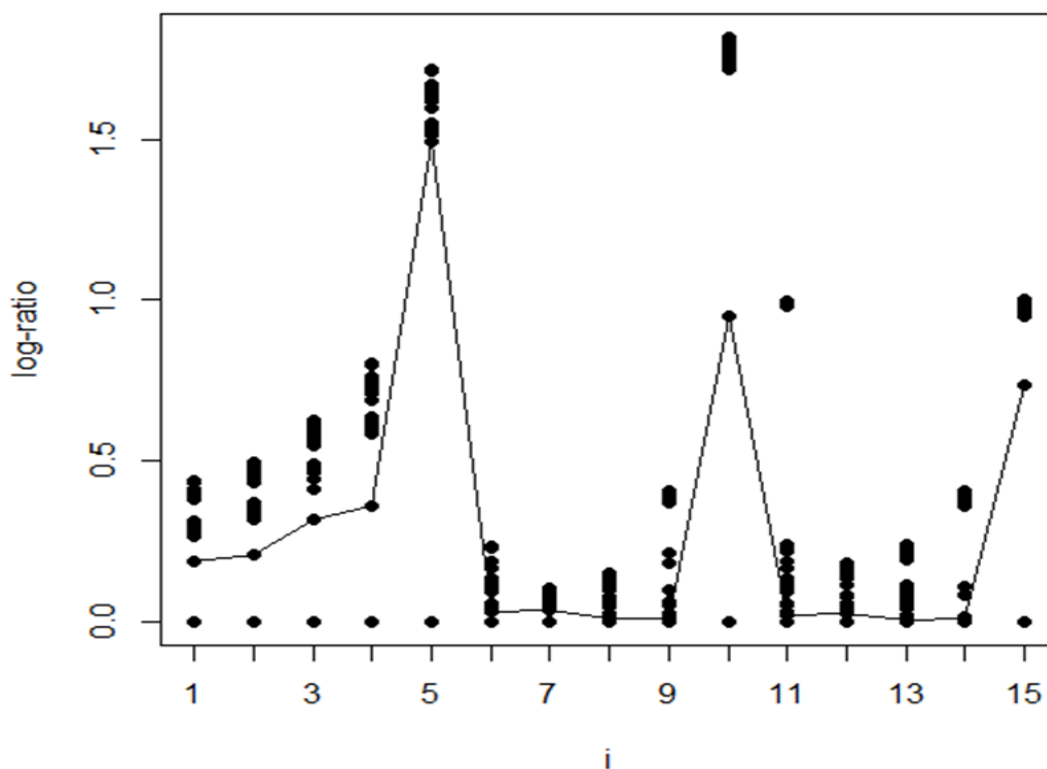


Figura 3.2 - Representação dos logaritmos dos rácios

Como podemos verificar para  $i = 5, 10, 15$  a separação do valor dos dois rácios é bastante grande. Assim sendo, as observações listadas na Tabela 3.2 para estes valores de  $i$  são consideradas *outliers*.

De seguida foram identificados os países aos quais pertencem estas observações. Os países identificados foram a China, Índia e Estados Unidos da América.

$i$	Observações	$R_{min}^{(i)}$
[1,]	20	0.6114049
[2,]	19 20	0.3523360
[3,]	18 19 20	0.1787877
[4,]	17 18 19 20	0.0781845
[5,]	17 16 18 19 20	0.0137222
[6,]	17 16 18 97 19 20	0.0106145
[7,]	17 16 98 18 97 19 20	0.0078502
[8,]	17 16 96 98 18 97 19 20	0.0054546
[9,]	39 37 17 16 40 36 18 19 20	0.0029465
[10,]	38 39 37 17 16 40 36 18 19 20	0.0004091
[11,]	38 39 37 17 16 40 36 18 97 19 20	0.0003156
[12,]	38 39 37 17 16 40 36 98 18 97 19 20	0.0002329
[13,]	38 39 37 17 16 40 96 36 98 18 97 19 20	0.0001618
[14,]	38 39 37 17 16 40 36 99 98 100 18 97 19 20	0.0000948
[15,]	38 39 37 17 16 40 96 36 99 98 100 18 97 19 20	0.0000304

Tabela 3.2 - Possíveis outliers

Segundo Epstein, Henderson e Wilson (Epstein & Henderson, 1989; Wilson, 1993), *outliers* que são eficientes podem influenciar severamente os scores de eficiência produzidos pelo DEA enviesando a análise. Portanto, foram calculados scores DEA preliminares por forma a efetuar este despiste. Neste teste os EUA foram identificados como o país mais eficiente, ou seja, um dos maiores responsáveis por estabelecer a fronteira de eficiência. Os resultados desta análise preliminar podem ser consultados na tabela **A8** em anexo. Por este motivo decidiu-se eliminar os EUA da amostra. A China e a Índia, como são dos países menos eficientes puderam ser mantidos.

Foi feito novamente o despiste de *outliers*, desta feita sem os EUA. Nesta nova análise, para além da China e a Índia, a Rússia é dada também como *outlier*. No entanto como esta não se encontra na fronteira de eficiência pôde ser mantida. A figura **A9** e a tabela **A10** podem ser consultados no Anexo. Posto isto, a amostra ficou reduzida a 20 países.

### 3.1.4 – Estatística descritiva

A estatística descritiva dos dados utilizados para o cálculo da eficiência é dada pela tabela 3.3. A tabela 3.4 apresenta a matriz de correlação. No período em estudo, a média de cada um dos indicadores considerados apresentou uma taxa de crescimento positiva. Para o PIB, a FBCF e o consumo de energia, este crescimento foi bastante significativo. Este aumento deve-se ao crescimento muito acentuado dos países BRIC e Canadá (grandes potências mundiais). Já o indicador trabalho, como era esperado, não sofreu alterações tão significativas. Analisando também as métricas desvio padrão e *range*, percebe-se que as diferenças entre países aumentaram, em especial entre as pequenas e as grandes economias. Quanto aos coeficientes de correlação, revelaram-se todos significativos mostrando assim que a escolha das variáveis é aceitável.

Ano	Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Range
2009	PIB	1.59E+12	1.49E+12	1.21E+11	5.23E+12	5.11E+12
	E	3.14E+02	5.07E+02	1.80E+01	2.37E+03	2.35E+03
	T	9.05E+07	1.87E+08	2.31E+06	7.82E+08	7.79E+08
	FBCF	4.01E+11	5.11E+11	2.44E+10	2.29E+12	2.27E+12
2010	PIB	1.75E+12	1.65E+12	1.47E+11	6.10E+12	5.95E+12
	E	3.35E+02	5.59E+02	1.88E+01	2.61E+03	2.60E+03
	T	9.08E+07	1.87E+08	2.34E+06	7.83E+08	7.81E+08
	FBCF	4.48E+11	5.96E+11	2.88E+10	2.74E+12	2.72E+12
2011	PIB	1.98E+12	1.92E+12	1.68E+11	7.57E+12	7.40E+12
	E	3.45E+02	6.00E+02	1.87E+01	2.80E+03	2.79E+03
	T	9.13E+07	1.88E+08	2.37E+06	7.89E+08	7.87E+08
	FBCF	5.17E+11	7.31E+11	3.34E+10	3.40E+12	3.37E+12
2012	PIB	2.01E+12	2.06E+12	1.76E+11	8.56E+12	8.38E+12
	E	3.54E+02	6.23E+02	1.96E+01	2.91E+03	2.89E+03
	T	9.20E+07	1.90E+08	2.38E+06	7.94E+08	7.92E+08
	FBCF	5.36E+11	8.27E+11	3.43E+10	3.87E+12	3.84E+12
2013	PIB	2.05E+12	2.15E+12	1.91E+11	9.61E+12	9.42E+12
	E	3.59E+02	6.43E+02	1.96E+01	3.01E+03	2.99E+03
	T	9.28E+07	1.91E+08	2.40E+06	7.98E+08	7.96E+08
	FBCF	5.56E+11	9.20E+11	3.34E+10	4.37E+12	4.34E+12

Tabela 3.3 - Estatística descritiva das variáveis usadas no DEA

	PIB	E	T	FBCF
PIB	1.00	0.78	0.63	0.92
E	0.78	1.00	0.92	0.94
T	0.63	0.92	1.00	0.82
FBCF	0.92	0.94	0.82	1.00

Tabela 3.4 - Matriz de correlação das variáveis usadas no DEA

## 3.2 – Regressão truncada

### 3.2.1 – Metodologia

Na segunda etapa desta análise efetuou-se uma regressão truncada com *bootstrap*, utilizando-se os *scores* DEA corrigidos como variável dependente e com o objetivo de estudar o impacto das variáveis ambientais na eficiência energética.

A regressão truncada que representa a verdadeira, mas desconhecida, relação da eficiência com as variáveis explicativas é especificada da seguinte forma:

$$\theta_j^* \approx \beta Z_j + \varepsilon_j, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$\theta_j^*$  representa os *scores* de eficiência corrigidos calculados no passo anterior,  $Z_j = (1, z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{rj})$  o vetor das variáveis explicativas consideradas e  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_r)'$  o vetor dos parâmetros das mesmas que quantificam a sua influência nos *scores* DEA.  $\varepsilon_j$  representa os erros que se assume que sigam uma distribuição  $\varepsilon_j \rightarrow N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  tal que  $-\beta Z_j \leq \varepsilon_j \leq 1 - \beta Z_j, j = 1, \dots, n$ .

Assim, a forma funcional da regressão que se pretende estimar é dada por:

$$\theta_j^* = \beta_0 + \beta_1 REN_j + \beta_2 RNBpc_j + \beta_3 DEN_j + \varepsilon_j \quad (7)$$



A tabela **3.5** clarifica quais as variáveis explicativas usadas nesta regressão.

Para obter estimações de intervalos de confiança válidas para os parâmetros escolhidos, foi utilizado um *bootstrap* paramétrico. O algoritmo 1, proposto por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2007), descreve o processo feito neste subcapítulo na sua totalidade. Porém, o primeiro passo do algoritmo foi ignorado e as estimativas DEA utilizadas nos restantes passos foram as corrigidas.

A segunda etapa foi feita no *software* estatístico *STATA* através do comando *simarwilson*. Este foi desenvolvido pelo professor Harald Tauchman da Universidade Friedrich-Alexander em Erlangen-Nuremberga.

### **3.2.2 – Variáveis explicativas**

A seleção dos dados para a segunda parte do trabalho também se baseou na literatura consultada. O consumo de energia renovável foi escolhido pelo protagonismo que tem neste trabalho, tendo sido também utilizado nos seguintes trabalhos (Bento & Paula, 2015; Chien & Hu, 2007; Jebali et al., 2017). As restantes variáveis explicativas selecionadas foram o RNBpc e a densidade populacional. Dos artigos referenciados na tabela **2.2**, 6 (Camoto et al., 2014; Chien & Hu, 2007; Jebali et al., 2017; Jia & Liu, 2012; Zhang et al., 2011; Zhou et al., 2017) usam uma variável explicativa ilustrativa da riqueza gerada; daí a escolha do RNBpc. Quanto à densidade populacional, foi um indicador utilizado nos trabalhos de Jebali et al., Jia e Liu (Jebali et al., 2017; Jia & Liu, 2012) e dada a heterogeneidade da amostra mostra-se relevante para o presente estudo. A tabela **3.5** sintetiza as variáveis escolhidas para conduzir a regressão.

	Variável	Sigla	Unidade	Fonte
Variável dependente	Scores Eficiência	-	-	-
Variáveis independentes	Consumo de energia renovável em percentagem do consumo de energia total	REN	-	World Bank
	Rendimento nacional bruto <i>per capita</i>	RNBpc	Milhares de USD a preço corrente	World Bank
	Densidade populacional	DEN	Pessoas por km <sup>2</sup>	World Bank

Tabela 3.5 - Variáveis utilizadas na regressão

### 3.2.3 – Estatística descritiva

A estatística descritiva das variáveis explicativas utilizadas na regressão truncada é dada pela tabela 3.6.

