

# **A INCORPORAÇÃO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

Fábio de Oliveira Coelho Leão

Dissertação Final apresentada à **Escola Superior de Tecnologia e  
de Gestão - Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em **Engenharia da Construção**

Junho de 2019

# **A INCORPORAÇÃO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

Fábio de Oliveira Coelho Leão

Dissertação Final apresentada à **Escola Superior de Tecnologia e  
de Gestão - Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em **Engenharia da Construção**

Orientador(a): Prof. Especialista Silvia Maria Afonso Fernandes

Co-orientador(a): Prof. Doutor Jean-Marc Stephane Lafay

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo jurí.

Junho de 2019

## **Agradecimentos**

**Professora Especialista Silvia Maria Afonso Fernandes**, pelo incentivo e parceria durante todo o desenvolvimento da tese. Agradeço à orientação exemplar, dedicada, paciente e organizada. Foi uma honra poder trabalhar ao seu lado e aprender muito com você.

**Prof. Doutor Jean-Marc Stephane Lafay**, por toda ajuda que foi fornecida mesmo de longe sempre me atendeu muito bem.

**Minha família**, por todo apoio, motivação, paciência e esforços sem limites para me ajudar da forma possível à concluir este trabalho. Obrigado por entenderem minha ausência, por me incentivarem mesmo à distância, por acreditarem em mim. Sem vocês nada disso seria possível.

**Às demais pessoas**, aos meus amigos que compartilharam essa trajetória comigo e que de alguma forma me ajudaram a finalizar este trabalho.

## RESUMO

Portugal é um dos países da Europa com grandes potencialidades de utilização de fontes de energia renovável, sendo uma dessas a energia solar. Segundo a Diretiva 2010/31/EU, a partir do dia 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão apresentar necessidades quase nulas de energia. Assim sendo, o presente trabalho foi realizado para estudar a tecnologia fotovoltaica no setor habitacional e a sua aplicabilidade através de um estudo de caso buscando sempre alcançar um balanço energético quase nulo. A Portaria n.º 98/2019 define os parâmetros para um edifício ter um balanço energético quase nulo. O trabalho apresenta os resultados do cálculo do desempenho energético e a energia elétrica produzida proveniente dos fotovoltaicos das diferentes situações simuladas para um edifício de habitação em Bragança, Portugal tendo em vista realizar uma análise de custo-benefício para cada solução.

## ABSTRACT

Portugal is one of the Europe countries with big potentialities to use renewable energy sources, such as solar energy. According to the Directive 2010/31/EU, from december, 31 of 2020, all new buildings must have almost zero energy needs. Therefore, the present work was developed to study the photovoltaic technology in the housing sector and its applicability to a case study always concerned to reach almost zero energy balance. The ordinance n.º 98/2019 defines the parameters to reach that balance. This work presents the results of energy performance and the electrical energy production from photovoltaic pannels in many different simulated situations of a housing building in Bragança, Portugal with the purpose to accomplish a cost-benefit analysis for each situation.

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	ENQUADRAMENTO .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	2
1.3	ESTRUTURA DA TESE .....	3
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO .....	4
2.1	ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	4
2.2	EDIFÍCIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES.....	7
3	ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	10
3.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL.....	10
3.2	TIPOS DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS.....	11
3.2.1	HÍDRICA .....	11
3.2.2	EÓLICA .....	11
3.2.3	BIOMASSA .....	11
3.2.4	SOLAR .....	12
4	TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....	13
4.1	RADIAÇÃO SOLAR.....	13
4.2	BREVE HISTÓRICO DO FOTOVOLTAICO .....	14
4.3	O EFEITO FOTOVOLTAICO .....	15
4.4	ÂNGULO ÓTIMO .....	15
4.5	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	16
4.5.1	SISTEMAS LIGADOS À REDE.....	16
4.5.2	SISTEMAS ISOLADOS OU AUTÔNOMOS.....	17
4.5.3	SISTEMAS HÍBRIDOS .....	18
4.6	COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	18
4.6.1	PAINEL SOLAR.....	18
4.6.2	INVERSOR .....	20
4.6.3	BATERIA.....	22
4.6.4	CONTROLADOR DE CARGA.....	23
4.6.5	CONTADOR .....	23
4.7	LIMITAÇÕES DO SISTEMA.....	23
4.8	ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	24
4.8.1	CONDIÇÕES DE ACESSO E DE EXERCÍCIO DE ATIVIDADE.....	26
4.8.2	REQUISITOS PARA ACESSO AO REGISTRO .....	27
4.8.3	PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO REGISTRO E CERTIFICADO DE EXPLORAÇÃO 27	
5	SISTEMAS TÉCNICOS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AQS.....	28

5.1	COLETOR SOLAR TÉRMICO .....	28
5.2	BOMBAS DE CALOR .....	29
5.3	SISTEMA RADIANTE .....	30
5.4	AR CONDICIONADO .....	31
5.5	CALDEIRA A GÁS .....	31
5.6	ESQUENTADORES .....	32
5.7	SALAMANDRA .....	32
6	ESTUDO DE CASO .....	33
6.1	METODOLOGIA.....	33
6.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO .....	34
6.3	CÁLCULO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	34
6.4	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	39
6.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	42
6.6	RESULTADOS .....	45
6.6.1	Solução 1 .....	48
6.6.2	Solução 2 .....	49
6.6.3	Solução 3 .....	50
6.6.4	Solução 4 .....	51
6.6.5	Solução 5 .....	52
6.7	ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO.....	53
6.7.1	Solução 1 .....	55
6.7.2	Solução 2 .....	56
6.7.3	Solução 3 .....	57
6.7.4	Solução 4 .....	58
6.7.5	Solução 5 .....	59
7	CONCLUSÃO .....	60
7.1	TRABALHOS FUTUROS.....	61
8	REFERÊNCIAS.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Potencial Fotovoltaico dos Países Europeus (PVGIS, 2017). .....	2
Figura 2 - Repartição das Fontes na Produção de Eletricidade em Portugal (APREN, 2018). .....	10
Figura 3 - Tipos de Radiação Solar (FCSOLAR, 2018). .....	13
Figura 4 - Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede (UNIVERSOSOLAR, 2018). .....	17
Figura 5 - Sistema Isolado ou Autônomo (NEOSOLAR, 2018). .....	17
Figura 6 - Sistema Híbrido (ECOPLANETENERGY, 2018). .....	18
Figura 7 - Célula; Módulo; Painel (RECICLOTECA, 2016). .....	19
Figura 8 - Composição de Uma Célula Fotovoltaica (FADIGAS, 2012). .....	19
Figura 9 - Inversor Central (NEOSOLAR, 2018) .....	21
Figura 10 - Inversor de Fileira (MONTEIRO, 2014) .....	22
Figura 11 - Inversor com módulo (MONTEIRO, 2014) .....	22
Figura 12 - Sistema radiante de piso (CONSTRUCOESLUISEFERNANDO, 2018).....	31
Figura 13 - Metodologia utilizada no estudo. ....	33
Figura 14 - Planta de Localização do Lote.....	34
Figura 15 - Layout do programa PVsyst para definição da localidade, base de dados meteorológicas e parâmetros de projeto. ....	43
Figura 16 - Layout do programa PVsyst para definição da inclinação e orientação dos painéis. ....	44
Figura 17 - Layout do programa PVsyst para definição dos módulos e do inversor. ....	44
Figura 18 - Layout do programa PVsyst para definição das perdas. ....	45
Figura 19 - Consumo de energia elétrica mês de janeiro, solução 1.....	47
Figura 20 - Consumo de energia elétrica mês de julho, solução 1. ....	47

