



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências Sociais e Humanas

Intensidade e Políticas Energéticas na União Europeia:

Um estudo com dados em painel

Steve Alves Amaral

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Economia
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Alcino Pinto Couto
Co-orientador: Prof. Doutor António Manuel Cardoso Marques

Covilhã, Outubro 2011

Dedicatória

Aos meus queridos pais e irmã, por todo o amor e apoio que me deram.

Agradecimentos

Queria agradecer ao Professor Dr. Alcino Couto, por todo o apoio, dedicação, paciência e disponibilidade que me concedeu ao longo destes meses. Agradecer igualmente as orientações sábias e construtivas que partilhou comigo.

Ao Professor Dr. António Marques, pela disponibilidade, ajuda e ensinamentos preciosos na elaboração deste trabalho, um grande obrigado.

Queria também deixar um voto de agradecimento a todos os amigos que partilharam esta jornada comigo, pelo apoio e estímulo que me deram.

Resumo

A redução da intensidade energética é tida como objectivo central das políticas energéticas para fazer face a desafios cruciais com que as economias se confrontam: maior segurança energética, competitividade e qualidade ambiental. Este trabalho estuda a influência das medidas de política energética implementadas pelos Estados-Membros da UE no comportamento da intensidade energética para o período 1995-2007. As fontes foram obtidas de diversas base de dados, entre outras, o MURE II, EUROSTAT e AMECO. Usando dados em painel, os diferentes testes sugerem a existência de correlação contemporânea, por essa razão foi usado o estimador *Panel Corrected Standard Errors (PCSE)*. Os resultados indicam que as medidas de eficiência nos diferentes sectores (residencial, serviços, transportes e indústria) vão ao encontro dos objectivos pretendidos, redução da intensidade energética. A emissão de CO₂ e o consumo de energia (petróleo, gás natural, nuclear e carvão) são igualmente indicadores que actuam na oscilação da intensidade energética, podendo o seu aumento afectar positivamente ou negativamente a variável explicada (intensidade energética). A discussão sobre a intensidade energética é ainda aprofundada incluindo-se as variáveis importação líquida de energia e o logaritmo de PIB.

Palavras-Chave

Intensidade energética; Eficiência energética; Políticas energéticas

Abstract

The reduction of energy intensity is taken as the main purpose of energy policy addressing the key challenges that economies faces: greater energy security, competitiveness and environmental quality. This paper studies the influence of energy policy measures implemented by Member States of the EU in energy intensity behavior for the period 1995-2007. The sources were obtained from several databases, among others, MURE II, EUROSTAT and AMECO. Using panel data, the different tests suggest the existence of contemporaneous correlation, therefore, we used the estimator Panel Corrected Standard Errors (PCSE). The results indicate that the efficiency measures in different sectors (residential, services, transport and industry) meet the desired objectives, reducing the energy intensity. The CO₂ emissions and energy consumption (oil, natural gas, nuclear and coal) are also indicators that operate in the oscillation of energy intensity, and may increase positively or negatively the explanatory variable (energy intensity). The discussion of energy intensity is further deepened through variables including net imports of energy and the logarithm of GDP.

Keywords

Energy intensity; energy efficiency; energy policy

Índice

1. Introdução.....	1
2. IE: das evidências teóricas e empíricas às questões de política energética.....	3
2.1. Consumo de energia, crescimento económico e ambiente.....	3
2.2. O papel da composição sectorial e intra-sectorial	5
2.3. Políticas energéticas	6
3. Dados e modelo.....	9
3.1. Dados: fontes, breve descrição e evolução.....	9
3.1.1. Intensidade Energética (IE)	11
3.1.2. <i>Consumo de energia</i> (CPETR, CGNA, CENU, CCARV).....	12
3.1.3. Logaritmo do Produto Interno Bruto (LOGPIB).....	13
3.1.4. Importações líquidas de energia (IMPOL)	13
3.1.5. <i>Medidas de Eficiência Energética</i>	14
3.1.5.1. Sector dos Transportes (MaTRAN)	15
3.1.5.2. Sector da Indústria (MaINDU)	15
3.1.5.3. Sector dos Serviços (MaSERV) e Residencial (MaRESI)	15
3.1.6. Emissões de dióxido de carbono <i>per capita</i> (CO2PC).....	16
3.2. Modelo.....	17
4. Resultados.....	18
5. Discussão	20
6. Conclusão	23
Bibliografia	24
Anexos	27

Lista de figuras

Fig.1 Intensidade energética 2007

Fig.2 Consumo de energia 2007

Fig.3 Consumo de energia 1995

Fig, A.1 - Intensidade energética 1995-2007

Lista de tabelas

Tabela 1 - Estatística Descritiva

Tabela 2 - Dependência de Importações 2007

Tabela 3 - Medidas de eficiência energética

Tabela 4 - Teste de especificação

Tabela 5 - Resultados

Tabela A.1 - Matriz de correlações

Lista de acrónimos

IE	Intensidade energética
CIB	Consumo Interno Bruto de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
CO ₂	Dióxido de carbono
UE27	Áustria, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha, Suécia, Reino Unido, República checa, Estónia, Hungria, Lituânia, Letónia, Polónia, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Croácia e Noruega.
CE	Comissão Europeia
IEA	<i>International Energy Agency</i>
UE	União Europeia
OLS	Ordinary Least Squares
PCSE	Panel Corrected Standard Errors
AR1	<i>Common first-order autoregressive error</i>
Kgpe	Quilograma de petróleo equivalente
Mtpe	Milhões toneladas de petróleo equivalente

1. Introdução

A redução da intensidade energética (IE) é tida como objectivo central das políticas energéticas para fazer face a desafios cruciais com que as economias se confrontam: maior segurança energética, competitividade e qualidade ambiental (e.g. IEA, 2008)

A IE consiste no rácio Consumo Interno Bruto de Energia (CIB) dividido pelo Produto Interno Bruto (PIB)¹ e sinaliza o potencial de poupança energética, resultante do contributo de factores energéticos, como mudanças nos padrões de consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias orientadas para o incremento da eficiência energética (e.g. Ang, 2006), e não energéticos, como recomposição sectorial, incremento do PIB, dinâmicas demográficas e condições climáticas (e.g. Mendiluce e tal., 2010). A eficiência energética tem tido um papel central nas políticas energéticas, esta consiste na sua forma mais agregada, no inverso da IE². Em termos técnicos corresponde aos serviços energéticos produzidos por uma unidade de energia, dando a medida da produtividade de um input de energia determinada pela evolução da tecnologia (e.g. Becerra, Bravo e Botta, 2010).

O facto dos combustíveis fósseis como o carvão, petróleo e gás natural constituírem fontes energéticas indispensáveis num horizonte temporal de médio/longo prazo, a política energética procura uma relação de dissociação entre consumo energético, emissões de CO₂ e crescimento económico (e.g. Ang, 2007; Soyta et al., 2007; Zhang et al., 2009).

A IE é tida como indicador agregado de muita utilidade para analisar e monitorizar o desempenho dos sistemas energéticos e os seus efeitos ambientais, sendo correntemente usado como instrumento de apoio à formulação das políticas energéticas (e.g. Ang, 1999; Geller et al., 2006; Bunse et al., 2011). Todavia, dada a diversidade de factores que exercem influência no seu comportamento, os estudos revelam uma complexidade significativa quanto à natureza das relações de causalidade, sentido e intensidade, bem como ao seu papel na sustentabilidade ambiental, observando-se resultados contraditórios e não conclusivos (e.g. Acaravaci e Ozturk, 2010; Ozturk, 2010). Acresce a esta complexidade, a inexistência de uma correlação positiva inequívoca entre o aumento da eficiência energética e a redução da IE, dada a ocorrência de “*rebound effect*”. Estes caracterizam-se por um aumento da IE associada a efeitos de substituição gerados pelos ganhos de eficiência e conseqüente redução de custos da energia; efeitos ampliados com a ocorrência do incremento do PIB *per capita* (e.g. Sorrell 2010; Sorrell e Dimitropoulos, 2007).

As tendências descritas fornecem informação relevante para a tomada de decisão, mas parecem revelar um insuficiente tratamento do papel das políticas públicas e da sua eficácia, justificando uma maior atenção dos investigadores (e.g. Hughes, 2009).

¹ A intensidade energética é medida em termos de base monetária, quilograma de petróleo equivalente por 1000€.

² Neste trabalho, em termos simples e tendo em conta o uso de dados agregados, consideramos que uma mudança na eficiência energética é tida como o inverso numa mudança de IE e os conceitos podem ser usados alternadamente.

O objectivo do trabalho consiste no estudo da influência das medidas de política energética, implementadas por Estados-Membros da União Europeia (UE), no desempenho dos sistemas energéticos, centrado nos seus efeitos sobre a evolução da IE e na análise de implicações de política energética.

Esta abordagem afigura-se pertinente. A eficiência energética tem sido considerada uma prioridade desde as crises do petróleo de 1973 e 1979, envolvendo recursos públicos crescentes orientados para alterações comportamentais, processos de recomposição das fontes energéticas e o desenvolvimento tecnológico (e.g. Oikonomou et al., 2009). No caso da UE, o estudo do impacto das políticas públicas emerge com maior relevância pela crescente integração da política energética num quadro marcado por diferenças estruturais significativas entre os sistemas energéticos dos Estados-Membros, facto que poderá condicionar os efeitos das políticas (e.g. EC, 2009a; e EC, 2010a)³. O estudo engloba um período de treze anos 1995 - 2007 e vinte e sete países (EU27)⁴.

