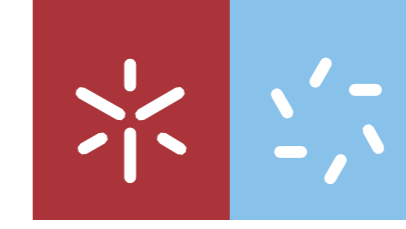




Avaliação Económica de Medidas de Eficiência Energética no Setor Residencial, em Portugal

Susana Vanessa Rodrigues Duarte

Universidade do Minho
Escola de Ciências





Universidade do Minho
Escola de Ciências

Susana Vanessa Rodrigues Duarte

**Avaliação Económica de Medidas de
Eficiência Energética no Setor
Residencial, em Portugal**

Dissertação de Mestrado
Ciências e Tecnologias do Ambiente
Energia

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)
Professora Doutora Rita Sousa
Professor Doutor Francisco Macedo

Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 3

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho

[Caso o autor pretenda usar uma das licenças Creative Commons, deve escolher e deixar apenas um dos seguintes ícones e respetivo lettering e URL, eliminando o texto em itálico que se lhe segue. Contudo, é possível optar por outro tipo de licença, devendo, nesse caso, ser incluída a informação necessária adaptando devidamente esta minuta]



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Professora Doutora Rita Sousa e ao Professor Doutor Francisco Macedo pelo apoio e acompanhamento prestado durante a elaboração desta dissertação.

Agradeço aos meus pais e às minhas duas irmãs pela confiança e apoio demonstrado.

Finalmente, agradeço a todos os meus colegas de mestrado e de licenciatura pelo apoio demonstrado durante estes últimos cinco anos.

Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 4

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo: Avaliação Económica de Medidas de Eficiência Energética no Setor Residencial, em Portugal.

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma metodologia Custo-Benefício que permita avaliar se as medidas presentes na Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril, que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) 2016, a nível dos edifícios residenciais, levam a reduções significativas no consumo de energia e nas emissões de CO₂ equivalente (CO₂eq.). Também se determina os custos associados à aplicação destas medidas. Para isso, foram desenvolvidos um cenário de Referência e um cenário PNAEE com medidas similares, e graus de eficiência diferentes.

A análise Custo-Benefício recorre ao método de cálculo de indicadores financeiros, em específico, do Valor Atual Líquido (VAL). Calculam-se também os consumos energéticos e as emissões de CO₂eq. Por último, realiza-se uma análise de sensibilidade aos preços das emissões de CO₂eq.

Foi possível concluir que em termos financeiros o cenário de Referência comporta-se de melhor forma, pois apresenta um VAL maior que o cenário PNAEE. Contrariamente, em termos de consumo energético e de emissões de CO₂ eq., o cenário PNAEE tem melhores resultados, pois a aplicação das suas medidas apresenta uma redução de quase de 45% do consumo energético e das emissões de CO₂eq. Por último, em relação às análises de sensibilidade ao preço das emissões, conclui-se que no cenário PNAEE, há uma redução nos custos de emissão, pois a quantidade de emissões é menor que as do cenário de Referência.

Tenta-se com este trabalho contribuir para o aumento do conhecimento nesta temática, deixando para análises futuras os impactos das diferentes tipologias de habitações, e, ainda, a variabilidade meteorológica, que extravasam o propósito desta tese.

Concluimos assim que este plano o PNAEE tem um potencial de descarbonização muito próximo dos 45%, valor que ainda não tinha sido explicitamente calculado e analisado, e que faz com que seja possível atingir as metas do setor residencial e serviço previstas no Roteiro De Baixo Carbono de 2050.

Palavras-Chaves: Análise custo-benefício, Consumo energético, Emissões de gases de efeito de estufa, PNAEE.

Abstract: Economic evaluation of energy efficiency measures in the household sector in Portugal.

This dissertation aims to develop a cost-benefit analysis that allows the evaluation of measures present in the Resolution of the Minister Council n. °20/2013, of April 10th, on residential buildings, that have significant reductions in energy consumption and carbon dioxide emissions and understand the costs associated with the application of these measures. To determine the costs associated with the application of these measures, it was developed a Reference and PNAEE scenario with similar measures and different efficiency degrees.

The method used in the cost-benefit analysis to calculate the financial indicators was the Net Present Value. The energy consumption and CO₂ equivalent (CO₂eq.) emissions were also calculated. Finally, it was done a sensibility analysis to the price of CO₂eq. emissions.

In financial terms, when comparing the two scenarios, the Reference and the PNAEE, it was possible to conclude that the Reference scenario is better because it presents a bigger NPV than the PNAEE scenario. On the other hand, in terms of energetic consumption and CO₂eq. emissions, the PNAEE scenario has better results, with a reduction of almost 50% of the energy consumption and CO₂eq. emissions. Finally, the sensibility analysis to the emissions prices, concludes that in the PNAEE scenario, there is a reduction of the emissions costs, because the emissions of CO₂eq. are lower than those emitted in the Reference scenario.

With this report, we tried to improve the knowledge on this thematic, leaving for future analysis the impacts of different housing typologies and the meteorological variability, that goes beyond the goal of this dissertation.

It has been concluded that the PNAEE has a potential of decarbonization close to 43%. The PNAEE doesn't have a set value for decarbonization and making it possible to achieve our goal in the residential and services sector planned on Roadmap of Low Carbon of 2050.

Key-words: Cost-benefit analysis, Energy consumption, Greenhouse gases emissions, PNAEE.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Consumo energético global e mundial.....	3
3. Consumo energético e os gases de efeito de estufa.....	10
4. Eficiência energética.....	14
4.1. NZEB (nearly zero buildings).....	15
4.2. Políticas de eficiência energética na Europa	15
4.3. Políticas de eficiência energética em Portugal	16
5. Análise custo-benefício	19
6. ACB e eficiência energética - Trabalhos desenvolvidos.....	23
7. Metodologia.....	26
7.1. Cenários	26
7.2. Modelo.....	27
7.3. Dados	31
8. Resultados	39
9. Conclusão	50
10. Bibliografia	52

Lista de Abreviaturas

ACB – Análise custo-benefício.

AIE/IEA – Agência Internacional de Energia/ Internacional Energy Agency

CO₂ – Dióxido de carbono.

CO₂eq. – CO₂ equivalente.

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive (Diretiva de Performance Energética de Edifícios).

ETICS – Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior (External Thermal Insulation Composite Systems).

GEE – Gases de efeito de estufa.

ICSD – Inquérito de consumo do setor doméstico.

LEAP – Long-range Energy Alternatives Planning.

LED – Light-emitting diodes.

Nzeb – Edifícios com Necessidades Energéticas Quase Nulas (Nearly Zero Energy Buildings).

PIB – Produto Interno Bruto.

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

RNBC – Roteiro Nacional de Baixo Carbono.

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade.

VAL – Valor atual Líquido.

Sistema internacional de unidades

T - Tera (Bilião) = 10¹²

G – Giga (Milhar de milhão) = 10⁹

M – Mega (Milhão) = 10⁶

K – Quilo (Milhar) = 10³

W – Watt = 1

Tep – Tonelada Equivalente de Petróleo = 11,630 MWh

t – Tonelada = 10³ kg

Índice de figuras

Figura 1: Variação do CO ₂ na atmosfera, ao longo dos últimos anos. (NOAA, 2019)	11
Figura 2: Benefícios de um aumento da eficiência energética. (IEA, 2019b).....	14
Figura 3: Esquema dos resultados da pesquisa.....	32
Figura 4: Constituição de uma janela de vidro duplo com corte térmico	37
Figura 5: Sistema ETICS. (Obras360, 2015)	37

Índice de gráficos

Gráfico 1: Evolução do consumo de energia total e evolução da população, a nível Mundial. (Enerdata, 2019).....	4
Gráfico 2: Consumo de energia final, por setor, nos países da OCDE. (IEA, 2017)	5
Gráfico 3: Consumo final de energia global, em edifícios.(British Petroleum, 2018).....	6
Gráfico 4: Consumo de energia final global, pelos diferentes tipos de combustíveis. (British Petroleum, 2018)	6
Gráfico 5: Consumo de Energia Final, em Portugal. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).....	7
Gráfico 6: Consumo Total de Energia Final, por tipo de fontes.(DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).....	7
Gráfico 7: Consumo de Energia Final, por setor. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)	8
Gráfico 8: Distribuição percentual de emissões de CO ₂ , por setor, em Portugal.(APA, 2018).....	12
Gráfico 9: Custos de investimento.	39
Gráfico 10: Custos de Operação.	40
Gráfico 11: Evolução dos cash-flows para cada cenário.	41
Gráfico 12: Variação do Investimento, no cenário PNAEE.	42
Gráfico 13: Consumo energético, no primeiro ano, para os dois cenários.	43
Gráfico 14: Resultados dos Consumos energéticos, por habitação, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.	43
Gráfico 15: Resultados dos Consumos energéticos, em Portugal Continental, para o cenário Referência e para o cenário PNAEE.....	45
Gráfico 16: Emissões de CO ₂ eq., no primeiro ano, para os dois cenários.....	45
Gráfico 17: Resultados das emissões de CO ₂ por habitação, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.	46
Gráfico 18:Resultados das emissões de CO ₂ em Portugal Continental, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.	47
Gráfico 19: Análise sensibilidade ao preço das emissões deCO ₂ eq.....	48

Índice de tabelas

Tabela 1: Principais diferenças entre o cenário Referência e o cenário PNAEE	27
Tabela 2: Número médio de equipamentos	28
Tabela 3: Dados gerais	32
Tabela 4: Consumos energéticos dos eletrodomésticos, iluminação e aquecimento de águas.	33
Tabela 5: Características dos eletrodomésticos (KquantoKusta, 2019)	33
Tabela 6: Valores para o cálculo do consumo energético dos materiais (vidros e paredes)	34
Tabela 7: Características dos eletrodomésticos (KquantoKusta, 2019)	35
Tabela 8: Características da iluminação LED. (GETALAMP, 2019)	36
Tabela 9: Energia consumida pelo Solar térmico + Esquentador.	36
Tabela 10: Valores para o cálculo do consumo energético dos materiais (vidros e paredes)	36
Tabela 11: Fatores de Emissão.(Direção Geral de Energia e Geologia, 2018)	38
Tabela 12: Resultado do somatório dos custos de equipamento e dos custos de operação.	40

1. Introdução

Atualmente, o consumo energético suporta a conveniência e o conforto populacional. A larga escala de consumo começou com a invenção da máquina a vapor, e com a revolução industrial na Inglaterra, no século XVIII. O aumento populacional e sua elevada exigência a nível energético, levou a um incremento exponencial do consumo energético. Este é uma das maiores causas de deterioração ambiental, a nível global, tornando-se insustentável para o planeta. (Pablo-Romero, Pozo-Barajas, & Yñiguez, 2017)

As atividades no setor residencial são fulcrais, com valores de consumo energético elevados e, conseqüentemente, com grande contribuição para a emissão de gases de efeito de estufa. Segundo Nejat et al (Nejat, Jomehzadeh, Mahdi, & Gohari, 2015), três quartos da energia consumida pelo setor residencial podem ser reduzidos com a implementação de medidas de eficiência energética. Com o aumento dos preços da energia, e com o aumento da preocupação climática, os debates para políticas de ação para eficiência energética têm ganho ainda maior importância.

O objetivo da dissertação é aplicar uma metodologia de Custo-Benefício que permita avaliar se as medidas do PNAEE ao nível dos edifícios residenciais levam a reduções significativas no consumo de energia e nas emissões de CO₂eq., e perceber quais os custos associados à aplicação destas medidas. Foram desenvolvidos dois cenários com medidas semelhantes, mas com graus de eficiência diferentes. As medidas que vão ser estudadas estão divididas nesses dois cenários, um com medidas de menos eficiência energética e outro com medidas mais eficientes no setor residencial. Estas medidas abordam o tipo de iluminação, eletrodomésticos, isolamento de paredes e janelas e aquecimento de águas. O cenário Referência estuda medidas com menor eficiência energética relativamente ao cenário PNAEE. Este tem como ano de referência 2010, uma vez que a maioria dos valores utilizados estão presentes no inquérito de consumo ao setor doméstico (ICSD), e o cenário PNAEE, apresenta as mesmas medidas estudadas no cenário referência, mas com um grau de eficiência energética mais elevado. O ano de referência, deste cenário foi 2013, ano em que o segundo PNAEE 2016 foi transcrito na Resolução do Conselho de Ministros n. °20/2013.

Neste contexto, as questões às quais se tenta dar resposta com o trabalho de investigação realizado são as seguintes:

- Quais os consumos de energia e emissões de CO₂eq. de cada medida de eficiência energética e quais os custos necessários para estas serem implementadas?
- Qual a redução do consumo energético e das conseqüentes emissões de CO₂eq., resultantes da implementação destas medidas?

- Qual o futuro do PNAEE, no contexto da descarbonização em Portugal, no que toca às medidas propostas para o setor residencial?

O trabalho começa por um enquadramento teórico, que vai desde o capítulo 2 ao 6, que descreve os conceitos de energia, consumo energético, eficiência energética, análise custo benefício. É, também, feita uma análise aos trabalhos desenvolvidos na área da análise económica de medidas de eficiência energética no setor residencial. O capítulo 7, refere-se à metodologia onde primeiro são definidos os cenários e de seguida é explicado o modelo e os dados necessários para a aplicação do modelo. O capítulo 8, faz referência aos resultados que foram obtidos com a aplicação da metodologia escolhida.

2. Consumo energético global e mundial

Do ponto de vista físico, não há uma definição para aquilo a que chamamos “energia”. O que a Física nos diz é que existe uma lei universal que estabelece que existe uma quantidade, a que chamamos “Energia”, que se conserva num sistema isolado, independentemente das formas que possa assumir. Essa é a Lei da Conservação de Energia. Numa abordagem menos abstrata, a energia é geralmente associada a capacidade de um determinado sistema para realizar trabalho.

Para melhor perceber o uso de energia no setor residencial, interessa-nos, antes de tudo, identificar as fontes a partir das quais é possível obter energia útil. Alguns desses exemplos de fontes de energia são a biomassa, combustíveis fósseis, fluxo de água, materiais nucleares, luz solar e o calor geotérmico, sendo que estas podem ser classificadas como renováveis e não renováveis. A energia não renovável é obtida a partir de fontes a uma taxa que excede a taxa com que as fontes são substituídas. Alguns exemplos são os combustíveis fósseis e os materiais nucleares de fissão. As energias renováveis são provenientes de recursos naturais que se renovam de forma natural e regular, de modo sustentável. A energia primária é energia que não é obtida por conversões ou transformações antropogénicas, sendo que o termo antropogénico se refere à atividade e influência humana. Esta pode ser convertida em energia secundária para usos humanos mais convenientes. A transformação da energia é necessária para produzir energia útil. (Fanchi, 2005)

Podemos caracterizar o consumo energético de dois modos: o consumo de energia final e o consumo de energia primária. O primeiro refere-se ao total de energia gasta pelos consumidores finais, como a indústria, as residências e a agricultura, ou seja, é aquela que chega à porta dos consumidores finais. O consumo de energia primária mede a procura total de energia, por parte de um país, referindo-se ao consumo do setor energético, perdas durante a transformação e distribuição de energia, e o consumo final por consumidores finais. (EUROSTAT, 2019)

A questão da constante procura por energia abundante pode ser expressada por três axiomas. O primeiro diz que qualquer aumento da taxa populacional, levará a um aumento maior do consumo total de energia. O segundo refere que os objetivos fundamentais do ser humano incluem tanto o desejo para uma procura energética abundante como um ambiente seguro. O último diz que o futuro da humanidade vai continuar a seguir um caminho único e irreversível. (Nitta & Yoda, 1995)

O consumo energético total está a crescer mais rápido que a população, que tem um aumento anual líquido de 84 milhões de pessoas (2.75% vs 1.4%), podendo este ser explicado pelo aumento da necessidade individual de energia (Allouhi et al., 2015). Sabe-se que o consumo energético aumentou cerca de 11% em 10 anos, para melhorar o nível de conforto e devido à extensão das

atividades humanas. (United Nations, 2019)

2.1. Consumo energético global

Em 2000, mais de 40% da procura global situava-se na Europa e na América do Norte e 20% encontravam-se nas economias em desenvolvimento da Ásia. Em 2040, espera-se que esta situação se reverta por completo, passando a China a ser o país com maior procura de energia, seguido da América do Norte. Em terceiro, encontrar-se-á a Índia, seguida do continente Africano. A União Europeia encontrar-se-á em 5º lugar em 2040. (International Energy Agency, 2018)

O consumo energético global foi estimulado pela China, que é o maior consumidor desde 2009, devido ao seu crescimento económico. Como referido acima, o consumo energético aumentou na maioria dos países asiáticos, como a Índia, Indonésia, Malásia e Coreia do Sul. No Japão o aumento verificou-se pela primeira vez em 2013, como consequência do crescimento económico verificado. Quanto à Europa, Canadá e Rússia, o crescimento económico levou também a um aumento do consumo energético. Os Estados Unidos da América mantêm o seu consumo energético estável por dois anos consecutivos, devido a melhorias de eficiência energética. (Enerdata, 2019)

O gráfico 1, apresenta a evolução do consumo energético mundial e a evolução da população mundial, entre 2010 e 2017.

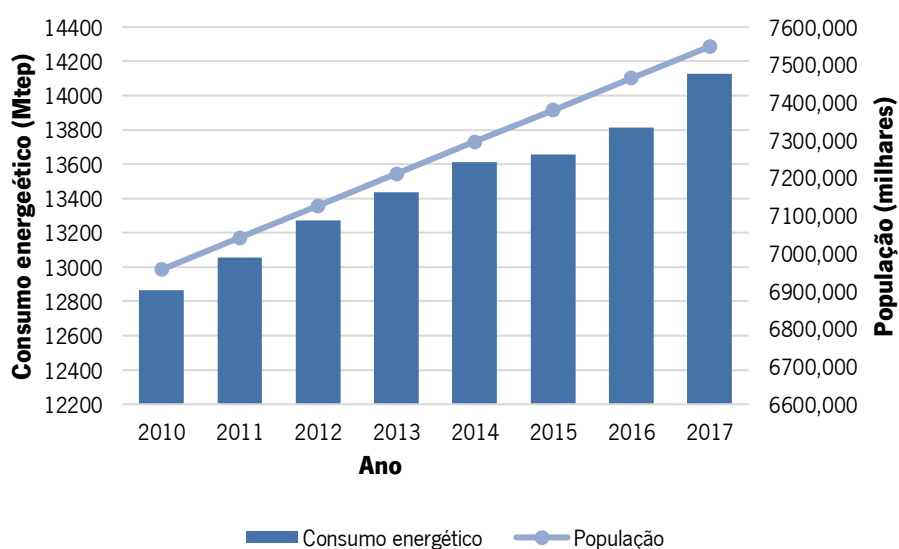


Gráfico 1: Evolução do consumo de energia total e evolução da população, a nível Mundial. (Enerdata, 2019)

Como se pode observar, o consumo energético mundial tem vindo a aumentar significativamente nos sete anos aqui demonstrados. O maior acréscimo observado é no ano 2017, onde o aumento é de 2.3% comparado com o ano de 2016. Como se pode observar, um aumento da população leva a um aumento do consumo energético. É necessário referir que a taxa de crescimento de consumo

energético é maior que a taxa de crescimento da população, como já foi referido acima.