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Detalhamento da envolvente. ....	36
Quadro 2: Sistemas técnicos para cada solução. ....	38
Quadro 3: Necessidades nominais de energia primária. ....	39
Quadro 4: Valores de demanda. ....	41
Quadro 5: Resumo para encontrar os valores de energia de geração. ....	41
Quadro 6: Valores mensais de HSP. ....	42
Quadro 7: Resumo resultados do pré-dimensionamento. ....	42
Quadro 8: Equipamentos elétricos potência e horas de uso por dia. ....	46
Quadro 9: Resultados do dimensionamento para solução 1. ....	48
Quadro 10: Resultados do dimensionamento para solução 2. ....	49
Quadro 11: Resultados do dimensionamento para solução 3. ....	50
Quadro 12: Resultados do dimensionamento para solução 4. ....	51
Quadro 13: Resultados do dimensionamento para solução 5. ....	52
Quadro 14 – Custo investimento inicial fotovoltaico. ....	53
Quadro 15: Análise custo-benefício solução 1. ....	55
Quadro 16: VAL, TIR, IL e Payback da solução 1. ....	55
Quadro 17: Análise custo-benefício solução 2. ....	56
Quadro 18: VAL, TIR, IL e Payback da solução 2. ....	56
Quadro 19: Análise custo-benefício solução 3. ....	57
Quadro 20: VAL, TIR, IL e Payback da solução 3. ....	57
Quadro 21: Análise custo-benefício solução 4. ....	58
Quadro 22: VAL, TIR, IL e Payback da solução 4. ....	58
Quadro 23: Análise custo-benefício solução 5. ....	59
Quadro 24: VAL, TIR, IL e Payback da solução 5. ....	59

## **LISTA DE SIGLA**

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AQS - Água Quente Sanitária

Aq - Necessidades Nominais de Energia Primária para AQS

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

COP - Rendimento para Aquecimento

CO2 - Gás Carbónico

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

EER - Rendimento para Arrefecimento

FER - Fontes de Energia Renovável

IL - Índice de lucratividade

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade

Nic - Necessidades Nominais de Energia Primária para Aquecimento

Nvc - Necessidades Nominais de Energia Primária para Arrefecimento

NZEB - Nearly Zero Energy Buildings

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

SCE - Certificação Energética dos Edifícios

SERUP - Sistema Electrónico de Registo de Unidades de Produção

TIR - Taxa interna de rentabilidade

UE - União Europeia

UPAC - Unidades de Produção para o Autoconsumo

UPP - Unidades de Pequena Produção

VAL - Valor atual líquido

Wp - Watt pico

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

A humanidade está passando por um processo de transição na utilização de energia. Sabe-se que maior parte da energia produzida pelo mundo é obtida a partir da queima de combustíveis fósseis, petróleo, gás natural e carvão natural, porém estes são finitos e a queima destes libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera agravando o efeito estufa. Nesse contexto, os países vêm utilizando cada vez mais as fontes de energia renováveis (FER) como, a eólica, a solar, a hidrelétrica, a biomassa, a oceânica (energia advindas das marés).

Dentro deste cenário de busca e de uma maior utilização de energias renováveis, Portugal é um dos países que se destaca na utilização dessas. No ano de 2016, durante 107 horas consecutivas o país inteiro funcionou apenas com energia solar, hídrica e eólica. Entre as 6h45 do dia 7 de maio (sábado) até às 17h45 do dia 11 (quarta-feira), Portugal atingiu uma importante meta, tendo conseguido abastecer a rede elétrica do país sem quaisquer emissões de carbono. Além das evidentes vantagens ambientais, o impacto econômico foi também positivo, já que reduziu a necessidade de importar carvão e gás natural.

Uma das grandes potencialidades de Portugal é a utilização da fonte solar, a qual pode gerar grandes quantidades de energia no verão visto que é o país da Europa com mais exposição solar. A figura 1 mostra as potencialidades fotovoltaicas dos países europeus.

De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia - DGEG (2013), o consumo energético dos edifícios na Europa representa aproximadamente 40% dos consumos totais de energia. Em Portugal face às menores necessidades de arrefecimento e sobretudo de aquecimento dos edifícios, os consumos nesta área (doméstico e serviços) representam em torno de 30% da energia utilizada para consumo final.