O estudo utiliza a base dados do MURE II (*Mesures d'Utilization Rationnelle de l'Energie*), que fornece informações sobre políticas e medidas de eficiência energética aplicadas pelos Estados-membros da EU27 nos sectores dos transportes, residencial, indústria e dos serviços. As medidas do MURE II são maioritariamente medidas de carácter financeiro, fiscal, informativo e legislativo. O método usado são dados em painel, uma vez que a análise combina dados seccionais e temporais, permite uma boa eficiência na estimação (e.g. Green, 2003).

Para além desta introdução, este trabalho encontra-se organizado de acordo com a seguinte estrutura. No capítulo II procedemos a uma revisão da literatura teórica e empírica sobre IE, eficiência energética e questões de política energética. No capítulo III são apresentados os dados e o modelo de análise empírica. No capítulo IV são apresentados os resultados dos testes. No capítulo V é feita a discussão dos resultados. Finalmente, no capítulo VI faremos breves considerações finais e sugestões quanto a linhas de investigação futuras.

³ A União Europeia fez da energia um dos alicerces da sua fundação através da criação da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA), em 1951, e da Comunidade Europeia da Energia Atómica (EURATOM), em 1957.

⁴ Áustria, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha, Suécia, Reino Unido, República checa, Estónia, Hungria, Lituânia, Letónia, Polónia, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Croácia e Noruega.

2. IE: das evidências teóricas e empíricas às questões de política energética

A IE estabelece uma relação directa entre consumo energético e o nível de actividade económica (PIB)⁵. Por sua vez, a sua relação com a qualidade ambiental é indirecta, podendo ser aferida através da identidade de *Kaya*, cuja especificação funcional considera a IE como um dos *drivers* da emissão de CO₂⁶ (e.g. Duro e Padilla, 2006).

Estas relações têm sustentado linhas de abordagem da IE orientadas, predominantemente, para o estudo das relações de causalidade entre o consumo de energia e o PIB, entre as variáveis PIB, consumo de energia e a qualidade ambiental e o papel da decomposição sectorial e das políticas energéticas.

2.1. Consumo de energia, crescimento económico e ambiente

O estudo das relações entre as três variáveis, consumo de energia, PIB e emissão de CO₂, seguem aproximações diferenciadas quanto às suas metodologias adoptadas e dados utilizadas, cujos resultados e indicações de políticas energéticas e económicas se revelam instáveis e sensíveis a factores contextuais, energéticos e não energéticos, evidenciado por Duro e Padilla (2011) e Geller et al (2006)⁷.

No que diz respeito à relação entre consumo de energia e crescimento do PIB, Ozturk (2010) procedeu a uma síntese da literatura, identificando quatro *nexus* de causalidade. *Neutrality hypothesis*, relação marcada pela inexistência de causalidade entre o consumo de energia e o PIB. *Conservation hypothesis*, esta hipótese sugere que as políticas de poupança no consumo de energia podem ser implementadas com pouco ou nenhum efeito adverso no crescimento económico, uma economia com reduzida dependência energética. *Growth hypothesis*, pressuposto que considera o consumo de energia como factor de crescimento económico, choques no fornecimento de energia terão um impacto negativo no crescimento económico. Finalmente, *feedback hypothesis*, estabelece uma relação bidireccional entre as duas variáveis. O crescimento económico e o consumo de energia são determinantes e ao mesmo tempo afectados um pelo outro (e.g. Ozturk, 2010). De acordo com a taxonomia apresentada por Ozturk (2010), os resultados podem revelar diferenças substanciais quanto à direcção de causalidade entre consumo energético e nível de actividade económica. Tais

⁵ O PIB deve ser medido em termos da *paridade poder de compra* (ppc) para obter comparações credíveis no rácio energia-PIB (e.g. Summers e Heston, 1991). Pretende-se a eliminação das diferenças nos preços internos das diferentes economias.

⁶ A identidade de *Kaya* considera para além, da IE, a intensidade carbónica, o PIB *per capita* e a população como determinantes do volume de emissões de CO₂ (e.g. Duro e Padilla, 2006)

⁷ As divergências quanto aos resultados de cada país na análise da IE podem ter como causa diferenças nos factores energéticos (fornecimento de energia, pressupostos políticos e políticas energéticas) e não energéticos (antecedentes políticos e económicos, cultura, políticas económicas, clima e geografia) (e.g. Chen et al., 2007).

diferenças encontram suporte nos muitos estudos realizados (e.g. Acaravci e Ozturk 2010) quer a países desenvolvidos, quer a países em desenvolvimento, contemplando períodos temporais, variáveis e metodologias econométricas diferenciadas.

Os problemas de consistência e estabilidade das evidências observadas ganham maior complexidade quando se introduz a componente ambiental, em particular do CO₂ como variável mais estudada. Na maior parte dos casos o estudo da relação desta variável com o consumo de energia e o nível de actividade económica segue abordagens separadas. Constatase a existência de poucos estudos que procedam à integração das três variáveis.

Zhang e Cheng (2009) estudaram as três linhas de investigação que integram a relação das três variáveis: as relações entre crescimento económico e as emissões poluentes, entre o consumo de energia e o crescimento económico e por fim a relação entre o consumo de energia, o crescimento económico e as emissões poluentes.

A primeira centra-se nas emissões poluentes e o crescimento económico, assente na hipótese da curva ambiental de Kuznets (CAK)⁸. Duro e Padilla (2006) usaram o *TID (Theil Index Decomposition)*⁹ e realçaram a importância da desigualdade de rendimentos na diferença de emissões *per capita* por país, estes autores usaram a IE para alcançar uma redução da emissão CO₂ *per capita*. Os autores observaram, ainda, uma divergência da IE dos países a nível mundial, salientaram no entanto uma maior redução de IE nos países ricos. A segunda, estuda a hipótese de causalidade unidireccional entre o crescimento económico e o consumo de energia (e.g. Kraft e Kraft 1978)¹⁰. A terceira diz respeito a uma aproximação dos dois modelos anteriores que investiga a relação dinâmica entre o crescimento económico, poluição ambiental e o consumo de energia em conjunto (e.g. Apergis e Payne, 2010; Ang, 2007;).

Estas três variáveis estão indirectamente relacionadas com a IE. Por exemplo, o mercado de trocas de emissões do Reino Unido e o acordo das alterações climáticas¹¹ adoptaram tanto a IE, o consumo de energia (em valores absolutos) e as emissões de CO₂ como *drivers* das medidas de política de eficiência energética. Assim as alterações climáticas contribuem para o esforço em aumentar a eficiência energética sem com isso prejudicar o crescimento económico (quando não se verifica onexo de causalidade).

A desigualdade de IE, consumo de energia, crescimento económico e a emissão de CO₂ *per capita* diferem de país para país na Europa, conseqüentemente também se verifica um

⁸ A (CAK) estipula que a relação entre o crescimento económico e a emissão poluente, assemelhando-se a um U invertido, significa que a destruição ambiental aumenta com o rendimento, depois estabiliza e eventualmente decresce. A (CAK) especifica as emissões como sendo uma função de rendimento, que indica causalidade unidireccional do rendimento (PIB) em relação às emissões CO₂ (PIB→CO₂) (e.g. Sun, 1999)

⁹ Mede a IE no sector da energia através da transformação de energia e da decomposição dos factores *Kaya identity* e dos termos de interacção para analisar a desigualdade de emissões per capita.

¹⁰ O modelo de causalidade *Granger* e modelos de cointegração confirmam ou infirmam os resultados de Kraft e Kraft (1978).

¹¹ Mais recentemente, em 2009, a ONU promoveu em Copenhaga, na Dinamarca, a 15ª Conferência da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP-15). Outras iniciativas tiveram igualmente lugar, como o COP-13, onde os temas principais se centraram na redução da concentração de gases que causam o efeito de estufa, realizada em 2007 na cidade de Bali, na Indonésia e o Protocolo de Quioto (1997).

diferente contributo para o efeito estufa (e.g. Duro e Padilla, 2011; Sun, 2002; Mendiluce et al., 2010).

Apergis e Payne (2010) provaram que a longo prazo, o consumo de energia tem influência positiva nas emissões de carbono, enquanto o PIB segue a hipótese da curva estipulada por Kuznets. No longo prazo, provou-se existir causalidade bidireccional entre o consumo de energia e as emissões CO₂. Enquanto, no curto prazo, observa-se uma causalidade unidireccional do consumo de energia juntamente com o PIB para com as emissões CO₂ e uma causalidade bidireccional entre o consumo de energia e o PIB.

Ang (2007) analisou a dinâmica de causalidade entre as emissões poluentes, consumo de energia e o PIB para a França, para os anos 1960-2000. O autor sustenta que as variáveis estão fortemente interligadas, devendo a sua relação ser examinada usando um quadro integrado. Os resultados evidenciam a existência de uma relação a longo prazo robusta entre as variáveis. Também suportam que o crescimento económico causa uma influência no crescimento do consumo de energia e das emissões poluentes a longo prazo.

Coxhead (2003) argumentou que existe uma relação não-linear entre a poluição ambiental e o PIB. Esta pode ser explicada por três factores: efeitos de escala, efeitos de composição e os efeitos técnicos. O efeito de escala ocorre quando se verifica um aumento na poluição e conseqüentemente um crescimento económico. O efeito de composição diz respeito à mudança na estrutura de produção, desde a indústria aos serviços, resultante da reaplicação dos recursos. Por fim, a relação entre o PIB e poluição também depende das técnicas de produção, o efeito tecnológico pode reduzir a quantidade de emissões poluentes por unidade de produção (e.g. Mendiluce et al., 2010).