Ano	Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Range
2009	DEN	112.48	116.55	3.70	408.41	404.71
	RNBpc	26980.50	21680.18	1110.00	87840.00	86730.00
	REN	21.00	15.84	3.03	56.77	53.74
2010	DEN	113.16	117.31	3.74	414.03	410.29
	RNBpc	27668.50	21699.42	1220.00	88430.00	87210.00
	REN	21.02	15.35	3.34	56.33	52.99
2011	DEN	113.59	117.78	3.78	419.49	415.72
	RNBpc	28661.00	22125.57	1380.00	90270.00	88890.00
	REN	20.97	15.19	3.23	56.63	53.40
2012	DEN	114.22	118.48	3.82	424.82	421.00
	RNBpc	29924.00	23453.43	1480.00	99100.00	97620.00
	REN	21.22	15.33	3.35	58.45	55.10
2013	DEN	114.92	119.25	3.87	430.03	426.16
	RNBpc	30794.50	24326.84	1520.00	104180.00	102660.00
	REN	21.63	14.78	3.67	57.69	54.03

Tabela 3.6 - Estatística descritiva das variáveis explicativas utilizadas na regressão

Durante o período em análise, cada uma das variáveis apresentou uma taxa de crescimento médio positiva, em especial a variável RNBpc. Analisando o desvio padrão e o *range*, confirma-se o que foi constatado anteriormente, que as desigualdades entre os países tenderam a aumentar. No entanto, o mesmo parece não se verificar para o consumo de energia renovável, havendo um esbater ténue nas diferenças entre os países.

Foi ainda averiguado, através do fator de inflação da variância (FIV), a existência de multicolinearidade<sup>11</sup>. A tabela 3.7 apresenta os FIVs calculados após a elaboração de uma regressão linear com as variáveis.

Variável	FIV	1/FIV	$\sqrt{\text{FIV}}$
DEN	1.05	0.95	1.02
RNBpc	1.12	0.89	1.06
REN	1.18	0.85	1.09

Tabela 3.7- Fator de inflação da variância

O FIV mede o quão inflacionada está a variância da variável explicativa devido à sua correlação com as demais variáveis independentes. Um FIV de 1 indica que não existe correlação entre a variável explicativa e as restantes variáveis explicativas. Como podemos verificar pelos resultados obtidos, todos os FIVs estão bastante próximos de 1. Logo, conclui-se que as variáveis explicativas selecionadas não sofrem de multicolinearidade.

<sup>11</sup> Multicolinearidade surge quando, num modelo de regressão, existem pelo menos duas variáveis explicativas que estão alta e linearmente correlacionadas. O principal problema associado com a multicolinearidade é o enviesamento e instabilidade do desvio padrão, que conduz a *p-values* instáveis e pouco credíveis para avaliar a significância estatística das variáveis explicativas (Vatcheva & Lee, 2016)

## 4. Resultados Empíricos

### 4.1 – Resultados DEA e discussão

Nesta secção de apresentação e discussão de resultados pretende-se explorar e analisar as tendências relativas à eficiência energética na amostra de países selecionada. Para isso foram estimados *scores* de eficiência usando a metodologia DEA.

As figuras abaixo (Figuras 4.1 – 4.5) ilustram os *scores* de eficiência calculados, originais e corrigidos, para os diferentes países e anos considerados neste estudo. Países com *scores* de eficiência energética igual a 1 constituem a fronteira de eficiência, ou seja, a utilização dos *inputs* nestes países, quando comparada com os outros países da amostra, é ótima.

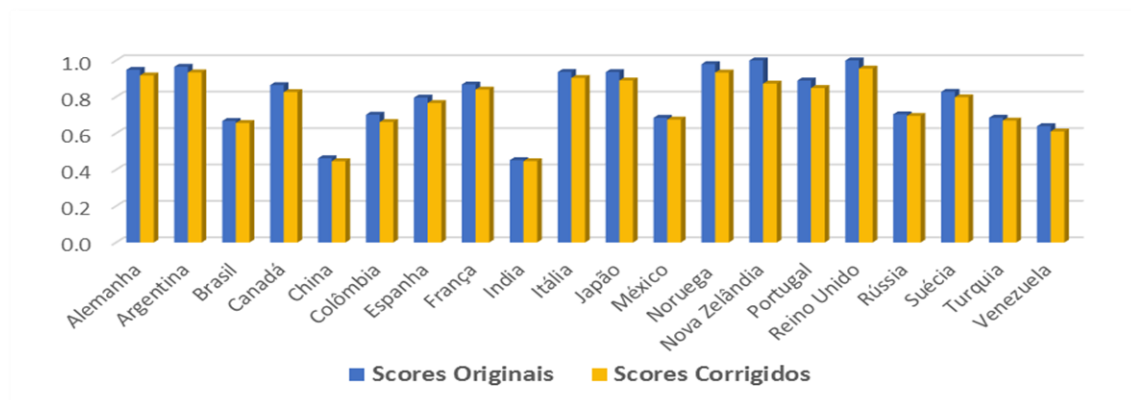


Figura 4.1 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2009

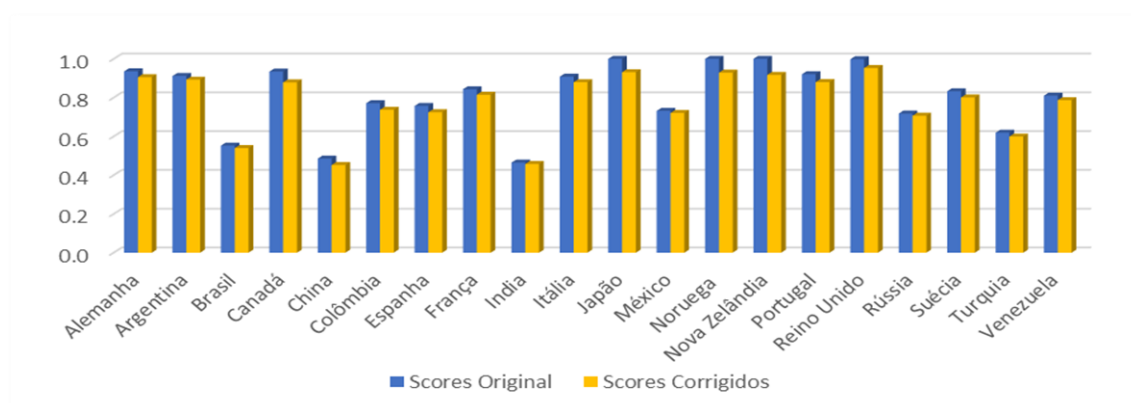


Figura 4.2 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2010

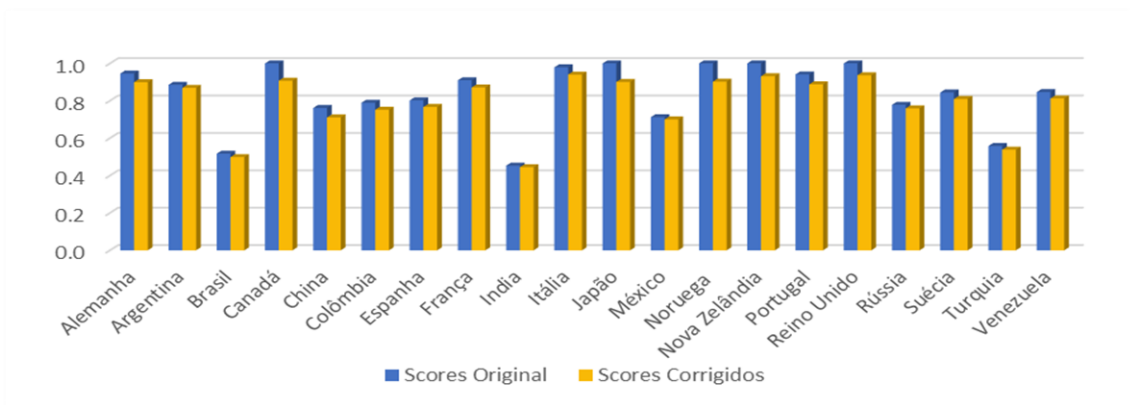


Figura 4.3 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2011

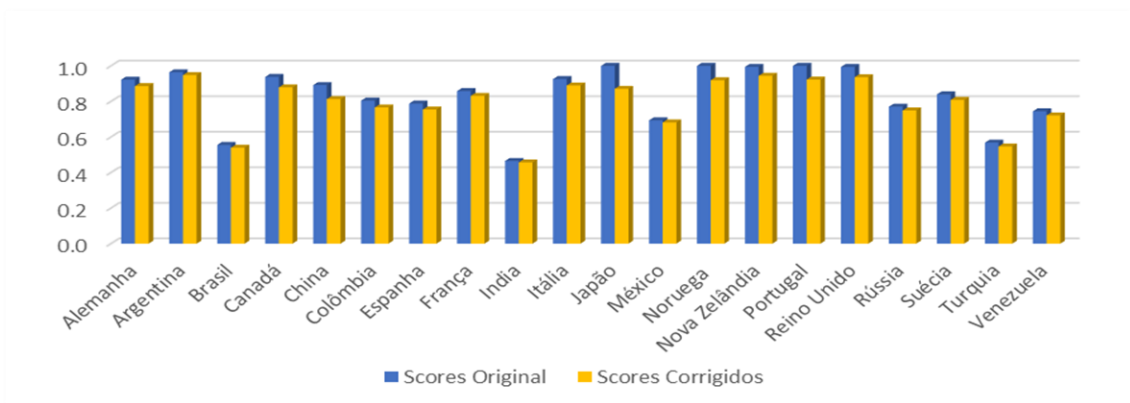


Figura 4.4 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2012

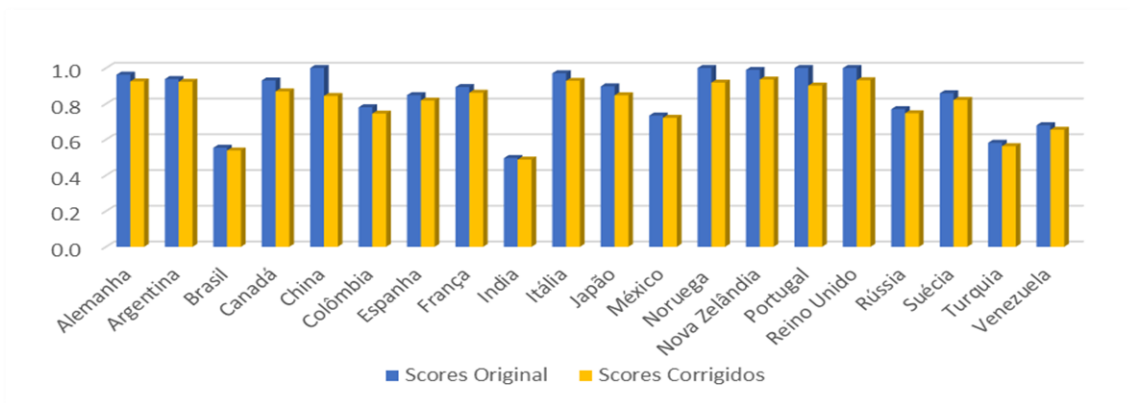


Figura 4.5 - Scores de eficiência originais e corrigidos para o ano 2013

A tabela 4.1 representa a estatística descritiva dos scores de eficiência originais e dos corrigidos. Resultados completos são dados no apêndice pela tabela A11. Desta estatística, e das imagens apresentadas, retira-se que os

scores originais são sempre superiores aos scores corrigidos e que a sua dispersão em torno da média também é ligeiramente maior. A média de ambos os scores foi aumentando ao longo dos anos, enquanto que o desvio padrão foi diminuindo. Observa-se assim um fenómeno de convergência, com as diferenças de eficiência entre os países a esbaterem-se. A diferença do melhor para o pior score foi também diminuindo, dando ainda mais força a este argumento.

