

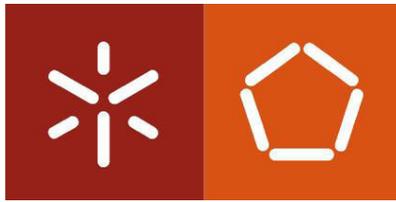


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Cláudia Pereira Sousa Dias

**Edifícios residenciais de energia quase-zero – O contributo de energia de origem renovável numa perspetiva de otimização da relação custo-benefício**





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Cláudia Pereira Sousa Dias

**Edifícios residenciais de energia quase-  
-zero – O contributo de energia de  
origem renovável numa perspetiva de  
otimização da relação custo-benefício**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da  
Professora Doutora Manuela Almeida  
e do  
Arquiteto Marco Ferreira



## **AGRADECIMENTOS**

Este espaço é dedicado àquelas pessoas que, de alguma forma, me guiaram e incentivaram durante a elaboração desta dissertação de mestrado.

Começo por agradecer aos meus orientadores Professora Doutora Manuela Almeida e Arquiteto Marco Ferreira, pela sua orientação, apoio, disponibilidade no esclarecimento de dúvidas, partilha de conhecimentos e sugestões prestadas, sem as quais não seria possível a realização desta dissertação.

Um enorme e especial agradecimento aos meus pais e família, que sempre se esforçaram e sacrificaram para me dar tudo o que eu precisei desde o primeiro dia, bem como pelo amor, carinho e ensinamentos ao longo de toda a minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos, por todos os bons momentos passados, pelas horas de estudo partilhadas, por todos os momentos de lazer e diversão, por toda a amizade e motivação.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho que contribuíram para a minha formação e aprendizagem. O meu muito obrigado e desejo de continuação do excelente trabalho desenvolvido até agora.

À Universidade do Minho e toda a sua comunidade que me acolheu ao longo do meu percurso académico.



## RESUMO

O setor dos edifícios representa cerca de 40% do total do consumo de energia (União Europeia, 2010). A necessidade de adoção de políticas e o cumprimento de metas para a redução desse consumo tornou-se urgente. Para isso a União Europeia (UE) implementou o conceito de edifícios de energia quase-zero, ou seja, edifícios de baixo consumo energético e consciencializou que para a concretização desses edifícios era imprescindível a utilização de energia renovável, de preferência a disponível localmente.

A presente dissertação pretende estudar diferentes edifícios residenciais representativos do parque habitacional português com vista à obtenção do balanço energético nulo. A metodologia adotada neste trabalho tem como objetivo a adição de equipamentos que utilizam ou são geradores de energia de origem renovável ao nível ótimo de rentabilidade, uma vez que a definição nacional de edifícios de energia quase-zero (Decreto-Lei nº 28/2016 de 23 de junho, 2016) assenta nestes pressupostos.

O conceito de nível ótimo de rentabilidade estabelece os requisitos mínimos de desempenho energético considerando os custos de ciclo de vida, enquanto o conceito de balanço energético quase nulo implica adicionalmente a utilização de fontes de energia renovável.

Assim, com base no relatório nacional relativo ao cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade do desempenho energético dos edifícios e seus elementos, para edifícios residenciais, foi possível concluir quais as combinações de medidas/soluções para a envolvente dos edifícios economicamente mais rentáveis, ou seja, quais as soluções de custo ótimo. Adicionando a estas soluções de custo ótimo a utilização de energia de origem renovável, são investigadas as soluções que acrescem o mínimo de custos comparativamente ao nível ótimo de rentabilidade e aproximam-se do balanço energético nulo.

A partir dos resultados obtidos é possível concluir, consoante a localização e a época construtiva, quais as soluções, com parte relevante de renováveis, que apresentam um menor custo global e portanto as melhores soluções para cada edifício estudado, fornecendo indicações para o futuro desenvolvimento de edifícios de energia quase-zero.

**Palavras-chave:** nZEB, edifícios residenciais, energias renováveis, nível ótimo de rentabilidade.



## **ABSTRACT**

The building sector represents about 40% of the total energy consumption (European Union, 2010). The need to adopt new policies and to achieve targets for energy consumption reduction has become urgent. Therefore, the European Union (EU) has implemented the concept of nearly zero energy building, i.e., buildings with a high energy performance and that use energy from renewable sources harvested on-site to cover the low energy needs.

The following dissertation intends to study different representative residential buildings in the Portuguese housing stock in order to obtain a nearly-zero energy balance. The methodology adopted in this work is based on the addition of systems that use or generate energy from renewable sources to buildings with a cost optimal envelope. This option is based on the current definition of nearly-zero energy building from the Portuguese thermal regulation (Decree-Law n° 28/2016 from June 23rd, 2016).

The cost optimal concept establishes the minimum requirements of energy performance considering the life cycle costs, while the nearly zero energy balance concept implies the reduction of energy consumption by using renewable energy sources.

So, based on the Portuguese report on the calculation of cost optimal levels of minimum energy performance for residential buildings, it has been possible to investigate which are the most cost-effective measures/solutions, ie, which were the cost optimal solutions. After, renewable energy systems were added in order to investigate which were the most viable solutions, ie, which solutions added minimal costs compared to the cost optimal levels.

From the obtained results it can be concluded, depending on the location and construction date, which solutions, with significant part of renewables, have a lower global cost and therefore are the best solutions for each studied building, providing inputs for the future implementation of nearly-zero energy buildings in Portugal.

**Keywords:** nZEB, residential buildings, renewable energy, cost-optimal level.



# ÍNDICE

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos do trabalho .....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
CAPÍTULO 2- ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. Conceito NZEB .....	5
2.2. Componente construtiva.....	7
2.2.1. Componente construtiva passiva.....	7
2.2.2. Componente construtiva ativa .....	8
2.3. Energias renováveis.....	8
2.3.1. Energia Solar .....	9
2.3.1.1. Sistemas de produção de energia solar térmica.....	10
2.3.1.2. Sistemas de produção de energia solar fotovoltaica.....	11
2.3.2. Biomassa.....	13
2.3.3. Bomba de calor geotérmica .....	14
2.4. Níveis ótimos de rentabilidade .....	15
2.4.1 Definição de nível ótimo de rentabilidade.....	15
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DE EDIFÍCIOS COM BALANÇO ENERGÉTICO NULO .....	17
3.1. Metodologia.....	17
3.2. Caracterização dos edifícios de referência .....	18

3.3. Regiões de estudo .....	19
3.4. Seleção das soluções a estudar .....	20
3.4.1. Sistemas utilizados .....	21
3.4.1.1. Sistema solar térmico por termossifão .....	21
3.4.1.2. Sistema solar fotovoltaico ligado à rede elétrica .....	22
3.5. Cálculo das necessidades de energia primária de cada variante, decorrentes da incorporação de energias renováveis.....	23
3.6. Contributo das energias de origem renovável .....	25
3.6.1. Sistemas solares térmicos e sistemas solares fotovoltaicos.....	25
3.6.1.1. Sistemas solares térmicos .....	26
3.6.1.2. Sistemas solares fotovoltaicos .....	28
3.6.2. Sistemas a biomassa .....	28
3.6.3. Sistemas de bombas de calor .....	30
3.7. Custo global em termos de valor atual líquido da adição de energias renováveis .....	30
3.7.1. Custo global.....	30
3.7.2. Custo de investimento inicial .....	31
3.7.3. Custo de manutenção.....	31
3.7.4. Custo energético .....	31
3.8. Níveis ótimos de rentabilidade .....	32
3.9. Análises de sensibilidade.....	32
<b>CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE .....</b>	<b>33</b>
4.1. Edifícios anteriores ao ano de 1960.....	33

4.1.1. Porto .....	33
4.1.2. Bragança .....	38
4.1.3. Lisboa .....	40
4.1.4. Portalegre.....	43
4.2. Edifícios novos .....	47
4.2.1. Porto .....	47
4.2.2. Bragança .....	49
4.2.3. Lisboa .....	51
4.2.4. Portalegre.....	53
4.3. Análises de sensibilidade.....	55
4.3.1. Alteração da taxa de desconto para 10% e 5%.....	55
4.3.2. Alteração da evolução do custo da biomassa para 4% e 2% ao ano .....	57
CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES.....	61
5.1. Resumo e principais conclusões .....	61
5.2. Perspetivas Futuras .....	65
Referências Bibliográficas.....	67
ANEXOS.....	71
Anexo I – Relatórios SOLTERM 5.0 .....	72
Porto .....	72
Porto .....	73
Portalegre.....	74

Portalegre.....	75
Bragança.....	76
Bragança.....	77
Lisboa.....	78
Lisboa.....	79
Anexo II – Relatórios PV.....	80
Porto.....	80
Portalegre.....	81
Bragança.....	82
Lisboa.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Medidas para reduzir as necessidades energéticas de um edifício, (Gonçalves, 2011) .....	6
Figura 2- Irradiação europeia, (Gonçalves H, 2012).....	9
Figura 3- Sistema de circulação forçada.....	10
Figura 4- Sistema termossifão .....	11
Figura 5- Sistema solar fotovoltaico.....	11
Figura 6- Sistema ligado à rede de energia elétrica.....	12
Figura 7- Sistema isolado .....	12
Figura 8- Sistema híbrido .....	13
Figura 9- Caldeira a biomassa .....	13
Figura 10- Sistema a biomassa combinado com coletores solares .....	14
Figura 11- Esquema enterrado verticalmente (esquerda) e horizontalmente (direita), (Tavares, J. 2011) .....	15
Figura 12- Nível ótimo de rentabilidade, (Almeida, et al., 2014) .....	16
Figura 13 - Coletor solar Vulcano .....	22
Figura 14 - Kit solar térmico fotovoltaico .....	22
Figura 15- Interface inicial do software SolTerm 5.0 .....	26
Figura 16- Interface dos sistemas térmicos do software SolTerm 5.0.....	27
Figura 17- Interface da análise energética do software SolTerm 5.0 .....	27
Figura 18- Sistemas de informação geográfica fotovoltaica .....	28

Figura 19 – Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade do Porto .....	35
Figura 20- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Bragança .....	39
Figura 21- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Lisboa .....	42
Figura 22- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Portalegre.....	45
Figura 23- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade do Porto .....	48
Figura 24- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Bragança .....	50
Figura 25- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Lisboa .....	52
Figura 26- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Portalegre.....	54
Figura 27- Alteração da taxa de desconto para 10% .....	56
Figura 28- Alteração da taxa de desconto para 5% .....	57
Figura 29- Alteração da evolução do custo da biomassa para 4% .....	58
Figura 30- Alteração da evolução do custo da biomassa para 2% .....	59

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- caracterização geométrica das frações de referência resultante da análise da base de dados da ADENE .....	19
Tabela 2- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade do Porto.....	34
Tabela 3- Tabela síntese para a cidade do Porto .....	37
Tabela 4- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Bragança.....	38
Tabela 5- Tabela síntese para a cidade de Bragança .....	40
Tabela 6- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Lisboa.....	41
Tabela 7- Tabela síntese para a cidade de Lisboa .....	43
Tabela 8- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Portalegre .....	44
Tabela 9- Tabela síntese para a cidade de Portalegre .....	46
Tabela 10- Soluções ótimas para edifícios anteriores ao ano de 1960 .....	46
Tabela 11- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade do Porto.....	47
Tabela 12- Tabela síntese para a cidade do Porto .....	49
Tabela 13- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Bragança.....	49
Tabela 14- Tabela síntese para a cidade de Bragança .....	51
Tabela 15- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Lisboa.....	51

Tabela 16- Tabela síntese para a cidade de Lisboa .....	52
Tabela 17- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Portalegre .....	53
Tabela 18- Tabela síntese para a cidade de Portalegre .....	54
Tabela 19- Soluções ótimas para edifícios novos.....	55

## **ABREVIATURAS**

EPBD – Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios

nZEB – Edifício com necessidades energéticas quase nulas

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

AQS – Aquecimento das águas quentes sanitárias

ETICS – Sistema de isolamento térmico pelo exterior

PVC – Policloreto de Polivinila

COP – Coeficiente de Eficiência Energética no modo de aquecimento

EER – Coeficiente de Eficiência Energética no modo de arrefecimento

XPS – Poliestireno Extrudido

EPS – Poliestireno Expandido

UE – União Europeia

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação



## SIGLAS

Nic - Necessidades de energia útil para aquecimento

fi,k - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento

Nvc - Necessidades de energia útil para arrefecimento

fv,k - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento s

Qa - Necessidades de energia útil para preparação de AQS

fa,k - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS

$\eta_k$  - Eficiência do sistema k

j - Todas as fontes de energia incluindo de origem renovável

p - Fontes de origem renovável

Eren,p - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p

Wvm - Energia elétrica necessária ao funcionamento de ventiladores

Ap - Área interior útil de pavimento

Fpu,f e Fpu,p - Fatores de conversão de energia útil para energia primária

Qtr,i - transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios

Qve,i - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento

Qgu,i - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes

$\eta_v$  - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

Qg,v - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento



## **CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO**

Neste capítulo será apresentado um enquadramento do tema, bem como os objetivos do trabalho e a estrutura utilizada no desenvolvimento da dissertação.

### **1.1. Enquadramento**

A energia é o principal impulsor de desenvolvimento da sociedade e da tecnologia. Sem ela seria impossível viver como vivemos ou evoluir como temos evoluído. Tal não justifica um crescimento irracional, quer na procura, quer da oferta de energia.

Contudo, com o aumento da população, o desenvolvimento dos países e uma crescente melhoria do conforto exigido pela sociedade é, cada vez mais notório, um aumento da energia consumida e conseqüentemente um aumento dos gases de efeito de estufa que são lançados para a atmosfera.

A este ritmo é previsível que no futuro, devido ao consumo descontrolado da sociedade, possam surgir impactes irreversíveis no ambiente, assim como, uma escassez de recursos energéticos e conseqüentemente dificuldades no abastecimento energético, o que implicará questões fundamentais relativas quer à atualidade, quer ao futuro da nossa sociedade.

Sendo que o setor dos edifícios é um dos maiores consumidores de energia na UE é fundamental reconhecer a importância e urgência da definição de políticas para contornar esta situação.

Assim, a revisão da diretiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios definiu, como metas, que a partir de 2018 os novos edifícios públicos, e que a partir de 2020 todos os edifícios novos, sejam edifícios de energia quase nula. Estes edifícios, de uma maneira

generalizada, são edifícios com bons níveis de comportamento energético e cujas necessidades possam ser satisfeitas maioritariamente por fontes de energia renovável.

Dada a especificidade de cada estado membro, nomeadamente a sua cultura e clima, cada país terá de criar a sua própria definição de edifício com baixas necessidades energéticas. É importante focar que para se alcançar o objetivo é imprescindível a consciencialização de que é necessário haver menor consumo de energia e mais produção da mesma, de preferência no local, com recurso a fontes de energia renovável. É também de referir, e não menos importante, a necessidade de recorrer a tecnologias que melhorem a eficiência energética.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

Esta dissertação tem como principal objetivo a identificação de estratégias e tecnologias disponíveis para a obtenção de edifícios residenciais de energia quase-zero em Portugal, tendo em consideração os custos de ciclo de vida, assim como, a contribuição para a consolidação de uma definição nacional.

Foi adotada uma metodologia que tem como princípio a adição de equipamentos que utilizam ou são geradores de energia de origem renovável a vários edifícios de referência cuja envolvente corresponda ao nível ótimo de rentabilidade, tendo assim por base a atual definição que consta da regulamentação nacional.

Foram analisados edifícios de referência virtuais que caracterizam o parque edificado nacional. Esses edifícios são caracterizados pela época construtiva e pela tipologia. Foram estudadas quatro localidades (Porto, Bragança, Lisboa e Portalegre) em duas épocas diferentes (edifícios anteriores ao ano de 1960 e edifícios novos).

Após implementação desta metodologia foram comparados os custos totais das diferentes soluções que visam atingir o balanço energético nulo e chegar a conclusões acerca das soluções mais viáveis para cada edifício estudado.

Em suma, a presente dissertação pretende analisar os custos totais das diferentes soluções estudadas nesta dissertação e evidenciar a solução com menor custo global

considerando os custos de ciclo de vida, consoante a localização, a tipologia e diferentes condições climáticas.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos.

No capítulo 1 é introduzido o tema a tratar nesta dissertação, são também apresentadas as motivações e objetivos deste trabalho, bem como a estrutura adotada na organização desta dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se o Estado de Arte, onde se introduz muito sucintamente algumas temáticas relacionadas com os nZEB.

No capítulo 3 expõe-se a metodologia utilizada para a concretização de edifícios com balanço energético nulo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos após aplicação da metodologia referida no capítulo 3.

No capítulo 5 e último capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas deste estudo.



## **CAPÍTULO 2- ESTADO DA ARTE**

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos teóricos para uma melhor perceção do tema abordado.

### **2.1. Conceito NZEB**

A diminuição do consumo energético, assim como o aumento da produção de energia proveniente de fontes de energia renováveis são algumas das medidas necessárias para possibilitar, até 2020, a redução das emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 20% em relação aos níveis verificados em 1990 e manter o aumento da temperatura global abaixo dos 2 °C (European Commission, 2010).

Com isto, a EPBD determinou que a partir de 2018 todos os edifícios novos públicos e a partir de 2020 todos os edifícios novos construídos sejam caracterizados por níveis mais elevados de desempenho energético sendo maioritariamente utilizadas as fontes de energia renovável e preferencialmente as disponíveis localmente, sem comprometer o conforto dos ocupantes e o equilíbrio económico.

Embora a EPBD estabeleça uma definição genérica de edifícios com necessidades quase nulas de energia ou nearly zero energy building (nZEB) cabe a cada país formular a sua definição, designadamente na definição do nível mínimo de desempenho da envolvente e da quantidade mínima de energia de origem renovável, o que permite diferentes interpretações e métodos de abordar o assunto, levando a diferentes definições nZEB de país para país. Assim, o conceito de edifício com necessidades energéticas quase nulas torna-se complexo.