Estas evidências potenciam a explicação de resultados menos esperados na interpretação da IE. A decomposição sectorial torna-se importante para uma análise mais detalhada na mudança da IE, nomeadamente os efeitos estruturais e os efeitos intra-sectorial para a explicação dos factores determinantes da evolução da IE.

2.2. O papel da composição sectorial e intra-sectorial

Mendiluce et al., (2010) chamou a atenção para dois efeitos, o efeito estrutural e o efeito intra-sectorial, o primeiro quantifica a influência de estruturas produtivas no rácio agregado, trata-se da recomposição sectorial da economia. Torna-se útil uma vez que a especialização produtiva em certas actividades requerem mais ou eventualmente menos energia e são por vezes responsáveis pela evolução da IE. Alterações nos diferentes tipos de actividade económica de medidas agregadas têm um impacto na IE ou no consumo de energia.

O efeito intra-sectorial captura a IE num nível de desagregação, é independente das mudanças nas estruturas da economia. Representa a melhoria da IE em resultado do incremento tecnológico, este efeito é mais robusto em termos de medida, pois quanto mais desagregado o nível de análise, melhor detecta a presença de efeitos tecnológicos. Quando esta técnica se aplica, os efeitos das mudanças estruturais são sempre depreciados por causa da limitada desagregação das contas nacionais e balanços energéticos. Isto leva a um efeito

mais elevado intra-estrutural causado pelas alterações estruturais dentro do processo produtivo que é incluído em cada subsector. Com o objectivo de analisar e perceber a evolução da IE é necessário perceber a diferença entre as regiões, países e sectores (e.g. Mendiluce *et al.*, 2010).

No estudo de Mendiluce *et al* (2010) foi analisada a evolução da IE na EU15 para o período 1995-2004, com objectivo de identificar os efeitos sectoriais que mais influenciam o comportamento da IE. O estudo recorre ao método LMDI (*Logarithmic mean divisa index*) pelas suas vantagens¹². A análise integra efeitos estruturais e intra-sectoriais. Por exemplo, no sector dos transportes verificou-se uma melhoria de eficiência energética mas uma vez que existe aumento do nível de actividade nesse sector (por exemplo o aumento dos quilómetros percorridos por transportes terrestres), também contribui para um aumento do PIB e consequentemente um aumento de IE (e.g. Ang e Liu, 2006). O aumento da IE encontra-se relacionado com o aumento populacional e o rendimento *per capita*, também a emigração para áreas urbanas mais dispersas e as medidas fiscais de combustível, resultaram no *rebound effect* e um aumento na distância de viagem. Na EU15, por sua vez, no sector residencial o aperfeiçoamento dos sistemas de aquecimento e do uso do desperdício de calor está por trás da redução da IE. As construções já finalizadas na EU15 de edifícios e infra-estruturas (por exemplo estradas e ferrovias) ao contrário do verificado em Espanha, fez com que as actividades nesses sectores não contribuíssem para o PIB.

2.3. Políticas energéticas

O objectivo actual da política energética na Europa procura o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável, a competitividade e a segurança (e.g. EC, 2006), isto só pode ser alcançado se for promovida a eficiência energética, o uso de energias renováveis, diminuição das emissões de CO₂, investimento em tecnologia e a redução das emissões poluentes (e.g. Becerra, Bravo e Botta, 2010).

Tanaka (2008) defende que as políticas energéticas vão quase sempre ao encontro da redução do consumo de energia. A redução do consumo torna-se, assim, um factor importante na IE, exige, no entanto, uma forma de regulação para atingir a redução de energia utilizada nas residências, transportes, serviços e indústria. Existe a necessidade de haver indicadores a nível nacional, para a aplicação de medidas de eficiência energética.

A conservação da energia pode ser reforçada através de alterações no sistema financeiro mais especificamente através da regulação e do aumento dos preços da energia. Também as alterações na motivação das pessoas, ou seja, preocupações ambientais e o sentimento de obrigação moral em reduzir o consumo de energia são um instrumento de regulação. As políticas energéticas, neste aspecto, podem centrar os seus esforços em duas

¹² Faz uma decomposição perfeita, os resultados não contêm um termo residual, pode ser usado para dois ou mais factores, existe uma relação simples entre decomposição aditiva e multiplicativa e é consistente com a agregação. Pode ser usado para analisar a evolução da IE e identificar a contribuição das mudanças estruturais e uma melhoria da eficiência energética dos sectores ou os efeitos intra-sectorial.

direcções. Primeiro, os bens energeticamente eficientes serem promovidos através de subsídios ou na aplicação de tarifas. Em segundo, no comportamento do consumidor através de informação que incentive à poupança de energia, centrada na sensibilização moral do consumidor (e.g. Oikonomou et al, 2009).

Geller et al (2006) argumentaram que as medidas aplicadas aos diferentes sectores também dependem das barreiras geográficas, nesse caso, as medidas de eficiência energética funcionam melhor se estiverem inseridas em estratégias de transformação. O objectivo específico das várias políticas energéticas da UE é geralmente avaliado usando indicadores quantitativos, utilizando o indicador “IE” a fim de quantificar a eficiência energética (e.g. EC, 2009a; EC, 2009b; Kemmler e Spreng, 2007).

A IE na Europa tem vindo a ser foco de atenção desde os choques de petróleo de 1973, conseqüentemente, muitos países Europeus atribuíram incentivos e/ou taxas energéticas, subsídios e taxas de juro baixas para melhorar a eficiência energética nos quatro sectores, particularmente no sector industrial uma vez que ajudou a expandir o uso de cogeração¹³ em vários países (e.g. Tanaka, 2008). Ang (2007) apontou para uma utilização mais diversificada de energia, no caso da França foram utilizadas técnicas de substituição de energia, promovendo o uso de energia nuclear e de gás natural, verificando-se uma grande diminuição de emissões CO₂.

Oikonomou et al (2009) mostraram que nalgumas políticas de incentivos à eficiência energética existe um objectivo ambiental com forte intuito de uso racional de energia pelos consumidores e a sua capacidade de resposta em relação ao custo da energia. Estes autores também sugeriram que a maneira mais eficaz de reduzir o consumo de energia é taxá-la, mesmo significando um encargo económico para a sociedade.

As políticas energéticas podem reduzir com sucesso a desigualdade de IE entre países, ao evoluir para níveis superiores de eficiência energética do ponto de vista da transformação. Duro e Padilla (2010) afirmam que a melhor maneira de reduzir a IE é através de medidas de eficiência aplicadas aos diferentes sectores ou na conversão de energia nos sectores, sempre com o objectivo de reduzir a quantidade de energia consumida.

Acordos voluntários entre os governos e os consumidores de energia geralmente não focam uma opção de poupança específica, mas sim o uso total de energia num sector (e. g. Boonekamp, 2006), a obrigatoriedade do cumprimento depende do acordo estabelecido e dos hábitos dos cidadãos.

No sector residencial Boonekamp (2006) mostrou que até o elevado preço de petróleo pode ser, apenas, um pequeno factor na diminuição da IE. Países como a Alemanha tomaram medidas de redução de aquecimento por unidade de área significativas até 2012, por outro lado, a Dinamarca, França, Suécia e o Reino Unido adoptaram medidas de eficiência energética nas novas construções (por exemplo edifícios) realizando revisões periódicas nas últimas décadas (e.g. ODYSSEE, 2010).

¹³ A cogeração consiste no aproveitamento local do calor residual originado nos processos termodinâmicos de geração de energia eléctrica, que doutra forma seria desperdiçado.

O sector dos serviços é o sector onde existe um maior potencial na poupança de energia, estimado em 30% na UE. As medidas propostas para alcançar essa redução incluem a implementação de serviços de gestão energética, promoção de fundos publico/privados ou pacotes de financiamento e auditorias de energia em pequenas e médias empresas assim como no sector público. Com estas medidas será possível ultrapassar as barreiras à eficiência energética, uma vez que compreender a natureza destes obstáculos é crucial quando se implementa uma medida energética (e.g. Schleich, 2009).

O sector dos transportes tem a particularidade de ser o sector que mais utiliza o petróleo como fonte energética, representa uma dependência 98% do petróleo. As medidas podem incentivar avanços tecnológicos e uma redução drástica da emissão de CO₂, o primeiro passo foi a adopção de políticas energéticas adoptadas pela UE, com o objectivo de usar medidas de informação e de redução de CO₂ para veículos novos. Os acordos voluntários entre a comissão e os fabricantes de automóveis europeus reduziram as emissões médias de CO₂ dos automóveis novos em 25% em 2008, com valores de referência de 1995 (e.g. EC, 2006).

Na indústria, incluem-se exemplos como a eficiência de motores eléctricos, usados segundo o acto da política da energia dos EUA e nos trabalhos da UE (e.g. IEA, 2006). Tanaka (2008) argumentou que existem três aspectos que diminuem a IE na indústria: O aumento dos preços da energia; As leis que regulem a emissão de CO₂ e impliquem taxas de emissão, estas medidas vão ao encontro dos compromissos estabelecidos no Protocolo de Quioto de 1997 e no acordo de Copenhaga em 2009¹⁴; e em terceiro, a alteração do comportamento do consumidor tanto nos empresários e trabalhadores, como nos consumidores, levando o consumidor a interessar-se por produtos verdes.

¹⁴ Alguns países comprometeram-se a reduzir as emissões de CO₂ em 20% até 2020.

3. Dados e modelo

Nesta secção são apresentados os dados e é feita a sua descrição. Procedemos também à especificação do modelo utilizado na investigação empírica.