Ano		Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Range
2009	Scores Originais	0.80	0.16	0.45	1.00	0.55
	Scores Corrigidos	0.77	0.15	0.45	0.96	0.51
2010	Scores Originais	0.81	0.17	0.46	1.00	0.54
	Scores Corrigidos	0.78	0.15	0.45	0.95	0.50
2011	Scores Originais	0.84	0.16	0.45	1.00	0.55
	Scores Corrigidos	0.79	0.15	0.44	0.94	0.50
2012	Scores Originais	0.84	0.16	0.46	1.00	0.54
	Scores Corrigidos	0.79	0.14	0.46	0.95	0.49
2013	Scores Originais	0.84	0.16	0.50	1.00	0.50
	Scores Corrigidos	0.80	0.14	0.49	0.94	0.45

Tabela 4.1 - Estatística descritiva dos scores de eficiência

Os estimadores DEA, além de padecerem dos problemas já enunciados na metodologia, tendem a sobre estimar os valores de eficiência no caso de modelos em que tenha sido escolhida uma orientação *input* (Daraio & Simar, 2005). Por isso, antes de se fazer uma análise detalhada, tem que se perceber primeiro quais os scores de eficiência a considerar: os originais ou os corrigidos. Para esse efeito, deve-se proceder à comparação dos valores absolutos estimados do enviesamento e do desvio padrão. A tabela 4.2 sumariza estas métricas. Os resultados completos encontram-se na tabela A11 em anexo. Como os valores absolutos estimados de enviesamento são maiores que os valores de desvio padrão estimados para todos os países da amostra, os scores de eficiência corrigidos são preferíveis aos originais uma vez que representam uma estimativa mais precisa da eficiência real.

	2009	2010	2011	2012	2013
Enviesamento	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06
Desvio padrão	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04

*Tabela 4.2 - Valores médios estimados de enviesamento e desvio padrão*

Procedendo à análise dos *scores*, é possível concluir de imediato que, em média, entre 2009 e 2013, os países considerados aumentaram a sua eficiência em cerca de 4%. Apesar de pouco significativo e expressivo, este resultado pode representar uma vitória para a “nova geração” de políticas energéticas que tendem, cada vez mais, a ter um cunho ambientalista crivado. Este resultado demonstra que, apesar desta crescente preocupação ambiental a eficiência energética não foi comprometida. Exemplos dessas políticas são a estratégia Europa 2020 e o Plano Nacional de Ação para o Aquecimento Global Chinês. Ao analisar a Tabela 4.3, parece que estas políticas surtiram um efeito positivo na eficiência energética. A região Ásia-Pacífico foi a que mais cresceu (sendo a China a principal causa para este crescimento) seguida da UE. Desta tabela retiramos ainda que os países Europeus foram, em média, os mais eficientes.

	2009	2010	2011	2012	2013	Taxa crescimento
América	0.73	0.76	0.76	0.76	0.74	2%
Ásia-Pacífico	0.66	0.69	0.75	0.77	0.78	17%
Europa	0.83	0.82	0.83	0.82	0.84	1%
UE	0.86	0.85	0.87	0.86	0.88	3%

*Tabela 4.3 - Scores médios por região*

Analisando agora os *scores* de eficiência por país, dados na tabela 4.4, percebe-se que nem todos os países aumentaram a sua eficiência no período considerado e que a evolução dos *scores*, na maioria dos países, não se verificou sempre no mesmo sentido (positivo ou negativo), sendo flutuante/oscilante. Os únicos países onde a evolução ocorreu no mesmo

sentido são a China, que aumentou todos os anos o seu *score*, e o Reino Unido, onde se comprovou o inverso.

Os países que mais oscilaram, ou seja, a evolução dos *scores* mudou de direção de ano para ano, são a França, Itália e Espanha. São também dos países em que a soma das magnitudes, em valor absoluto, da evolução dos *scores* de ano para ano foi maior (~0,16). A tabela **A12** com as variações dos *scores* pode ser consultada nos anexos. Isto parece demonstrar que os objetivos traçados pela ambiciosa estratégia Europa 2020 têm um grau de dificuldade de implementação elevado. No entanto, o balanço que se faz é positivo pois, no período em análise, todos os países da UE, com exceção do Reino Unido, aumentaram o seu *score* de eficiência energética.

Os países com a maior variação, em valor absoluto, dos *scores* de eficiência ao longo dos anos são a China, a Venezuela, Brasil, Argentina e Turquia. A Argentina, sendo um dos países mais eficientes da amostra, parece apresentar uma trajetória descendente que é, no entanto, compensada no ano 2012. Neste caso não há, portanto, razões para alarme. No caso da China este valor não é, de todo, preocupante, uma vez que se deve ao seu enorme e sustentado aumento de eficiência. Já para os restantes países o cenário não é favorável. Os casos mais preocupantes são o Brasil e a Turquia, que experienciaram perdas muito significativas de eficiência. No caso da Venezuela existem também motivos para apreensão pois, apesar de o saldo no período em análise ser positivo, nos últimos dois anos observaram-se perdas significativas de eficiência. Esta perda de eficiência coincide com o início da gravíssima crise económica que assola o país até hoje.

Os países com melhor performance ao longo do tempo são o Reino Unido (que constantemente se encontra na fronteira), a Nova Zelândia, a Noruega, a Alemanha, a Argentina e a Itália. Estes países apresentam um *score* de eficiência médio acima dos 90%. Os países com pior performance são o Brasil, a China, a Índia e a Turquia. Apresentam um *score* de eficiência médio igual ou inferior a 65%. No entanto, a China exhibe este valor porque os seus *scores* nos



dois primeiros anos foram muito baixos. Em 2013 esta já se encontrava perto da fronteira de eficiência e ao nível médio europeu.

	2009	2010	2011	2012	2013
Alemanha	0.92	0.91	0.90	0.89	0.93
Argentina	0.93	0.89	0.87	0.95	0.92
Brasil	0.66	0.54	0.50	0.54	0.54
Canada	0.83	0.88	0.91	0.88	0.87
China	0.45	0.45	0.71	0.81	0.84
Colômbia	0.66	0.74	0.75	0.77	0.75
Espanha	0.77	0.72	0.77	0.75	0.82
França	0.84	0.81	0.87	0.83	0.86
Índia	0.45	0.46	0.44	0.46	0.49
Itália	0.90	0.88	0.94	0.89	0.93
Japão	0.89	0.93	0.90	0.87	0.85
México	0.68	0.72	0.70	0.68	0.72
Noruega	0.93	0.93	0.90	0.92	0.92
Nova Zelândia	0.87	0.92	0.93	0.94	0.94
Portugal	0.85	0.88	0.89	0.92	0.90
Reino Unido	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93
Rússia	0.70	0.71	0.76	0.75	0.75
Suécia	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
Turquia	0.67	0.60	0.54	0.55	0.56
Venezuela	0.61	0.79	0.81	0.72	0.65

*Tabela 4.4 - Scores de eficiência por país ao longo dos anos*

Como já foi dito anteriormente, a China é o país que apresenta a taxa de crescimento mais acentuada, seguida da Colômbia e Índia. Os países que apresentam uma taxa de crescimento negativo são o Brasil, a Turquia, o Japão, a Noruega, o Reino Unido e a Argentina. A figura **A13**, que ilustra a taxa de crescimento dos *scores*, pode ser consultada no Anexo.

Por fim, e tendo em conta os *scores* de eficiência observados no ano de 2013, procede-se à comparação entre países eficientes e ineficientes. Considera-se como eficiente todo o país que tenha obtido um *score* igual ou superior a 0,92 e

ineficiente aquele com um *score* igual ou inferior a 0,65. A figura 4.6 espelha essa comparação. Os países eficientes produzem, aproximadamente, 131% do PIB produzido pelos ineficientes, enquanto utilizam apenas 42% da energia, 83% do capital e 13% do trabalho utilizado pelos países ineficientes.

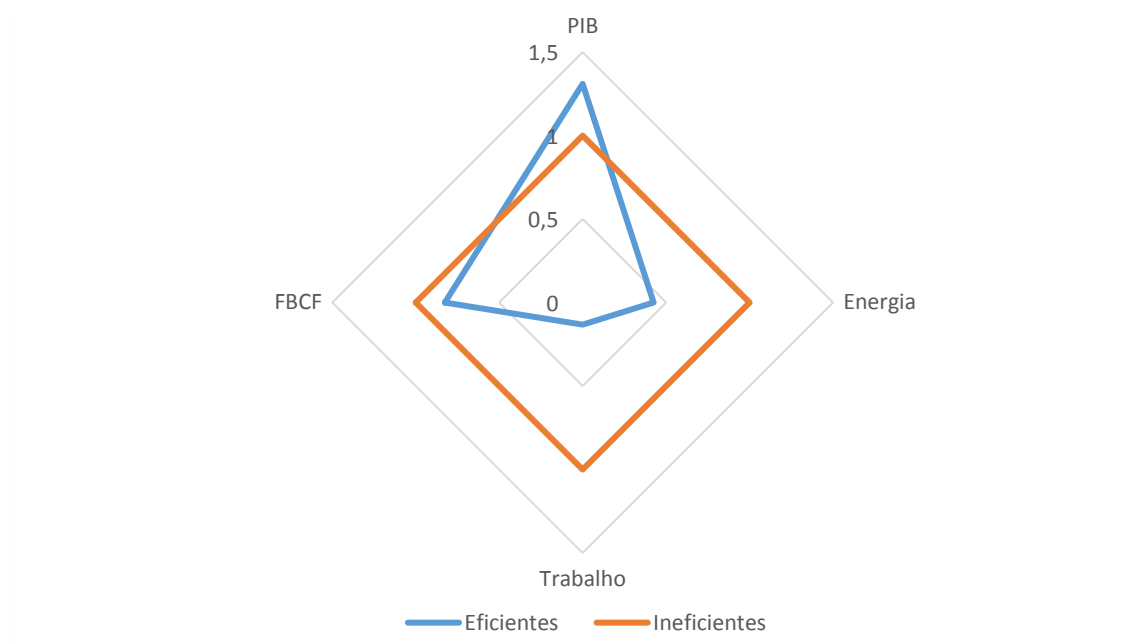


Figura 4.6 - Comparação entre países eficientes e ineficientes em 2013

## 4.2 – Resultados da Regressão Truncada

Após a obtenção dos *scores* de eficiência energética, nesta segunda etapa analisou-se quais os fatores que a afetam, em particular como esta responde a variações no consumo de energia provenientes de fontes renováveis.

A tabela 4.5 sumariza os resultados obtidos. A variável explicativa DEN não é estatisticamente significativa a 5%, pelo que os intervalos de confiança foram construídos a 90%. O valor da estatística *Wald Chi2* com 3 graus de liberdade é de 95.27 e o seu *p-value* é de aproximadamente 0, o que torna esta estatística significativa. Quer isto dizer que, as variáveis selecionadas para integrar o modelo têm um efeito conjunto estatisticamente significativo. Foi ainda calculado o quadrado do coeficiente de correlação entre os *scores* de

eficiência e os valores que o modelo preveria, obtendo-se assim uma estimativa do R<sup>2</sup>. O resultado obtido foi 0.58, ou seja, as variáveis explicativas selecionadas foram responsáveis por cerca de 58% das variações observadas nos *scores* de eficiência energética.

	Coeficiente observado	Desvio padrão <i>bootstrap</i>	z	P >  z	Intervalo confiança (90%)	
DEN	-0.0001987	0.0001063	-1.87	0.062	-0.0003687	-0.0000286
RNBpc	6.43E-06	7.28E-07	8.83	0	5.28E-06	7.63E-06
REN	-0.0046331	0.0008904	-5.20	0	-0.0061276	-0.003212
Constante	0.7475318	0.0274743	27.21	0	0.7024172	0.792626

*Tabela 4.5 - Resultados da regressão truncada com bootstrap*

Ao se analisar os coeficientes observados, percebe-se que duas das variáveis selecionadas afetam negativamente a eficiência energética. São elas a densidade populacional e o consumo de energia renovável. O rendimento nacional bruto *per capita*, por outro lado, tem um efeito positivo na eficiência energética.

