

**Modelo de crescimento económico baseado na eficiência  
exergética do capital para Portugal: calibração histórica  
(1960-2014) e cenários até 2050.**

**Afonso da Cunha de Almeida e Sousa Borges**

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão da Energia**

Orientadores: Prof. Tiago Morais Delgado Domingos

Eng. João Alexandre Almeida dos Santos

**Júri**

Presidente: Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

Orientador: Prof. Tiago Morais Delgado Domingos

Vogal: Prof. Maria Catarina Salema Roseta Palma

**Julho 2019**



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao professor Tiago Domingos por me ter permitido desenvolver a minha tese dentro desta área. Antes de *Desenvolvimento Sustentável, Energia e Ambiente* não tinha ideia do importante papel que a energia tem no crescimento económico. Foi uma honra ter tido o professor Tiago Domingos como orientador, dada a admiração que tenho pelo seu trabalho como professor e investigador. Ao João Santos, por toda a sua ajuda prestada, orientação, e constante disponibilidade, sem o João o desenvolvimento desta tese teria sido impossível. Ao Tiago Ribeiro, pelas conversas e lições de economia, que me fizeram alargar horizontes e pensar de forma diferente.

Queria agradecer também à minha família e amigos pelo constante suporte.

# Resumo

Dois cenários de crescimento económico até 2050 são desenvolvidos para Portugal, através do desenvolvimento de um modelo baseado numa função de produção que assenta na relação entre a Produtividade Total de Fatores e na eficiência exergética agregada final-para-útil. O desenvolvimento da função de produção, baseada na teoria económica neoclássica, é feito através da série histórica do Produto Interno Bruto (1960 – 2014), tendo sido desagregado o capital em edifícios, máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias para melhor estimação deste. É desagregada também a eficiência exergética em máquinas estacionárias e não-estacionárias, sendo as séries históricas das eficiências sujeitas a análises de cointegração, de modo a estabelecer uma relação entre elas e a PTF. Desta forma é possível compreender melhor a contribuição que diferentes tipos de bens de capital têm no PIB, tanto através das suas elasticidades como da sua produtividade. O modelo desenvolvido tem utilidade na tomada de decisões dentro do espectro económico e de políticas energéticas, sendo que os resultados retirados deste sugerem que o aumento da eficiência exergética permite criar crescimento económico mesmo com redução na força de trabalho, e que o aumento da eficiência do capital não-estacionário é o que detém maior potencialidade para fazer crescer a PTF, e conseqüentemente o PIB, sugerindo assim que a transição para mobilidade elétrica, acompanhada de investimento em energias renováveis, trará não só benefícios ambientais bem como económicos.

***Palavras-chave:* Exergia; Crescimento económico; Eficiência energética; Produtividade total de fatores; Máquinas estacionárias; Máquinas não-estacionárias.**

# Abstract

Two scenarios of economic growth until 2050 were created for Portugal through the development of a model based on a production function which is based on the relationship between the Total Factor Productivity and the final-to-useful aggregate exergy efficiency. The development of the production function, based on the neoclassic economic theory, is done through the historical series of the Gross Domestic Product (1960 – 2014), having been the capital desegregated in buildings, stationary machines, and non-stationary machines for a better estimation of this. The exergy efficiency is also disaggregated in stationary and non-stationary machine, being the historical series of these two variables subject to cointegration analysis in order to establish a relationship between these and the TFP. In this way it is possible to understand better the contribution which different types of capital goods have in the GDP, both through their elasticities, and their its productivity. The developed model is useful for decision making within the economic and energy policies spectrum, taking into account the results obtained from this suggest that increasing exergy efficiency allows to create economic growth even with reductions in the work force human labour, and the increased efficiency of non-stationary capital is the one that holds bigger potentially to make TFP grow and consequently GDP. This suggests that transition to electric mobility, accompanied with investments in renewable energies, not only will bring environmental benefits but also economic ones.

**Keywords:** Exergy; Economic growth; Energy efficiency; Total factor productivity; Stationary machines; Non-stationary machines.

# Índice de texto

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TEXTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ABREVIações E SIGLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 VISÃO GLOBAL E MOTIVAÇÃO .....	1
1.2 ÂMBITO E CONTEÚDOS .....	2
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 CRESCIMENTO ECONÓMICO .....	4
2.2 ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÓMICO .....	6
2.3 EXERGIA .....	7
2.4 RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA EXERGÉTICA E PTF .....	9
2.5 CENARIZAR O CRESCIMENTO ECONÓMICO .....	11
2.6 DESENVOLVIMENTOS DA PRESENTE TESE .....	14
<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>16</b>
3.1 SÉRIES HISTÓRICAS (1960 – 2014) .....	16
3.1.1 <i>Eficiência exergética</i> .....	16
3.1.2 <i>Capital</i> .....	17
3.1.3 <i>Trabalho humano</i> .....	22
3.1.4 <i>Função de produção</i> .....	22
3.1.5 <i>Análise de cointegração</i> .....	24
3.2 CENÁRIOS (2015 – 2050) .....	27
3.2.1 <i>Eficiência Exergética</i> .....	27
3.2.2 <i>Capital</i> .....	28
3.2.3 <i>Trabalho humano</i> .....	32
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 SÉRIES HISTÓRICAS (1960 – 2014) .....	34
4.1.1 <i>Eficiência exergética</i> .....	34
4.1.2 <i>Capital</i> .....	36
4.1.3 <i>Trabalho humano</i> .....	41
4.1.4 <i>Função de produção</i> .....	41
4.1.5 <i>Análise de cointegração</i> .....	43
4.2 CENÁRIOS (2015 – 2050) .....	51
4.2.1 <i>Eficiência exergética e exergia</i> .....	51
4.2.2 <i>Capital</i> .....	52
4.2.3 <i>Trabalho humano</i> .....	56
4.2.4 <i>Produto Interno Bruto</i> .....	58
4.2.5 <i>Exergia</i> .....	62
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>66</b>
5.1 SÍNTESE, CONTRIBUTOS E PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	66
5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	68
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>

**ANEXO A ..... 72**  
**ANEXO B ..... 73**  
**ANEXO C ..... 74**

# Índice de figuras

Figura 2.1 Intensidades de exergia final e útil para Portugal (1960 – 2009). Fonte: Serrenho et al. (2014) e Santos et al. (2018).....	9
Figura 2.2 Eficiência agregada final-para-útil (laranja) e PTF (azul) para Portugal entre 1960 e 2016. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.....	10
Figura 2.3 Relação entre eficiência agregada final-para-útil e PTF para Portugal entre 1960 e 2016. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.....	10
Figura 2.4 PIB histórico (1960 – 2016) e cenário de PIB (2017 – 2030) relativos ao projeto MEET2030. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.....	14
Figura 3.1 Correspondência entre as categorias de capital das bases de dados da AMECO, EU KLEMS e PWT.....	18
Figura 3.2 Correspondência das categorias de bens de capital da PWT para a pretendida.....	21
Figura 3.3 Série histórica (1960 – 2014) de FBCF em percentagem do PIB.....	29
Figura 3.4 Série histórica (1960 – 2014) de FBCF em percentagem do PIB.....	30
Figura 4.1 Série histórica (1960 – 2014) das eficiências exergéticas agregadas final-para-útil das máquinas estacionárias e não-estacionárias em Portugal.....	35
Figura 4.2 <i>Share</i> da FBCF em bens de capital estacionário (1960 – 2014).....	36
Figura 4.3 FBCF absoluta organizada por tipos de bens de capital na desagregação da PWT (1960 – 2014).....	37
Figura 4.4 <i>Share</i> da FBCF organizada por tipos de bens de capital na desagregação da PWT (1960 – 2014).....	38
Figura 4.5 Série histórica (1960 – 2014) do <i>stock</i> de capital organizado por tipos de bens na desagregação da PWT para Portugal a preços constantes a 2010.....	39
Figura 4.6 <i>Stock</i> de capital total (1960 – 2014): comparação entre o calculado na desagregação por tipos de bens da PWT e o da AMECO.....	40
Figura 4.7 Série histórica (1960 – 2014) do trabalho medido em número de horas trabalhadas anualmente (laranja) e a mesma corrigida através do índice de capital humano que tem por base o número de anos de escolaridade (azul).....	41
Figura 4.8 Elasticidades dos três diferentes tipos de bens de capital entre 1960 e 2014.....	42
Figura 4.9 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através do modelo MEET2030.....	45
Figura 4.10 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através dos modelos PTF_1.1 e PTF_1.2.....	46
Figura 4.11 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através dos modelos PTF_2.1 e PTF_2.2.....	46
Figura 4.12 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através do modelo MEET2030.....	47
Figura 4.13 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através dos modelos PIB_1.1 e PIB_1.2.....	48



Figura 4.14 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através dos modelos PIB_2.1 e PIB_2.2.....	48
Figura 4.15 Eficiência exergética final-para-útil das máquinas estacionárias e não-estacionárias histórica (1960 – 2014) e dos cenários (2015 – 2050) de desenvolvimento e estagnação.....	51
Figura 4.16 <i>Stock</i> total de capital histórico (1960 – 2014) e <i>stock</i> total de capital relativo aos cenários (2015 – 2050) de desenvolvimento e estagnação a preços constantes a 2010.....	52
Figura 4.17 <i>Stock</i> de capital dividido por tipos de bens de capital a preços constantes a 2010 relativo ao <i>cenário de desenvolvimento</i> .....	53
Figura 4.18 FBCF por tipos de bens de capital a preços constantes a 2010 relativa ao <i>cenário de desenvolvimento</i> .....	53
Figura 4.19 <i>Stock</i> de capital dividido por tipo de bem de capital a preços constantes a 2010 relativo ao <i>cenário de estagnação</i> .....	54
Figura 4.20 FBCF por tipo de bem de capital a preços constantes a 2010 relativa ao <i>cenário de estagnação</i> .....	55
Figura 4.21 Número total de horas trabalhadas (com correção do índice de capital humano) no <i>cenário de desenvolvimento</i> e no <i>cenário de estagnação</i> .....	56
Figura 4.22 Força de trabalho (número de pessoas) a multiplicar pelo índice de capital humano anual (cenário de desenvolvimento e estagnação).....	57
Figura 4.23 PIB histórico observado (1960 – 2014) e cenários de PIB (2015 – 2050).....	58
Figura 4.24 PIB histórico observado (1960 – 2014) com respetiva linha de tendência e cenários de PIB (2015 – 2050).....	59
Figura 4.25 PTF histórica (PTF_2_histórica) e cenários de PTF (2015 – 2050).....	59
Figura 4.26 PIB per capita anual para cenário de desenvolvimento e estagnação.....	61
Figura 4.27 Intensidade da exergia útil das máquinas estacionárias e das máquinas não-estacionárias para Portugal (1960 – 2014).....	63
Figura 4.28 Consumo de exergia útil relativo à máquinas estacionárias e não-estacionárias para Portugal: histórico (1960 – 2014) e cenários (2015 – 2050).....	63
Figura 4.29 Consumo de exergia final relativo à máquinas estacionárias e não-estacionárias para Portugal: histórico (1960 – 2014) e cenários (2015 – 2050).....	64
Figura A Série histórica (1960 – 2014) do <i>stock</i> de capital organizado por tipos de bens na desagregação pretendida ( <i>Edifícios, Máquinas estacionárias, Máquinas não-estacionárias</i> ) para Portugal a preços constantes a 2010.....	72
Figura B Taxas de crescimento anual das séries de <i>stock</i> de capital total (1960 – 2014): calculada e AMECO.....	73

# Índice de tabelas

Tabela 3.1 Taxas de depreciação por tipo de capital provenientes da PWT.....	21
Tabela 4.1 Média das elasticidades de cada tipo de bem de capital e respetiva soma.....	42
Tabela 4.2 Resultados das constantes $u$ associadas às suas respetivas equações.....	43
Tabela 4.3 Coeficientes de determinação e coeficientes de determinação ajustados.....	46
Tabela 4.4 Coeficientes de determinação e coeficientes de determinação ajustados.....	48

# Abreviações e siglas

BCSD Portugal	Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável Portugal
CEE	Comunidade Económica Europeia
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
FMI	Fundo Monetário Internacional
ICH	Índice de Capital Humano
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
IIASA	Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados
IST	Instituto Superior Técnico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PTF	Produtividade Total de Fatores
SSP	<i>Share Socioeconomic Pathway</i>
<i>A</i>	Produtividade Total de Fatores
<i>EF</i>	Eficiência Exergética Agregada
<i>g<sub>t</sub></i>	Média das Taxas de Investimento
<i>h</i>	Número de Horas Trabalhadas Individualmente
<i>I</i>	Formação Bruta de Capital Fixo
<i>i</i>	Taxa de investimento
<i>K</i>	Capital
<i>L</i>	Trabalho humano
<i>Pop<sub>15-64</sub></i>	População entre os 15 e 64 anos de idade
<i>s</i>	Número de Anos de Escolaridade
<i>td</i>	Taxa de Desemprego
<i>TP</i>	Taxa de Participação
<i>Y</i>	Produto Interno Bruto
<i>α</i>	Elasticidade
<i>ε</i>	Rácio Eficiência Exergética Agregada
<i>ε<sub>f</sub></i>	Eficiência Exergética (eficiência de segunda lei)
<i>δ</i>	Taxa de Depreciação
<i>η</i>	Eficiência Energética (eficiência de primeira lei)

# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo pretendo enquadrar o tema proporcionando uma visão geral explicando as motivações que me levaram a escolher, e introduzindo a problemática e a importância deste trabalho dentro do seu contexto. Por último, apresento a organização dos conteúdos.

### 1.1 Visão global e motivação

As alterações climáticas são um dos maiores desafios que a Humanidade terá de enfrentar no século XXI. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) é provável que a temperatura média mundial atinja 1,5°C acima dos níveis pré-industriais entre 2030 e 2052 se o aquecimento global continuar a aumentar ao ritmo atual<sup>1</sup>. O Relatório Especial dos 1,5°C de Aquecimento Global (IPCC 2018), publicado em 2018 enfatiza as consequências que já estamos a observar com 1°C de aquecimento global, e realça as consequências que as alterações climáticas terão no futuro e as que poderão ser evitadas limitando o aquecimento global a 1,5°C em vez de 2°C ou mais.

Por não terem recursos suficientes de adaptação e resiliência, os países mais afetados por este problema são os países em desenvolvimento<sup>2</sup>, ironicamente os que menos contribuem para o aquecimento global, portanto, na minha opinião, como países desenvolvidos temos a obrigação de reduzir as emissões de dióxido de carbono, não apenas para mitigar o aquecimento global e as suas respetivas consequências, de modo a garantir um futuro próspero para as próximas gerações, mas também para não contribuir para uma ainda maior desigualdade entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Acontece que desde os meados do século XVIII por meio da Revolução Industrial a queima de combustíveis fósseis tem permitido aos países desenvolvidos atingir níveis de riqueza e bem estar sem precedentes do qual não estão dispostos a abdicar, transformando-se o crescimento económico numa das religiões contemporâneas da política e da sociedade.

A utilização de energia está intimamente relacionada com o crescimento económico. Esta no entanto para estar disponível na economia, de modo a ser utilizada para nosso proveito,

---

<sup>1</sup> <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/>

<sup>2</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/>

permitindo-nos, por exemplo, controlar mais potência ou deslocarmo-nos mais depressa, está dependente de diversos processos de transformação sujeitos a perdas e emissão de gases efeitos de estufa. Ou seja, o crescimento económico impulsionado pela utilização de energia tem ocorrido em detrimento da qualidade ambiental, devido aos processos de transformação desta. Se conseguirmos no entanto aumentar a eficiência energética e simultaneamente investir em fontes de energia renováveis, conseguimos beneficiar da prosperidade económica trazida pela Revolução Industrial sem abdicar da sustentabilidade ambiental global.

Apesar da maioria dos economistas não considerarem a energia como um fator primário de produção relevante, muitos desenvolvimentos têm sido feitos para melhor entender o papel desta e da sua eficiência no crescimento económico, como poderá ser visto na revisão de literatura (capítulo 2). Dadas as evidências existentes, acredito que o caminho para perceber o crescimento económico, conciliando-o com a sustentabilidade ambiental, garantindo prosperidade e desenvolvimento, é através do entendimento do papel da energia na economia.

## 1.2 Âmbito e conteúdos

De forma a contribuir para a área de estudo focada no papel da energia no crescimento económico, pretendo explorar o tema através do desenvolvimento de um modelo macroeconómico que represente o Produto Interno Bruto (PIB) histórico (1960 – 2014) português, sendo posteriormente possível a realização de cenários até 2050. Este modelo terá como base, e expandirá, o modelo desenvolvido para o projeto MEET2030 (IST & BCSD Portugal 2018), pretendendo ser útil na compreensão da influência de diferentes tipos de capital no PIB mediante a variação da sua eficiência energética, tentando colmatar algumas das questões surgidas no projeto MEET2030, sobretudo ao nível do setor dos transportes. A compreensão da influência de diferentes tipos de capital no PIB mediante a variação da sua eficiência energética poderá também ser particularmente útil numa ótica de cenários e de tomada de decisões dentro do espectro económico e de políticas energéticas, sendo que permitirá identificar em que setores da economia se deverá investir mais na eficiência do capital de modo a obter maior retorno económico.

Esta tese está dividida em 5 capítulos: o capítulo 2 diz respeito à revisão de literatura onde é abordado o trabalho desenvolvido anteriormente e de maior relevância para a presente dissertação. Neste capítulo são também explicados os conceitos relacionados, sobretudo, com crescimento económico e termodinâmica. O capítulo 3 aborda a metodologia, tanto o trabalho desenvolvido para a criação da função de produção do modelo proposto, como os critérios e pressupostos assumidos para a realização de cenários até 2050 por meio desse mesmo modelo. O capítulo 4 apresenta os resultados provenientes da metodologia. Enquanto apresentados, estes são também interpretados e analisados criticamente dentro do contexto onde estão

inseridos, tanto na série histórica (1960 – 2014) como na realização de cenários (2015 – 2050). Por fim o capítulo 5 referente às considerações finais, resume o trabalho realizado, focando-se nas principais contribuições e conclusões finais, terminando com sugestões para desenvolvimentos futuros.

# Capítulo 2

## Revisão de literatura

O objetivo deste capítulo é dar uma clara definição dos conceitos de crescimento económico, do papel da energia neste, definir o conceito termodinâmico de exergia e os diferentes estados desta no contexto económico, estabelecer a relação entre a Produtividade Total de Fatores e a eficiência exérgica, modelação de previsões de crescimento económico, e por fim, desenvolvimentos e contribuições que a presente dissertação pretende dar ao desenvolvimento do conhecimento científico na área.

### 2.1 Crescimento económico

Durante o século XIX e início do século XX muitos economistas acreditavam que o capital per capita era o motor do crescimento económico. Foi em meados do século XX que Robert Solow e Trevor Swan desenvolveram, independentemente, uma função de produção agregada de capital e oferta de trabalho humano que permitiu medir o impacto relativo destes dois fatores de produção como fontes de crescimento económico (Solow 1956; Swan 1956).

Tanto o capital como o trabalho humano são conhecidos na teoria de Solow-Swan como fatores primários de produção, visto que permitem criar valor económico e a sua contribuição para o produto económico é proporcional ao que cada um recebe deste. Em média um terço do PIB é atribuído ao capital (na forma de juros, rendas e dividendos), enquanto que dois terços são atribuídos ao trabalho (na forma de salários) (Acemoglu 2008).

O modelo de Solow-Swan foi aplicado ao período de 1909 – 1949 para os Estados Unidos da América, no entanto muito do crescimento histórico ficou por explicar, sendo que o “resíduo de Solow” (expressão que designa a diferença entre o crescimento observado do PIB e o crescimento que seria expectável com a acumulação de capital e trabalho) correspondia a cerca de 87% do crescimento per capita. Este resíduo inexplicável foi denominado pelo próprio Solow como “progresso tecnológico” ou “medida da nossa ignorância” por Abramovitz (1956). Atualmente é designado por Produtividade Total de Fatores (PTF) e corresponde a uma medida do crescimento exógeno.

A PTF representa qualquer alteração nas possibilidades de produção, incluindo mudanças técnicas, tecnológicas, institucionais, etc. Esta descrição não providencia no entanto um bom

entendimento do que conduz o crescimento económico, visto serem fatores abrangentes e que não conseguem ser medidos. Apesar do modelo de Solow-Swan ser conceptualmente incompleto, este fornece no entanto um modelo teórico claro para perceber o crescimento económico (Foxon 2017).

Nos anos 80, os economistas Paul Romer (1986) e Robert Lucas (1988), entre outros, desenvolveram uma teoria revista do crescimento económico em que o crescimento é explicado por fatores endógenos como o conhecimento e o capital humano, sendo que este último está relacionado com o nível de competências e aptidões dos trabalhadores dentro da economia. Parte da inovação passa assim a contribuir para a acumulação de capital, e portanto passa a ser endógena para o modelo, ainda assim este modelo continua sem explicar todo o crescimento económico, sendo uma parte significativa exógena.

A fórmula matemática da função de produção Cobb-Douglas proveniente do modelo Solow-Swan é observável na equação 2.1, onde o PIB ( $Y$ ), a medida mais utilizada para representar o produto da economia, é medido em unidades monetárias. Relativamente à contribuição do trabalho humano ( $L$ ) e do capital ( $K$ ), esta diz respeito às suas respetivas elasticidades  $\alpha_l$  e  $\alpha_k$ , sendo  $\alpha_l$  complementar do capital ( $\alpha_l = 1 - \alpha_k$ ), enquanto que a PTF ( $A$ ) é representada por uma terceira variável (Solow 1956; Swan 1956). Elasticidade, genericamente, é a alteração percentual de uma variável, dada a alteração percentual de outra.

$$Y_t = A_t K_t^{\alpha_k} L_t^{\alpha_l} \quad (2.1)$$

O trabalho humano é normalmente medido com base no número de horas trabalhadas, que por sua vez, são funções da população em idade ativa, taxa de participação, taxa de desemprego e média de horas trabalhadas por indivíduo empregado. O trabalho humano pode ainda ser corrigido através do índice de capital humano baseado no número de anos de escolaridade, corrigindo qualitativamente a produtividade da força de trabalho (Ayres & Warr 2010).

Considerando que o PIB, o capital e o trabalho humano são fatores que podem ser medidos diretamente, a equação 2.1 pode ser resolvida de modo a estimar a PTF<sup>3</sup>, como resíduo:

$$A_t = \frac{Y_t}{K_t^{\alpha_k} L_t^{\alpha_l}} \quad (2.2)$$

---

<sup>3</sup> A taxa de crescimento ( $g$ ) da PTF é determinada através de contabilidade de crescimento, ou seja, subtrai-se à taxa de crescimento anual do PIB as taxas de crescimento anual do  $K$  e  $L$ , multiplicadas pelos seus alfas respetivos:  $g_A = g_{PIB} - \alpha_k g_k - (1 - \alpha_k) g_l$ .



## 2.2 Energia e crescimento económico

Como se pôde reparar na secção anterior, o modelo de Solow-Swan ignora a energia como fator primário de produção. A maioria dos economistas considera esta como um produto intermédio que pode ser produzido através da combinação de capital e trabalho. Isto quer dizer que dentro desta abordagem o crescimento económico é essencialmente independente da utilização de energia (Ayres & Warr 2010).

Entre outros autores, Robert Ayres e Benjamin Warr têm-se evidenciado através do seu trabalho no estudo do papel da energia no crescimento económico. Warr e Ayres (2006) defendem que existe um ciclo de *feedback* positivo de energia e crescimento económico. Estes dois autores argumentam ainda que o consumo de exergia (definição na secção 2.3) é um dos motores de crescimento económico e não somente uma consequência dele. Energia barata, proveniente de descobertas de novas fontes de energia, economias de escala e progressos técnicos (aprendizagem) na conversão da energia primária até útil, permite produzir bens e realizar serviços a um custo baixo. Custos baixos em mercados competitivos traduzem-se em preços baixos de bens e de serviços, estimulando assim o crescimento da procura, levando a um crescimento económico. Dado que a procura por bens e serviços corresponde à soma dos fatores de pagamento, muitos deles regressam para o trabalho em forma de salários, tendendo estes a aumentar com o aumento da produção. Este aumento de salários estimula a futura substituição de trabalho humano ou animal por trabalho mecânico, resultando num posterior aumento em escala, ainda assim a preços reduzidos (Warr & Ayres 2006).

Desta forma, as máquinas têm um papel fundamental para o aumento do crescimento económico visto contribuir para o aumento da produtividade do trabalho através da utilização de energia. O aumento da eficiência das máquinas permite ainda a estas produzir mais com a mesma quantidade de energia. Dado que a produtividade de uma máquina não corresponde ao seu valor monetário em capital, o aumento da eficiência destas irá contribuir para o aumento da PTF (IST & BCSD Portugal 2018).

É por isso importante olhar para o estado útil de energia e para a conversão de final-para-útil para compreender a relação entre energia e crescimento económico. Isto porque é no estado útil que a sociedade tem a capacidade de utilizar e dominar recursos energéticos de modo a criar valor económico (IST & BCSD Portugal 2018). A melhor forma no entanto de medir a energia na economia é através da exergia no estado útil, isto porque, como será aprofundado na próxima secção (2.3), é através da exergia que se consegue identificar a quantidade de energia disponível para realizar trabalho.

De forma a estimar a exergia útil utilizada por uma economia são necessários dados do consumo de exergia primária e final, tendo em conta a eficiência de cada processo de conversão que

depende da indústria e da utilidade final. Esta metodologia de contabilização foi desenvolvida por Serrenho et al. (2016) para estudar o consumo de exergia útil para setores específicos em Portugal.

## 2.3 Exergia

Segundo Moran et al. (2010), exergia é o trabalho máximo potencial obtido da combinação entre um sistema e o seu ambiente envolvente quando o sistema tende para equilíbrio com o ambiente (passando assim a estado morto). A obtenção de trabalho potencial máximo ocorre quando esta passagem para o equilíbrio ocorre de forma reversível.

Segundo a primeira lei da termodinâmica, em qualquer atividade ou processo físico a energia é conservada, ou seja, nem é destruída, nem é criada. Isto significa que o termo “consumo de energia”, por vezes utilizado, é tecnicamente incorreto. Num processo físico a energia pode transformar-se, degradando-se de modo a reduzir o seu potencial para realizar trabalho físico. Do ponto de vista termodinâmico, a exergia é o termo correto para designar “energia disponível ou ainda a capacidade energética de realizar trabalho mecânico, químico ou térmico (Ayres & Warr 2005). Desta forma a energia é sempre conservada, apenas se degrada, de formas mais disponíveis para formas menos disponíveis. Por outro lado, a exergia pode ser dissipada (utilizada ou destruída) em processos de transformação. A medida de destruição de exergia é a produção da grandeza termodinâmica designada por entropia, proveniente da segunda lei da termodinâmica (Ayres & Warr 2005).

A exergia, na sua forma pura, pode ser encontrada nos recursos naturais renováveis, tais como, comida, biomassa, vento e radiação solar, como nos recursos não renováveis, minerais, carvão, petróleo, gás natural, etc. Este estado é chamado de estado de exergia primária, ou seja, corresponde à fase em que os recursos exergéticos ainda se encontram em estado bruto na natureza, sem intervenção humana. Do modo a tirar partido destes recursos, estes são sujeitos a processos de transformação, sendo assim recolhidos ou extraídos, processados ou manufacturados, ou ainda utilizados. O estado seguinte ao primário é o de exergia final; neste estado a exergia primária já foi transformada de modo a ser comercializada, por exemplo, a eletricidade que foi produzida através de uma central termoelétrica que utilizou gás natural como combustível, ou, a energia elétrica que foi produzida através de uma turbina eólica através do aproveitamento da energia cinética do vento. Nesta ordem segue-se o estado de exergia útil, estado este que corresponde à fase em que nos são oferecidos serviços que necessitamos, como por exemplo mobilidade, aparelhos domésticos, aquecimento, iluminação, etc.

Regressando às consequências da segunda lei da termodinâmica, sempre que há transformação de energia de um estado para o outro, existe destruição de exergia. A exergia só pode ser

destruída, nunca criada. Por isso, na descrição anterior, do estado primário para o estado final, ou do estado final para o estado útil, a eficiência é sempre inferior a 100% (IST & BCSD Portugal 2018).

Definindo rendimento de primeira lei ( $\eta$ ) como o quociente entre a energia útil (*output*) e a energia fornecida (*input*) num determinado processo, a eficiência exergética ( $\varepsilon_f$ ), também conhecida como eficiência de segunda lei, é dada pela divisão do rendimento de primeira lei de um determinado sistema pelo seu rendimento de primeira lei máximo:

$$\varepsilon_f = \frac{\eta}{\eta_{max}} \quad (2.3)$$

A eficiência de segunda lei fornece assim informação das melhorias que podem ser feitas ao nível da eficiência de um determinado sistema visto esta estar, por definição, limitada a um rendimento máximo de 100%.