Os países que mais consomem energia, em termos mundiais são a China, os Estados Unidos da América, a Índia, a Rússia e o Japão. A China apresenta um consumo de cerca de 1970 Mtep, seguido dos Estados Unidos da América com um consumo de 1555 Mtep. A Índia, a Rússia e o Japão, são os maiores consumidores que seguem a China e os EUA, com consumos entre os 200 e 600 Mtep. (International Energy Agency, 2019a)

O consumo final total de energia pode ser dividido pelos diferentes setores económicos. A tabela seguinte, apresenta o consumo de energia final pelos setores económicos dos países da OCDE.

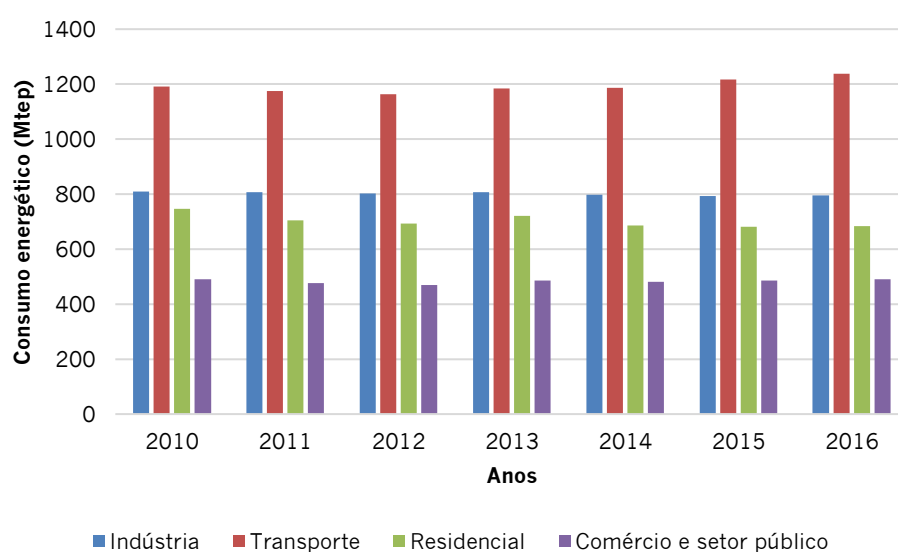


Gráfico 2: Consumo de energia final, por setor, nos países da OCDE. (IEA, 2017)

Observa-se que o setor dos transportes continua a ser o setor que mais consome nos últimos anos, com um consumo de 1238 Mtep no ano 2016. O segundo setor que mais consome é a indústria, com um consumo de 795 Mtep no ano de 2016. O setor residencial é o terceiro setor com maior consumo energético, com um consumo de 683 Mtep no ano 2016. Também se pode concluir que a tendência de consumo para cada setor é de aumentar de ano para ano.

De seguida, será descrito o ponto de situação do consumo energético, do terceiro setor com maior consumo a nível global, o setor residencial.

2.2. Consumo energético residencial global

Três quartos do total de energia consumida pelo setor residencial tem potencial para ser otimizado com a implementação de medidas de eficiência energética. (Nejat et al., 2015)

O gráfico 3 apresenta a evolução do consumo energético global proveniente dos edifícios.

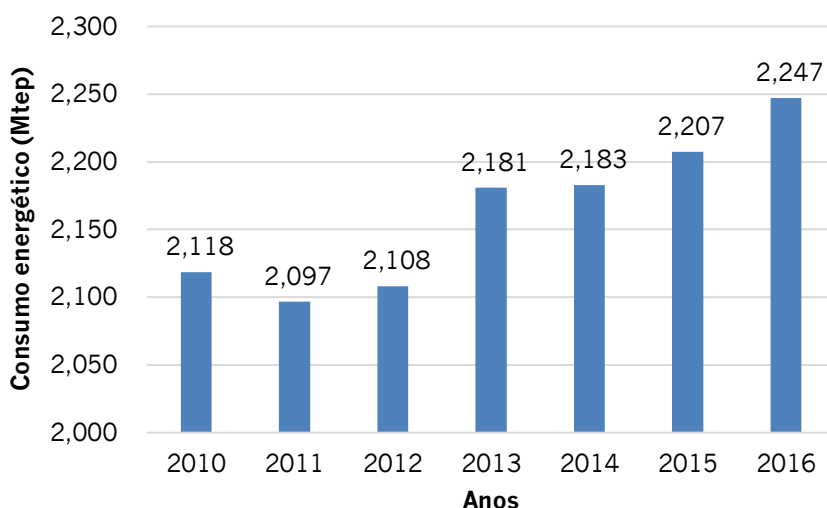


Gráfico 3: Consumo final de energia global, em edifícios. (British Petroleum, 2018)

Com o gráfico 3, pode-se observar que entre os anos 2010 e 2011, houve um decréscimo de consumo, provavelmente associado à regressão do crescimento económico. A partir de 2012, os valores do consumo começaram a aumentar significativamente até 2016. Este aumento pode ser parcialmente evitado com a implementação de medidas de eficiência energética. Em 2016, os consumos de energia dos edifícios eram provenientes de quatro tipos de combustíveis, petróleo, carvão, gás e eletricidade. O gráfico representa o modo como o consumo de energia global, se distribui por estes quatro tipos de combustíveis.

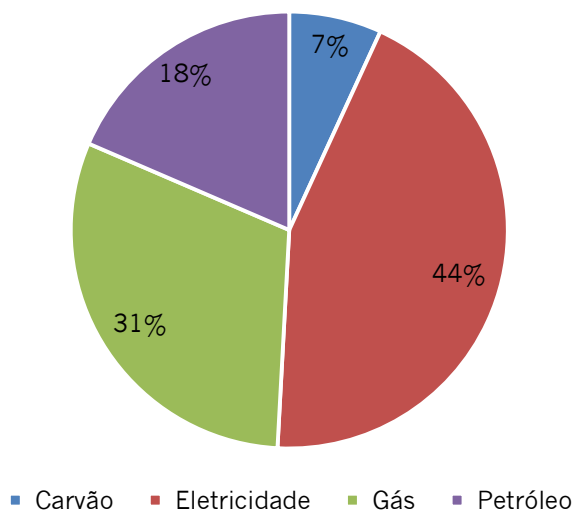


Gráfico 4: Consumo de energia final global, pelos diferentes tipos de combustíveis. (British Petroleum, 2018)

Como se pode observar, o consumo de energia final nos edifícios é maioritariamente feito através do uso da eletricidade, com 44%, seguida pelo gás, com 31%.

Após a descrição do setor residencial a nível global, na próxima secção será descrita a situação

de consumo energético em Portugal.

2.3. Consumo energético em Portugal

O gráfico 5, apresenta a evolução do consumo de energia final, de 2010 a 2017.

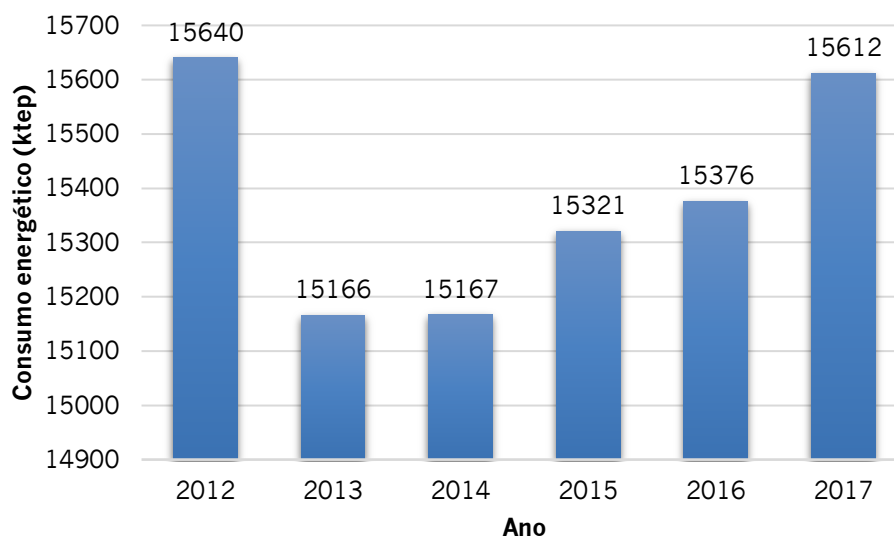


Gráfico 5: Consumo de Energia Final, em Portugal. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

Como se pode observar pelo gráfico acima, o consumo de energia final, em 2017, aumentou 1.5% relativamente ao ano 2016. Este aumento no consumo deve-se principalmente ao aumento do uso do petróleo e produtos derivados, e eletricidade.

O gráfico mostra como é que o consumo de energia final, total, se distribui por cada tipo de fonte energética.

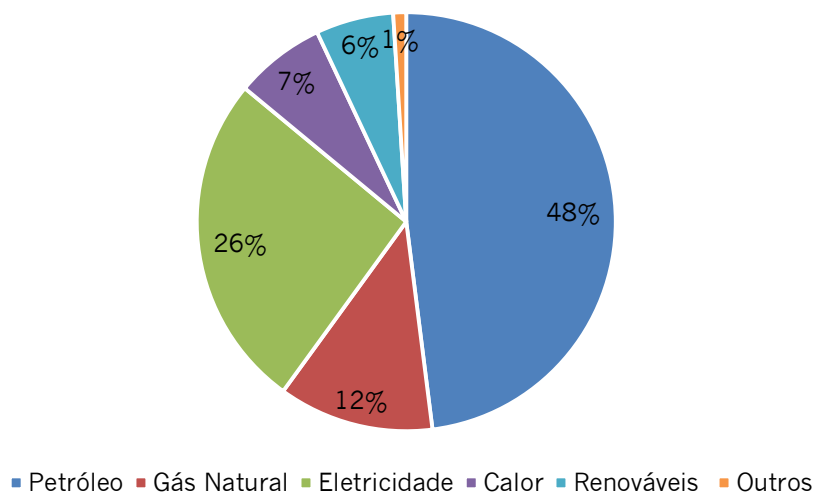


Gráfico 6: Consumo Total de Energia Final, por tipo de fontes. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

Ao analisar o gráfico acima apresentado, verifica-se que o petróleo (48%) continua a ser a fonte principal de energia utilizada pelos Portugueses, seguido da eletricidade (26%) e do Gás Natural (12%).

Nos últimos anos, o paradigma tem vindo a alterar-se, pois verificou-se que há uma diminuição da utilização do petróleo e um aumento na utilização da eletricidade e do gás natural. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2014)

O consumo da energia final está dividido em diferentes setores de atividade económica. O gráfico 7, apresenta as quotas de consumo de energia final por setor de atividade económica em 2017.

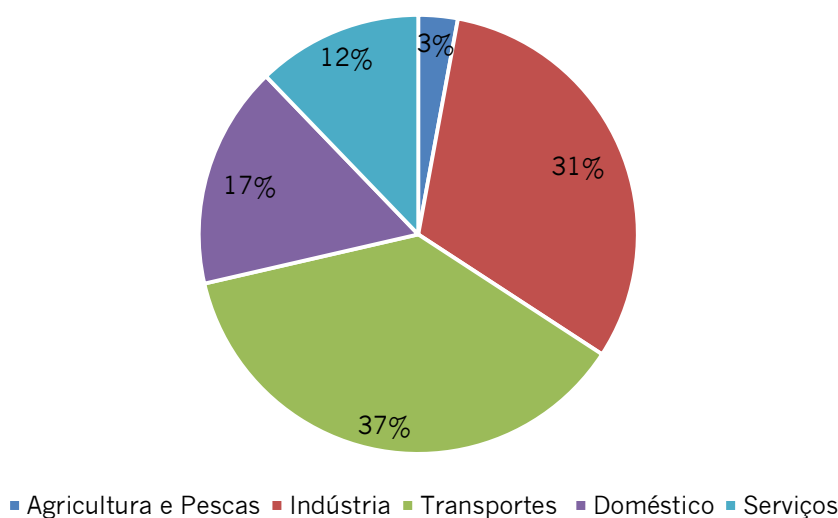


Gráfico 7: Consumo de Energia Final, por setor. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

Em termos setoriais, como se pode observar, em 2017, o setor que tem o maior consumo energético é o setor de transportes, com uma quota de 37.2%, seguido da indústria e do setor doméstico, com quotas de 31.3% e 16.4%, respetivamente. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

Como o tema desta dissertação é uma análise económica a medidas de eficiência energética no setor residencial em Portugal, é importante referir como é que o consumo energético deste setor se encontra, em Portugal, como é descrito no subcapítulo seguinte.

2.4. Consumo energético residencial em Portugal

Em Portugal, verificou-se uma mudança nos hábitos de consumo energético. O aumento do poder de compra e a melhoria das condições de vida, permitiram que a população procurasse melhores condições de conforto, levando em consequência ao aumento significativo do consumo energético dos edifícios. Este aumento é, essencialmente, devido à introdução de novos equipamentos que permitem aumentar a qualidade de vida e o conforto térmico do habitante.

Em 2017, o setor residencial representava 17% do consumo de energia final em Portugal (DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, 2017). Em relação ao tipo de fonte de onde este consumo é proveniente, em 2010, verificou-se que no setor doméstico a eletricidade é a fonte principal, representando 42.6% do total da energia consumida neste setor, seguido da lenha, com um peso de 24.2%. O GPL era a terceira fonte mais utilizada, com 19%, o gás natural a quarta com 9%, seguido do gásóleo aquecido com 3.6% do consumo de energia. As fontes menos utilizadas no setor doméstico em Portugal são o GPL canalizado e o carvão, com uma quota do consumo energético de 2.4% e 0.2%, respetivamente. (Sousa, Silva, & Almeida, 2012)

Segundo o Inquérito de Consumo do Setor Doméstico, o consumo energético proveniente da eletricidade tem vindo a aumentar nos últimos anos, ao contrário da lenha que tem vindo a diminuir. Antes do ano 2000 esta era a principal fonte de energia no setor doméstico. (INE, 2010)

Segundo o PNAEE, a evolução do consumo de energia final em Portugal, divide-se em dois ciclos. O primeiro ciclo é o crescimento no consumo entre 2000 e 2005, de 1.6%, o segundo ciclo é representado pelo decréscimo no consumo entre 2005 e 2010, de 2%. Resumindo, a última década apresentou um decréscimo no consumo de 0.2%, devido, essencialmente, ao abrandamento da economia a partir do ano de 2008, que afetou especialmente o setor da indústria e dos serviços. O consumo de eletricidade, mostra uma evolução, maioritariamente positiva, tendo-se registado uma taxa de consumo de 2.7%, entre 2000 e 2010. Em 2010, o consumo de eletricidade representava cerca de 24% do total de consumo de energia final, em Portugal, tal como representado no PNAEE 2016 e no PNAER 2020.

Como já referido anteriormente, o consumo energético tem impactos significativos no ambiente, uma vez que a energia que chega a nossas casas é proveniente de combustíveis fósseis. A queima destes combustíveis é uma das principais causas para o aumento dos GEE na atmosfera. O próximo capítulo aborda o modo como o consumo energético se relaciona com os GEE.

3. Consumo energético e os gases de efeito de estufa

Os principais gases de efeito de estufa que estão relacionados com o uso da energia são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Os impactos da utilização da energia no clima podem ser expressos em termos do fator de emissão dos GEE, ou seja, do volume de gases emitidos pela unidade de energia consumida. (Khan, Khan, Zaman, & Naz, 2014)

Durante os últimos 50 anos, foram reunidas várias provas que indicam que o crescimento constante das concentrações de GEE na atmosfera pode ser diretamente indexado à queima de combustíveis fósseis desde a revolução industrial. (Kruger, 2006)

Segundo Pérez-Lombard, Ortiz and Pout (Pérez-Lombard, Ortiz, & Pout, 2008), o aumento do consumo energético no mundo tem criado preocupações sobre as dificuldades da oferta, a exaustão dos recursos energéticos e impactos elevados no ambiente. A Agência Internacional de Energia, acumulou informações sobre as tendências do consumo energético mundial, e conclui que, durante as últimas duas décadas a energia primária cresceu 49% e as emissões de CO_2 aumentaram 43% (1984-2004), com um aumento anual médio de 2% e 1.8%, respetivamente. (International Energy Agency, 2019a)

Bilgen (2014) refere que o setor energético, o setor económico relativo à produção e oferta de energia, é responsável por mais de dois terços das emissões globais de gases de efeito de estufa. Este setor é, e continuará a ser, o motor primário para o desenvolvimento económico, uma vez que é responsável por satisfazer diversas necessidades do ser humano. É necessário perceber que todas as fontes de energia têm impactos associados nos vários estágios de produção, conversão e uso final.

As emissões globais de CO_2 , no setor energético, cresceram 1.4% em 2017, atingindo o valor histórico mais elevado de 32.5 Gt CO_2 , um crescimento que foi retomado depois de 3 anos com emissões constantes. A concentração de CO_2 na atmosfera terrestre atingiu um valor recorde de 409.95 ppm (setembro de 2019) (NOAA, 2019). É importante referir que a atmosfera terrestre tem na sua constituição atual 863 Gt de carbono, correspondendo a 3167 Gt CO_2 e que com estes valores de emissões acima mencionados está-se a acrescentar à atmosfera mais 32.5 Gt de CO_2 /ano, só através do setor energético, ou seja, estamos a acrescentar cerca de 1% de CO_2 todos os anos.

Este crescimento não foi universal, pois apesar da maioria das economias verem as emissões a aumentar, outras viram as suas emissões a diminuir, como foi o caso dos Estados Unidos, Inglaterra, México e Japão. A maior diminuição verificou-se nos Estados Unidos, devido ao investimento em energias renováveis. (International Energy Agency, 2019a)

A figura representa a variação do CO_2 na atmosfera, ao longo dos últimos anos.