Logo à partida surgem algumas questões, como por exemplo:

- A energia produzida através de fontes renováveis no local deve equilibrar que tipo de consumos?

- Relativamente a edifícios novos, a energia consumida na construção do edifício deve ser contabilizada no balanço energético?
- Quando se fala na produção de energia a partir de fontes de energia renovável no local ou nas proximidades qual é a extensão que engloba?

Apesar de este assunto gerar alguma discordância é importante referir que para se conseguir um edifício com necessidades de energia quase nula é necessário reduzir o consumo de energia, aumentando a eficiência energética através de medidas como por exemplo:

- Orientação dos envidraçados a sul;
- Otimização térmica da envolvente;
- Bons níveis de isolamento;
- Janelas eficientes;
- Otimização dos ganhos solares;
- Implementação de sistemas passivos;
- Aproveitamento da iluminação natural e ventilação natural;
- Utilização de iluminação eficiente;
- Utilização de equipamentos eficientes.

Na figura 1 é apresentado um esquema demonstrativo:



Figura 1- Medidas para reduzir as necessidades energéticas de um edifício, (Gonçalves, 2011)

---

Por outro lado, só é possível a concretização destes edifícios com recurso à utilização de fontes de energia renovável de maneira a gerar parte significativa da sua própria energia.

É de evidenciar a energia solar, energia eólica, energia geotérmica e biomassa, ainda que existam outras fontes de energia renovável, como por exemplo, energia hídrica e energia das ondas e marés.

## **2.2. Componente construtiva**

Para a construção de um edifício é necessário ter em conta vários requisitos para que seja possível a realização de uma construção sustentável e eficiente. É fundamental perceber que sem esses requisitos é impossível a concretização de um edifício nZEB. Importa, desde já, ter a consciência que tanto a componente construtiva passiva como a componente construtiva ativa são essências neste processo.

### **2.2.1. Componente construtiva passiva**

Esta componente é relativa à construção do edifício. São todas as soluções que, de alguma forma, controlam os fluxos de energia, em forma de condução, radiação solar, convecção e ação do vento, com o fim de reduzir as necessidades de iluminação artificial durante as horas de exposição solar, assim como, reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento recorrendo a sistemas que necessitem de recursos energéticos. Algumas dessas soluções são:

- Forma, localização e orientação do edifício;
- Sistemas de sombreamento;
- Vãos envidraçados;
- Iluminação natural;
- Envolvente opaca;
- Sistemas de arrefecimento e aquecimento.

### **2.2.2. Componente construtiva ativa**

Esta componente abrange soluções que utilizam energia elétrica, térmica ou ambas, englobando também a iluminação artificial. Esta componente assegura as condições de conforto regulamentares complementando as necessidades energéticas não satisfeitas pela componente passiva. Algumas dessas soluções são:

- Iluminação artificial;
- Sistemas de climatização;
- Equipamentos para produção de águas quentes sanitárias.

### **2.3. Energias renováveis**

Nas últimas décadas, devido ao uso irrefletido da energia são notórias, cada vez mais, as consequências sentidas no planeta Terra. Foram atingidos níveis de poluição nunca antes vistos, conduzindo a alterações climáticas graves (Passos, 2012). É urgente a procura de soluções para dar resposta a esta situação.

Posto isto, as fontes de energia renovável desempenham um papel fundamental, uma vez que são um recurso inesgotável, e por isso, uma solução a ter em conta na produção mundial de energia.

Existe uma grande variedade de fontes de energia renovável:

- Energia Solar - É a energia proveniente do sol;
- Energia Eólica - É a energia cinética do vento provocado pelo aquecimento desigual na superfície da terra;
- Energia da Biomassa - É a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese;
- Energia Geotérmica - É a energia obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra;

- Energia Hídrica - É a energia produzida pelas barragens durante o processo de aproveitamento da força motriz da água para movimentar as pás que se encontram na turbina, que por sua vez estão ligadas a um gerador, produzindo energia elétrica;
- Energia das Ondas e Marés.

Para além do enorme contributo para a diminuição dos gases de estufa, têm também um papel fundamental no conceito nZEB, uma vez que, são estas fontes de energia que contribuem para um balanço energético nulo.

### 2.3.1. Energia Solar

O sol é a maior fonte de energia que existe no planeta. Portugal é um dos países com maior disponibilidade de recurso solar (figura 2):

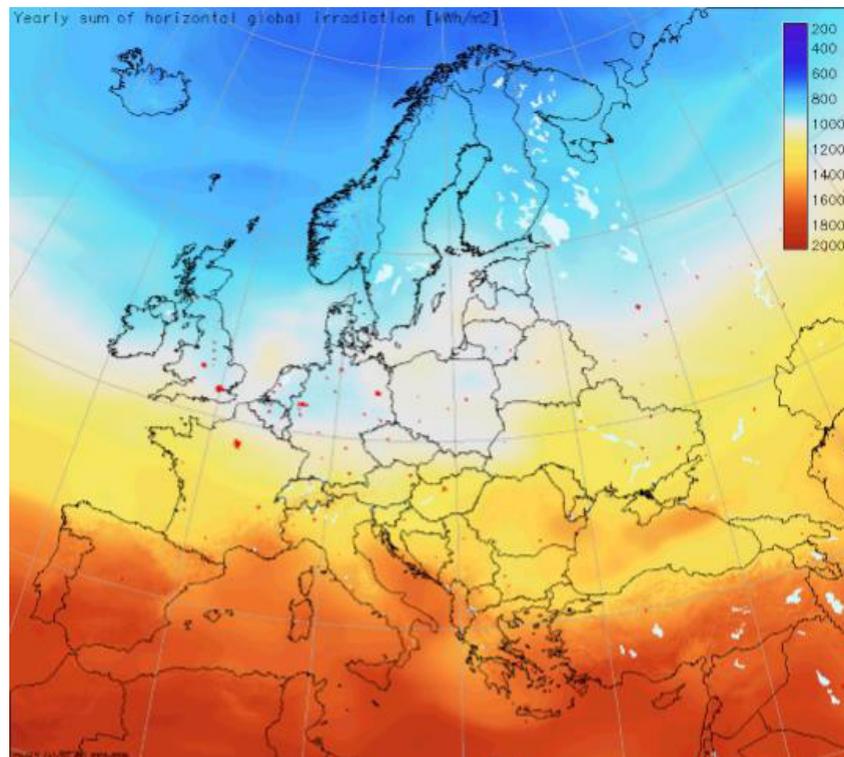


Figura 2- Irradiação europeia, (Gonçalves H, 2012)

É essencial o aproveitamento desta energia, uma vez que, não apresenta impactos negativos para o meio ambiente e apresenta-se como umas das maiores alternativas aos

combustíveis fósseis. Esta energia é fundamental para melhorar o aproveitamento térmico, com coletores solares térmicos e aproveitamento elétrico através de painéis fotovoltaicos.

### 2.3.1.1. Sistemas de produção de energia solar térmica

Um sistema solar térmico permite o aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS), produzindo água quente todo o ano. Este sistema aproveita a radiação solar para produzir energia térmica.

Existem dois tipos de sistemas:

- Sistema circulação forçada:

Neste sistema o depósito pode ser instalado de forma separada dos painéis, podendo estar num local no interior do edifício o que constitui uma vantagem por minimizar as perdas de calor e tornando-o mais interessante esteticamente. Este sistema possui uma bomba, que faz circular o fluido térmico em ciclo fechado. Apesar de ter maior rendimento tem também um custo mais elevado relativamente ao sistema termossifão (figura 3):

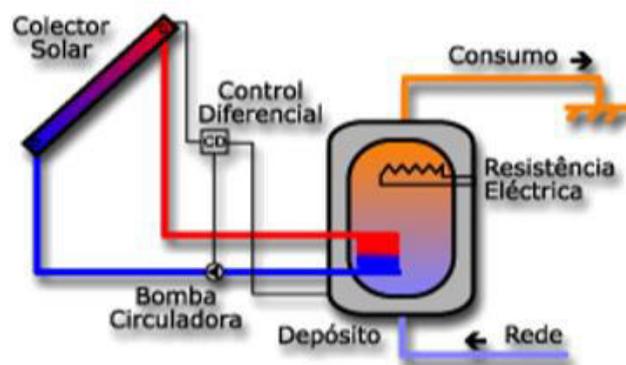


Figura 3- Sistema de circulação forçada

- Sistema termossifão:

Este sistema aproveita as propriedades físicas não sendo necessário recorrer a meios mecânicos para o transporte do fluido. O depósito está a uma altura superior à dos painéis e o fluido é transportado por convecção natural entre os painéis e o depósito, devido à diferença de

densidade da água fria e da água quente. Estes sistemas são indicados para pequenos volumes de água, a sua instalação é mais simples e são menos dispendiosos (figura 4):

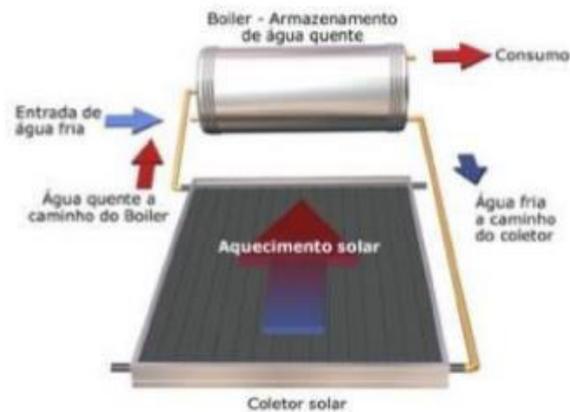


Figura 4- Sistema termossifão

Em ambos os sistemas existe a possibilidade da colocação de uma resistência térmica, dentro do depósito, que atua na falta de energia solar.

### 2.3.1.2. Sistemas de produção de energia solar fotovoltaica

Um sistema solar fotovoltaico converte a energia solar em energia elétrica. A conversão direta da energia solar em energia elétrica acontece com a transferência dos fótons da radiação incidente para os eletrões da estrutura da célula fotovoltaica (figura 5):



Figura 5- Sistema solar fotovoltaico

Podem ser instalados de três modos distintos:

- Ligados à rede de energia elétrica (figura 6): Este sistema utiliza toda a energia que produz. Quando a energia produzida é superior à energia necessária, esse excesso de energia pode ser vendida.

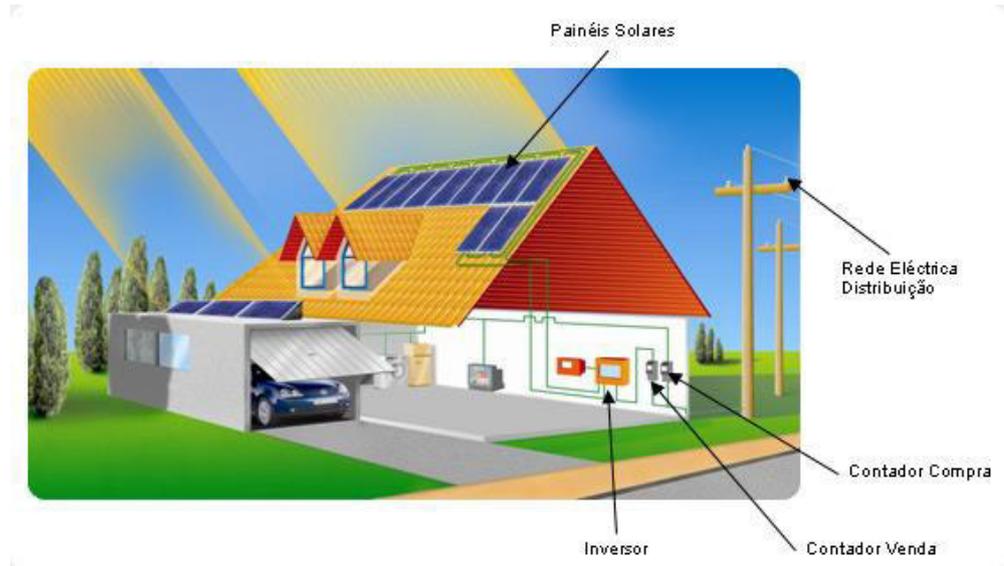


Figura 6- Sistema ligado à rede de energia elétrica

- Em sistema isolado (figura 7): Este sistema alimenta diretamente os edifícios isolados. É ideal para zonas remotas, uma vez que, é mais vantajoso a nível económico e ambiental. É necessário baterias para armazenamento de energia e um regulador de carga.



Figura 7- Sistema isolado

- Em sistema híbrido (figura 8): Este sistema alimenta diretamente os edifícios isolados em conjunto com outro tipo de energia renovável, como a energia eólica.



Figura 8- Sistema híbrido

### 2.3.2. Biomassa

Esta fonte de energia consiste no aproveitamento energético da matéria orgânica, podendo ser de origem animal ou vegetal. Os usos mais frequentes desta energia são o aproveitamento da lenha e das pinhas para aquecimento do ambiente interior e AQS. No entanto, a utilização da biomassa para aquecimento do ambiente interior levou à criação de novos equipamentos eficientes, tais como, fogões e caldeiras a biomassa, que permitem ajustar-se às necessidades dos utilizadores (figura 9):

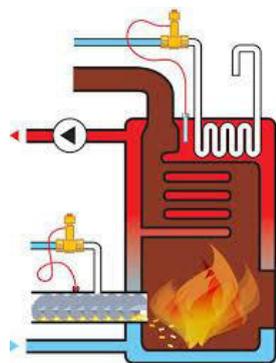


Figura 9- Caldeira a biomassa

Hoje em dia, já são comuns sistemas de aquecimento com recurso a esta fonte de energia mais eficientes que permitem utilizar outro tipo de produtos da biomassa. Um dos exemplos mais conhecidos é os “pellets” (grânulos formados por resíduos da serração de madeira).

Estes sistemas são uma boa solução para aquecimento ambiente interior e AQS, uma vez, que são muito económicos e não apresentam risco para o ambiente. Podem ainda ser combinados com outro tipo de sistemas de produção de calor como é o caso dos coletores solares (figura 10):

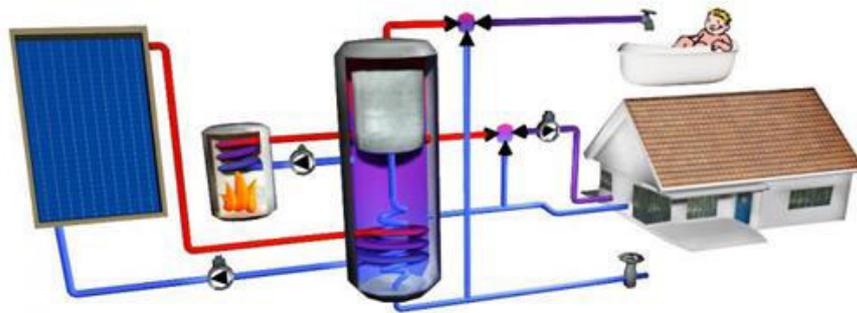


Figura 10- Sistema a biomassa combinado com coletores solares

### 2.3.3. Bomba de calor geotérmica

Este sistema aproveita a energia térmica contida no interior da terra, transformando em calor. Funciona através da captação de energia por tubos enterrados no solo, nos quais circula um fluido de transferência (geralmente água) e um anticongelante. Este equipamento tem apenas como gasto energético a eletricidade para o compressor, podendo ser considerado que, em parte, utiliza energia renovável.

Durante o Inverno, a energia é transferida para o interior da habitação de forma a aquecer o ambiente interior, funcionando de maneira inversa no Verão, sendo o excesso de calor transferido para o solo levando a um arrefecimento do interior da habitação.

Esta tecnologia apresenta versatilidade e durabilidade, não requer grandes trabalhos de manutenção, por outro lado tem um custo inicial elevado.

De seguida é apresentado um esquema do funcionamento deste sistema (figura 11):

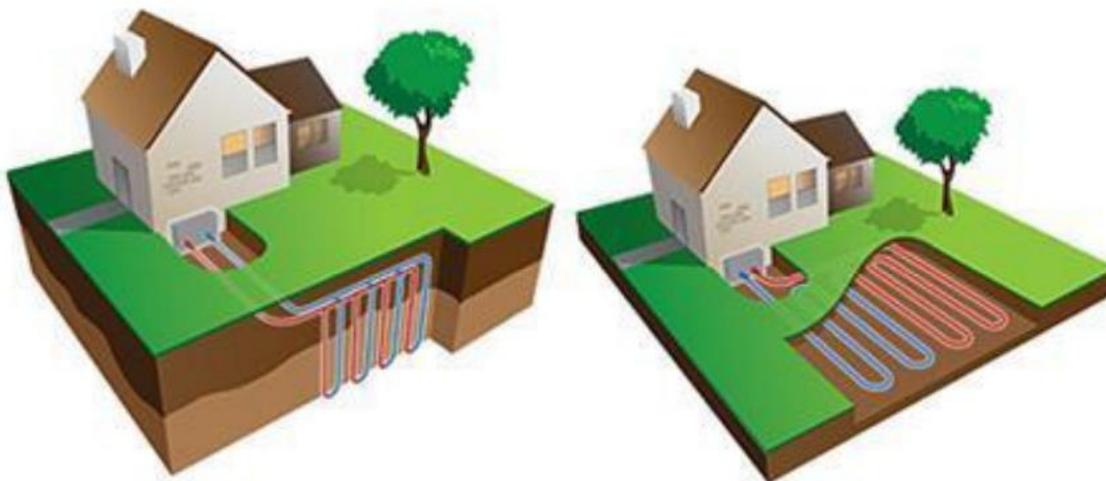


Figura 11- Esquema enterrado verticalmente (esquerda) e horizontalmente (direita), (Tavares, J. 2011)

## 2.4. Níveis ótimos de rentabilidade

A EPBD estabeleceu que os Estados-Membros devem implementar requisitos mínimos associados ao desempenho energético, de forma a atingir níveis ótimos de rentabilidade. Estes níveis devem ser calculados com recurso a metodologia estabelecida pela Comissão Europeia. (European Commission, 2012).