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

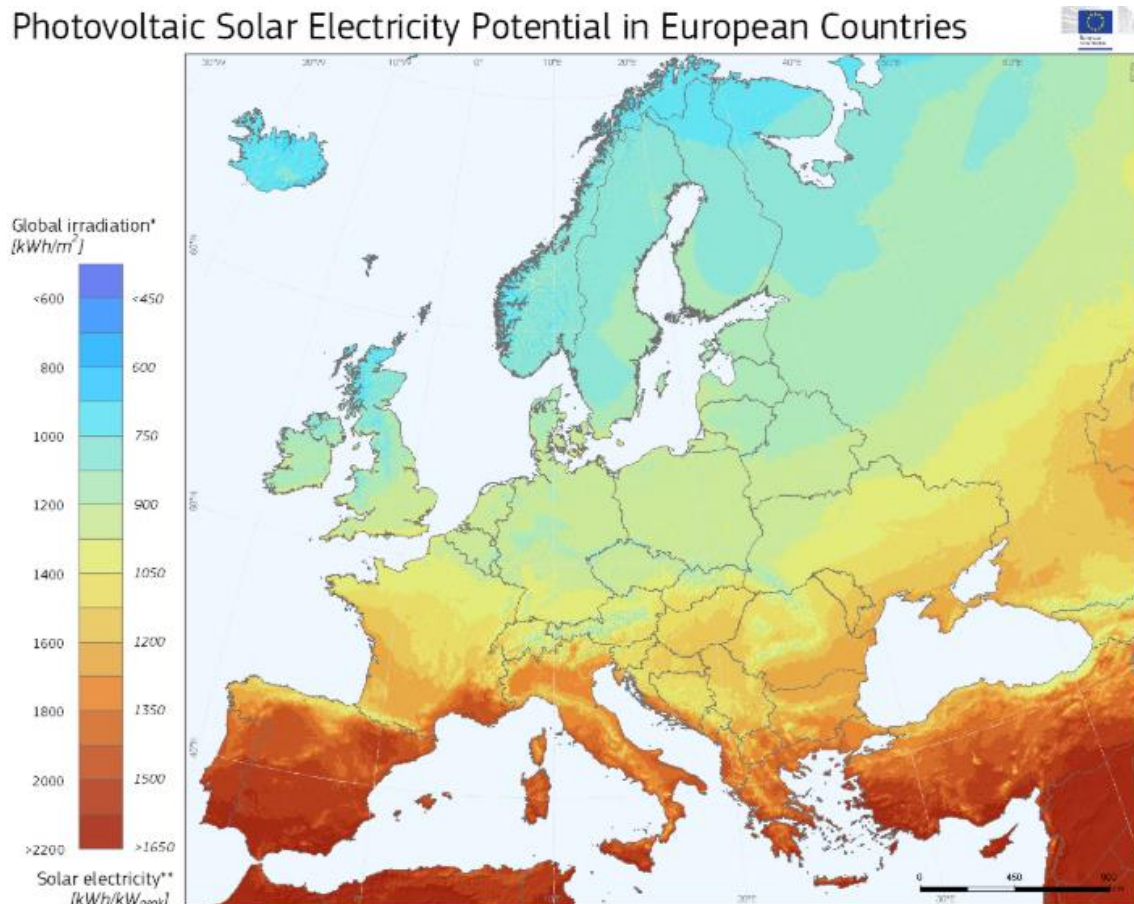


Figura 1 - Potencial Fotovoltaico dos Países Europeus (PVGIS, 2017).

Nessa direção a Diretiva 2010/31/UE do parlamento europeu e do conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios enuncia que a partir de 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão apresentar necessidades quase nulas de energia. Esta medida é necessária para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa.

A Diretiva define como edifício com necessidades quase nulas de energia, um edifício com um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades. Neste contexto pode aplicar-se a tecnologia fotovoltaica nos edifícios a fim de produzir energia.

### 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho, portanto, orientar-se-á no sentido de estudar a tecnologia fotovoltaica para utilização no setor dos edifícios de habitação, as suas limitações, e ainda, a sua aplicabilidade a um estudo de caso através do cálculo

do desempenho energético do edifício, e da análise custo-benefício de várias soluções disponíveis no mercado com o intuito de alcançar um balanço energético quase nulo.

### 1.3 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese é constituída por mais sete capítulos para além da introdução. Esta mostra o panorama atual de Portugal em relação aos fotovoltaicos, o potencial que o país tem para desenvolvimento na utilização dos mesmos e o desafio de alcançar edifícios com necessidades quase nulas de energia.

No segundo capítulo é realizado um enquadramento legislativo da eficiência energética em Portugal e mostrado a importância da eficiência energética dos edifícios e os parâmetros levados em consideração para aumentar essa eficiência.

No terceiro é mostrado o atual panorama de Portugal em relação as energias renováveis e explicado basicamente como funciona cada tipo de energia renovável.

No quarto tópico é falado um pouco sobre a radiação solar e feito um breve histórico do fotovoltaico, depois explicado como é o princípio do seu funcionamento, tipos de sistemas existentes e os componentes e funções de cada um.

No quinto são mencionadas alguns aspectos legislativos em vigor com relação aos fotovoltaicos.

No sexto é apresentado sistemas técnicos que podem ser utilizados em conjunto com os fotovoltaicos para alcançar um elevado desempenho.

No sétimo é realizado um estudo de caso onde foi calculado o desempenho energético de uma edificação com diferentes soluções, dimensionado o sistema fotovoltaico para cada solução, apresentado os resultados e realizada uma análise de custo-benefício.

No oitavo são aferidas às devidas conclusões.

## 2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

### 2.1 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

De acordo com a DGEG (2013) o potencial de economias de energia nos edifícios é elevado, sendo que mais de 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Esta redução traduz-se numa redução anual de quatrocentos milhões de toneladas de dióxido de carbono que é quase a totalidade do compromisso da União Europeia assinado no Protocolo de Quioto.

A agência nacional de energia – ADENE (2011) relata que o primeiro regulamento sobre comportamento térmico de edifícios em Portugal apareceu em 1990, sendo o RCCTE, Decreto-Lei nº 40/90 de 6/fevereiro, documento pioneiro na Europa, pois além de introduzir aspectos térmicos e energéticos no projeto de edifícios, introduziu requisitos mínimos para sombreamento e coeficientes de transmissão térmica máximos para minimização do fenómeno de condensação interior.

Para solucionar os problemas associados ao excessivo consumo das energias fósseis nos edifícios, a Comissão Europeia lançou uma proposta de Diretiva sobre o desempenho energético de edifícios, que viria a ser aprovada a 16 de dezembro de 2002, a Diretiva 2002/91/CE (EPBD, 2002).

Esta Diretiva foi transposta para a legislação portuguesa por meio de três decretos, Decreto-Lei nº 78/2006, que caracterizou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), Decreto-Lei nº 79/2006 caracterizando o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e Decreto-Lei nº 80/2006 caracterizando o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

Entretanto em 2010, é atualizada a Diretiva 2002/91/CE para a Diretiva 2010/31/UE de 19 de maio. Esta nova Diretiva apresenta o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia. A transposição desta nova Diretiva

para a legislação portuguesa fez-se através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, onde agrega em um só documento o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Os aspectos mais operacionais e técnicos estão dispostos em várias portarias e despachos da legislação portuguesa. Foi com base nestes regulamentos que foi calculado o desempenho energético do edifício em estudo nesta dissertação. Importante ressaltar que a Diretiva 2010/31/UE foi atualizada pela Diretiva (UE) 2018/844, entretanto esta ainda não foi transposta para a legislação portuguesa.

O REH estabelece os requisitos, parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético para os edifícios de habitação. Define a metodologia para cálculo dos índices térmicos fundamentais (necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento  $N_{ic}$ , para arrefecimento  $N_{vc}$ , e as necessidades nominais de energia primária  $N_{tc}$ , bem como dos valores máximos admissíveis,  $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_t$ ). Ainda define os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente opaca, expressos em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e do fator solar dos vãos envidraçados. Contempla também requisitos de ventilação dos espaços, impondo um valor mínimo de cálculo para a taxa de renovação do ar, e requisitos técnicos dos sistemas para preparação de águas quentes, climatização e sistemas de energias renováveis, nomeadamente requisitos quanto às eficiências e isolamento das tubagens. Além destes requisitos exige a obrigatoriedade de contribuição da energia renovável por meio da instalação de sistemas solares térmicos (ou outro sistema que garanta numa base anual energia equivalente ao sistema solar térmico), estando especificado os requisitos de eficiência com base num coletor padrão com características definidas na legislação. As regras de quantificação do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis estão definidas no despacho nº 15793 - H/2013.