Ayres et. al (2003) e Serrenho et. al (2014) têm trabalho desenvolvido na contabilidade da exergia e exergia útil histórica de alguns países, tendo como metodologia primeiro a conversão dos dados existentes de energia final em valores de exergia final, de seguida, a alocação do consumo de exergia final de cada setor económico por categorias de utilidade final, em terceiro, a estimação da eficiência de segunda lei para cada transformação final-para-útil, e por último, o cálculo da exergia útil total, somando a totalidade dos valores obtidos para cada categoria de exergia útil.

Depois de contabilizar a exergia final e útil para Portugal, Serrenho et al. (2016) determinou as respetivas séries de intensidade (exergia/PIB) de 1856 a 2009. Posteriormente Santos et al. (2018) recalculou-as a partir de 1960 com um deflator do PIB mais apropriado. Os resultados estão visíveis na figura 2.1 onde se observa a relação de 1-para-1, entre a exergia útil e o PIB, ou seja, no período de tempo analisado foi sempre necessário aproximadamente 1MJ de exergia útil para produzir 1€ de PIB (a preços constantes a 2010). Por outras palavras, considerando que esta relação se mantém constante pelo menos desde 1856, há 150 anos para produzir 1€ de produtos agrícolas eram necessários 1MJ de exergia útil, enquanto que hoje, numa economia que alberga educação, saúde, serviços, agricultura e indústria, continua a ser necessário 1MJ de exergia útil para produzir 1€ (IST & BCSD Portugal 2018).

Relativamente à intensidade da exergia final, esta tem vindo a decrescer ao longo do tempo, estabilizando a partir de 1980. Este comportamento está fortemente relacionado com a evolução da eficiência exergética final-para-útil.

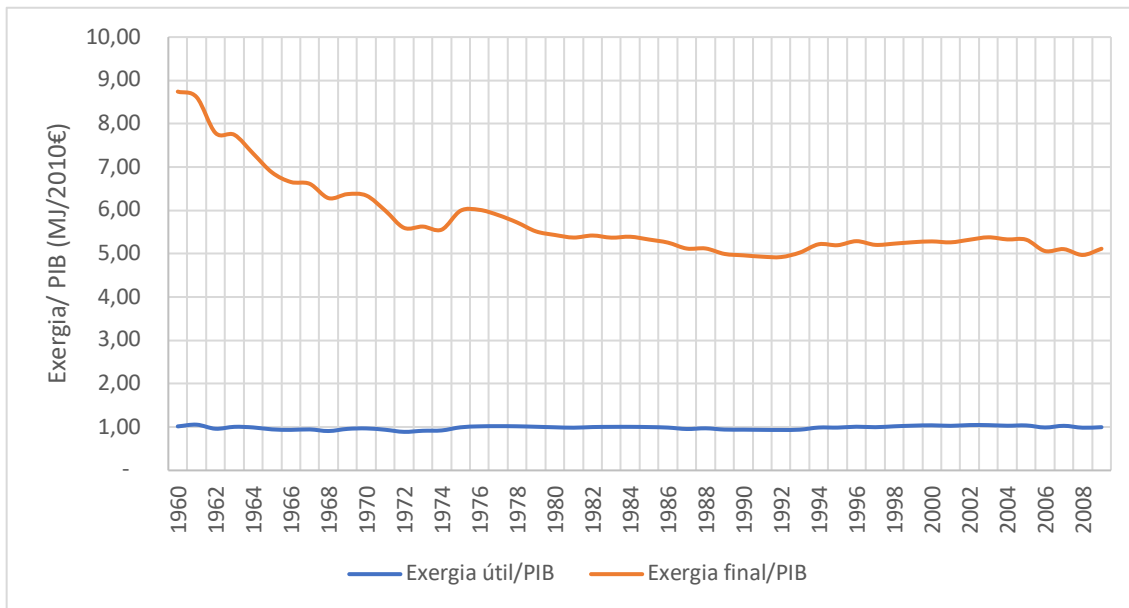


Figura 2.1 Intensidades de exergia final e útil para Portugal (1960 – 2009). Fonte: Serrenho et al. (2016) e Santos et al. (2018).

A eficiência exergética agregada final-para-útil é determinada através do quociente entre a exergia útil total (somatório da exergia útil nas diferentes categorias de utilidade) e a exergia final total (somatório da exergia final nas mesmas categorias de utilidade).

## 2.4 Relação entre eficiência exergética e PTF

No âmbito do projeto MEET2030, IST & BCSD Portugal (2018) definiram uma metodologia em que a relação entre o crescimento da PTF e a eficiência exergética agregada final-para-útil ( $EF$ ) para o período de tempo estudado é descrito pela constante  $C$ , obtida através da equação 2.4:

$$C = \frac{\ln\left(\frac{PTF_t}{PTF_0}\right)}{\ln\left(\frac{EF_t}{EF_0}\right)} \quad (2.4)$$

O comportamento das séries históricas (1960 – 2016) de  $EF$  e PTF estão visíveis na figura 2.2, e a sua relação histórica (1960 – 2016) na figura 2.3.

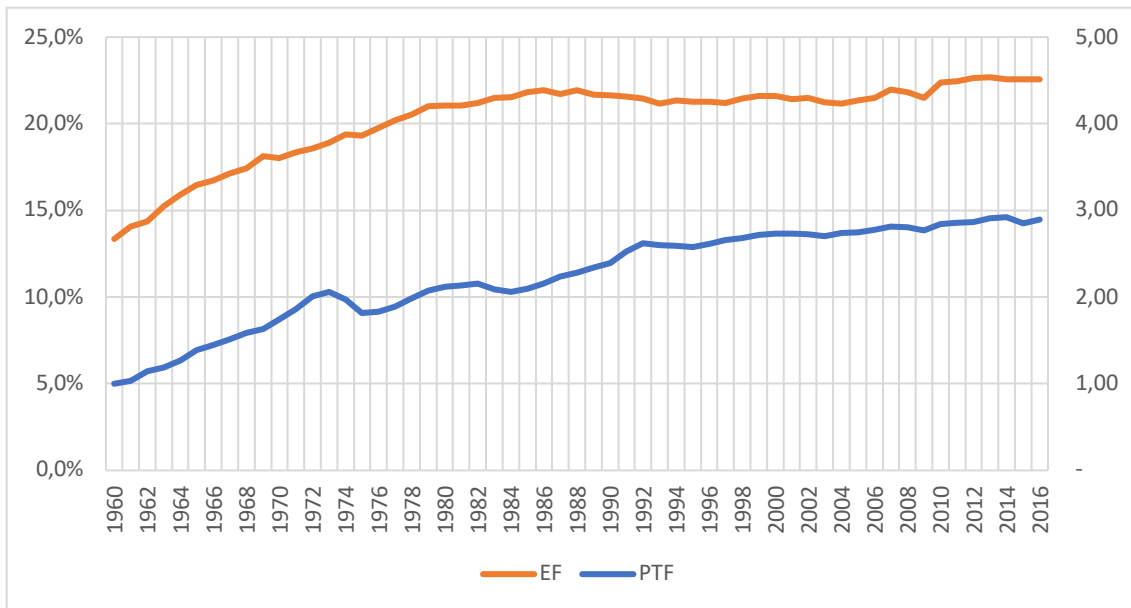


Figura 2.2 Eficiência agregada final-para-útil (laranja) e PTF (azul) para Portugal entre 1960 e 2016. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.

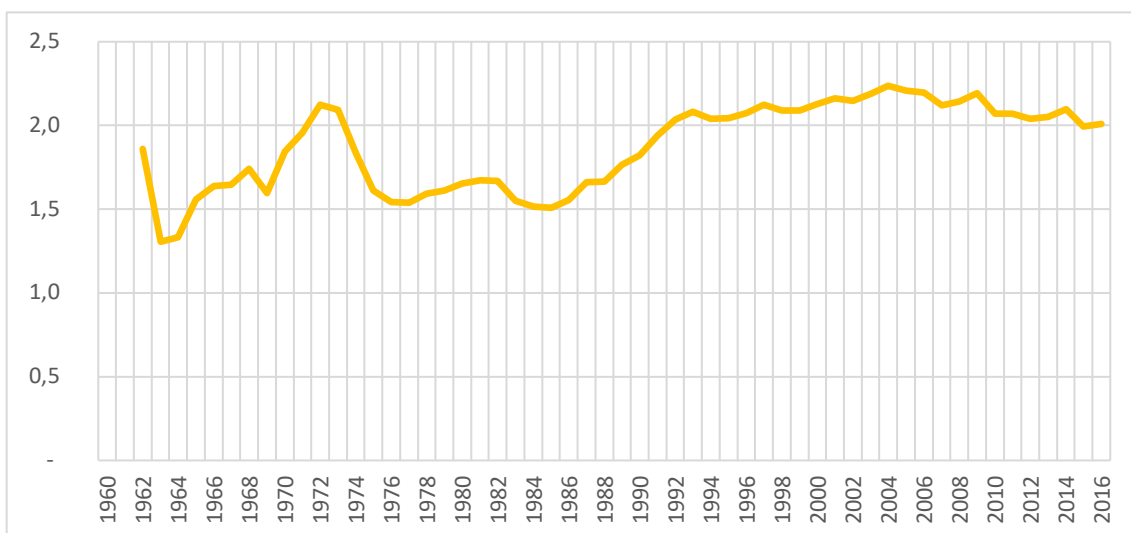


Figura 2.3 Relação entre eficiência agregada final-para-útil e PTF para Portugal entre 1960 e 2016. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.

A constante  $C$  é depois utilizada para estimar o crescimento da PTF como função do crescimento da eficiência exérgica (equação 2.5). A PTF, anteriormente estimada apenas como resíduo, é agora função da eficiência, que pode ser medida diretamente. Tal como demonstrado por IST & BCSD Portugal (2018) a utilização da eficiência exérgica para estimar a PTF e posterior cálculo do PIB revela uma boa aproximação ao desenvolvimento histórico da economia portuguesa entre 1960 e 2010.

$$PTF_t = \left( \frac{EF_t}{EF_0} \right)^C \times PTF_0 \quad (2.5)$$

Apesar da boa aproximação do modelo desenvolvido para o projeto MEET2030 este ainda sofre no entanto de um resíduo relativamente à série histórica do PIB (1960 – 2010) como poderá ser verificado posteriormente no capítulo 4, secção 4.1.5, figura 4.12. Este resíduo pode ter origem na simplicidade do próprio modelo, na determinação das variáveis introduzidas neste (capital e trabalho humano) ou ainda na determinação da constante  $C$ , tendo sido esta determinada através de um método empírico e não por um método econométrico rigoroso, como por exemplo análise de cointegração. Método este utilizado por exemplo por Stern (2000) para encontrar cointegração entre o PIB, capital, trabalho e energia para os Estados Unidos da América (1947 – 1994), mostrando que a energia não pode ser excluída do espaço de cointegração (Santos et al. 2018). Stresing et al. (2008) testa cointegração entre as mesmas variáveis para a Alemanha, Japão, e Estados Unidos da América (1960 – 2008) concluindo que a cointegração não pode ser rejeitada para nenhum país. Santos et al. (2018) recorre também à análise de cointegração para o estudo do papel da exergia útil no crescimento económico para Portugal (1960 – 2009), verificando cointegração entre as relações: 1) produto económico, capital e trabalho humano; 2) produto económico e energia (energia primária ou exergia útil); 3) produto económico e capital, trabalho humano e energia.

## 2.5 Cenarizar o crescimento económico

Depois de testados os resultados da PTF com base na eficiência exérgica para explicar o crescimento do PIB histórico em Portugal, IST & BCSD Portugal (2018) fizeram uso do modelo desenvolvido para realizar cenários relativos ao crescimento do PIB até 2030. Para tal IST & BCSD Portugal (2018) recorreram também a técnicas participativas de construção de cenários que envolveram um total de empresas que representavam aproximadamente 20% do PIB português.

Para prever o crescimento do PIB foi utilizada uma função de produção Cobb-Douglas, semelhante à representada na equação 2.1, tiveram de ser feitas projeções para o capital, trabalho e PTF.

Para estimar o *stock* de capital para os anos seguintes até 2030 foi aplicado o método de inventário perpétuo (IST & BCSD Portugal 2018). Neste caso, o capital ( $K_t$ ) do ano  $t$  depende da soma do capital do ano anterior ( $K_{t-1}$ ) com o investimento do ano presente ( $i_{t-1}PIB_{t-1}$ ) menos a depreciação de capital no ano  $t - 1$ . Esta metodologia pode ser observada na equação 2.6, onde  $i$  representa o investimento em percentagem do PIB e  $\delta$  representa a taxa de depreciação do capital que foi considerada constante ao longo do tempo, igual a um valor médio histórico.

$$K_t = K_{t-1} + i_{t-1}PIB_{t-1} - \delta_{t-1}K_{t-1} \quad (2.6)$$

Apesar de bastante utilizado, este método é simples, não permitindo distinguir entre os diferentes tipos de bens de capital, o que significa que o cálculo da variável  $K_t$  terá pouca precisão no sentido em que, na realidade, o investimento e a depreciação divergem para cada tipo de bem de capital, faltando compreensão relativamente à evolução de cada tipo de bem de capital ao longo do tempo, e como cada um contribui para o crescimento de PIB.

IST & BCSD Portugal (2018) definem o trabalho como o número total de horas trabalhadas pela população empregada em Portugal para cada ano. Este valor é de seguida corrigido qualitativamente multiplicando o número de horas pelo índice de capital humano (ICH), sendo este índice uma correção da produtividade do trabalho com base no número médio de anos de escolaridade, podendo ser determinado através das equações 2.8 e 2.9. Para calcular o número total de horas trabalhadas anualmente dentro da economia ( $L$ ) é considerado o número total de horas anuais trabalhadas por indivíduo ( $h$ ), tal como a população que está entre os 15 e os 64 anos ( $Pop_{15-64}$ ) nesse mesmo ano, a taxa de desemprego ( $td$ ) e a taxa de participação do trabalho ( $TP$ ), (IST & BCSD Portugal 2018).

$$L = h \times (1 - td) \times Pop_{15-64} \times TP \quad (2.7)$$

$$\phi(s) = \begin{cases} 0,134 \times s; & se\ s \leq 4 \\ 0,134 \times 4 + 0,101(s - 4); & se\ 4 < s \leq 8 \\ 0,134 \times 4 + 0,101 \times 4 + 0,068(s - 8); & se\ s > 8 \end{cases} \quad (2.8)$$

$$ICH = e^{\phi(s)} \quad (2.9)$$

Nesta equação,  $s$  é o número médio de anos de escolaridade de uma determinada população.

Alguns dos factos que foram considerados para executar as projeções do trabalho até 2030 foram o impacto da automação e digitalização do emprego, taxa de desemprego histórica, capacidade de Portugal reter mão de obra qualificada e as projeções demográficas do Instituto Nacional de Estatística (INE).

As previsões demográficas do INE, à data do projeto MEET2030, eram no entanto aos olhos de alguns especialistas pouco satisfatórias sendo que apresentavam projeções de pouca redução de população, não indo ao encontro da realidade nacional. O INE tal como a ONU, a mais conhecida em matéria de projeções demográficas, recorrem a técnicas probabilísticas de projeções de população para extrapolar a população para o século XXI. No caso da ONU, esta aplica a mesma metodologia estatística a todos os países. Ou seja, o modelo é aplicado a cada país com base numa série temporal de 60 anos (1950 – 2010) para extrapolar 90 anos (2010 – 2100), (UN 2017).

Existem no entanto organizações com métodos de projeções diferentes. Exemplo disso são as projeções do International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), as mais citadas em alternativa às da ONU. O IIASA tem uma abordagem específica para os diferentes países, tendo em conta o conhecimento de especialistas para cada país, separadamente (Lutz et. al 2014).

Outro fator importante que as projeções do IIASA levam em conta é a educação. Este instituto defende que existe uma forte ligação entre o nível de educação e a taxa de fertilidade, ou seja, de um modo geral, mulheres com mais escolaridade têm menos filhos. Esta ligação é tida em conta no modelo do IIASA e contribui assim para que as suas projeções relativamente à população mundial do século XXI sejam consideravelmente inferiores às da ONU. Esta última prevê uma população de 11.2 biliões com tendência a crescer no fim do século, enquanto o IIASA prevê um pico de população em 2070 de 9.4 biliões de pessoas, iniciando um decréscimo até às 9.0 biliões em 2100 (Lutz et. al 2014).

De modo a estimar as eficiências exergéticas final-para-útil até 2030, no âmbito do projeto MEET 2030 foram realizados dois workshops com a representação das maiores empresas em Portugal e em conjunto com relatórios especializados e publicações científicas foram desenvolvidos cenários diferentes de evolução tecnológica: o cenário "*lince ibérico*", que assumia um desenvolvimento tecnológico com base no aumento acentuado da eficiência exergética, e o cenário "*avestruz*" que assumia uma evolução do crescimento da eficiência exergética mais modesto. Com as projeções da eficiência exergética foi então possível projetar o comportamento da PTF para os anos seguintes através da equação 2.5.

Uma vez obtidos o capital, o trabalho e a PTF dependente da eficiência exergética, IST & BCSD Portugal (2018) foram capazes de realizar os dois cenários relativamente às projeções do PIB português até 2030 através da equação 2.1, sendo que o cenário "*lince ibérico*" apresentou um crescimento do PIB mais acentuado que o cenário "*avestruz*". Aplicando a relação 1-para-1 entre a exergia útil e o PIB, IST & BCSD Portugal (2018) determinaram projeções de exergia útil até 2030 para cada cenário. Posteriormente, através das projeções da eficiência exergética realizaram projeções de exergia final também. Por meio das projeções de exergia final IST & BCSD Portugal (2018) fizeram projeções de emissões de dióxido de carbono. Apesar do superior aumento de eficiência exergética do cenário "*lince ibérico*", verificou-se no entanto um efeito *rebound*, levando a um maior consumo exergético devido ao crescimento da economia, e consequentemente a emissões mais elevadas de dióxido de carbono. Estas emissões do efeito *rebound* foram no entanto mitigadas através do investimento (estimulado pelo crescimento económico) em energias renováveis e sequestração de carbono.

A figura 2.4 ilustra os resultados dos dois cenários do projeto MEET2030.



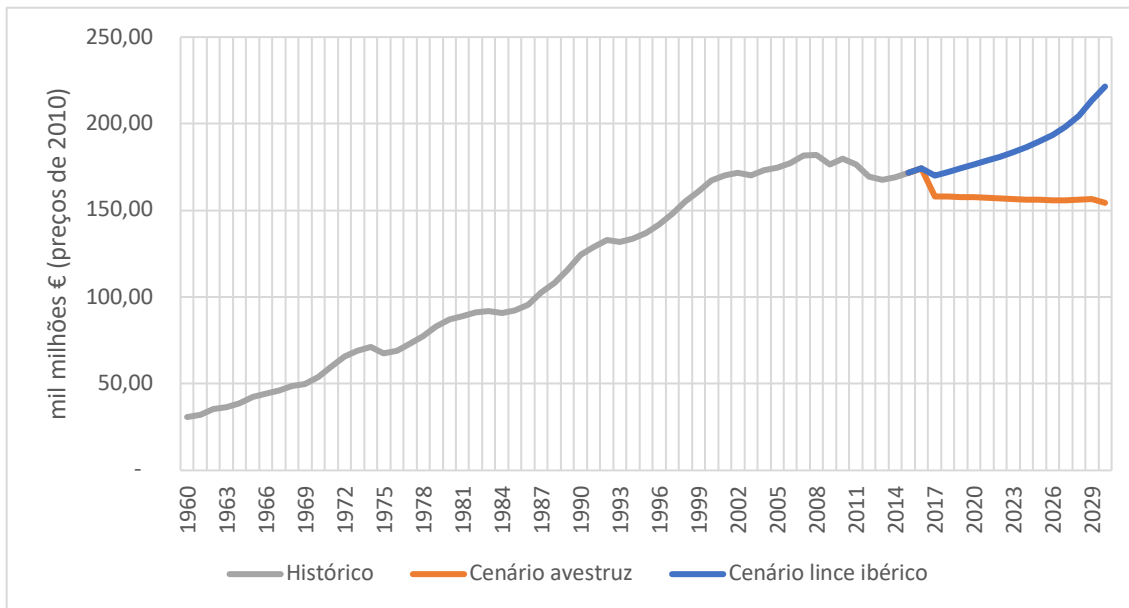


Figura 2.4 PIB histórico (1960 – 2016) e cenário de PIB (2017 – 2030) relativos ao projeto MEET2030. Fonte: IST & BCSD Portugal 2018.

## 2.6 Desenvolvimentos da presente tese

De modo a contribuir para o conhecimento científico na área do papel da energia no crescimento económico, através desta dissertação, pretendo fazer novos desenvolvimentos no modelo que foi criado no âmbito do projeto MEET2030. Deste modo, tenho como objetivo melhorar o modelo anteriormente referido, de forma a obter um novo modelo que permita introduzir mais informação e que consequentemente represente melhor o PIB histórico português, contribuindo em paralelo para a melhor compreensão da influência da eficiência exergética na variação da PTF e permitindo a realização de cenários mais precisos.

O que proponho para o novo modelo é que este desagregue a eficiência exergética das máquinas estacionárias e não-estacionárias, fazendo uma análise de cointegração de modo explorar a relação destas duas variáveis com a variação da PTF. Para melhor estimação da PTF pretendo também efetuar a desagregação do *stock* de capital, nas categorias máquinas estacionárias, máquinas não-estacionárias e edifícios, fazendo assim a correspondência com as eficiências exergéticas, à exceção dos edifícios, para os quais as eficiências exergéticas não se aplicam (são sistemas “passivos” e não “ativos”). Esta desagregação numa perspetiva de realização de cenários também permitirá uma melhor estimação do PIB devido às diferenças no investimento e depreciação de cada tipo de bem de capital. Ainda quanto à estimação da PTF histórica pretendo corrigir o trabalho humano através do índice de capital humano. Para a realização de cenários utilizarei as projeções demográficas do IIASA dada a sua abordagem alternativa e cientificamente credível.

Através desta dissertação pretendo também responder à pergunta: tendo em conta a variação da eficiência exergética, qual o tipo de capital que tem maior influência no crescimento da PTF e conseqüente crescimento do PIB?

# Capítulo 3

## Metodologia

Neste capítulo procuro explicar a metodologia utilizada neste trabalho, dividida em duas partes. A primeira é referente à construção de uma nova função produção que reflita o comportamento do PIB histórico entre 1960 e 2014 para Portugal. A segunda parte corresponde à execução de cenários e definição dos pressupostos assumidos num horizonte até 2050.

A função de produção referente à primeira parte dependerá do capital, trabalho e eficiência exergética. O capital será desagregado em três tipos: edifícios e outras estruturas fixas, máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias. As máquinas estacionárias e as máquinas não-estacionárias têm associados a si uma eficiência exergética agregada que contribuirá para o crescimento da PTF. Os edifícios não têm esta associação visto não serem sistemas transformadores de energia.

Como está explícito no capítulo 2 esta ideia tem por base o projeto MEET2030 e a relação entre eficiência exergética e PTF. Acontece que no MEET2030, tanto o capital como a eficiência exergética final-para-útil estão totalmente agregados. Isto faz com que seja possível entender o crescimento económico com base na teoria subjacente, no entanto não é possível entender qual a contribuição de cada tipo de bem de capital para o crescimento do PIB tendo em conta a evolução das suas eficiências exergéticas. Como tal, através desta metodologia pretendo desagregar o capital e as eficiências deste para melhor compreensão das variáveis que conduzem ao crescimento económico.

### 3.1 Séries históricas (1960 – 2014)

#### 3.1.1 Eficiência exergética

A série temporal histórica da eficiência exergética agregada final-para-útil para máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias desenvolvida no âmbito desta tese foi obtida com base no trabalho desenvolvido por Serrenho et al. (2016) e Felício et al. (2019).

Os dados utilizados provenientes de Serrenho et al. (2016) foram a quantidade de exergia no estado final e útil para Portugal entre 1960 e 2014, organizada por tipo de vetor energético (*carvão, derivados de petróleo, gás natural, combustíveis renováveis e calor*) e por tipo de

aplicação físico-económica. Relativamente aos dados provenientes de Felício et al. (2019) foram utilizadas as quantidades de exergia final e útil relativas ao portador energético *eletricidade*, organizada por tipo de aplicação físico-económica para Portugal entre 1960 e 2014. Estes dados de Felício et al. (2019) foram utilizados por não ser possível através dos dados de Serrenho et al. (2016) fazer uma distinção entre máquinas estacionárias e não-estacionárias para este tipo de vetor energético.

Consideram-se máquinas estacionárias os dispositivos que têm como utilidade final calor de alta, média e baixa temperatura, cogeração de calor, arrefecimento, iluminação, eletrónica, eletrólise e trabalho mecânico estacionário. São consideradas máquinas não-estacionárias as que têm como funcionalidade final a produção de trabalho mecânico não estacionário, como por exemplo os veículos.

Depois de organizados os dados de Serrenho et al. (2016) e Felício et al. (2019) foi feita uma divisão entre máquinas estacionárias e não-estacionárias dependendo do tipo de cada aplicação físico-económica, organizadas por tipo de vetor energético. Com isto foi possível calcular as séries temporais históricas entre 1960 e 2014 para Portugal relativas à eficiência exérgica agregada final-para-útil das máquinas estacionárias e das máquinas não-estacionárias (resultados visíveis na figura 4.1)

### 3.1.2 Capital

Para a pretendida desagregação de *stock* de capital em *Edifícios*, *Máquinas estacionárias* e *Máquinas não-estacionárias* para o período de tempo 1960 – 2014 foram utilizadas três bases de dados diferentes: AMECO, EU KLEMS e PWT.

A base de dados da AMECO fornece dados relativos à série de formação bruta de capital fixo (FBCF) por tipo de bem (*Construção; Transporte; Outros investimentos; Produtos metálicos & maquinaria*) a preços constantes de 2010 para Portugal para o período de tempo pretendido (1960 – 2014).

A base de dados EU KLEMS dispõe de uma maior desagregação de FBCF por tipo de bem a preços constantes de 2010 para Portugal, no entanto apenas dispõe de dados a partir do ano de 1995. O capital está dividido nas seguintes categorias: *Habitação e outros edifícios; Equipamento de transporte; Produtos de propriedade intelectual* (que por sua vez está subdividido em *Software de computadores, Investigação & desenvolvimento e Exploração mineira/ originais artísticos*); *Ativos cultivados; Outra maquinaria, equipamento e armas; TIC* (que por sua vez está subdividida em *Hardware de computadores, Equipamentos de comunicação*).

A base de dados PWT fornece informação sobre as taxas de depreciação, para cada categoria de capital, por sua vez consideradas comuns em todos os países e constantes ao longo do tempo, ao contrário de AMECO, que assume a mesma taxa de depreciação constante para todo o capital agregado. A PWT fornece a respetiva informação para os seguintes tipos de bens de capital: *Estruturas; Equipamento de transporte; Software; Outras maquinarias e ativos; Computadores; Equipamento de comunicação.*

A organização da desagregação dos diferentes tipos de bens de capital nas diferentes bases de dados está esquematizada na figura 3.1 para melhor compreensão.

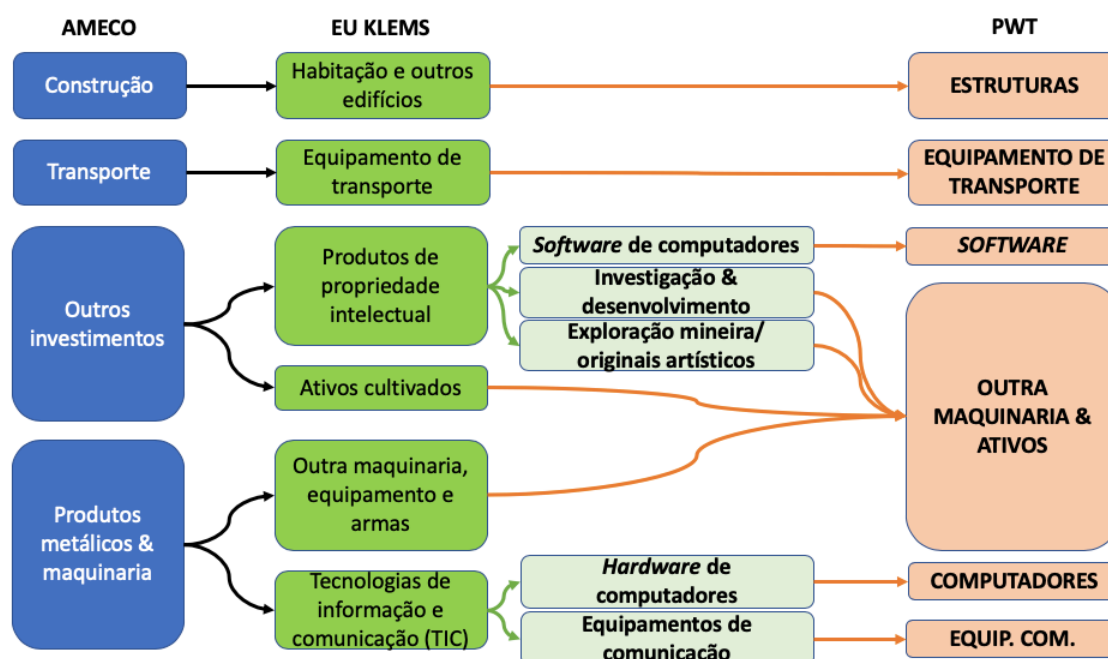


Figura 3.1 Correspondência entre as categorias de capital das bases de dados da AMECO, EU KLEMS e PWT.