### 2.4.1 Definição de nível ótimo de rentabilidade

O custo-ótimo consiste num valor teórico ótimo. Esse valor situa-se na zona mais baixa da curva de custos e corresponde ao nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético (figura 12):

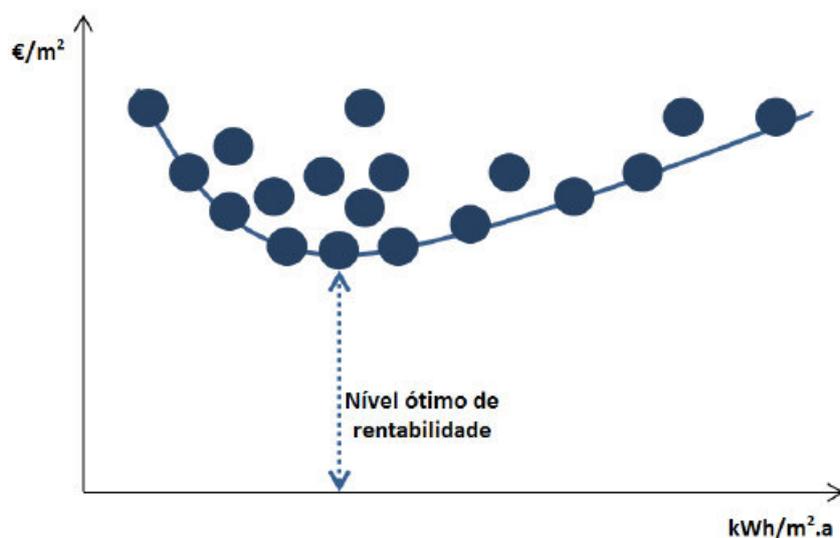


Figura 12- Nível ótimo de rentabilidade, (Almeida, et al., 2014)

Esta curva é elaborada com base nos cálculos da utilização de energia primária e dos custos globais associados, onde o eixo dos yy representa o custo associado e o eixo dos xx a utilização de energia primária. A combinação de medidas com o custo mais baixo corresponde ao nível ótimo de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético

## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DE EDIFÍCIOS COM BALANÇO ENERGÉTICO NULO**

Neste capítulo é apresentada uma descrição da aplicação da metodologia com o intuito de proporcionar uma perceção de como a presente dissertação foi realizada.

### **3.1. Metodologia**

Esta dissertação tem por base o relatório nacional relativo ao cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade do desempenho energético dos edifícios e seus elementos, para os edifícios residenciais, que segue a metodologia proposta no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 da comissão, de 16 de janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios e a definição nacional de nZEB. A metodologia pretende determinar combinações de medidas de eficiência energética e de utilização de energia de origem renovável que conduzem ao mais baixo custo, considerando o custo de investimento inicial, custo de manutenção e custo energético ao longo do período de vida. Assim, tendo por referência a definição nacional de nZEB, ao nível de rentabilidade ótima (ao mais baixo custo global) apresentado no relatório nacional para cada combinação de medidas, serão incorporados recursos de utilização ou geração de energia de origem renovável com vista a obtenção do balanço energético nulo. De seguida são apresentados os passos para obtenção dos edifícios NZEB:

- Caraterização dos edifícios de referência;
- Localidades a estudar;
- Seleção das soluções a estudar;
- Sistemas utilizados;
- Cálculo das necessidades de energia primária de cada variante, decorrentes da incorporação de energias renováveis;

- Contributo das energias de origem renovável;
- Custo global da adição de energias renováveis;
- Nível ótimo de rentabilidade e análise de sensibilidade.

### **3.2. Caracterização dos edifícios de referência**

Edifícios de referência são edifícios representativos do parque habitacional nacional. Na presente dissertação optou-se pela criação edifícios de referência virtuais com os valores mais utilizados relativamente a cada parâmetro relevante para o seu desempenho energético, uma vez que não é possível calcular os níveis ótimos de rentabilidade para cada edifício individualmente.

A definição dos edifícios de referência foi realizada tendo por suporte a base de dados de todos os certificados energéticos emitidos pela ADENE, de onde foram retiradas as características mais comuns do parque residencial português, por época de construção. Os edifícios são caracterizados pela época construtiva: edifícios anteriores ao ano de 1960, edifícios entre o ano de 1961 e 1990, edifícios entre o ano de 1991 e 2012 ou edifícios novos e pela tipologia: edifícios unifamiliares ou edifícios multifamiliares. Esta caracterização deve-se à homogeneidade que cada época construtiva apresenta.

Nesta dissertação serão estudados os edifícios anteriores ao ano de 1960, já que estes edifícios têm graves deficiências energéticas, apresentando elevadas perdas de energia e consequentemente maiores necessidades de energia primária não renovável para climatização e os edifícios novos que já são edifícios capazes de garantir o cumprimento de todos os requisitos mínimos exigidos. Pela impossibilidade de estudar todos os edifícios apenas serão estudados os edifícios unifamiliares das duas épocas construtivas mencionadas. Optou-se pelo estudo destes edifícios por apresentarem características muito díspares possibilitando a comparação dos dois. De seguida é apresentada a caracterização desses edifícios (tabela 1):

Tabela 1- caracterização geométrica das frações de referência resultante da análise da base de dados que agrega os dados relativos aos certificados energéticos emitidos no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética

	Unidade	Edifícios unifamiliares	
		<1960	Novos
Área útil de pavimento	m <sup>2</sup>	80,00	165,00
Tipologia	-	T2	T3
Pé direito	m	2,70	2,70
Número de pisos	unidade	1	2
Número de frentes	unidade	4	4
Largura média da fachada	m	8,94	9,08
Área total de fachadas	m <sup>2</sup>	96,55	196,13
Área de envolvente exterior opaca	m <sup>2</sup>	84,55	163,13
Razão área de envidraçado/área de pavimento	%	15	20
Área de envidraçados	m <sup>2</sup>	12,00	33,00
Área de envidraçados a sul	m <sup>2</sup>	3,00	11,55
Área de envidraçados a norte	m <sup>2</sup>	3,00	4,95
Área de envidraçados a este e a oeste	m <sup>2</sup>	3,00	8,25
Área de fachada opaca a sul	m <sup>2</sup>	21,14	37,48
Área de fachada opaca a norte	m <sup>2</sup>	21,14	44,08
Área de fachada opaca a este e a oeste	m <sup>2</sup>	21,14	40,78

### 3.3. Regiões de estudo

Devido aos diferentes climas sentidos em diferentes regiões, as necessidades energéticas de cada edifício variam consoante a localização do mesmo, sendo possível, em edifícios iguais, obter necessidades energéticas completamente distintas quando estes estão em locais diferentes.

Assim, com a impossibilidade do estudo de todas as localidades em Portugal foi necessária uma análise prévia com o objetivo de perceber quais poderiam ser mais interessantes para a concretização de edifícios de energia quase nula em Portugal.

É evidente que seria uma mais valia escolher regiões o mais distintas possível para uma melhor caracterização da extensão total de Portugal, tendo em conta que, existem cidades que podem ser consideradas equivalentes.

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) divide Portugal por três zonas climáticas de Verão (V1,V2 e V3) e três zonas climáticas de Inverno (I1,I2 e I3). Com base nessa divisão foram escolhidas quatro cidades com exigências distintas.

Assim, as regiões escolhidas foram:

- Porto;
- Bragança;
- Lisboa;
- Portalegre.

### **3.4. Seleção das soluções a estudar**

Com base no relatório nacional relativo ao cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade do desempenho energético dos edifícios e seus elementos, para os edifícios residenciais e na metodologia proposta no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 da comissão, de 16 de Janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios foi possível ter a perceção de quais as combinações de medidas/soluções economicamente mais rentáveis.

Para definição dessas combinações de medidas foram analisados diferentes materiais de isolamento térmico, onde foi variando a sua espessura e conseqüentemente o coeficiente de resistência térmica. Esse processo foi realizado na envolvente (paredes exteriores, cobertura, pavimento) e na envolvente envidraçada. Nas paredes exteriores as soluções testadas passam pela aplicação do sistema ETICS, com isolamento térmico de poliestireno (EPS), na cobertura foi testada a aplicação de isolamento ao nível da laje de teto do piso superior, sendo que foi utilizado poliestireno extrudido (XPS) e lã de rocha como isolamento, no pavimento o isolamento térmico utilizado foi poliestireno extrudido (XPS) e lã de rocha. Na envolvente envidraçada foram utilizadas caixilharias em PVC com vidro duplo ou caixilharias em alumínio. Foram também utilizados equipamentos com características e finalidades distintas, como são exemplo o esquentador a gás natural com rendimento de 87% para aquecimento de

águas sanitárias, a bomba de calor com COP 3,33 e EER de 2,68 para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias, ar condicionado com COP 4,10 e EER 3,50, caldeira a biomassa com rendimento de 92%

Após este processo reúnem-se então condições para concluir qual a solução com mais baixo custo, ou seja, qual a solução de rentabilidade ótima. Importa referir que, apesar de diferenças ténues, a solução ótima pode variar conforme os equipamentos utilizados. Não faria sentido utilizar uma combinação de medidas que à partida não fosse ótima, uma vez que, o objetivo deste estudo é incorporar uma parte relevante de renováveis à solução de custo ótimo, acrescentando o mínimo os custos. No entanto, apenas existe uma solução ótima de rentabilidade para cada edifício.

Escolhidas as soluções de custo ótimo, foram introduzidas no edifício capacidades de produção ou utilização de energia de origem renovável, sendo que os equipamentos utilizados passam pelos equipamentos de fácil aquisição e que normalmente são mais utilizados como é o caso de painéis solares térmicos e fotovoltaicos, caldeira a biomassa e bomba de calor. No capítulo seguinte são caracterizadas as soluções a estudar para cada edifício.

### **3.4.1. Sistemas utilizados**

#### **3.4.1.1. Sistema solar térmico por termossifão**

O sistema solar térmico utilizado foi um *kit* da marca Vulcano pensado para telhados inclinados que inclui (figura 13):

- Coletor solar (FCC-2S) com área de 2,09m<sup>2</sup>, eficiência de 76%, coeficiente de perdas linear de 4,083 W/ (m<sup>2</sup>K) e coeficiente de perdas secundário de 0,012 W/ (m<sup>2</sup>K);
- Depósito de acumulação de 200 l;
- *Kit* de acessórios de ligação;

- Estrutura de suporte para telhado inclinado e vento normal;
- Resistência elétrica.



Figura 13 - Coletor solar Vulcano

### 3.4.1.2. Sistema solar fotovoltaico ligado à rede elétrica

O sistema fotovoltaico utilizado foi um *kit* da Livre Power, Lda e é composto por (figura 14):

- 4 Módulos fotovoltaicos de 250 W;
- 2 Microinversores Involar com extensão de 5 metros e ficha de corrente para ligar a uma tomada;
- 4 Baterias da marca Ultracell.



Figura 14 - Kit solar térmico fotovoltaico

### 3.5. Cálculo das necessidades de energia primária de cada variante, decorrentes da incorporação de energias renováveis.

Depois de definidas todas as soluções que serão caso de estudo, é necessário definir quais as necessidades globais de energia primária para aquecimento ( $N_{ic}$ ), arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e produção de AQS.

Essas necessidades serão calculadas com recurso ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), de acordo com o Despacho 15793-I/2013.

Expressão geral:

$$N_{tc} = \sum \left( \sum \frac{(f_{i,k}.N_{ic})}{(\eta_k)} \right) . F_{pu,f} + \sum \left( \sum \frac{(f_{v,k}.\delta.N_{vc})}{(\eta_k)} \right) . F_{pu,f} + \sum \left( \sum \frac{(f_{a,k}.Q_a/A_p)}{(\eta_k)} \right) . F_{pu,f} + \left( \sum \frac{(W_{vm,j})}{(A_p)} \right) . F_{pu,j} - \left( \sum \frac{(E_{ren,p})}{(A_p)} \right) . F_{pu,p} \left[ \text{kWh} \frac{\text{EP}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right] \quad (3.1)$$

Em que:

$N_{ic}$  - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$f_{i,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$N_{vc}$  - Necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$f_{v,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;

$Q_a$  - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano];

$f_{a,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

$\eta_k$  - Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

$j$  - Todas as fontes de energia incluindo de origem renovável;

$p$  - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$  - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm}$  - Energia elétrica necessária ao funcionamento de ventiladores, [kWh/ano]

$A_p$  - Área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>]

$F_{pus,f}$  e  $F_{pus,p}$  - Fatores de conversão de energia útil para energia primária, [kWh EP /kWh];

$\delta$  - Igual a 1, exceto para uso do arrefecimento (Nvc) em que pode tomar o valor de 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Os fatores de conversão para energia primária são os definidos pelo Despacho 15793-I/2013 do REH. Para a eletricidade o fator de conversão toma o valor de 2,5, para combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis o valor adotado é 1 e para a energia térmica de origem renovável o fator de conversão é também igual a 1.

Expressão de cálculo do Nic:

$$Nic = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad (3.2)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$  - transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh];

$Q_{ve,i}$  - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh];

$Q_{gu,i}$  - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh]

$A_p$  - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m<sup>2</sup>].

Expressão de cálculo de Nvc:

$$Nvc = (1 - \eta_v) Q_{g,v} / A_p \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} \quad (3.3)$$

Em que:

$\eta_v$  - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$  - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh];

$A_p$  - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m<sup>2</sup>].

O valor das necessidades de produção de AQS será calculado através do programa SolTerm 5.0, para que os valores calculados com base no REH sejam coerentes com os valores calculados pelo programa aquando o cálculo do contributo da componente renovável.

### **3.6. Contributo das energias de origem renovável**

#### **3.6.1. Sistemas solares térmicos e sistemas solares fotovoltaicos**

O contributo dos painéis solares térmicos foi calculado através do programa SolTerm 5.0, enquanto o contributo dos sistemas solares fotovoltaicos foi calculado através do programa PVGIS.

### 3.6.1.1. Sistemas solares térmicos

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal. Como referido acima só será utilizado para o cálculo do contributo dos painéis solares térmicos.

Este *software* permite obter a contribuição exata do sistema, considerando fatores como a radiação solar, a temperatura ambiente e a inclinação de instalação do sistema.

Na interface inicial do *software* é necessário identificar a região em análise para obter os dados climáticos relativos a essa região que serão necessários ao *software* para o cálculo da contribuição do sistema solar térmico (figura 15):

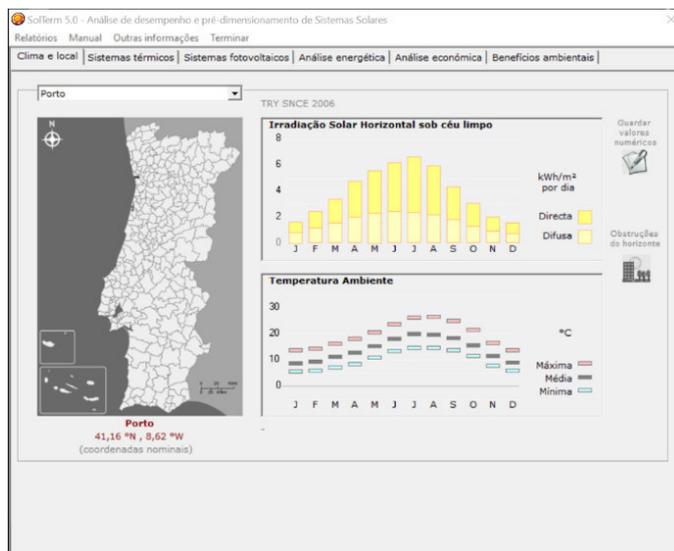


Figura 15- Interface inicial do software SolTerm 5.0

De seguida, na interface dos sistemas térmicos, é necessário escolher o tipo de sistema (sem depósito, depósito aberto, depósito pressurizado ou kit doméstico). É necessário definir o coletor solar e o depósito, optar pelo tipo de combustível a usar no sistema auxiliar e selecionar as cargas que melhor se adequam ao caso em estudo (figura 16):

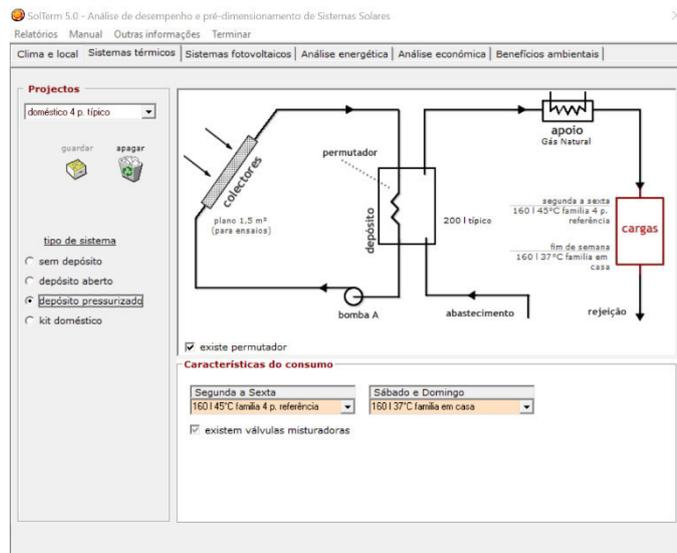


Figura 16- Interface dos sistemas térmicos do software SolTerm 5.0

Por fim, o *software* realiza uma análise energética onde determina a energia média anual fornecida pelo equipamento, a energia média anual que é necessário que o sistema de apoio produza e o valor das necessidades de produção de AQS (carga) (figura 17):

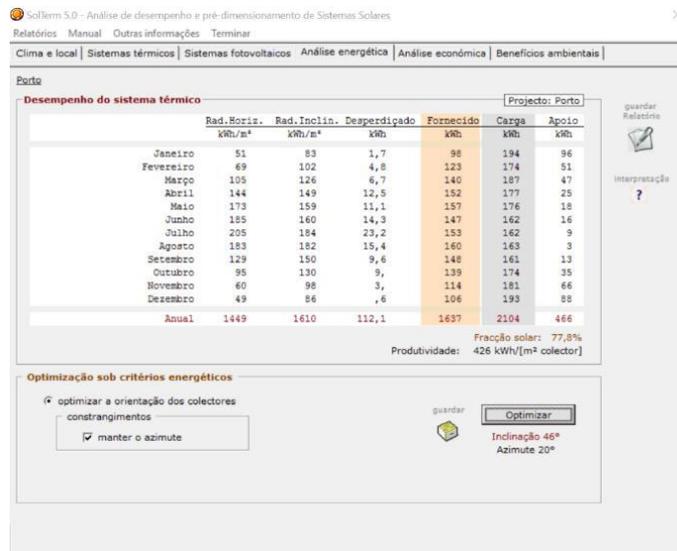


Figura 17- Interface da análise energética do software SolTerm 5.0

Em anexo encontram-se os relatórios dos vários sistemas térmicos consoante a cidade em questão. É de referir que as imagens acima são meramente demonstrativas.