3.1. Dados: fontes, breve descrição e evolução

Usamos dados recolhidos de diversas bases de dados, nomeadamente da *EUROSTAT*, *AMECO*, da Comissão Europeia (CE), direcção geral da energia e do transporte (DG TREN), e do MURE II. O estudo engloba um período de 13 anos de 1995 a 2007 e o objecto da análise são os vinte e sete países pertencentes à união Europeia, com a excepção do Chipre e Malta que por falta de dados estatísticos não foi possível incluir. Adicionámos á nossa amostra a Croácia, candidato á UE e a Noruega, constituindo um total de vinte e sete países (UE27).

As variáveis utilizadas dizem respeito à IE, às importações líquidas de energia (IMPOL); a emissão de CO₂ *per capita* (CO2PC); ao consumo de energia, de Carvão (CCARV), de petróleo (CPETR), de Gás Natural (CGNA), energia nuclear (CENU); às medidas adoptadas pelos estados membros, no sector Residencial (MaRESI), no sector dos transportes (MaTRAN), no sector dos serviços (MaSERV), no sector industrial (MaINDU); o nível de actividade económica medido através do logaritmo do produto interno bruto (LOGPIB). Irá ser providenciada a definição das variáveis, a unidade e a estatística descritiva de cada uma delas (Tabela 1).

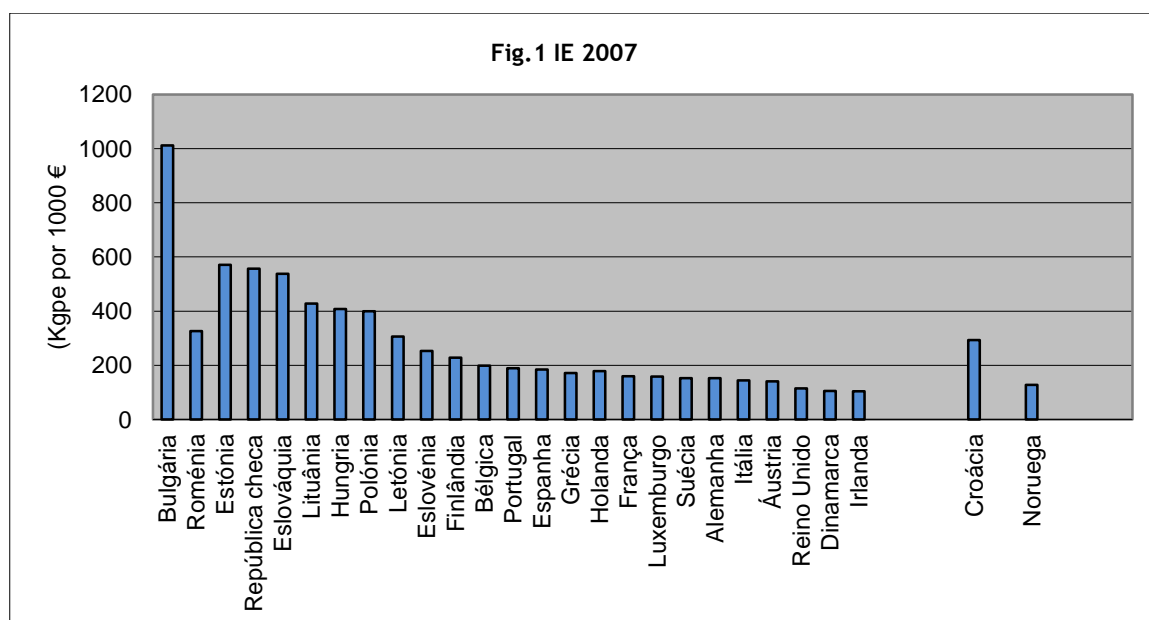
Tabela 1- Estatística Descritiva

VAR	OB	Média	DP	Min	Max	Def/Unid	Fonte
IE	351	343.6895	297.7228	99.69	1792.32	Intensidade energética (Kgpe por 1000€)	EUROSTAT (Outubro, 2010)
CCARV	351	19.58974	16.13487	1	70	Consumo interno bruto de carvão (Mtpe)	EUROSTAT (Outubro, 2010)
CPETR	351	37.94017	12.75749	16	67	Consumo interno bruto de petróleo (Mt)	EUROSTAT (Outubro, 2010)
CGNA	351	21.28775	10.97347	0	49	Consumo interno bruto de gás natural (Mtpe)	EUROSTAT (Outubro, 2010)
CENU	351	10.08832	12.3772	0	44	Consumo interno bruto de energia nuclear (Mtpe)	EUROSTAT (Outubro, 2010)
MaRESI	351	29.35613	17.66615	0	10	Medidas acumuladas no sector residencial	MURE II (Dezembro, 2010)
MaTRAN	351	22.68946	20.25743	0	100	Medidas acumuladas no sector dos transportes	MURE II (Dezembro, 2010)
MaINDU	351	14.86895	14.36861	0	75	Medidas acumuladas no sector industrial	MURE II (Dezembro, 2010)
MaSERV	351	17.51282	12.277	0	50	Medidas acumuladas no sector terciário	MURE II (Dezembr, 2010)
CO2PC	351	9559.749	4330.761	3020	29480	Emissão CO ₂ per capita (kg/cap)	European Comission (DG TREN) (Janeiro, 2011)
LOGPIB	351	2.378489	.842159	.556303	4.228341	Log(PIB) (p. Constante 2000 em €) Milhões	AMECO (Novembro, 2010)
IMPOL	351	25.02003	67.75872	-210.04	216.65	Importações líquidas (Mtpe)	EUROSTAT (Outubro, 2010)

Como possíveis explicadores de IE (Variável explicada) usámos factores socioeconómicos, utilizando como variáveis explicativas, o consumo de energia (3.1.2), PIB (3.1.3) e Importações de energia (3.1.4). Também utilizámos factores de política energética, ligadas às medidas de eficiência energética (3.1.5), por fim, factores ambientais através da variável CO2PC ligada à emissão de dióxido de carbono (3.1.6).

3.1.1. Intensidade Energética (IE)

Neste estudo, a IE é definida como sendo o rácio CIB dividido pelo PIB (e.g. Becerra, Bravo e Botta, 2010). Verifica-se de facto uma discrepância nos valores da IE global de uma economia e nos diferentes países, Mendiluce et al (2010) defende que tal discrepância existe porque a IE é influenciada por vários factores económicos sociais e demográficos, que podem exigir requisitos adicionais para a manutenção de um determinado nível médio de vida ou para contrabalançar as condições climáticas. É bastante habitual nos países com climas particularmente frios ou quentes requererem um maior consumo de energia em aquecimento (por exemplo caldeiras ou aquecedores eléctricos) ou arrefecimento (por exemplo sistemas de ar condicionado ou ventoinhas) nas suas habitações e locais de trabalho. Duro e padilla (2010) afirmam que um país com um nível de vida elevado (por exemplo a Alemanha e França, Fig 1) têm uma maior probabilidade em dispor deste tipo de bens de consumo e implicar com isso um menor impacto da IE do país, ao contrário de um país com um nível de vida mais baixo (por exemplo a Bulgária e Estónia, Fig 1). Geller et al (2006) afirmaram que um país muito produtivo a nível económico que possua um clima ameno, padrões demográficos de trabalho próximo de casa, carros eficientes, e hábitos de uso de transportes públicos terá uma IE muito menor que um país com condições exactamente opostas. No caso da UE27 verifica-se uma diminuição da IE ao longo do período estudado, com excepção da Espanha (Fig.A.1).



Fonte: EUROSTAT

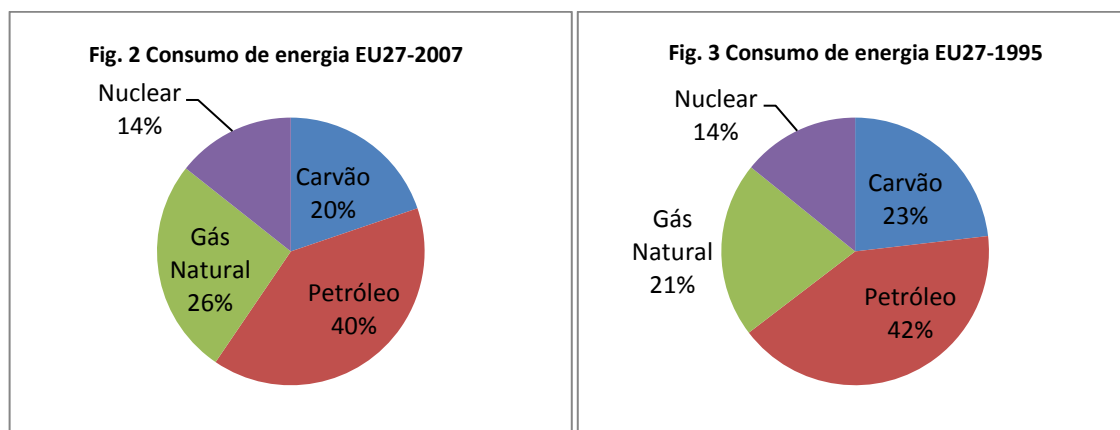
3.1.2. Consumo de energia (CPETR, CGNA, CENU, CCARV)

O CIB, nomeadamente do petróleo, gás natural, energia nuclear e o carvão, diz respeito à quantidade de energia consumida dentro das fronteiras de cada país. O consumo é calculado através da seguinte fórmula:

$$CIB = \text{produção de energia primária} + \text{produtos recuperados} + \text{importações} + \text{variação de existências} - \text{exportações} - \text{reservas}$$

O consumo de energias mais ou menos poluentes pode variar consoante muitos aspectos, temperaturas climáticas, diferenças do nível de desenvolvimento económico, questões políticas, questões demográficas e geográficas (e.g. Becerra, Bravo e Botta, 2010).