Através da figura 3.1, pretende-se fazer corresponder as três bases de dados de modo a obter uma série histórica de *stock* de capital a preços constantes de 2010 entre 1960 e 2014 para Portugal com o tipo de desagregação da PWT. Para tal, fez-se primeiro corresponder as categorias da AMECO às categorias da EU KLEMS, e de seguida, as categorias da EU KLEMS que correspondem às categorias da PWT.

Como se pode observar na figura 3.1 a correspondência das categorias *Construção* e *Transporte* da AMECO relativamente às categorias equivalentes da EU KLEMS e da PWT é direta.

Para a categoria *Outros investimentos* da AMECO é possível ver que é equivalente à soma de *Ativos cultivados* com *Produtos de propriedade intelectual*, categoria que por sua vez está subdividida em três subcategorias (*Software de computadores*, *Investigação & desenvolvimento*, *Exploração mineira/ originais artísticos*).

*Exploração mineira/ originais artísticos*). Através de um raciocínio semelhante é possível observar que a categoria *Produtos metálicos & maquinaria* da AMECO é equivalente à soma das categorias *Outra maquinaria, equipamento e armas* com *TIC* da EU KLEMS. Por sua vez, a categoria *TIC* está dividida em duas subcategorias: *Hardware de computadores* e *Equipamentos de comunicação*.

O passo seguinte foi reagrupar as categorias da EU KLEMS na configuração da PWT como é possível observar no esquema da figura 3.1. A subcategoria *Software de computadores* da EU KLEMS tem uma correspondência direta para a categoria *Software* da PWT. Relativamente à categoria *Outra maquinaria & ativos* da PWT, esta é equivalente à soma da subcategoria *Investigação & desenvolvimento* com a subcategoria *Exploração mineira/ originais artísticos* da EU KLEMS mais a soma das categorias *Ativos cultivados* com *Outra maquinaria, equipamento e armas* da mesma base de dados. Por último, as subcategorias *Hardware de computadores* e *Equipamentos de comunicação* da EU KLEMS são equivalentes às categorias *Computadores* e *Equipamentos de comunicação* da PWT, respetivamente.

A fase seguinte foi calcular a percentagem anual ou *share* de FBCF entre 1995 e 2014 nas categorias da PWT, através dos dados da EU KLEMS, para as categorias *Software*, *Outra maquinaria & ativos*, *Computadores* e *Equipamentos de comunicação*, perfazendo estas um total de 100% para o efeito.

De seguida foi determinada a série histórica de FBCF, em percentagem, entre 1960 e 2014 para Portugal a preços constantes de 2010 na desagregação da PWT para as categorias mencionadas no parágrafo anterior. Para tal tiveram de ser feitos alguns pressupostos sendo que não existem dados disponíveis para o efeito até 1995. Para a categoria *Computadores* e para a categoria *Software* foi assumido uma FBCF igual a zero para ambas em 1960, sendo que a instalação do primeiro computador em Portugal aconteceu no ano de 1961<sup>4</sup>. Dado não dispor de mais informação foi assumido um crescimento linear na percentagem de FBCF destas duas categorias de 1961 a 1995. Para o investimento em *Equipamentos de comunicação* foi utilizada a mesma metodologia. Foi assumido, portanto, que antes de 1877 não existia investimento neste tipo de tecnologia, isto porque o primeiro equipamento de comunicação instalado em Portugal remonta a esse mesmo ano<sup>5</sup>. A percentagem de FBCF nesta categoria apresenta assim um crescimento linear entre 1877 e 1995. A percentagem da série de FBCF entre 1960 e 1995 da categoria *Outra maquinaria e ativos* é calculada como sendo o resto da soma da percentagem das outras três categorias (*Software*, *Computadores* e *Equipamentos de comunicação*), perfazendo estas quatro um total de 100% (resultados visíveis na figura 4.2).

---

<sup>4</sup> <https://www.tsf.pt/vida/ciencia-e-tecnologia/interior/primeiro-computador-instalado-em-portugal-faz-50-anos-2195930.html>

<sup>5</sup> <http://bocc.ubi.pt/pag/santos-rogerio-historia-telecomunicacoes.pdf>

Para determinar a série de FBCF absoluta para as categorias *Software, Outra maquinaria & ativos, Computadores e Equipamentos de Comunicação* entre 1960 e 2014 para Portugal a preços constantes de 2010, foi multiplicada a série do *share* de FBCF destas quatro categorias, respetivamente, pela soma das duas séries de FBCF, *Outros investimentos e Produtos metálicos & maquinaria* provenientes da AMECO.

Como já foi anteriormente referido, as categorias *Construção e Transporte* da AMECO e *Estruturas e Equipamento de transporte* da PWT, têm correspondência direta relativamente à FBCF absoluta.

Desta forma fica assim montada a série história da FBCF absoluta por tipo de bem de capital na desagregação da PWT (resultados visíveis na figura 4.3).

O próximo passo corresponde à determinação do *stock* de capital histórico, com base na desagregação da PWT, entre 1960 e 2014 para Portugal a preços constantes de 2010 (resultados visíveis na figura 4.5).

Foi primeiro calculado o *stock* de capital inicial para as respetivas categorias (*Estruturas, Equipamento de transporte, Software, Outra maquinaria & ativos, Computadores, Equipamentos de comunicação*) através da abordagem em desequilíbrio (De la Fuente & Domenech 2006) dada pela seguinte equação:

$$K_{n,t-1} \approx \frac{I_{n,t}}{g_{I_n} + \delta_n} \quad (3.1)$$

Nesta equação  $n$  representa cada categoria de capital e  $K_{n,t-1}$ , o *stock* de capital inicial, é calculado para cada categoria de bem de capital no ano  $t - 1$ .  $I_{n,t}$  é a FBCF no ano  $t$ ,  $g_{I_n}$  é a taxa de investimento, neste caso a média das taxas de investimento em cada tipo de capital nos cinco primeiros anos desde 1960, e por fim,  $\delta_n$  é a taxa de depreciação de cada tipo de bem de capital dada pela PWT.

Para determinar o *stock* de capital nos anos seguintes, em cada ano, para cada tipo de bem de capital foi utilizado o método de inventário perpétuo dado pela seguinte equação:

$$K_{n,t} = K_{n,t-1} + I_{n,t} - \delta_n \cdot K_{n,t-1} \quad (3.2)$$

Onde  $K_{n,t}$  é o *stock* de capital no ano  $t$  (para cada tipo de bem de capital),  $K_{n,t-1}$  é o *stock* de capital no ano  $t - 1$ ,  $I_{n,t}$  é a FBCF no ano  $t$  e  $\delta_n$  é a taxa de depreciação de cada tipo de bem de capital.

As taxas de depreciação anuais relativas a cada tipo de bem de capital, retiradas da PWT, estão resumidas na tabela 3.1.

ATIVO	TAXA DE DEPRECIÇÃO ANUAL
Estruturas (residenciais e não-residenciais)	2%
Equipamento de transporte	18,9%
<i>Software</i>	31,5%
Outra maquinaria & ativos	12,6%
Computadores	31,5%
Equipamentos de comunicação	11,5%

Tabela 3.1 Taxas de depreciação por tipo de capital provenientes da PWT.

Depois de montada a série histórica do *stock* de capital entre 1960 e 2014 organizada pela desagregação da PWT para Portugal, esta é reorganizada nas três categorias pretendidas, *Edifícios*, *Máquinas estacionárias* e *Máquinas não-estacionárias*, como ilustra o esquema da figura 3.2. A correspondência entre as categorias *Estruturas* e *Equipamento de transporte* é direta com as categorias *Edifícios* e *Máquinas não-estacionárias*, respetivamente. A categoria *Máquinas estacionárias* é a soma das categorias *Software*, *Outra maquinaria & ativos*, *Computadores* e *Equipamentos de comunicação*.

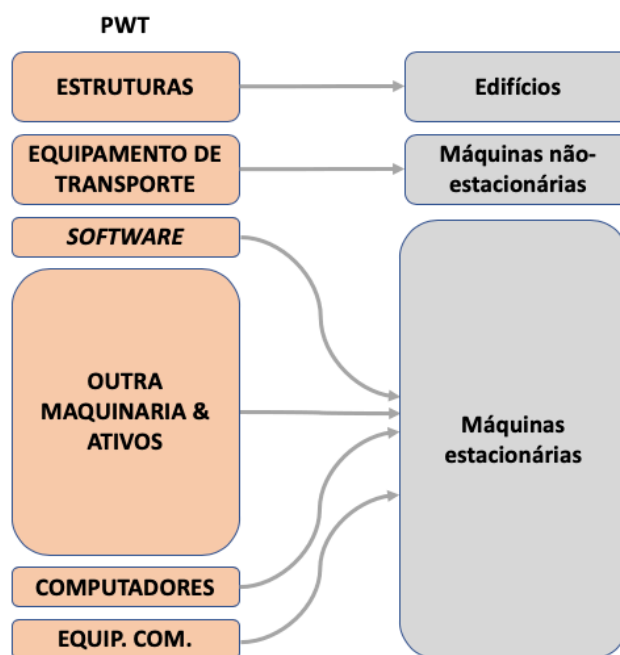


Figura 3.2 Correspondência das categorias de bens de capital da PWT para as categorias pretendidas.



### 3.1.3 Trabalho humano

Os dados relativos ao trabalho humano foram retirados da base de dados da PWT. O trabalho humano ajustado à qualidade anual é o resultado da multiplicação entre o número anual total de horas trabalhadas em Portugal pelo índice de capital humano com base no número médio de anos de escolaridade. Quanto ao número anual total de horas trabalhadas em Portugal, este é o resultado da multiplicação do número de horas anuais trabalhadas por cada indivíduo empregado pelo número total anual de indivíduos empregados na economia. O resultado será uma série histórica corrigida através do índice anteriormente referido do número anual total de horas trabalhadas em Portugal entre 1960 e 2014 (resultados visíveis na figura 4.7).

### 3.1.4 Função de produção

Com base na função de produção Cobb-Douglas desenvolvida para o MEET2030, foi desenvolvida no âmbito da presente tese uma reformulação dessa função, com o objetivo de produzir resultados mais precisos, que represente o PIB histórico português entre 1960 e 2014 e que permita realizar cenários até 2050.

Esta nova função de produção permite distinguir entre três diferentes tipos de capital: edifícios, máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias. Com este nível de desagregação é possível analisar a produtividade de cada tipo de capital e obter melhores resultados e projeções do seu *stock*.

Na função de produção dois tipos de capital (máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias) têm associados a si um rácio (equação 3.7) de variação de eficiência exergética ao longo do tempo. Segundo a teoria subjacente é o aumento deste rácio que contribui para o aumento da PTF, ou seja, o aumento da eficiência exergética no tempo irá contribuir para o aumento da PTF e conseqüente crescimento do PIB. Os edifícios não têm este rácio associado visto não possuírem uma eficiência exergética.

A nova função de produção é então a seguinte:

$$Y = [A_{est}(\varepsilon_{est}) \cdot K_{est}]^{\alpha_{k_{est}}} \cdot [A_{n\_est}(\varepsilon_{n\_est}) \cdot K_{n\_est}]^{\alpha_{k_{n\_est}}} \cdot K_{Ed}^{\alpha_{k_{ed}}} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.3)$$

Todas as variáveis são referentes ao mesmo ano  $t$ .  $Y$  é o PIB,  $A_{est}(\varepsilon_{est})$  é a contribuição correspondente ao capital das máquinas estacionárias para a PTF,  $K_{est}$  é o *stock* de capital das máquinas estacionárias, a constante  $\alpha_{k_{est}}$  é a elasticidade relativa ao capital das máquinas não-estacionárias,  $A_{n\_est}(\varepsilon_{n\_est})$  é a contribuição associada ao capital das máquinas não-

estacionárias para a PTF,  $K_{n\_est}$  é o *stock* de capital de máquinas não-estacionárias, a constante  $\alpha_{k_{n\_est}}$  é a elasticidade relativa ao capital das máquinas não-estacionárias,  $K_{Ed}$  é o *stock* de capital de edifícios, a constante  $\alpha_{k_{ed}}$  é a elasticidade relativa ao capital dos edifícios,  $L$  é trabalho humano e a constante  $\alpha_l$  é a elasticidade relativa ao trabalho humano.

As elasticidades das três diferentes categorias de capital foram calculadas através da equação 3.4, que dá uma aproximação dos pagamentos que são feitos a cada tipo de capital no ano  $t$ :

$$\alpha_{k_{n_t}} = 0,3 \frac{K_{n_t} \delta_{n_t}}{\sum_i K_{n_{i_t}} \delta_{n_{i_t}}} \quad (3.4)$$

Onde  $\alpha_{k_{n_t}}$  é a elasticidade relativa ao tipo de capital  $n$  no ano  $t$ ;  $K_{n_t} \delta_{n_t}$  é o valor depreciado de um determinado tipo de capital no ano  $t$ ;  $\sum_i K_{n_{i_t}} \delta_{n_{i_t}}$  é o somatório da quantidade depreciada de cada categoria de capital no ano  $t$ , ou seja, é o valor da depreciação total de capital nesse mesmo ano. Por fim, a constante 0,3 multiplica pela divisão, sendo esta constante uma aproximação do valor empiricamente observado (0,29) para Portugal (1960 – 2014) da percentagem de pagamentos feitos ao capital no total dos pagamentos feitos aos fatores de produção.

Dado que a categoria de capital das máquinas estacionárias é a soma de quatro diferentes tipos de bens de capital, a depreciação do capital desta categoria é o produto do somatório de cada tipo de capital inserido nesta categoria pela taxa de depreciação respetiva.

Depois de calculadas as séries históricas das elasticidades  $\alpha_{k_{n_t}}$  para as três categoria de capital, *Edifícios*, *Máquinas estacionárias* e *Máquinas não-estacionárias*, respetivamente, é realizada a média de cada uma, dando origem às constantes  $\alpha_{k_{ed}}$ ,  $\alpha_{k_{est}}$  e  $\alpha_{k_{n\_est}}$  (ver resultados em figura 4.8 e tabela 4.1).

Simplificando, a equação 3.3 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Y = (\varepsilon_{est}^{c_1})^{\alpha_{k_{est}}} \cdot (\varepsilon_{n\_est}^{c_2})^{\alpha_{k_{n\_est}}} \cdot K_{est}^{\alpha_{est}} \cdot K_{n\_est}^{\alpha_{n\_est}} \cdot K_{Ed}^{\alpha_{ed}} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.5)$$

Nesta equação  $(\varepsilon_{est}^{c_1})^{\alpha_{k_{est}}} \cdot (\varepsilon_{n\_est}^{c_2})^{\alpha_{k_{n\_est}}}$  representa a PTF total como pode ser observado na equação 3.6;  $\varepsilon_{est}$  provém da equação 3.7 relativa à eficiência das às máquinas estacionárias,  $\varepsilon_{n\_est}$  provém também da equação 3.7, no entanto relativa à eficiência das máquinas não-estacionárias;  $c_1$  e  $c_2$  são constantes inicialmente calculadas através de regressão linear por meio da equação 3.8.

$$PTF = \varepsilon_{est}^{c_1 \cdot \alpha_{k_{est}}} \cdot \varepsilon_{n\_est}^{c_2 \cdot \alpha_{k_{n\_est}}} \quad (3.6)$$

$$\varepsilon = \frac{EF_t}{EF_0} \quad (3.7)$$

Onde  $EF_t$  é a eficiência exergética agregada no ano  $t$  e  $EF_0$  é a eficiência exergética agregada no ano 0 (i.e. 1960).

$$\ln(PTF) = c_1 \cdot \alpha_{k_{est}} \cdot \ln(\varepsilon_{est}) + c_2 \cdot \alpha_{kn_{est}} \cdot \ln(\varepsilon_{n_{est}}) \quad (3.8)$$

### 3.1.5 Análise de cointegração

Para testar a relação entre a eficiência exergética (máquinas estacionárias e não-estacionárias) e a PTF foram realizados testes de cointegração no sentido de sustentar esta dependência e determinar as constantes  $c_1$  e  $c_2$  da equação 3.8.

Antes disso foram no entanto testadas outras relações com o objetivo de testar a solidez do modelo até chegar ao nível de complexidade da equação 3.5.

Sendo que a PTF histórica provém da equação 3.9, esta variável é medida com resíduo, absorvendo erros de medição de outras variáveis (K e L), isto significa que melhores medições do capital irão remover algum desse erro na medida da PTF. Ou seja, podem ser determinadas diferentes séries de PTF, dependendo do modelo utilizado para calcular o PIB. Nesse sentido foram calculadas duas séries de PTF, uma com o capital total (soma dos diferentes tipos de bens de capital), equação 3.10, e outra com capital desagregado, equação 3.11.

$$PTF_{histórica} = \frac{PIB_{histórico}}{PIB_{calculado}} \quad (3.9)$$

$$PTF_{1\text{ histórica}} = \frac{PIB_{histórico}}{K^{\alpha_k} \cdot L^{\alpha_l}} \quad (3.10)$$

$$PTF_{2\text{ histórica}} = \frac{PIB_{histórico}}{K_{est}^{\alpha_{est}} \cdot K_{n_{est}}^{\alpha_{n_{est}}} \cdot K_{Ed}^{\alpha_{ed}} \cdot L^{\alpha_l}} \quad (3.11)$$

De seguida foram então testadas as variáveis das equações 3.12, 3.13, 3.14 e 3.15 de modo a estabelecer relações de cointegração e calcular as respectivas constantes  $u$ .

$$\ln(PTF_{1\text{ histórica}}) = u_1 \cdot \ln(\varepsilon) \quad (3.12)$$

$$\ln(PTF_{1\text{ histórica}}) = u_2 \cdot \ln(\varepsilon_{est}) + u_3 \cdot \ln(\varepsilon_{n_{est}}) \quad (3.13)$$

$$\ln(PTF_2 \text{ histórica}) = u_4 \cdot \ln(\varepsilon) \quad (3.14)$$

$$\ln(PTF_2 \text{ histórica}) = u_5 \cdot \ln(\varepsilon_{est}) + u_6 \cdot \ln(\varepsilon_{n\_est}) \quad (3.15)$$

O programa utilizado foi o JMulti<sup>6</sup> e os passos do teste de cointegração para todas as relações foram os seguintes:

1. Análise inicial: através de testes de raiz unitária, foram primeiro testadas as séries em níveis e depois em primeiras diferenças. Para as séries em níveis foi incluída uma *time trend*. Para as séries em primeiras diferenças não foi utilizada uma *time trend*, por se tratarem de taxas de crescimento. As séries foram sujeitas ao teste ADF e Schmidt-Philips, testes estes que rejeitam a hipótese nula da existência de raiz unitária caso o valor estatístico de teste seja menor que os valores críticos. Se isto acontecer a série é estacionária. As séries foram também sujeitas ao teste KPSS, este rejeita a hipótese nula de estacionariedade se o valor estatístico de teste for maior que os valores críticos, ou seja, neste caso a série é não estacionária. O pretendido é que as séries em níveis sejam não estacionárias e em primeiras diferenças estacionárias, ou seja, integradas de primeira ordem, garantindo uma tendência estocástica, isto é, garantindo uma tendência a longo prazo aleatória e não em torno de um determinado valor.
2. Análise VAR: o modelo VAR deve especificar as diferentes variáveis de duas formas, com *trend* e sem *trend*. Nesta o número de *lags* endógenos tem por base os critérios de sugestão do número ideal de *lags*. A estimação do modelo é feita por OLS.

O passo seguinte é a verificação do modelo através da análise de resíduos por meio do teste Portmanteau, que testa a hipótese nula da não existência de autocorrelação entre as variáveis. Na prática isto quer dizer que se o *p-value* obtido for acima de 0,1 essa hipótese é validada, ou seja, quanto mais próximo de 1 melhor. Esta é uma escolha arbitrária (mas habitual) do nível de significância. De seguida é testada a correlação entre as variáveis.

3. Testes de cointegração: o modelo é especificado selecionando as variáveis pretendidas. De seguida são testadas as duas hipóteses (*constant* e *constant trend*)<sup>7</sup>. O número de *lags* é igual ao definido para o VAR. Este teste verifica a hipótese nula de não cointegração entre as variáveis, ou seja, se o *p-value* for inferior a 0,1 essa hipótese nula é rejeitada e existe cointegração entre as variáveis.

---

<sup>6</sup> <http://jmulti.de>

<sup>7</sup> Uma das hipóteses inclui apenas um termo constante no espaço de cointegração (*constant*), enquanto a outra inclui tanto uma constante como uma tendência linear (*constant trend*).

4. Análise VECM: o modelo é especificado através da seleção das variáveis e do número de *lags*, um valor inferior ao definido para o modelo VAR, o número de *rank* de cointegração é igual a um se foi encontrada uma relação de cointegração entre as variáveis. A análise é feita com *intercept*, *intercept* e *trend*, e sem ambos.

É de seguida estimado o modelo VECM com posterior verificação deste através da análise de resíduos por meio do teste Portmanteau. O passo seguinte é verificar se existe correlação à semelhança da análise VAR e posteriormente dá-se a análise estrutural por meio de testes de causalidade. Este último teste verifica a hipótese nula de não existir causalidade à Granger de uma variável para as outras. Se o *p-value* for abaixo de 0,1, a hipótese nula é rejeitada e a variável ou variáveis testadas tem um efeito causal nas restantes.

Depois das relações entre as eficiências exergéticas e a PTF testadas e respetiva determinação das contantes *u* são então formuladas a seguintes equações:

$$PTF_{1,1} = \varepsilon^{u_1} \quad (3.16)$$

$$PTF_{1,2} = \varepsilon_{est}^{u_2} \cdot \varepsilon_{n\_est}^{u_3} \quad (3.17)$$

$$PTF_{2,1} = \varepsilon^{u_4} \quad (3.18)$$

$$PTF_{2,2} = \varepsilon_{est}^{u_5} \cdot \varepsilon_{n\_est}^{u_6} \quad (3.19)$$

Dando estas origem às seguintes equações de cálculo do PIB:

$$PIB_{1,1} = \varepsilon^{u_1} \cdot K^{\alpha_k} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.20)$$

$$PIB_{1,2} = \varepsilon_{est}^{u_2} \cdot \varepsilon_{n\_est}^{u_3} \cdot K^{\alpha_k} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.21)$$

$$PIB_{2,1} = \varepsilon^{u_4} \cdot K_{est}^{\alpha_{est}} \cdot K_{n\_est}^{\alpha_{n\_est}} \cdot K_{Ed}^{\alpha_{ed}} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.22)$$

$$PIB_{2,2} = \varepsilon_{est}^{u_5} \cdot \varepsilon_{n\_est}^{u_6} \cdot K_{est}^{\alpha_{est}} \cdot K_{n\_est}^{\alpha_{n\_est}} \cdot K_{Ed}^{\alpha_{ed}} \cdot L^{\alpha_l} \quad (3.23)$$

## 3.2 Cenários (2015 – 2050)

Relativamente à realização de cenários o modelo utilizado para estes tem por base a equação 3.23, neste sentido foram desenvolvidas duas hipóteses: o *cenário de desenvolvimento*, onde existe um aumento progressivo e relevante das eficiências exergéticas ao longo do tempo, onde o investimento em capital segue a tendência dos anos anteriores e onde existe uma diminuição da população com um respetivo aumento da educação desta. O segundo cenário, denominado de *cenário de estagnação*, assume uma taxa de crescimento das eficiências exergéticas pouco significativa, o investimento em capital também segue a tendência dos anos anteriores e existe uma diminuição da população, apesar de menor comparativamente com o cenário anterior, com um aumento da educação mais modesto.

### 3.2.1 Eficiência Exergética

No *cenário de desenvolvimento* assume-se que irá existir um aumento expressivo da eficiência exergética até 2050, tanto para as máquinas estacionárias como para as máquinas não-estacionárias. O pressuposto assumido para o aumento da eficiência das máquinas estacionárias está na digitalização através da crescente tendência que se vem vindo a verificar relativamente à interação entre as máquinas e o mundo físico por meio das tecnologias de informação e comunicação. Estas últimas têm capacitado as máquinas para recolher informação de modo a processá-la, e conseqüentemente, a agirem no mundo físico. Dadas as suas capacidades de recolha e processamento de elevadas quantidades de dados e posterior aprendizagem, as máquinas estão hoje munidas de ferramentas que as permitem efetuar as suas respetivas tarefas mais eficientemente. Dada a crescente conectividade entre estas e a investigação e desenvolvimento que está em curso em matérias como a inteligência artificial e *machine learning*, prevê-se que as máquinas venham a ter um papel ainda mais relevante no futuro da economia. Desta forma as tecnologias de informação e comunicação tomam um papel central na mudança de paradigma relativamente à interação entre as máquinas e o mundo físico, abrindo assim portas para um potencial aumento da eficiência exergética no futuro.

Tendo em conta os fatores do parágrafo anterior mas não ignorando em paralelo a estagnação existente desde os finais dos anos 80 no crescimento da eficiência das máquinas estacionárias, foi assumido no *cenário de desenvolvimento* para este tipo de capital uma taxa de crescimento da eficiência exergética de 0,5% ao ano até 2050.

No *cenário de estagnação* considera-se que a eficiência exergética das máquinas estacionárias sofrerá um crescimento mais modesto, através de uma taxa de crescimento de 0,1% ao ano até 2050.

Relativamente às máquinas não-estacionárias (veículos), o pressuposto assumido em relação a estas para o *cenário de desenvolvimento* é que existirá uma transição progressiva para a mobilidade elétrica. Como se pode verificar na figura 4.1 esta eficiência manteve-se praticamente constante ao longo dos últimos 55 anos, variando na ordem dos 12% e 14%. Considerando a série histórica e tendo em conta a inércia e adaptação necessárias a uma transição energética desta natureza, é considerado que a eficiência exergética das máquinas não-estacionárias estará sujeita a uma taxa de crescimento de 1% ao ano até 2050.

No *cenário de estagnação* é assumido que a eficiência das máquinas não-estacionárias não sofrerá uma alteração tão relevante, existindo uma baixa transição para a mobilidade elétrica, sofrendo a eficiência exergética deste tipo de bem de capital uma taxa de crescimento de 0,3% ao ano até 2050.

### 3.2.2 Capital

De modo a realizar cenários com o objetivo de prever os diferentes *stocks* de capital por tipo de bens foi utilizada a equação 2.6, para cada um, respetivamente. Neste sentido tiveram de ser determinadas as diferentes séries históricas de FBCF em percentagem do PIB. Estas foram analisadas empiricamente com o objetivo de entender o seu comportamento dentro do contexto histórico de forma a prever o seu comportamento no futuro. Esta análise é apresentada de seguida, tal como os critérios de previsão de investimento.

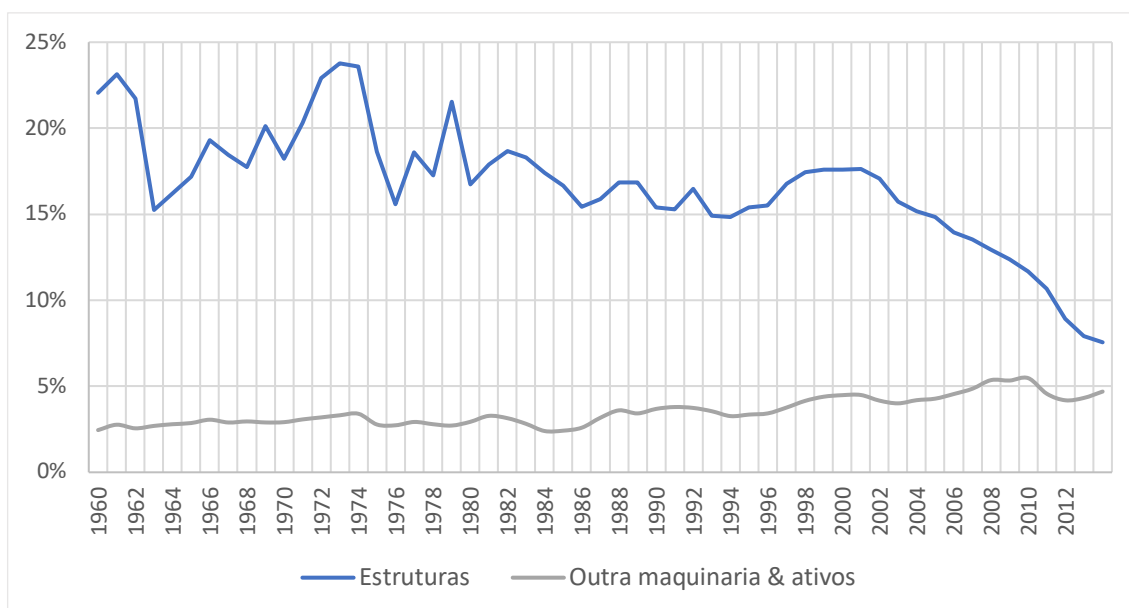


Figura 3.3 Série histórica (1960 – 2014) de FBCF em percentagem do PIB.