Segundo a regressão feita, se houver um aumento de 1 pessoa por quilómetro quadrado, a eficiência energética diminui, em média, no coeficiente observado para a variável DEN. Este resultado, à partida, não era expectável uma vez que, segundo grande parte da literatura consultada, um aumento da densidade populacional, em aglomerados urbanos, tem um efeito positivo na eficiência energética nos sectores residenciais, comerciais e dos transportes (Bento, Cropper, Mobarak, & Vinha, 2005; Karathodorou, Graham, & Noland, 2010; Kim & Brownstone, 2013; Morikawa, 2012). No entanto, Xie et al. (Xie et al., 2014) não conseguiram encontrar qualquer efeito desta variável na produtividade total dos fatores no sector energético. Já Jia e Liu (Jia & Liu, 2012), no seu estudo sobre eficiência energética na economia chinesa, concluíram que a taxa de urbanização a afeta negativamente. Isto é, quanto mais concentrada em centros urbanos estiver a população, pior a performance neste indicador. Uma

possível explicação para este resultado prende-se com o facto de que em áreas urbanas o consumo de energia afeto ao sector residencial é maior. Segundo Narayan e Doytch (Narayan & Doytch, 2017), em países de rendimentos médios e altos (que representam a totalidade da nossa amostra), o consumo de energia no sector residencial não se mostra estatisticamente significativo na promoção de crescimento económico. Isto acontece porque esta energia é utilizada maioritariamente para aquecimento e iluminação, e não para a geração de produtos. No caso de cidades com elevada densidade populacional e edifícios de grande estrutura, Hui (Hui, 2001) argumenta que existe uma diminuição da exposição solar e ventilação natural. Estes fatores provocam um aumento das necessidades energéticas (ar condicionado e luz elétrica por exemplo), o que faz aumentar o consumo de energia. Segundo Güneralp et al. (Güneralp et al., 2017), a planificação/distribuição espacial de uma cidade desempenha também um papel importantíssimo nas suas necessidades energéticas. Os autores dizem ainda que a importância relativa da densidade populacional na eficiência energética varia consoante a localização geográfica. Assim, existe a possibilidade de que a heterogeneidade da amostra possa ter influência neste coeficiente uma vez que, atendendo às razões já discutidas, o seu efeito na eficiência energética está sujeito a várias condicionantes.

A outra variável que tem um coeficiente observado negativo é o consumo de energia proveniente de fontes renováveis. Este resultado, apesar de algo surpreendente para uma amostra que inclui alguns dos maiores geradores de energia renovável, é sustentado por trabalhos feitos na área como (Jebali et al., 2017; Menegaki, 2013; Zhou et al., 2017). Jebali et al. (Jebali et al., 2017) reportam que o consumo de energia renovável tem um efeito negativo na eficiência energética. Zhou et al. (Zhou et al., 2017) concluíram algo semelhante ao demonstrar que o consumo de energia proveniente de fontes não fósseis é uma fonte crescente de congestão energética<sup>12</sup>. Já Menegaki (Menegaki, 2013) demonstra que, na sua amostra de 31 países europeus, aqueles com maior quota de energia proveniente de fontes renováveis no seu

---

<sup>12</sup> Medida de ineficiência energética

*mix* energético não são os mais eficientes. Entre os mais eficientes encontram-se aqueles com um menor consumo de energia renovável. O autor mostra também que o consumo de energia renovável está forte e negativamente relacionado com a produtividade total dos fatores. De salientar também que Noblet et al. (Noblet et al., 2015) reportam existir um *trade-off* entre eficiência energética e o consumo de energia renovável quando os cidadãos são forçados a escolher onde alocar os recursos existentes.

Pode-se também referir que a literatura existente sobre o *nexus* consumo de energia renovável e crescimento económico não é consensual (Bhattacharya, Paramati, Ozturk, & Bhattacharya, 2016; Sebri, 2015). Bhattacharya et al., Marques e Fuinhas (Bhattacharya et al., 2016; Marques & Fuinhas, 2012) reportam efeitos negativos no crescimento económico devido ao consumo de energia renovável. Assim, *ceteris paribus*, podemos extrapolar que o consumo de energia renovável pode afetar negativamente a eficiência energética.

Uma das possíveis justificações para este resultado prende-se com elevado custo das energias renováveis devido às diferentes barreiras económicas que os países enfrentam, como o elevado investimento inicial de capital, os elevados custos de transação e os diversos tipos de riscos a que estão sujeitos os potenciais investidores (Arnold & Yildiz, 2015). Os subsídios à energia renovável podem fornecer uma explicação plausível. Para além dos custos diretos que acarretam para o estado, existe também uma perda de receitas provenientes de impostos sobre os combustíveis fósseis. Parece também haver uma tendência para estimularem o consumo de energia (Strand, 2007). Frondel, Ritter, Schmidt e Vance (Frondel, Ritter, Schmidt, & Vance, 2010) argumentam também que no caso específico da Alemanha, o subsídio das energias renováveis através de tarifas *feed-in* é extremamente dispendioso e não apresenta qualquer benefício económico. Segundo os autores, os governos deviam escrutinar melhor o apoio a fontes de energia que não consigam competir no mercado sem apoios estatais.

O período temporal escolhido para conduzir este estudo pode também ajudar a explicar o sinal deste coeficiente. Vários são os países que, neste período, experienciaram um crescimento económico elevadíssimo. Deste grupo de países, quase todos, à exceção da Turquia e Brasil, aumentaram a sua eficiência energética. No entanto, alguns destes países diminuíram a percentagem de energia renovável consumida. Uma possível explicação para este fenómeno tem que ver com o natural aumento das suas necessidades energéticas, necessidades estas que precisam de ser satisfeitas no momento. É esta “urgência” em colmatar as necessidades energéticas que pode estar na origem da diminuição da percentagem de energia renovável consumida. Para a captação de energia proveniente de fontes renováveis é preciso construir estruturas e instalar material. Este processo pode demorar anos a ser concluído, ou seja, a sua disponibilidade/“liquidez” é menor do que a dos combustíveis fósseis. Assim, este tipo de energia parece ter algumas limitações em sustentar períodos de crescimento económico abruptos.

A última variável a ser reportada é o RNBpc. Esta foi a única variável com um impacto positivo na eficiência energética. Jebali et al. (Jebali et al., 2017) chegaram à mesma conclusão e, Chang e Hu (Chang & Hu, 2010) reportaram que o PIBpc tem um efeito positivo na produtividade energética. Já segundo Camioto et al., Zhang et al., Hu e Wang (Camioto et al., 2014; Hu & Wang, 2005; Zhang et al., 2011), esta variável não tem uma relação linear com a eficiência energética. Estes autores reportam que parece existir uma relação em forma de “U” entre os dois. Quer isto dizer que até certo ponto o RNBpc tem um efeito negativo na eficiência e a partir desse ponto o efeito passa a ser positivo. Uma das possíveis explicações para este facto é que o crescimento económico tende a aumentar a preponderância do sector terciário na economia. Sendo a intensidade energética neste sector menor que nos outros, pode assim haver aumentos na eficiência energética (Chang & Hu, 2010). Outra explicação possível é a oferecida por Jebali et al. (Jebali et al., 2017) que argumentam que o crescimento económico fomenta a procura de energia, o que por sua vez faz aumentar o preço deste bem. Este aumento do preço pode

causar um comportamento de poupança de energia, produzindo assim ganhos de eficiência energética.

## 5. Conclusões

O presente trabalho propôs uma metodologia DEA para estimar a eficiência energética relativa de 20 dos maiores produtores/geradores de energia renovável no período temporal compreendido entre 2009 e 2013. Por forma a preencher lacunas na literatura existente, foi ainda implementada uma regressão truncada com o intuito de perceber qual o impacto que o consumo de energia proveniente de fontes renováveis, a densidade populacional e o rendimento nacional bruto *per capita* têm sobre a eficiência energética. Este processo foi executado seguindo as metodologias propostas por Simar e Wilson (Simar & Wilson, 2008; Simar & Wilson, 2007) de modo a corrigir as estimações de eficiência DEA quanto ao enviesamento e a obter inferências estatísticas válidas sobre elas. Este trabalho pretende contribuir para a existente literatura usando esta abordagem numa amostra composta pelos países que mais energia renovável produzem.

Este estudo revela que, para o período considerado, a eficiência média da amostra aumentou e que as diferenças de eficiência entre países tenderam a esbater-se. Este efeito de convergência pode ser creditado ao fenómeno de globalização que fomenta aumentos de competitividade, investimento estrangeiro e disseminação de ideias e tecnologia. Exemplo desta crescente tendência de globalização nas últimas décadas é o número de tratados regionais celebrados entre países. A figura **A14** pode ser consultado em anexo e dá conta desta evolução. Assistiu-se também nos últimos anos ao “nascimento e crescimento” de uma certa consciência ambiental global que pode também ter contribuído para este fenómeno de convergência. As nações começaram a reconhecer que a cooperação entre elas é de capital importância e que deve ser encorajada por forma a solucionar esta catástrofe iminente chamada aquecimento global. Esta cooperação poderá acontecer através de órgãos internacionais que se dediquem à implementação, à escala global, de mecanismos que fomentem, direta ou indiretamente, ganhos de eficiência energética e reduções de emissões de gases de efeito de estufa. Uma medida que nos parece interessante seria a implementação generalizada de uma nova



forma de imposto sobre as emissões como o *carbon energy tax* proposto por Massardo, Santarelli e Borchiellini (Massardo, Santarelli, & Borchiellini, 2003). Como foi referido no trabalho de Moutinho et al. (Moutinho et al., 2017), os impostos sobre as emissões tem efeitos negativos na eficiência energética apesar de os países mais eficientes serem aqueles que mais taxam as emissões. Massardo et al. (Massardo et al., 2003) reportam também que impostos convencionais sobre emissões de CO<sub>2</sub> falham, por vezes, em promover unidades fabris mais eficientes. No entanto, estes autores propõem uma forma diferente de taxar as emissões de CO<sub>2</sub>. Para além de um índice de emissões de CO<sub>2</sub>, o cálculo do *carbon energy tax* é também composto por um instrumento que os autores denominam de penalidade sobre a eficiência. Este é desenhado para recompensar quem é eficiente e penalizar quem não o é. Os autores concluem que este imposto promove unidades fabris mais eficientes e menos poluidoras.

Este estudo revela também, numa segunda fase, alguns dos fatores que influenciam a eficiência energética e quais os seus impactos. Segundo os resultados obtidos, o consumo de energia renovável e a densidade populacional têm um efeito negativo na eficiência energética. Já a crescimento económico tem o efeito contrário, o que nos leva a assumir que o crescimento económico fomenta a eficiência energética.

Baseando-nos nos resultados obtidos, existem recomendações que achamos que deveriam ser consideradas para melhorar a eficiência energética dos países. Apesar de considerarmos uma causa nobre e de valia para todas as formas de vida no planeta, os países deveriam rever os incentivos dados à energia renovável. Como Frondel et al. (Frondel et al., 2010) reportam para o caso alemão, parece não existir qualquer benefício económico em subsidiar as energias renováveis através de tarifas *feed-in* e que o processo é na verdade bastante dispendioso. Os autores afirmam que estas fontes são dependentes de subsídios e interrogam-se sobre a sua capacidade de permanecerem no mercado se estes subsídios forem removidos. No estudo conduzido por López-Peña, Pérez-Arriaga e Linares (López-Peña, Pérez-Arriaga, & Linares, 2012),

os autores reportam que, no caso Espanhol, a eficiência energética é mais barata do que as energias renováveis no que a redução de emissões diz respeito. Por isso, no nosso entender, os países deveriam reconsiderar as suas políticas energéticas focando-se mais na implementação e monitorização de medidas que efetivamente aumentem a eficiência energética. Reexaminar e reestruturar a indústria para que cumpram com *standards* de eficiência energética mais rigorosos e investir em redes *Smart* são algumas das medidas que sugerimos. Tendo em conta também o resultado obtido relativamente à densidade populacional, é do nosso entender que as conclusões obtidas por Creutzig, Baiocchi, Bierkandt, Pichler e Seto e por Güneralp et al. (Creutzig, Baiocchi, Bierkandt, Pichler, & Seto, 2015; Güneralp et al., 2017) merecem a atenção dos decisores políticos. As advertências feitas por eles poderão ter um impacto bastante significativo na redução do consumo de energia e, por conseguinte, no impacto ambiental. Existem ganhos potenciais enormes (especialmente em países em desenvolvimento onde a área urbana ainda se encontra em forte expansão) se houver um planeamento prévio e cuidado da configuração espacial das cidades. As infraestruturas também desempenham um papel crucial na redução do consumo de energia, pelo que devem ser adotadas medidas de renovação para que cumpram com os requisitos mínimos de eficiência energética. Este segundo ponto é de maior interesse para países desenvolvidos que já tenham uma estrutura urbana bem definida.