Ressalta-se que o cálculo do desempenho energético para a determinação dos índices energéticos é feito quase na totalidade em duplicado. Um dos cálculos corresponde ao edifício real, obtendo-se os índices  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{tc}$  e o outro corresponde ao mesmo edifício, mas considerando

parâmetros/soluções térmicas de referência, obtendo-se os valores limites  $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_t$ . Estes parâmetros de referência encontram-se estabelecidos na legislação e, entre outros, dizem respeito aos coeficientes de transmissão térmica da envolvente, coeficientes de transmissão térmica lineares, número de renovações horárias e eficiências dos sistemas.

As necessidades de energia útil para aquecimento de um edifício,  $N_{ic}$ , correspondem à energia útil necessária para que o edifício se mantenha no inverno, à temperatura interior de referência de 18°C. Relativamente à estação de arrefecimento, as necessidades de energia útil,  $N_{vc}$ , são calculadas para uma temperatura de referência de 25°C. O cálculo de energia relativo à água quente sanitária (AQS) tem em conta que são gastos 40 litros de água, por ocupante, por dia. A energia primária ( $N_{tc}$ ) é a energia global que tem em conta os diferentes tipos de energia finais (afetados das eficiências dos sistemas técnicos) descontando a componente referente à energia renovável, sendo que os diferentes tipos de energia são convertidos em energia primária através dos seus fatores de conversão,  $F_{pu}$  (2,5 kWh<sub>ep</sub>/kWh para a eletricidade e 1 kWh<sub>ep</sub>/kWh para combustíveis sólidos, líquidos, gasosos não renováveis) (FERNANDES, 2015).

Admite-se que os edifícios são aquecidos e arrefecidos em contínuo durante o inverno e verão. O valor de energia primária ( $N_{tc}$ ) é calculado através da expressão seguinte:

$$N_{tc} = 0,1 * \frac{N_{ic}}{\eta_{ic}} * F_{pui} + 0,1 * \frac{N_{vc}}{\eta_{vc}} * F_{puc} + N_{ac} * F_{pua} \quad (1)$$

Onde:

$N_{ic}$  – necessidades nominais de energia útil para aquecimento (kWh/m<sup>2</sup> .ano)

$\eta_{ic}$  – eficiência nominal dos equipamentos requeridos para os sistemas de aquecimento

$F_{pui}$  – fatores de conversão entre a energia útil e energia primária consoante a fonte de energia primária para estação de aquecimento (kWh<sub>ep</sub>/kWh)

$N_{vc}$  – necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup> .ano)

$\eta_{vc}$  – eficiência nominal dos equipamentos requeridos para os sistemas de arrefecimento

$F_{puc}$  – fatores de conversão entre a energia útil e energia primária consoante a fonte de energia primária para estação de arrefecimento (kWh<sub>ep</sub>/kWh)

$N_{ac}$  – necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (kWh/m<sup>2</sup> .ano)

$F_{pua}$  – fatores de conversão entre a energia útil e energia primária consoante a fonte de energia primária para preparação de AQS (kWh<sub>ep</sub>/kWh)

A classe de eficiência energética, é calculada a partir da seguinte expressão:

$$R = N_{tc}/N_t \quad (2)$$

Onde:

$N_{tc}$  – Necessidades nominais globais de energia primária

$N_t$  – Valor máximo admissível para necessidades nominais globais de energia primária

Em Portugal, a Portaria n.º 98/2019 procede à pormenorização do conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB) com os seguintes requisitos mínimos de necessidades energéticas e de aproveitamento de fontes de energia renováveis para um edifício ser considerado NZEB.

Para necessidades energéticas são levados em conta dois fatores descritos abaixo.

- O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento deve ser menor ou igual a 75% do seu valor máximo.
- O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária deve ser menor ou igual a 50% do seu valor máximo.

E para aproveitamento de fontes de energia renováveis, os sistemas devem suprir pelo menos 50% das necessidades anuais de energia primária.

## 2.2 EDIFÍCIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

De acordo com Costa (2012), o elevado desempenho do edifício depende de duas bases, a redução das necessidades energéticas, que é a otimização das soluções passivas como luminosidade natural, ventilação, vão envidraçados, soluções opacas e a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis de energia. Além disso se enquadra também a utilização de equipamentos de elevado rendimento para a climatização dos ambientes internos.

A eficiência energética dos edifícios não significa apenas diminuir o valor da fatura de energia, mas também visa aumentar os níveis de conforto térmico e mitigar o aquecimento global.

Para alcançar um alto desempenho energético e, por conseguinte, obter necessidades quase nulas de energia, os edifícios devem ter altos níveis de inércia térmica, ótimo isolamento das envolventes, janelas e portas exteriores de elevada eficiência, lâmpadas e sistemas de iluminação que proporcionam a economia, design e orientação adequada em relação ao sol e às correntes de ar, proteção dos elementos da envolvente em locais com clima extremo, equipamentos eficientes.

Segundo TAVARES (2013), a inércia térmica relaciona-se com a capacidade que os elementos possuem de armazenar calor e libertá-lo ao fim de determinado tempo. Quanto maior a inércia térmica, maior será a estabilidade da temperatura interior de uma edificação face às temperaturas do exterior. Esta capacidade depende das características de cada material, tais como a massa dos elementos, o calor específico e da condutibilidade térmica.

SANTOS (2017), reconhece que o isolamento da envolvente deve ser ótimo a fim de reduzir as trocas de calor, principalmente entre o ambiente exterior e o interior. Para isso é necessário a utilização de bons isolantes térmicos, materiais caracterizados pela sua baixa condutibilidade térmica, podendo ser de origem sintética, mineral ou vegetal.

De acordo com ISOLANI (2008), os envidraçados desempenham um papel importante na eficiência térmica de um edifício, pois tanto contribuem para a entrada de calor como para a saída. Estima-se entre 25 a 30% as perdas de calor devido aos envidraçados.

Como dito por MENDONÇA (2005), nos edifícios com janelas não orientadas ao sul, a decisão é optar por janelas de vidro duplo, já que estas diminuem entre 30 e 40% as perdas térmicas do sistema. Para janelas orientadas ao sul, os vidros simples apresentam máxima captação de radiação solar, mas também grandes perdas térmicas. Neste caso é necessário realizar um balanço energético global e verificar qual a melhor solução.

Como mencionado por SANTOS (2017), a correta orientação do edifício proporciona a otimização do desempenho energético. É levado em consideração para a definição da orientação ideal critérios como trajetória do sol ao longo do dia e das estações e a localização geográfica.

No sentido de se obter edifícios de elevado desempenho energético torna-se fundamental que a tendência a se seguir seja o de priorizar as soluções passivas referidas atrás. E estas medidas devem ser integradas com tecnologias ativas como os sistemas solares.

### 3 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As fontes de energia renováveis, conhecidas também como fontes de energia limpa, recebem essa denominação porque são renováveis em períodos de tempo, por exemplo o sol. Apesar do petróleo e do carvão natural também serem renováveis, estes não recebem essa denominação, pois existem em quantidade limitada.