A figura 3.3 permite observar o comportamento da série histórica do investimento em *Estruturas* e *Outra maquinaria & ativos* em percentagem do PIB histórico. Esta figura tem como objetivo a análise para posterior definição do investimento que será feito em estruturas até 2050. A série histórica *Outra maquinaria & ativos* presente nesta figura serve apenas como referência para fazer a ponte de ligação entre a figura 3.3 e 3.4.

A série histórica da figura 3.3 pode-se dividir em três fases: período pré Revolução (1960 – 1974), período pós Revolução e pré Euro (1975 – 2001) e período pós Euro (2002 – 2014). Como é possível ver na figura 3.3, e posteriormente na figura 4.4, o modelo económico português, dentro do período de tempo em análise, esteve sempre muito dependente do sector da construção civil até ao virar do milénio. No período do Estado Novo deu-se um elevado investimento em infraestruturas e obras públicas, continuando este modelo económico em vigor no período seguinte. A economia portuguesa continuou assim muito dependente da construção, também fruto da revolução política e social, que conduziu a população a adquirir e construir novas habitações devido à urbanização e aumento de rendimentos, verificando-se assim um investimento em infraestruturas relativamente estável entre os 15% e 20% de FBCF em percentagem total do PIB. No virar do século o modelo entra em colapso devido ao esgotamento da procura por nova construção, o que havia para construir foi realizado até essa data, sendo que não se verificava um aumento da população, iniciou-se assim um declínio até 2014, atingindo as *Estruturas* os 7,5% de investimento em percentagem total do PIB.

Dada a tendência da série histórica *Estruturas* da figura 3.3, das características do setor em estar limitado ao espaço físico português, e às previsões demográficas do IIASA, de diminuição de população, não prevejo para 2050 um aumento de investimento em percentagem total do PIB em construção de estruturas. Fundamentalmente existirá uma reposição das já existentes. É por isso assumido na formulação de cenários que o investimento neste setor irá decrescer, seguindo a tendência da série histórica até estagnar. A diminuição do investimento foi determinada calculando o declive da linha de tendência da série histórica, até este estabilizar nos 5% de investimento em percentagem total do PIB.

A figura 3.4 apresenta as restantes séries históricas de FBCF em percentagem do PIB. Na figura 3.4 a série *Outra maquinaria & ativos* é mais expressiva devido ao aumento da escala.



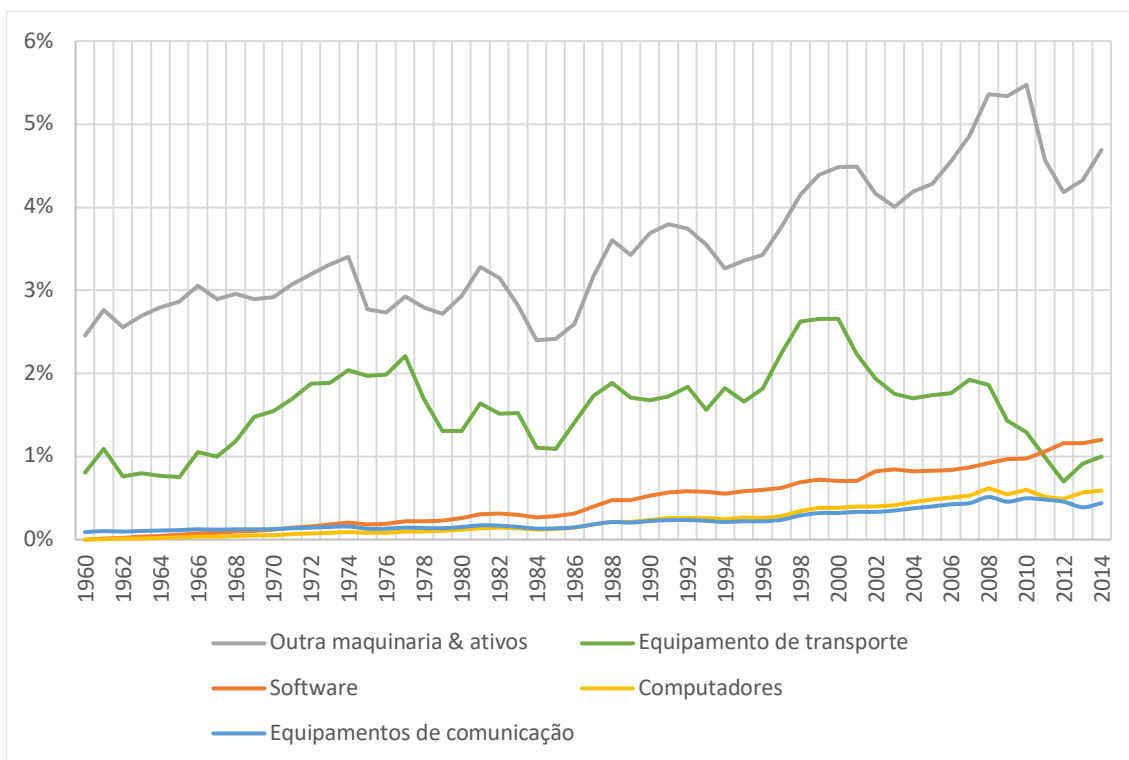


Figura 3.4 Série histórica (1960 – 2014) de FBCF em percentagem do PIB.

A série *Outra maquinaria & ativos* reflete o investimento que é feito na indústria, sendo em certa medida o espelho do comportamento da economia portuguesa e da volatilidade do mercado que está posteriormente descrita no capítulo 4.1.2 na análise da FBCF. Dada a variação desta série, de modo a estimar o investimento em *Outra maquinaria & ativos* até 2050 foi determinado o declive da linha de tendência da série histórica, sendo este o critério de crescimento.

A série histórica *Equipamento de transporte*, tal como a série histórica *Estruturas*, pode ser dividida nos mesmos três períodos históricos. O primeiro corresponde a um período de elevado crescimento económico, de industrialização e urbanização, que gerou um investimento em transportes públicos e permitiu a parte da população, sobretudo nas áreas urbanas, adquirirem meios de transporte próprios. Durante o período pós Revolução e pré Euro houve um aumento generalizado da riqueza, contribuindo para a diminuição de desigualdades salariais e permitindo que uma fatia da população começasse a ter acesso a bens de consumo anteriormente inalcançáveis. Um dos bens de consumo desejados eram as viaturas, estas que verificaram o maior crescimento em investimento na década mais próspera de Portugal, os anos 90. Dado o elevado número de pessoas que adquiriu viatura própria neste período de tempo e a recessão que teve início no princípio do novo século, levou a que o investimento em equipamentos de transporte começasse a cair, atingindo valores mínimos em percentagem do PIB em 2012.

Para o futuro, numa perspetiva de realização de cenários, é assumido que o valor do investimento em percentagem de PIB em equipamentos de transporte se mantenha constante na ordem do 1%. A justificação deste pressuposto está na convicção de que o investimento em

equipamentos de transporte servirá para repor *stocks* deste tipo de bem de capital e não para aumentar a frota automóvel dadas as previsões demográficas de decréscimo da população, da vontade política de desenvolver os transportes públicos e da adesão a novos serviços de mobilidade partilhada que tornam este tipo de bem de capital mais produtivo.

Analisando a série histórica do *Software*, observa-se que este é o único bem de capital que não sofreu uma quebra ou estagnação acentuadas, o investimento em percentagem do PIB deste tipo de bem de capital demonstra até mesmo ter um comportamento exponencial ao longo da série. Em 2011 a FBCF em percentagem do PIB do *Software* ultrapassa a dos Equipamentos de transporte como se pode observar na figura 3.4. Uma das explicações para o comportamento desta série histórica está no facto deste tipo de bem de capital não existir em 1960 e atualmente estarmos a viver uma transformação digital. Outra está na característica imaterial do *software*, não estando este condicionado por barreiras físicas, ou seja, a FBCF deste tipo de bem de capital não está tão exposta ao comportamento da economia onde é investido, uma empresa, por exemplo, pode estar sediada num determinado país e desenvolver *software* para outro(s), transmitindo-o instantaneamente.

Como tal, dado o comportamento da série histórica do *Software* e a revolução digital que está a ocorrer, é de prever que o investimento em percentagem do PIB neste tipo de capital continue a crescer até 2050. Neste sentido, de modo a realizar cenários, foi determinado o declive da linha de tendência da série histórica, sendo este o fator do crescimento anual.

Quando às séries históricas de FBCF sobre o PIB dos *Computadores* e *Equipamentos de comunicação*, ambas têm comportamentos semelhantes. O investimento em percentagem do PIB cresce mais rapidamente na série *Computadores*, no entanto, tanto numa série como noutra verifica-se uma tendência crescente, exceto a partir de 2008, ano da crise internacional. Apesar do potencial de crescimento destas tecnologias estas não deixaram de sofrer uma quebra no investimento nos anos de crise devido à sua característica física material, contrapondo à do *software*.

Numa perspetiva de realização de cenários, o expectável é que as tecnologias de informação e comunicação continuem a crescer tendo em conta o seu papel central na revolução digital, sendo estas o *hardware* que permitem a propagação do *software*. Nesse sentido o período pós 2008, de decréscimo de investimento em percentagem do PIB e posterior recuperação destes dois tipos de bens de capital é considerado como excecional. Para a realização de cenários são determinados os declives de ambas as linhas de tendência das séries históricas, sendo estes o fator de crescimento até 2050.

### 3.2.3 Trabalho humano

Na realização de cenários, relativamente ao trabalho humano, foram utilizados os dados de previsões demográficas do IIASA. No relatório divulgado pela Comissão Europeia “Cenários de Demografia e Capital Humano para o Século XXI” (Lutz et al. 2018) desenvolvido pelo IIASA em colaboração com o Wittgenstein Centre são executados três cenários: o “*Share Socioeconomic Pathway 1*” (SSP1), onde é assumido um futuro no caminho da sustentabilidade, com rápido desenvolvimento social através de investimentos na educação e saúde, acelerando a transição demográfica para a redução de população. Este cenário está associado a um nível alto de educação, baixa mortalidade e baixa fertilidade. O cenário SSP2, considerado o cenário médio ou de continuação, que assume a tendência das últimas décadas com futuros progressos no desenvolvimento, redução da intensidade energética e de recursos, e redução lenta da dependência de combustíveis fósseis. Estes cenário está associado a fertilidade, mortalidade e educação médias. Por fim o cenário SSP3, considerado o cenário de fragmentação e estagnação de desenvolvimento social, está associado a baixa educação, elevada mortalidade e fertilidade alta (Lutz et al. 2018).

Dada a explicação do parágrafo anterior, no âmbito do desenvolvimento dos cenários de projeções do PIB português até 2050 foram utilizados os cenários demográficos SSP1 e SSP3 para a realização do *cenário de desenvolvimento* e para a realização do *cenário de estagnação*, respetivamente.

Sendo que a equação considerada para determinar o trabalho humano foi a 2.7, tiveram de ser projetados também a taxa de participação, taxa de desemprego e número de horas trabalhadas por individuo num ano. Posteriormente, de forma a corrigir qualitativamente a equação 2.7, multiplicou-se esta pelo índice de capital humano, índice este que também teve de ser projetado segundo a educação da população dos dois cenários.

Os dados relativos às projeções da taxa de participação até 2050 foram retirados do relatório “Cenários de Demografia e Capital Humano para o Século XXI” (Lutz et al. 2018). As projeções relativas à taxa desemprego e número de horas trabalhadas foram baseadas no método utilizado para o MEET2030. Para ambos os cenários é assumido que a taxa de desemprego decresce a uma taxa de 6% ao ano até se fixar nos 5%. Relativamente ao número de horas trabalhadas por individuo num ano, no *cenário de estagnação* este número de horas é considerado constante até 2050, enquanto que no *cenário de desenvolvimento* considera-se que este mesmo número de horas tem uma taxa de decréscimo anual de 0,6%.

Para calcular o índice de capital humano futuro foram necessárias projeções do número médio de anos de escolaridade de forma a utilizar o método adotado pela PWT (equação 2.8 e 2.9) para determinar este índice. As projeções do número médio de anos de escolaridade provêm do

relatório “Cenários de Demografia e Capital Humano para o Século XXI” (Lutz et al. 2018), sendo estas correspondentes aos cenários SSP1 e SSP3, depois aplicadas no *cenário de desenvolvimento* e no *cenário de estagnação*, respetivamente.

# Capítulo 4

## Resultados

Este capítulo está dividido em duas secções diferentes. A primeira secção apresenta os resultados obtidos a partir da metodologia descrita no capítulo 3, onde procuro definir a função de produção entre 1960 e 2014 para Portugal com base na desagregação da eficiência exergética, desagregação de capital e definição do trabalho humano corrigido qualitativamente com base no índice de capital humano. Além da apresentação dos resultados procuro também interpretá-los dentro do contexto do período histórico em causa (1960 – 2014) e analisá-los criticamente.

Na segunda secção, correspondente à demonstração de resultados provenientes da realização de cenários até 2050, procuro expô-los, retirando conclusões deles, fazendo simultaneamente uma análise de cada um, procurando definir caminhos que podem ser seguidos no futuro dentro um contexto de desenvolvimento económico, energético e social.

### 4.1 Séries históricas (1960 – 2014)

#### 4.1.1 Eficiência exergética

O gráfico da figura 4.1 apresenta os resultados obtidos relativamente à série histórica da eficiência exergética final-para-útil agregada das máquinas estacionárias e das máquinas não-estacionárias entre 1960 e 2014 em Portugal.

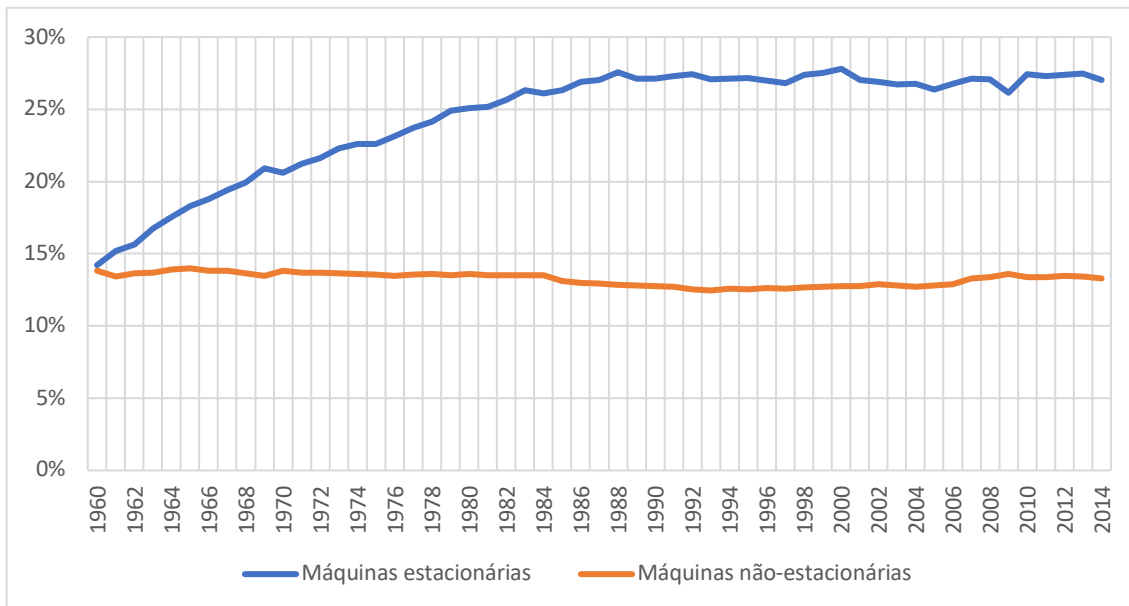


Figura 4.1 Série histórica (1960 – 2014) das eficiências exergéticas agregadas final-para-útil das máquinas estacionárias e não-estacionárias em Portugal.

Como se pode observar na figura 4.1, apenas a eficiência exergética das máquinas estacionárias aumentou no período de tempo em análise. Entre 1960 e 1980 é possível observar um crescimento da eficiência mais acentuado, seguindo de uma desaceleração até 1988, e uma estabilização depois desse ano. Em 1960 a eficiência agregada das máquinas estacionárias era de 14,2%, aumentado até os 25,1% em 1980. De 1980 a 1988 a eficiência exergética agregada das máquinas estacionárias subiu para os 27,6%. Depois de 1988 até 2014 a eficiência agregada das máquinas estacionárias manteve-se relativamente constante ao longo do tempo. Em relação às máquinas não-estacionárias, a eficiência exergética agregada destas manteve-se praticamente constante entre 1960 e 2014, sofrendo ligeiras flutuações, sempre entre 12% e 14% de eficiência, como se pode verificar na figura 4.1.

O acentuado aumento na eficiência das máquinas estacionárias nos 20 primeiros anos do gráfico da figura 4.1 é explicado pelo processo de eletrificação que ocorreu primeiro na indústria e que forneceu assim trabalho elétrico estacionário à economia. Isto levou à utilização generalizada de trabalho elétrico mecânico com 70 a 80% de eficiência exergética (Serrenho 2016). Outro facto que contribuiu para um aumento de eficiência foi uma maior utilização de calor de alta temperatura (34 a 44% de eficiência exergética), consequência da segunda industrialização em Portugal (Serrenho 2016). Depois de 1980, e até 2014, apesar do ligeiro aumento, a eficiência agregada das máquinas estacionárias fixou-se na ordem dos 27%.

Relativamente às máquinas não-estacionárias, a eficiência destas manteve-se relativamente constante no período em análise devido à melhoria pouco significativa da eficiência dos motores de combustão interna e da baixa penetração dos carros elétricos nos últimos anos (até 2014).

## 4.1.2 Capital

O gráfico da figura 4.2 apresenta os resultados obtidos relativos ao *share* anual de FBCF entre 1960 e 2014 para Portugal nos diferentes tipos de bens de capital dentro das categorias das máquinas estacionárias (*Software, Computadores, Equipamentos de comunicação, Outra maquinaria & ativos*).

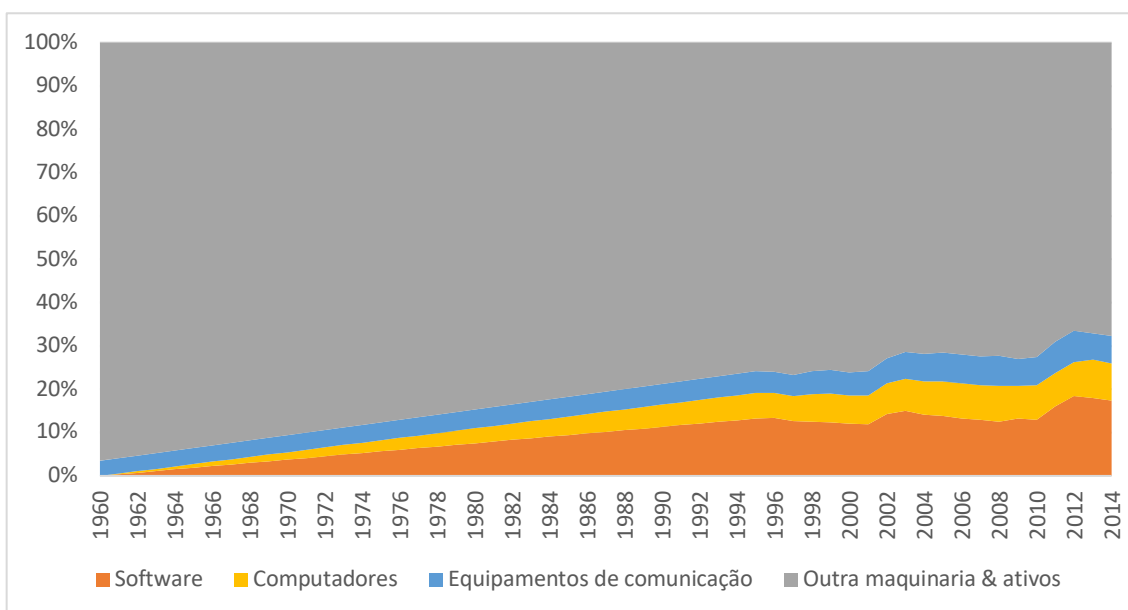


Figura 4.2 *Share* da FBCF em bens de capital estacionário (1960 – 2014).

Como se pode observar na figura 4.2, assume-se um crescimento linear no *share* de FBCF nas categorias *Software, Computadores e Equipamentos de comunicação*, e respetivo decréscimo na categoria *Outra maquinaria e ativos* até 1995 devido aos pressupostos assumidos e ao método de cálculo utilizado presentes no capítulo 3 secção 3.1.2. A partir de 1995 até 2014 o *share* de FBCF depende exclusivamente dos dados da EU KLEMS.

A figura 4.3 mostra os resultados anuais relativos à FBCF absoluta na desagregação da PWT.

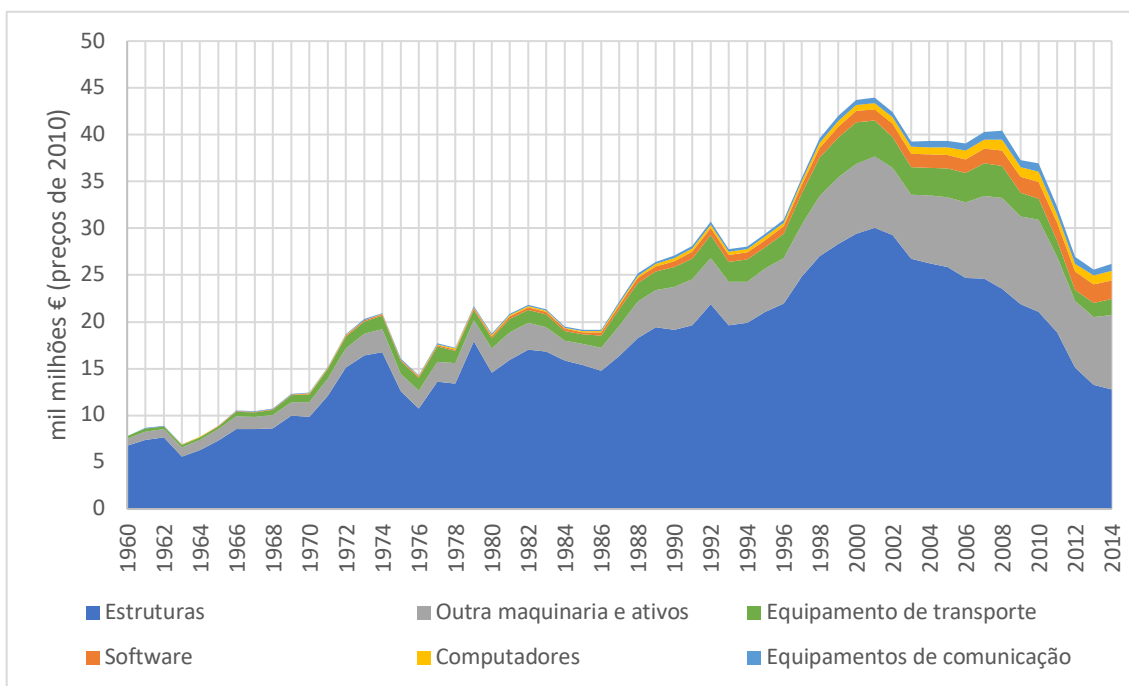


Figura 4.3 FBCF absoluta organizada por tipos de bens de capital na desagregação da PWT (1960 – 2014).

Na série histórica da figura 4.3 é possível ver através do investimento em capital várias etapas da economia portuguesa. Até 1974 observa-se um investimento crescente já iniciado anteriormente a 1960, período correspondente à fase de desenvolvimento no Estado Novo, quando se deu a industrialização do país. Em 1974 dá-se a revolução em paralelo com a crise internacional dos anos 70 desencadeada pelo choque petrolífero de 1973, verificando-se um abrandamento acentuado da economia portuguesa como se pode verificar na figura 4.3 através da queda do investimento entre 1973 e 1975.

Nos períodos de 1978 – 1979 e 1983 – 1984 Portugal esteve ao abrigo de acordos de estabilização económica com o Fundo Monetário Internacional (FMI), sendo estes dois períodos precedidos de queda no investimento em capital, como é visível na figura 4.3.

Em 1985 dá-se a adesão à Comunidade Económica Europeia (CEE). Entre esta data e 1992 pode-se observar na figura 4.3 que Portugal atravessa um período de acentuado crescimento devido às novas oportunidades consequentes deste feito. Este crescimento é no entanto interrompido em 1992 por uma nova recessão que durou dois anos quebrando o anterior crescimento em investimento (figura 4.3).

Em 1992 dá-se um período de recuperação no caminho de adesão ao euro, verificando-se um crescimento acentuado na FBCF (figura 4.3). A base desta recuperação é no entanto proveniente da procura interna e não das exportações. Com uma quebra acentuada das taxas de juro devido às perspetivas da adesão à nova moeda, um efeito de riqueza sem precedentes é provocado,



levando a um crescimento rápido da procura interna e uma diminuição da poupança privada. Setores de bens não transacionáveis, relativamente protegidos e beneficiários de rendas conheceram um crescimento acentuado, levando à diminuição do investimento em setores de bens transacionáveis e contribuindo assim para o fraco crescimento da produtividade. Foi nesta época que Portugal entrou no processo de endividamento externo e tudo se agravou no início do século XXI com a adesão ao euro. Além de um difícil ajustamento ao novo contexto monetário a economia portuguesa foi atingida com o alargamento da União Europeia (UE) aos países da Europa Central e de Leste, em 2004 e 2007. Isto registou um importante impacto ao nível do investimento e das trocas comerciais futuras. Além disso o novo século testemunhou a entrada no mercado global da China, da Índia e de outras economias emergentes de baixo custo, competindo nas áreas de mão-de-obra intensiva que constituíam a especialização tradicional da economia portuguesa. Em 2008, como se pode verificar na figura 4.3, Portugal sofre uma enorme crise económica devido aos problemas internos e ao contexto internacional, o investimento cai abruptamente e o país em 2011 sofre a última intervenção, até à data, do FMI (Amaral 2010; Lourtie 2011).

A figura 4.4 tem por base os mesmos dados da figura 4.3, no entanto apresenta-os numa perspetiva de *share* da FBCF total dividida por categorias de bens de capital. Através desta abordagem é possível ver a evolução da afetação do investimento em cada tipo de bem de capital ao longo do tempo.

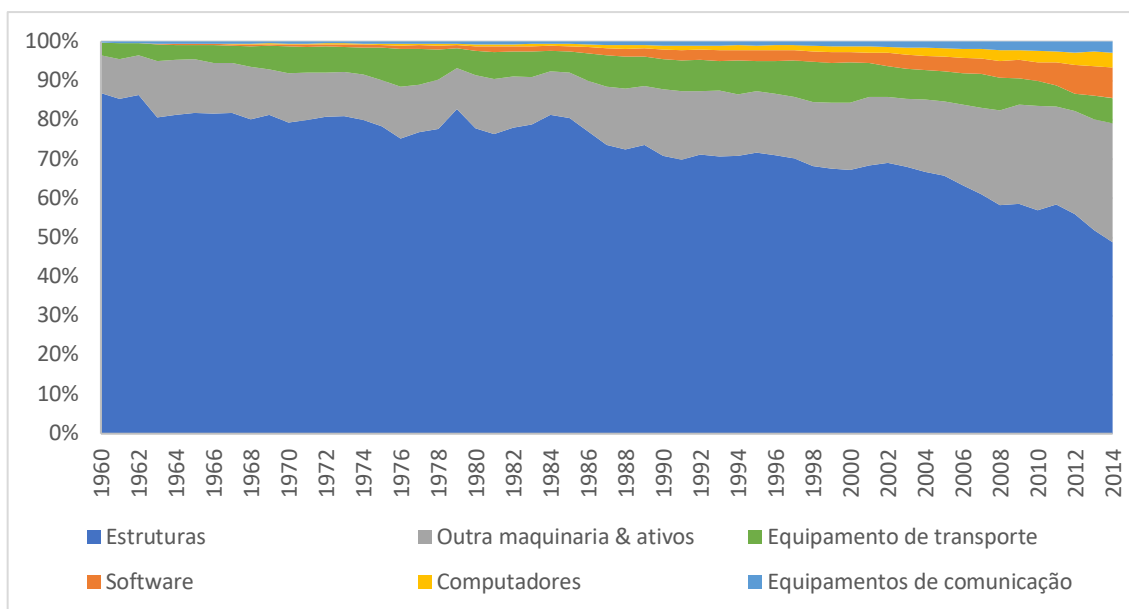


Figura 4.4 *Share* da FBCF organizada por tipos de bens de capital na desagregação da PWT (1960 – 2014).

É de reparar na figura 4.4 a progressiva diminuição do investimento relativo em estruturas ao longo do tempo e respetivo aumento em maquinaria. Nos últimos anos da série histórica, verifica-se também um aumento do investimento em *software* e uma diminuição em transportes.

O gráfico da figura 4.5 mostra os resultados obtidos relativos ao *stock* de capital anual entre 1960 e 2014 na desagregação da PWT. No anexo A é visível o *stock* de capital na desagregação pretendida (*Edifícios, Máquinas estacionárias e Máquinas não-estacionárias*).