Através do consumo de energia conseguimos visualizar a quantidade de energia poupada e as fontes de energia mais utilizadas, a poupança pode ser alcançada através de alterações comportamentais dos consumidores, ao contrário da eficiência energética que para reduzir o consumo implica a adopção de uma tecnologia específica sem com isso implicar uma alteração no comportamento do consumidor, esta teoria foi defendida por Oikonomou et al (2009). Podemos observar a evolução do consumo na UE27 através das figuras 2 e 3.



Fonte: EUROSTAT

Fonte: EUROSTAT

Para a UE27 foi demonstrado através de Ozturk (2010) que maioritariamente, o crescimento económico implica um aumento no consumo de energia. O maior consumo de energia foi verificado na Alemanha, França e Reino Unido, mantendo-se uma redução do consumo no tempo estudado constante, com a excepção de Espanha (e.g. ODYSSEE, 2010).

O sinal expectável do consumo de energia em relação à IE pode ser positivo, uma vez que uma redução do consumo de energia, *ceteris paribus*, implica uma redução da IE. Vera e Langlois (2007) demonstraram que uma economia determinada em reduzir o seu consumo tornar-se-ia mais eficiente no uso de energia e proporcionaria uma redução de IE. No entanto a relação é mais complexa em função da ocorrência ou não de dissociações relativas ou absolutas, representadas na curva ambiental de Kuznets (e.g. Sun, 1999). Quando a taxa do

consumo é superior à taxa do PIB, caso da Espanha (e.g. Mendiluce et al., 2010), existe um aumento da IE. Apesar disso, os dois efeitos são susceptíveis de acontecerem.

3.1.3. Logaritmo do Produto Interno Bruto (LOGPIB)

Neste estudo usamos o logaritmo do PIB a preços constantes, a fim de normalizar e facilitar a sua utilização. O LOGPIB é um importante indicador económico para qualquer estudo elaborado nesta área. Hatzigeorgiou et al (2011) afirmaram que o sinal esperado do PIB é positivo quando relacionado com a IE, aumentando o PIB também aumenta a IE, esta lógica pressupõe que um aumento no rendimento económico implica um aumento de IE. Essa situação verifica-se maioritariamente nos países em vias de desenvolvimento, uma vez que elevadas taxas de crescimento do PIB estão associadas a taxas elevadas de consumo de energia, aumentando a IE. No entanto verificámos através de Ang (2006), que os países mais desenvolvidos tendem a conhecer uma redução IE à medida que o PIB aumenta, associado a um consumo mais eficiente de energia. Sendo o PIB também um indicador utilizado no rácio IE, podem sugerir problemas de endogeneidade e multicolinearidade, mas eventuais problemas foram tratados adequadamente mais á frente neste trabalho.

3.1.4 Importações líquidas de energia (IMPOL)

As *IMPOL* dizem respeito às importações líquidas de cada país. Relacionar as *IMPOL* com a IE é pertinente uma vez que a questão da segurança e da competitividade estão presentes nesta variável e também estão interligadas à dependência energética (e.g. EC, 2010b)

Tabela 2 Dependência de Importações (%) 2007

	Todos os combustíveis	Carvão	Petróleo	Gás Natural
UE27	53.1	41.2	82.6	60.3

Fonte: EUROSTAT

Podemos observar uma maior dependência de importações do petróleo na UE27, com 82.6% do petróleo usado a ser importado. Um total de 53.1% dos combustíveis usados é derivado de importações. O sinal expectável das importações líquidas de energia quanto á IE é positivo (e.g. Zhao e Wu, 2007). As importações requerem um investimento e uma sustentabilidade muito elevado das economias da UE, reduzir as importações traria elevados benefícios económicos e um aumento de competitividade.

3.1.5. Medidas de Eficiência Energética

A base de dados MURE (Mesures d'Utilization Rationnelle de l'Énergie)¹⁵ fornece informações acerca das políticas e medidas de eficiência energética que foram aplicadas pelos estados membros da UE. No estudo de Ang e Liu (2006) provou-se que quase todos os países membros incluíram os programas que visam reduzir a emissão de CO₂, o uso eficiente de energia, a poupança de energia e o investimento em tecnologias, muitos países iniciaram essas iniciativas após o choque do preço de petróleo de 1973.

As medidas utilizadas para a nossa base de dados incluem medidas acumuladas até ao ano de 1995 e posteriormente até 2007. Na tabela 3 estão apresentadas as medidas utilizadas nos diferentes sectores incluindo o seu peso (incidência) entre elas.

Tabela 3 Medidas de eficiência energética UE27

Transportes	%Sec	Indústria	%Sec	Serviços	%Sec	Residencial	%Sec
Normativa/ Legislativa	15%	Normativa/ Legislativa	7%	Normativa/ Legislativa	29%	Normativa/ Legislativa	38%
Legislativa/ Informativa	5%	Legislativa/ Informativa	7%	Legislativa/ Informativa	13%	Legislativa/ Informativa	15%
Financeira	14%	Financeira	39%	Financeira	26%	Financeira	28%
Fiscal	15%	Fiscal/Tarifas	3%	Fiscal/Tarifas	1%	Fiscal/ Tarifas	2%
Informação/ Educação/ Formação	15%	Novos instrumentos baseados no mercado	5%	Informação/ Educação/Formaç ão	19%	Informação /Educação	13%
Medidas de cooperação	7%	Informação/ Educação/ Formação	17%	Medidas de cooperação	8%	Medidas de cooperação	2%
Infra-estrutura	22%	Medidas de cooperação	16%	<i>Cross-section</i> com características específicas do sector	3%	<i>Cross-section</i> com características específicas do sector	2%
Planeamento social/ Organizacional	6%	<i>Cross-section</i> com características específicas do sector	6%				
<i>Cross-section</i> com características específicas do sector	1%						

Fonte: MURE II

¹⁵ Coordenado pelo ISIS (Institute of Studies for the Integration of Systems, Rome) juntamente com o "Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI (Alemanha)". O desenvolvimento base de dados MURE teve também um suporte financeiro nacional pelos estados membros da UE. Sendo principalmente, a demonstração do progresso e do esforço desenvolvido pela UE para satisfazer o protocolo de Quioto, a conferência de Copenhaga 2009 e o progresso da eficiência energética.

3.1.5.1. Sector dos Transportes (MaTRAN)

O sector dos transportes teve uma incidência de 23% das medidas totais tomadas na EU27. Uma vez que os acordos voluntários não conseguiram alcançar a redução desejada dos padrões de CO₂, foi emitida regulamentação obrigatória, sendo o objectivo aperfeiçoar a tecnologia nos veículos motorizados (e.g. ODYSSEE, 2010).

3.1.5.2. Sector da Indústria (MaINDU)

O sector industrial foi o sector que menos medidas obteve, totalizando 18% das medidas totais. Um elevado número de governos europeus adoptou acordos voluntários com o sector industrial, reduzindo a energia produzida e também a emissão de CO₂, o caso da Alemanha, Holanda, Noruega, Dinamarca, Suécia e o Reino Unido. Desde 1998 alterações estruturais levaram a uma redução de IE, representando uma redução de 13% de intensidade até 2009 (e.g. ODYSSEE, 2010). Existem cinco países onde as alterações estruturais explicam a grande redução: Hungria, República Checa, Roménia, Suécia e a Irlanda.

3.1.5.3. Sector dos Serviços (MaSERV) e Residencial (MaRESI)

O sector residencial foi o que teve um maior número de medidas com 34% da incidência neste sector. A Alemanha aumentou rigorosamente os requisitos de eficiência no país em 2002, a Dinamarca, França, Suécia e o Reino Unido também adoptaram padrões de desempenho energético para edifícios novos. A eficiência energética tem vindo a melhorar de ano para ano, o aquecimento e a sua aplicação em grande escala foi o responsável pela melhoria da eficiência energética (e.g. ODYSSEE, 2010). O sector dos serviços foi o segundo sector com mais medidas acumuladas, totalizando 24% da incidência neste sector. Uma das medidas tomadas foi, em 2002, o lançamento da directiva: reformulação do desempenho energético dos edifícios, sendo considerada uma medida chave para melhorar a eficiência dos edifícios.

As medidas nos quatro sectores centraram-se maioritariamente de carácter Legislativo/Normativo e de carácter Financeiro, Boonekamp (2006), Oikonomou et al (2009) e Duro e Padilla, 2010 defenderam que são as que mais rapidamente se aplicam e podem demonstrar resultados de sucesso. O sinal expectável das medidas de eficiência energética nos sectores dos transportes, residencial, indústria e dos serviços em relação à IE é negativo (e.g. Geller et al., 2006; Boonekamp, 2006; Tanaka, 2008; Schleich, 2009). Uma melhoria de eficiência energética através de medidas de políticas energéticas leva a uma redução do consumo de energia, um aumento na poupança de energia e uma diminuição da emissão de CO₂.

3.1.6. Emissões de dióxido de carbono *per capita* (CO2PC)

Uma vez que as alterações climáticas estão ligadas à emissão de gases poluentes com efeito estufa e as alterações climáticas fazem parte das preocupações da EU, é do nosso interesse perceber a correlação que existe entre CO2PC e a IE. Duro e Padilla (2006) estudaram a decomposição dos factores influenciadores de emissão CO2PC de maneira a analisar as desigualdades entre países, afirmando que a IE tem sido cada vez menos um influenciador na emissão. Apesar das oscilações, a emissão de CO2PC reduziu de 1995 a 2007 (e.g. EC, 2010b). O país com maior emissão de CO2PC foi o Luxemburgo e a Letónia com menor emissão.