#### 3.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL

A União Europeia (UE), com a Directiva 2001/77/EC, reconhece a necessidade de promover as FER. Através desta, a UE estabeleceu uma meta de 22% de energia elétrica produzida através de fontes renováveis. Portugal pretendeu atingir 39% da produção de energia elétrica a partir dessas fontes num período entre dez e quinze anos e para isso contou com um plano estratégico para promovê-las, designado como Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas.

Atualmente, segundo a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), no boletim do primeiro trimestre de 2018, as FER contribuíram com 62% (9.382 GWh) da produção de energia elétrica total de Portugal (15.098 GWh). Na figura a seguir, pode-se ver detalhadamente a contribuição de cada tipo de fonte para a produção de energia elétrica.

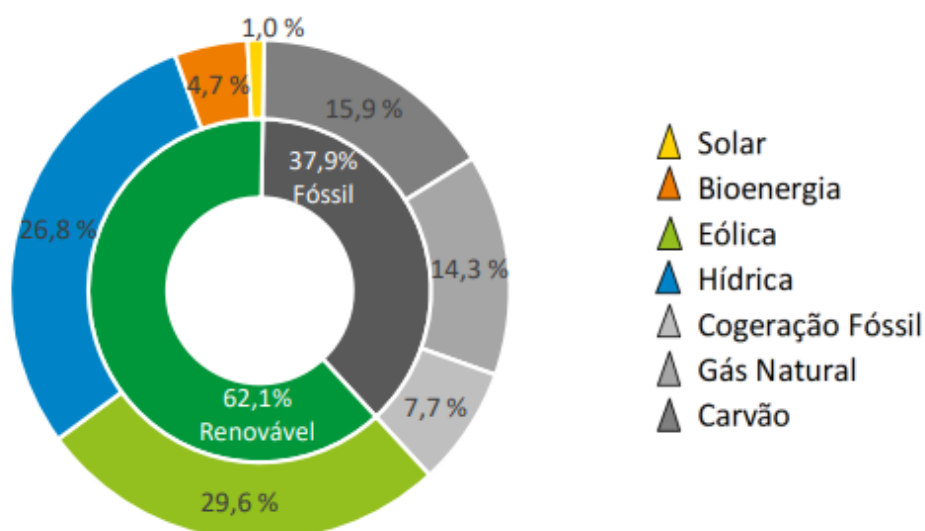


Figura 2 - Repartição das Fontes na Produção de Eletricidade em Portugal (APREN, 2018).

## 3.2 TIPOS DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

Como já dito anteriormente, existem diferentes tipos de FER. A seguir será exposto qual a origem e a base de funcionamento para a produção de energia das FER que podem ser utilizadas nos edifícios.

### 3.2.1 HÍDRICA

A fonte hídrica tem a sua origem a partir do movimento das massas de água. Basicamente esse tipo funciona aproveitando a energia cinética das águas devido a uma diferença de elevação. A água que está a montante de uma hidroelétrica cai e faz girar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo gerador que produz eletricidade. Existem também pequenas centrais hidroelétricas que podem ser aplicadas em edifícios de habitação, porém há o grande problema de disponibilidade de algum rio, riacho perto da edificação e ainda mais o problema com os impactos ambientais à fauna e a flora tornando essa solução ainda muito ineficiente.

### 3.2.2 EÓLICA

A fonte eólica tem a sua origem a partir das correntes de massa de ar provocadas pelo aquecimento desigual das zonas da atmosfera. As centrais eólicas têm aerogeradores cujas as pás rodam com a força do vento, e assim como nas hidroelétricas, fazendo rodar o eixo gerador que produz eletricidade. Pode-se inferir a partir da figura 2, a importância desta para a produção de energia em Portugal, sendo ela a mais importante produzindo 29,6% de energia para o país. Nas habitações, como ponderado por SANTOS (2017) podem ser utilizados aerogeradores de pequeno porte que são capazes de gerar energia elétrica significativa. Contudo esta tecnologia ainda é imatura no mercado devido ao elevado custo, às características irregulares dos ventos em zonas urbanas, ao peso das microturbinas e às vibrações e ruídos que geram (ALDRICH, 2011).

### 3.2.3 BIOMASSA

A biomassa tem origem da matéria orgânica vegetal e animal. A biomassa quando queimada é utilizada em centrais térmicas para a produção de eletricidade. Apesar da queima da biomassa liberar gás carbônico (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera, esta é ainda considerada uma forma de energia limpa, pois a renovação da biomassa ocorre através de novas plantas que pelo processo de fotossíntese utilizam esse CO<sub>2</sub> mais água para produzir a sua própria massa

viva. Dessa forma, quando utilizada de maneira não predatória é uma boa alternativa para produção de energia. A lenha e os pellets são os tipos de biomassa mais utilizados nos edifícios. Estes últimos têm tido uma utilização crescente. Com a promoção da utilização da biomassa para o aquecimento residencial tem-se assistido nos últimos anos ao desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e com baixas emissões de partículas. Segundo SANTOS (2017) essa pode ser utilizada tanto para produzir energia mecânica, elétrica e calorífica. Esta última, pode tanto aquecer as habitações e como produzir AQS.

#### 3.2.4 SOLAR

A energia solar tem origem como o próprio nome já diz a partir do sol. A produção de eletricidade usando o sol é possível através de painéis solares fotovoltaicos ou de painéis solares térmicos. No segundo caso, usam-se espelhos que concentram a luz solar para aquecer um fluido, gerando vapor que faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que produz eletricidade, mas não é utilizado em edifícios de habitação. No primeiro caso será mostrado detalhadamente o funcionamento no próximo capítulo.

## 4 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

### 4.1 RADIAÇÃO SOLAR

Todos os dias o sol emite uma imensa quantidade de energia, mas devido à grande distância entre este e a terra, apenas uma pequena parte dessa energia chega até ao planeta. O sol transfere essa energia para a terra através dos raios solares ou radiação solar eletromagnética. Existem três tipos de radiação solar incidente em um corpo receptor, são elas:

- Radiação direta, constituída por raios solares recebidos em linha reta do sol.
- Radiação difusa, que são raios solares redirecionados devido à ação da difração nas nuvens, nevoeiro, poeira e outros obstáculos encontrados na atmosfera.
- Radiação de albedo, que são os raios redirecionados a partir da reflexão da superfície terrestre. A figura 4 mostra um desenho ilustrativo de cada tipo de radiação.