### 3.6.1.2. Sistemas solares fotovoltaicos

O contributo dos painéis solares fotovoltaicos foi calculado com recurso à página da União Europeia de Sistemas de Informação Geográfica Fotovoltaica. Esta ferramenta realiza uma análise de desempenho do sistema solar fotovoltaico, fornecendo os kWh anuais de energia necessária a produzir pelo sistema. É possível a sua utilização em variados países da União Europeia e tem em consideração fatores como a temperatura e a radiação solar (figura 18):

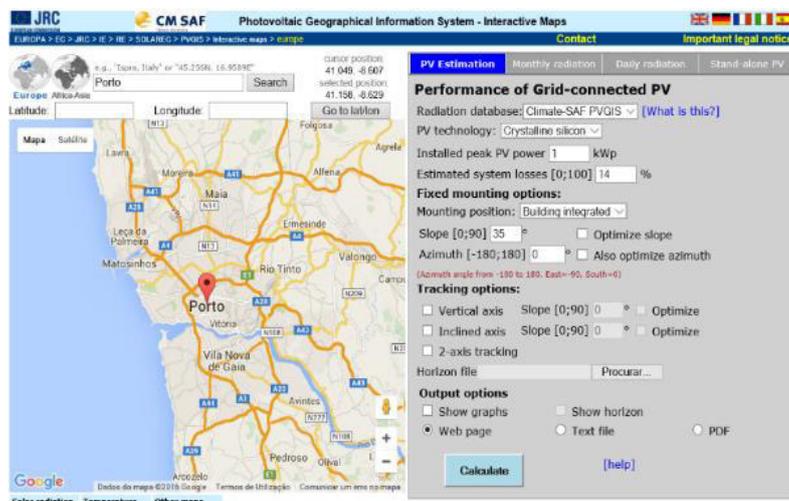


Figura 18- Sistemas de informação geográfica fotovoltaica

Em anexo encontra-se os valores de kWh a produzir pelos vários sistemas fotovoltaicos consoante as cidades. É de referir que a imagem acima é meramente demonstrativa.

### 3.6.2. Sistemas a biomassa

O contributo dos sistemas a biomassa foi calculado com recurso ao REH, de acordo com o Despacho 15793-H/2013.

- Contribuição de um sistema de queima a biomassa sólida, quando utilizado para AQS:

Expressão:

$$Eren = \left(\frac{Qa}{\eta k}\right) \cdot fa, k \text{ [kWh/ano]} \quad (3.4)$$

Em que:

$f_{a,k}$  - Parcela das necessidades de energia para AQS supridas pelo sistema a biomassa;

$\eta_k$  - Eficiência do sistema a biomassa;

$Q_a$  - Necessidades de energia útil para preparação de AQS.

- Contribuição de um sistema de queima a biomassa sólida, quando utilizado para aquecimento ambiente e AQS:

Expressão:

$$Eren = \left(\frac{Nic.Ap}{\eta k}\right) \cdot fi, k + \left(\frac{Qa}{\eta k}\right) \cdot fa, k \cdot fr, a \text{ [kWh/ano]} \quad (3.5)$$

Em que:

$f_{i,k}$  - Parcela das necessidades de energia para aquecimento supridas pelo (s) sistema (s) a biomassa;

$f_{a,k}$  - Parcela das necessidades de energia para AQS supridas pelo sistema a biomassa;

$\eta_k$  - Eficiência do sistema a biomassa;

$A_p$  - Área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>];

$N_{ic}$  - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m<sup>2</sup>.ano];

$Q_a$  - Necessidades de energia útil para preparação de AQS.

$f_{r,a}$  - Toma o valor de 1, exceto quando o sistema for instalado num espaço interior útil do edifício ou fração e condiciona o ambiente do mesmo, tomando, nesses casos, o valor de M/12, em que M é a duração da estação de aquecimento em meses.

### 3.6.3. Sistemas de bombas de calor

O contributo de sistemas de bomba de calor foi calculado com recurso ao REH, de acordo com o Despacho 15793-H/2013.

A contribuição renovável de sistemas deste tipo deve ser calculada em conformidade com o definido no Anexo VII da Diretiva 2009/28/CE:

Expressão:

$$E_{ren} = Q_{usable} \left( 1 - \frac{1}{SPF} \right) \text{ [kWh/ano]} \quad (3.6)$$

Em que:

$Q_{usable}$  - Total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor conformes aos critérios referidos no número 4 do artigo 5.º da Diretiva 2009/28/CE [kWh];

$SPF$  - Fator médio de desempenho sazonal estimado para as referidas bombas de calor, conforme Diretiva 2009/28/CE.

Apenas poderá ser considerado o contributo de energia renovável de bombas de calor para as quais  $SPF > 1,15 \times (1/\eta)$ , em que  $\eta$  é o rácio entre a produção total bruta de eletricidade e o consumo de energia primária para a produção de eletricidade, sendo calculado enquanto média da UE com base em dados do Eurostat.

## 3.7. Custo global em termos de valor atual líquido da adição de energias renováveis

### 3.7.1. Custo global

Este custo é obtido através da soma dos valores atuais líquidos dos custos de investimento inicial, custo de manutenção e custo energético ao longo do período de vida.

- A taxa de desconto a aplicar no cálculo é de 6% (Comissão Europeia, 2012c).

### 3.7.2. Custo de investimento inicial

Este custo corresponde ao custo de aquisição e colocação dos equipamentos, assim como, todos os acessórios necessários.

### 3.7.3. Custo de manutenção

Este custo corresponde ao custo de todas as intervenções necessárias para o correto funcionamento dos equipamentos, como por exemplo, limpezas e reparações ao longo do período de vida.

### 3.7.4. Custo energético

Este custo corresponde aos custos de energia.

- A evolução do preço da energia foi baseada nos valores propostos pela União Europeia (EU Trends 2030 e Roadmap 2050) para os custos da eletricidade e os valores propostos pela Agência Internacional de Energia (IEA Energy Outlook 2011) para os custos do gás. Os custos da biomassa foram estimados a partir do preço do mercado com um acréscimo de 3% ao ano.

- A remuneração da energia proveniente das unidades de produção para autoconsumo foi calculada com recurso ao Decreto-Lei n.º 153/2014 do regulamento de autoconsumo:

$$R (\text{índice UPAC, m}) = E (\text{índice fornecida, m}) \times \text{OMIE} (\text{índice m}) \times 0,9$$

Sendo:

«R (índice UPAC, m)» - A remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês 'm', em (euro);

«E (índice fornecida, m)» - A energia fornecida no mês 'm', em kWh;

«OMIE (índice m)» - O valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês 'm', em (euro) /kWh;

«m» - O mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP.

### **3.8. Níveis ótimos de rentabilidade**

Após o cálculo das necessidades de energia primária e o cálculo do custo global são analisados os níveis ótimos de rentabilidade decorrentes da adição de energias renováveis.

### **3.9. Análises de sensibilidade**

Com o objetivo de avaliar o impacto da variação de certos parâmetros no cálculo de otimização de rentabilidade são realizadas análises de sensibilidade da taxa de desconto e dos cenários de evolução do preço da biomassa. Assim, as taxas de desconto utilizadas são de 10% e 5% e a evolução do preço da biomassa será de 4% e 2% ao ano.

## **CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE**

Neste capítulo são analisados os resultados do estudo das diferentes variáveis. São comparados os custos das diferentes variáveis com o objetivo de adotar a solução ou soluções que correspondem ao custo ótimo.

### **4.1. Edifícios anteriores ao ano de 1960**

Edifícios anteriores a 1960 foram caso de estudo nas localidades do Porto, Bragança, Lisboa e Portalegre.

#### **4.1.1. Porto**

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade do Porto (tabela 2):

Tabela 2- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade do Porto

Porto	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN)
Solução 1	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN
Solução 2	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 2 ST
Solução 3	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 1 ST
Solução 4	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 50 mm	RW 100 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica	
Solução 6	EPS 50 mm	RW 100 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF	
Solução 7	EPS 50 mm	RW 100 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica e 2 ST	
Solução 8	EPS 50 mm	RW 100 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 2 ST	
Solução 9	EPS 50 mm	RW 100 mm	RW 60 mm	PVC U2.4	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa
Solução 10	EPS 40 mm	RW 80 mm		Alum U2.5	Caldeira a biomassa		Caldeira a biomassa
Solução 11	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Caldeira a biomassa

Na figura 19 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade do Porto:

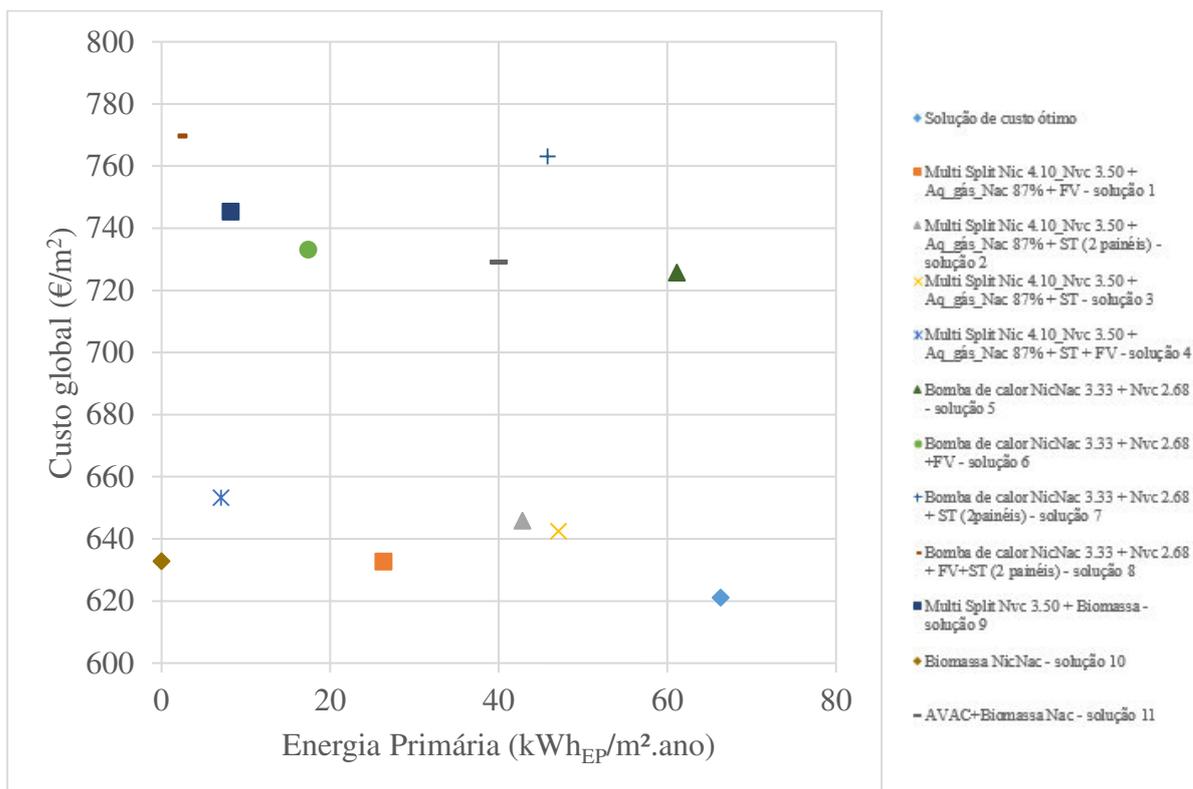


Figura 19 – Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade do Porto

Após o cálculo de utilização de energia primária e dos respectivos custos globais para as diferentes soluções apresentadas acima foi possível a construção de um gráfico (figura 19). Assim, após uma análise cuidada do gráfico procurou-se identificar qual a variável que apresenta o mais baixo custo global com parte relevante de renováveis comparativamente com as restantes.

Assim, é possível concluir que a solução nZEB de mais baixo custo apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS e 4 painéis solares fotovoltaicos com rendimento de 76% que contribuem para a redução do consumo de eletricidade. Esta solução apresenta um custo global de 632 €/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 26 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Por outro lado, a solução com a caldeira a biomassa apresenta um custo global de 633 €/m<sup>2</sup> sendo este valor ligeiramente superior ao valor da solução ótima. Contudo, tem a vantagem

de apresentar um consumo de energia primária nulo, ainda que esta solução só garanta o aquecimento de águas quentes sanitárias e o aquecimento ambiente.

Quando adicionado um sistema solar térmico com um painel à solução que contempla o ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5 e o esquentador a gás natural com um rendimento de 87% o custo global cresce para 643 €/m<sup>2</sup> enquanto o consumo de energia é reduzido para 47 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Da mesma forma, quando são adicionados dois painéis à solução referida acima o custo global aumenta para 646 €/m<sup>2</sup> e o consumo energético diminui para 43 kWh/m<sup>2</sup>.ano. No mesmo seguimento, ao adicionar um sistema solar térmico com um painel e quatro painéis fotovoltaicos à mesma solução o custo global sobe para 653 €/m<sup>2</sup> e o consumo de energia decresce significativamente para 7 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Apesar das soluções que utilizam bombas de calor serem muito eficientes acarretam um custo muito elevado comparativamente às restantes soluções aqui estudadas. A solução que apresenta uma bomba de calor com COP3.33 e EER2.68 tem um custo global de 726 €/m<sup>2</sup> e portanto bastante superior às soluções referidas acima e um consumo energético de 61 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Quando a essa solução são adicionados quatro painéis fotovoltaicos o custo aumenta para 733 €/m<sup>2</sup> e o consumo de energia é reduzido para 17 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Se à mesma solução for adicionado um sistema solar térmico com dois painéis o custo volta a subir, sendo 763 €/m<sup>2</sup>, e o consumo energético toma o valor de 46 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Se forem adicionados quatro painéis fotovoltaicos e um sistema solar térmico com dois painéis solares apesar do consumo de energia decair expressivamente para 2 kWh/m<sup>2</sup>.ano o custo mantém-se elevado sendo esse valor de 770 €/m<sup>2</sup>. Assim, é evidente que estas soluções não são soluções de rentabilidade ótima.

A solução que contempla biomassa conjugada com um sistema de ar condicionado Multi split tem um custo global de 729 €/m<sup>2</sup>. Apesar disso, o consumo energético apresenta um valor 40 kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que demonstra que esta solução não deve ser levada em conta na concretização de edifícios de energia quase nula, por apresentar um custo bastante elevado em comparação com algumas das restantes soluções aqui estudadas.

Quando utilizada biomassa para aquecimento de águas sanitárias e para aquecimento ambiente e ar condicionado Multi split para arrefecimento com EER3.5 o consumo energético

toma o valor de 8 kWh/m<sup>2</sup>.ano e apresenta um custo de 745 €/m<sup>2</sup>, sendo o custo mais elevado das soluções aqui estudadas.

Assim, é notório que, para edifícios anteriores ao ano de 1960 na cidade do Porto, todas as soluções que apresentam um ar condicionado Multi Split para climatização e um esquentador a gás natural para produção de AQS conjugado com fontes de energia renovável são soluções viáveis, uma vez que, não há um grande aumento nos custos quando foram introduzidas ao edifício capacidades de produção de energia. A solução que inclui caldeira a biomassa é também uma solução a considerar na concretização de edifícios ZNEB, embora só garanta o aquecimento de águas quentes sanitárias e o aquecimento ambiente, não apresentando capacidade de arrefecimento, esta solução consegue alcançar o consumo de energia primária nulo.