Este trabalho não é isento de limitações, sendo talvez o diminuto período temporal escolhido a maior delas. O indicador densidade populacional pode também constituir uma fragilidade deste trabalho, uma vez que um país poderia ter toda a sua população concentrada numa única localização e mesmo assim continuar com os mesmos números neste indicador.

Para trabalhos futuros na área propomos uma extensão do período temporal considerado e a integração na amostra de países com pouca geração de energia renovável e de países subdesenvolvidos. Recomendamos ainda que se scrutine o papel de outras variáveis que possam afetar a eficiência energética, dando especial relevância a que se estude o impacto da

globalização na eficiência energética e o impacto de cada um dos diferentes sectores económicos. Propomos também que se estude com mais detalhe a relação que o crescimento económico tem com a eficiência energética e que considere a utilização de um modelo robusto DEA.

## Referências

- Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation And estimation Of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5)
- Alp, I., & Sözen, A. (2014). Turkey's performance of energy consumption: A study making a comparison with the EU member states. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 9(1), 87–100. <https://doi.org/10.1080/15567241003773218>
- Amponsah, N. Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., & Lloyd, R. (2014). Greenhouse gas emissions from renewable energy sources : A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 461–475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.087>
- Andrews, D. F., & Pregibon, D. (1978). Finding the Outliers that Matter. *Journal of the Royal Statistical Society*, 40(1), 85–93. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2984869>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002>
- Arnold, U., & Yildiz, Ö. (2015). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures - A Monte Carlo Simulation approach. *Renewable Energy*, 77(1), 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.059>
- Bampatsou, C., Papadopoulos, S., & Zervas, E. (2013). Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption. *Energy Policy*, 55, 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.021>
- Banker, A. R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis \*. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Bento, A., Cropper, M. L., Mobarak, A. M., & Vinha, K. (2005). The Effects of Urban Spatial Structure on Travel Demand in the United States. *Review of Economics and Statistics*, 87(3), 466–478. <https://doi.org/10.1162/0034653054638292>
- Bento, C., & Paula, Â. (2015). Measuring technical efficiency of European Countries using data envelopment analysis. In *Assessment Methodologies: energy, mobility and other real world application*. Imprensa da Universidade de Coimbra. [https://doi.org/10.14195/978-989-26-1039-9\\_1](https://doi.org/10.14195/978-989-26-1039-9_1)
- Bergmann, A., Hanley, N., & Wright, R. E. (2006). Valuing the Attributes of Renewable Energy Investments, (November 2016). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.035>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733–741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- Bosseboeuf, D., Chateau, B., & Lapillonne, B. (1997). Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the on-going European effort towards a common methodology. *Energy Policy*, 25(7), 673–682. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00059-1)
- Boyd, G. A., & Pang, J. X. (2000). Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. *Energy Policy*, 28(5), 289–296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00016-1)

- Camioto, F. de C., Moralles, H. F., Mariano, E. B., & Rebelatto, D. A. do N. (2014). Energy efficiency analysis of G7 and BRICS considering total-factor structure. *Journal of Cleaner Production*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.061>
- Chang, T. P., & Hu, J. L. (2010). Total-factor energy productivity growth, technical progress, and efficiency change: An empirical study of China. *Applied Energy*, 87(10), 3262–3270. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.026>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chien, T., & Hu, J. L. (2007). Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy*, 35(7), 3606–3615. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.033>
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis. <https://doi.org/10.2307/2531310>
- Cooper, W., Seiford, Lawrence, M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses : With DEA-solver software and references.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelop Analysis : A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software.*
- Cornillie, J., & Fankhauser, S. (2004). The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, 26(3), 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.015>
- Creel, L. (2003). Ripple effects: Population and coastal regions. *Population Reference Bureau* (2003), 8.
- Creutzig, F., Baiocchi, G., Bierkandt, R., Pichler, P.-P., & Seto, K. C. (2015). Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6283–6288. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315545112>
- Daraio, C., & Simar, L. (2005). Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: A probabilistic approach. *Journal of Productivity Analysis*, 24(1), 93–121. <https://doi.org/10.1007/s11123-005-3042-8>
- Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1–26. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2958830>
- Efron, B. (1981). Nonparametric standard errors and confidence intervals \*. *The Canadian Journal of Statistics*, 9(2), 139–158. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3314608>
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap.* London: Chapman and Hall. <https://doi.org/10.1214/ss/1063994971>
- Ellabban, O., Abu-rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources : Current status , future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Elum, Z. A., & Momodu, A. S. (2017). Climate change mitigation and renewable energy for sustainable development in Nigeria: A discourse approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(March), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.040>
- Epstein, M. K., & Henderson, J. C. (1989). Data Envelopment Analysis for Managerial Control and Diagnostics. *Decision Sciences*, 20, 90–119. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1540-5915.1989.tb01399.x>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. <https://doi.org/10.2307/2343100>

- Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C. M., & Vance, C. (2010). Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies : The German experience. *Energy Policy*, 38(8), 4048–4056. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.029>
- Geisser, S., & Johnson, W. O. (2006). *Modes of Parametric Statistical Inference*.
- Gong, B.-H., & Sickles, R. C. (1992). Finite sample evidence on the performance of stochastic frontiers and data envelopment analysis using panel data. *Journal of Econometrics*, 51(1–2), 259–284. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90038-S](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90038-S)
- Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P. L., ... Seto, K. C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 201606035. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606035114>
- Hailiang, M., & Dechun, H. (2010). Total-factor Energy Efficiency of Jiangsu Province Based on DEA. E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2010.5661061>
- Halkos, G. E., & Tzeremes, N. G. (2009). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, 68(7), 2168–2176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.018>
- Hancock, G., Puertas, M. C., & Moro, S. (2014). ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS FOR THE EUROPEAN COUNTRIES, 8(January 2007), 827.
- Honma, S., & Hu, J. L. (2008). Total-factor energy efficiency of regions in Japan. *Energy Policy*, 36(2), 821–833. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.026>
- Hu, J. L., & Kao, C. H. (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy*, 35(1), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.032>
- Hu, J., & Wang, S. (2005). Total Factor Energy Efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 34, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.015>
- Hui, S. C. M. (2001). Low energy building design in high density urban cities. *Renewable Energy*, 24(3–4), 627–640. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00049-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00049-0)
- International Energy Agency. (2015). *Energy Technology Perspectives*. IEA (International Energy Agency), 412. [https://doi.org/10.1787/energy\\_tech-2015-en](https://doi.org/10.1787/energy_tech-2015-en)
- IPCC. (2014). *Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IRENA and C2E2. (2017). *Synergies between renewable energy and energy efficiency*.
- Jacobs, R. (2001). Alternative methods to examine hospital efficiency: data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Health Care Management Science*, 4(2), 103–115. <https://doi.org/10.1023/A:1011453526849>
- Jebali, E., Essid, H., & Khraief, N. (2017). The analysis of energy efficiency of the Mediterranean countries: A two-stage double bootstrap DEA approach. *Energy*, 134, 991–1000. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.063>
- Jia, Y. P., & Liu, R. Z. (2012). Study of the Energy and Environmental Efficiency of the Chinese economy based on a DEA Model. *Procedia Environmental Sciences*, 13(2011), 2256–2263. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.214>
- Karathodorou, N., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2010). Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics*, 32(1), 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.05.005>

- Katharakis, G., Katharaki, M., & Katostaras, T. (2013). SFA vs. DEA for measuring healthcare efficiency: A systematic review. *International Journal of Statistics in Medical Research*, 2(2), 152. Retrieved from [http://repository.edulll.gr/edulll/retrieve/9704/3310\\_1.11\\_ΔHM\\_31\\_8\\_12.pdf](http://repository.edulll.gr/edulll/retrieve/9704/3310_1.11_ΔHM_31_8_12.pdf)
- Khademvatani, A., & Gordon, D. V. (2013). A marginal measure of energy efficiency: The shadow value. *Energy Economics*, 38, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.03.008>
- Kim, J., & Brownstone, D. (2013). The impact of residential density on vehicle usage and fuel consumption: Evidence from national samples. *Energy Economics*, 40(1), 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.06.012>
- Kulionis, V. (2013). The relationship between renewable energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Denmark. Lund University.
- López-Peña, Á., Pérez-Arriaga, I., & Linares, P. (2012). Renewables vs. energy efficiency: The cost of carbon emissions reduction in Spain. *Energy Policy*, 50, 659–668. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.006>
- Lee, Y. C., Hu, J. L., & Kao, C. H. (2011). Efficient saving targets of electricity and energy for regions in China. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 33(6), 1211–1219. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.01.015>
- Liu, J., Cheng, Z., & Zhang, H. (2017). Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China? *Journal of Cleaner Production*, 164, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.179>
- Lu, C. C., Chiu, Y. H., Shyu, M. K., & Lee, J. H. (2013). Measuring CO2 emission efficiency in OECD countries: Application of the Hybrid Efficiency model. *Economic Modelling*, 32(1), 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.01.047>
- Madaleno, M., Moutinho, V., & Robaina, M. (2016). Economic and Environmental Assessment: EU Cross-country Efficiency Ranking Analysis. *Energy Procedia*, 106, 134–154. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.111>
- Manchester, S. (2015). DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF HEAD TRAUMA CARE IN ENGLAND AND WALES by Afaf Nafea Alrashidi Salford Business School September 2015, (September).
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(May), 1298–1322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.030>
- Markandya, A., Pedroso-Galinato, S., & Streimikiene, D. (2006). Energy intensity in transition economies: Is there convergence towards the EU average? *Energy Economics*, 28(1), 121–145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.10.005>
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 46, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.006>
- Martic, M. M. M., Novakovic, M. S., & Baggia, A. (2009). Data Envelopment Analysis - Basic Models and their Utilization, 42(2), 37–43. <https://doi.org/10.2478/v10051-009-0001-6>
- Massardo, A. F., Santarelli, M., & Borchiellini, R. (2003). Carbon exergy tax (CET): Its impact on conventional energy system design and its contribution to advanced systems utilisation. *Energy*, 28(7), 607–625. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00179-2](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00179-2)
- Max Roser and Esteban Ortiz-Ospina (2017) – ‘World Population Growth’. *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/world-population-growth/> [Online Resource]