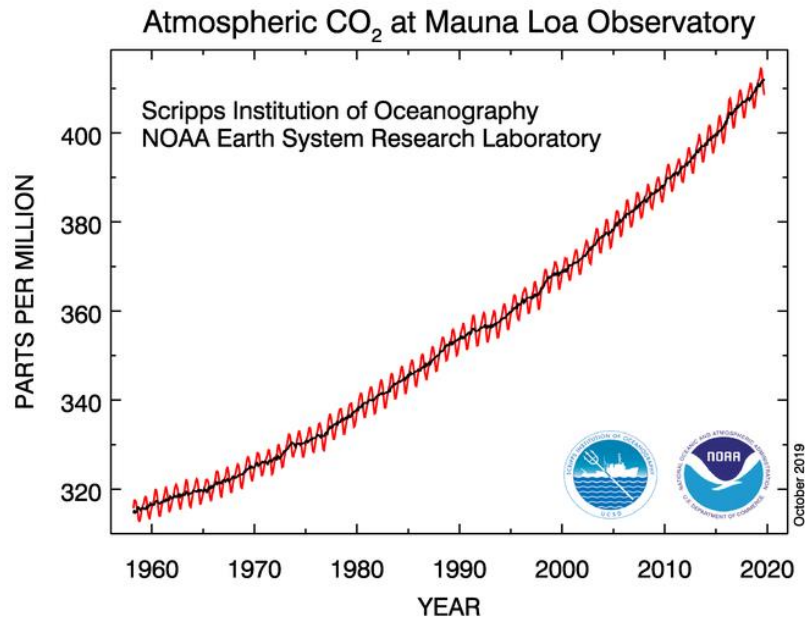


Figura 1: Variação do CO₂ na atmosfera, ao longo dos últimos anos. (NOAA, 2019)

Em maior detalhe os edifícios são responsáveis por um terço das emissões de GEE relacionadas com a energia, sendo o dióxido de carbono o maior responsável pelas alterações climáticas. Nesta linha, o setor residencial pode ter um papel essencial para diminuir as emissões de CO₂ que resultam do consumo de energia. (Nejat et al., 2015)

A eficiência energética é vista como uma maneira económica de diminuir o consumo energético e assim diminuir as emissões de GEE. As reduções de emissões por edifícios podem ser atingidas controlando as emissões a partir da oferta da energia ou diminuindo o consumo energético a partir da melhoria no design dos edifícios, aumentando a eficiência e conservação energética.

É também importante referir que, em Portugal as emissões de GEE tem vindo a decrescer nos últimos anos, devido às medidas adotadas em especial pelo setor energético, que compõem cerca de 70% das emissões de gases de efeito de estufa. O setor energético em 2013, foi responsável pela emissão de cerca de 44.5 Mt de CO₂eq. Comparativamente ao ano de 2011, as emissões diminuíram cerca de 1% no setor energético, em 2014. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2014)

Para tentar diminuir as emissões de GEE, a UE elaborou o roteiro de baixo carbono, um documento com uma estratégia de redução destas emissões até 2050. O próximo subcapítulo pretende esclarecer quais os objetivos desta estratégia.

3.1. Roteiro Nacional de Baixo Carbono

O Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC) tem como objetivo, apresentar uma estratégia para a redução das emissões de GEE em Portugal e aumento das remoções, de maneira a que o balanço entre elas seja nulo em 2050. Isto vai de encontro com o objetivo do Acordo de Paris, onde Portugal se comprometeu a contribuir para limitar o aumento da temperatura média global do planeta a 2°C e contribuir para que esta não ultrapasse os 1.5°C.

O objetivo é alcançar a neutralidade carbónica da economia Portuguesa, em 2050, sendo que para poder atingir a neutralidade é necessário o envolvimento alargado e a colaboração de todos os atores, de maneira a analisar e discutir diferentes opções e estratégias de mitigação, e a definição de trajetórias de baixo carbono para a economia nacional.

O roteiro apresenta trajetórias alternativas para quatro setores até 2050, sendo estes o setor energético, o setor dos transportes, o setor dos resíduos e o setor da agricultura, florestas e usos do solo.

A distribuição das emissões para os setores mencionados, entre os anos de 1990 e 2010, foi a seguinte:

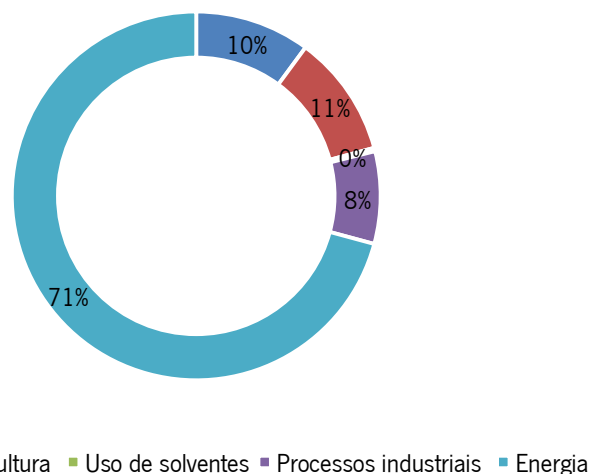


Gráfico 8: Distribuição percentual de emissões de CO₂, por setor, em Portugal. (APA, 2018)

O setor responsável pela maior parte das emissões de GEE, como se pode observar no gráfico 8, é o setor energético com 71% das emissões nacionais. Dentro do setor energético, o setor que mais emite GEE é os transportes com 27% das emissões nacionais, seguido do setor da produção e transformação de energia, da indústria e da Residência e Serviços, que emitem 20.8%, 13.5% e 7.5%, respetivamente, das emissões nacionais.

O gás de efeito de estufa mais representativo é o CO₂, que representa cerca de 75% do total de

emissões nacionais, e isto deve-se essencialmente ao setor energético e ao uso predominante de combustíveis fósseis.

Para alcançar a trajetória de baixo carbono é necessário a restrição de 60 a 70% das emissões de GEE no sistema energético, face aos valores de 1990. Para isto é necessário transformar o sistema energético nacional. (APA, 2018).

As medidas de eficiência energética são uma das soluções abordadas pelo Roteiro de Baixo Carbono, pois estas ajudam na redução de emissões de GEE no setor residencial. O próximo capítulo, aborda então a temática da eficiência energética.

4. Eficiência energética

A eficiência energética é o uso de tecnologia que requer menos energia para realizar a mesma função, ou seja, é, por exemplo usar lâmpadas LED em vez das lâmpadas incandescentes, pois as lâmpadas LED vão precisar de menos energia que as lâmpadas incandescentes para produzirem a mesma luminosidade. A poupança energética é a redução no consumo de energia final, através da eficiência energética. (Oikonomou, Becchis, Steg, & Russolillo, 2009)

A AIE define a eficiência energética como o primeiro combustível de um sistema energético global sustentável. Esta pode mitigar as alterações climáticas, melhorar a segurança energética e fazer crescer economias ao mesmo tempo que promove benefícios ambientais e sociais. A figura 2 representa quais os múltiplos benefícios que a eficiência tem para diferentes setores. (International Energy Agency, 2019b)

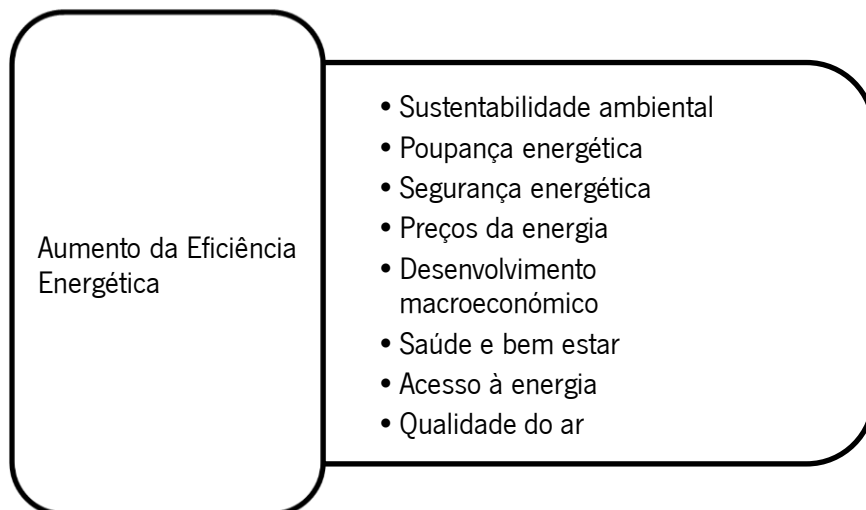


Figura 2: Benefícios de um aumento da eficiência energética. (IEA, 2019b)

Por vezes pensa-se que eficiência energética e poupança energética são a mesma coisa, mas a verdade é que são diferentes, apesar de terem um objetivo semelhante, que é a redução do consumo energético. A poupança energética depende do corte pela pessoa nas atividades que consomem energia, desligando a luz ou usando menos os eletrodomésticos. Já a eficiência energética aproveita a tecnologia de maneira a evitar ou reduzir o desperdício energético, de maneira a não ter de deixar de fazer alguma coisa para diminuir o consumo. (Oikonomou, Becchis, Steg, & Russolillo, 2009)

Muitos países, para reduzirem as suas emissões deslocam as suas indústrias que mais emitem GEE para outros países, onde os standards ambientais são menores. Mas as produções de emissões no setor residencial não se podem deslocar para outros países, fazendo com que seja necessário aplicar políticas energéticas, pois são globalmente mais efetivas neste setor. (Pablo-Romero et al.,

2017)

Uma das políticas energéticas que tem ambições elevadas em relação ao desempenho energético dos edifícios, pois pretende que todos os novos edifícios tenham um balanço energético quase nulo, os chamados NZEB, é a Diretiva 2002/91/EC relativa ao Desempenho dos Edifícios. O subcapítulo 4.1, define este tipo de edifícios e qual a sua importância.

4.1. NZEB (nearly zero buildings)

Um edifício com necessidade de energia quase nula, pode-se definir como um edifício com elevado desempenho e eficiência energética. Para isso, é importante que estes sejam autossustentáveis, de maneira a que se consiga obter um balanço muito reduzido ou próximo de zero. Este tipo de resultado pode ser alcançado, por exemplo, a partir da utilização de energia proveniente de fontes renováveis produzidas no edifício ou nas suas proximidades. (Pereira, 2013)

A legislação europeia tem uma estrutura de objetivos muito ambiciosa para atingir elevadas performances energéticas nos edifícios. A Diretiva Europeia 2002/91/EC relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), é um dos regulamentos ambiciosos da União Europeia. Esta diretiva estabelece vários requerimentos, como a obrigação de todos os novos edifícios terem balanço energético quase nulo até ao fim de 2020. (Annunziata, Frey, & Rizzi, 2013)

Segundo a diretiva, os edifícios devem apresentar um elevado desempenho energético e reduzir a energia de que necessitam. A energia de que necessitam deverá ser assegurada por fontes renováveis.

Assim como a diretiva referida aqui, na Europa estão a ser aplicadas mais políticas para melhorar a eficiência energética nos edifícios europeus. A seguinte seção refere quais são estas políticas e quais os seus objetivos.

4.2. Políticas de eficiência energética na Europa

Para melhorar a eficiência energética, a União Europeia estabeleceu diretivas com medidas para ser possível atingir os objetivos respetivos. As diretivas principais são:

1. Diretiva da Eficiência Energética (2012/27/EU)
2. Diretiva da Performance Energética dos Edifícios (2012/31/EU)
3. Diretiva sobre o Uso de Etiquetas Energéticas (2010/30/EU)

A Diretiva de Eficiência Energética (2012/27/EU), veio estabelecer medidas obrigatórias, de maneira a atingir uma eficiência energética de 20% nos países da União Europeia até 2020, ou seja,

um consumo energético primário de 1483 Mtep e um consumo energético final de 1086 Mtep. Esta diretiva, em 2018 foi atualizada para um novo horizonte de 2030 para a frente. Uma das mudanças desta diretiva é o objetivo até 2030, que passou a ser 32,5%, isto significa que os consumos da União Europeia deveriam passar a ser não mais que 1273 Mtep de energia primária e não mais que 956 Mtep de energia final.

A Diretiva da Performance Energética dos Edifícios, conhecida com EPBD, (2010/31/EU), tem como objetivo melhorar a performance energética dos edifícios da União Europeia, tendo em conta as condições climáticas e condições locais de cada país. Esta foi alterada em 2018 (Diretiva 2018/844), sendo o seu novo objetivo o de acelerar a renovação de edifícios existentes e promover o uso de tecnologias inteligentes em edifícios.

A Diretiva sobre o Uso de Etiquetas Energéticas com os consumos explícitos dos produtos (2010/30/EU) aplica-se a produtos energéticos que têm impacto direto ou indireto no consumo de energia ou de outros recursos essenciais. Os fornecedores devem colocar, nestes produtos de mercado, uma etiqueta com a informação sobre o seu consumo energético.

Portugal, de maneira a satisfazer as metas europeias, implementou também políticas de eficiência energética, sendo a mais importante referir, para esta dissertação, o PNAEE. Esta veio implementar metas de redução de consumo energético em Portugal. De seguida, será explicado quais os objetivos do PNAEE.

4.3. Políticas de eficiência energética em Portugal

As metas europeias de energia, a alcançar até 2020 são a redução de 20% das emissões de GEE, relativamente ao ano de 1999, o aumento de 20% da quota da energia proveniente de fontes renováveis e a redução de 20% do consumo de energia primária, relativo à projeção de consumo para 2020, a partir do aumento da eficiência energética. Portugal, comprometeu-se a uma redução de energia primária de 25% e um objetivo específico de 30% para a administração pública.

Em 2013, foi aprovada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, que revoga o PNAEE para o período de 2008-2015, onde são incorporados quatro setores específicos de atuação, o setor residencial e serviços, o setor industrial, o setor do estado e setor dos transportes. Este é financiado pelo Fundo de Eficiência Energética, criado pelo Decreto-Lei n.º 50/2010.

O PNAEE, teve como objetivo projetar ações e metas para 2016, que integrassem as preocupações relativas à redução de energia primária para o horizonte temporal de 2020. Este tem três eixos de atuação, a ação (adequar as medidas), a monitorização (revisão dos métodos de

monitorização de resultados) e a governação (redefinir do modelo de governação do PNAEE).

O PNAEE, para o setor residencial, abrange três programas, o programa “Renove a sua casa”, o programa “o sistema de eficiência energética em edifícios” e o programa de “integração de fontes de energia renováveis térmicas”. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

O programa renove a sua casa tem como objetivo incentivar a substituição de equipamentos no setor residencial, de maneira a tornar o parque eletrodoméstico, equipamento e iluminação mais eficiente.

A primeira medida a ser estudada, neste trabalho, foi a promoção de equipamentos mais eficientes, que tem como base a Diretiva 92/75/CEE do Conselho de 22 de setembro de 1992, que falava sobre a rotulagem energética, onde era referido que os produtos elétricos tinham de ser classificados entre A (mais eficiente) e G (menos eficiente), conforme a sua eficiência energética. Em 2013, a escala foi ampliada com a introdução de mais duas classes a A++ e A+. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

Esta foi revogada pela Diretiva nº2010/30/EU, que introduziu novas etiquetas energéticas, com novas classes, que vão desde a classe A+++ à D. A lei foi transposta pelo Decreto-Lei nº63/2011 de 9 maio, que foi um instrumento bem aceite pelos consumidores portugueses, ajudando-os a obter informação acerca da eficiência energética e os desempenhos energéticos de equipamentos presentes no mercado. Para esta medida, está prevista uma redução da energia final de 99 931 tep. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

A segunda medida, é a iluminação eficiente, que segundo o PNAEE, tem como objetivo a renovação do parque pela substituição de lâmpadas de baixa eficiência energética. As lâmpadas de baixa eficiência energética, lâmpadas incandescentes, sofreram a aplicação de uma taxa que contribuiu para o desaparecimento deste tipo de lâmpadas. É também necessário agora alargar a taxa a outras lâmpadas menos eficientes de maneira a introduzir lâmpadas de tecnologias abrangentes como as lâmpadas LED (light-emitting diode) ou o halogéneo emergente. Como os eletrodomésticos, as lâmpadas são também classificadas conforme a sua eficiência energética, permitindo ao consumidor ter uma noção dos seus consumos energéticos. O PNAEE, refere que a redução de energia final na aplicação desta medida é de 48 530 tep. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

A terceira medida, são as janelas eficientes que tem como objetivo reabilitar as superfícies envidraçadas, quer através da aplicação de vidro duplo, quer da aplicação de caixilharias com corte térmico, quer com a utilização de vidros mais eficientes. O PNAEE, prevê uma redução de energia

final para esta medida de 311 tep. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

A quarta medida, é o isolamento eficiente, que tem como objetivo aplicar isolamento eficiente, estando prevista a instalação, até 2016 de cerca de três milhões de m² isolantes eficientes no parque edificado que necessita de reparação. No PNAEE está prevista uma redução de energia final, desta medida de 435 tep. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

A última medida, é a aplicação de solar térmico no setor residencial, que tem por objetivo promover a integração de sistemas solares térmicos nos edifícios do setor doméstico. A redução de energia final prevista no PNAEE é de 16 303 tep. (Presidência do Conselho de Ministros, 2013)

O capítulo seguinte aborda a análise custo benefício, que no caso desta dissertação é essencial para avaliar a aplicação das medidas que vão ser estudadas.

5. Análise custo-benefício

A ACB é uma ferramenta analítica que estuda os custos e os benefícios de uma decisão, programa ou projeto e as suas alternativas, de maneira a avaliar qual das hipóteses é a escolha mais económica. (European Commission, 2014)

Para fazer esta análise é necessária uma comparação de cenários de maneira a entender se compensa ou não implementar o projeto. O projeto em estudo é comparado na maioria dos casos por um caso referência, que reflete uma situação sem a implementação do projeto. (NSW Office of Environment, 2014)

O objetivo da ACB consiste em determinar se um projeto é viável do ponto de vista do bem-estar social, através do somatório dos seus custos e benefícios, descontados ao longo do tempo. A técnica em causa trata de: 1. prever os efeitos económicos de um projeto; 2. quantificar esses efeitos; 3. transformá-los em unidades monetárias; 4. calcular a sua rentabilidade económica, por via de um indicador preciso, que permita formular uma opinião concreta em relação ao desempenho esperado do projeto.

Segundo Boardman et al. (Boardman, Greenberg, Vining, & Weimer, 2012), “os passos mais importantes de uma ACB são especificar as alternativas do projeto, decidir quais os benefícios e os custos, catalogar os impactos e selecionar indicadores de medição, prever impactos quantitativos no ciclo de vida de um projeto, dar valor monetário a todos os impactos, descontar os custos e os benefícios para obter valores presentes, calcular o custo-benefício das alternativas, realizar uma análise de sensibilidade e fazer uma recomendação.”