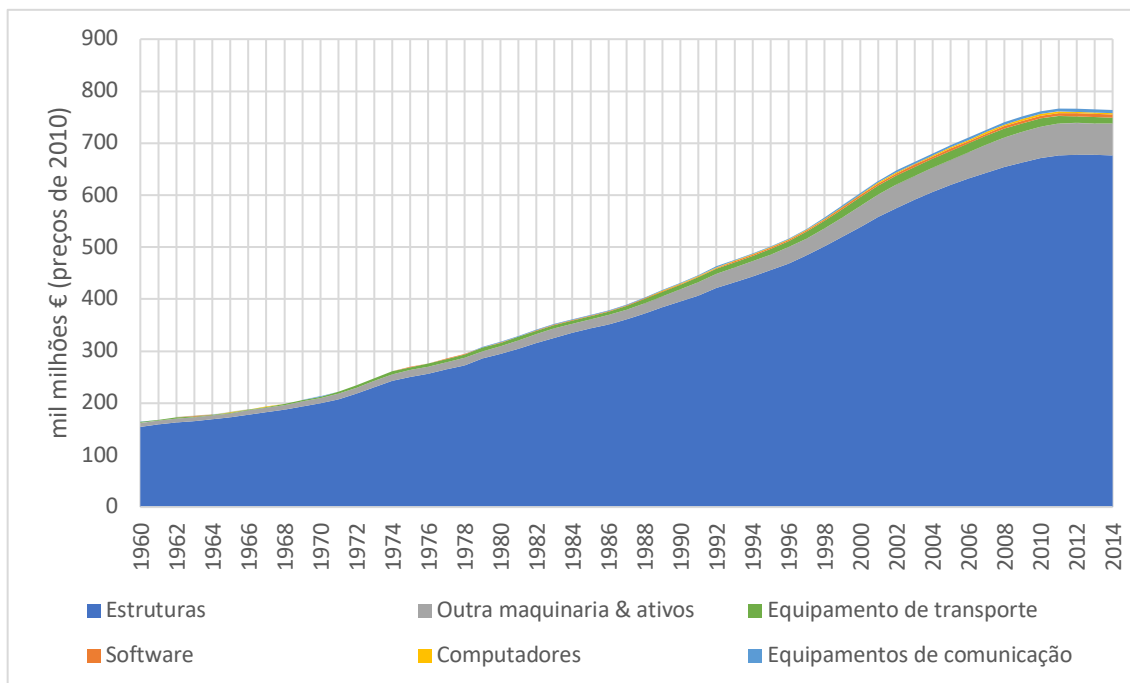


Figura 4.5 Série histórica (1960 – 2014) do *stock* de capital organizado por tipos de bens na desagregação da PWT para Portugal de preços constantes de 2010.

Como se pode observar na figura 4.5, o *stock* de capital das estruturas tem um peso bastante elevado na série histórica. O valor inicial deve-se ao método de cálculo do capital inicial (equação 3.1) e neste sentido ao facto de em 1960, como se pode ver na figura 4.4, o investimento em estruturas representar aproximadamente 87% da FBCF total desse ano. Apesar da progressiva redução do *share* em estruturas até 2014, atingindo os 49% da FBCF total, o investimento em estruturas representa sempre uma quota muito significativa do investimento em capital ao longo do tempo. Além disto, acrescenta o facto desta categoria ser a que deprecia a uma menor taxa (tabela 3.1), contribuindo estes fatores para a elevada discrepância entre a acumulação de capital do tipo *Estruturas* em relação aos outros.

É de notar no entanto o crescimento do *stock* de capital da maquinaria em relação ao das estruturas. De 1960 para 2014 o *stock* de capital da maquinaria cresceu 682%, enquanto que no mesmo período o *stock* de capital das estruturas cresceu 338,5%. Isto deve-se ao aumento do *share* em FBCF da maquinaria e respetiva diminuição nas estruturas como se pode observar na figura 4.4.

A figura 4.6 mostra a soma do *stock* de capital total, proveniente da soma do *stock* dos diferentes bens em comparação com o *stock* de capital total da AMECO.

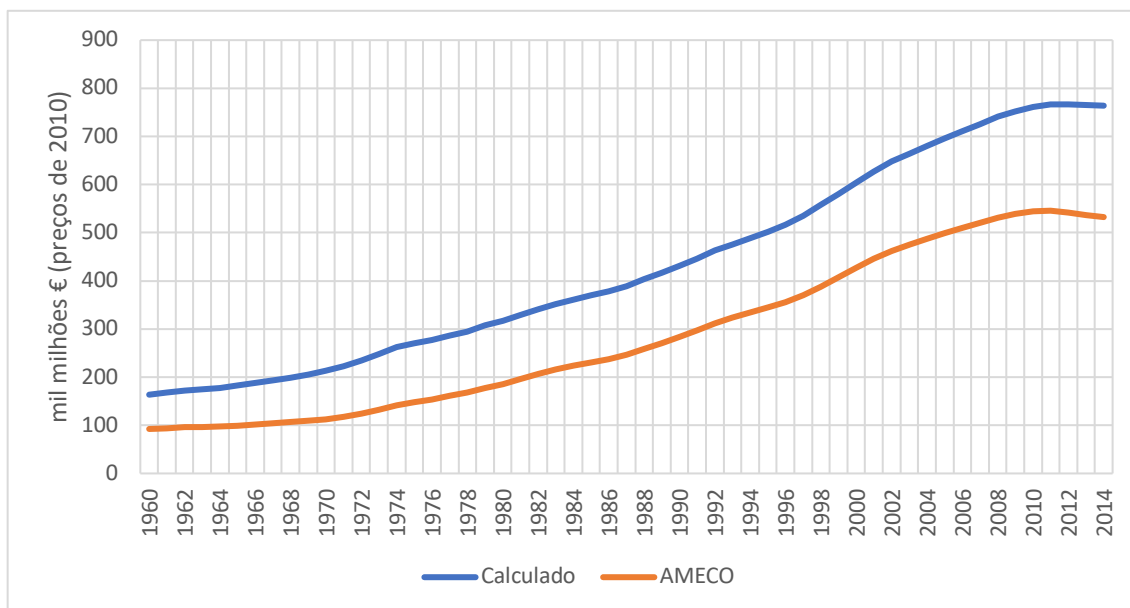


Figura 4.6 *Stock* de capital total (1960 – 2014): comparação entre o calculado na desagregação por tipos de bens da PWT e o da AMECO.

Como se pode observar na figura 4.6, o *stock* de capital calculado inicial é superior ao da AMECO. Isto deve-se ao método de cálculo do capital inicial (equação 3.1) para os diferentes tipos de bens de capital e ao facto de o capital total ser a soma destes, ou seja, o capital total inicial calculado ter por base a desagregação deste, o que lhe confere assim mais rigor.

Outro fator a reparar nos gráficos da figura 4.6 é o comportamento destes ao longo do tempo. De 1960 a 2014 o *stock* de capital calculado cresce 367% enquanto que o *stock* de capital da AMECO cresce, aproximadamente, 477%. Isto deve-se ao aumento do *share* de bens de capital como maquinaria, transportes e tecnologias de informação e comunicação (figura 4.4), que depreciam a taxas superiores à taxa de depreciação do capital total da AMECO, contribuindo para uma desaceleração do crescimento quando comparado com a série da AMECO. As taxas de crescimento anual referentes à figura 4.6 podem ser consultadas no anexo B.

### 4.1.3 Trabalho humano

A figura 4.7 apresenta os resultados relativos à série histórica do trabalho medido em número de horas trabalhadas anualmente (laranja) e a mesma corrigida através do índice de capital humano que tem por base o número médio de anos de escolaridade da população (azul).

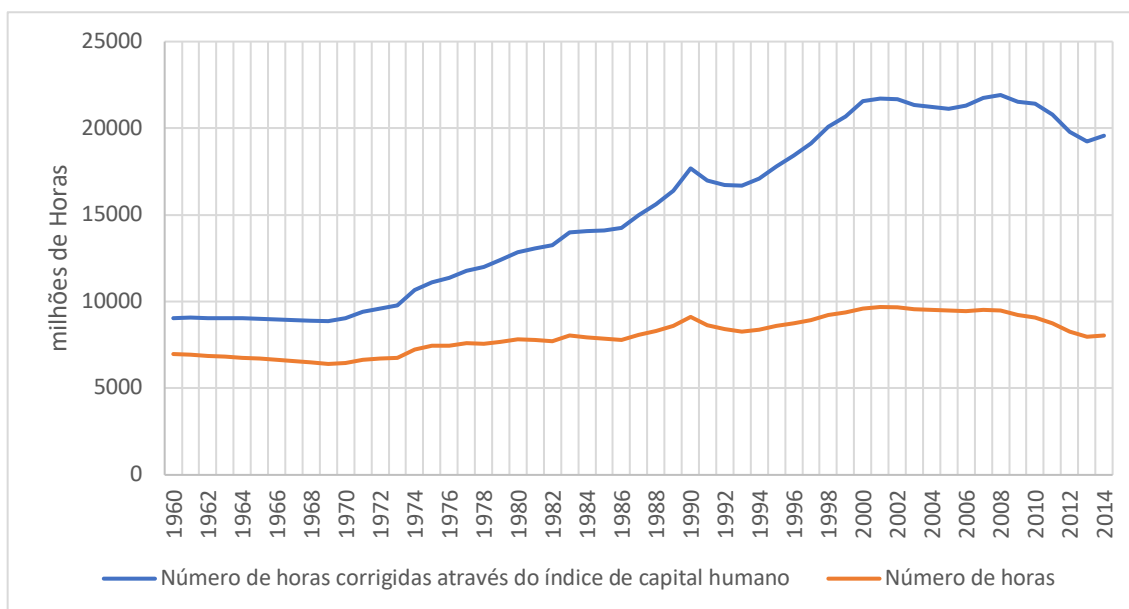


Figura 4.7 Série histórica (1960 – 2014) do trabalho medido em número de horas trabalhadas anualmente (laranja) e a mesma corrigida através do índice de capital humano que tem por base o número de anos de escolaridade (azul).

Além do número de horas totais trabalhadas na economia portuguesa entre 1960 e 2014, a figura 4.7 permite observar que existiu um aumento no contributo para a produtividade de cada hora trabalhada, devido ao aumento do índice de capital humano, consequência do aumento médio dos anos de escolaridade da população portuguesa. Ou seja, nesta abordagem, mais escolaridade significa maior produtividade do trabalho humano.

### 4.1.4 Função de produção

A figura 4.8 apresenta a evolução das elasticidades estimadas dos três diferentes tipos de bens de capital pretendidos ao longo do tempo, estando a metodologia de cálculo presente no capítulo 3, secção 3.1.4.

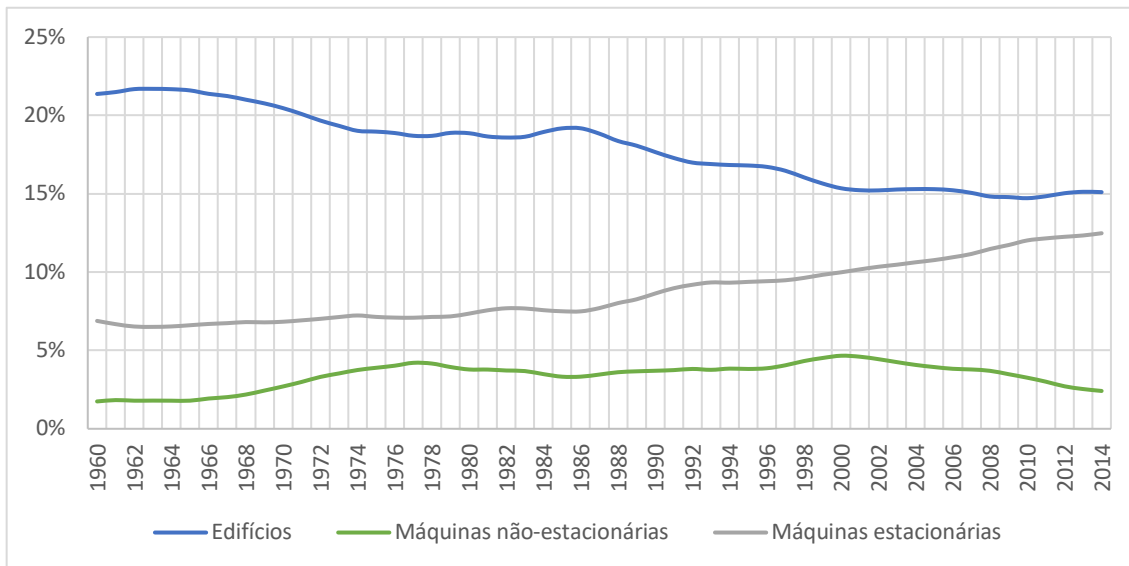


Figura 4.8 Elasticidades dos três diferentes tipos de bens de capital entre 1960 e 2014.

Como é possível verificar na figura 4.8, as máquinas não-estacionárias (veículos) apresentam uma elasticidade relativamente estável ao longo do período de tempo em análise, sendo sempre os veículos o bem de capital menos produtivo, ou seja, o que menos contribui para o crescimento do PIB ao nível de *stock* de capital. Já as elasticidades dos edifícios e das máquinas estacionárias, apresentam uma tendência decrescente e crescente, respetivamente. Isto significa que desde 1960 as máquinas estacionárias têm vindo a ganhar mais relevância na contribuição para o PIB e os edifícios menos. Este fator pode estar relacionado com o aumento da eficiência e FBCF das máquinas estacionárias, contribuindo para o aumento da produtividade destas.

A tabela 4.1 apresenta a média da série das elasticidades de cada tipo de bem de capital (edifícios, máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias), valores estes utilizados na função de produção Cobb-Douglas (equação 3.23). Cada valor é uma medida da resposta do PIB a uma mudança no *stock* de capital de cada tipo de bem de capital, perfazendo estas três categorias uma soma de 0,3, sendo os restante 0,7 alocados ao trabalho humano. A elasticidade da categoria edifícios, significa por exemplo, que o aumento de 1% no *stock* de capital nesta categoria, *ceteris paribus*, levará ao aumento de aproximadamente 0,18% do PIB.

$\alpha_{ed}$	$\alpha_{est}$	$\alpha_{k_{n\_est}}$	SOMA
0,18	0,087	0,034	0,3

Tabela 4.1 Média das elasticidades de cada tipo de bem de capital e respetiva soma.

### 4.1.5 Análise de cointegração

Como se pode verificar no anexo C, as séries das variáveis relativas às equações anteriormente referidas podem-se considerar não estacionárias em níveis e estacionárias em primeiras diferenças, nomeadamente através da consistência do teste Schmidt Phillips.

Dos testes de cointegração realizados às variáveis das equações 3.12, 3.13, 3.14 e 3.15 pode-se concluir que existe cointegração em cada relação. Os resultados das constantes  $u$  estão presentes na tabela 4.2.

Quanto à análise VAR e posterior análise de resíduos realizada às variáveis através das relações presentes nas equações 3.12, 3.13, 3.14 e 3.15, conclui-se que todas elas validam a hipótese nula de não existência de autocorreção entre as variáveis através do teste Portmanteau. Relativamente ao teste de correlação, este demonstra que não existem problemas deste tipo nas mesmas relações entre as respetivas variáveis.

Através dos testes de cointegração foi possível verificar que em todas as relações testadas existe no mínimo uma relação de cointegração.

Através da análise VECM foram determinadas as constantes  $u$ , visíveis na tabela 4.2, de seguida conclui-se, através do teste Portmanteau, que todos os modelos validam a hipótese nula de não existência de autocorrelação entre variáveis. Dos testes de correlação também se verificou que não existiam problemas deste tipo. Feitos os testes de causalidade, através dos modelos das equações 3.12, 3.13 e 3.14, foi detetada causalidade no sentido das eficiências exergéticas para a PTF e não o contrário. Já o modelo da equação 3.15, além de demonstrar através do mesmo teste que existe causalidade das eficiências exergéticas das máquinas estacionárias e não-estacionárias na PTF, demonstrou também o seu contrário. Este resultado poderá ser um erro dados os resultados dos testes dos outros modelos e a semelhança entre o modelo da equação 3.13, no entanto não deve ser ignorada a hipótese do processo inverso de causalidade da PTF no sentido das eficiência exergéticas, ou ainda a existência de causalidade bidirecional. Isto devido à contribuição que a PTF tem no PIB e conseqüentemente a contribuição que este tem na promoção de investimento em capital, mais ou menos eficiente. A relação bidirecional implica as eficiências exercerem influencia sobre a PTF e a PTF exercer influência sobre as eficiências.

Equação 3.12	Equação 3.13		Equação 3.14	Equação 3.15	
$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$
1,373	1,304	2,383	1,240	1,190	2,551

Tabela 4.2 Resultados das constantes  $u$  associadas às suas respetivas equações.

Como se pode ver na tabela 4.2, as constantes ( $u_3$  e  $u_6$ ) associadas à eficiência exergética das máquinas não-estacionárias (veículos) são superiores às constantes ( $u_2$  e  $u_5$ ) associadas à eficiência exergética das máquinas estacionárias. Isto significa que posteriormente, na determinação da PTF, a variação da eficiência das máquinas não-estacionárias irá ter uma maior influência do que a variação da eficiência das máquinas estacionárias na alteração da PTF. Sendo que a eficiência exergética dos veículos tem-se mantido praticamente constante entre 1960 e 2014 (figura 4.1) isto leva a crer que uma significativa penetração de veículos elétricos na economia, com motores consideravelmente mais eficientes, levará a um relevante aumento da PTF e conseqüente crescimento do PIB. Isto é um indício de que, apesar dos veículos serem o bem de capital menos produtivo ao nível de *stock* de capital, o efeito de um aumento da sua eficiência no crescimento económico é significativo. Uma possível interpretação para este facto pode estar na relevância que o setor dos transportes tem para a economia, relevância essa que não se reflete através do valor monetário em *stock* de capital mas sim no que os serviços de mobilidade proporcionam para a criação de riqueza. Tanto pessoas como bens transacionáveis estão altamente dependentes da sua mobilidade para gerar trabalho humano, valor económico e no caso dos bens, estes serem transacionáveis. Esta mobilidade de pessoas e bens é realizada por meio de veículos (medidos em valor monetário), no entanto só é possível porque existe transformação de energia durante o seu processo, ou seja, o que proporciona a mobilidade é a transformação de energia. Se este processo de transformação aumentar a sua eficiência exergética é possível reduzir custos de transporte, estimulando o crescimento na transação de bens e deslocação de pessoas, tornando estes mais produtivos e contribuindo em paralelo para uma geração superior de riqueza.

Nas figuras 4.9, 4.10 e 4.11 são apresentados os resultados das PTF históricas em comparação com os modelos ajustados a estas. Os modelos têm por base a variação das eficiências exergéticas. Através destas figuras e da tabela 4.3 é possível comparar a precisão de cada modelo.

Na figura 4.9 é visível o ajuste que foi realizado para o projeto MEET2030 (laranja), sendo que neste a eficiência agregada está elevada a 1,87. Na mesma figura está também representada a PTF histórica (azul) calculada através dos dados utilizados para o respetivo projeto.

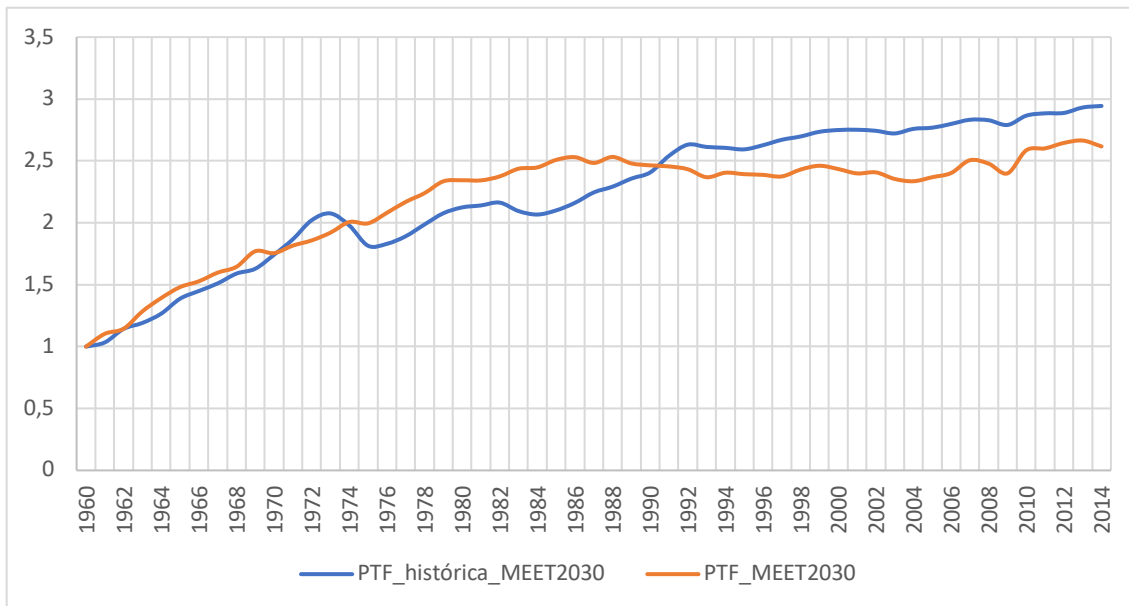


Figura 4.9 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através do modelo MEET2030.

Na figura 4.10 e 4.11 é possível ver os diferentes ajustes que foram realizados às respectivas PTF históricas. A PTF\_1\_histórica foi calculada através da equação 3.10. Os modelos relativos ao ajuste desta série, PTF\_1.1 e a PTF\_1.2, foram calculadas através da equação 3.16 e 3.17, respetivamente. Quanto à PTF\_2\_histórica, esta foi calculada através da equação 3.11. Os modelos relativos ao ajuste desta série, PTF\_2.1 e PTF\_2.2, foram calculados através das equações 3.18 e 3.19, respetivamente.

Olhando para as equações é possível verificar que os modelos PTF\_1.1 e PTF\_2.1 dependem da eficiência exergética agregada e que os modelos PTF\_1.2 e PTF\_2.2 dependem das eficiências exergéticas desagregadas das máquinas estacionárias e não-estacionárias.



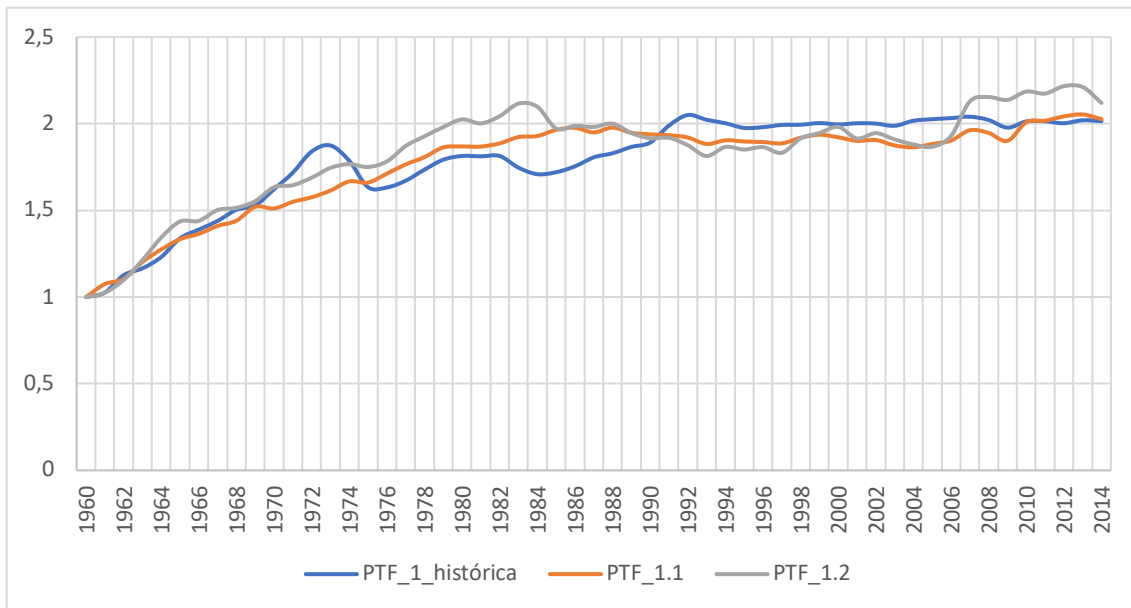


Figura 4.10 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através dos modelos PTF\_1.1 e PTF\_1.2.

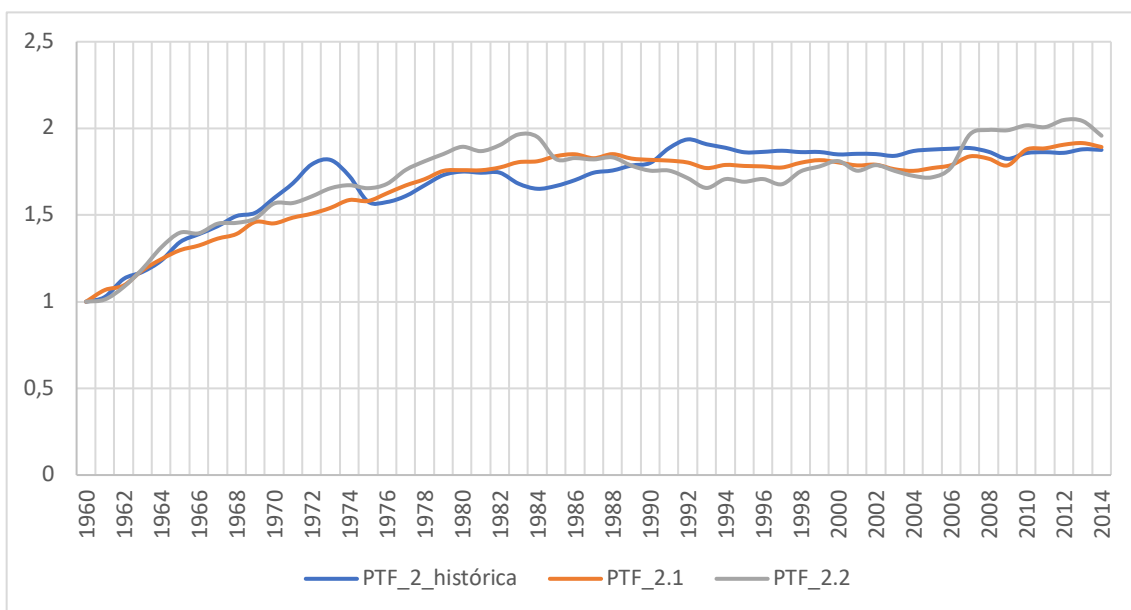


Figura 4.11 PTF histórica (1960 – 2014) e PTF determinada através dos modelos PTF\_2.1 e PTF\_2.2.

	PTF MEET2030	PTF 1.1	PTF 1.2	PTF 2.1	PTF 2.2
$R^2$	0,812	0,845	0,762	0,846	0,716
$R^2$ ajustado	0,809	0,842	0,753	0,843	0,705

Tabela 4.3 Coeficientes de determinação e coeficientes de determinação ajustados.

Através da tabela 4.3, onde estão apresentados os coeficientes de determinação das séries dos diferentes modelos de PTF, observa-se que se conseguiu através dos modelos PTF\_1.1 e PTF\_2.1 um melhoramento de precisão face ao modelo do MEET2030. Estes dois modelos são os que explicam a variação da PTF através da variação da eficiência exergética totalmente agregada. Já os modelos que utilizam a desagregação da eficiência exergética em máquinas estacionárias e não-estacionárias, o PTF\_1.2 e o PTF\_2.2, para explicar a variação da PTF parecem perder precisão face ao modelo do MEET2030.

Nas figuras 4.12, 4.13 e 4.14 é possível observar os resultados obtidos relativos aos diferentes modelos que têm como objetivo representar o PIB histórico português entre 1960 e 2014.

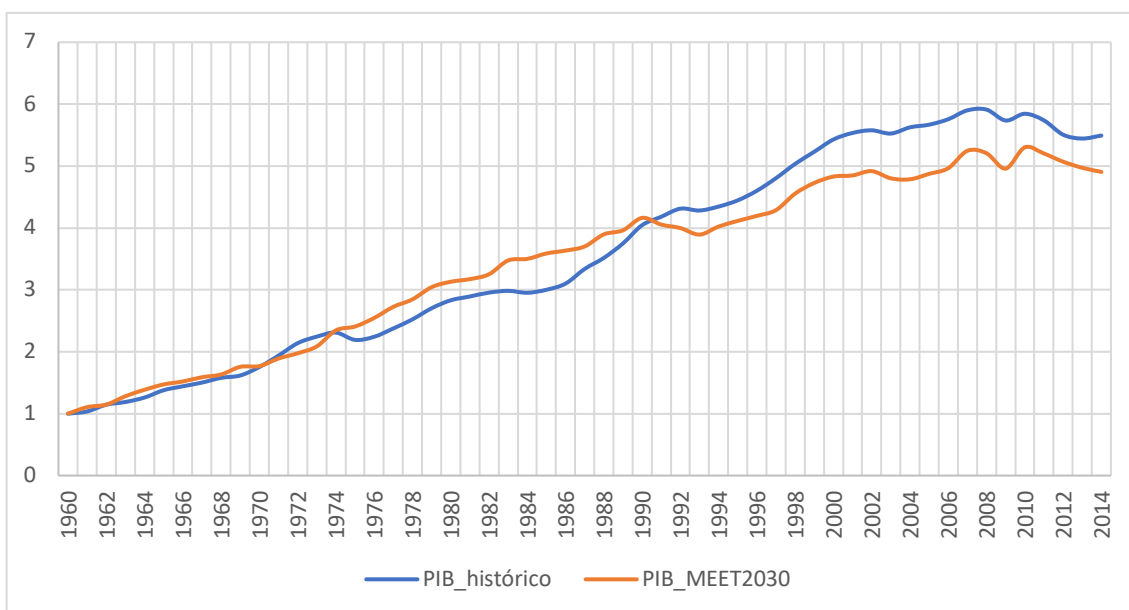


Figura 4.12 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através do modelo MEET2030.