Hatzigeorigou et al (2011) afirmou que reduzindo a IE também se reduz a emissão de CO₂. No entanto, neste trabalho, é estudado o comportamento da IE face à variação do nível de CO2PC, uma vez que esta é a variável independente. A relação estabelecida é sempre indirecta, mediante o consumo de energia. A variável CO2PC corresponde a uma variável medida em termos de valores absolutos e não da taxa de crescimento. Assim sendo, é expectável que os países com maior emissão de CO₂ estejam empenhados numa redução do consumo de energia (reduzindo CO₂), a fim de reduzir a IE. A tecnologia e a substituição de fontes de energia, assim como os acordos climáticos têm um papel muito importante na explicação da variável CO2PC.

3.2. Modelo

Tendo em conta a IE e as medidas de eficiência propostas e adoptadas pelos países estudados, estimamos que a melhor análise seria com a utilização de dados em painel. Os dados em painel contêm mais informação, uma maior variabilidade dos dados, apresenta uma menor colinearidade entre as variáveis, um maior número de graus de liberdade e mais eficiência na estimação (e.g. Greene, 2003).

Faz-se uma primeira análise das propriedades da base de dados. Para isso, procedeu-se a uma inspecção da matriz de correlações (Tabela A.1), a matriz de correlações sugere que a colinearidade entre as variáveis não é uma preocupação. Esta ideia é reforçada pelo cálculo do teste de Variation Inflation Factor (VIF), o VIF médio é de apenas 2.27 e os VIF individuais são baixos. Posto isto, consideramos que a variável LOGPIB não apresentará problemas. Depois disto, testa-se a presença de heteroscedasticidade e de autocorrelação de painéis, a primeira pelo teste de Wald modificado e a segunda pelo teste de Wooldridge. A presença de independência entre os países é testada pelo recurso aos testes de Pesaran (2004), e os testes semi-paramétricos propostos por Friedman (1937) e Frees (1995, 2004).

Pelo teste de Wooldridge a hipótese de não existência de autocorrelação de primeira ordem é rejeitada. O teste de Wald modificado revela a presença de heteroscedasticidade. Os testes de Pesaran, Free e Friedman sugerem a existência de correlação contemporânea e por essa razão deve ser utilizado o estimador PCSE. A análise incluiu o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios, como se pode observar na tabela 4.

O modelo a estimar é então:

$$IE_{ct} = \alpha + \sum_{k=1}^k \beta_k X_{kct} + d_c + d_t + \mu_{ct}. \quad (1)$$

O termo de erro é $\mu_{ct} = \rho_c \mu_{c,t-1} + \eta_{ct}$, com η_{ct} serialmente não correlacionado, mas correlacionado entre os países. As variáveis *dummy* d_c e d_t referem-se ao país e ao período, respectivamente. Os testes de especificação e os resultados são apresentados a seguir.

4. Resultados

Na tabela 4, são apresentados os resultados dos testes de especificação. O teste de Wald testa a hipótese nula de $\sigma_c^2 = \sigma^2$, para $c = 1, \dots, N$ países. A hipótese nula do teste de Wooldridge é a inexistência de correlação serial. Os testes de Pesaran, Frees e Friedman têm como hipótese nula a independência cross-section.

Tabela 4 - Teste de especificação

	<i>Pooled</i>	<i>Efeitos Aleatórios</i>	<i>Efeitos Fixos</i>
<i>Modified Wald test (X^2)</i>			7186.37***
<i>Wooldridge test $F(N(0,1))$</i>	37.212***		
<i>Pesaran's Test</i>		3.849***	7.498***
<i>Free's Test</i>		10.247***	8.020***
<i>Friedman's Test</i>		31.673	43.043**

Nota: ***, ** representa 1% e 10% nível de significância, respectivamente.

Usamos o estimador PCSE uma vez que o número de países é maior do que o número de períodos. Este estimador torna-se adequado, tanto na presença de heterocedasticidade como de correlação contemporânea (e.g. Beck e Katz, 1995). Os modelos II a V assumem os seguintes pressupostos: i) modelo II - apresenta correlação entre países e ausência de autocorrelação; ii) modelo III - pressupõe erros heteroscedásticos ao nível dos países e erros auto-regressivos de primeira ordem (AR1); - modelo IV - assume correlação entre países e autocorrelação, com padrão AR1; - modelo V pressupõe correlação sobre os países e autocorrelação AR1, específica por país. Usamos também o estimador OLS - modelo I, uma vez que este constitui uma referência de comparação para os modelos. A Tabela 5 revela os resultados.

Tabela 5 - Resultados

Variáveis Indep.	Variável Dependente: IE				
	OLS (I)	PCSE (II) (III) (IV) (V)			
MaRESI	-3.8732*** (0.6861)	-3.8732*** (0.9530)	-1.1036** (0.4975)	-1.1036* (0.6189)	-0.6222 (0.4648)
MaTRAN	-2.1001*** (0.6247)	-2.1001*** (0.8358)	-1.0309* (0.5692)	-1.0309* (0.6041)	-0.8932** (0.4206)
MaINDU	-3.3751*** (0.8642)	-3.3751*** (0.5749)	-1.5532** (0.6421)	-1.5532** (0.7145)	-0.8473 (0.6014)
MaSERV	-4.3045*** (0.8765)	-4.3045*** (0.5488)	-2.0366*** (0.7113)	-2.0366*** (0.6622)	-1.1220** (0.5359)
LOGPIB	-159.06*** (12.1183)	-159.06*** (14.0707)	-158.97*** (17.5004)	-158.97*** (21.7799)	-162.24*** (21.5673)
CO2PC	-0.0095*** (0.0025)	-0.0095*** (0.0014)	-0.0108*** (0.0024)	-0.0108*** (0.0025)	-0.0092*** (0.0019)
IMPOL	-0.4287** (0.1864)	-0.4287** (0.0501)	-0.2998** (0.1317)	-0.2998*** (0.1114)	-0.5678*** (0.1577)
CCARV	6.5978*** (1.2613)	6.5978*** (0.4801)	5.7619*** (1.1309)	5.7619*** (0.8178)	6.7056*** (0.7959)
CPETR	-3.4437** (1.6898)	-3.4437** (0.8638)	-3.4495*** (1.1039)	-3.4495*** (1.2233)	-3.0621*** (1.0303)
CGNA	8.6155*** (1.2474)	8.6155*** (0.2565)	5.7735*** (1.0124)	5.7735*** (0.8521)	6.3766*** (0.8690)
CENU	9.7927*** (1.4806)	9.7927*** (0.5446)	6.6647*** (1.1933)	6.6647*** (1.0656)	6.5057*** (0.9161)
CONS	769.64*** (131.601)	769.64*** (77.681)	719.014*** (99.214)	719.014*** (114.561)	631.833*** (102.805)
N	351	351	351	351	351
R ² / Pseudo	0.6596	0.6596	0.6530	0.6530	0.7947
F (N(0,1))	27.55***				
Wald (X ²)		211453.44***	256.77***	9734.44***	2507.32***

Notas: OLS - Ordinary Least Squares. PCSE - Panel Corrected Standard Errors. O teste-F é normalmente distribuído N (0,1). A hipótese nula é de não Significância como um todo dos parâmetros estimados. O teste de Wald tem distribuição x². A hipótese nula de não-significância de todos os coeficientes das variáveis explicativas. Os erros padrão são relatados entre parênteses. Todas as estimativas foram controladas para incluir os efeitos do tempo, embora não apresentado, por simplificação. ***, **, * Denotam níveis de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

5. Discussão

Em geral os resultados são robustos. Não apresentam alterações de sinais e, dos vários pressupostos para a variância entre os países e correlações das séries, resultaram conclusões convergentes, o que também reforça a adequabilidade da escolha do estimador PCSE.

Os testes indicam que as medidas adoptadas pela UE27 nos diferentes países ao longo dos 13 anos estudados têm um efeito de eficiência esperado na IE. Contrastando os resultados sectoriais das medidas do MURE II e das restantes variáveis leva a uma interpretação interessante dos resultados.

O sinal negativo e estatisticamente significativo obtido na relação entre MaTRAN e a IE, sugere que as medidas do MURE II aplicadas no sector dos transportes podem conduzir a uma diminuição da IE. Ruzzenenti e Basosi (2009) afirmaram que tal é possível através de alterações tecnológicas e que a relação entre o peso, a distância dos veículos e a quantidade de combustível usado no transporte pode ser explicativa. O resultado é suportado por Blesl et al (2006), ainda que no seu trabalho a IE seja limitada à análise da distância percorrida. As medidas centraram-se na baixa emissão de CO₂, promovendo o uso de veículos mais eficientes, os objectivos principais da CE quanto às medidas de política energética no sector dos transportes passaram por reduzir a procura no transporte, reforçar a eficiência no modo de transporte, reduzir o tráfego, criar Instrumentos de incentivos económicos e promover a Informação e a formação no sector. Como apontado por Geller (2006), a promoção de fontes eficientes, a adesão da população às preocupações ambientais e o suporte de medidas financeiras pode ter contribuído para estes resultados.