Os métodos de análise custo-benefício podem ser divididos em dois tipos de métodos, os métodos que não consideram valor temporal, que são mais simples e fáceis de utilizar, e os métodos que consideram o valor temporal. Em relação aos métodos que não consideram o valor temporal, temos o método de payback e o método da taxa de rentabilidade média. O método de payback é o tempo necessário para amortizar o investimento do projeto, enquanto que o método da taxa de rentabilidade média é o lucro líquido anual sobre o investimento inicial, que se foca essencialmente no lucro comercial do projeto. (Bhattacharyya, 2011)

Os métodos que consideram o valor temporal, consistem em usar dar um valor presente aos custos e aos benefícios para o horizonte temporal estudado.

A. Valor Atual Líquido

O VAL, consiste na conversão de todos os benefícios e custos, que ocorrem em tempos diferentes, para o seu valor equivalente presente, agregando-os de maneira a conseguir o valor total dos benefícios e dos custos do projeto.

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} - I_0$$

Sendo:

- $R_t \rightarrow$ Benefício no ano t ;
- $C_t \rightarrow$ Custos no ano t ;
- $i \rightarrow$ Taxa de desconto;
- $I_0 \rightarrow$ Investimento inicial.

Qualquer projeto com um VAL positivo é aceitável. Quando há várias alternativas num projeto, aquela que apresentar maior VAL é a melhor alternativa.

Quando os valores dos benefícios são difíceis de estimar, estes podem ser ignorados. Neste caso, a alternativa é considerar apenas os fluxos de custo. Este resultado é o VAL dos custos:

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} + I_0$$

O papel das taxas de desconto é muito importante, pois reflete a preferência temporal dos investidores.

Qualquer investidor espera um retorno no seu investimento que possa ao menos igualar à taxa de juro que poderia ganhar com um investimento igual. É por isso que os investidores privados usam as taxas de juro de mercado como taxas de desconto.

Uma taxa de desconto social pode ser diferente das taxas privadas uma vez que a sociedade pode valorizar o projeto de maneira diferente. Isto é por vezes verdade para investimentos em projetos com elevados benefícios sociais ou elevados custos externos ou benefícios que podem apenas aparecer depois de um tempo muito elevado. Para projetos energéticos com um tempo de vida elevada, a divergência entre a taxa de mercado e a taxa social podem ser elevados, levando a diferentes opiniões.

Uma taxa de desconto elevada, implica uma maior preferência do uso de recurso agora, enquanto que uma taxa de desconto baixa implica uma indiferença entre o presente e o futuro. Esta reflete no ponto de vista social como é que os custos e benefícios futuros devem ser avaliados, em contraste

com os valores presentes. (European Commission, 2014)

B. Taxa interna de rentabilidade (TIR)

A taxa interna de rentabilidade, consiste em estimar a taxa de desconto, para o qual o valor atual líquido seja igual a zero, onde os custos se igualam aos benefícios.

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

Se a TIR, estiver acima do nível aceitável, que pode ser a taxa de juro de mercado para investidores privados ou a taxa social decidida pelo governo ou por outras agências nacionais, o projeto é considerado atrativo. O projeto é apenas rentável se a taxa de juro for menor que o TIR. (Bhattacharyya, 2011)

C. Análise de risco

Segundo o artigo 101, do regulamento nº1303/2013 da União Europeia, uma análise custo benefício deve incluir uma análise de risco, com o objetivo de lidar com a incerteza que está associada ao investimento de projetos, incluindo o risco de impactos adversos que as alterações climáticas possam ter no projeto. Os passos que são recomendados para a análise do risco do projeto são: (European Commission, 2014)

- Análise de sensibilidade;
- Análise qualitativa do risco;
- Análise probabilística do risco;
- Prevenção e mitigação do risco.

A avaliação de risco deve ser feita com base na gestão de riscos, que é a identificação de estratégias para os reduzir.

Uma análise de sensibilidade é utilizada quando existem condições de incerteza para um ou mais parâmetros. Esta análise mede a sensibilidade de uma mudança de decisão de um ou mais parâmetros. O seu principal objetivo é ajudar a identificar as principais variáveis que afetam a viabilidade do projeto, investigar as consequências na possível, mudança num destes fatores, avaliar o potencial para preferências revertidas para investimento económico das alternativas e identificar ações mitigadoras. (Bhattacharyya, 2011) Recomenda-se que sejam considerados parâmetros para os quais há uma variação de mais ou menos 1%, que se traduz numa variação de mais 1% do VAL. (European Commission, 2014)

A análise qualitativa do risco, deve incluir uma lista de eventos adversos a que o projeto está exposto, uma matriz de risco, que contém as causas possíveis de ocorrência, os efeitos negativos gerados a partir do projeto, níveis de probabilidade de ocorrência e severidade do impacto e nível de risco, uma interpretação da matriz de risco e uma descrição de medidas de mitigação e prevenção para os principais riscos. (European Commission, 2014)

Uma análise probabilística do risco é requerida quando o risco residual é ainda significativo. Para esta análise é feita uma distribuição de probabilidade para cada variável crítica na análise de sensibilidades. (European Commission, 2014)

A prevenção e mitigação dos riscos são definidas a partir da aplicação da análise de sensibilidade, a análise qualitativa do risco e pela análise probabilística do risco. (European Commission, 2014)

Para o capítulo 6, realizou-se um estudo bibliográfico, referente à utilização da ACB para avaliar se o investimento em medidas de eficiência energética é economicamente viável.

6. ACB e eficiência energética - Trabalhos desenvolvidos

Preciado-Pérez e Fotios (Preciado-Pérez & Fotios, 2017), no seu caso de estudo, propõem uma metodologia para avaliar o custo benefício da aplicação de medidas de eficiência energética em residências sociais. O indicador utilizado para calcular a performance do projeto, é o VAL. Foram estudadas quatro alternativas de construção, uma reconstrução, duas novas construções e uma casa típica usada para satisfazer a procura por residência. Os custos estimados foram os custos de construção das novas residências, os custos de construção para um “upgrade” da casa e os custos de operação para o arrefecimento/aquecimento mecânico. Os benefícios considerados são a redução do consumo energético e o aumento do valor residual das residências. Concluíram que o cenário onde a casa não teve remodelações tem um VAL maior do que os cenários alternativos, isto só muda quando se acrescenta aos cenários alternativos programas públicos de financiamento. O que estes resultados provam que é necessário investir no aumento da eficiência energética e do conforto em residências sociais.

Preciado-Pérez e Fotios (Preciado-Pérez & Fotios, 2017), referem também que alguma alternativa com VAL baixo ou negativo, não deve ser logo rejeitada. Isto pode significar que a análise precisa de correr por um horizonte de tempo maior, de maneira a ser possível concluir se o investimento realmente significa perda ou lucro, dependendo do horizonte temporal considerado.

Krstić e Čulo (Krstić & Čulo, 2008), estudaram variáveis que devem ser ponderadas nas análises custo benefício, onde são considerados dois cenários, uma casa eco eficiente e uma típica casa da região. Os elementos que foram identificados e analisados foram os custos de construção, custos de manutenção e reparação, ciclo de vida da residência, poupança no consumo de energia, custo de demolição da casa, eficiência energética dos eletrodomésticos, impacto global e local no ambiente, uma taxa de desconto para o cálculo do VAL, conforto relativo dos residentes, problemas de saúde e o impacto no ambiente a partir da redução de GEE. Concluíram que a eficiência energética nas residências diminui o consumo energético e oferece um ambiente mais saudável e confortável para o habitante. Há também uma poupança considerável nos custos, ao longo do horizonte temporal.

Na Irlanda, Peter e Healy (Clinch & Healy, 2000), realizaram uma análise custo-benefício de um programa de reconstrução de residências com tecnologias de eficiência energética e “upgrades” no aquecimento. O objetivo do estudo pretendia demonstrar como é que as poupanças energéticas, os benefícios ambientais e as melhorias no conforto e saúde poderiam ser estudadas. Neste estudo, a análise custo-benefício foi incorporada com um modelo de avaliação energética (EAM), para facilitar a conversão das estimativas físicas a quantidades monetárias. Os custos considerados são os custos

de materiais e os custos de mão de obra. O modelo utilizado considerou que os benefícios da melhoria da eficiência energética refletem-se na saúde/conforto. A nível ambiental o modelo considerou que com a melhoria de eficiência energética há uma redução de emissões de CO₂, NOx e PM10. Concluem também que os preços futuros são impossíveis de prever com certeza e o desenvolvimento de tecnologias disponíveis, também. O resultado obtido é convincente o suficiente para conseguir ver os benefícios de um programa de eficiência energética nas residências de um país.

Araújo, Almeida, Bragança, e Barbosa (Araújo, Almeida, Bragança, & Barbosa, 2016), baseados numa análise de literatura realizaram um caso de estudo onde é reforçada a relevância dos co-benefícios na renovação de edifícios. Eles consideram que melhorar a performance energética dos edifícios traz benefícios diretos, como a redução do uso da energia, redução nas emissões de carbono e redução nos custos de ciclo de vida e co-benefícios. Concluíram, também, que melhora a qualidade de vida do indivíduo e traz benefícios económicos. Referem ainda que, a nível político, são valorizadas as ações na saúde, economia, emprego, segurança energética e mitigação às alterações climáticas. A nível privado a preocupação centra-se na redução dos custos globais da renovação e na maximização do valor do edifício. Por fim, resumem-se os co-benefícios numa perspetiva privada e os co-benefícios numa perspetiva macroeconómica. Eles concluem assim que é necessário saber que as políticas energéticas não levam apenas a poupanças energéticas e a reduções nas emissões de carbono, ou seja, esta políticas também têm impacto na política, no ambiente, na economia e na sociedade e, por isso, é necessário que os decisores políticos criem uma equipa interdisciplinar para a criação e avaliação destas medidas.

Em Pequim, na China, Liu et al (Liu et al., 2018) , apresentaram uma metodologia de análise custo-benefício, para projetos de reconstrução de eficiência energética, baseada nos custos e nos benefícios durante o ciclo de vida dos projetos. São analisados dois cenários, um onde se implementa o projeto com medidas de eficiência energética e outro sem a implementação do projeto. O cálculo do custo-benefício foi feito a partir do período de retorno de investimento estático, que é o tempo necessário para recuperar o investimento do projeto, através dos lucros deste. Foi escolhido este método por não ser necessário utilizar uma taxa de desconto. Os autores dividem os custos, por custos antes do projeto, custos durante o projeto, custos durante a operação do projeto e custos de demolição. Em relação aos benefícios, estes são divididos em benefícios económicos diretos, que são as poupanças nos custos de aquecimento, nos custos de eletricidade e nos custos de manutenção dos sistemas de aquecimento, e em benefícios indiretos, que são o aumento do conforto, o aumento do tempo de vida do edifício e aumento do valor do edifício. Com isto, conclui-se que o caso de estudo

onde foram implementadas as medidas de eficiência energética, não são lucrativas, devido ao preço baixo da energia na China. A análise de sensibilidade é feita a partir do preço da energia, quando há um aumento de 10% no preço da energia estes processos tornam-se atrativos.

7. Metodologia

Neste capítulo descreve-se em pormenor a metodologia ACB adotada. O objetivo deste trabalho, é determinar quais os consumos energéticos, as emissões de CO₂eq. de cada cenário e avaliá-los economicamente, através de uma ACB.

A análise económica das medidas de eficiência energética, é feita a partir do método do VAL, para determinar o interesse de investir no projeto, estudando os seus custos e os seus benefícios. Este projeto terá um horizonte temporal de 30 anos. Para tal, são calculados, também, os consumos energéticos, as emissões de CO₂eq. e os custos destas emissões para cada cenário.

7.1. Cenários

As medidas estudadas estão divididas em dois cenários, um cenário com medidas de menos eficiência energética e outro com medidas mais eficientes no setor residencial. Estas medidas abordam o tipo de iluminação, eletrodomésticos, isolamento de paredes e janelas e aquecimento de águas. É importante salientar que este trabalho foi realizado com base nas necessidades básicas de um alojamento em Portugal Continental.

O **cenário referência** estuda as medidas de iluminação, eletrodomésticos, vidros simples, paredes duplas de alvenaria e o aquecimento de água com um esquentador a gás natural. Estas medidas apesar de estarem num cenário com menor eficiência, já tem uma boa eficiência associada. O ano referência, deste cenário é 2010, uma vez que a maioria dos consumos energéticos utilizados no trabalho foram retirados do ICSD de 2010. No ano 2010, já havia medidas de eficiência energética a circular nas políticas em Portugal com o PNAEE 2008-2015, por isso é que este cenário já tem uma eficiência energética considerável.

O **cenário PNAEE**, assim como o cenário Referência, estuda medidas como a iluminação, eletrodomésticos, vidros duplos com corte térmico, paredes simples com isolamento térmico e aquecimento de água com painel solar térmico e esquentador a gás natural. Estas medidas já apresentam um elevado nível de eficiência energética, uma vez que a maioria das medidas aqui apresentadas já são as mais eficientes presentes no mercado. O ano de referência deste cenário é o ano 2013, ano em que o segundo PNAEE 2016 foi transcrito na Resolução do Conselho de Ministros n. °20/2013.

As principais diferenças entre os dois cenários podem ser observadas na tabela seguinte:

Tabela 1: Principais diferenças entre o cenário Referência e o cenário PNAEE

	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Iluminação	Lâmpadas compactas fluorescentes	LED
Eletrodomésticos	A+ a B	A+++
Paredes	Paredes duplas de alvenaria	Paredes simples com isolamento térmico
Vidros	Vidros simples	Vidros duplos com corte térmico
Aquecimento de águas	Esquentador a gás	Painel solar térmico + Esquentador a gás

Depois de definidos os cenários, procede-se então à caracterização do modelo, que consiste nas principais equações utilizadas para calcular VAL, os consumos energéticos e as emissões de CO₂eq.

7.2. Modelo

O modelo assenta em quatro partes principais:

- análise económica;
- análise do consumo energético;
- análise das emissões de CO₂eq.
- análises de sensibilidade

A análise económica, foi realizada a partir do cálculo do VAL, que é o somatório de todos os cash-flows, onde foram considerados os custos e os benefícios de cada medida presentes nos dois cenários. O cenário que apresentar o maior VAL será o melhor cenário a ser implementado. O cálculo do VAL será feito com auxílio da seguinte equação:

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} - I_0 \quad (1)$$

Sendo:

- R_t → Benefício no ano t ;
- C_t → Custos no ano t ;
- i → Taxa de desconto;
- I_0 → Investimento inicial.

Não foram considerados benefícios, pois ao ver cada cenário, de forma individual, nenhum deles

beneficia da não implementação do outro. Até porque, usualmente, o único benefício possível de quantificar são as poupanças energéticas do próprio cenário.

O único benefício que foi contabilizado no cenário PNAEE, foi a redução com os custos de emissão de CO₂eq. Para isso, foi necessário calcular a diferença entre os custos de emissão do cenário PNAEE e os custos de emissão de CO₂eq. do cenário Referência. O preço de emissão utilizado foi 25€/tCO₂eq. O custo de emissão de CO₂eq. do cenário Referência foi calculado através da multiplicação das emissões do cenário Referência com o preço de emissões de uma tonelada de CO₂eq. O custo de emissão do cenário PNAEE, foi calculado exatamente da mesma maneira que o cenário Referência, apenas mudam as emissões de CO₂eq.

Os custos considerados foram os custos de operação, que são aqueles que resultam do consumo energético associado às medidas e o investimento inicial, que são os custos necessários para implementar cada um dos cenários. É importante salientar que o consumo energético vai variar durante o horizonte temporal. A sua variação foi feita a partir da taxa de variação do PIB, que aqui foi considerada 1% ao ano.

A taxa de desconto considerada para este projeto é de 5%, e tem em conta o valor temporal dos custos representando os riscos que o projeto pode vir a ter para os investidores. Esta taxa de desconto foi considerada 5%, uma vez que a literatura, para este tipo de projetos usa taxas entre os 5-10%.

O cálculo do investimento foi feito com recurso à seguinte equação:

$$\text{Investimento} = \text{Custo de aquisição} * \text{Número de equipamentos} \quad (2)$$

O número de equipamentos adquiridos, no caso dos vidros e das paredes, tem com base os valores médios das dimensões necessárias numa habitação, no caso dos eletrodomésticos e das lâmpadas são os números médios dos equipamentos utilizados nas habitações. A tabela seguinte, apresenta, um resumo dos números de equipamentos utilizados. (INE, 2010)

Tabela 2: Número médio de equipamentos (INE, 2010)

	Número de equipamentos
Eletrodomésticos	1
Vidros	18 m ²
Parede	106 m ²
Lâmpadas	15
Aquecimento de águas	Cenário Referência: 1 esquentador a gás; Cenário PNAEE: 1 solar térmico + 1 esquentador a gás.

Para calcular os custos de operação, foi considerado a energia consumida de cada medida por ano e o preço da eletricidade ou do gás em Portugal.

$$\text{Custo de operação} = \text{energia consumida} * \text{preço da eletricidade} \quad (3)$$

Antes de calcular os custos de operação das paredes e dos vidros, foi necessário calcular as perdas ou os ganhos energéticos para as quatro estações do ano. A equação seguinte representa as perdas ou os ganhos energéticos.

$$Q (W) = U * A * (T_{int} - T_{ext}) \quad (4)$$

- $Q \rightarrow$ Perdas ou ganhos energéticos (W);
- $U \rightarrow$ Coeficiente de transmissão térmica (W/m². °C);
- $A \rightarrow$ Área (m²);
- $T_{int} \rightarrow$ Temperatura interior (°C)
- $T_{ext} \rightarrow$ Temperatura exterior (°C)

As temperaturas exteriores consideradas foram os valores médios de temperatura, fornecidos pelo portal do clima, para o ano de 2000. Para o mês de agosto a temperatura exterior é de cerca 22.82°C, para o mês de março a temperatura é de cerca de 10°C, para o mês de outubro a temperatura exterior é de 14.4°C e para o mês de janeiro a temperatura exterior é de 9.84°C. (Portal do Clima, 2015)

As temperaturas interiores utilizadas foram os valores presentes no Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto, que diz que as temperaturas interiores devem oscilar entre os 18 aos 25°C, em caso de condições climatéricas adversas.