Por outro lado, as duas soluções que apresentam biomassa, uma conjugada com AVAC e outra conjugada com ar condicionado Multi Split apresentam custos muito superiores ao custo da solução de custo ótimo. O mesmo acontece com as soluções que apresentam bombas de calor, apresentam custos bastante elevados não sendo também soluções de rentabilidade ótima.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 3):

Tabela 3- Tabela síntese para a cidade do Porto

---

Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
Porto	Solução 1	632	26
	Solução 2	646	43
	Solução 3	643	47
	Solução 4	653	7
	Solução 5	726	61
	Solução 6	733	17
	Solução 7	763	46
	Solução 8	770	2
	Solução 9	745	8
	Solução 10	633	0
	Solução 11	729	40

---

#### 4.1.2. Bragança

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Bragança (tabela 4):

Tabela 4- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Bragança

Bragança	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN)
Solução 1	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN
Solução 2	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		MultiSplit	EGN em apoio a 2 ST
Solução 3	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		MultiSplit	EGN em apoio a 1 ST
Solução 4	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica	
Solução 6	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF	
Solução 7	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica e 2 ST	
Solução 8	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 2 ST	
Solução 9	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa
Solução 10	EPS 40 mm	RW 80 mm		Alum U2.5	Caldeira a biomassa		Caldeira a biomassa
Solução 11	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Caldeira a biomassa

Na figura 20 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Bragança:

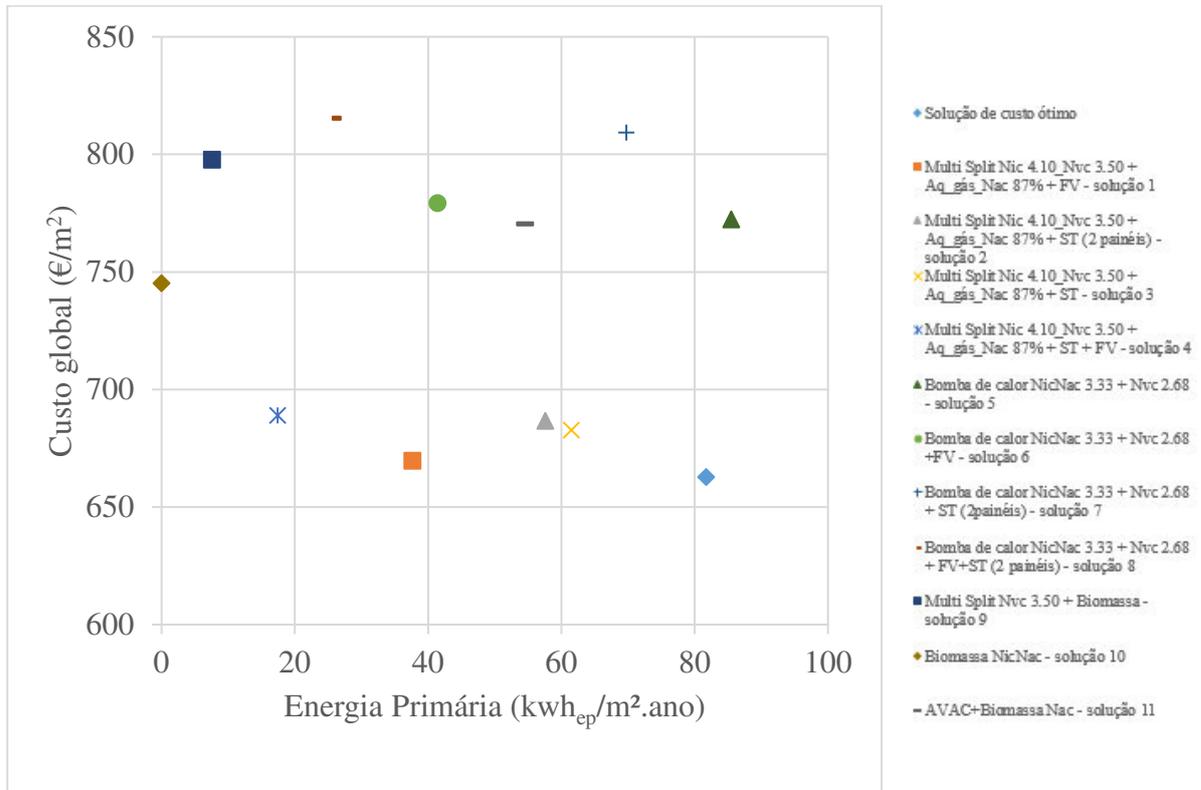


Figura 20- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Bragança

Em relação a este edifício a solução nZEB de mais baixo custo mantém-se, apresentando um custo global de 670 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 38 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Imediatamente a seguir surge a solução em que é acrescentado um sistema solar térmico com um painel solar à solução de custo ótimo, sendo que esta solução apresenta um consumo energético de 61 kWh/m<sup>2</sup>.ano e um custo global de 683 euros/m<sup>2</sup>, na mesma linha de pensamento surge a solução em que é igualmente acrescentado um sistema solar térmico mas desta vez com dois painéis solares o que faz aumentar o custo global para 687 euros/m<sup>2</sup> e apresenta um consumo energético de 58 kWh/m<sup>2</sup>.ano, por fim, vem a solução que apresenta 4 painéis solares térmicos e um sistema solar térmico com um painel acarretando um custo global de 689 euros/m<sup>2</sup> e consumo energético de 17 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Com um custo global significativamente maior surgem as soluções de bomba de calor com custos globais de 772 euros/m<sup>2</sup>, 779 euros/m<sup>2</sup>, 809 euros/m<sup>2</sup> e 815 euros/m<sup>2</sup> e da biomassa

com custos globais de 770 euros/m<sup>2</sup> e 780 euros/m<sup>2</sup> não sendo portanto soluções de rentabilidade ótima.

Assim, parece claro que as soluções mais viáveis para um edifício anterior a 1960 na cidade de Bragança são as soluções que apresentam um ar condicionado Multi Split para climatização, um esquentador a gás natural para produção de AQS e equipamentos de produção de energia já que apresentam custos muito inferiores às restantes soluções estudadas.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 5):

Tabela 5- Tabela síntese para a cidade de Bragança

	Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Bragança	Solução 1	670	38
	Solução 2	687	58
	Solução 3	683	61
	Solução 4	689	17
	Solução 5	772	85
	Solução 6	779	41
	Solução 7	809	70
	Solução 8	815	26
	Solução 9	798	8
	Solução 10	745	0
	Solução 11	770	55

### 4.1.3. Lisboa

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Lisboa (tabela 6):

Tabela 6- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Lisboa

Lisboa	Envolvente			Sistemas técnicos			
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN)
Solução 1	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	MultiSplit apoiado por 4 SF		EGN
Solução 2	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 2 ST
Solução 3	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 1 ST
Solução 4	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	MultiSplit apoiado por 4 SF		EGN em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	Bomba de calor aerotérmica		
Solução 6	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF		
Solução 7	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	Bomba de calor aerotérmica e 2 ST		
Solução 8	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 2 ST		
Solução 9	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa
Solução 10		RW 80 mm		Alum U2.5	Caldeira a biomassa		Caldeira a biomassa
Solução 11	EPS 40 mm	RW 80 mm	RW 40 mm	PVC U2.4	MultiSplit		Caldeira a biomassa

Na figura 21 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Lisboa:

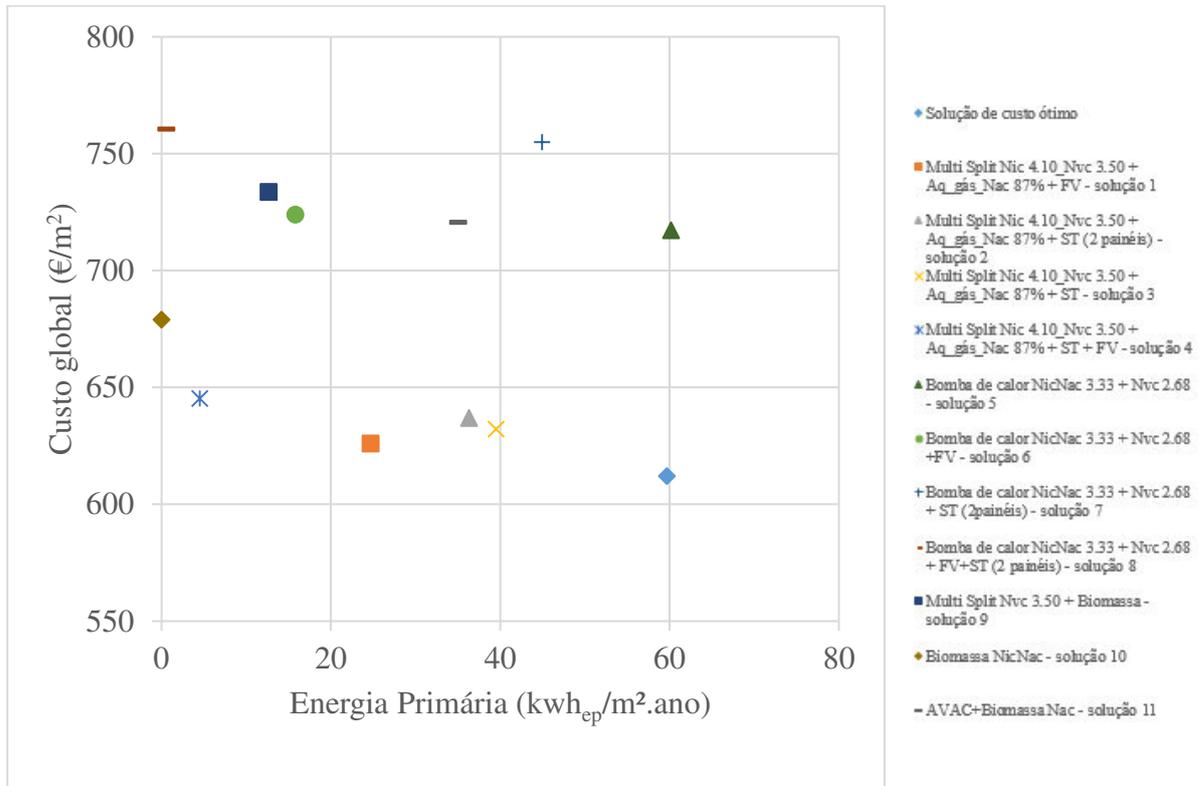


Figura 21- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Lisboa

A solução nZEB de mais baixo custo apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS e 4 painéis solares fotovoltaicos apresentando um custo global de 626 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 25 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Tal como acontece em Bragança, na cidade Lisboa, as soluções que contemplam Multi Split e gás natural apresentam um custo global notoriamente mais baixo do que as soluções que apresentam biomassa e bombas de calor, sendo portanto mais interessantes do ponto de vista da rentabilidade ótima, como é demonstrado acima. As restantes soluções não são soluções a considerar no estudo dos edifícios ZNEB, uma vez que, apresentam custos muito elevados.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 7)

Tabela 7- Tabela síntese para a cidade de Lisboa

Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
Lisboa	Solução 1	626	25
	Solução 2	637	36
	Solução 3	632	40
	Solução 4	645	5
	Solução 5	717	60
	Solução 6	724	16
	Solução 7	755	45
	Solução 8	761	1
	Solução 9	734	13
	Solução 10	679	0
	Solução 11	721	35

#### 4.1.4. Portalegre

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Portalegre (tabela 8):

Tabela 8- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Portalegre

Portalegre	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN)
Solução 1	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN
Solução 2	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 2 ST
Solução 3	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit	EGN em apoio a 1 ST
Solução 4	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica	
Solução 6	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF	
Solução 7	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica e 2 ST	
Solução 8	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 2 ST	
Solução 9	EPS 100 mm	RW 120 mm	RW 80 mm	PVC U2.1	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa
Solução 10	EPS 60 mm	RW 120 mm	RW 60 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Caldeira a biomassa

Nesta região não é possível assumir a inexistência da capacidade de arrefecimento por meios ativos uma vez que não são asseguradas as condições de conforto, assim a solução que apresenta caldeira a biomassa para aquecimento ambiente e de águas sanitárias não pode ser considerada.

Na figura 22 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Portalegre:

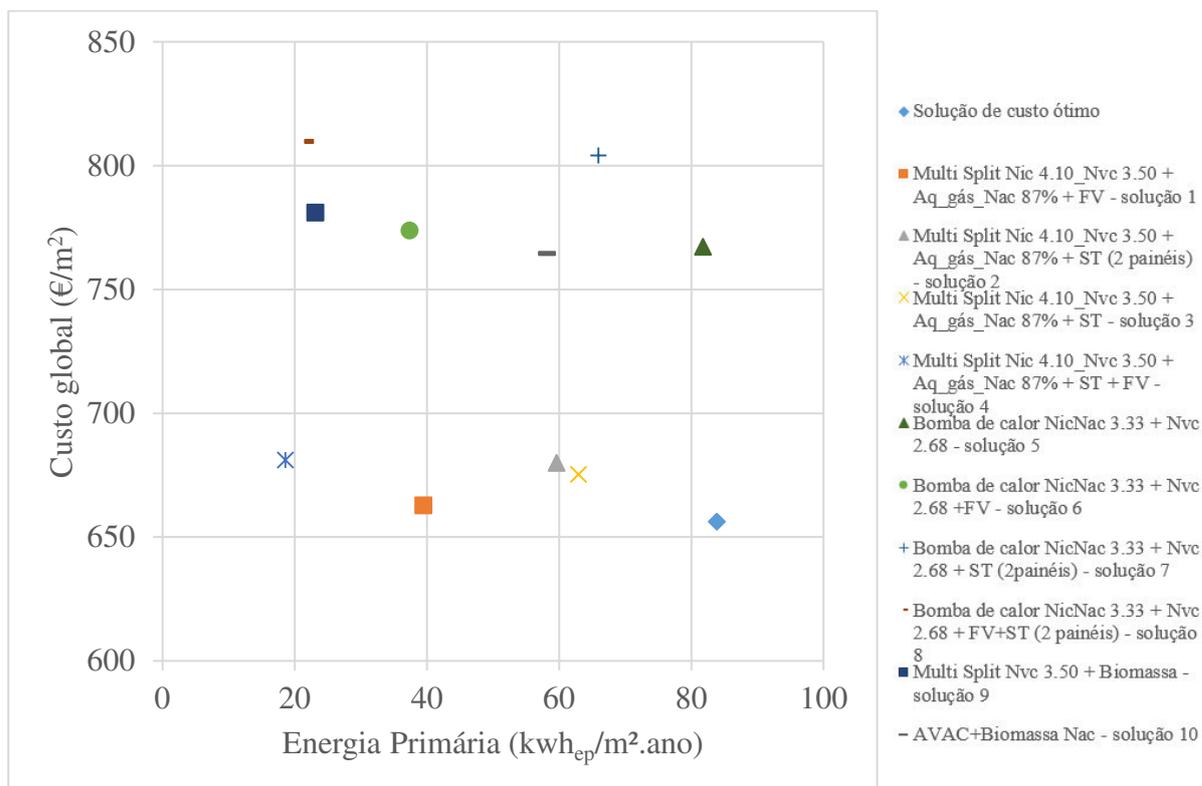


Figura 22- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Portalegre

Para a cidade de Portalegre a solução nZEB de mais baixo custo apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS e 4 painéis solares fotovoltaicos com um custo global de 663 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 39 kWh/m<sup>2</sup>.ano, à semelhança das outras cidades referidas, e tal como acontece em Bragança e em Lisboa as soluções que contemplam Multi Split e gás natural são inquestionavelmente as melhores soluções para esta cidade.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 9):

Tabela 9- Tabela síntese para a cidade de Portalegre

Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	663	39
Solução 2	680	60
Solução 3	675	63
Solução 4	681	19
Solução 5	767	82
Solução 6	774	37
Solução 7	804	66
Solução 8	810	22
Solução 9	781	23
Solução 10	765	58

Em conclusão, é possível referir que, para os edifícios anteriores ao ano de 1960 a solução de custo ótimo é a solução que apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS e 4 painéis fotovoltaicos.

De seguida é apresentada uma tabela com os valores de energia primária consumida e com a percentagem de renovável utilizada em cada solução ótima (tabela 10):

Tabela 10- Soluções ótimas para edifícios anteriores ao ano de 1960

<u>Soluções ótimas</u>	Edifícios anteriores ao ano de 1960			
	Porto	Bragança	Lisboa	Portalegre
Percentagem de renovável (%)	61%	54%	56%	53%
Energia primária (kwh/m <sup>2</sup> .ano)	26	38	25	39

## 4.2. Edifícios novos

Edifícios novos serão caso de estudo nas localidades do Porto, Bragança, Lisboa e Portalegre.

À semelhança do que acontece nos edifícios anteriores ao ano de 1960 em Portalegre, nos edifícios novos a solução que apresenta caldeira a biomassa para aquecimento ambiente e de águas sanitárias também não pode ser considerada.