- Menegaki, A. N. (2013). Growth and renewable energy in Europe: Benchmarking with data envelopment analysis. *Renewable Energy*, 60, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.042> Technical note
- Morikawa, M. (2012). Population density and efficiency in energy consumption: An empirical analysis of service establishments. *Energy Economics*, 34(5), 1617–1622. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.01.004>
- Moutinho, V., Madaleno, M., & Robaina, M. (2017). The economic and environmental efficiency assessment in EU cross-country: Evidence from DEA and quantile regression approach. *Ecological Indicators*, 78, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.042>
- Moutinho, V., & Robaina, M. (2016). Is the share of renewable energy sources determining the CO2 kWh and income relation in electricity generation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 902–914. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.007>
- Mulder, P., & Groot, H. L. F. De. (2004a). International Comparisons of Sectoral Energy- and Labour- Productivity Performance. *Economic Policy*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.491104>
- Mulder, P., & Groot, H. L. F. De. (2004b). Sectoral Energy- and Labour- Productivity Convergence.
- Narayan, S., & Doytch, N. (2017). An investigation of Renewable and Non-renewable Energy Consumption and Economic Growth Nexus using Industrial and Residential Energy Consumption. *Energy Economics*, 68, 160–176. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.09.005>
- Noblet, C. L., Teisl, M. F., Evans, K., Anderson, M. W., McCoy, S., & Cervone, E. (2015). Public preferences for investments in renewable energy production and energy efficiency. *Energy Policy*, 87, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.09.003>
- Okullo, S. J., & Reynès, F. (2016). Imperfect cartelization in OPEC. *Energy Economics*, 60, 333–344. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.10.010>
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
- P. Vatcheva, K., & Lee, M. (2016). Multicollinearity in Regression Analyses Conducted in Epidemiologic Studies. *Epidemiology: Open Access*, 6(2), 1–20. <https://doi.org/10.4172/2161-1165.1000227>
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- Renshaw, E. F. (1981). Energy efficiency and the slump in labour productivity in the USA. *Energy Economics*, 3(1), 36–42. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(81\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0140-9883(81)90005-0)
- Robert, C. (2014). Machine Learning, a Probabilistic Perspective. *Chance*, 27(2), 62–63. <https://doi.org/10.1080/09332480.2014.914768>
- Sadjadi, S. J. Ā., & Omrani, H. (2008). Data envelopment analysis with uncertain data : An application for Iranian electricity distribution companies, 36, 4247–4254. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.004>
- Sebri, M. (2015). Use renewables to be cleaner: Meta-analysis of the renewable energy consumption-economic growth nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 657–665. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.042>
- Simar, L. & Wilson, P. (2008). Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: Recent Developments and Perspectives. *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*. Retrieved from <http://oxfordindex.oup.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195183528.003.0004>

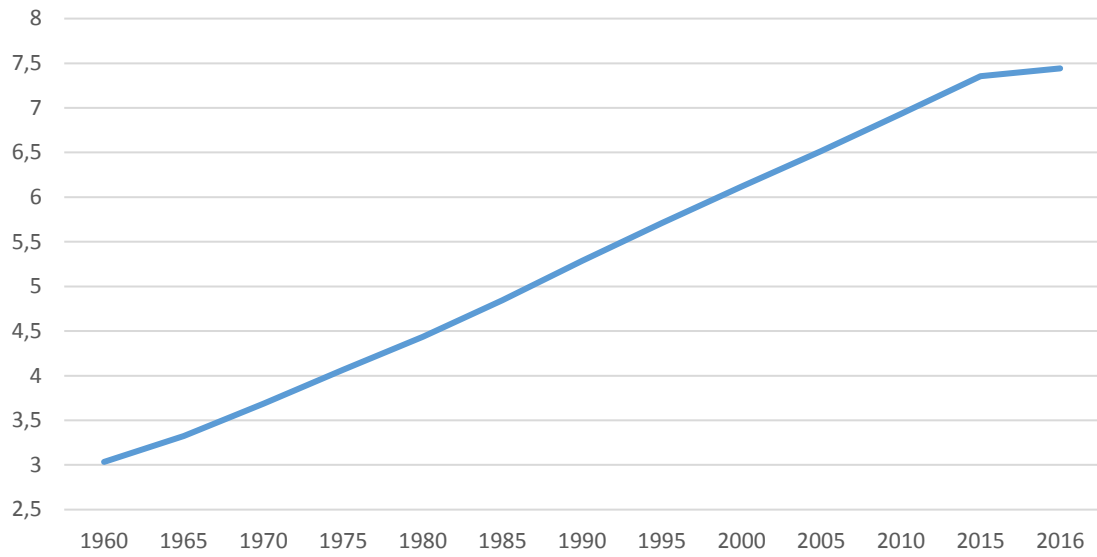


- Simar, L., & Wilson, P. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. Source: *Management Science*, 44(1), 49–61. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.1.49>
- Simar, L., & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31–64. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. Source: *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function \*. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312–320. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1926047>
- Song, M.-L., Zhang, L.-L., Liu, W., & Fisher, R. (2013). Bootstrap-DEA analysis of BRICS' energy efficiency based on small sample data. *Applied Energy*, 112, 1049–1055. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.064>
- Stern, D. I. (2012). Modeling international trends in energy efficiency. *Energy Economics*, 34(6), 2200–2208. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.03.009>
- Strand, J. (2007). Energy Efficiency and Renewable Energy Supply for the G-7 Countries, with Emphasis on Germany. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=1087178>
- Swan, T. W. (1956). ECONOMIC GROWTH and CAPITAL ACCUMULATION. *Economic Record*, 32(2), 334–361. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2014). World Urbanization Prospects. United Nations, 12, 32. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>
- Vellinga, P. (1989). Sea level rise, consequences and policies, (1987), 175–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00138851>
- Wei, C., Ni, J., & Sheng, M. (2011). China's energy inefficiency: A cross-country comparison. *Social Science Journal*, 48(3), 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2011.05.004>
- Wilson, B., Trieu, L. H., & Bowen, B. (1994). Energy efficiency trends in Australia. *Energy Policy*, 22(4), 287–295. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90003-5)
- Wilson, P. W. (1993). Detecting Outliers in Deterministic Nonparametric Frontier Models With Multiple Outputs. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11(3), 319–323.
- Wing, I. S., Eckaus, R. S., & No, R. (2004). MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Explaining Long-Run Changes in the Energy Intensity of the U . S . Economy, (116).
- World Energy Council. (2016). World Energy Resources 2016. *World Energy Resources 2016*, 1–33. [https://doi.org/http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](https://doi.org/http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf)
- Xie, B. C., Shang, L. F., Yang, S. B., & Yi, B. W. (2014). Dynamic environmental efficiency evaluation of electric power industries: Evidence from OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries. *Energy*, 74(C), 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.109>
- Young, R., Hayes, S., Kelly, M., Vaidyanathan, S., Kwatra, S., Cluett, R., & Herndon, G. (2014). The 2014 International Energy Efficiency Scorecard, (October), 169. Retrieved from <http://aceee.org/research-report/u1408>
- Zelenyuk, V., & Simar, L. (2008). Stochastic FDH / DEA estimators for Frontier Analysis Frontier Models , Basic Notations. *Science*, (May). <https://doi.org/10.1007/s11123-010-0170-6>

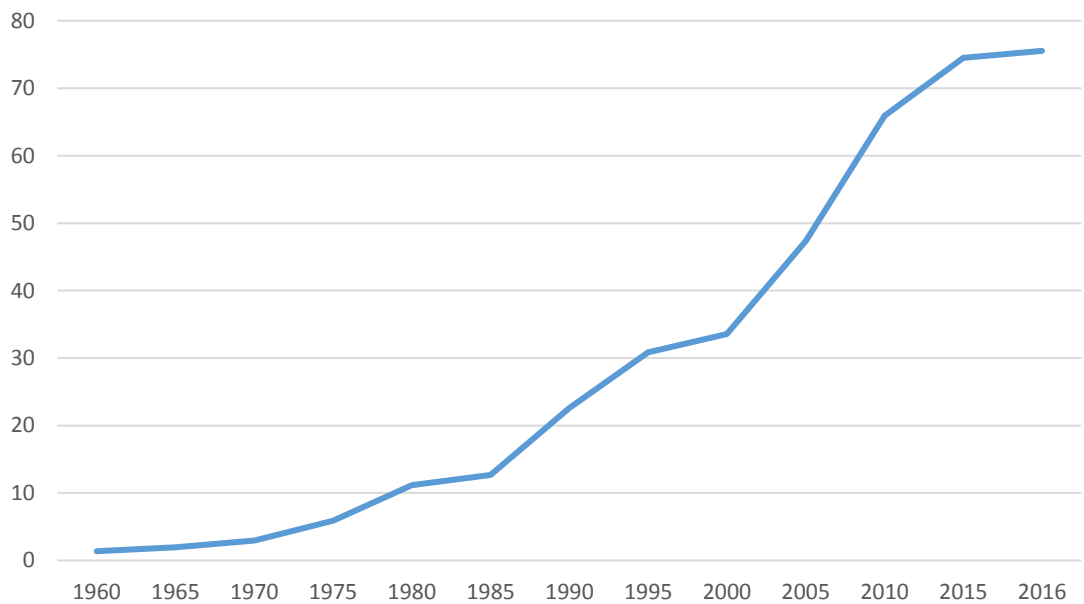
- Zhang, X. P., Cheng, X. M., Yuan, J. H., & Gao, X. J. (2011). Total-factor energy efficiency in developing countries. *Energy Policy*, 39(2), 644–650. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.037>
- Zhou, D. Q., Meng, F. Y., Bai, Y., & Cai, S. Q. (2017). Energy efficiency and congestion assessment with energy mix effect: The case of APEC countries. *Journal of Cleaner Production*, 142, 819–828. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.166>
- Zhu, J. (2012). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking*. Springer, 213(25), 498. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1900-6>



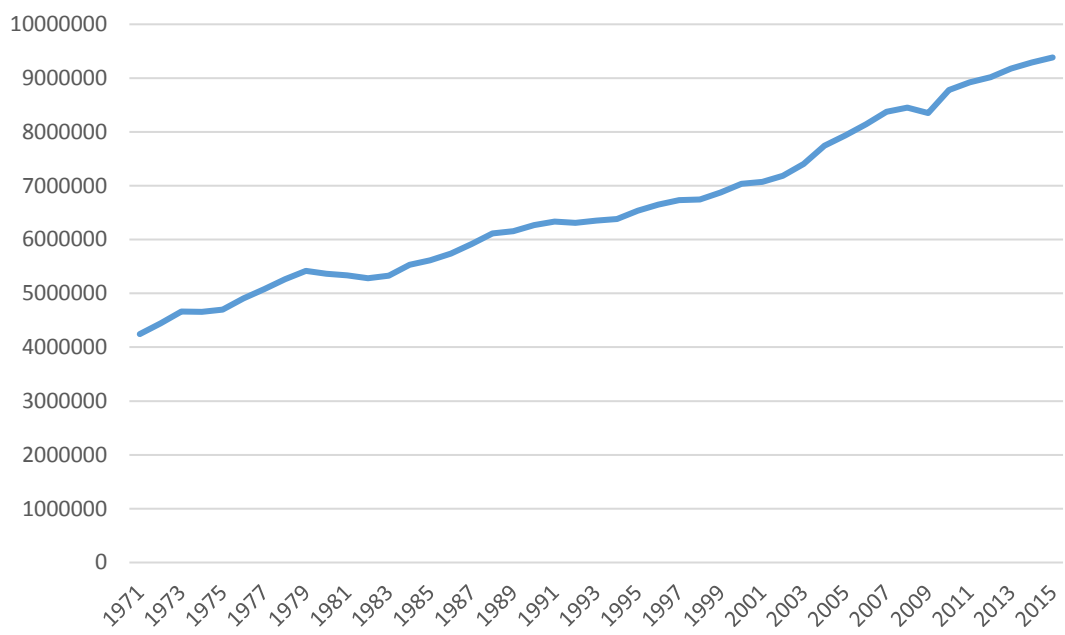
## Anexos



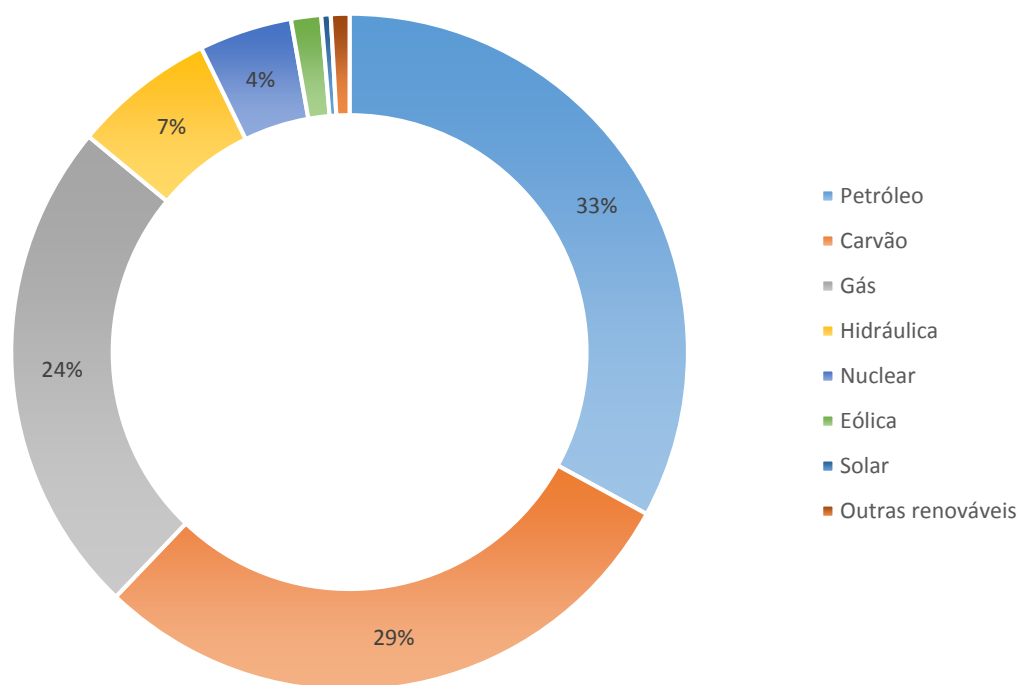
A1 - Evolução da população mundial (bilhões de pessoas)  
Fonte: World Bank