No sector MaSERV observou-se um sinal negativo estatisticamente significativo com o coeficiente mais elevado dos quatro sectores. Afirmamos, como Schleich (2009), que a resposta está no facto do sector dos serviços ser o sector onde as medidas mais rapidamente se aplicam uma vez que existe uma uniformidade no consumo de energia neste sector. O sector dos serviços representa em conjunto com o sector residencial 37,1% do consumo final de energia usado (e.g. EC, 2010b). Medidas simples (por exemplo o uso lâmpadas fluorescentes), podem ter impactos muito elevados nestes sectores, para além disso, foi criado na UE em 2000 e 2005 para o sector dos serviços o *Greenlight programme* e o *European green building programme*, respectivamente (e.g. ODYSSEE, 2010), através de medidas maioritariamente de carácter Legislativo/Normativo e Financeiro, existindo uma grande similaridade nas medidas adoptadas pelo sector residencial. O sinal MaRESI foi igualmente negativo e estatisticamente significativo. O sector residencial foi o que maior número de medidas obteve (e.g. MUREII, 2010). O sinal negativo e estatisticamente significativo obtido, sugere uma redução da IE através do aumento de medidas do MURE II.

No sector industrial existe uma grande variedade de energia utilizada, existindo uma combinação de energias dificilmente controláveis pela sua diversidade, no entanto os resultados revelam um sinal negativo e estatisticamente significativo na relação entre MaINDU e IE. O sinal de MaINDU está em concordância com Tanaka (2008), uma vez que defendeu a

aplicação de medidas para aumentar a eficiência no sector e a importância do uso de indicadores, representado no estudo por uma possível diminuição da IE, consequência do aumento das medidas de eficiência energética no sector industrial.

A variável LOGPIB apresenta um sinal negativo e estatisticamente significativo, o resultado é suportado pela matriz de correlações, indicando não haver problema de endogeneidade e multicolinearidade. O resultado é robusto e a variável LOGPIB está em concordância com a literatura, uma vez que quando se verifica um aumento de LOGPIB existe um maior poder económico e interesse em diminuir a IE. É natural encontrar nos países em desenvolvimento (em fase de crescimento económico), com elevadas taxas de crescimento do PIB associadas a elevadas taxas de consumo de energia, um aumento da IE. Por sua vez nos países com um elevado nível de vida e níveis de consumo de energia *per capita* elevados, verifica-se uma diminuição da IE apesar de existir um aumento do PIB, esta teoria é suportada por Sun (2002) e Ang (2006). Assim sendo, um maior nível de rendimento está correlacionado com uma menor IE, este facto pode existir, uma vez que os rendimentos obtidos nos países estudados permitem aos cidadãos e empresas optar por energias mais eficientes e seguirem políticas energéticas com a finalidade de diminuir a intensidade carbónica, fazendo com que a IE diminua à medida que o PIB aumenta. Um maior rendimento nos países representado pelo PIB sugere uma maior eficiência energética, esta ideia é reforçada pelo VIF baixo.

O sinal do CO2PC é negativo e estatisticamente significativo. Tal sugere que preocupações ambientais e a necessidade de reduzir a emissão de CO₂ *per capita* fazem com que ganhos de eficiência energética, maioritariamente devido à implementação de tecnologias mais eficientes, leis que taxem as emissões de carbono, a consciencialização do excessivo consumo de energia e a necessidade de reduzir a intensidade carbónica possa verificar-se uma redução de IE. Esta opinião no entanto não é unânime na literatura (e.g. Hatzigeorgiou et al., 2010 e Ang, 2007). Tendo em conta que vários factores económicos contribuem para o apuramento dos dados definidos pelas variáveis CIB e PIB, apontam para que, ao reduzir o consumo de energia mantendo-se os níveis do PIB elevados, existe uma diminuição no rácio IE: situação verificada nos resultados apurados. Consideramos também que o modelo é robusto e que o resultado não poderia ser outro, tendo presente tratar-se de uma análise agregada. Analisando o resultado numa perspectiva diferente, podemos afirmar que aumentando os níveis de IE existe uma maior preocupação e necessidade em reduzir as emissões de CO₂ *per capita*.

Na relação IMPOL com a IE verifica-se uma situação idêntica à variável CO2PC. Um aumento nas importações leva a uma tendência de redução da IE, este facto pode ser explicado através da implementação de tecnologia¹⁶ ou da aplicação de políticas energéticas. O facto de o sinal ser negativo não significa que existiu um menor uso de energia, mas sim, que este facto acontece porque o PIB cresceu significativamente. A taxa de crescimento do

¹⁶ Também várias tecnologias promissoras para o utilizador final continuam a necessitar de apoio em matéria de I&D. O investimento comunitário e industrial na investigação e no desenvolvimento de tecnologias emergentes para uma maior eficiência energética permitirão que a UE mantenha a liderança tecnológica neste domínio e continue a melhorar a eficiência energética (e.g. EC, 2010a).

consumo cresce a uma taxa inferior do PIB, levando a uma redução da IE. Assim, o aumento das importações revela um aumento do consumo, suscitado pelo aumento do PIB, no entanto o valor do consumo é inferior ao do PIB (e.g. Zhao e Wu, 2007).

No consumo de energia verifica-se um sinal positivo e estatisticamente significativo nas variáveis CCARV, CGNA e CENU. À medida que se verifica um aumento no consumo de energia, verifica-se igualmente um aumento de IE levando o rácio a acompanhar as tendências de consumo, estes resultados revelam concordância com a literatura através do trabalho de Ang (2007) e Kemmler e Spreng (2007). Na variável CPETR apesar de o sinal ser negativo é igualmente estatisticamente significativo. Neste caso, pode-se concluir que a evolução da IE dependerá do valor das taxas de crescimento do PIB e do CIB. A IE reduzir-se-á se o PIB aumentar mais que o consumo de energia. Um grande investimento no sector dos transportes e a redução do preço de petróleo pode afectar o indicador final porque o sector dos transportes é o que mais petróleo usa, podendo justificar-se pelo facto de um aumento do CPETR dar-se devido a um crescimento do PIB, uma vez que o aumento do consumo de petróleo pode estar associado ao acréscimo do ritmo de actividade económica. Pode explicar-se igualmente pelas alterações estruturais na economia de um país, uma grande procura de petróleo causada por um *boom* industrial, como por exemplo demonstrado por Mendiluce et al (2010), podendo reflectir-se numa diminuição da IE.

6. Conclusão

Este trabalho compreendeu uma análise através de técnicas em painel de 27 países da UE, para um período de 13 anos, 1995-2007. A finalidade deste trabalho consistiu no estudo da incidência dos efeitos das políticas energéticas no comportamento da IE nos quatro sectores principais: indústria, serviços, transportes e residencial, utilizando os dados do MURE II.

Os resultados sugerem que as medidas de política energética adoptadas para os quatro sectores contribuíram para a redução da IE. Outras variáveis analisadas, nomeadamente o consumo de energia, emissão de CO₂, importações líquidas de energia e o PIB influenciaram também directamente ou indirectamente a redução da IE. Verifica-se que do ponto de vista ambiental, os países que apresentam maior emissões de CO₂ *per capita*, revelam um maior empenhamento em reduzir a IE, exercendo um comportamento positivo sobre a IE. Significa que os países com menor *performance* ambiental se encontram empenhados no cumprimento dos compromissos da política ambiental e energética. A contribuição deste trabalho expressa-se pelo facto das medidas do MURE II nunca antes terem sido estudadas como variáveis explicativas da IE, bem como na abordagem econométrica de dados em painel, utilizando o estimador *Panel Corrected Standard Errors* (PCSE).

Dois questões se revelam pertinentes para investigação futura. A primeira relaciona-se com a observação de insuficiente investigação a níveis sectoriais mais desagregados. Dado que uma maior desagregação reduz influência de factores não energéticos no comportamento da IE, expondo-o a uma determinação acrescida das medidas orientadas para o incremento da produtividade energética. A segunda, tendo presente a análise das evidências teóricas e empíricas trabalhadas, aponta para a necessidade de mais investigação sobre a interacção entre as medidas orientadas para a redução da IE por via do aumento da produtividade energética, e as políticas de tributação fiscal e preços. A importância desta interacção é sugerida pela ocorrência de *rebound effect*, cujos efeitos gerados pela resposta da procura aos aumentos de produtividade energética poderão anular parte, ou a totalidade, do seu impacto potencial na redução do consumo de energia.

Bibliografia

Acaravci, A., Ozturk, I., 2010. "On the relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in Europe". *Energy* 35, 5412-5420.

Ang, B. W., 1999. "Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?" *Energy Policy* 27, 943-946.

Ang, B. W., 2006. "Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index". *Energy Policy* 34, 574-582.

Ang, B. W., Liu, N., 2006. "A cross-country analysis of aggregate energy and carbon intensities". *Energy Policy* 34, 2398-2404.

Ang, J. B., 2007. "CO₂ emissions, energy consumption, and output in France". *Energy Policy* 35, 4772-4778.

Apergis, N., Payne, J. E., 2010. "The emissions, energy consumption, and growth nexus: Evidence from the commonwealth of independent states". *Energy Policy* 38, 650-655

Beck N. & Katz J., 1995. "What to do (and not to do) with time-series cross-section data". *American Political Science Review* 89, 634-647.

Blesl, M., Das, A., Fahl, U., Remme, U., 2007. "Role of energy efficiency standards in reducing CO₂ emissions in Germany: an assessment with TIMES". *Energy Policy* 35, 772-785.

Boonekamp, P., 2006. "Actual interaction effects between policy measures for energy efficiency - a qualitative matrix method and quantitative simulation results for households". *Energy* 31, 2848- 2873.