### 4.2.1. Porto

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade do Porto (tabela 11):

Tabela 11- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade do Porto

Porto	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN) em apoio a 1 ST
Solução 1	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 2	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica e 1 ST	
Solução 3	EPS 50 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 1 ST	
Solução 4	EPS 40 mm	XPS 60 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.4		MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST

Na figura 23 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Portalegre:

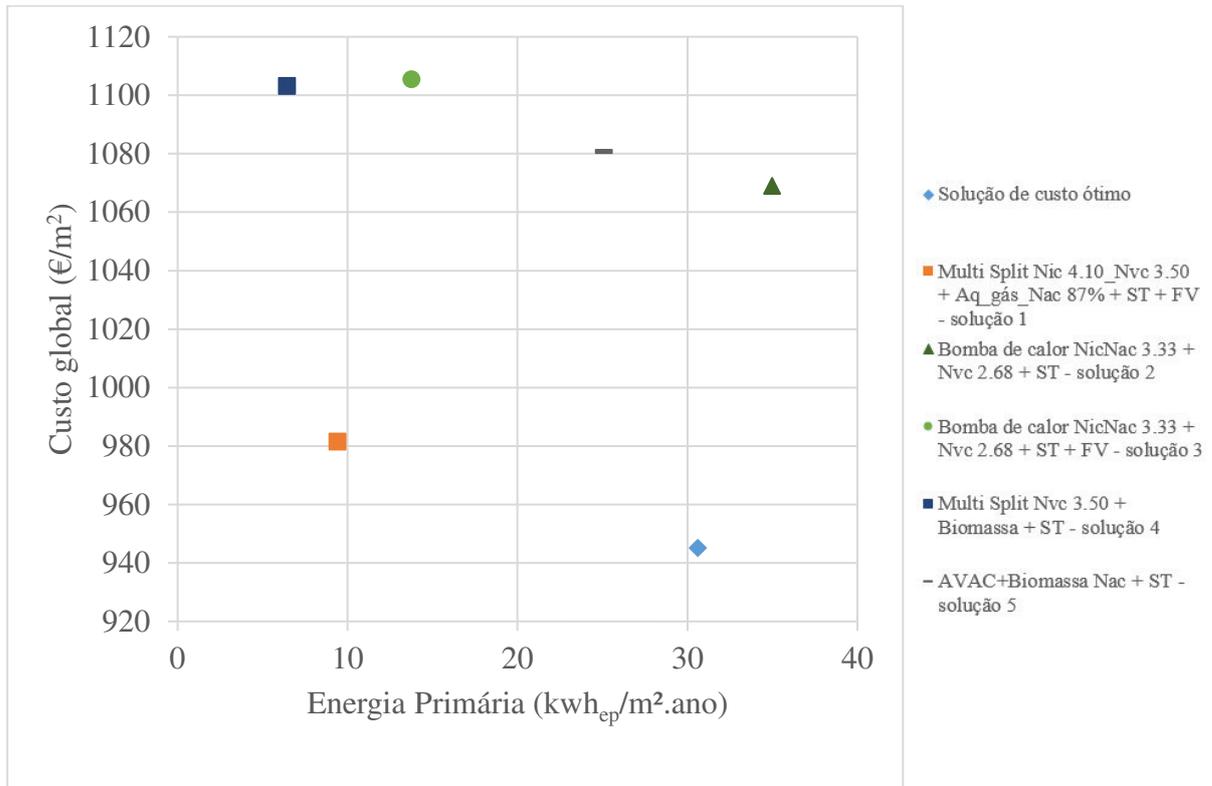


Figura 23- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade do Porto

Para a cidade do Porto, a solução nZEB de mais baixo custo apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS, 4 painéis solares fotovoltaicos e um sistema solar térmico custo global de 982 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 9 kWh/m<sup>2</sup>.ano

. As soluções que contemplam biomassa e bomba de calor apresentam um custo significativamente mais elevado não sendo soluções de rentabilidade ótima.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 12):

Tabela 12- Tabela síntese para a cidade do Porto

	Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Porto	Solução 1	982	9
	Solução 2	1069	35
	Solução 3	1105	14
	Solução 4	1103	6
	Solução 5	1081	25

#### 4.2.2. Bragança

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Bragança (tabela 13):

Tabela 13- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Bragança

Bragança	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN) em apoio a 1 ST
Solução 1	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 2	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica e 1 ST	
Solução 3	EPS 50 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 1 ST	
Solução 4	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST

Na figura 24 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Portalegre:

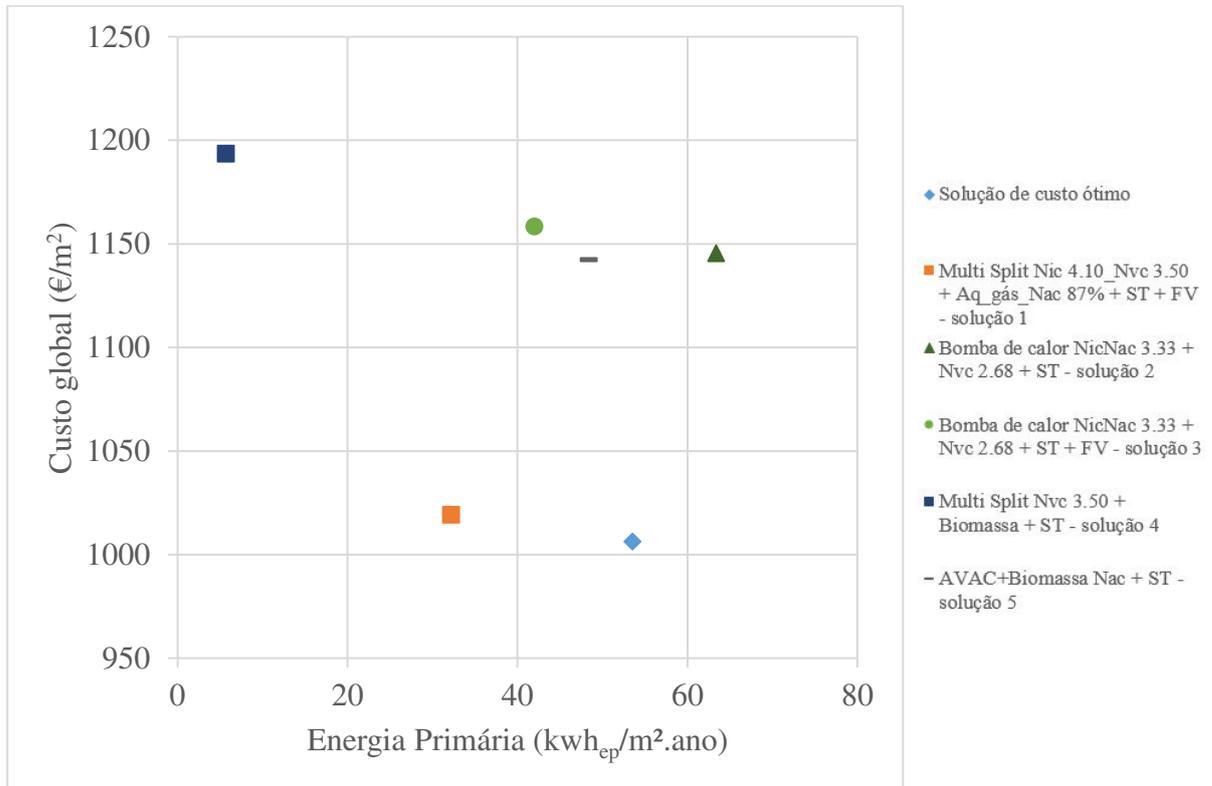


Figura 24- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Bragança

Na cidade de Bragança a solução nZEB de mais baixo custo é novamente a que apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS, 4 painéis solares fotovoltaicos e um sistema solar térmico custo global de 1019 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 32 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Também as soluções que apresentam biomassa e bomba de calor não são boas soluções do ponto de vista da rentabilidade ótima.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 14):

Tabela 14- Tabela síntese para a cidade de Bragança

	Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Bragança	Solução 1	1019	32
	Solução 2	1146	63
	Solução 3	1158	42
	Solução 4	1194	6
	Solução 5	1142	48

### 4.2.3. Lisboa

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Lisboa (tabela 15):

Tabela 15- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Lisboa

Lisboa	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN) em apoio a 1 ST
Solução 1	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit apoiado por 4 SF	EGN em apoio a 1 ST
Solução 2	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica	e 1 ST
Solução 3	EPS 50 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 1 ST	
Solução 4	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST

Na figura 25 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Lisboa:

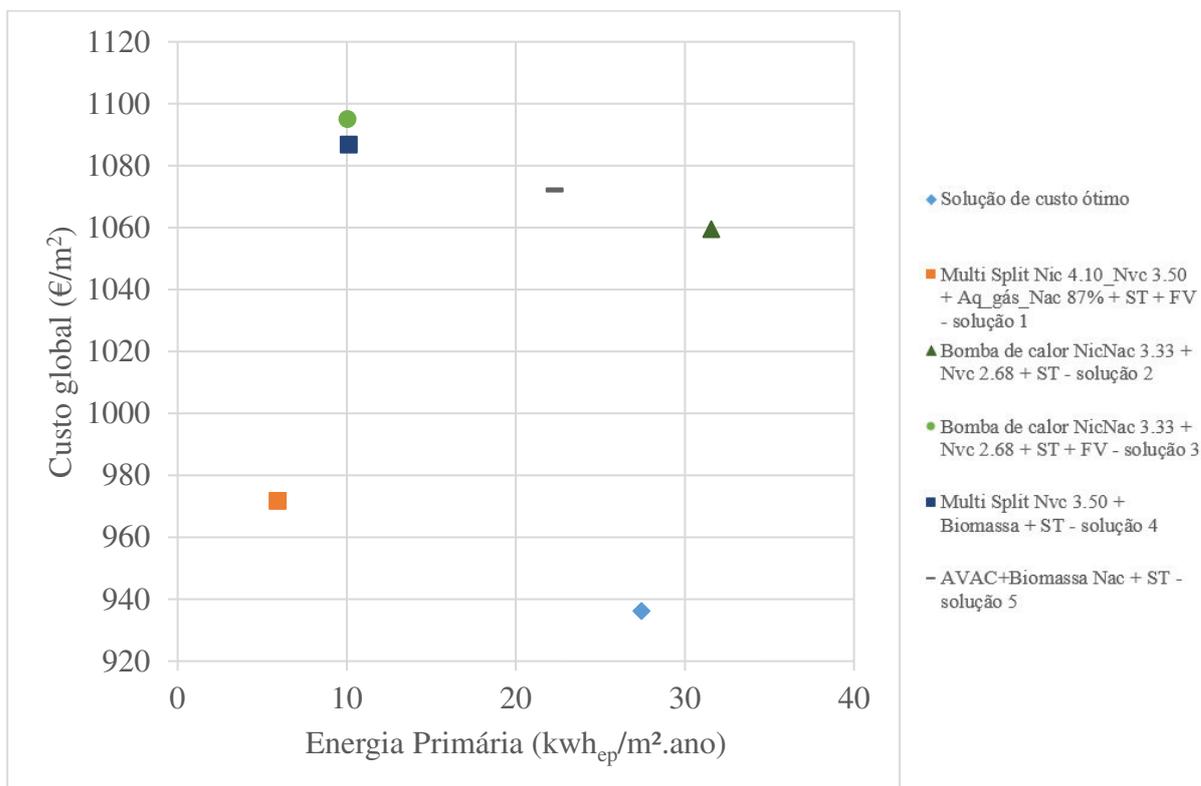


Figura 25- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Lisboa

Em Lisboa, a solução nZEB de mais baixo custo mantém-se, com um custo global de 972 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 6 kWh/m<sup>2</sup>.ano

As soluções que contemplam biomassa e bomba de calor não são novamente soluções de rentabilidade ótima.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 16):

Tabela 16- Tabela síntese para a cidade de Lisboa

	Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Lisboa	Solução 1	972	6
	Solução 2	1059	32
	Solução 3	1095	10
	Solução 4	1087	10
	Solução 5	1072	22

#### 4.2.4. Portalegre

De seguida são apresentadas as soluções que foram caso de estudo para a cidade de Portalegre (tabela 17):

Tabela 17- Pacotes de medidas de eficiência energética e de utilização de renováveis testados para o edifício localizado na cidade de Portalegre

Portalegre	Envolvente				Sistemas técnicos		
	Paredes exteriores	Cobertura	Pavimento	Envidra.	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
Solução de custo ótimo	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Esquentador a gás natural (EGN) em apoio a 1 ST
Solução 1	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	MultiSplit apoiado por 4 SF		EGN em apoio a 1 ST
Solução 2	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	Bomba de calor aerotérmica e 1 ST		
Solução 3	EPS 50 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	Bomba de calor aerotérmica apoiada por 4 SF e 1 ST		
Solução 4	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1	Caldeira a biomassa	MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST
Solução 5	EPS 40 mm	XPS 80 mm	XPS 40 mm	PVC U2.1		MultiSplit	Caldeira a biomassa em apoio a 1 ST

Na figura 26 encontram-se representadas as diferentes soluções estudadas para a cidade de Portalegre:

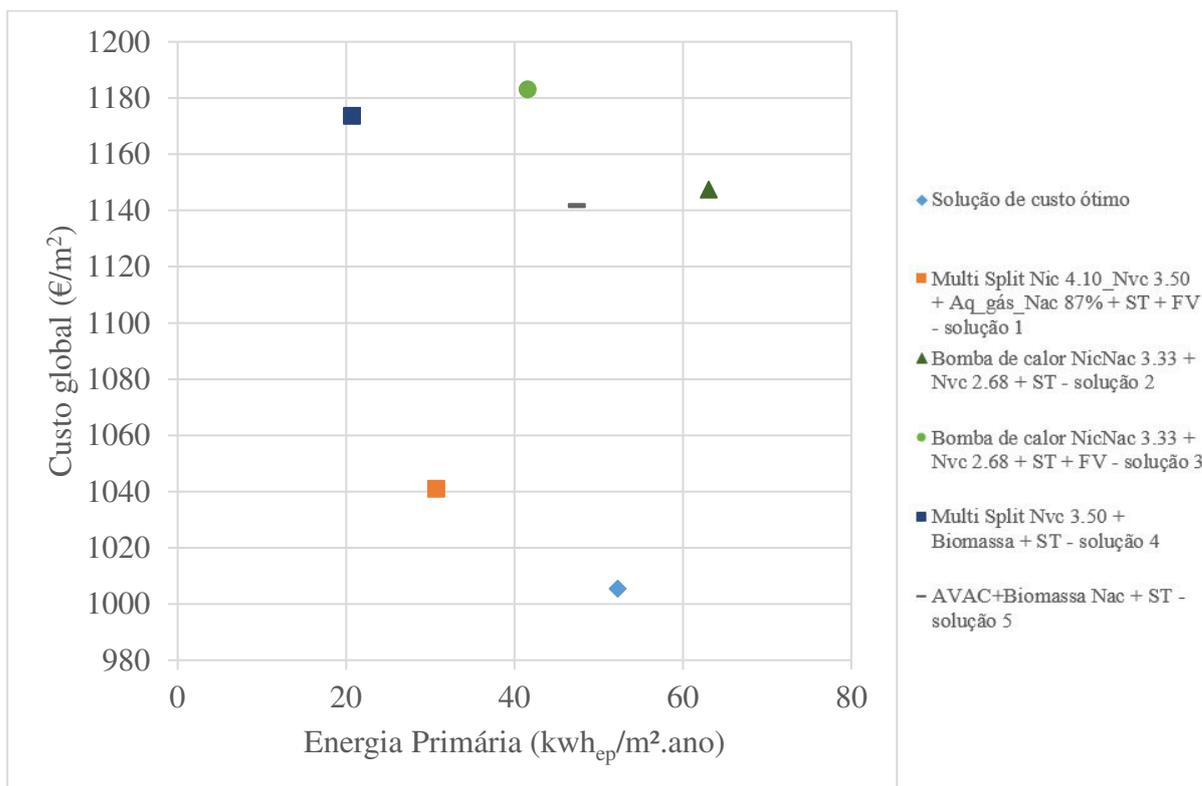


Figura 26- Custos globais e de utilização de energia primária obtidos para cada combinação de medidas na cidade de Portalegre

A cidade de Portalegre é semelhante à cidade do Porto, Bragança e Lisboa e a solução nZEB de mais baixo custo apresenta um custo global de 1041 euros/m<sup>2</sup> e um consumo energético de 31 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Abaixo é apresentada uma tabela síntese (tabela 17):

Tabela 18- Tabela síntese para a cidade de Portalegre

	Soluções	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Portalegre	Solução 1	1041	31
	Solução 2	1147	63
	Solução 3	1183	42
	Solução 4	1174	21
	Solução 5	1142	47

Assim, podemos concluir que em edifícios novos a solução de custo-ótimo é a que apresenta um ar condicionado Multi Split para climatização com COP4.10 e EER3.5, um esquentador a gás natural com um rendimento de 87% para produção de AQS, 4 painéis solares fotovoltaicos e um sistema solar térmico.

De seguida é apresentada uma tabela com os valores de energia primária consumida e com a percentagem de renovável utilizada em cada solução ótima (tabela 19):

Tabela 19- Soluções ótimas para edifícios novos

<u>Soluções ótimas</u>	Edifícios novos			
	Porto	Bragança	Lisboa	Portalegre
Percentagem de renovável (%)	74%	48%	81%	51%
Energia primária (kwh/m <sup>2</sup> .ano)	9	32	6	31

### 4.3. Análises de sensibilidade

O objetivo das análises de sensibilidade consiste em identificar o impacto da variação de parâmetros no cálculo do nível ótimo de rentabilidade. Foram alteradas as taxas de desconto e a evolução do custo da biomassa porque são parâmetros fundamentais nesse cálculo. Todas as alterações propostas na análise de sensibilidade são em relação ao edifício anterior ao ano de 1960 localizado no Porto.

#### 4.3.1. Alteração da taxa de desconto para 10% e 5%

Considerando uma taxa de desconto de 10%, o valor dos custos globais vão descer relativamente aos custos globais quando aplicada uma taxa de desconto de 6%, como é expectável.

Abaixo são apresentadas essas modificações (figura 27):

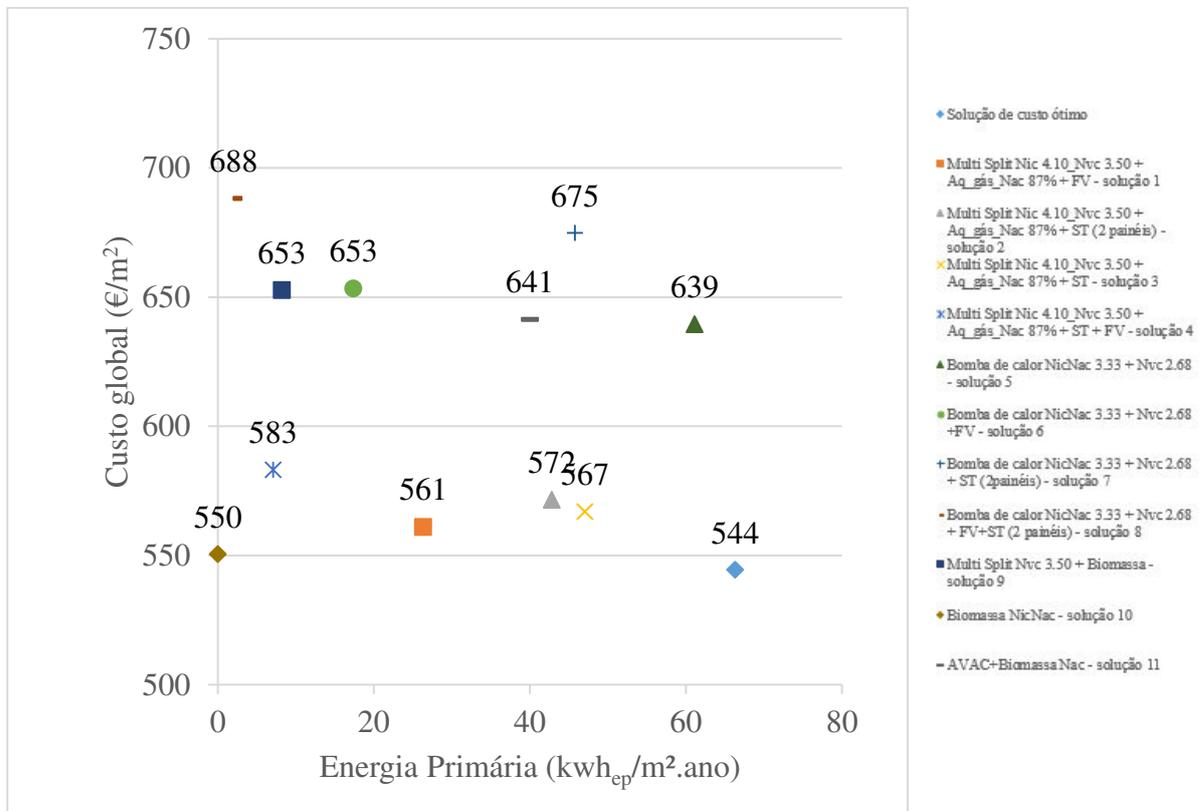


Figura 27- Alteração da taxa de desconto para 10%

Após uma análise do gráfico é possível concluir que a solução nZEB de mais baixo custo se mantem. A solução com a caldeira a biomassa surge imediatamente a seguir, tornando-se mais interessante que a solução que apresenta ar condicionado, gás natural e painéis fotovoltaicos. De seguida surgem as restantes variantes da solução ótima e com um custo global superior surgem as restantes soluções que contemplam biomassa e as soluções com bomba de calor.