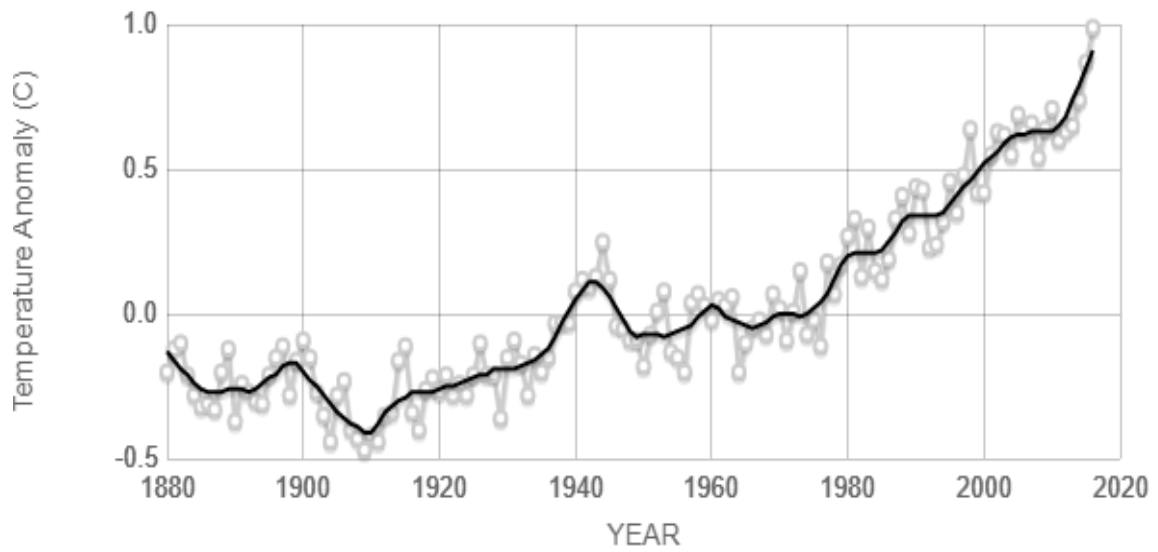
A2 - Evolução do produto interno bruto mundial (trilhões USD a preços correntes)  
Fonte: World Bank



A3 - Evolução do consumo mundial de energia (ktoe)  
 Fonte: International Energy Agency

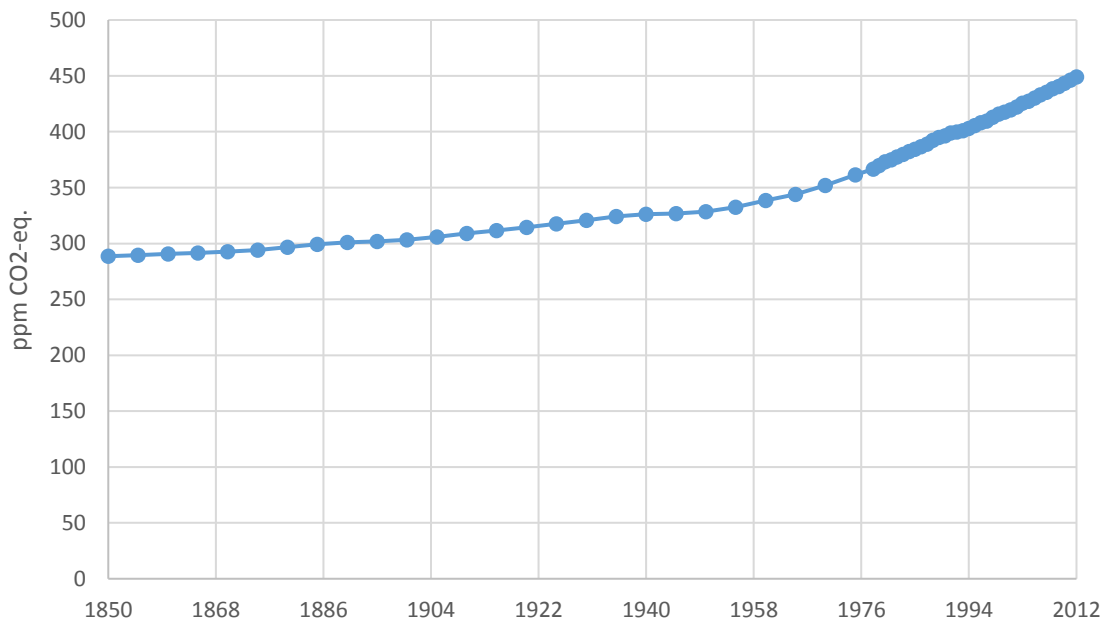


A4 - Distribuição por fontes do consumo primário de energia em 2015  
 Fonte: (World Energy Council, 2016)



Source: [climate.nasa.gov](http://climate.nasa.gov)

A5 - Evolução do índice de temperatura global  
 Fonte: NASA/GISS



A6 - Evolução da concentração de gases de efeito de estufa na atmosfera  
 Fonte: European Environment Agency (EAA)

Países	GWh
China	1 371 762
EUA	562 451
Brasil	430 490
Canadá	422 553
Índia	210 493
Alemanha	187 005
Rússia	168 617
Japão	166 751
Noruega	140 639
Itália	108 917
Suécia	102 443
Espanha	97 089
França	89 358
Turquia	83 658
Reino Unido	82 943
Venezuela	76 095
Vietnam	59 207
Paraguai	55 887
México	48 091
Áustria	47 243
Colômbia	46 131
Suíça	41 111
Argentina	36 307
Nova Zelândia	35 400
Paquistão	34 502
Austrália	34 404
Chile	32 871
Indonésia	30 676
Finlândia	30 522
Roménia	26 200
Portugal	24 372
Perú	23 755

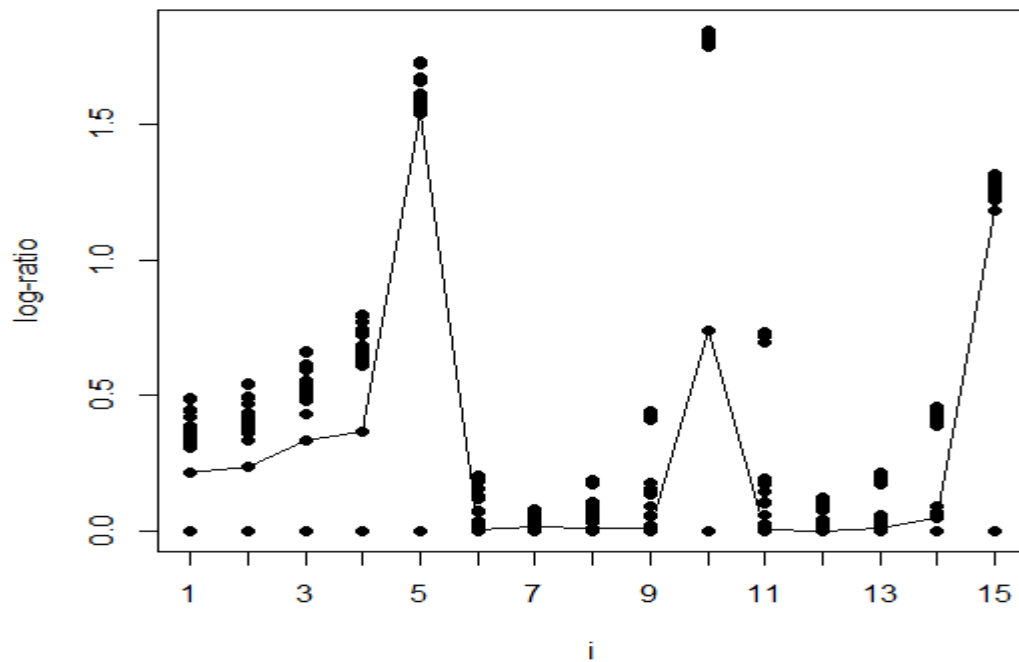
*A7 - Ranking de países por geração de eletricidade total por fontes renováveis no ano 2015*

*Fonte: IRENA*

	2009	2010	2011	2012	2013
Alemanha	0.91	0.89	0.95	0.91	0.95
Argentina	0.97	0.91	0.89	0.96	0.94
Brasil	0.67	0.55	0.52	0.56	0.55
Canada	0.86	0.93	1.00	0.94	0.93
China	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40
Colômbia	0.70	0.77	0.79	0.80	0.78
Espanha	0.80	0.76	0.80	0.79	0.85
EUA	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00
França	0.87	0.84	0.91	0.86	0.89
Índia	0.45	0.46	0.45	0.46	0.50
Itália	0.94	0.91	0.98	0.93	0.97
Japão	0.91	0.96	1.00	1.00	0.88
México	0.68	0.73	0.71	0.69	0.73
Noruega	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
Nova Zelândia	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
Portugal	0.89	0.92	0.94	1.00	1.00
Reino Unido	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
Rússia	0.70	0.72	0.78	0.77	0.77
Suécia	0.83	0.83	0.84	0.84	0.86
Turquia	0.69	0.62	0.56	0.57	0.58
Venezuela	0.64	0.81	0.85	0.74	0.68

*A8 – Resultados preliminares DEA*





A9 - Representação dos logaritmos dos rácios (sem os EUA)

$i$	Observações	$R_{min}^{(i)}$
[1,]	20	0,5907266
[2,]	19 20	0,3308041
[3,]	18 19 20	0,1642222
[4,]	17 18 19 20	0,0712526
[5,]	17 16 18 19 20	0,0121399
[6,]	36 17 16 18 19 20	0,0096446
[7,]	40 36 17 16 18 19 20	0,0071882
[8,]	37 40 36 17 16 18 19 20	0,0048626
[9,]	39 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0025929
[10,]	39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0003487
[11,]	74 39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0002793
[12,]	72 74 39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0002123
[13,]	72 73 74 39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0001459
[14,]	72 75 73 74 39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0000807
[15,]	71 72 75 73 74 39 38 37 40 36 17 16 18 19 20	0,0000201