Bunse, K., Vodicka, M; Schonsleben, P., Brulhrt, M., 2011. "Integrating energy efficiency performance in production management- gap analysis between industrial needs and scientific literature". *Journal of Cleaner Production* 19, 667- 679.

Chen, S-T., Kuo, H-I., Chen, C-C., 2007. "The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian Countries". *Energy Policy* 35, 2611-2621.

Coxhead, I., 2003. "Development and the environment in Asia". *Asian - Pacific Economic Literature* 17, 22-54.

Duro, J. A., Padilla, E., 2011. "Inequality across countries in energy intensities: An analysis of the role of energy transformation and final energy consumption". *Energy Economy* 33, 474-479.

Duro, J. A., Padilla, E., 2006. "International inequalities in per capita CO₂ emissions: A decomposition methodology by Kaya factors". *Energy Economics* 28, 170- 187.

EC (European Commission), 2006. "Action plan for energy efficiency: realizing the potential". COM 545 final, 19 October.

EC (European Commission), 2010a. Energy 2020. "A strategy for competitive, sustainable and secure energy", COM 639, Brussels, 10 November.

EC (European Commission), 2010b. "EU ENERGY IN FIGURES. Directorate-General for Energy and Transport (DG TREN)", 26 January.

EC (European Commission), 2009. "Panorama of energy. *Energy statistics to support EU policies and solutions*". EUROSTAT, *Statistical book Office for Official Publications of the European Communities*, Luxembourg 156p.

EC (European Commission), 1995-2009, (2009). "Statistical Office of the European Communities". EUROSTAT.

Frees, E., 1995. "Assessing Cross-Sectional Correlation in Panel Data". *Journal of Econometrics* 69, 393-414.

Frees, E., 2004. "Longitudinal and Panel Data: Analysis and Applications in the Social Sciences", *Cambridge University Press*.

Friedman, M., 1937. "The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance". *Journal of the American Statistical Association* 32, 675-701.

Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A., Tanishima, S., Unander, F., 2006. "Policies for Increasing energy Efficiency: thirty years of experience in OECD countries". *Energy Policy* 34, 556-573.

Greene, W., 2003. "Econometric Analysis, 5th ed", *Prentice Hall, Englewood Cliffs*.

Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., Haralambopoulos, D., 2011. "CO2 emissions, GDP and energy intensity: A multivariate cointegration causality analysis for Greece, 1977-2007". *Energy* 88, 1377-1385.

Hughes, L., 2009. "The four 'R's of energy security. *Energy Policy* 37, 2459-2461.

IEA (International Energy Agency), 2006. "Energy Technology Perspectives", *IEA, Paris, France*.

IEA (International Energy Agency), 2008. "World Trend in Energy Use and Efficiency; key insights from IEA indicator analysis", *Paris, OECD*.

Kemmler, A., Spreng, D., 2007. "Energy indicators for tracking sustainability in developing countries". *Energy Policy* 35, 2466-2480.

Kraft, J., Kraft, A., 1978. "On the relationship between energy and GNP". *Journal of Energy and Development* 3, 401-403.

Mendiluce, M., Pérez-Arriaga, I., Ocaña, C., 2010. "Comparison of the evolution of energy intensity in Spain and in the EU15. Why is Spain different?" *Energy Policy* 38, 639- 645.

MURE II (*Mesures d'Utilization Rationnelle de l'Energie*) acedido em: <http://www.isisrome.com/mure/index.htm>. Dezembro, 2010

ODYSSEE (Energy Efficiency Indicators in Europe), acedido em: <http://www.odyssee-indicators.org/>. Novembro, 2010

Oikonomou, V., Becchis, F., Stegc, L., Russolillo, D., 2009. "Energy saving and energy efficiency concepts for policy making". *Energy Policy* 37, 4787-4796.

Ozturk, I., 2010. "A literature survey on energy-growth nexus". *Energy Policy* 38, 340-349.

Pesaran M. H. 2004. "General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers in Economics". *Faculty of Economics, University of Cambridge*, 0435.

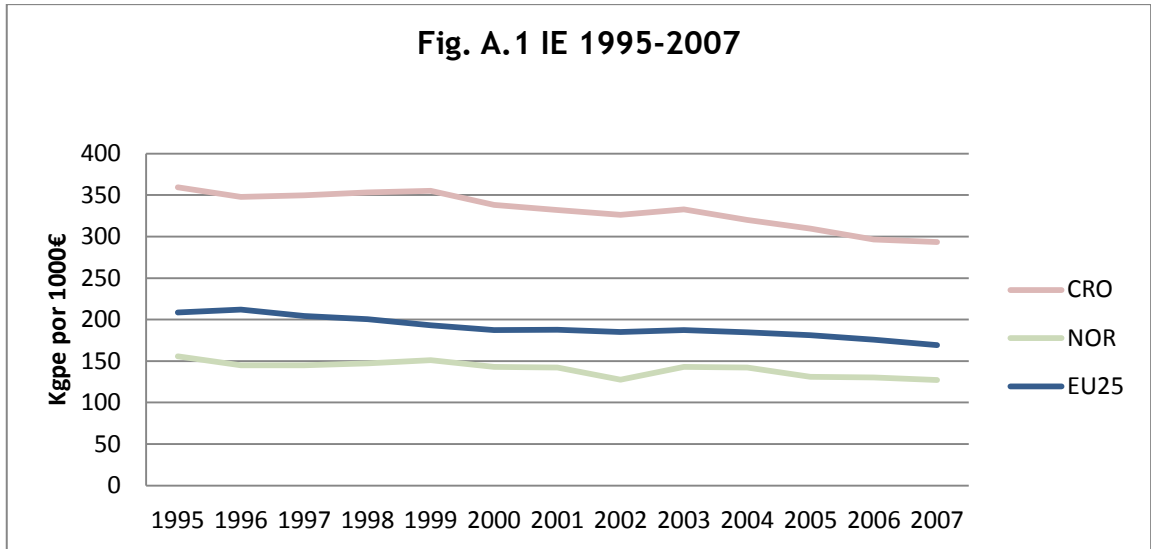
- Richmond A. K., Kaufman R. K., 2006. "Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions?" *Ecological Economics* 56, 176-189.
- Ruzzenenti, F., Basosi, R., 2009. "Evaluation of the energy efficiency evolution in the European road freight transport sector". *Energy Policy* 37, 4079-4085.
- Schleich, J., 2009. "Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector". *Ecological Economics* 68, 2150- 2159.
- Sorrell, S., 2010. "Energy, Growth and Sustainability: Five propositions" *SPRU Electronic Working Paper*, 185.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., 2007. "The rebound effect: definitions, limitations and extensions". *Ecological Economics* 65, 636-649.
- Soytas, U., Sari, R., Ewing, B.T., 2007. "Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States". *Ecological Economics* 62, 482-489.
- Summers, R., Heston, A., 1991. "The Penn World Table (Mark 5): an expanded set of international comparison". *Quarterly Journal of Economics* 106, 1950-1987.
- Sun, J. W., 1999. "The nature of CO2 emission Kuznets curve". *Energy Policy* 27, 691-694.
- Sun, J. W., 2002. "The decrease in the difference of energy intensity between OCDE countries from 1971 to 1998". *Energy Policy* 30, 631- 635.
- Tanaka, T., 2008. "Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy". *Energy Policy* 36, 2887-2902.
- Tolón-Becerra, A., Lastra-Bravo, X., Botta, G.F., 2010. "Methodological proposal for territorial distribution of the percentage reduction in gross inland energy consumption according to the EU energy policy strategic goal". *Energy Policy* 38, 7093-7105.
- Vera, I., Langlois, L., 2007. "Energy indicators of sustainable development". *Energy* 32, 875-882.
- Xing-Ping Zhang, Xiao-Mei Cheng., 2009. "Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China". *Ecological Economics* 68, 2706-2712.
- Zhang, X., Cheng, X., 2009. "Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China". *Ecological Economics* 68, 2706-2712.
- Zhao, X., WU, Y., 2007. "Determinants of china's energy imports: an empirical analysis". *Energy Policy* 35, 4235-4246.

Anexos

Tabela A.1 - Matriz de correlações

	IE	MaRESI	MaTRAN	MaINDU	MaSERV	LOGPIB	CO2PC	IMPOL	CCARV	CPETR	CGNA	CENU
IE	1.0000											
MaRESI	-0.1396	1.0000										
MaTRAN	-0.0685	-0.4951	1.0000									
MaINDU	-0.0455	-0.1951	-0.0568	1.0000								
MaSERV	-0.1885	0.2150	-0.3760	-0.1095	1.0000							
LOGPIB	-0.4222	0.1444	0.0405	-0.0940	-0.0724	1.0000						
CO2PC	-0.2180	0.0803	-0.1496	-0.2165	0.1374	-0.0507	1.0000					
IMPOL	-0.1221	0.0404	0.0107	0.0452	0.0194	0.1912	-0.0230	1.0000				
CCARV	0.3520	-0.1408	0.0678	-0.2318	-0.0558	-0.0781	0.1208	-0.0010	1.0000			
CPETR	-0.5265	-0.0870	0.1645	-0.1182	0.1217	-0.0367	0.2549	0.1509	-0.4632	1.0000		
CGNA	0.0341	0.0856	-0.1024	0.2462	-0.0082	0.1097	-0.0386	0.0462	-0.2887	-0.0898	1.0000	
CENU	0.2645	0.2385	-0.1560	-0.0834	-0.0074	0.1181	-0.2653	0.2297	-0.2017	-0.3812	-0.2079	1.0000

Fig. A.1 IE 1995-2007



Fonte: EUROSTAT