As necessidades energéticas foram calculadas, para as quatro estações, onde se considerou que a primavera e o verão duram 92 dias, que o outono dura 91 dias e o inverno dura 90 dias, sendo a soma igual a 365 dias, ou seja, um ano. As necessidades energéticas foram calculadas da seguinte forma:

$$\text{Energia consumida} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = \frac{Q * N^{\circ} \text{ de dias}}{1000} \quad (5)$$

- $Q \rightarrow$ Perdas ou ganhos energéticos (W);

Também para a iluminação, no cenário PNAEE, foi necessário calcular o seu consumo. A energia consumida por ano foi obtida pela seguinte equação:

$$\text{Energia consumida} = (P * \text{Uso diário} * 365 \text{ dias}) * N^{\circ} \text{ de Lâmpadas} \quad (6)$$

- $P \rightarrow$ Potência (W).

O custo de operação é obtido pela multiplicação do consumo anual pelo preço médio da eletricidade.

O consumo energético para os dois cenários foi calculado a partir dos consumos energéticos que serão apresentados no capítulo seguinte:

$$\text{Consumo energético} = \sum_{t=1}^N \text{consumo energético anual} \quad (7)$$

Após o cálculo do consumo energético, para o primeiro ano, procedeu-se à variação do consumo para o restante horizonte temporal. Para isso, assumiu-se que o consumo energético varia com a taxa de crescimento do PIB, que neste caso é de 1%.

$$\text{Consumo energético (n)} = \text{Consumo energético (n-1)} * \text{Taxa de crescimento do PIB} \quad (8)$$

- $n \rightarrow$ ano

Com o fator de emissão, procedeu-se ao cálculo das emissões de CO₂eq. anuais de cada cenário, com o auxílio dos valores do consumo energético anual respetivo.

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ eq. anual} = \text{Fator de emissão de CO}_2 \text{ eq.} * \text{Consumo energético anual} \quad (9)$$

Após o cálculo de emissões CO₂eq. para cada ano, procedeu-se ao somatório para o horizonte temporal.

$$\text{Custo emissões de CO}_2 = \sum \text{Emissões de CO}_2 * \text{preço das emissões (€/t CO}_2) \quad (10)$$

É necessário referir que tanto os consumos energéticos com as emissões CO₂ foram calculadas também para Portugal Continental, a partir da multiplicação de todos os valores de consumo e emissões pelo número de habitações.

A. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada devido aos preços de CO₂eq., serem muito baixos e por se esperar que estes venham a subir. Esta é realizada, aos preços de CO₂eq. e a nível de investimento, considerando uma variação nos preços das emissões. Por isso, para cada cenário calculou-se os custos de emissão para valores de 15 a 50 euros, com intervalos de cinco euros. Após o cálculo dos

custos de emissão de cada cenário, calculou-se a redução prevista, que vai ser dada pela diferença entre implementar o cenário Referência ou implementar o cenário PNAEE.

$$\text{Redução} = \text{Custos de emissão cenário Referência} - \text{Custos de emissão do cenário PNAEE} \quad (11)$$

Por fim, é analisada a forma como esta redução reage a flutuações nos preços de emissões de 1 tCO₂eq.

No final, devido ao investimento elevado do cenário PNAEE, realizou-se uma análise onde se fez variar o investimento até que o VAL fosse superior ao do cenário Referência. Por fim, analise-se quanto é que teria de se o custo de emissões de 1 tCO₂eq., para que o VAL do cenário PNAEE ultrapasse o cenário Referência, o que mostra uma situação em que o cenário PNAEE é financeiramente melhor que o cenário Referência.

Com o modelo caracterizado, é agora necessário especificar os valores das variáveis para ser possível implementar este modelo. Estas variáveis vão ser apresentados agora, no subcapítulo dados.

7.3. Dados

Para ser possível aplicar o modelo procedeu-se a uma pesquisa de informação acerca das medidas a aplicar. O esquema seguinte, mostra os resultados da pesquisa e como é que cada variável do modelo pode ser obtida.

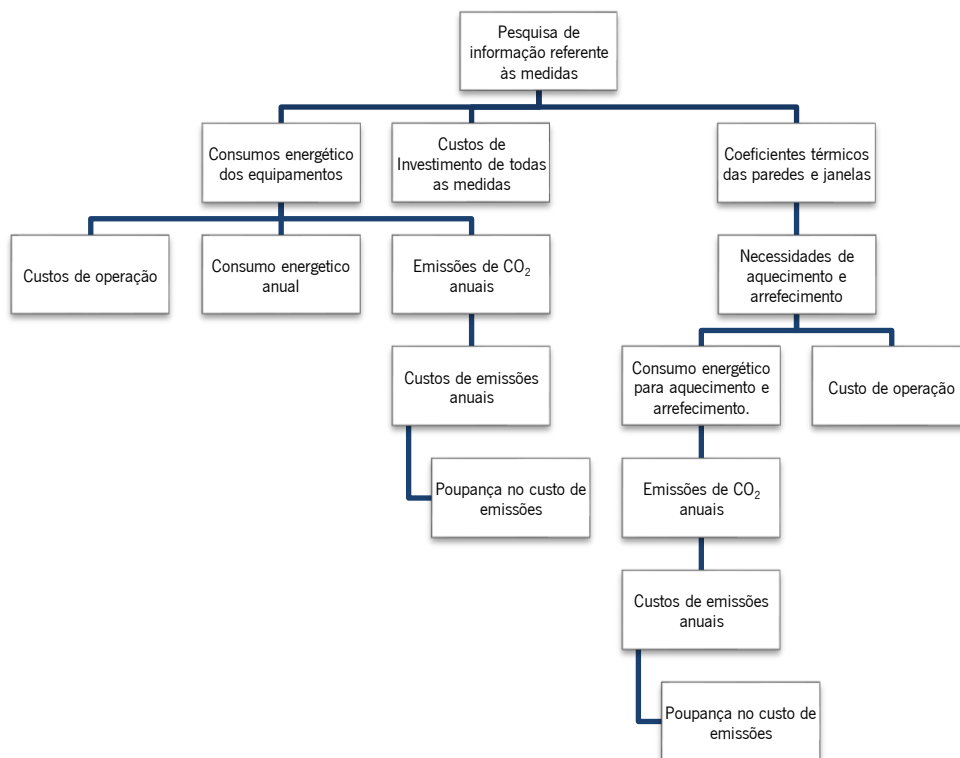


Figura 3: Esquema dos resultados da pesquisa.

Para os dois cenários, foram utilizados dados que eram iguais em ambos. A tabela faz referência aos dados gerais necessários.

Tabela 3: Dados gerais

Preço médio da eletricidade (€/kWh)	0,16
Preço médio do gás (€/kWh)	0,06
Taxa de desconto	5%
Preço das emissões (€/tCO ₂)	25
Nº médio de habitações	3 773 956

Os consumos energéticos para as medidas de iluminação, de eletrodomésticos e de aquecimento de águas, utilizados no cenário Referência, foram retirados do ICSD de 2010. A tabela, apresenta esses consumos:

Tabela 4: Consumos energéticos dos eletrodomésticos, iluminação e aquecimento de águas. (ICSD,2010)

	Tep	kWh
Eletrrodomésticos elétricos	0,085	988,55
Iluminação	0,028	325,64
Gás natural para aquecimento de águas	0,217	2523,71

No que diz respeito à iluminação, ICSD 2010 refere que o tipo de lâmpadas mais utilizadas, em 2010, eram as incandescentes seguidas das lâmpadas tubulares ou compactas. As lâmpadas que predominam são as de 11 e 14 W, que correspondem a lâmpadas incandescentes com uma potência de 60 e 75W.

Em relação aos eletrodomésticos, o consumo elétrico está caracterizado pelo consumo da cozinha e lavanderia, e engloba o fogão com forno/placa/forno independente, fogareiro/lareira, micro-ondas, exaustor/extrator, frigorífico com e sem congelador/frigorífico combinado, arca congeladora, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa e máquina secar roupa, sendo os mais utilizados a máquina de lavar roupa, a máquina de lavar a louça, o frigorífico combinado e a máquina de secar a roupa. O Esquentador a gás natural foi a medida considerada para o aquecimento de água (INE, 2010),

O custo de equipamentos para estes eletrodomésticos, lâmpadas e esquentador, foram obtidos em dois sítios de compra online, o kuantokusta e o getalamp (Kuantokusta, 2019) (GETALAMP, 2019). Para as paredes e janelas, os custos provêm de um sítio online de orçamentos de construção civil (CYPE Ingenieros, 2019). A tabela, apresenta as características dos equipamentos escolhidos para o estudo de cada medida.

Tabela 5: Características dos eletrodomésticos (Kuantokusta, 2019)

Medida	Características
Máquina de lavar a roupa	Consumo anual de energia (kWh): 222 Capacidade de Carga: 7 KG Eficiência Energética: A+
Máquina de secar a roupa	Consumo anual de energia (kWh): 616 Capacidade de Carga: 9 KG Eficiência Energética: B
Máquina de lavar a louça	Consumo anual de energia (kWh): 295 Capacidade de Carga: 295 Eficiência Energética: A+
Frigorífico combinado	Consumo anual de energia (kWh): 285 Capacidade de Carga: 320 L Eficiência Energética: A+
Aquecimento de água (Esquentador gás natural)	Eficiência Energética: A Perfil de consumo: L (Cozinhar, duches, 2 banhos diários)

	Potência útil: 23.5 kWh Caudal: 5.8 l/min Consumo de gás natural: 2.8 m ³ /h
--	---

Os consumos energéticos das paredes e para os vidros, foram calculados a partir do coeficiente térmico dos vidros e dos materiais usados na construção das paredes e a área de implementação. A tabela 6, apresenta os coeficientes térmicos, a área, as perdas de calor e a energia consumida para arrefecimento ou aquecimento dependendo da estação do ano, para a medida de utilização de vidros simples e de paredes duplas de alvenaria do cenário Referência.

Tabela 6: Valores para o cálculo do consumo energético dos materiais (vidros e paredes)

	Cenário Referência (Janelas de vidro simples)			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	4,1	4,1	4,1	4,1
Área (m ²)	18,0	18,0	18,0	18,0
Perdas de calor (W)	738,0	590,4	13,6	265,7
Energia necessária (kWh/dia)	67,2	54,3	13,6	156,9
	Cenário Referência (Paredes sem Isolamento)			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	0,9	0,9	0,9	0,9
Área (m ²)	106,0	106,0	106,0	106,0
Perdas de calor (W)	975,2	780,2	195,0	351,1
Energia necessária (kWh/dia)	88,7	71,8	17,9	31,9

Os valores utilizados para as janelas, da tabela 6, são os valores de Referência dos anos 1960 a 1990, uma vez que no ano 2010, mais de 70% das janelas ainda apresentavam vidros simples. Estes vidros possuem uma espessura de 8mm. As áreas consideradas são uma média da quantidade utilizada numa habitação, que é 18 m².

Os valores de referência, dos coeficientes térmicos das paredes, utilizados foram dos anos 1990 a 2013, onde as paredes são duplas de alvenaria de tijolo, foi considerada a área média de um alojamento em Portugal Continental, que é de cerca de 106 m²/alojamento.

As perdas de calor foram obtidas através da equação de perdas e ganhos de energia (4), e a energia consumida pela equação das necessidades energéticas (5).

No cenário PNAEE, foram analisados os consumos energéticos das medidas da iluminação, dos eletrodomésticos e do aquecimento de águas, em locais de compra online de equipamentos, como o kantokusta, o getalamp e a Vulcano. A partir das preferências dos consumidores e da classe energética dos equipamentos, escolheu-se um equipamento para cada uma das medidas. Foi também tida em consideração a semelhança entre características das mesmas medidas, mas para

os diferentes cenários. Por exemplo, as máquinas de lavar e secar do cenário PNAEE devem ter a mesma capacidade de carga que as máquinas de lavar e secar do cenário Referência. A tabela 7 apresenta as características de cada equipamento estudado.

Tabela 7: Características dos eletrodomésticos (KuntoKusta, 2019)

Medida	Características
Iluminação lâmpadas LED	Potência (W): 5.9 Potência equivalente (W): 40 Casquilho: E27 Fluxo Lum (Lm): 470 lm
Máquina de lavar a roupa	Consumo anual de energia (kWh): 121 Capacidade de Carga: 7 KG Eficiência Energética: A+++
Máquina de secar a roupa	Consumo anual de energia (kWh): 194 Capacidade de Carga: 9 KG Eficiência Energética: A+++
Máquina de lavar a louça	Consumo anual de energia (kWh): 265 Capacidade de Carga: 47 kg Eficiência Energética: A+++
Frigorífico combinado	Consumo anual de energia (kWh): 161 Capacidade de Carga: 336 L Eficiência Energética: A+++
Solar térmico + Esquentador gás natural	Esquentador Gás Natural: Eficiência Energética: A Perfil de consumo: L (Cozinhar, duchas, 2 banhos diários) Potência útil: 23.5 kWh Caudal: 5.8 l/min Consumo de gás natural: 2.8 m ³ /h Solar Térmico: Caudal nominal (l/h): 50 Coef. perda linear (W/m ² K): 3.216

As classes energéticas utilizadas são diferentes para os dois cenários, como referido anteriormente. No cenário Referência, considerou-se apenas equipamentos com classes energéticas entre A+ e B, enquanto que para o cenário PNAEE, considerou-se, apenas eletrodomésticos com classe energética A+++.

Como a única informação dada pelas lâmpadas é a potência, foi necessário como referido no capítulo 7.2, calcular o consumo de energia para a iluminação (equação 6). A tabela apresenta os dados e os resultados obtidos do consumo energético.

Tabela 8: Características da iluminação LED. (GETALAMP, 2019)

Potência média (W)	6
Uso diário	6
Número médio de lâmpadas numa habitação	15
Energia consumida por ano (kWh/ano)	197,1

Para o aquecimento de águas teve-se em consideração apenas o consumo do esquentador de gás natural, uma vez que se considera que o solar térmico produz a sua própria energia, ou seja, não consome energia. O valor de consumo foi obtido através do número de dias que chove em Portugal, ou seja, os dias em que não será possível a utilização do solar térmico. O número médio de dias que chove, na zona norte, zona de maior precipitação, em Portugal Continental, é de 181 dias, ou seja, em Portugal, chove pelo menos metade do ano. Por isso, como foi utilizado exatamente o mesmo esquentador que no cenário Referência, utilizou-se um consumo igual à metade do consumo energético do esquentador do cenário Referência.

Tabela 9: Energia consumida pelo Solar térmico + Esquentador.

Energia consumida por ano (kWh/ano)	1261,855
-------------------------------------	----------

Em relação às paredes e aos vidros do cenário PNAEE, o procedimento é o mesmo, alterando apenas os coeficientes térmicos e a área. A tabela seguinte, apresenta os coeficientes térmicos das paredes e das janelas, que vão auxiliar no cálculo do consumo energético destas duas medidas.

Tabela 10: Valores para o cálculo do consumo energético dos materiais (vidros e paredes)

	Cenário PNAEE (Janelas de vidro duplo)			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	2,3	2,3	2,3	2,3
Área (m ²)	18,0	18,0	18,0	18,0
Perdas de calor (W)	522,0	417,6	104,4	187,9
Energia necessária (kWh/dia)	47,5	38,4	9,6	17,1
	Cenário PNAEE (Paredes com Isolamento)			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	0,5	0,5	0,5	0,5
Área (m ²)	106,0	106,0	106,0	106,0
Perdas de calor (W)	530,0	424,0	106,0	190,8
Energia necessária (kWh/dia)	48,2	39,0	9,8	17,4

Nos novos edifícios, após 2013, as janelas típicas têm vidros duplos com corte térmico. Estas, como se pode observar pela figura 4, são constituídos por dois vidros, um no interior com uma espessura de 4 mm e um no exterior com uma espessura de 6mm, e no meio dos vidros há uma

caixa de ar com uma espessura de 6 mm, onde se encontra um corte térmico, com vedante, espaçador e um secante.

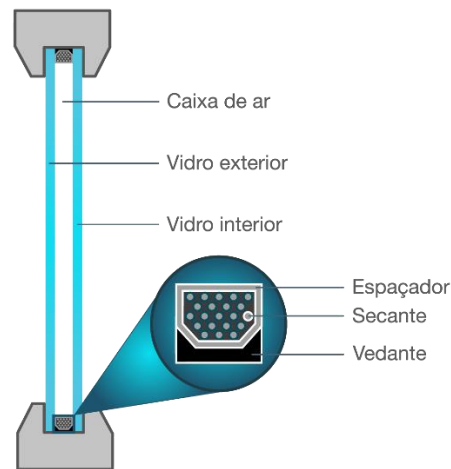


Figura 4: Constituição de uma janela de vidro duplo com corte térmico

Nos novos edifícios, as paredes típicas são paredes simples ou duplas com isolamento térmico. Aqui foi considerada uma parede simples com isolamento térmico pelo exterior de ETICS (External Thermal Isulation Composite Systems). Estes são os sistemas mais usados em Portugal e são constituídos por placas de isolamento térmico com um reboco delgado armado com redes de fibra de vidro ou rede sintética e um revestimento adequado com acabamento que pode ser pintado ou revestido de maneira a transmitir uma aparência tradicional. (Silva, 2013)



Figura 5: Sistema ETICS. (Obras360, 2015)

É também, considerado o consumo energético para Portugal Continental, sendo, por isso, necessário multiplicar o valor do consumo energético total pelo número de habitações em Portugal Continental, de 3 773 956 edifícios. (ADENE, 2010) É, também, calculado o valor total de consumo energético, no final do horizonte temporal.

O valor das emissões de CO₂, calculado a partir de fatores de emissão do gás e da eletricidade, são apresentados na seguinte tabela.

Tabela 11: Fatores de Emissão.(Direção Geral de Energia e Geologia, 2018)

	Gás natural	Eletricidade
Fator de emissão (tCO ₂ eq./kWh)	0,000203	0,000291

Em 2018, o preço médio de uma tonelada de CO₂, no EU ETS foi de 15 €/tCO₂eq., enquanto que em 2019, passou a ser de 20 €/tCO₂eq. (SENDECO, 2018). Por causa desta variação, calculou-se, para as emissões obtidas em cada cenário, os preços de emissões, variando o preço de 1 tCO₂eq. entre 15 e 50 euros, com intervalo de 5 euros.

Com a metodologia descrita, é possível agora, analisar os resultados obtidos com a aplicação do modelo e dos seus respetivos dados. O capítulo 8, apresenta então os resultados da dissertação.

8. Resultados

Os resultados estão divididos por quatro seções, sendo estas a análise económica (1), análise do consumo energético (2), análise das emissões de CO₂eq. (3) e a análise de sensibilidade aos preços de emissão de CO₂eq. (4). Nas seguintes seções responde-se à primeira pergunta de investigação: “Quais os consumos de energia e emissões de CO₂ de cada medida e quais os custos necessários para estas serem implementadas?”.