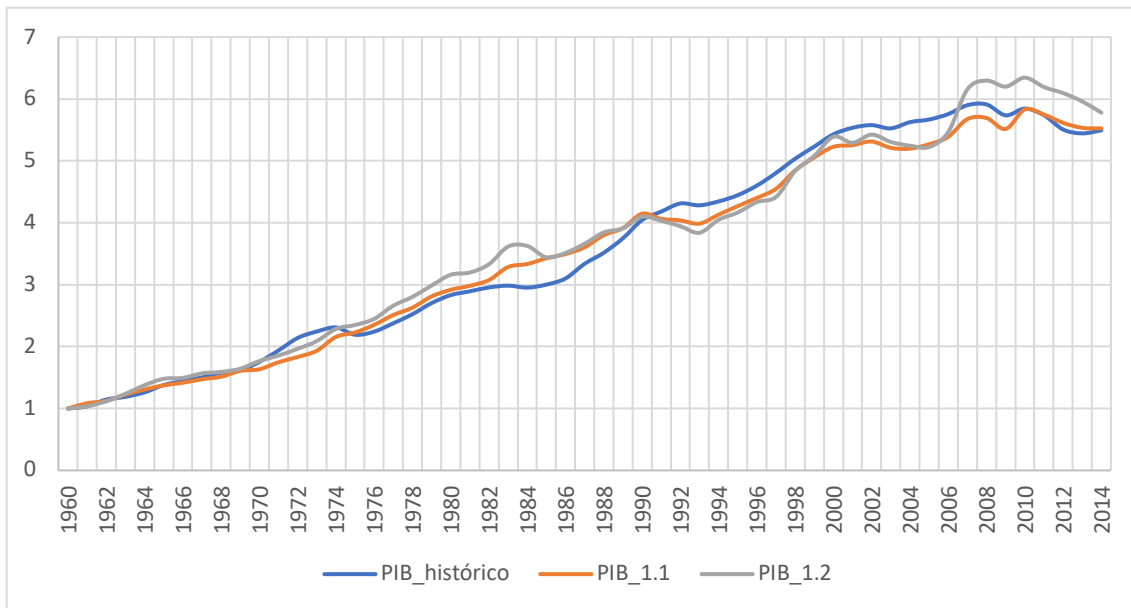


Figura 4.13 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através dos modelos PIB\_1.1 e PIB\_1.2.

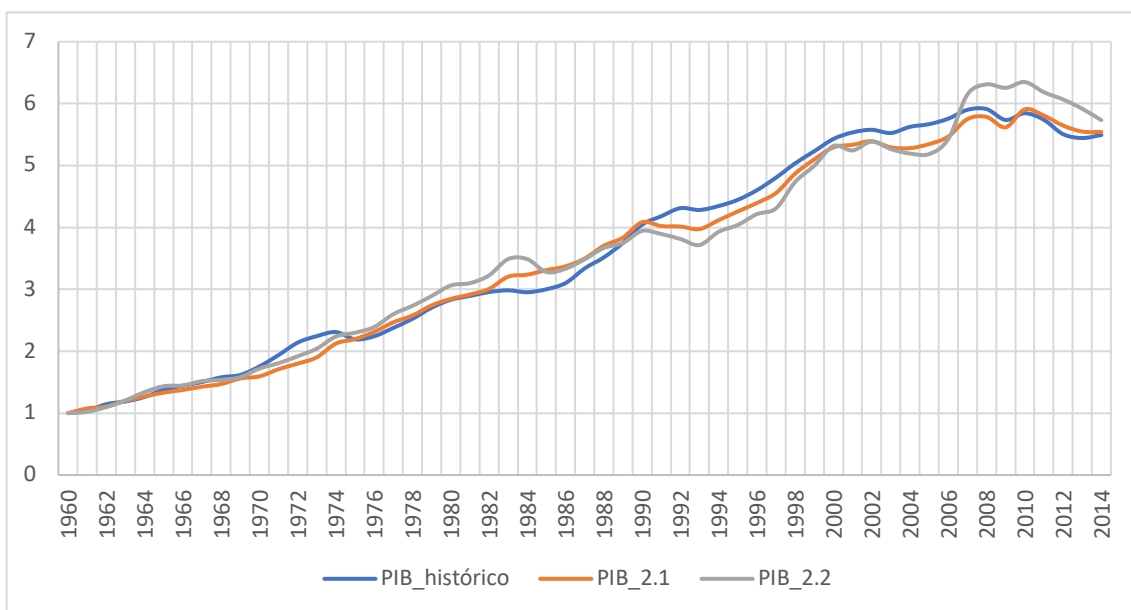


Figura 4.14 PIB histórico (1960 – 2014) e PIB determinado através dos modelos PIB\_2.1 e PIB\_2.2.

	PIB MEET2030	PIB 1.1	PIB 1.2	PIB 2.1	PIB 2.2
$R^2$	0,961	0,985	0,968	0,990	0,983
$R^2$ ajustado	0,959	0,985	0,965	0,989	0,981

Tabela 4.4 Coeficientes de determinação e coeficientes de determinação ajustados.

Na figura 4.12 observa-se o modelo que foi desenvolvido para o MEET2030. Os dados de entrada relativos ao *stock* de capital total são provenientes da base de dados da AMECO e os dados de trabalho humano não corrigido pelo índice de capital humano, da PWT.

Através da tabela 4.4, onde estão presentes os coeficientes de determinação das séries dos diferentes modelos que pretendem estimar o PIB histórico, é possível concluir que houve uma melhoria na precisão dos novos modelos desenvolvidos face ao do MEET2030. Isto quer dizer que todos os novo modelos representam melhor o PIB histórico português que o modelo do MEET2030.

Os modelos PIB\_1.1, PIB\_1.2, PIB\_2.1 e PIB\_2.2 são obtidos através da equações 3.20, 3.21, 3.22 e 3.23, respetivamente.

Analisando agora os novos modelos do PIB, é possível verificar pela tabela 4.4 que o modelo que melhor representa o PIB histórico é o PIB\_2.1, sendo o PIB\_1.2 o que pior representa. Não existe no entanto uma diferença muito significativa de precisão entre os modelos PIB\_1.1, PIB\_2.1 e PIB\_2.2.

O modelo PIB\_1.1 é semelhante ao do MEET2030, a estrutura da equação é igual, diverge o expoente da variável relativa à eficiência exergética agregada calculado através do programa JMULTI e divergem os dados de entrada de *stock* capital e trabalho humano. Estes dados foram os calculados para a presente tese (ver capítulo 4 secções 4.1.2 e 4.1.3). Através de uma maior precisão do cálculo do *stock* de capital e correção do trabalho humano conseguiu-se uma melhor estimação da série de PTF histórica e posterior cálculo do expoente associado à eficiência exergética agregada. Desta forma, melhorando apenas os dados de entrada, conseguiu-se um aumento de aproximadamente 2,6 pontos percentuais no coeficiente de determinação ajustado das séries históricas de um modelo para o outro. O modelo PIB\_1.1 tem a vantagem de ser relativamente simples e ainda assim fornecer bons resultados.

A diferença do modelo PIB\_1.1 para o modelo PIB\_1.2 está no cálculo da PTF, sendo que neste último esta é calculada através da desagregação da eficiência exergética em máquinas estacionárias e não estacionárias. Como se pode concluir pela tabela 4.4 não existe uma vantagem óbvia em conjugar esta desagregação com o *stock* de capital total dado que o modelo PIB\_1.2 perde precisão face ao modelo PIB\_1.1. Esta perda de precisão tem origem na formulação dos modelos de PTF (PTF\_1.1 e PTF\_1.2). Como se pode constatar na tabela 4.3 o coeficiente de determinação ajustado do modelo PTF\_1.2 é inferior ao do modelo PTF\_1.1, logo, o modelo de PIB também irá perder representatividade. Neste caso conclui-se que, do ponto de vista do ajuste histórico, não houve vantagem em desagregar a eficiência exergética agregada visto não existir uma melhoria no coeficiente de determinação.

Os modelos PIB\_2.1 e PIB\_2.2 utilizam a mesma desagregação por tipos de bens de capital (edifícios, máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias) e divergem no cálculo da PTF, sendo que o primeiro modelo calcula esta variável através da eficiência exergética agregada e o segundo calcula-a fazendo a separação entre máquinas estacionárias e não-estacionárias. Como se pode ver na tabela 4.4, o modelo PIB\_2.1 é o que melhor representa o PIB histórico de Portugal entre 1960 e 2014 com um coeficiente de determinação ajustado de aproximadamente 0,99. Comprando o coeficiente de determinação do modelo PIB\_1.1 com o do modelo PIB\_2.1 conclui-se que se ganhou alguma precisão com a desagregação do capital.

Relativamente ao modelo PIB\_2.2, o que tem a configuração pretendida no âmbito desta tese, com o capital e as eficiências exergéticas desagregadas, verifica-se que não é o que melhor representa o PIB histórico dentro dos modelos desenvolvidos. Apesar de ser mais representativo que o modelo do MEET2030, existido assim uma melhoria, quando comparado o modelo PIB\_1.1, semelhante relativamente às variáveis ao modelo do MEET2030, não existe uma melhoria no coeficiente de determinação ajustado para os resultados da série histórica. É de reparar também que, tal como aconteceu do modelo PIB\_1.1 para o modelo PIB\_1.2 (e PTF\_1.1 para PTF\_1.2), do modelo PIB\_2.1 para o modelo PIB\_2.2 (e PTF\_2.1 para PTF\_2.2) houve também uma perda de precisão quando utilizada a eficiência exergética desagregada em máquinas estacionárias e não-estacionárias para determinação da PTF. No entanto, quando comparado o valor do coeficiente de determinação ajustado do modelo PIB\_2.1, o mais representativo do PIB histórico, com o modelo PIB\_2.2, este apenas diverge 0,76 pontos percentuais. Isto significa que o modelo PIB\_2.2 ganha uma variável face ao modelo PIB\_2.1, perdendo 0,76% de representatividade do PIB histórico português entre 1960 e 2014. Nesta leitura o modelo PIB\_2.2 perde 0,34% de representatividade do PIB histórico face ao modelo PIB\_1.1 no entanto ganha 3 variáveis face a este. Isto significa que numa perspetiva de realização de cenários o melhor modelo é o PIB\_2.2, por ainda assim ser um modelo que consegue explicar 98% do crescimento do PIB histórico e por possibilitar a determinação do PIB através da combinação de diferentes tipos de bens de capital com as suas respetivas eficiências exergéticas. Desta forma é assim possível prever algumas das consequências que o aumento da eficiência exergética tem no PIB em determinados setores da economia, como por exemplo o setor dos transportes, e estimar com maior precisão o futuro *stock* de capital e as diferentes contribuições que cada tipo de bem de capital tem para o crescimento do PIB.

## 4.2 Cenários (2015 – 2050)

### 4.2.1 Eficiência exergética e exergia

Na figura 4.15 são apresentadas as duas séries históricas das eficiências exergéticas (máquinas estacionárias e não-estacionárias) e as respectivas projeções referentes ao *cenário de desenvolvimento* e ao *cenário de estagnação*.

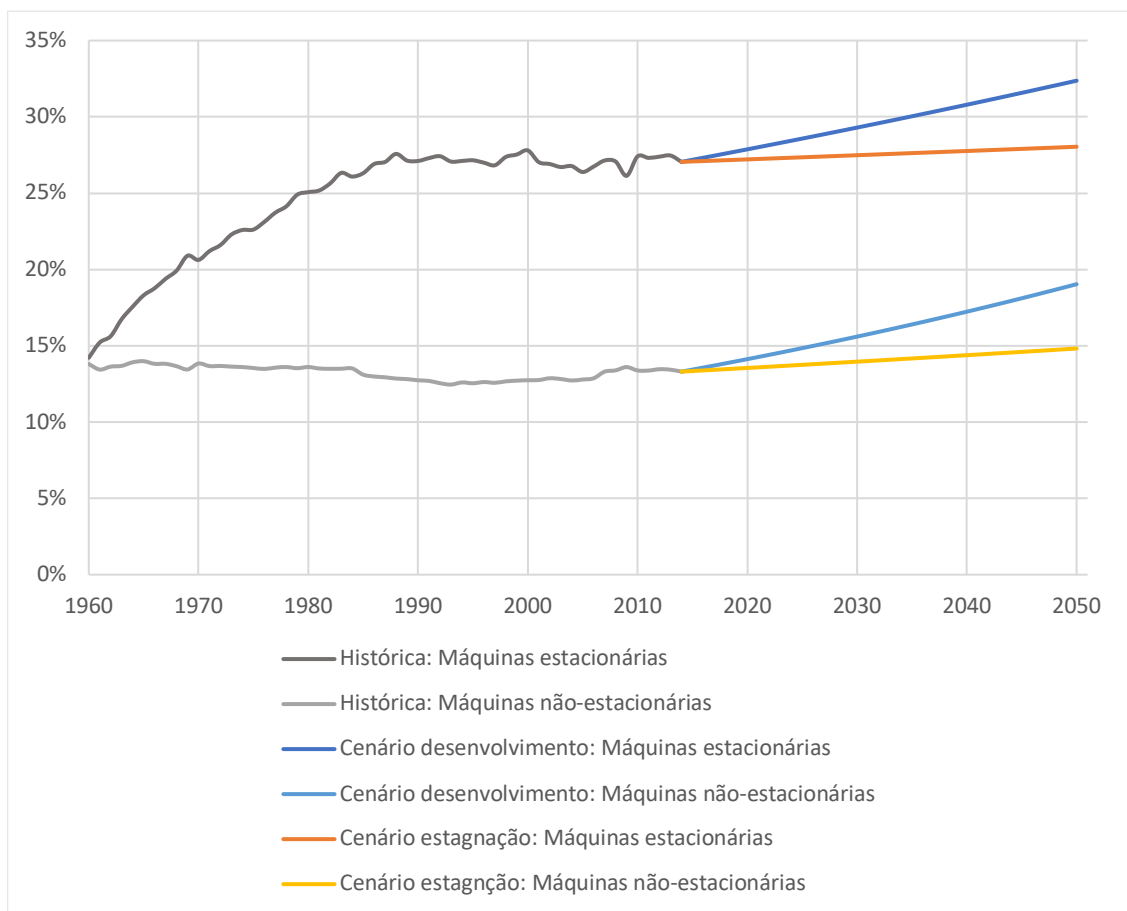


Figura 4.15 Eficiência exergética final-para-útil das máquinas estacionárias e não-estacionárias histórica (1960 – 2014) e dos cenários (2015 – 2050) de desenvolvimento e estagnação.

No *cenário de desenvolvimento* verifica-se uma taxa de crescimento entre 2015 e 2050 de 20% e 43% na eficiência exergética das máquinas estacionárias e não-estacionárias, respectivamente. Este cenário assume que a maior mudança será no setor dos transportes dada a tendência de eletrificação deste. As máquinas estacionárias apresentam também um crescimento significativo, associado ao papel que as TIC terão no aumento sua eficiência agregada.

Quanto ao *cenário de estagnação*, verifica-se uma taxa de crescimento para o mesmo período de tempo de 4% e 11% na eficiência exergética das máquinas estacionárias e não-estacionárias,

respetivamente. Este cenário assume que existirá apesar de tudo um aumento de eficiência ao longo do tempo, no entanto pouco expressivo.

## 4.2.2 Capital

As figuras seguintes (4.16, 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20) apresentam os resultados relativos ao *stock* de capital e FBCF do *cenário de desenvolvimento* e de *estagnação*.

Apesar de ser considerada a mesma taxa em FBCF em percentagem do PIB para os dois cenários, estes vão ter comportamentos diferentes no que diz respeito ao investimento e *stock* de capital. O PIB influenciado pela variação das eficiências exergéticas cresce consideravelmente mais no *cenário de desenvolvimento*, estimulando a economia de modo a existir mais investimento em capital num cenário do que no outro, contribuindo para uma diferenciação no *stock* de capital, como se pode verificar nas figuras 4.16, 4.17 e 4.19.

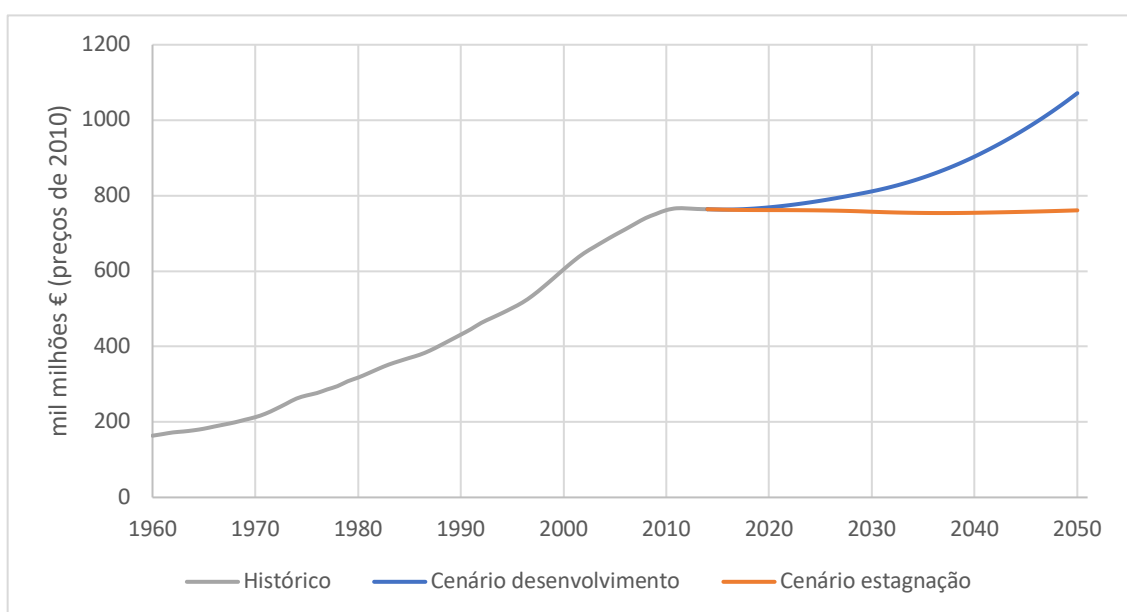


Figura 4.16 *Stock* total de capital histórico (1960 – 2014) e *stock* total de capital relativo aos cenários (2015 – 2050) de desenvolvimento e estagnação a preços constantes de 2010.

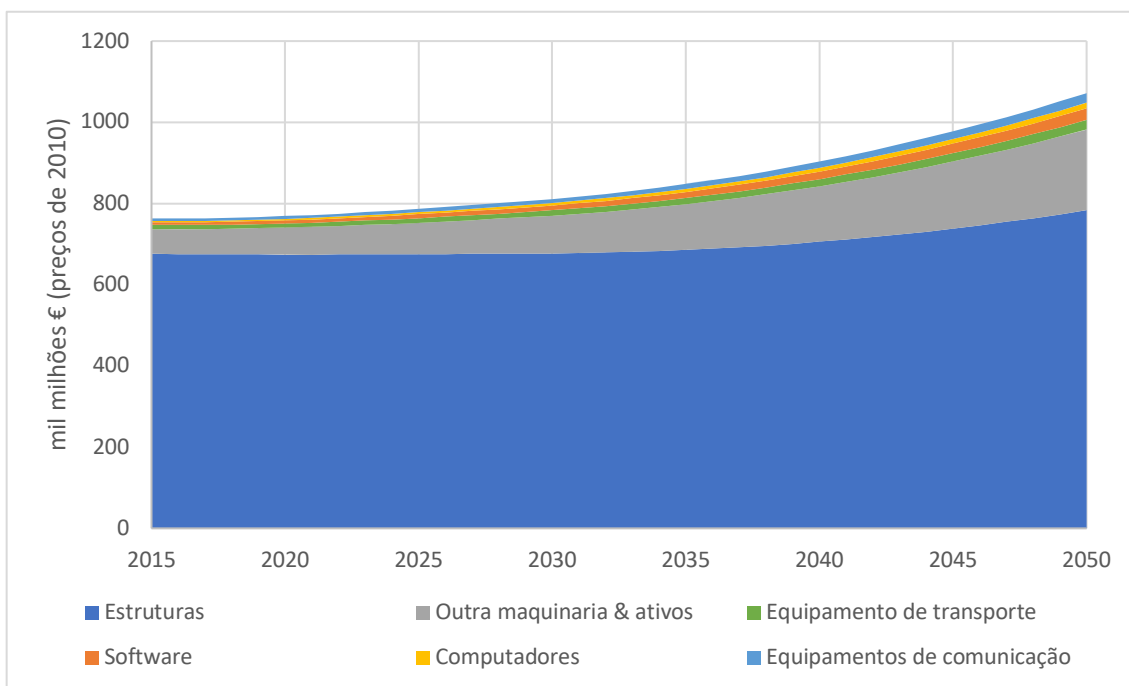


Figura 4.17 *Stock* de capital dividido por tipos de bens de capital a preços constantes de 2010 relativo ao *cenário de desenvolvimento*.

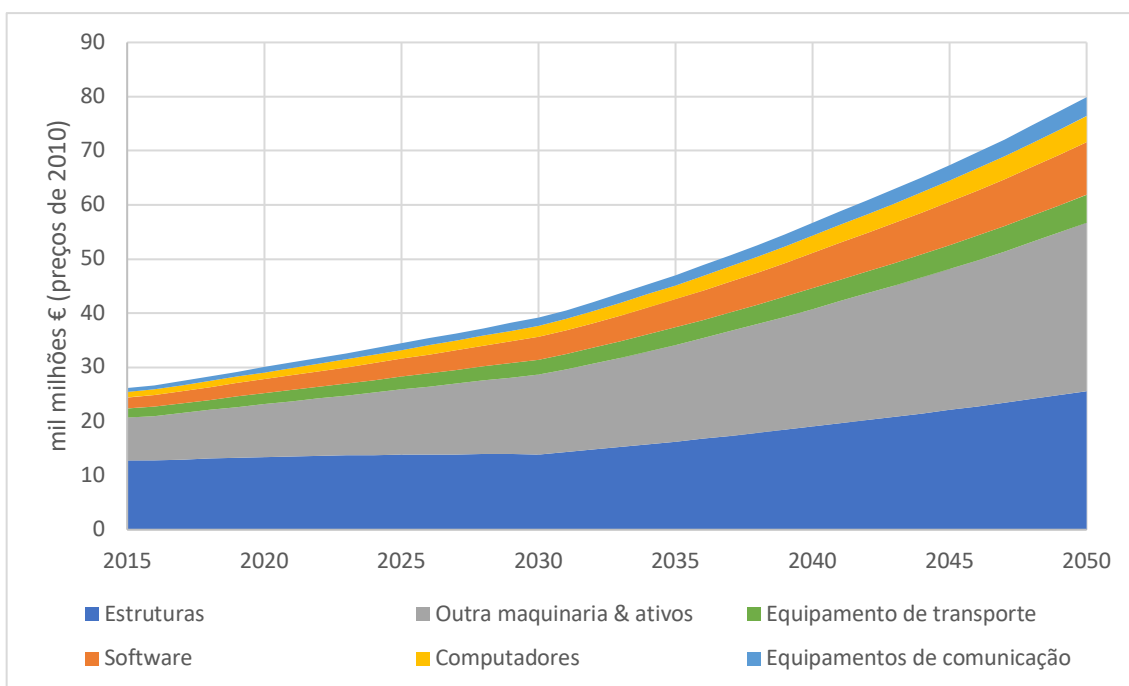


Figura 4.18 FBCF por tipos de bens de capital a preços constantes de 2010 relativa ao *cenário de desenvolvimento*.

Como se pode observar na figura 4.17, no *cenário desenvolvimento*, o *stock* de capital em maquinaria crescerá 225% em 35 anos. Como é mencionado no parágrafo anterior, isto é resultado do investimento em capital mais eficiente energeticamente que origina crescimento económico e incentiva ao maior investimento em capital dado que a FBCF é em percentagem do



PIB. Outro fator que contribui para o crescimento do *stock* deste ativo é o aumento progressivo ao longo do tempo da FBCF em percentagem do PIB (figura 4.18). Os restantes tipos de bens de capital estacionário também verificam um crescimento significativo, ganhando o *software* e as TIC relevância, em termos de *stock* de capital e FBCF sobre os equipamentos de transporte. O *stock* das estruturas também verifica um crescimento, sendo que estas são necessárias para inserir o crescente *stock* de capital de máquinas estacionárias. Este cenário sugere um país mais industrializado e tecnológico, conseqüentemente mais produtivo, permitindo a compensação da força do trabalho humano.

As próximas figuras (4.19 e 4.20) apresentam os resultados do *cenário de estagnação*. Como se pode ver na figura 4.19, o *stock* de capital total sofre uma estagnação devido ao modesto crescimento do PIB, influenciado pelo fraco investimento em capital mais eficiente exergeticamente. O *stock* das estruturas sofre uma redução devido à depreciação destas, ao fraco impulso da economia e à redução da população como se poderá ver na secção 4.2.3.

Apesar do aumento para o dobro em *stock* de capital das máquinas estacionárias, o fraco investimento na eficiência destas faz com que não exista uma aceleração no crescimento económico e conseqüentemente não exista uma estimulação significativa no investimento em ativos.

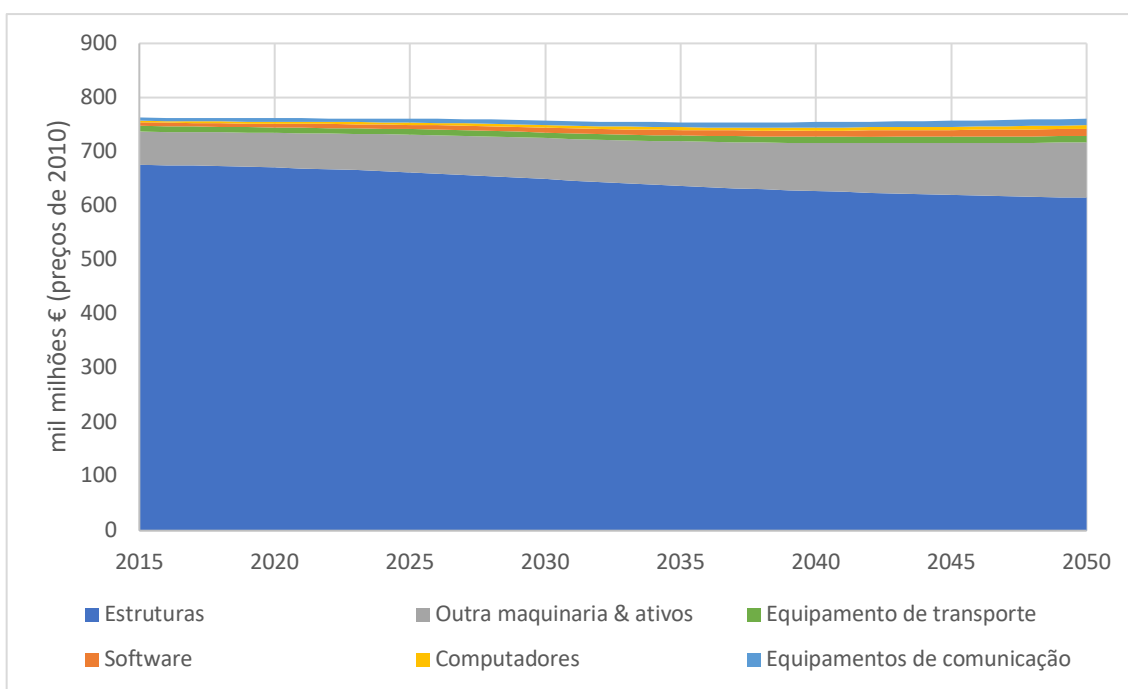


Figura 4.19 *Stock* de capital dividido por tipo de bem de capital a preços constantes de 2010 relativo ao *cenário de estagnação*.

A figura 4.20 mostra que apesar da FBCF ser percentualmente igual à da figura 4.18, devido ao investimento em eficiência exergetica, existe uma estimulação superior de investimento em

capital no *cenário de desenvolvimento* (figura 4.18) do que no *cenário de estagnação* (figura 4.20).