Quando ao edificio mencionado anteriormente é aplicada uma taxa de desconto de 5%, os custos globais vão subir, como é demonstrado na figura abaixo (figura 28):

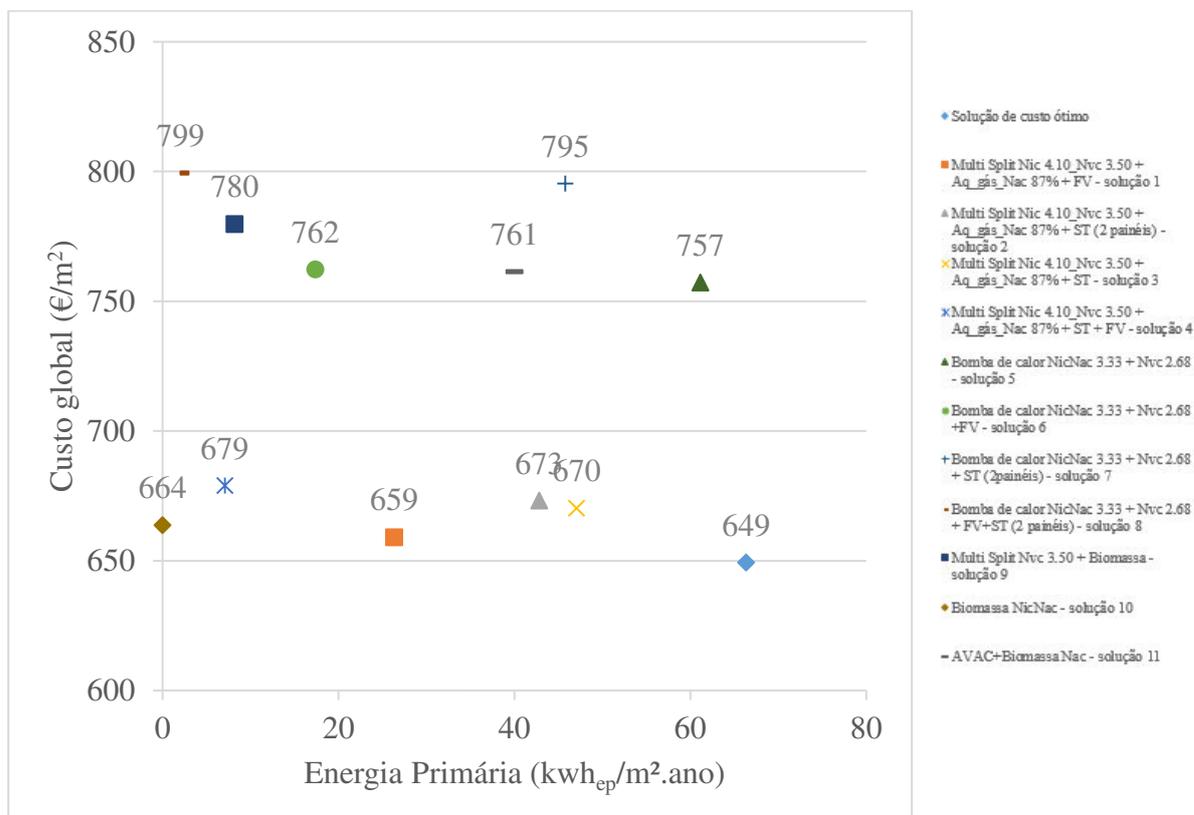


Figura 28- Alteração da taxa de desconto para 5%

Neste caso, a solução nZEB de mais baixo custo mantém-se inalterada comparativamente com uma taxa de desconto de 6%. Também as restantes soluções se mantêm inalteradas.

#### 4.3.2. Alteração da evolução do custo da biomassa para 4% e 2% ao ano

A alteração da evolução do custo da biomassa vai influenciar os custos globais, mais propriamente os custos de energia. Assim, quando essa evolução é de um aumento de 4% ao ano, naturalmente os custos globais aumentam. Quando essa evolução é de um aumento de 2% ao ano, os custos globais diminuem.

Nas figuras 29 e 30 é possível demonstrar essas alterações nos custos globais:

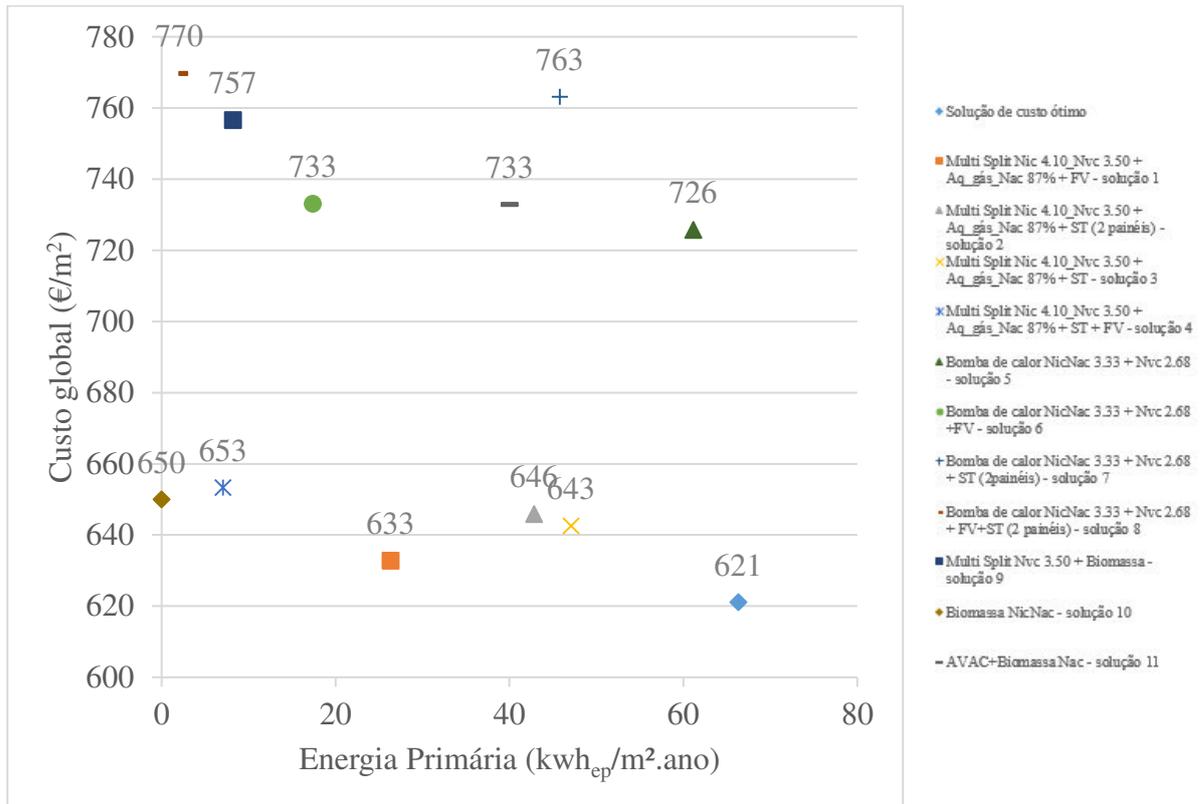


Figura 29- Alteração da evolução do custo da biomassa para 4%

Como é demonstrado na figura 29, a solução nZEB de mais baixo custo não é alterada, contudo os custos globais da solução que contém biomassa para aquecimento e produção de AQS crescem significativamente e assim esta solução deixa de ser interessante quando a evolução do custo da biomassa se altera para 4% ao ano.

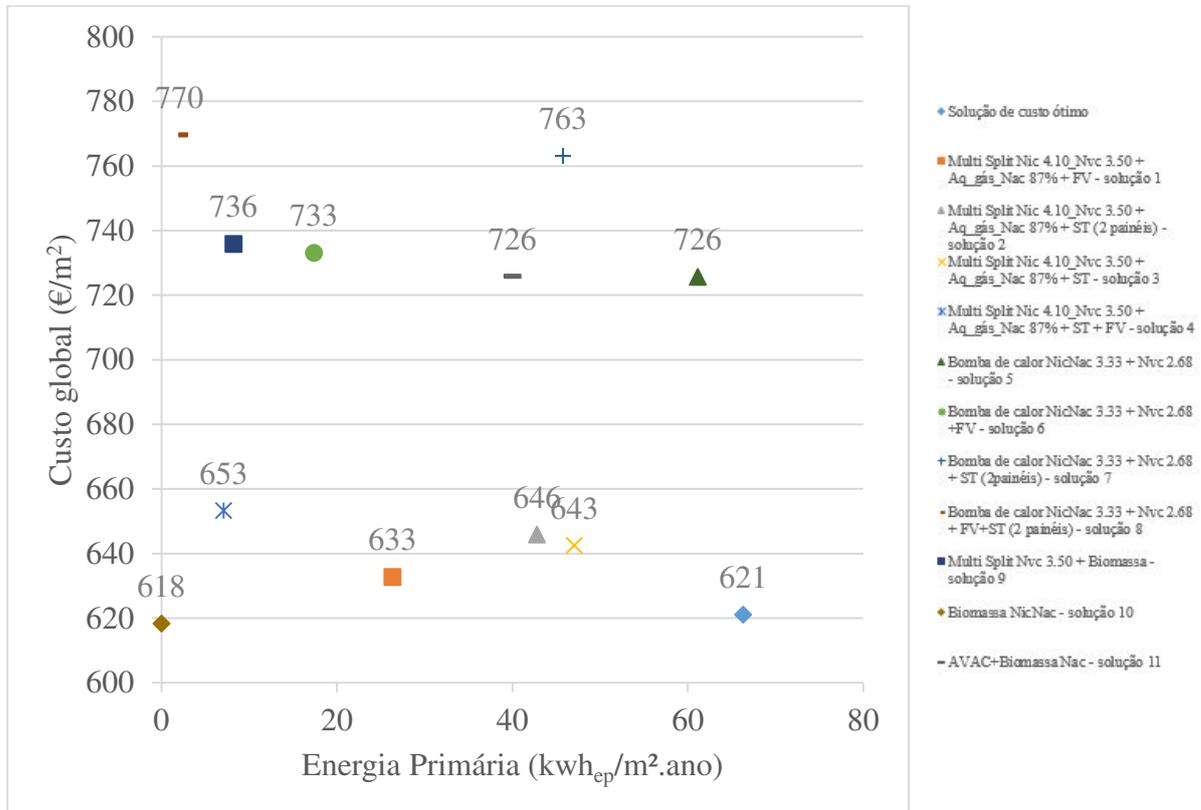


Figura 30- Alteração da evolução do custo da biomassa para 2%

Na mesma linha de pensamento, quando a evolução do custo da biomassa passa para 2% ao ano a solução referida acima passa a ser a solução nZEB de mais baixo custo.

Assim, é pertinente afirmar que a alteração da evolução do custo da biomassa leva a alterações significativas nas soluções mais viáveis. As soluções que apresentam biomassa, quando a evolução do custo é de 4% ao ano, deixam de ser interessantes já que os custos aumentam muito, por outro lado, quando essa evolução é de 2% essas soluções tornam-se muito atraentes já que podem apresentar um custo inferior às restantes soluções que não apresentam essa renovável, sendo assim soluções mais viáveis.



## **CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES**

### **5.1. Resumo e principais conclusões**

Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento do conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia em edifícios residenciais em Portugal, aplicou-se uma metodologia que tem por base a atual definição destes edifícios constante da regulamentação nacional. Assim, tomando por base os níveis ótimos de rentabilidade, o nível de energia quase-zero é atingido através da incorporação de uma parte relevante de energias renováveis.

Testadas diversas soluções, verificou-se que as mais viáveis são as que utilizam equipamentos em que a principal fonte de energia é o gás natural combinado com o ar condicionado e as diferentes formas de energia renovável, nomeadamente sistemas solares térmicos e sistemas solares fotovoltaicos e mais propriamente quando são incorporados painéis fotovoltaicos.

No que diz respeito a edifícios anteriores ao ano de 1960, a solução nZEB de mais baixo custo em todas as localizações estudadas é a que apresenta ar condicionado Multi Split para climatização, um esquentador a gás natural para produção de AQS e 4 painéis fotovoltaicos. Nos edifícios novos, a solução nZEB de mais baixo custo é a que apresenta ar condicionado Multi Split para climatização, um esquentador a gás natural para produção de AQS, 4 painéis fotovoltaicos e um sistema solar térmico.

Nos edifícios anteriores ao ano de 1960, a solução que contempla a caldeira a biomassa, para a região do Porto, está muito próxima da solução nZEB de mais baixo custo sendo portanto uma solução a ter em conta, ainda que esta solução só garanta o aquecimento de águas quentes sanitárias e o aquecimento ambiente, não assegurando o arrefecimento ambiente.

Nas outras localizações, designadamente em Bragança e em Lisboa isso já não se verifica uma vez que apresentam necessidades nominais mais elevadas, logo, custos globais superiores. Para a cidade de Portalegre esta solução nem foi considerada uma vez que não é

possível assumir a inexistência da capacidade de arrefecimento por meios ativos. Nos edifícios novos, esta solução não foi considerada porque, tal como na cidade de Portalegre em edifícios anteriores ao ano de 1960, não é possível assumir a inexistência da capacidade de arrefecimento por meios ativos porque estes edifícios apresentam níveis de isolamento térmico na sua envolvente que reduzem significativamente as necessidades de aquecimento, mas por outro lado fazem subir as necessidades de arrefecimento. Este processo impede a utilização de sistemas de climatização que não garantam o arrefecimento. Importa, no entanto referir, que em edifícios com características distintas do edifício de referência testado é bastante provável que se consigam configurações de envolvente que evitem a necessidade de sistemas ativos de arrefecimento.

A solução que contempla biomassa conjugada com um sistema AVAC e a solução que apresenta biomassa e um ar condicionado Multi Split apresentam valores superiores aos custos globais das outras soluções nos edifícios anteriores ao ano de 1960 e nos edifícios novos, não sendo soluções de rentabilidade ótima.

As soluções com bomba de calor conjugadas com sistemas capazes de produzir energia, apesar de serem eficientes do ponto de vista energético não são soluções de rentabilidade ótima. Mais propriamente, a solução que apresenta bomba de calor, painéis fotovoltaicos e térmicos, não é rentável em nenhuma das regiões das diferentes épocas construtivas estudadas, visto que apresenta custos globais bastante mais elevados que as restantes soluções.

Quando a taxa de desconto é alterada para 10%, a solução nZEB de mais baixo custo é alterada, quando é alterada para 5%, a solução nZEB de mais baixo custo mantém-se, porém as restantes soluções podem sofrer alterações. Quando existe uma alteração da evolução do custo da biomassa, a solução ótima pode-se alterar, nomeadamente quando essa evolução passa para 2% ao ano. As soluções que contemplam biomassa, quando essa evolução é de 2% ao ano tornam-se mais interessantes, podendo ser soluções de rentabilidade ótima, mais propriamente a solução que apresenta a caldeira de biomassa e não apresenta capacidade de arrefecimento. Quando a evolução do custo da biomassa passa para 4%, as soluções que incluem biomassa aumentam ligeiramente o custo global deixando de ser interessantes do ponto de vista de rentabilidade ótima. Esses fatores são portanto fatores a ter em conta na análise do custo ótimo.

Em suma, é possível afirmar que ao longo das várias épocas, a solução nZEB de mais baixo custo mantém-se. Por outro lado, a solução que incorpora a caldeira a biomassa também deve ser tida em consideração, sendo que é possível atingir um consumo de energia nulo e se o custo do combustível biomassa crescer anualmente a um ritmo inferior a 3%, poderá mesmo tornar-se na solução de maior rentabilidade.

É de evidenciar também que em todas as localizações das duas épocas construtivas estudadas, as soluções nZEB de mais baixo custo apresentam mais de 50% de utilização de energia renovável, com exceção da região de Bragança em edifícios novos. Em edifícios anteriores ao ano de 1960 na cidade do Porto a solução nZEB de mais baixo custo apresenta 61% de utilização de energia renovável, na cidade de Bragança essa solução apresenta 54%, na cidade de Lisboa essa solução apresenta 56% e na cidade de Portalegre essa solução apresenta 53%. Nos edifícios novos na cidade do Porto, a solução nZEB de mais baixo custo apresenta 74% de utilização de energia renovável, na cidade de Bragança essa solução apresenta 48%, na cidade de Lisboa essa solução apresenta 81% e na cidade de Portalegre essa solução apresenta 51%.

A metodologia adotada permitiu obter conclusões importantes na obtenção de edifícios com balanço energético nulo apresentando resultados bastante similares, ou seja, foi possível concluir que com a alteração da época construtiva e da localidade, as soluções mais viáveis são idênticas.