A. Análise Económica

A avaliação económica teve início com a análise dos custos de implementação/investimento e dos custos de operação de cada medida, para o primeiro ano do projeto.

É importante realçar que os custos de investimento, ou seja, os custos com a aquisição dos equipamentos considerados em cada cenário, são apenas contabilizados no ano zero. Os custos de operação são contabilizados, durante 30 anos, após o primeiro ano de implementação das medidas. Os gráficos seguintes, apresentam os custos de equipamento e os custos de operação, no primeiro ano, de todas as medidas para cada cenário (anexo 8 e 9).

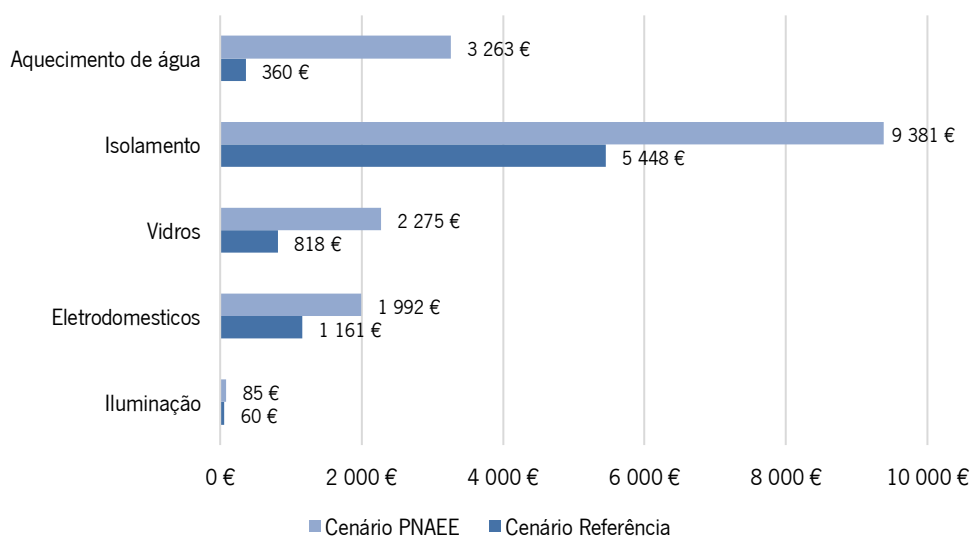


Gráfico 9: Custos de investimento.

No gráfico 9, em cima, observa-se que os custos de aquisição são mais elevados no cenário PNAEE do que no cenário Referência. Estes custos de aquisição apresentam os valores atuais das medidas no mercado, é por essa razão que estes valores são muito diferentes, visto que atualmente um equipamento mais eficiente é mais caro do que um equipamento menos eficiente.

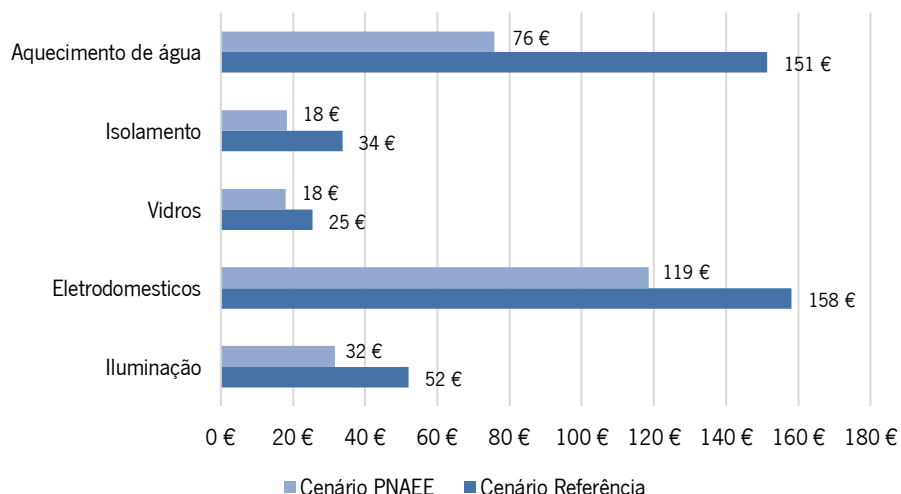


Gráfico 10: Custos de Operação.

Já para os custos de operação, no gráfico 10, observa-se uma inversão da situação, ou seja, os custos de operação são mais elevados no cenário Referência do que no cenário PNAEE. Esta relação é típica e esperada, sendo que interessa perceber se o investimento mais elevado é compensado pelos custos de operação mais baixos.

A tabela 12, apresenta o resultado do somatório dos custos com a aquisição de equipamentos e dos custos de operação de todas as medidas, para cada cenário.

Tabela 12: Resultado do somatório dos custos de equipamento e dos custos de operação.

	Cenário referência	Cenário PNAEE
Custo de aquisição de equipamento	7848 €	16995 €
Custo de operação	421 €	262 €
Total	8269 €	17257 €

Na tabela 12 observa-se que os custos de aquisição de equipamento do cenário Referência são 8988 € mais baratos que o cenário PNAEE. Isto deve-se, como referido anteriormente, aos preços elevados dos equipamentos do cenário PNAEE. Por este facto, como já era de esperar, o custo total é superior no cenário PNAEE quando comparado com o cenário Referência.

É importante salientar, que os custos de operação aqui apresentados são referentes ao primeiro ano, os restantes custos de operação, ver anexo 10 e 11, ao longo do horizonte temporal, são calculados a partir da variação do PIB.

O VAL representa o investimento necessário para implementar cada cenário, e como se pode observar o maior valor de investimento encontra-se no cenário PNAEE, para uma taxa de desconto de 5%.

O gráfico 11, apresenta a evolução temporal dos cash-flows para os dois cenários para o horizonte de 30 anos, por alojamento (anexo 10 e 11). O cash-flow numa empresa corresponde às entradas e saídas monetárias, durante um período. Neste caso, o cash-flow é a diferença dos custos e dos benefícios em cada ano, para um horizonte temporal de 30 anos.

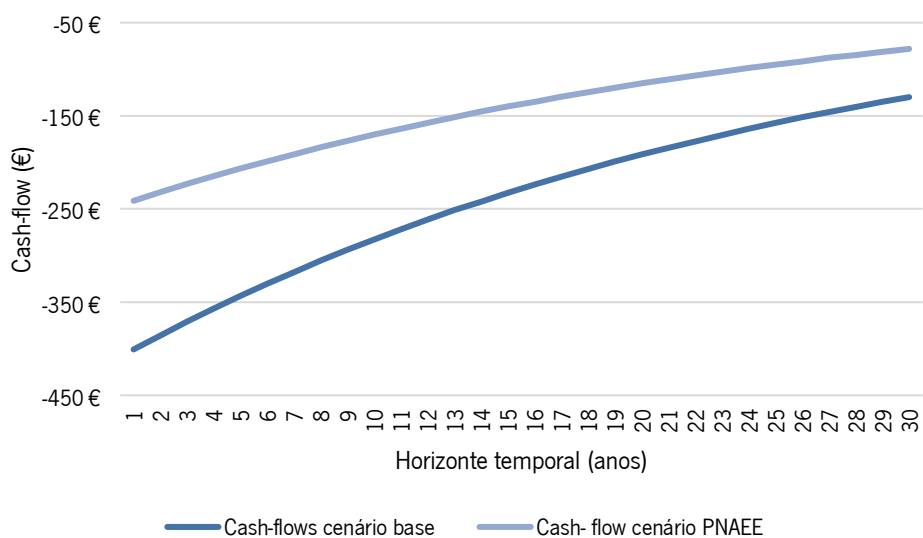


Gráfico 11: Evolução dos cash-flows para cada cenário.

Como se pode observar pelo gráfico 11, tomando a evolução temporal dos cash-flows para os dois cenários nos primeiros anos, conclui-se que estes aumentam de forma linear. Quando nos aproximamos do ano 30, o valor do cash-flow tende a estabilizar. O cenário PNAEE apresenta cash-flows, ao longo do horizonte temporal, superiores ao cenário Referência, pois os custos de operação do cenário Referência são mais elevados, levando assim a um valor de cash-flow menor.

Com o somatório de todos os cash-flows, em 30 anos, é obtido o VAL dos dois cenários. O cenário Referência tem um VAL de -15088 €, como o representado no anexo 10, e o cenário PNAEE tem um VAL de -21353 €, como o apresentado no anexo 11. O VAL para ambos os cenários têm valor negativo, indicando que o investimento não vai ser recuperado no horizonte temporal estipulado de 30 anos. Uma das razões para este valor ser negativo, deve-se ao facto de apenas ser contabilizado um benefício no cenário PNAEE, que foi a redução no custo de emissões.

Um dos principais resultados obtidos, ainda que inesperado, respeita ao somatório do VAL, que mostra que o melhor cenário, em termos económicos, é o cenário Referência, pois apresenta um VAL superior ao do cenário PNAEE, que se deve, ao valor elevado de investimento do cenário PNAEE.

Devido ao resultado referido dos VALs, fez-se variar o investimento do cenário PNAEE, até ao ponto em que o VAL obtido fosse superior ao do cenário Referência. O gráfico 12 apresenta as

variações feitas ao investimento até que o VAL do cenário PNAEE atinja um valor superior ao do cenário Referência.

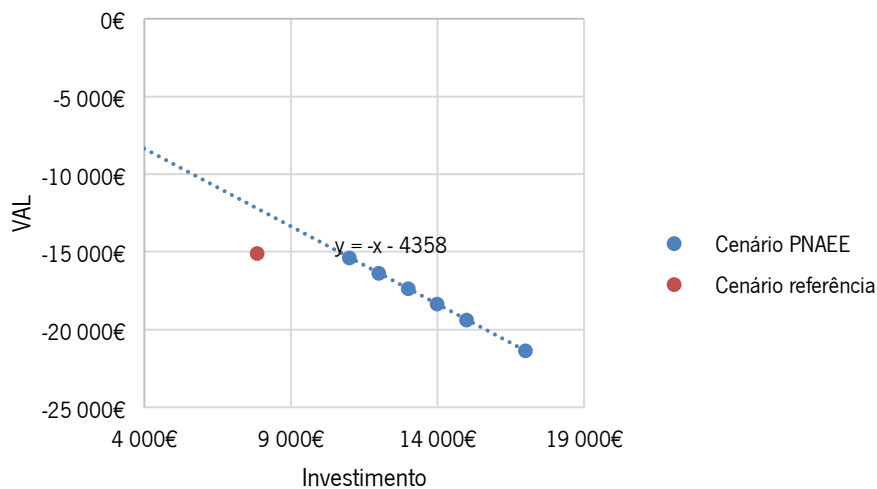


Gráfico 12: Variação do Investimento, no cenário PNAEE.

Como se pode observar no gráfico 12, o cenário PNAEE tem um VAL superior ao do cenário Referência, quando o seu investimento for menor que 10730 €. Desta forma, deduz-se que é necessário reduzir o investimento em 6265 €, a fim de tornar o cenário estudado mais vantajoso que o cenário Referência. Para o VAL do cenário PNAEE ser positivo ou igual a zero, o investimento terá de ser 4358 €.

Variou-se também o preço das emissões que era necessário para obter um VAL superior ao do cenário Referência. Era necessário que o preço de emissões de 1 tCO₂eq. fosse de cerca de 900 €.

B. Análise de Consumo Energético

Os consumos energéticos foram, primeiramente, calculados para o primeiro ano de estudo. O gráfico 13, mostra como variam os consumos energéticos, nos dois cenários para o primeiro ano (anexo 12).

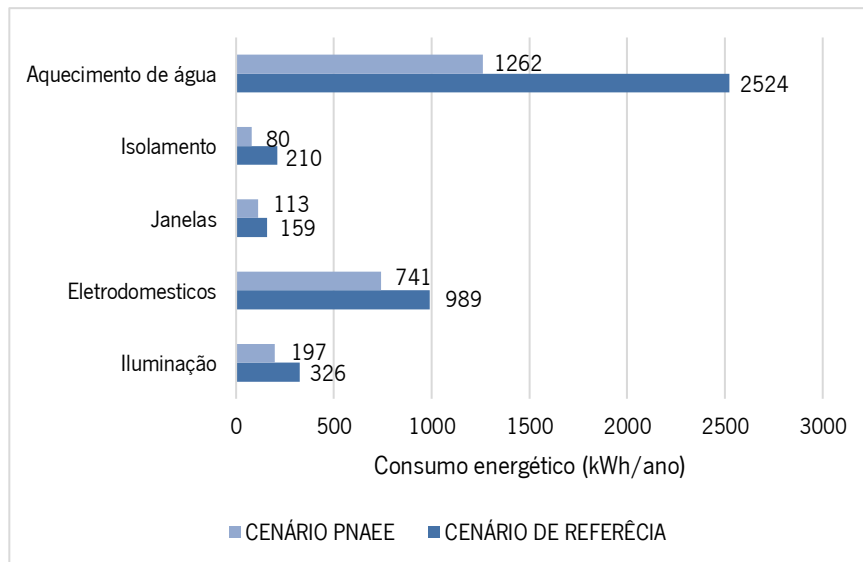


Gráfico 13: Consumo energético, no primeiro ano, para os dois cenários.

Como se pode observar, o cenário de Referência, é aquele que apresenta os valores mais elevados de consumo energético, como já era de esperar, uma vez que este é o cenário menos eficiente, em termos energéticos.

Para o cálculo do consumo nos restantes anos, considerou-se um crescimento similar à média de variação do PIB nos últimos anos. O gráfico mostra como é que o consumo energético varia ao longo do horizonte temporal, para os dois cenários. (anexo14 e 15).

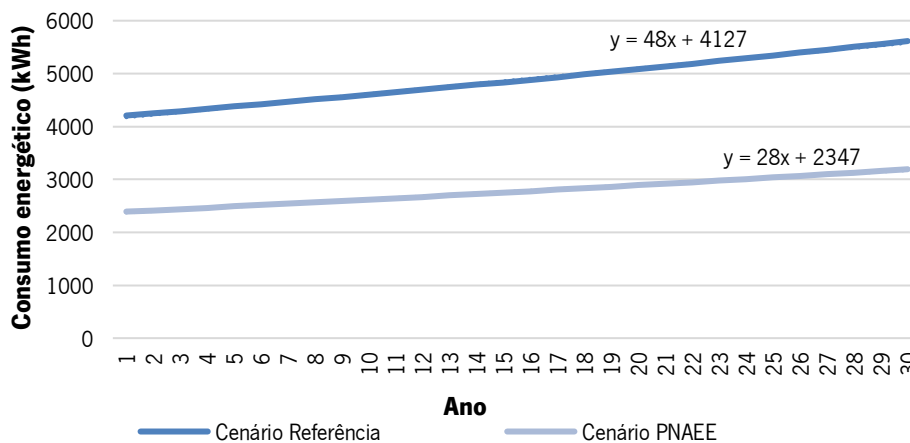


Gráfico 14: Resultados dos Consumos energéticos, por habitação, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.

O gráfico 14, mostra que o consumo energético do cenário Referência, para o horizonte temporal de 30 anos, no primeiro ano é de cerca de 4200 kWh e no último ano é de 5700 kWh. Todos os anos, o consumo energético para o cenário Referência, tende a aumentar 48 kWh. Em relação ao cenário PNAEE, o consumo energético no primeiro ano é de cerca de 2300 kWh e no último ano é de cerca

de 3200 kWh. O consumo energético para o cenário PNAEE tende a aumentar 28 kWh por ano.

Assim, pode concluir-se, que o cenário PNAEE é mais benéfico que o cenário Referência, pois consome menos de metade de energia comparativamente ao cenário Referência. O cenário PNAEE é, também, o cenário que tem a tendência de consumo mais baixa, ou seja, o consumo aumenta mais lentamente, comparativamente ao cenário Referência.

No inquérito ao consumo de energia no setor doméstico, estimou-se para 2010, que o consumo energético por habitação foi de 0.724 tep (cerca de 8420 kWh). Como se pode observar no gráfico 13, o cenário Referência, no primeiro ano, teve um valor de consumo de 3377 kWh. Este valor difere um pouco, do valor presente no inquérito (8420 kWh), pois no ICSD é considerado o consumo elétrico e de gás natural do aquecimento ambiente, do arrefecimento ambiente, do aquecimento de águas, da cozinha, dos equipamentos elétricos e da iluminação. No cenário Referência, aqui apresentado, é considerado apenas o consumo elétrico no aquecimento e arrefecimento ambiente (paredes e janelas), alguns equipamentos da cozinha (máquina de lavar a loiça, máquina de secar e lavar a roupa e frigorífico combinado), a iluminação e o aquecimento de água, a partir de gás natural. Os únicos valores utilizados do ICSD foram os dos eletrodomésticos, da iluminação e do gás natural para o aquecimento de água, tendo os restantes sido calculados conforme o que está apresentado na metodologia, sendo essa uma das razões para esta discrepância dos valores.

Ao fim de 30 anos, o cenário Referência totalizará um consumo energético de 146 MWh e o cenário PNAEE de cerca de 83 MWh. Ao aplicar o cenário PNAEE, é possível, em 30 anos, reduzir o consumo energético em cerca de 43% do valor do cenário Referência.

O gráfico, apresenta a variação do consumo energético em Portugal Continental, para o cenário Referência e para o cenário PNAEE (anexo 16 e 17), no horizonte temporal de 30 anos.

O consumo energético de Portugal, como se pode observar no gráfico 15, no setor residencial para o cenário Referência, no primeiro ano, é de cerca de 15 TWh e no último ano é de cerca de 21 TWh. O consumo energético, tende a aumentar de 0,18 TWh/ano. Em relação ao cenário PNAEE, o consumo energético em Portugal, no primeiro ano é de cerca de 9 TWh e no último ano é de cerca de 12 TWh. O consumo energético, tende a aumentar 0,10 TWh/ano. Tal como foi observado no gráfico anterior, o cenário mais benéfico continua a ser o cenário PNAEE, como esperado, uma vez que o gráfico 15 é uma representação do gráfico 14, mas para um grupo de estudo maior.