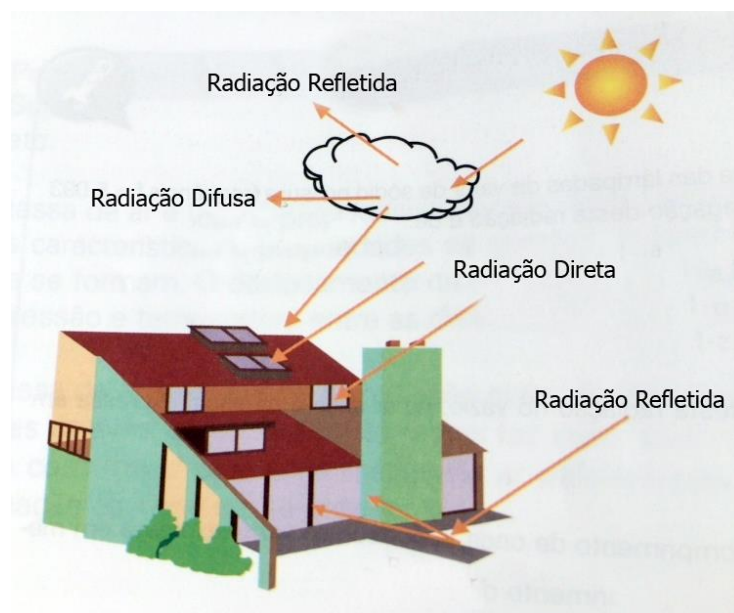


Figura 3 - Tipos de Radiação Solar (FCSOLAR, 2018).

## 4.2 BREVE HISTÓRICO DO FOTOVOLTAICO

A ideia de aproveitar a luz solar como fonte de energia é mais antiga do que parece. Porém, como dito por PROENÇA (2007), o desafio de descobrir como aproveitar tamanha energia que é recebida todos os dias era complexo.

Foi em 1839, por Edmond Becquerel, observado pela primeira vez o efeito fotovoltaico, que placas metálicas de platina ou prata quando mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Em 1877, G. Adams e R. E. Day, criaram o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz, a partir de propriedades fotocondutoras do elemento Selênio. Apesar da baixa eficiência, na ordem de 0,5%, foi um grande passo para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica. Mais tarde, em 1905, Albert Einstein, explicou o efeito fotoelétrico e além disso, com o advento da mecânica quântica, principalmente, a teoria das bandas e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício foi praticável a utilização dessa tecnologia com uma eficiência viável (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Ainda de acordo com VALLÊRA e BRITO (2006), foi em 1953 que se começou a criar a primeira célula fotovoltaica, quando o químico Calvin Fuller, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, processo chamado de dopagem. O químico produziu uma pequena barra de silício dopado com gálio, que tornou a barra um elemento eletricamente positivo (carência de elétrons). Seguindo as recomendações de Fuller, o físico Gerald Pearson, mergulhou a mesma barra num banho quente de lítio, criando na superfície desta uma região eletricamente negativa (excesso de elétrons). A camada com carência de elétrons chamada de camada de silício do “tipo p” e a outra de silício do “tipo n” e a zona onde as duas camadas se encontram foi chamada de “junção p-n”, nesta surge um campo elétrico permanente. Pearson verificou que ao colocar a barra exposta à luz solar, essa produzia corrente elétrica e assim acabara de criar a primeira célula solar. Atualmente a camada de silício do “tipo p” é dopada com boro e a camada de silício do “tipo n” com fósforo.

### 4.3 O EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito de transformar a luz solar em energia elétrica é conhecido como efeito fotoelétrico que ocorre da seguinte maneira nos painéis fotovoltaicos:

- Combinam-se duas camadas de silício uma do “tipo n” e outra do “tipo p”.
- Na região em que as camadas estão próximas uma da outra os elétrons livres da camada “tipo n” ocupam os espaços vazios da camada do “tipo p”, formando a “junção p-n”. Nesta surge um campo elétrico orientado de “p” para “n”.
- Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia suficiente para se desprenderem de suas ligações. Os elétrons passam para o terminal negativo, ao passo que as lacunas que surgiram apresentam um movimento relativo para o terminal positivo.
- Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, gera-se um fluxo de elétrons (corrente elétrica contínua). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se-á este fluxo (NASCIMENTO, 2004)

### 4.4 ÂNGULO ÓTIMO

Sabe-se que a Terra descreve um movimento em torno do sol que varia ao longo do ano e ao longo de cada dia e com isso existem diferentes ângulos ótimos para os painéis. Portanto, calcular esse ângulo não é tarefa fácil, visto que depende de variáveis como latitude, longitude, as coordenadas do local, período do ano, horas de luz durante o dia, entre outras.

De forma teórica, o ângulo ideal deve ser aquele em que o raio de incidência solar seja perpendicular ao plano do painel para a captação ser direta. Isso implica a implementação de seguidores solares que seguem a direção dos raios solares, podendo representar um aumento de 50% na produção de energia, mas o investimento inicial é mais alto e o sistema de manutenção torna-se mais complexo comparado com um sistema fixo. Segundo MONTEIRO (2014), isso geralmente leva a escolha de implementação de um sistema com ângulo fixo

com maior rendimento diário tendo em conta a variação da radiação solar durante o ano.

Existem diferentes equações para calcular esse ângulo. De acordo com MONTEIRO (2014), o ângulo ótimo para painéis fixos que retira maior proveito da energia solar é regido pela seguinte expressão:

$$\alpha = 3,7 + 0,69 * \varphi$$

Onde,

$\alpha$  = Ângulo ótimo

$\phi$  = Latitude do local da instalação

Porém, em termos práticos, adota-se o ângulo ótimo sendo igual ao da latitude em que serão instalados os painéis, conseguindo assim um rendimento mais estável durante o ano. Para Portugal, esse valor irá rondar os 35°, uma vez que para se obter uma maior rentabilidade durante o verão é recomendável que se subtraia entre 10 e 15° na inclinação e para uma maior rentabilidade durante o inverno se adicione entre 10 e 15° na inclinação.

## 4.5 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser explorados de três maneiras: Sistemas ligados à rede, sistemas isolados ou autónomos e sistemas híbridos.

### 4.5.1 SISTEMAS LIGADOS À REDE

Os sistemas ligados à rede de energia elétrica entregam a energia que a radiação solar lhes permite produzir à rede. Para tal é necessário um inversor que faz a interface entre o painel e a rede, de modo a converter a energia produzida em corrente contínua (CC) pelo painel para corrente alternada (CA) (FREITAS; 2008).

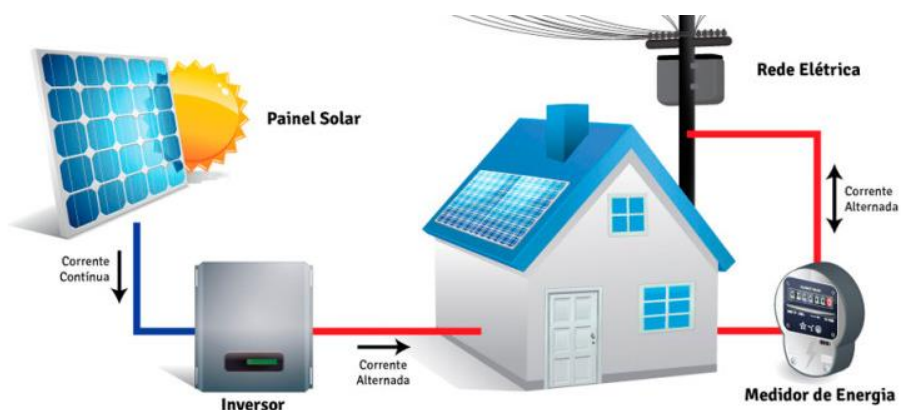


Figura 4 - Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede (UNIVERSOSOLAR, 2018).