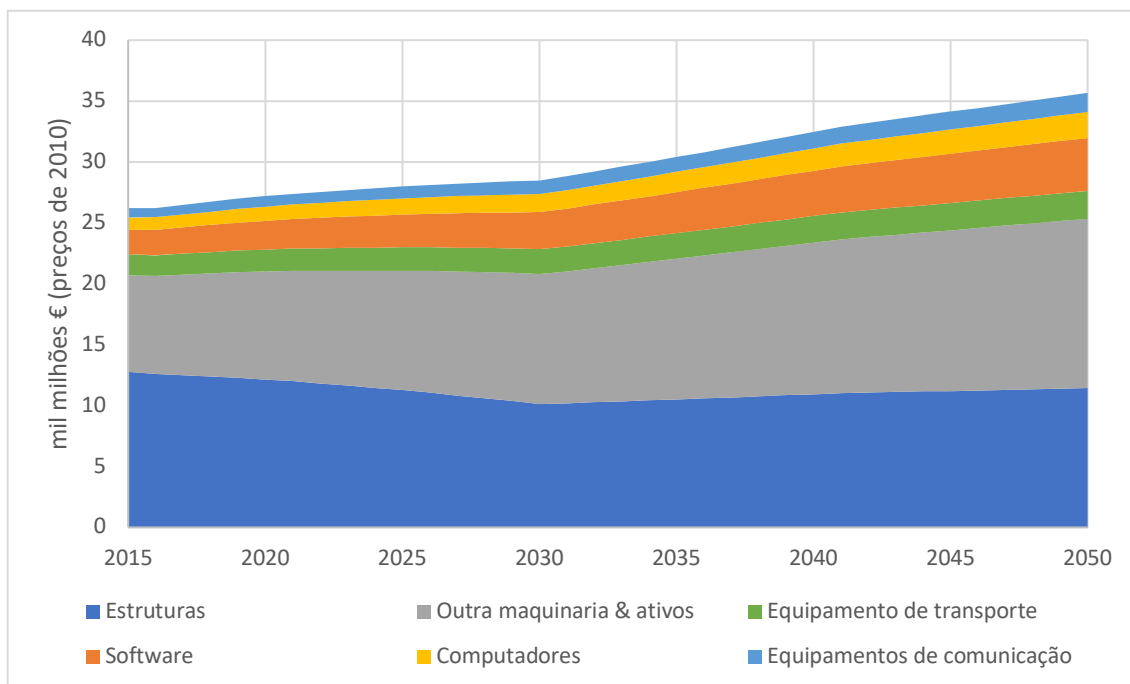


Figura 4.20 FBCF por tipo de bem de capital a preços constantes de 2010 relativa ao *cenário de estagnação*.

### 4.2.3 Trabalho humano

A figura 4.21 apresenta os resultados relativos ao número total de horas trabalhadas nos dois cenários, corrigidas através do índice de capital humano.

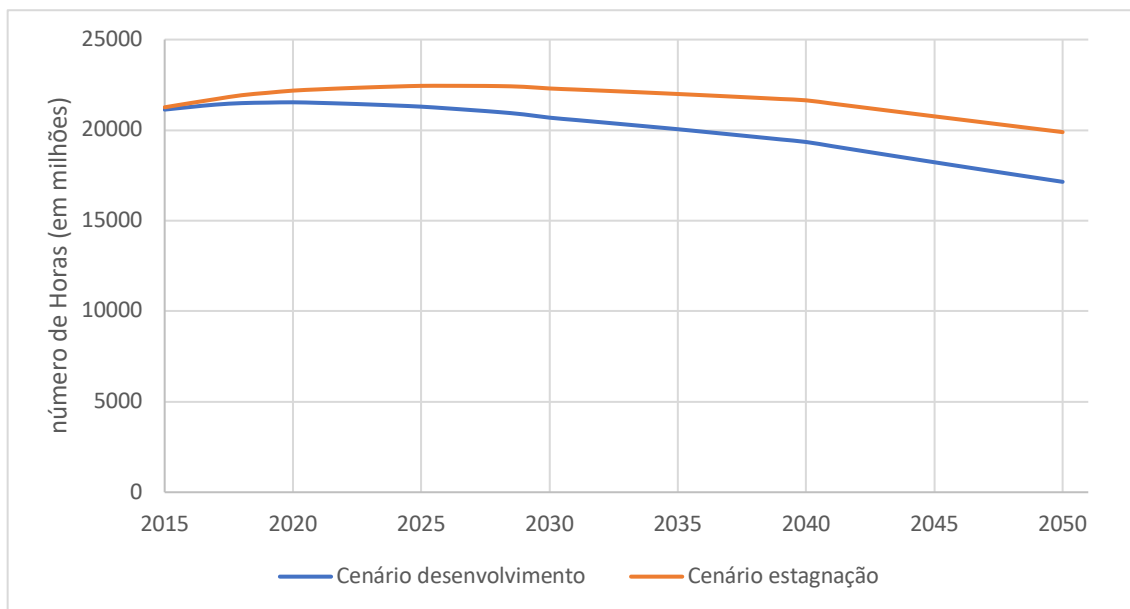


Figura 4.21 Número total de horas trabalhadas (com correção do índice de capital humano) no cenário de desenvolvimento e no cenário de estagnação.

Tanto no cenário de desenvolvimento como no cenário de estagnação verifica-se uma tendência de redução do número total de horas trabalhadas, sendo esta mais acentuada no primeiro. O motivo destas projeções está nos pressupostos assumidos no capítulo 3, secção 3.2.3. No cenário de desenvolvimento a redução de população é superior à do cenário de estagnação, no entanto é acompanhada de um maior nível de educação o que lhe confere uma maior produtividade da força de trabalho, como se pode observar na figura 4.22, onde é visível a multiplicação da força de trabalho (número de pessoas) pelas projeções do índice de capital humano.

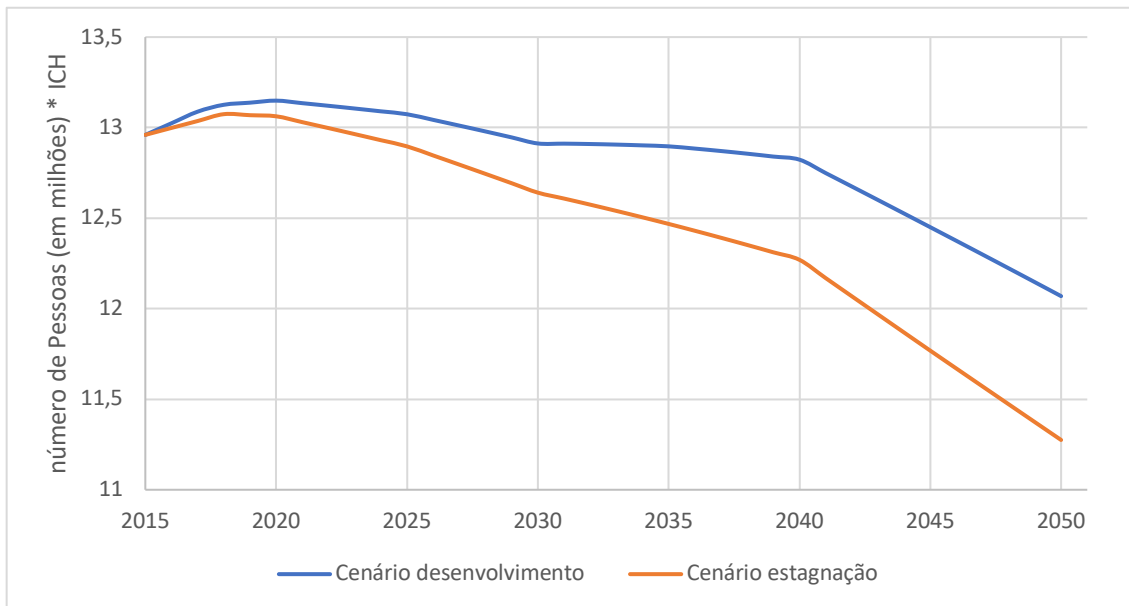


Figura 4.22 Força de trabalho (número de pessoas) a multiplicar pelo índice de capital humano anual (cenário de desenvolvimento e estagnação).

A redução do número do total de horas trabalhadas no *cenário de desenvolvimento* advém da redução do número de horas trabalhadas por pessoa anualmente. Neste cenário é assumido uma redução a uma taxa de 0,6% ao ano, o que significa que em média uma pessoa em 2015 trabalhava 1857 horas por ano, considerando um ano de trabalho equivalente a 240 dias, resulta em 7,7 horas por dia. Em 2050 neste mesmo cenário uma pessoa trabalhará em média 1495 horas anuais, o que equivale a 6,2 horas por dia. No *cenário de desenvolvimento* é assumido que o número total de horas trabalhadas se manterá constante, ou seja, igual a 1857 horas anuais até 2050.

Como está referido na metodologia (capítulo 3, secção 3.2.3) a redução da taxa de desemprego decresce ao mesmo ritmo nos dois cenários, estabilizando em 2029 nos 5% de taxa de desemprego. Nos cenários do IASA verifica-se uma redução de 45% na força de trabalho (número de pessoas) no cenário SSP1 (desenvolvimento) e uma redução de 43% da mesma, no cenário SSP3 (estagnação). Quanto ao índice de capital humano, este aumenta de 2,48 em 2015 para 3,36 e 3,10 em 2050 no cenário SSP1 (desenvolvimento) e no cenário SSP3 (estagnação), respetivamente.

No *cenário de desenvolvimento* está implícito que o trabalho humano acompanhado do aumento do número médio de anos de escolaridade da população, com o aumento da eficiência exergética, dotando ainda mais o trabalho humano através de tecnologia e máquinas, terá como consequência o aumento da produtividade deste, aumentando salários e reduzindo o número de horas trabalhadas, existindo assim um melhoramento na qualidade de vida.

## 4.2.4 Produto Interno Bruto

Os resultados dos dois cenários de PIB provenientes do modelo que tem por base a função de produção da equação 3.23 estão representados através da figura 4.23.

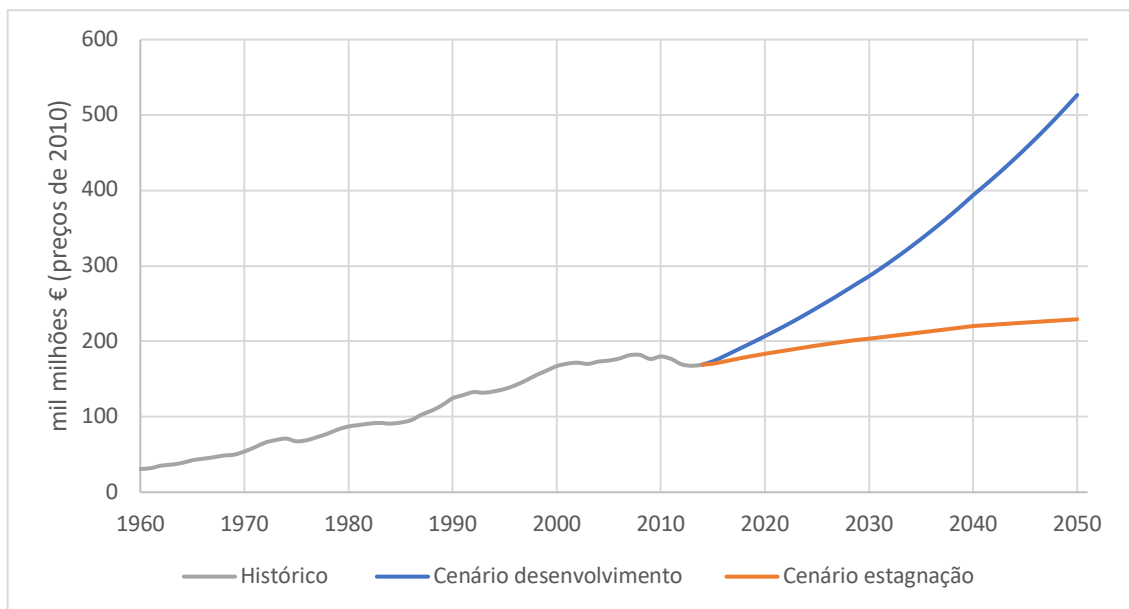


Figura 4.23 PIB histórico observado (1960 – 2014) e cenários de PIB (2015 – 2050).

A curva do *cenário de desenvolvimento* apresenta um crescimento do PIB com tendência exponencial, atingindo em 2050 os 526,57 mil milhões de euros a preços constantes de 2010. Já o *cenário de estagnação* apresenta um comportamento logarítmico, com tendência em estagnar, gerando pouco crescimento económico a longo prazo. O valor de PIB projetado para este cenário em 2050 é de 229,24 mil milhões de euros a preços constantes de 2010.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) prevê<sup>8</sup> para Portugal em 2050 um PIB de 347,20 mil milhões de euros a preços constantes de 2010. No fundo o valor é relativamente semelhante a traçar uma linha de tendência com base na série histórica (1960 – 2014) até 2050, divergindo aproximadamente em 40 mil milhões de euros como se pode observar na figura 4.24, levando a considerar estas projeções como referência a um cenário central.

<sup>8</sup> <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>

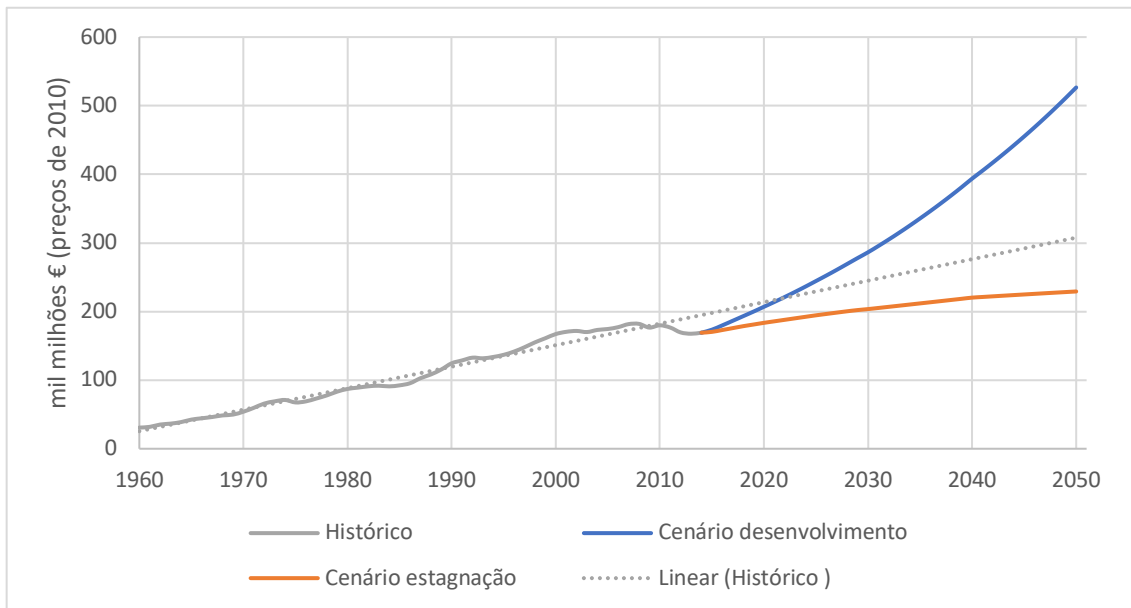


Figura 4.24 PIB histórico observado (1960 – 2014) com respetiva linha de tendência e cenários de PIB (2015 – 2050).

Visto que é assumida a mesma FBCF em percentagem do PIB para os mesmos tipos de bens de capital nos dois cenários, e dado que o número total de horas trabalhadas é superior no *cenário de estagnação*, o que conduz o crescimento económico no *cenário de desenvolvimento* é o aumento da PTF, influenciado pelo aumento da eficiência exergética das máquinas estacionárias e não-estacionárias como pode ser observado na figura 4.25. Isto leva a concluir, que segundo o modelo utilizado, melhoramentos na eficiência exergética conduzem a crescimento económico.

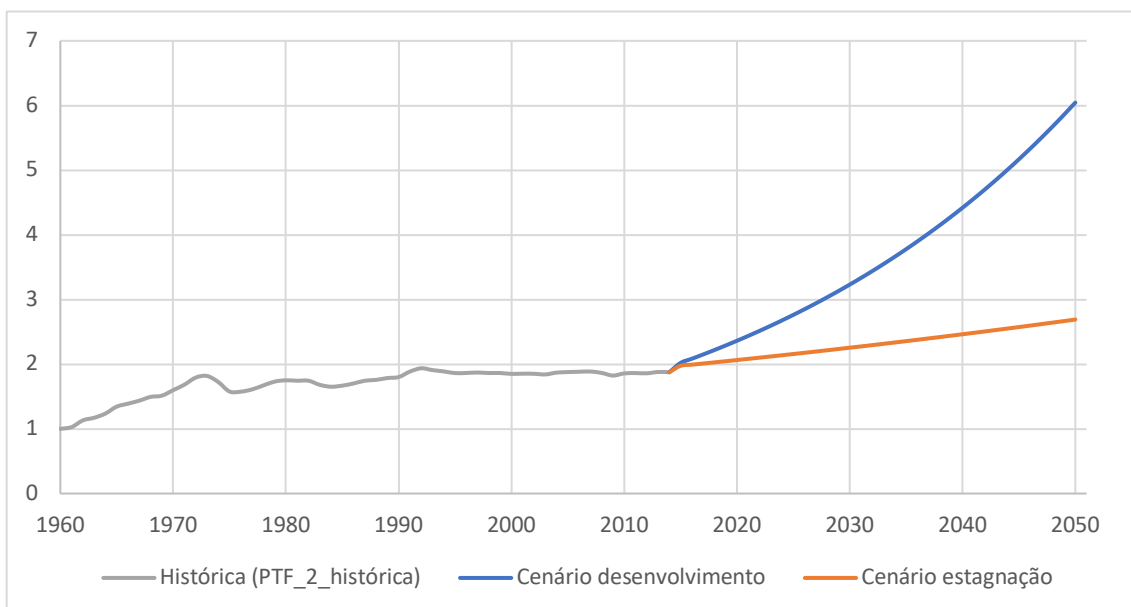


Figura 4.25 PTF histórica (PTF\_2\_histórica) e cenários de PTF (2015 – 2050).

Para existir crescimento económico a longo prazo não basta investir em capital, deve ser realizado investimento em capital mais eficiente de maneira a gerar crescimento na PTF. De forma a existir capital mais eficiente tem de haver investigação e desenvolvimento, progresso técnico e economias de escala (Warr & Ayres 2006).

Sendo que se investe em máquinas (capital) para estas realizarem uma determinada função produtiva que gere valor económico, e sendo que estas máquinas necessitam de energia para desempenhar essa função, é por isso necessário investir em capital para se ter acesso a energia, atribuindo às máquinas (capital) a utilidade para a qual a energia é utilizada. Ou seja, pode-se considerar um determinado valor para o capital, dependente de fatores como o investimento em conhecimento para o seu desenvolvimento e os seus custos de produção relacionados com o preço dos materiais, e posteriormente, através do seu ciclo de vida, pode-se considerar um valor para a sua utilidade, tendo em conta a sua produtividade por meio de transformação de energia com o objetivo de gerar valor acrescentado. Aumentar a eficiência de transformação significa produzir mais a jusante com a mesma quantidade de energia a montante, por outras palavras, significa injetar mais exergia útil na economia de modo a ser realizado mais trabalho físico que permita criar mais valor económico.

Neste trabalho foi analisado de que forma os diferentes tipos de capital, medidos em valor monetário, contribuem de forma diferente para o valor do PIB (tabela 4.1). Este valor monetário não revela no entanto a sua produtividade. Esta é resultado do contributo que cada tipo de bem de capital (máquinas estacionárias e máquinas não-estacionárias) dá ao PIB, medido através sua eficiência exergética. Neste trabalho conclui-se que, historicamente, a variação da eficiência exergética das máquinas não-estacionárias poderá ter uma influência superior na variação da PTF, e conseqüente variação do PIB, do que a variação da eficiência das máquinas estacionárias.

Apesar do investimento em capital não-estacionário ser o que menos reverte para o crescimento do PIB (figura 4.8), a sua produtividade por meio da sua eficiência é consideravelmente relevante para o crescimento da PTF e conseqüente crescimento económico (tabela 4.2). Como se pode ver através da figura 4.25 e 4.15, o tipo de bem de capital que mais tem contribuído para o crescimento da PTF são as máquinas estacionárias devido à sua variação da eficiência exergética. No entanto, o tipo de bem de capital com maior potencialidade para gerar crescimento da PTF é o capital das máquinas não-estacionárias, este que tem mantido a sua eficiência praticamente constante ao longo da série histórica. Na realização de cenários, aplicando uma taxa de crescimento razoável à eficiência exergética do capital não-estacionário verifica-se a longo prazo uma aceleração do crescimento do PIB. Numa ótica de prosperidade esta é uma ótima evidência e incentivo a uma transição energética no setor da mobilidade e transportes. Estes dois setores ao tornarem-se mais eficientes por meio do seu capital irão contribuir para impulsionar de forma significativa o crescimento económico.

Comparando os dois cenários conclui-se que só é possível haver crescimento económico sustentável se existir investimento no aumento da eficiência, podendo este aumento compensar a redução da população e ao mesmo tempo contribuir para menos horas de trabalho humano sem comprometer o desenvolvimento da economia. Neste sentido, estratégias políticas como o Roteiro de Neutralidade Carbónica para 2050<sup>9</sup> são fundamentais, não apenas do ponto de vista ambiental e climático mas também do ponto de vista do desenvolvimento e crescimento económico como demonstra este trabalho.

Relativamente ao trabalho humano, como foi visto através da figura 4.21 e 4.23, consegue-se verificar crescimento económico sustentado (*cenário desenvolvimento*) mesmo com redução do número total de horas trabalhadas através da redução da força de trabalho, movida pela diminuição da população, e através da redução do número de horas trabalhadas por pessoa. Esta redução no trabalho humano é compensada pela produtividade assente no aumento da eficiência das máquinas. Num cenário de desenvolvimento social e económico isto trará consequências positivas para a população, dado que o PIB per capita (a preços constantes de 2010) aumentará (figura 4.26), contribuindo para a riqueza pessoal das pessoas e bem estar destas através da redução do número de horas trabalhadas individualmente. Nesta perspetiva as máquinas irão munir cada vez mais o trabalho humano de forma a tornar este mais produtivo e eficaz.

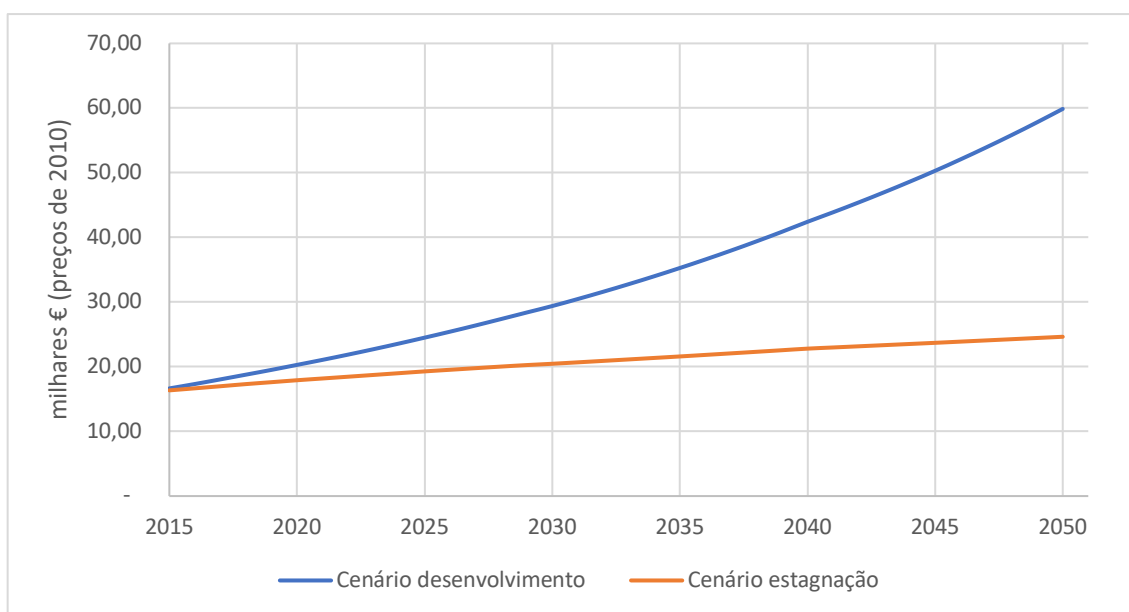


Figura 4.26 PIB per capita anual para cenário de desenvolvimento e estagnação.

Existe no entanto a hipótese da riqueza gerada pela maior produtividade das máquinas não contribuir para a riqueza generalizada da população, ficando apenas na percentagem mais rica, poderosa e educada. Dado que tendencialmente o trabalho humano de carácter repetitivo,

<sup>9</sup> <https://descarbonizar2050.pt>



usualmente desempenhado pela classe mais pobre e deseducada, será em grande parte substituído pela automação (máquinas), ficando desta forma profissões dentro de setores como os da produção, alimentação e transportes (entre outros), com elevado risco de extinção<sup>10</sup>, deverá ser assegurada uma política de inclusão e de investimento na educação de forma a não ser criada uma “classe inútil”. A aposta na educação das gerações recentes é fundamental, só assim se assegura um futuro justo e próspero do ponto de vista social, no qual prevaleça a igualdade de oportunidades, não deixando ninguém para trás. Aos que já têm as suas profissões e estão dentro dos setores com risco elevado de perda de empregos devido à substituição dos seus postos de trabalho pela automação, deve ser aplicada uma política de reintegração através da formação desta força de trabalho. Este é um problema social que o século XXI enfrentará e não será certamente de fácil resolução. No entanto, cabe à sociedade a consciencialização, preparação para o futuro e posteriormente o pedido de auxílio à classe política para debater e aplicar políticas que tendam a solucionar os problemas daqueles que estão mais vulneráveis.

#### 4.2.5 Exergia

Feitas as projeções de PIB até 2050, com base na relação de 1-para-1 de Serrenho et al. (2014), onde é necessário 1MJ de exergia útil para produzir um 1€ de PIB, foram feitas projeções da exergia útil para ambos os cenários e posteriormente da exergia final com base nas projeções de eficiência exergética.

Sendo que a relação de 1-para-1 de Serrenho et al. (2014) se aplica à exergia útil agregada, tiveram de ser determinadas as intensidades históricas da exergia útil das máquinas estacionárias e não-estacionárias (figura 4.27) de forma a estabelecer uma relação para estas. Aplicando a média às séries da figura 4.27, conclui-se que entre 1960 e 2014 são necessários aproximadamente 0,77MJ de exergia útil correspondente a máquinas estacionárias e 0,18MJ de exergia útil correspondente a máquinas não-estacionárias para produzir 1€ de PIB. Transpondo estas duas relações de intensidade até 2050 é possível fazer projeções da exergia útil com base nas projeções do PIB (figura 4.28).

---

<sup>10</sup> <https://www.brookings.edu/research/automation-and-artificial-intelligence-how-machines-affect-people-and-places/>

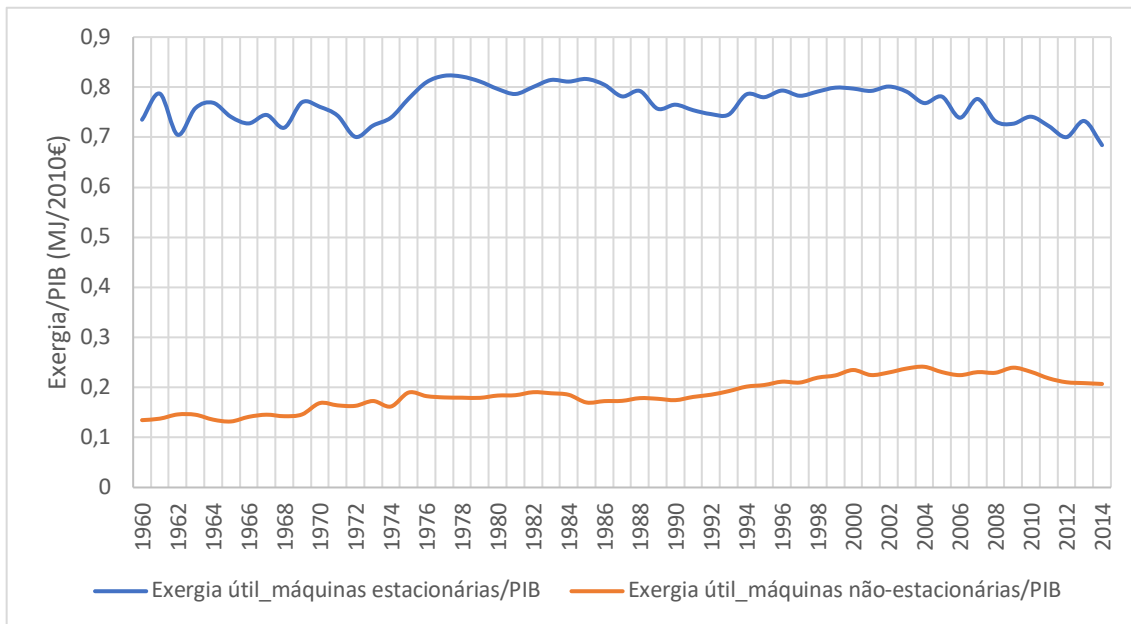


Figura 4.27 Intensidade da exergia útil das máquinas estacionárias e das máquinas não-estacionárias para Portugal (1960 – 2014).