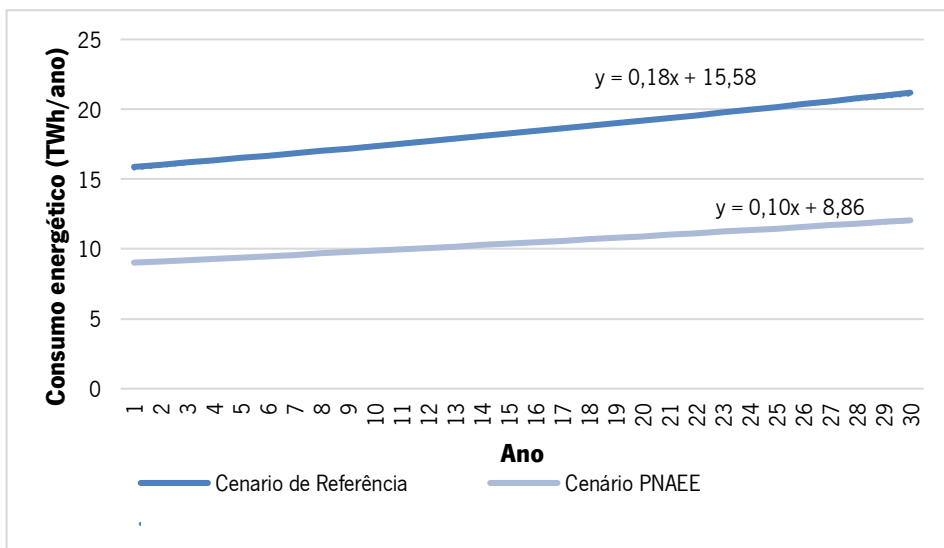


Gráfico 15: Resultados dos Consumos energéticos, em Portugal Continental, para o cenário Referência e para o cenário PNAEE.

No final de 30 anos, o valor de consumo energético é de 552 TWh para o cenário Referência e de 314 TWh para o cenário PNAEE. Ao implementar o cenário PNAEE, pode-se reduzir o consumo energético no setor residencial, em Portugal, em 238 TWh, em 30 anos.

C. Análise das emissões de CO₂eq.

Assim como os consumos energéticos, aqui foram primeiro calculadas as emissões de CO₂eq. para o primeiro ano de estudo. O gráfico 16, mostra como variam as emissões de CO₂eq., nos dois cenários para o primeiro ano. (anexo 12)

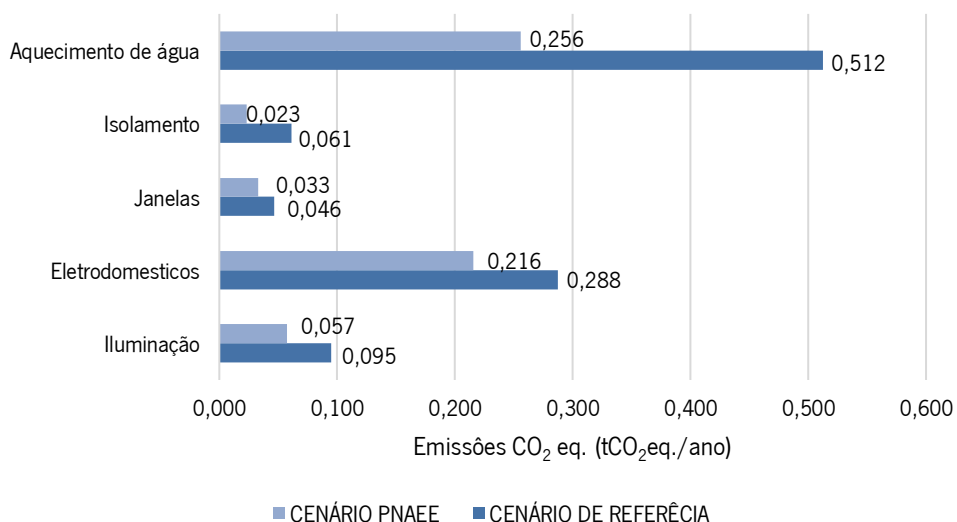


Gráfico 16: Emissões de CO₂eq., no primeiro ano, para os dois cenários.

Como se pode observar, o cenário de Referência, é aquele que apresenta os valores mais elevados

de emissões de CO₂eq., assim como na análise de consumos energéticos, uma vez que este é o cenário menos eficiente, em termos energéticos,

Para o cálculo do consumo nos restantes anos, considerou-se um crescimento similar à média de variação do PIB nos últimos anos. O gráfico 17 mostra, como é que as emissões de CO₂eq. variam ao longo do horizonte temporal, para os dois cenários. (anexo 14 e 15).

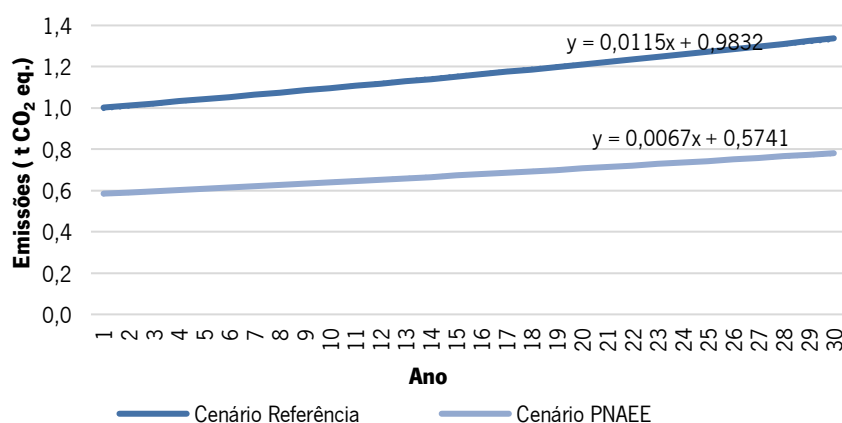


Gráfico 17: Resultados das emissões de CO₂ por habitação, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.

Como se pode observar pelo gráfico 17, as emissões de CO₂eq. do cenário Referência, são de cerca de 1 tCO₂eq. no primeiro ano, para uma habitação de exemplo contabilizada, e 1,4 tCO₂eq., no ano 30. As emissões de CO₂eq., tendem a aumentar 0,012 tCO₂eq./ano. Para o cenário PNAEE, os valores de emissão de CO₂eq., observados no primeiro e último ano, são de cerca de 0,6 e 0,8 toneladas, respetivamente. As emissões de CO₂eq., tendem a aumentar 0,007 tCO₂eq./ano. Assim como no consumo energético, o cenário PNAEE é melhor que o cenário Referência, pois é o cenário que apresenta o menor número de emissões de CO₂eq.

Em 30 anos, as emissões em Portugal, por habitação, serão de 35 tCO₂eq. para o cenário Referência e de 20 tCO₂eq. para o cenário PNAEE. Neste caso, a melhor opção é o cenário PNAEE, pois tem um valor de emissões menor. As medidas do cenário PNAEE reduzem as emissões em cerca de 15 tCO₂eq./habitação, relativamente ao cenário Referência.

O gráfico apresenta as emissões de CO₂, em Portugal Continental (Anexo 16 e 17).

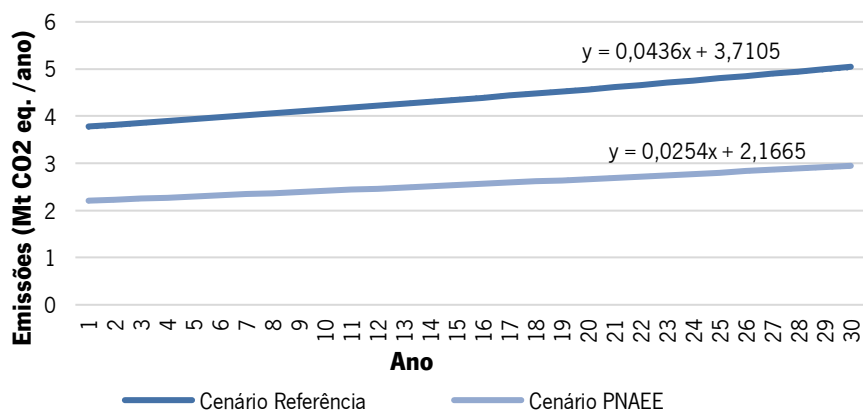


Gráfico 18: Resultados das emissões de CO₂ em Portugal Continental, para o cenário Referência e o cenário PNAEE.

A nível de Portugal Continental, as emissões de CO₂eq. do País, no setor residencial para o cenário Referência, no primeiro ano, são de cerca de 3,5 MtCO₂ eq. e no último ano de cerca de 5 MtCO₂eq. As emissões de CO₂eq., tendem a aumentar 0,044 MtCO₂eq./ano. Em relação ao cenário PNAEE, as emissões de CO₂, em Portugal, no primeiro ano são de cerca de 2 MtCO₂ eq. e no último ano de cerca de 3 MtCO₂eq. As emissões de CO₂eq. tendem a aumentar 0,025 MtCO₂eq./ano. Como foi observado no gráfico anterior, o melhor cenário continua a ser o cenário PNAEE, uma vez que o gráfico 15 é uma representação do gráfico 14, mas para um grupo de estudo maior.

Em Portugal Continental, ao fim de 30 anos, as emissões de CO₂eq. do setor residencial serão de cerca de 132 MtCO₂eq. para o cenário Referência e de cerca de 77 MtCO₂eq. para o cenário PNAEE, representando uma redução de emissões em cerca de 55 MtCO₂eq., no final de 30 anos, se o cenário PNAEE for implementado.

D. Análises de sensibilidade

As emissões de CO₂eq., observadas nos gráficos anteriores, representam um custo para o estado Português por emitir um determinado número de toneladas por ano. Para este estudo, foi feita uma análise de sensibilidade onde foram utilizados 8 valores de preços de emissões de 1 tCO₂eq., que foram depois multiplicados pelas emissões, como referido na secção 7.2 (anexo 18). O gráfico representa os custos de emissões para cada cenário, à medida que o preço da emissão tCO₂eq. aumenta, e as respetivas reduções de custos.

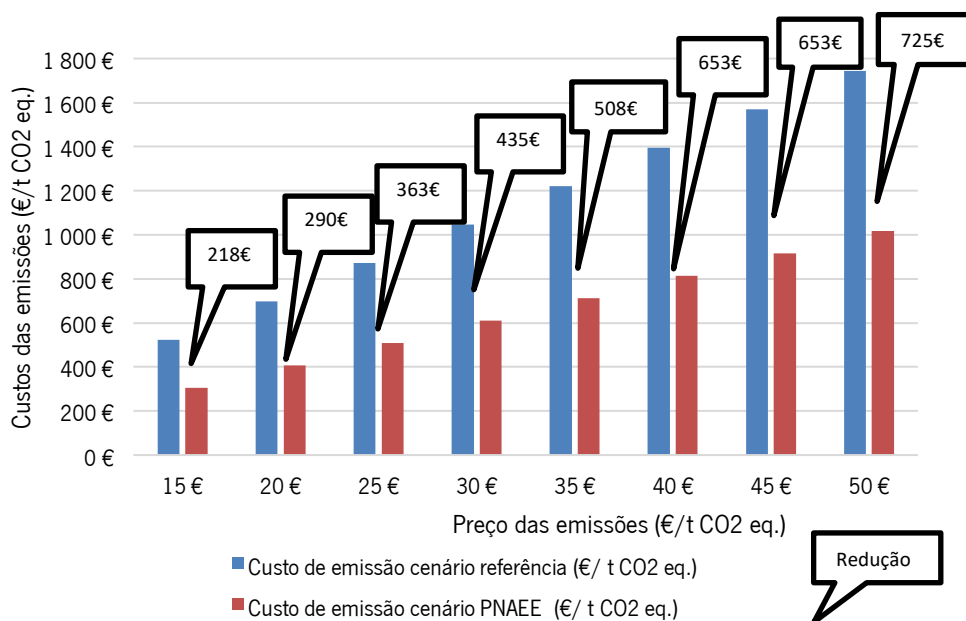


Gráfico 19: Análise sensibilidade ao preço das emissões de CO₂ eq.

Como se pode observar no gráfico 19, o cenário com valores mais altos de custos de emissão é o cenário Referência, pois é aquele que apresenta maiores emissões de CO₂ ao ano. Aquilo que se espera, a nível europeu é que o preço das emissões continue a aumentar para pressionar a adoção de medidas que reduzam as emissões de CO₂.

A aplicação do cenário PNAEE, leva a uma redução nos custos de emissão, pois o valor de emissões libertadas pelo cenário PNAEE são menores que as do cenário Referência e isso acaba por ser refletido agora nos custos de emissões de CO₂.

E. Síntese de resultados

O cenário Referência apresenta-se com um VAL superior ao do cenário PNAEE, o que indica um melhor comportamento económico. Também porque nenhum deles tem um VAL superior a zero podemos observar que não serão financeiramente viáveis num horizonte temporal de 30 anos, devido aos seus elevados custos de investimento e também aos poucos benefícios financeiros considerados em cada um dos cenários.

Para que o cenário PNAEE tenha um desempenho económico superior ao cenário Referência, será necessário reduzir os valores de investimento ou diminuir ainda mais os custos de operação. Calculou-se que o investimento, por alojamento, teria de ser reduzido de 16995€ para cerca de 10000€, que é uma redução de 6995 €, correspondente a 41%. Isto propõe uma necessidade encontrar soluções para incentivar a implementação de medidas de elevada eficiência energética,

como por exemplo a típica atribuição de subsídios. Sendo assim, para a aplicação do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética são necessários apoios para que este possa ser concretizado e os objetivos de redução sejam atingidos. É importante lembrar que consideramos a redução necessária para apenas um alojamento em Portugal.

Ao analisar os consumos energéticos dos dois cenários, percebe-se que o cenário PNAEE tem o consumo energético mais baixo durante o período do horizonte temporal. Com a aplicação das medidas do cenário PNAEE, comparativamente ao cenário Referência, é possível obter uma redução de 43,1% do consumo energético.

O PNAEE 2016 refere que um dos seus objetivos é a redução do consumo energético final até 20% até 2020, em todos os setores. É importante notar que observamos, neste trabalho, que só o setor residencial tem um potencial de redução de consumo de energia final de quase 45%, o que demonstra que os objetivos de eficiência energética podem ser atingidos. Mas para estes serem atingidos é necessário, também, que as medidas sejam economicamente favoráveis. Neste caso, como demonstrado, o cenário PNAEE não é financeiramente favorável, pelo que propomos que haja apoio a parte dos custos de investimento.

Assim como para o consumo energético, o cenário PNAEE, em termos de emissões de CO₂eq., é o que tem melhor resultado, pois emite menos que o cenário Referência. Com a implementação das medidas do cenário PNAEE, prevê-se uma redução de 43% das emissões de CO₂eq., comparativamente ao cenário de Referência. Note-se que a Agência Portuguesa do Ambiente indica uma trajetória de baixo carbono, para o setor residencial e de serviços, com redução de emissões de 50-70% até 2050, em relação ao ano de 2010. (APA, 2018). Daqui concluímos que o cenário PNAEE apresenta boas soluções, e apresenta resultados em linha com os objetivos nacionais.

9. Conclusão

Com a elaboração desta dissertação foi possível obter e comparar os consumos energéticos, emissões de CO₂eq. e os custos e benefícios das medidas do cenário de Referência e do cenário PNAEE, que tem medidas similares, mas graus de eficiência diferentes. No que respeita aos consumos energéticos e emissões de CO₂eq., observa-se que o cenário PNAEE, que é o cenário com maior eficiência energética, apresenta menores consumos energéticos e menores emissões de CO₂eq., logo, apresenta-se como mais benéfico. Quanto à análise económica, observa-se o contrário, ou seja, verifica-se que o cenário Referência tem o maior VAL, logo, o mais bem-comportado, para o horizonte temporal de trinta anos. O cenário PNAEE só pode ter um VAL superior ao do cenário Referência quando forem proporcionados apoios à aplicação de medidas energéticas mais eficientes, tendencialmente financeiros, de maneira a diminuir os custos de investimentos elevados.

Ao longo da realização deste trabalho para o cálculo das necessidades térmicas para o aquecimento e o arrefecimento de uma casa, utilizaram-se valores de temperatura médios para as quatro estações do ano, de acordo com o portal do clima, em todo país, apesar destas variarem muito dependendo do local do país, podendo, assim, haver uma alteração significativa nos resultados. O facto de Portugal, apesar de ser um país muito pequeno, ter diferentes “climas”, muito influenciados pela localização a norte ou sul, litoral ou interior, é uma limitação que importa referir, e poderá ser cuidada em trabalhos futuros. Por exemplo, uma região no interior norte do país irá ter uma necessidade maior para aquecimento nas estações mais frias enquanto a região do sul terá uma menor necessidade.

Por outro lado, a ausência de análise desta temática, em Portugal Continental, tornou difícil a validação da metodologia e a comparação dos resultados obtidos.

Com este trabalho, tenta-se contribuir para o aumento no conhecimento nesta temática, deixando para análises futuras dos impactos das diferentes tipologias de habitação e também a variabilidade meteorológica, que vão além do propósito desta tese.

Após uma reflexão sobre todos os resultados obtidos é possível responder às perguntas de investigação:

- Quais os consumos de energia e emissões de CO₂eq. de cada medida e quais os custos necessários para serem implementadas?

Ficou concluído, que para aplicar as medidas do cenário Referência seria necessário investir 7848€, enquanto que para o cenário PNAEE seria necessário investir 16995€.

Em termos energéticos, verifica-se que as medidas do cenário Referência, no primeiro ano têm

um consumo energético de 4208 kWh e no último ano têm um consumo energético de 5700 kWh, por alojamento. As medidas do cenário PNAEE têm um consumo energético no primeiro ano de 2300 kWh e no último ano de 3200 kWh, por alojamento.

As emissões de CO₂eq. das medidas do cenário Referência são, no primeiro ano, de 1tCO₂eq. e no último ano são de 1,4 tCO₂eq. As medidas do cenário PNAEE, têm emissões de CO₂eq., no primeiro ano, de 0,6 tCO₂eq. e no último ano de 0,8 tCO₂eq.

- Qual a redução do consumo energético e das consequentes emissões de CO₂, resultantes da implementação destas medidas?

No cenário PNAEE a redução estimada de consumo e consequente redução de emissões de CO₂ eq., é de 43%, em relação ao cenário Referência.

- Qual o futuro do PNAEE, no contexto da descarbonização em Portugal, no que toca às medidas propostas para o setor residencial?

Segundo o estudo realizado neste trabalho, conclui-se que as metas estabelecidas no PNAEE podem ser cumpridas, mas, para isso, é necessário estabelecer medidas de financiamento, pois o investimento necessário para aplicar medidas de eficiência energética é extremamente elevado (53% superior ao cenário Referência). Concluímos assim que o PNAEE tem um potencial de descarbonização muito próximo dos 45%, valor que ainda não tinha sido explicitamente calculado e analisado, e que faz com que seja possível atingir as metas do setor residencial e serviço previstas no Roteiro de Baixo Carbono de 2050.