Com isto, a definição de nZEB da regulamentação nacional deveria considerar os seguintes aspetos relativamente aos equipamentos de climatização e preparação de águas quentes sanitárias e aos sistemas que utilizam ou produzem localmente energia de fonte renovável, utilizados na generalidade dos edifícios residenciais cuja envolvente apresenta os níveis ótimos de rentabilidade:

- As combinações de equipamentos que apresentam resultados com os mais baixos custos globais, utilizam na sua constituição equipamentos em que a principal fonte de energia é o gás natural para preparação de águas quentes sanitárias e o ar condicionado para aquecimento e arrefecimento, sendo estes equipamentos apoiados por painéis solares fotovoltaicos e térmicos;

- Como alternativa ao gás natural, cuja disponibilidade não se estende a todo o território, a biomassa apresenta-se como a fonte energética que conduz a menores custos globais a seguir ao gás natural. Em casos em que, pelas condições climáticas e características do edifício, não existam necessidades de arrefecimento, a biomassa permite obter soluções com custo pouco superior ao nível ótimo de rentabilidade e que garantem desde logo uma utilização exclusiva de energia de origem renovável;
- As bombas de calor são bastante eficientes, permitindo só por si garantir uma componente renovável e uma utilização de energia fóssil inferior ao gás natural, no entanto acarretam custos, inicial e global, muito elevados;
- Alterações de fatores como a taxa de desconto ou a evolução do custo da biomassa podem levar a alterações nos custos globais e conseqüentemente à alteração das soluções mais rentáveis do ponto de vista dos nZEB. Estas alterações, nomeadamente uma evolução do custo da biomassa inferior ao valor de referência de 3%, faz com que a biomassa se torne a solução com os menores custos globais;
- Relativamente à percentagem de energia de origem renovável incluída nas soluções de mais baixo custo global, verifica-se uma significativa variabilidade em função dos sistemas utilizados, época construtiva do edifício e localização, no entanto, apenas pontualmente essa percentagem se fixou abaixo dos 50%.

Concluído o estudo, e tendo em conta as conclusões aqui focadas é possível melhorar a definição nacional de nZEB. Assim, propõe-se que a redação existente no DL nº 28/2016 de 23 de Junho no seu artigo 16º, inclua na definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia o seguinte texto:

1 — [...]

2 — [...]

3 — [...]

4 — [...]

5 — Os edifícios com necessidades quase nulas de energia são dotados de:

a) Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes e para diferentes tipologias, definida na portaria a que se refere o número anterior; e de

b) *Utilização* de energias renováveis que cubram **um mínimo de 50%** do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS, **e com as seguintes origens:**

i) Preferencialmente **através de captação**, no próprio edifício ou na parcela de terreno onde está construído;

ii) **Em alternativa, através da utilização de energia renovável de origem exterior à parcela de terreno onde está construído, com captação** em infraestruturas tão próximas do local quanto possível.

## 5.2. Perspetivas Futuras

O estudo de edifícios residenciais de energia quase- zero é um trabalho que assenta em vários pressupostos e permite desenvolvimentos no futuro. Apresentam-se algumas propostas para trabalhos futuros:

- A presente dissertação apenas estuda edifícios de duas épocas construtivas; seria uma mais-valia a realização do mesmo tipo de estudo para as restantes épocas.
- Apenas são apresentados casos de estudado em algumas cidades; seria também uma mais-valia a realização deste estudo em outras cidades representativas das diversas regiões climáticas do país.
- A incorporação de diferentes fontes de energia de origem renovável às soluções de rentabilidade ótima tornaria o estudo mais abrangente.
- No presente trabalho apenas são estudados os edifícios residenciais unifamiliares; futuramente seria interessante a realização de um estudo similar para outros tipos de edifícios.



## Referências Bibliográficas

Aelenei, D., Aelenei, L., & Gonçalves, H. (2013). Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais.

Almeida, M. & Barbosa, M. (2014). Reabilitação Energética do Património Construído - Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo. In M. Almeida & M. Barbosa, *Ambiente Construído e a sua Sustentabilidade* (1st ed., pp. 111-144). Juiz de Fora: UFJF.

Carrilho da Graça, G., Augusto, A., & Lerer, M. (2012). Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study. *Solar Energy*, 86(1), 634-646. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.008>

Comissão Europeia (2010). *DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Jornal Oficial da União Europeia.

Comissão Europeia (2012). *REGULAMENTO DELEGADO (UE) N. o 244/2012 DA COMISSÃO de 16 de janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios, através do estabelecimento de um quadro metodológico comparativo para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios*. Jornal Oficial da União Europeia.

Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, 2013.

Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro, 2014.

Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de Junho, 2016.

Despacho 15793-H/2013 do regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

Despacho 15793-I/2013 do regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

Direção Geral de Energia e Geologia (2014). *PORTUGAL EPBD National report on calculation of cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for residential buildings*.

Ferreira, M., Almeida, M., & Rodrigues, A. (2014). Cost optimality and net-zero energy in the renovation of Portuguese residential building stock – Rainha Dona Leonor neighbourhood case study. *International Journal Of Sustainable Building Technology And Urban Development*, 5(4), 306-317. <http://dx.doi.org/10.1080/2093761x.2014.979268>

Ferreira, M., Almeida, M., Rodrigues, A., & Silva, S. (2014). Comparing cost-optimal and net-zero energy targets in building retrofit. *Building Research & Information*, 44(2), 188-201. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2014.975412>

Händel, C. (2011). Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings. *REHVA Journal*.

Hasan, A. (2011). *Optimal Design of Net Zero Energy Buildings*. Lecture, Linköping, Sweden.

Kapsalaki, M., Leal, V., & Santamouris, M. (2012). A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy And Buildings*, 55, 765-778. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.022>

Koch, A., Girard, S., & McKoen, K. (2012). Towards a neighbourhood scale for low- or zero-carbon building projects. *Building Research & Information*, 40(4), 527-537. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2012.683241>

Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemelä, J., & Tark, T. (2013). Cost optimal and nearly zero energy performance requirements for buildings in Estonia. *Estonian J. Eng.*, 19(3), 183. <http://dx.doi.org/10.3176/eng.2013.3.02>

Leal, V. & Kaspalaki, M. (2012). *Procura da eficiência económica*. Lisboa, Portugal.

Marszal, A., Heiselberg, P., Bourrelle, J., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy And Buildings*, 43(4), 971-979. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>

Passos, F., 2012. *Fachadas Eficientes no Desempenho Energético de Edifícios*. ADENE - Agencia para a Energia.

Tavares, J. (2012). *Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios* (Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.



# ANEXOS

## ANEXO I – RELATÓRIOS SOLTERM 5.0

### Porto

-----  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

Concelho de Porto  
Latitude 41,2°N (nominal)  
Longitude 8,6°W (nominal)  
TRY SNCE 2006  
-  
Inclinação do painel: 43°  
Azimute do painel: 0°  
Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

-----  
Balço energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	85	,	81	167	86
Fevereiro	69	104	,	93	150	57
Março	105	130	,	110	162	52
Abril	144	153	,	124	154	30
Maio	173	162	,	125	153	29
Junho	185	165	,	124	143	19
Julho	205	188	,	134	143	9
Agosto	183	185	,	136	144	8
Setembro	129	153	,	121	142	21
Outubro	95	133	,	118	152	35
Novembro	60	101	,	90	156	66
Dezembro	49	88	,	85	167	82
Anual	1449	1646	,	1341	1832	492

-----  
Fracção solar: 73,2%  
Produtividade: 641 kWh/[m<sup>2</sup> colector]  
-----

Figura A I- - Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Porto com dois painéis solares térmicos

## Porto

-----  
 Localização, posição e envolvente do sistema  
 -----

Concelho de Porto  
 Latitude 41,2°N (nominal)  
 Longitude 8,6°W (nominal)  
 TRY SNCE 2006  
 -

Inclinação do painel: 49°  
 Azimute do painel: 0°  
 Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

-----  
 Balanço energético mensal e anual  
 -----

	Rad. Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad. Inclín. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	87	,	117	167	50
Fevereiro	69	105	,	131	150	18
Março	105	129	1,	142	162	20
Abril	144	149	7,	146	154	7
Maio	173	155	4,	145	153	9
Junho	185	156	5,	137	143	6
Julho	205	178	17,	141	143	3
Agosto	183	179	31,	142	144	1
Setembro	129	151	15,	137	142	4
Outubro	95	134	7,	144	152	8
Novembro	60	103	1,	126	156	30
Dezembro	49	91	,	127	167	40
Anual	1449	1617	89,	1636	1832	196

Fracção solar: 89,3%  
 Produtividade: 391 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

Figura A II- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Porto com um painel solar térmico

## Portalegre

-----  
 Localização, posição e envolvente do sistema  
 -----

Concelho de Portalegre  
 Latitude 39,3°N (nominal)  
 Longitude 7,4°W (nominal)  
 TRY SNCE 2006  
 -

Inclinação do painel: 44°  
 Azimute do painel: 0°  
 Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

-----  
 Balanço energético mensal e anual  
 -----

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	65	115	,	106	166	60
Fevereiro	81	122	,	105	149	44
Março	124	154	,	127	161	35
Abril	157	164	,	127	152	25
Maio	199	183	,	136	149	13
Junho	214	185	,	130	137	6
Julho	236	209	,	129	134	5
Agosto	213	214	,	131	135	4
Setembro	151	178	,	127	136	8
Outubro	109	154	,	127	150	23
Novembro	72	124	,	110	154	44
Dezembro	58	106	,	99	166	67
Anual	1681	1907	,	1454	1789	334

Fracção solar: 81,3%  
 Produtividade: 696 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

-----  
 Figura A III- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Portalegre com dois painéis solares térmicos

## Portalegre

---

Localização, posição e envolvente do sistema

---

Concelho de Portalegre

Latitude 39,3°N (nominal)

Longitude 7,4°W (nominal)

TRY SNCE 2006

-

Inclinação do painel: 51°

Azimute do painel: 0°

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

---

Balanco energético mensal e anual

---

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	65	119	,	142	166	25
Fevereiro	81	123	1,	139	149	10
Março	124	152	2,	155	161	7
Abril	157	158	15,	144	152	8
Maio	199	174	9,	147	149	2
Junho	214	173	23,	136	137	1
Julho	236	196	59,	133	134	1
Agosto	213	205	89,	134	135	1
Setembro	151	175	53,	132	136	3
Outubro	109	154	19,	147	150	3
Novembro	72	127	3,	141	154	13
Dezembro	58	110	,	138	166	28
Anual	1681	1866	273,	1688	1789	101

---

Fracção solar: 94,4%

Produtividade: 404 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

---

Figura A IV- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Portalegre com um painel solar térmico

## Bragança

---

Localização, posição e envolvente do sistema

---

Concelho de Bragança

Latitude 41,8°N (nominal)

Longitude 6,7°W (nominal)

TRY SNCE 2006

-

Inclinação do painel: 43°

Azimute do painel: 0°

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

---

Balanco energético mensal e anual

---

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	52	95	,	92	177	85
Fevereiro	70	113	,	99	157	58
Março	114	147	,	124	169	45
Abril	142	151	,	121	159	38
Maio	180	168	,	135	157	22
Junho	202	176	,	132	143	12
Julho	222	200	,	138	142	4
Agosto	196	199	,	140	143	3
Setembro	136	165	,	131	144	12
Outubro	93	137	,	120	159	39
Novembro	58	103	,	95	164	69
Dezembro	43	84	,	81	176	95
Anual	1508	1737	,	1408	1889	481

---

Fracção solar: 74,5%

Produtividade: 674 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

---

Figura A V- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Bragança com dois painéis solares térmicos

## Bragança

-----  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

Concelho de Bragança  
Latitude 41,8°N (nominal)  
Longitude 6,7°W (nominal)  
TRY SNCE 2006  
-

Inclinação do painel: 53°  
Azimute do painel: 0°  
Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

-----  
Balanco energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	52	99	,	132	177	45
Fevereiro	70	116	,	133	157	24
Março	114	145	10,	152	169	17
Abril	142	144	3,	145	159	14
Maio	180	155	3,	151	157	5
Junho	202	160	11,	141	143	2
Julho	222	182	34,	142	142	0
Agosto	196	187	46,	143	143	0
Setembro	136	162	18,	142	144	2
Outubro	93	138	14,	147	159	12
Novembro	58	107	1,	132	164	32
Dezembro	43	88	,	117	176	59
Anual	1508	1682	140,	1678	1889	211

Fracção solar: 88,8%  
Produtividade: 401 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

-----

Figura A VI- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Bragança com um painel solar térmico

## Lisboa

---

Localização, posição e envolvente do sistema

---

Concelho de Lisboa

Latitude 38,7°N (nominal)

Longitude 9,2°W (nominal)

TRY SNCE 2006

-

Inclinação do painel: 47°

Azimute do painel: 0°

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

---

Balanco energético mensal e anual

---

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	63	110	,	100	158	58
Fevereiro	81	119	,	101	141	40
Março	118	144	,	113	153	40
Abril	156	160	,	125	145	20
Maio	197	177	,	129	144	14
Junho	207	174	,	123	133	10
Julho	228	197	,	131	133	2
Agosto	210	204	,	132	132	0
Setembro	148	172	,	122	131	8
Outubro	107	150	,	121	143	22
Novembro	73	123	,	106	147	41
Dezembro	60	109	,	101	157	56
Anual	1649	1836	,	1404	1716	312

---

Fracção solar: 81,8%

Produtividade: 672 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

---

Figura A VII- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Lisboa com dois painéis solares térmicos

## Lisboa

---

Localização, posição e envolvente do sistema

---

Concelho de Lisboa

Latitude 38,7°N (nominal)

Longitude 9,2°W (nominal)

TRY SNCE 2006

-

Inclinação do painel: 50°

Azimute do painel: 0°

Obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

---

Balço energético mensal e anual

---

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	63	111	,	134	158	24
Fevereiro	81	119	,	131	141	10
Março	118	143	11,	141	153	12
Abril	156	157	7,	142	145	3
Maio	197	172	22,	141	144	3
Junho	207	168	15,	131	133	2
Julho	228	191	36,	133	133	0
Agosto	210	199	64,	132	132	0
Setembro	148	170	48,	129	131	1
Outubro	107	150	9,	141	143	1
Novembro	73	125	,	133	147	13
Dezembro	60	110	,	139	157	18
Anual	1649	1814	213,	1627	1716	89

---

Fracção solar: 94,8%

Produtividade: 389 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

---

Figura A VIII- Relatórios SOLTERM 5.0 para a cidade do Lisboa com um painel solar térmico

## ANEXO II – RELATÓRIOS PV

### Porto

#### Performance of Grid-connected PV

##### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 41°9'28" North, 8°37'44" West, Elevation: 91 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 15.7% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 29.5%

<b>Fixed system: inclination=35°, orientation=0°</b>				
<b>Month</b>	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.51	77.8	3.38	105
Feb	3.43	96.2	4.69	131
Mar	4.15	129	5.84	181
Apr	4.26	128	6.11	183
May	4.54	141	6.54	203
Jun	4.61	138	6.73	202
Jul	4.73	147	6.94	215
Aug	4.68	145	6.93	215
Sep	4.44	133	6.49	195
Oct	3.58	111	5.06	157
Nov	2.78	83.4	3.79	114
Dec	2.34	72.6	3.13	97.2
<b>Yearly average</b>	<b>3.84</b>	<b>117</b>	<b>5.47</b>	<b>166</b>
<b>Total for year</b>		<b>1400</b>		<b>2000</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figura A IX- Relatório PV para a cidade do Porto

## Portalegre

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°0'55" North, 7°51'45" West, Elevation: 282 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 17.1% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 30.6%

<b>Fixed system: inclination=35°, orientation=0°</b>				
<b>Month</b>	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.99	92.8	4.05	126
Feb	3.73	104	5.14	144
Mar	4.27	132	6.10	189
Apr	4.29	129	6.16	185
May	4.44	138	6.51	202
Jun	4.70	141	7.04	211
Jul	4.92	153	7.46	231
Aug	4.81	149	7.35	228
Sep	4.41	132	6.58	197
Oct	3.97	123	5.74	178
Nov	3.32	99.6	4.58	138
Dec	2.87	89.1	3.88	120
<b>Yearly average</b>	<b>4.06</b>	<b>124</b>	<b>5.89</b>	<b>179</b>
<b>Total for year</b>		<b>1480</b>		<b>2150</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figura A X- Relatório PV para a cidade do Portalegre

## Bragança

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 41°48'22" North, 6°45'24" West, Elevation: 667 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 14.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 28.2%

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.25	69.6	2.92	90.4
Feb	3.38	94.6	4.47	125
Mar	4.09	127	5.62	174
Apr	4.14	124	5.79	174
May	4.47	138	6.34	197
Jun	4.84	145	7.00	210
Jul	5.10	158	7.45	231
Aug	4.99	155	7.31	226
Sep	4.52	136	6.48	194
Oct	3.56	110	4.89	152
Nov	2.69	80.6	3.53	106
Dec	2.25	69.8	2.92	90.5
<b>Yearly average</b>	<b>3.86</b>	<b>117</b>	<b>5.40</b>	<b>164</b>
<b>Total for year</b>		<b>1410</b>		<b>1970</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figura A XI- Relatório PV para a cidade do Bragança

## Lisboa

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°43'20" North, 9°8'21" West, Elevation: 62 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 15.8% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 29.5%

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	2.64	81.7	3.54	110
Feb	3.43	96.1	4.69	131
Mar	4.12	128	5.76	178
Apr	4.25	127	6.03	181
May	4.50	140	6.42	199
Jun	4.64	139	6.75	202
Jul	4.79	148	7.06	219
Aug	4.78	148	7.09	220
Sep	4.41	132	6.46	194
Oct	3.70	115	5.25	163
Nov	2.90	87.0	4.03	121
Dec	2.48	76.9	3.38	105
<b>Yearly average</b>	<b>3.89</b>	<b>118</b>	<b>5.54</b>	<b>169</b>
<b>Total for year</b>		<b>1420</b>		<b>2020</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figura A XII- Relatório PV para a cidade do Lisboa