#### 4.5.2 SISTEMAS ISOLADOS OU AUTÔNOMOS

O sistema isolado tem como objetivo alimentar diretamente as cargas. Para MONTEIRO (2014), esse é interessante para situações onde a rede pública de energia elétrica não existe, seja por razões técnicas, econômicas ou até mesmo em países com baixo desenvolvimento, onde quase não há infraestrutura elétrica. São exemplos, casas de campo, iluminação, bombeio de água, etc.

Num sistema isolado sem armazenamento, com cargas em corrente contínua ou alternada, os recetores consomem imediatamente a energia produzida, e como não necessitam da utilização de baterias estes têm a vantagem de serem mais económicos, como é o caso de sistemas de bombagem de água. Os sistemas com recurso ao armazenamento necessitam além das baterias de um regulador de carga, este será responsável pelo controlo da carga nas baterias (MONTEIRO; 2014).



Figura 5 - Sistema Isolado ou Autônomo (NEOSOLAR, 2018).

### 4.5.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

O sistema híbrido consiste na utilização em conjunto do sistema fotovoltaico com outro tipo de sistema gerador de energia, como motor gerador diesel, gás ou eólico. A combinação desses permitirá o maior aproveitamento energético do sítio. No caso de uma placa solar com uma turbina eólica, esses sistemas se complementam com a turbina gerando mais energia durante o inverno e o sistema fotovoltaico gerando mais durante o verão.

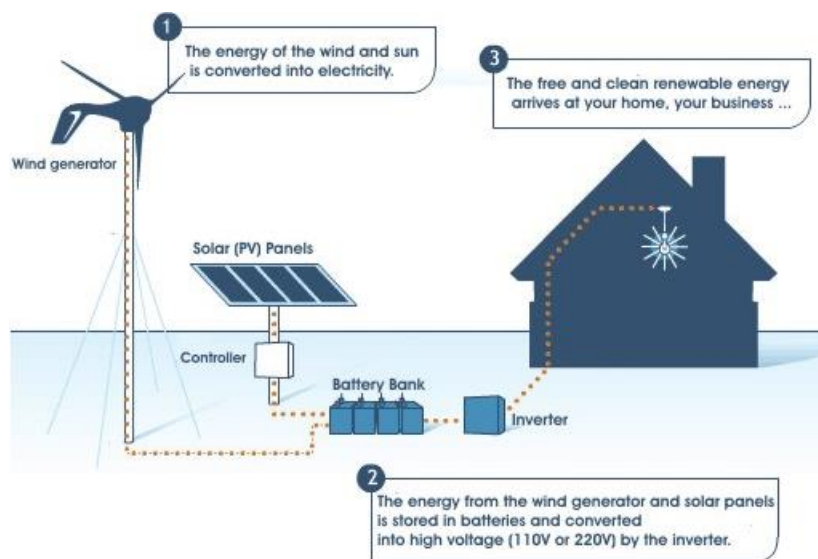


Figura 6 - Sistema Híbrido (ECOPLANETENERGY, 2018).

## 4.6 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é composto por quatro elementos básicos, sendo eles: Painéis solares, controladores de carga, inversores e bateria. Ao passo que, sistemas isolados e híbridos necessitam de bateria e controladores de carga, sistemas ligados à rede funcionam somente com painéis e inversores, uma vez que não necessitam armazenar energia, mas podem também ser aplicados com baterias.

### 4.6.1 PAINEL SOLAR

A célula fotovoltaica é o componente mais básico de um sistema, sendo um agrupamento de células chamado de módulo fotovoltaico e o agrupamento

de módulos chamado de painel ou placa fotovoltaica ou solar, como pode-se observar na figura 7.

Atualmente, a célula é feita geralmente de silício, metal semiconductor, sendo uma camada dopada com boro, dopante utilizado para criar o silício do “tipo p” e a outra com fósforo, utilizado para criar o silício do “tipo n”. Uma célula constituída por cristais de silício puro não seria capaz de produzir energia. A figura 8 mostra os componentes de uma célula fotovoltaica.

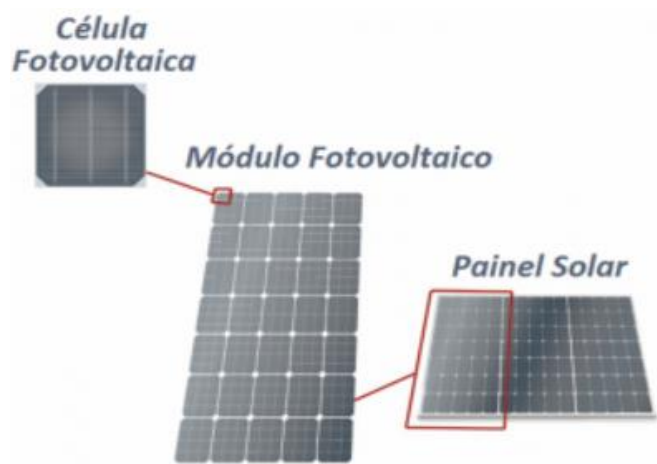


Figura 7 - Célula; Módulo; Painel (RECICLOTECA, 2016).

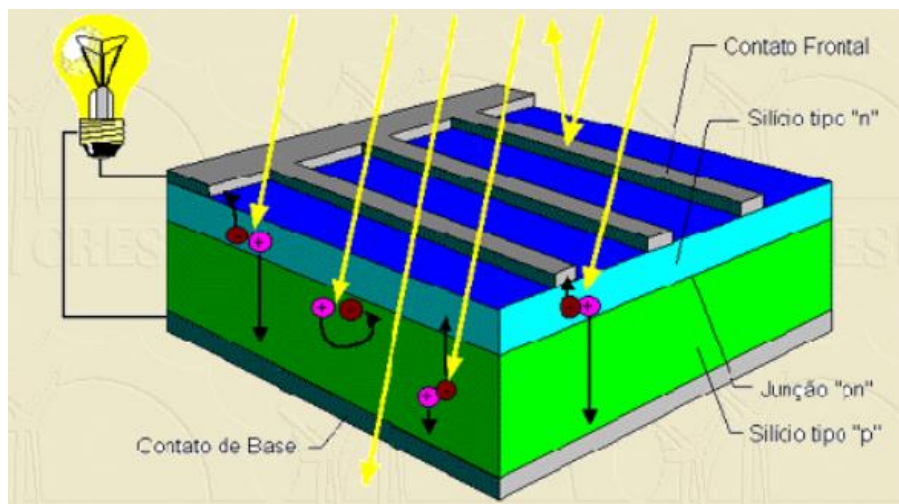


Figura 8 - Composição de Uma Célula Fotovoltaica (FADIGAS, 2012).