10. Bibliografia

- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner production*, 109, 118-130.
- Annunziata, E., Frey, M., & Rizzi, F. (2013). Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy*, 57, 125-133.
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Filis, G. (2017). Energy consumption, CO2 emissions, and economic growth: An ethical dilemma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(October 2015), 808-824.
- APA. (2018). Roteiro para a Neutralidade Carbónica.
- Araújo, C., Almeida, M., Bragança, L., & Barbosa, J. A. (2016). Cost-benefit analysis method for building solutions. *Applied energy*, 173, 124-133.
- Bhattacharyya, S. C. (2011). *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*. Springer Science & Business Media.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2017). *Cost-benefit analysis: concepts and practice*. Cambridge University Press.
- BP-British Petroleum. (2018). *BP Energy Outlook 2018*.
- Clinch, J. P., & Healy, J. D. (2000). Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency. *Energy Policy*, 29(2), 113-124.
- CYPE Ingenieros, S. A. (2019). Gerador de Preços para a construção com previsões de custos. Obtido de <http://www.geradordeprecos.info/>, acedido: 05/04/2019.
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2017). *Caraterização Energética Nacional*. Obtido de <http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=774977507751AAAAAAAAAAAA>, acedido: 15/06/2019
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2014). *ENERGIA em Portugal*. República Portuguesa.
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2018). *Principais indicadores de energia*. Obtido em: <http://www.dgeg.gov.pt/?cr=14001>, acedido: 05/04/2019
- Enerdata. (2019). *World Energy Consumption Statistics*. Obtido em: <https://yearbook.enerdata.net/>, acedido: 15/03/2019
- European Commission. (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*.
- EUROSTAT. (2019). *Glossary: Primary energy consumption*. Obtido de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Primary_energy_consumption, acedido: 10/03/2019.
- Fanchi, J. R. (2005). Chapter1. A brief History of Energy Consumption. *Energy in the 21st Century*, 1-25.
- GETALAMP. (2019). *Loja Iluminação Profissional - Get a Lamp*. Obtido de <https://www.lamparadirecta.es/getalamp>, acedido: 10/04/2019.
- INE. (2010). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*.

International Energy Agency. (2018). World Energy Outlook Executive Summary. Obtido de www.iea.org/t&c/, acessado: 20/03/2019.

International Energy Agency. (2017). World Energy Balances. Obtido de <https://www.iea.org/statistics/balances/>, acessado: 20/05/2019.

International Energy Agency. (2019a). Total final consumption. Obtido de <https://www.iea.org/statistics/kwes/consumption/>, acessado: 14/03/2019.

International Energy Agency. (2019b). Energy efficiency. Obtido de <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>, acessado: 25/02/2019.

Portal do Clima. (2015). Temperatura média. Obtido de <http://portaldoclima.pt/pt/>, acessado 10/05/2019.

Khan, M. A., Khan, M. Z., Zaman, K., & Naz, L. (2014). Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 336-344.

Krstić, H., & Čulo, K. (2008). Cost benefit analysis of energy efficient family houses. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 113, 191–199.

Kruger, P. (2006). *Alternative energy resources: the quest for sustainable energy*. John Wiley & Sons Incorporated.

KuantoKusta. (2019). KuantoKusta - Comparador de preços e guia de compras online. Obtido de <http://www.kuantokusta.pt/>, acessado: 05/04/2019.

Liu, Y., Liu, T., Ye, S., & Liu, Y. (2018). Cost-benefit analysis for Energy Efficiency Retrofit of existing buildings: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 177, 493–506.

Ministério dos negócios estrangeiros. (1986). Decreto-lei nº243/86 de 20 de agosto., aprova o Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritório e Serviços, Diário da República 1ªSérie – N°190-20-8-1986.

Nejat, P., Jomehzadeh, F., Mahdi, M., & Gohari, M. (2015). A global review of energy consumption, CO 2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO 2 emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862.

Nitta, Y., & Yoda, S. (1995). Challenging the human crisis: «The trilemma». *Technological Forecasting and Social Change*, 49(2), 175–194.

NOAA. (2019). ESRL Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas. *Journal of Geophysical Research*. Obtido de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, acessado: 03/10/2019.

NSW Office of Environment. (2014). NSW Energy efficiency programs Cost benefit analysis. Jacobs.

Obras360. (2015). Sistema ETICS (Capoto). Obtido de <http://estuquesfechas.pt/site/?p=51>, acessado: 06/04/2019.

Oikonomou, V., Becchis, F., Steg, L., & Russolillo, D. (2009). Energy saving and energy efficiency concepts for policy making. *Energy Policy*, 37(11), 4787–4796.

Pablo-Romero, M. del P., Pozo-Barajas, R., & Yñiguez, R. (2017). Global changes in residential energy consumption. *Energy Policy*, 101(April), 342–352.

Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia (2010). Diretiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010, relativa à indicação do consumo de energia dos aparelhos domésticos por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos – Jornal Oficial da União Europeia L 153/3, pp. 1-12.

Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia (2010). Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios – Jornal Oficial da União Europeia L 153/3, pp. 13-35.

Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia (2012). DIRETIVA 2012/27/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE – Jornal Oficial da União L 315/1, 1–56.

Pereira, M. (2013). Edifícios com Necessidades Energéticas quase nulas. Tese de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.

Preciado-Pérez, O. A., & Fotios, S. (2017). Comprehensive cost-benefit analysis of energy efficiency in social housing. Case study: Northwest Mexico. *Energy and Buildings*, 152, 279–289.

Presidência do Conselho de Ministros, 2013. Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 10 de abril que aprova Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016, Diário da República, 1.ª série – N.º 70 de 10 de abril de 2013.

SENDECO. (2018). Precios CO2 - Sendeco2. Obtido de <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>, acedido: 29/04/2019.

Silva, P. (2013). Avaliação e caracterização de medidas de melhoria energética na reabilitação de edifícios numa perspetiva custo-benefício. Seleção e caracterização de medidas de melhoria da envolvente de edifícios. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Sousa, J., Silva, S., & Almeida, M. (2012). Enquadramento Energético do Sector Residencial Português. Seminário Reabilitação Energética de Edifícios, 2009(DGGE 2011), 49–57.

United Nations. (2019). World Population Prospects 2019. Obtido de <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>, acedido: 4/10/2019.

Anexos

Anexo 1: Consumo energéticos do cenário de Referência

	Tep	kWh	Custo operação
Eletrrodomésticos	0,085	988,55	158 €
Iluminação	0,028	325,64	52 €
Gás natural para aquecimento de águas	0,217	2523,71	151 €

Anexo 2: Consumo energético e custos de operação da iluminação LED no cenário PNAEE

	Iluminação LED
Potência média (W)	6
Uso diário	6
Número médio de lâmpadas numa habitação	15
Energia consumida diária (kWh)	0,54
Energia consumida por ano (kWh/ano)	197,1
Custo de operação anual (€/ano)	31,536

Anexo 3: Consumos energéticos e custos de operação dos eletrodomésticos no cenário PNAEE

	Máquina de lavar a roupa
Energia consumida por ano (kWh/ano)	121
Custo de operação (€/ano)	19,36
	Frigorífico
Energia consumida por ano (kWh/ano)	161
Custo de operação (€/ano)	25,76
	Máquina de lavar a louça
Energia consumida por ano (kWh/ano)	265
Custo de operação (€/ano)	42,4
	Máquina de secar a roupa
Energia consumida por ano (kWh/ano)	194
Custo de operação (€/ano)	31,04
	Total
Total consumo anual dos eletrodomésticos (kWh/ano)	741
Total custo de operação (€/ano)	119

Anexo 4: Consumo energético e custos de operação da medida janela de vidro simples (Cenário Referência)

	Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	4,10	4,10	4,10	4,10	
Área (m ²)	18,00	18,00	18,00	18,00	
Perdas de calor	738,00	590,40	13,58	265,68	
Energia necessária para compensar a perda/ganho (kWh/dia)	67,16	54,32	13,58	24,18	TOTAL:
Custo de operação (€/ano)	10,75	8,69	2,17	3,87	25

Anexo 5: Consumo energético e custos de operação da medida parede sem isolamento (Cenário Referência)

	Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	0,92	0,92	0,92	0,92	
Área (m ²)	106,00	106,00	106,00	106,00	
Perdas de calor	975,20	780,16	195,04	351,07	
Energia necessária para compensar a perda/ganho (kWh/dia)	88,74	71,77	17,94	31,95	TOTAL:
Custo de operação (€/ano)	14,20	11,48	2,87	5,11	34

Anexo 6: Consumo energético e custos de operação da medida janela de vidro duplo com corte térmico. (Cenário PNAEE)

	Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	2,3	2,3	2,3	2,3	
Área (m ²)	18,0	18,0	18,0	18,0	
Perdas de calor	522,0	417,6	104,4	187,9	
Energia necessária para compensar a perda/ganho (kWh/dia)	47,5	38,4	9,6	17,1	TOTAL:
Custo de operação (€/ano)	7,60	6,15	1,54	2,74	18

Anexo 7: Consumo energético e custos de operação da medida paredes com isolamento (Cenário PNAEE)

	Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Coeficiente térmico (W/m ² .°C)	0,50	0,50	0,50	0,50	
Área (m ²)	106,00	106,00	106,00	106,00	
Perdas de calor	530,00	424,00	106,00	190,80	
Energia necessária para compensar a perda/ganho (kWh/dia)	48,23	39,01	9,75	17,36	TOTAL:
Custo de operação (€/ano)	7,72	6,24	1,56	2,78	18

Anexo 8: Custos de investimento e operação do cenário Referência

Cenário Referência		
Medidas	Custo de investimento	custo de operação
Iluminação	60 €	52 €
eletrodomésticos	1 161 €	158 €
Janelas vidros simples/duplos	818 €	25 €
Paredes com/sem isolamento	5 448 €	34 €
Aquecimento de águas	360 €	151 €
Total	7 848 €	421 €

Anexo 9: Custos de investimento e operação do cenário PNAEE

Cenário PNAEE		
Medidas	Custo de investimento	Custo de operação
Lâmpadas LED	85 €	32 €
eletrodomésticos	1 992 €	119 €
Janelas vidro duplo	2 275 €	18 €
Paredes com isolamento	9 381 €	18 €
Solar térmico + Gás Natural	3 263 €	76 €
Total	16 995 €	262 €

Anexo 10: VAL do cenário Referência

Horizonte temporal	Investimento	Custos	Benefício	Cash-flows
0	7 848 €	0 €	0 €	-7 848 €
1		421 €	0 €	-401 €
2		425 €	0 €	-386 €
3		429 €	0 €	-371 €
4		434 €	0 €	-357 €
5		438 €	0 €	-343 €
6		442 €	0 €	-330 €
7		447 €	0 €	-317 €
8		451 €	0 €	-305 €
9		456 €	0 €	-294 €
10		460 €	0 €	-283 €
11		465 €	0 €	-272 €
12		470 €	0 €	-261 €
13		474 €	0 €	-251 €
14		479 €	0 €	-242 €
15		484 €	0 €	-233 €
16		489 €	0 €	-224 €
17		493 €	0 €	-215 €
18		498 €	0 €	-207 €
19		503 €	0 €	-199 €
20		508 €	0 €	-192 €
21		513 €	0 €	-184 €
22		519 €	0 €	-177 €
23		524 €	0 €	-171 €
24		529 €	0 €	-164 €
25		534 €	0 €	-158 €
26		540 €	0 €	-152 €
27		545 €	0 €	-146 €
28		551 €	0 €	-140 €
29		556 €	0 €	-135 €
30		562 €	0 €	-130 €
			VAL:	-15 088 €

Anexo 11: VAL do cenário PNAEE

Horizonte temporal	Investimento	Custos	Benefício	Cash-flows
0	16 995 €	0 €	0 €	-16 995 €
1		262 €	10 €	-240 €
2		265 €	11 €	-231 €
3		267 €	11 €	-222 €
4		270 €	11 €	-213 €
5		273 €	11 €	-205 €
6		275 €	11 €	-197 €
7		278 €	11 €	-190 €
8		281 €	11 €	-183 €
9		284 €	11 €	-176 €
10		287 €	11 €	-169 €
11		290 €	12 €	-163 €
12		292 €	12 €	-156 €
13		295 €	12 €	-150 €
14		298 €	12 €	-145 €
15		301 €	12 €	-139 €
16		304 €	12 €	-134 €
17		307 €	12 €	-129 €
18		310 €	12 €	-124 €
19		314 €	12 €	-119 €
20		317 €	13 €	-115 €
21		320 €	13 €	-110 €
22		323 €	13 €	-106 €
23		326 €	13 €	-102 €
24		330 €	13 €	-98 €
25		333 €	13 €	-94 €
26		336 €	13 €	-91 €
27		340 €	14 €	-87 €
28		343 €	14 €	-84 €
29		346 €	14 €	-81 €
30		350 €	14 €	-78 €
			VAL	-21 325 €

Anexo 12: Consumos energéticos e emissões de CO₂ eq., para as diferentes medidas, no primeiro ano

Iluminação		
	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Consumo energético anual (kWh/ano)	326	197
Emissões de CO ₂ anual (t CO ₂ eq./ano)	0,095	0,057

Eletrodomésticos		
	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Consumo energético anual (kWh/ano)	989	741
Emissões de CO ₂ anual (t CO ₂ eq./ano)	0,288	0,216

Janelas		
	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Consumo energético anual (kWh/ano)	159	113
Emissões de CO ₂ anual (t CO ₂ eq./ano)	0,046	0,033

Isolamento		
	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Consumo energético anual (kWh/ano)	210	80
Emissões de CO ₂ anual (t CO ₂ eq./ano)	0,061	0,023

Aquecimento de águas		
	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Consumo energético anual (kWh/ano)	2523,71	1261,855
Emissões de CO ₂ anual (t CO ₂ eq./ano)	0,512	0,256

Anexo 13: Emissões de CO₂ eq. e consumo energético total e por alojamento, no primeiro ano

	Cenário Referência	Cenário PNAEE
Emissões CO ₂ por alojamento (t CO ₂ eq./ano)	1,0	0,6
Consumo energético por alojamento (kWh/ano)	4208	2393
Emissões CO ₂ totais alojamentos (t CO ₂ eq./ano)	3782665	2208563
Consumo energético total por alojamento (kWh/ano)	15879070949	9029675363

Anexo 14: Consumo energético e emissões de CO₂ eq./alojamento, e os seus respetivos custos, para 30 anos (Cenário Referência)

Horizonte temporal	Consumo energético (kWh/ano)	Emissões de CO₂ (t CO₂ eq./ano)	Custo de emissões de CO₂ (t CO₂ eq./ano)
1	4208	1,0	25 €
2	4250	1,0	25 €
3	4292	1,0	26 €
4	4335	1,0	26 €
5	4378	1,0	26 €
6	4422	1,1	26 €
7	4466	1,1	27 €
8	4511	1,1	27 €
9	4556	1,1	27 €
10	4602	1,1	27 €
11	4648	1,1	28 €
12	4694	1,1	28 €
13	4741	1,1	28 €
14	4789	1,1	29 €
15	4836	1,2	29 €
16	4885	1,2	29 €
17	4934	1,2	29 €
18	4983	1,2	30 €
19	5033	1,2	30 €
20	5083	1,2	30 €
21	5134	1,2	31 €
22	5185	1,2	31 €
23	5237	1,2	31 €
24	5290	1,3	32 €
25	5342	1,3	32 €
26	5396	1,3	32 €
27	5450	1,3	32 €
28	5504	1,3	33 €
29	5559	1,3	33 €
30	5615	1,3	33 €
TOTAL:	146359	34,9	872 €

Anexo 15: Consumo energético e emissões de CO₂ eq/alojamento., e os seus respetivos custos, para 30 anos (Cenário PNAEE)

Horizonte temporal	Consumo energético (kWh/ano)	Emissões de CO₂ (t CO₂ eq./ano)	Custo de emissões de CO₂ (t CO₂ eq./ano)
1	2393	0,6	15 €
2	2417	0,6	15 €
3	2441	0,6	15 €
4	2465	0,6	15 €
5	2490	0,6	15 €
6	2515	0,6	15 €
7	2540	0,6	16 €
8	2565	0,6	16 €
9	2591	0,6	16 €
10	2617	0,6	16 €
11	2643	0,6	16 €
12	2669	0,7	16 €
13	2696	0,7	16 €
14	2723	0,7	17 €
15	2750	0,7	17 €
16	2778	0,7	17 €
17	2806	0,7	17 €
18	2834	0,7	17 €
19	2862	0,7	17 €
20	2891	0,7	18 €
21	2919	0,7	18 €
22	2949	0,7	18 €
23	2978	0,7	18 €
24	3008	0,7	18 €
25	3038	0,7	19 €
26	3068	0,8	19 €
27	3099	0,8	19 €
28	3130	0,8	19 €
29	3161	0,8	19 €
30	3193	0,8	20 €
TOTAL:	83227	20,4	509 €

Anexo 16: Consumo energético e emissões de CO₂ eq., para 30 anos, em Portugal Continental (Cenário Referência)

Horizonte temporal	Consumo energético (TWh/ano)	Emissões de CO₂ eq. (MT CO₂/ano)
1	16	4
2	16	4
3	16	4
4	16	4
5	17	4
6	17	4
7	17	4
8	17	4
9	17	4
10	17	4
11	18	4
12	18	4
13	18	4
14	18	4
15	18	4
16	18	4
17	19	4
18	19	4
19	19	5
20	19	5
21	19	5
22	20	5
23	20	5
24	20	5
25	20	5
26	20	5
27	21	5
28	21	5
29	21	5
30	21	5
TOTAL:	552	132

Anexo 17: Consumo energético e emissões de CO₂ eq., para 30 anos, em Portugal Continental (Cenário PNAEE)

Horizonte temporal	Consumo energético (TWh/ano)	Emissões de CO₂ (Mt CO₂/ano)
1	9	2
2	9	2
3	9	2
4	9	2
5	9	2
6	9	2
7	10	2
8	10	2
9	10	2
10	10	2
11	10	2
12	10	2
13	10	2
14	10	3
15	10	3
16	10	3
17	11	3
18	11	3
19	11	3
20	11	3
21	11	3
22	11	3
23	11	3
24	11	3
25	11	3
26	12	3
27	12	3
28	12	3
29	12	3
30	12	3
TOTAL:	314	77

Anexo 18: Análise de sensibilidade ao preço das emissões tCO₂eq

Preço de emissão (€/tCO ₂ eq.)	15	20	25	30	35	40	45	50
Custo de emissão cenário Referência (€/tCO ₂ eq.)	523	697	872	1046	1220	1395	1569	1743
Custo de emissão cenário PNAEE (€/tCO ₂ eq.)	305	407	509	611	712	814	916	1018
Redução de custos	218	290	363	435	508	580	653	725