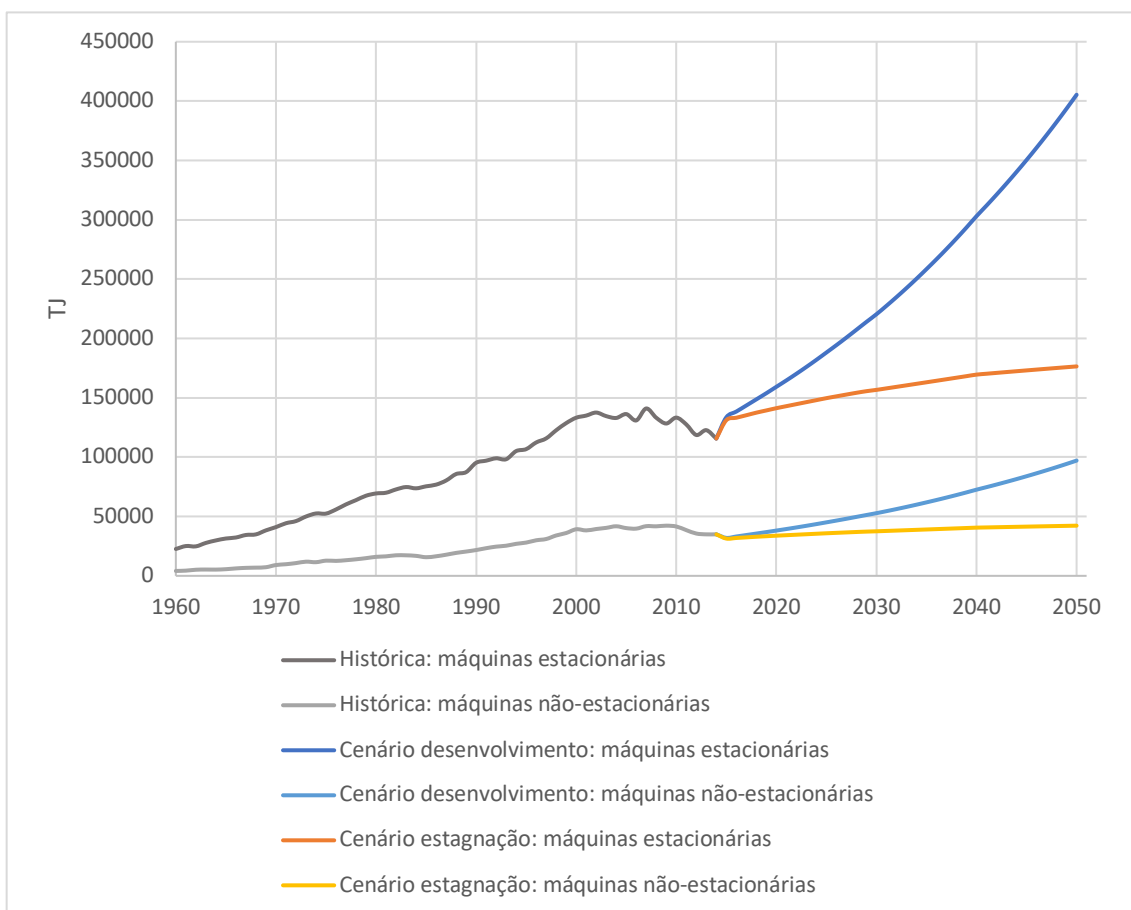


Figura 4.28 Consumo de exergia útil relativo à máquinas estacionárias e não-estacionárias para Portugal: histórico (1960 – 2014) e cenários (2015 – 2050).

À semelhança do que aconteceu nas projeções do projeto MEET2030, nas projeções da figura 4.28 também se verifica um efeito *rebound*, sobretudo no *cenário de desenvolvimento*, ou seja, o aumento da eficiência exergética leva a um consumo maior de exergia útil devido ao crescimento da economia.

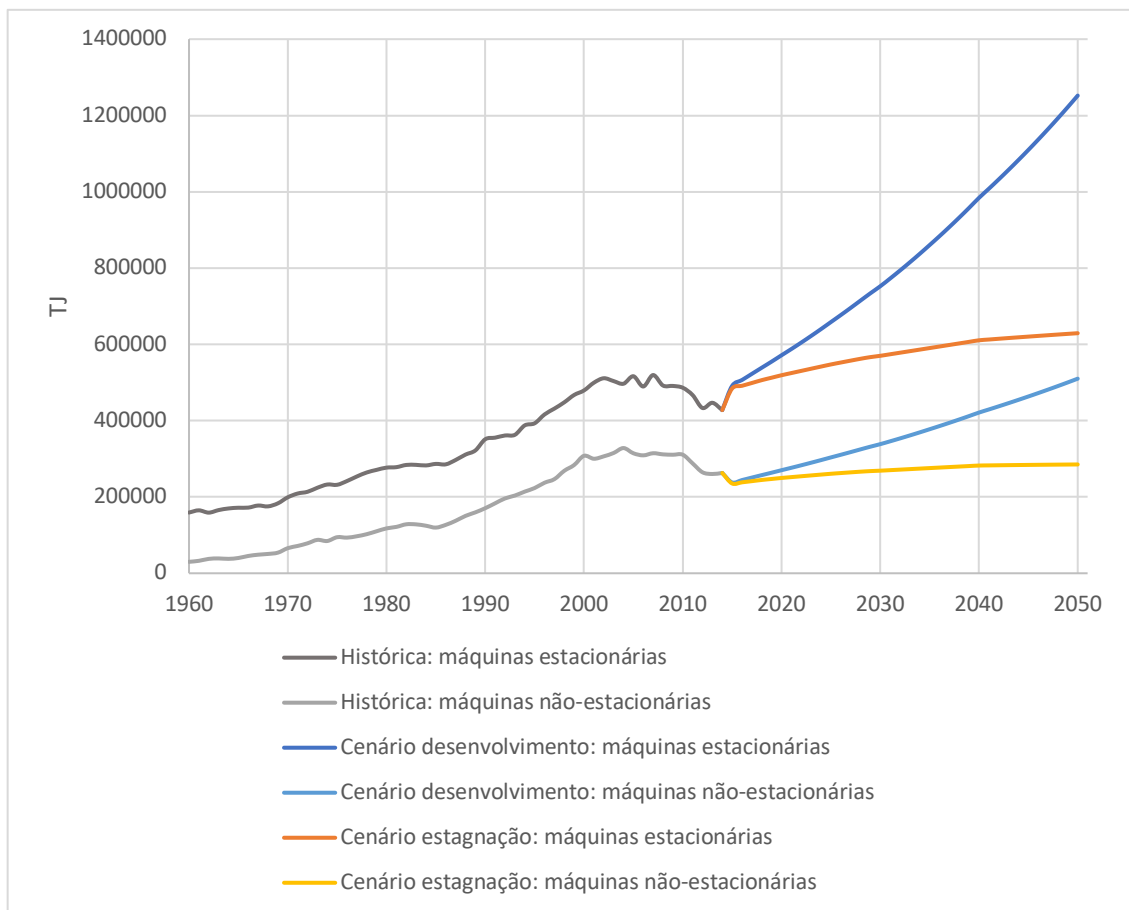


Figura 4.29 Consumo de exergia final relativo à máquinas estacionárias e não-estacionárias para Portugal: histórico (1960 – 2014) e cenários (2015 – 2050).

Observando a figura 4.29 conclui-se que, mesmo com melhorias na eficiência da conversão final-para-útil, devido ao crescimento do consumo de exergia útil, a subida do consumo de exergia final é inevitável. Sendo que uma percentagem da exergia final provem de combustíveis fósseis na fase de exergia primária, um efeito *rebound* com as características das do *cenário de desenvolvimento* levará a um aumento considerável das emissões de dióxido de carbono, conduzindo o progresso económico em detrimento da ecologia. No projeto MEET2030 foram encontradas algumas soluções para contrariar a tendência de aumento de emissões estimuladas pelo efeito *rebound* que podem ser aplicadas neste modelo, apesar desta discussão já sair do âmbito da presente tese. No entanto, com base nas conclusões do MEET2030, o crescimento económico gerado por meio do aumento da eficiência exergética permite o investimento em energias renováveis e sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação das emissões de dióxido de carbono.

Em jeito de conclusão, para que o *cenário de desenvolvimento* seja efetivamente de desenvolvimento económico, social e ambiental, a aposta que deve ser feita no aumento da eficiência exérgica das máquinas estacionárias e não-estacionárias, de forma a criar desenvolvimento e a gerar crescimento económico no país sem comprometer a ecologia, deve ser acompanhada de investimento em energias renováveis e uma forte aposta na educação, elevando o número médio de anos de escolaridade da população, de maneira a que todos beneficiem da riqueza gerada, bem estar e progresso.

# Capítulo 5

## Considerações finais

Neste capítulo procuro resumir o trabalho desenvolvido, evidenciando os principais resultados e conclusões. Procuro também sugerir desenvolvimentos futuros que contribuam para o progresso do conhecimento científico no espectro do papel da energia no crescimento económico através da modelação macroeconómica.

### 5.1 Síntese, contributos e principais conclusões

A energia tem um papel fundamental para o desenvolvimento económico contemporâneo, sendo a variação da eficiência exergética final-para-útil um dos principais responsáveis pela variação da PTF, a medida definida por Solow como “progresso tecnológico” e responsável por parte considerável do crescimento económico.

Verificada em trabalhos anteriores, a relação entre o aumento da eficiência exergética agregada final-para-útil e o crescimento da PTF, foi nesta tese desagregada essa eficiência em máquinas estacionárias e não-estacionárias, de modo a analisar a relação entre ambas e a PTF por meio das suas evoluções históricas, com o objetivo de entender o contributo de cada uma no processo de crescimento da economia. Concluiu-se através da série histórica das eficiências que apenas a das máquinas estacionárias tem tido um aumento considerável ao longo do tempo, tendo sido esta a maior responsável pelo crescimento da PTF, mantendo-se a eficiência das máquinas não-estacionárias praticamente constante entre 1960 e 2014.

De forma a calcular com maior precisão o PIB e a PTF, foi desagregado também o capital por tipos de bens, fazendo a correspondência entre estes e a suas eficiências exergéticas. Através deste processo verificaram-se elasticidades diferentes relativas aos diferentes *stocks* dos tipos de capital, sendo a categoria edifícios a que têm maior impacto na variação do PIB, seguida da categoria máquinas estacionárias e da categoria máquinas não-estacionárias. O valor monetário do *stock* de capital, para cada tipo de bem, elevado à sua respetiva elasticidade em relação ao produto (assumida constante), não captura no entanto o contributo para a produção de melhorias ao nível da eficiência exergética de cada tipo de capital.

Para estimar a relação histórica entre as eficiências do capital relativo às máquinas estacionárias e não-estacionárias e a PTF, foram realizadas análises de cointegração que concluíram existir

cointegração entre as variáveis e pelo menos um sentido de causalidade entre as duas primeiras e a terceira. De seguida, foram calculados os expoentes relativos à produtividade das variáveis de cada tipo de maquinaria para entender a influência que cada uma tem na variação da PTF e consequente crescimento económico. Desta forma conclui-se que a variação da PTF é mais sensível à variação da eficiência exérgica das máquinas não-estacionárias do que à variação da eficiência das máquinas estacionárias, ou seja, a variação da eficiência das primeiras tem maior influência na variação da PTF, sendo assim mais produtivas que as segundas. Dado que a eficiência do capital não-estacionário se tem mantido constante ao longo do tempo, e que o contributo histórico para o crescimento da PTF tem vindo sobretudo do aumento da eficiência das máquinas estacionárias, isto leva a crer que existe um elevado potencial de crescimento económico por meio da transição eléctrica nos setores da mobilidade e transportes.

Através dos modelos de representação do PIB histórico desenvolvidos nesta tese, conseguiu-se uma melhor aproximação do PIB histórico observado, comparativamente com o modelo desenvolvido para o projeto MEET2030. Para a realização de cenários foi escolhido o modelo com maior número de variáveis, de forma a estimar o PIB através da evolução das eficiências desagregadas, e também, da maior precisão do cálculo de *stock* de capital desagregado. Foram criados dois cenários possíveis, o de desenvolvimento e o de estagnação, havendo no entanto espaço para mais combinações relativamente à variação das variáveis, criando assim um maior número de hipóteses e tirando maior aproveitamento do modelo.

Para os cenários foram utilizadas projeções demográficas do IIASA, instituto este com o segundo maior número de citações, apenas ultrapassado pela ONU. As projeções do IIASA foram as escolhidas dado o seu método estatístico que leva em conta a opinião de especialistas e a sua metodologia que relaciona o nível de educação com a taxa de fertilidade.

Realizados os cenários, concluiu-se que o aumento da eficiência das máquinas estacionárias impulsionado pelas TIC e o aumento da eficiência das máquinas não-estacionárias por meio da eletrificação conseguem estimular o crescimento económico, compensado o decréscimo da força de trabalho. No *cenário de desenvolvimento* verifica-se no entanto um acentuado efeito *rebound* que pode contribuir para o aumento de emissões de dióxido de carbono se não existir investimento em energias renováveis e sequestração de carbono. Dada a tendência da substituição do trabalho humano menos qualificado por máquinas, deverá existir uma aposta paralela na educação da população, de forma a esta beneficiar integralmente do crescimento económico gerado, evitando a criação de uma “classe inútil”, garantindo o progresso social e económico do país.

## 5.2 Desenvolvimentos Futuros

Sendo que a função de produção desenvolvida ainda não representa na integridade o PIB histórico observado, o estudo do papel da energia no crescimento económico deverá continuar a ser aprofundado, inclusive a contribuição de cada tipo de bem de capital com base na sua eficiência exergética, dada a ocorrida perda de representatividade que existiu no cálculo da PTF histórica quando passado do modelo que utilizada a eficiência exergética agregada final-para-útil para o modelo em que utilizada a mesma eficiência no entanto desagregada em dois tipos de maquinaria. Dado o conhecimento prematuro da superior produtividade das máquinas não-estacionários em relação às máquinas estacionárias para o crescimento do PIB, esta relação deverá também ser aprofundada em desenvolvimentos futuros (por exemplo, comparar com outros países).

Outro fator não abrangido por esta tese mas de importante relevância, no meu entender, para o estudo do crescimento económico é o peso que a informação e o desenvolvimento de algoritmos (inteligência artificial e *machine learning*) terão no futuro. Se a contribuição destas tecnologias para o crescimento do PIB apenas se refletirá pela via do aumento da eficiência exergética ou se estas relevam um contributo alternativo.

De forma a desenvolver um modelo macroeconómico futuro mais rigoroso, deixo como sugestão a atribuição de eficiência a cada tipo de bem de capital, endogeneizando a relação entre o *stock* de capital e a eficiência exergética agregada, estando esta última dependente do investimento em cada tipo de bem de capital. Outra sugestão é partir do trabalho desenvolvido pelo IIASA e desenvolver um modelo que calcule o trabalho humano por meio do estudo da relação entre o PIB, número médio de anos de escolaridade (educação) e taxa de fertilidade.

# Referências

- Abramovitz, M. (1956). Resource and output trends in the United States since 1870. In *Resource and output trends in the United States since 1870* (pp. 1-23). NBER.
- Acemoglu, D. (2008). *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton University Press.
- Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Amaral, L. (2016). *Economia portuguesa, as últimas décadas*. Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- AMECO European Commission's annual macro-economic database Available online at: [http://ec.europa.eu/economy\\_finance/db\\_indicators/ameco/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/economy_finance/db_indicators/ameco/index_en.htm) (2019)
- Ayres, R. U., Ayres, L. W., & Warr, B. (2003). Exergy, power and work in the US economy, 1900–1998. *Energy*, 28(3), 219-273.
- Ayres, R. U., & Warr, B. (2005). Accounting for growth: the role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, 16(2), 181-209.
- Ayres, R. U., & Warr, B. (2010). *The economic growth engine: How energy and work drive material prosperity*. Edward Elgar Publishing.
- De la Fuente, A., & Doménech, R. (2006). Human capital in growth regressions: how much difference does data quality make?. *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 1-36.
- Felício, L., Henriques, S. T., Serrenho, A., Domingos, T., & Sousa, T. (2019). Insights from past trends in exergy efficiency and carbon intensity of electricity: Portugal, 1900–2014. *Energies*, 12(3), 534.



Foxon, T. J. (2017). *Energy and economic growth: why we need a new pathway to prosperity*. Routledge.

Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2013). Capital, Labor and TFP in PWT8. 0. *University of Groningen (unpublished)*, 23-24.

Instituto Superior Técnico (IST), Business Council for Sustainable Development for Portugal (BCSD Portugal), 2018. Meet 2030 - Business, Climate Change and Economic Growth. Technical Report. BCSD Portugal, [http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2017/11/Technical\\_Report\\_Meet2030\\_final\\_WEB.pdf](http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2017/11/Technical_Report_Meet2030_final_WEB.pdf)

Jäger, K. (2016). EU KLEMS Growth and Productivity Accounts 2017 Release, Statistical Module1. *Description of Methodology and Country Notes for Spain*.

Lourtie, P. (2011). Portugal no contexto da crise do euro. *Relações Internacionais (R: I)*, (32), 061-105.

Lucas Jr, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.

Lutz, W., Butz, W. P., & Samir, K. E. (Eds.). (2014). *World population and human capital in the twenty-first century*. OUP Oxford.

Lutz, W., Goujon, A., KC, S., Stonawski, M., & Stillianakis, N. (2018). *Demographic and Human Capital Scenarios for the 21st Century: 2018 assessment for 201 countries*. Publications Office of the European Union.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2010). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons.

PWT9.1 *Penn World Table – Version 9.1* Available online at: <https://febpwt.webhosting.rug.nl> (2019)

Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.

Santos, J., Domingos, T., Sousa, T., & Aubyn, M. S. (2018). Useful exergy is key in obtaining plausible aggregate production functions and recognizing the role of energy in economic growth: Portugal 1960–2009. *Ecological economics*, 148, 103-120.

- Serrenho, A. G. C. H. (2014). Useful work as an energy end-use accounting method: Historical and economic transitions and European patterns. *University of Lisbon-Instituto Superior Técnico: Lisbon, Portugal*.
- Serrenho, A. C., Warr, B., Sousa, T., Ayres, R. U., & Domingos, T. (2016). Structure and dynamics of useful work along the agriculture-industry-services transition: Portugal from 1856 to 2009. *Structural Change and Economic Dynamics*, 36, 1-21.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1), 65-94.
- Stern, D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy economics*, 22(2), 267-283.
- Stresing, R., Lindenberger, D., & Kümmel, R. (2008). Cointegration of output, capital, labor, and energy. *The European Physical Journal B*, 66(2), 279-287.
- Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic record*, 32(2), 334-361.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- Warr, B., & Ayres, R. (2006). REXS: A forecasting model for assessing the impact of natural resource consumption and technological change on economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics*, 17(3), 329-378.
- Wittgenstein Centre for Demography and Global Human Capital, (2018). *Wittgenstein Centre Data Explorer Version 2.0 (Beta)*. Available at: <http://www.wittgensteincentre.org/dataexplorer> (2019)

# Anexo A

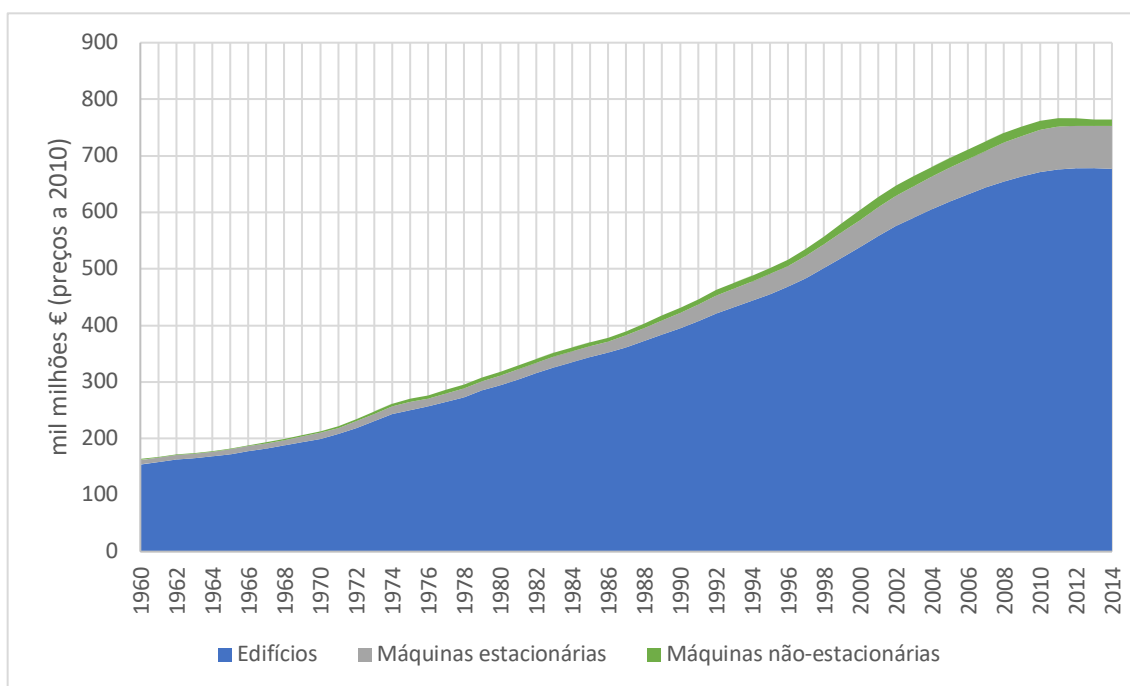


Figura A Série histórica (1960 – 2014) do *stock* de capital organizado por tipos de bens na desagregação pretendida (*Edifícios*, *Máquinas estacionárias*, *Máquinas não-estacionárias*) para Portugal a preços constantes de 2010.

# Anexo B

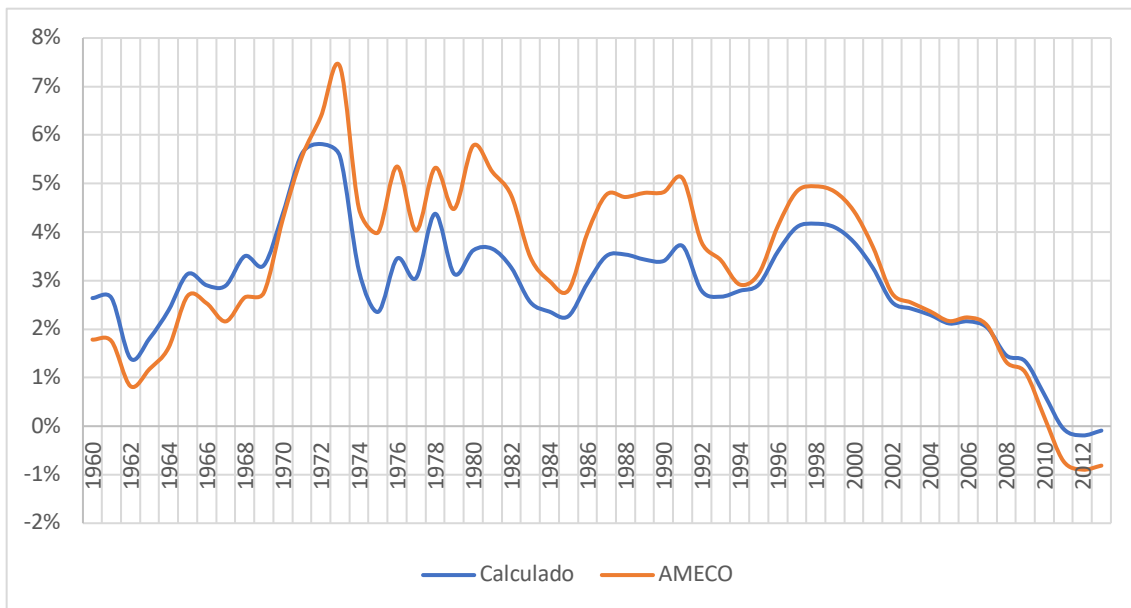


Figura B Taxas de crescimento anual das séries de *stock* de capital total (1960 – 2014): calculada e AMECO.

# Anexo C

Testes de raiz unitária realizadas às variáveis sujeitas a análise de cointegração. Laranja significa que o teste rejeita a hipótese nula. Verde significa que o teste aceita a hipótese nula. Amarelo indica o número ótimo de *lags* sugerido pelo programa.

REJEITO hip nula		Unit Root Tests					
ACEITO hip nula		ADF Test		Schmidt Philips Test		KPSS Test	
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnPTF_1	0 lags	-3,446	-3,41	-1,9681	-18,1	0	0,146
	1 lags	-3,9714	-3,41	-3,0984	-18,1	0,4275	0,146
	2 lags	-2,7522	-3,41	-3,8028	-18,1	0,3068	0,146
	3 lags	-4,0624	-3,41	-4,2178	-18,1	0,2477	0,146
		First Differences					
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnPTF_1	0 lags	-3,683	-2,86	-27,2516	-18,1	0	0,463
	1 lags	-4,1821	-2,86	-31,848	-18,1	0,7429	0,463
	2 lags	-3,3794	-2,86	-30,4104	-18,1	0,6092	0,463
	3 lags	-3,5668	-2,86	-26,5612	-18,1	0,5529	0,463
		Unit Root Tests					
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnPTF_2	0 lags	-3,7781	-3,41	-1,8541	-18,1	0	0,146
	1 lags	-4,2352	-3,41	-2,889	-18,1	0,4268	0,146
	2 lags	-2,9204	-3,41	-3,5294	-18,1	0,3073	0,146
	3 lags	-4,3234	-3,41	-3,9025	-18,1	0,2488	0,146
		First Differences					
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnPTF_2	0 lags	-3,7543	-2,86	-28,0368	-18,1	0	0,463
	1 lags	-4,2909	-2,86	-32,6567	-18,1	0,7217	0,463
	2 lags	-3,4412	-2,86	-31,1116	-18,1	0,5942	0,463
	3 lags	-3,7596	-2,86	-27,1463	-18,1	0,5407	0,463
		Unit Root Tests					
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnEF_est	0 lags	-4,0688	-3,41	-0,0561	-18,1	0	0,146
	1 lags	-4,1418	-3,41	-0,0708	-18,1	0,6421	0,146
	2 lags	-4,4831	-3,41	-0,0876	-18,1	0,4477	0,146
	3 lags	-3,9097	-3,41	-0,1032	-18,1	0,3505	0,146
		First Differences					
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
lnEF_est	0 lags	-5,7131	-2,86	-39,9913	-18,1	0	0,463
	1 lags	-3,0016	-2,86	-37,8432	-18,1	1,7595	0,463
	2 lags	-2,9262	-2,86	-43,9774	-18,1	1,3697	0,463
	3 lags	-2,8946	-2,86	-50,1254	-18,1	1,1335	0,463

		Unit Root Tests					
		ADF Test		Schmidt Philips Test		KPSS Test	
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
InEF_nest	0 lags	-0,8791	-3,41	-2,9623	-18,1	0	0,146
	1 lags	-0,7007	-3,41	-3,0503	-18,1	0,4223	0,146
	2 lags	-0,9482	-3,41	-3,4176	-18,1	0,2952	0,146
	3 lags	-0,7992	-3,41	-3,6535	-18,1	0,232	0,146
		First Diferences					
		ADF Test		Schmidt Philips Test		KPSS Test	
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
InEF_nest	0 lags	-7,9442	-2,86	-48,3829	-18,1	0	0,463
	1 lags	-4,424	-2,86	-45,5096	-18,1	0,221	0,463
	2 lags	-3,8388	-2,86	-48,0884	-18,1	0,2095	0,463
	3 lags	-3,6624	-2,86	-49,5046	-18,1	0,2104	0,463
		Unit Root Tests					
		ADF Test		Schmidt Philips Test		KPSS Test	
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
InEFF	0 lags	-4,854	-3,41	-0,1433	-18,1	0	0,146
	1 lags	-4,3028	-3,41	-0,1935	-18,1	0,6079	0,146
	2 lags	-4,4308	-3,41	-0,242	-18,1	0,4241	0,146
	3 lags	-2,9923	-3,41	-0,2888	-18,1	0,3324	0,146
		First Diferences					
		ADF Test		Schmidt Philips Test		KPSS Test	
		value of test statistic	5%	value of test statistic	5%	value of test statistic	5%
InEFF	0 lags	-5,3032	-2,86	-32,9035	-18,1	0	0,463
	1 lags	-2,8002	-2,86	-30,1163	-18,1	1,4802	0,463
	2 lags	-3,0235	-2,86	-34,0201	-18,1	1,1345	0,463
	3 lags	-3,2902	-2,86	-39,7945	-18,1	0,9267	0,463