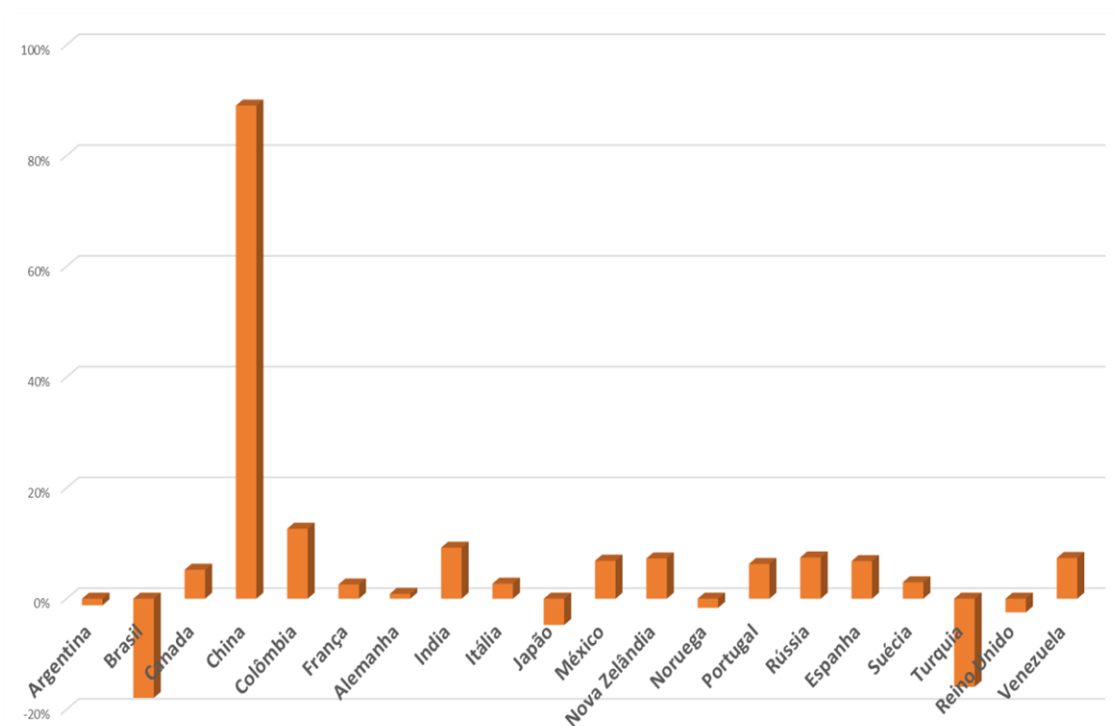
A10 - Possíveis outliers (sem os EUA)

	2009				2010				2011				2012				2013			
	Scores	Scores corrigidos	Bias	Desvio	Scores	Scores corrigidos	Bias	Desvio	Scores	Scores corrigidos	Bias	Desvio	Scores	Scores corrigidos	Bias	Desvio	Scores	Scores corrigidos	Bias	Desvio
Alemanha	0.95	0.92	-0.036	0.021	0.94	0.91	-0.036	0.021	0.95	0.90	-0.055	0.027	0.92	0.89	-0.044	0.024	0.96	0.93	-0.042	0.024
Argentina	0.97	0.93	-0.035	0.024	0.91	0.89	-0.023	0.017	0.89	0.87	-0.021	0.013	0.96	0.95	-0.017	0.012	0.94	0.92	-0.018	0.012
Brasil	0.67	0.66	-0.026	0.017	0.55	0.54	-0.044	0.029	0.52	0.50	-0.071	0.039	0.56	0.54	-0.052	0.033	0.55	0.54	-0.051	0.033
Canada	0.86	0.83	-0.054	0.032	0.93	0.88	-0.068	0.045	1.00	0.91	-0.102	0.058	0.94	0.88	-0.071	0.060	0.93	0.87	-0.075	0.060
China	0.46	0.45	-0.080	0.060	0.49	0.45	-0.150	0.115	0.76	0.71	-0.094	0.076	0.89	0.81	-0.108	0.097	1.00	0.84	-0.185	0.155
Colômbia	0.70	0.66	-0.087	0.057	0.77	0.74	-0.060	0.033	0.79	0.75	-0.062	0.034	0.80	0.77	-0.063	0.037	0.78	0.75	-0.061	0.038
Espanha	0.80	0.77	-0.049	0.029	0.76	0.72	-0.060	0.033	0.80	0.77	-0.057	0.031	0.79	0.75	-0.056	0.030	0.85	0.82	-0.044	0.025
França	0.87	0.84	-0.038	0.023	0.84	0.81	-0.041	0.023	0.91	0.87	-0.049	0.025	0.86	0.83	-0.038	0.023	0.89	0.86	-0.041	0.024
Índia	0.45	0.45	-0.026	0.019	0.46	0.46	-0.033	0.023	0.45	0.44	-0.041	0.027	0.46	0.46	-0.039	0.026	0.50	0.49	-0.037	0.025
Itália	0.94	0.90	-0.039	0.019	0.91	0.88	-0.036	0.018	0.98	0.94	-0.042	0.020	0.93	0.89	-0.044	0.026	0.97	0.93	-0.047	0.027
Japão	0.94	0.89	-0.056	0.043	1.00	0.93	-0.074	0.056	1.00	0.90	-0.110	0.092	1.00	0.87	-0.148	0.104	0.90	0.85	-0.065	0.047
México	0.68	0.68	-0.021	0.013	0.73	0.72	-0.021	0.013	0.71	0.70	-0.024	0.015	0.69	0.68	-0.025	0.016	0.73	0.72	-0.024	0.015
Noruega	0.98	0.93	-0.051	0.035	1.00	0.93	-0.076	0.043	1.00	0.90	-0.108	0.069	1.00	0.92	-0.088	0.062	1.00	0.92	-0.089	0.059
Nova Zelândia	1.00	0.87	-0.146	0.096	1.00	0.92	-0.090	0.061	1.00	0.93	-0.074	0.043	0.99	0.94	-0.053	0.039	0.99	0.94	-0.058	0.038
Portugal	0.89	0.85	-0.054	0.030	0.92	0.88	-0.050	0.028	0.94	0.89	-0.063	0.034	1.00	0.92	-0.084	0.048	1.00	0.90	-0.109	0.060
Reino Unido	1.00	0.96	-0.047	0.029	1.00	0.95	-0.048	0.030	1.00	0.94	-0.068	0.041	0.99	0.94	-0.062	0.040	1.00	0.93	-0.073	0.039
Rússia	0.70	0.70	-0.018	0.013	0.72	0.71	-0.022	0.015	0.78	0.76	-0.031	0.021	0.77	0.75	-0.037	0.024	0.77	0.75	-0.040	0.026
Suécia	0.83	0.80	-0.046	0.022	0.83	0.80	-0.048	0.024	0.84	0.81	-0.050	0.028	0.84	0.81	-0.046	0.027	0.86	0.82	-0.053	0.028
Turquia	0.69	0.67	-0.035	0.018	0.62	0.60	-0.054	0.027	0.56	0.54	-0.065	0.037	0.57	0.55	-0.070	0.037	0.58	0.56	-0.057	0.029
Venezuela	0.64	0.61	-0.075	0.044	0.81	0.79	-0.037	0.025	0.85	0.81	-0.050	0.031	0.74	0.72	-0.044	0.029	0.68	0.65	-0.057	0.034

A11 - Resultados completos DEA

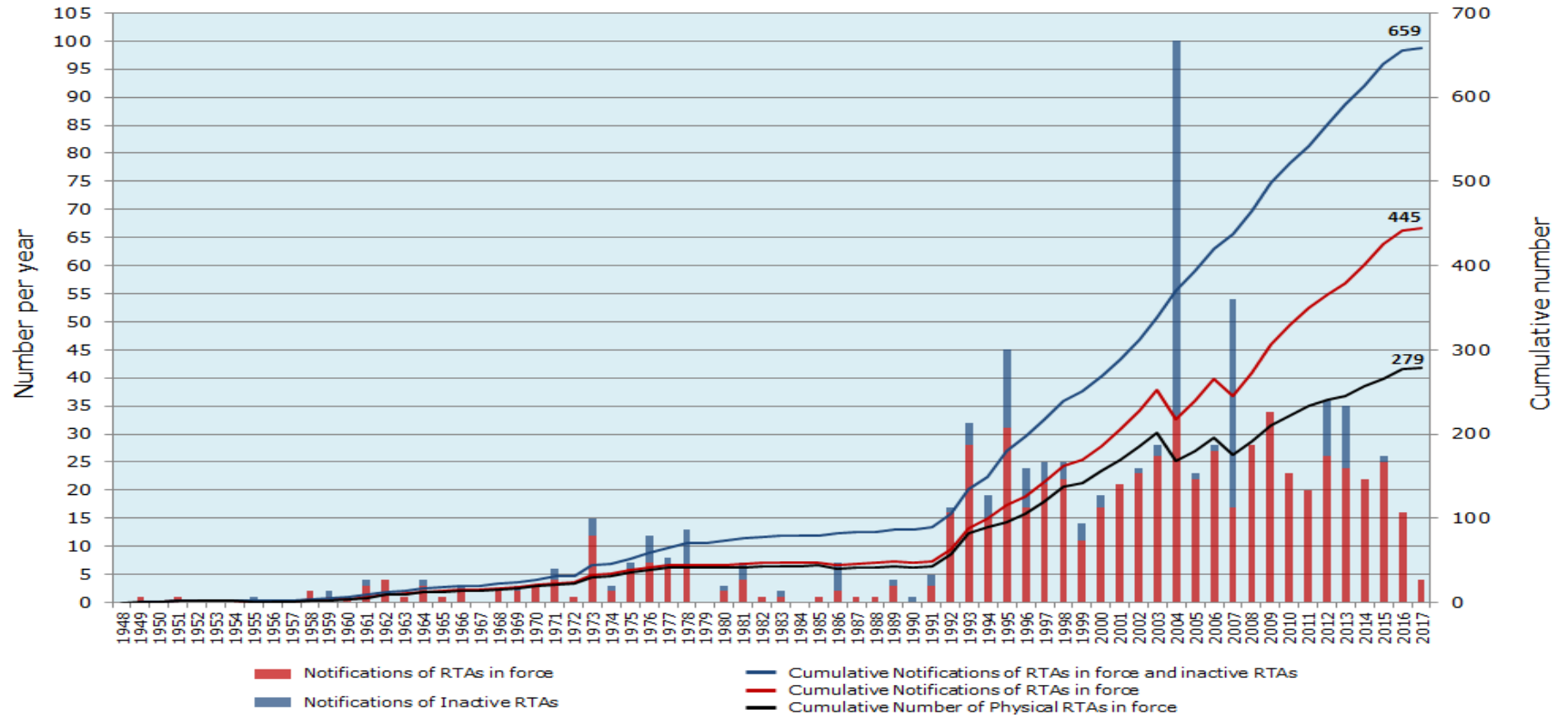
	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	Média	Soma
Alemanha	-0.01	-0.01	-0.01	0.04	0.00	0.07
Argentina	-0.04	-0.02	0.08	-0.02	0.00	0.17
Brasil	-0.12	-0.04	0.04	0.00	-0.03	0.20
Canada	0.05	0.03	-0.03	-0.01	0.01	0.12
China	0.01	0.26	0.10	0.03	0.10	0.40
Colômbia	0.08	0.02	0.01	-0.02	0.02	0.12
Espanha	-0.04	0.04	-0.01	0.06	0.01	0.16
França	-0.03	0.06	-0.04	0.03	0.01	0.15
Índia	0.01	-0.01	0.01	0.03	0.01	0.07
Itália	-0.02	0.06	-0.05	0.04	0.01	0.17
Japão	0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	0.12
México	0.05	-0.02	-0.02	0.04	0.01	0.12
Noruega	0.00	-0.03	0.02	0.00	0.00	0.05
Nova Zelândia	0.04	0.01	0.01	-0.01	0.02	0.08
Portugal	0.03	0.01	0.03	-0.02	0.01	0.09
Reino Unido	0.00	-0.02	0.00	0.00	-0.01	0.02
Rússia	0.01	0.05	-0.01	0.00	0.01	0.08
Suécia	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03
Turquia	-0.07	-0.06	0.01	0.02	-0.03	0.16
Venezuela	0.18	0.03	-0.09	-0.07	0.01	0.36

A12 - Variações dos scores corrigidos



A13 - Taxa de crescimento dos scores corrigidos

## Evolution of Regional Trade Agreements in the world, 1948-2017



Note: Notifications of RTAs: goods, services & accessions to an RTA are counted separately. Physical RTAs: goods, services & accessions to an RTA are counted together. The cumulative lines show the number of notifications/physical RTAs that were in force for a given year.  
 Source: RTA Section, WTO Secretariat, 20 June 2017.

A14 - Evolução do número de tratados comerciais regionais firmados  
 Fonte: Organização Mundial do Comércio