A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potencializar o efeito fotovoltaico. Sendo que seu rendimento atinge valores entre 12% e 16% (MONTEIRO, 2014)

Outro tipo de silício comercializado é o policristalino, constituído por um número elevado de pequenos cristais. De acordo com MONTEIRO (2014), obtém-se um rendimento menor da célula, entre 11% e 13%.

Encontra-se também o silício do tipo amorfo, o qual sua estrutura atômica apresenta um alto grau de desordem, geralmente associado à equipamentos eletrônicos. Seu rendimento varia entre 8% e 10% (MONTEIRO, 2014)

Há também células de telureto de cádmio (CdTe), dissileneto de cobre-índio (CIS) e dissileneto de cobre-índio-gálio (CISG), que também são uma alternativa de mercado. Apesar de possuírem rendimentos menores que os outros tipos citados acima, para FREITAS (2008), são uma boa alternativa, pois possuem custo de produção menor, mais resistentes a efeitos de temperatura e encontram diferentes aplicações arquitetônicas já que permitem a passagem parcial de luz.

#### 4.6.2 INVERSOR

Em todo sistema fotovoltaico é necessário a instalação de um inversor de corrente elétrica. Isso se deve porque a energia produzida pela placa solar se dá sob a forma de corrente contínua e a maioria dos consumidores finais, seja uma casa, prédio habitacional ou uma rede elétrica, funcionam em corrente alternada. Além de mudar a corrente, o inversor também tem como objetivo ajustar essa nova corrente para a frequência e nível de tensão a que está conectado. Entretanto, os inversores utilizados nos sistemas ligados à rede são diferentes dos autônomos.

Nos sistemas ligados à rede, o inversor pode ser conectado à rede de duas formas, na forma direta ou por meio da instalação elétrica de uma edificação. Na forma direta, a corrente produzida pela placa é transformada em corrente alternada e logo depois é injetada na rede. Por meio da instalação elétrica, a corrente que sai da placa é transformada, passa pela instalação onde parte dela é consumida e depois o excedente vai para a rede.

Como apresentado por FREITAS (2008), normalmente os painéis são ligados em apenas um único inversor central. Todavia, se um sistema necessita de uma potência alta ou possui partes em locais diferentes, uma boa alternativa é a utilização de mais de um inversor. Para tal, existem os inversores de fileira e o inversor com módulo.

Os módulos podem ser ligados em série, paralelo ou de maneira mista. Quando ligados em série formam-se fileiras, sendo que o valor máximo de tensão da fileira deve ser menor que o valor de tensão máximo nominal do inversor de fileira.

#### 4.6.2.1 INVERSOR CENTRAL

Neste tipo de configuração todos os módulos do painel estão ligados a um único inversor. Apresentam uma alta eficiência na transformação da corrente e um baixo custo inicial. No entanto, como afirma MONTEIRO (2014), caso ocorra a necessidade de troca deste equipamento o custo associado a essa operação é significativo e ainda mais na falha deste, toda a operação de produção de energia é comprometida. Por esses motivos, esse tipo é mais indicado para baixas potências.

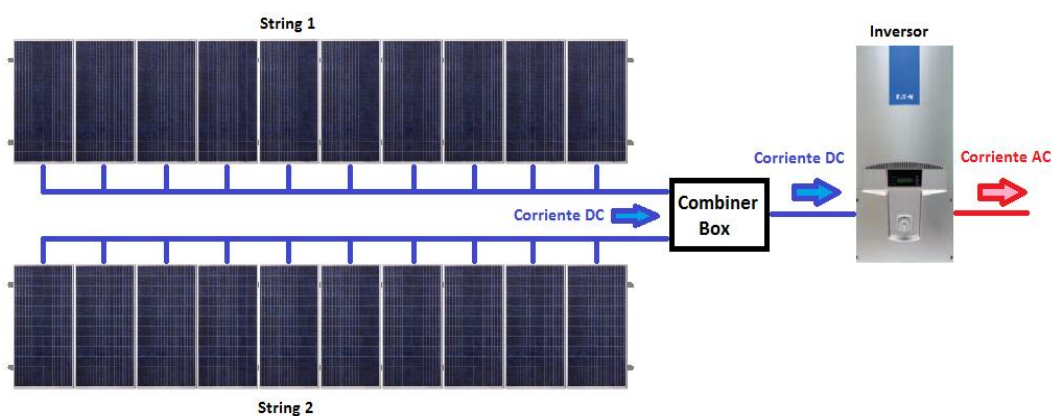


Figura 9 - Inversor Central (NEOSOLAR, 2018)

#### 4.6.2.2 INVERSOR DE FILEIRA

Neste tipo, cada fileira é associada com um inversor. Esta tipologia permite uma melhor gestão de produção, como um maior controle dos pontos de potência máxima, a possibilidade de aumentar a potência instalada com a adição de novas fileiras, redução das perdas devido ao efeito joule e ao sombreamento e também da continuidade do sistema no caso de falha ou manutenção de um

inversor. Por esses motivos, é indicado a aplicação destes em grandes produções. (MONTEIRO, 2014). A figura 11 mostra um esquema do seu funcionamento.

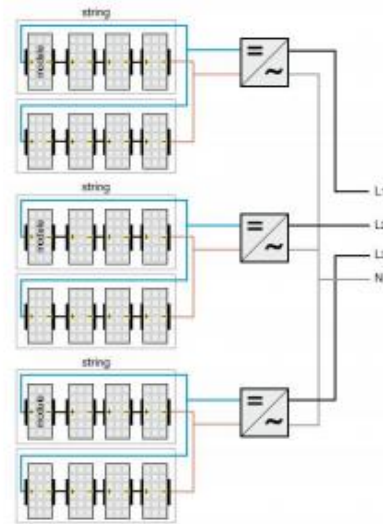


Figura 10 - Inversor de Fileira (MONTEIRO, 2014)

#### 4.6.2.3 INVERSOR COM MÓDULO

Cada módulo possui um inversor, sendo assim é utilizado em sistemas de baixa potência 50 a 400W. Porém, esta solução leva a um aumento do custo relacionado ao grande número de inversores. (MONTEIRO, 2014). A figura 12 mostra um esquema do seu funcionamento.

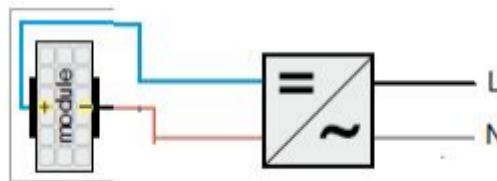


Figura 11 - Inversor com módulo (MONTEIRO, 2014)

#### 4.6.3 BATERIA

As baterias são empregadas principalmente em sistemas fotovoltaicos autônomos, visto que a produção de energia pelo sistema pode ocorrer em tempos diferentes do consumo, por isso a necessidade de armazenar essa energia. Essas devem possuir um tempo de vida longo em condições de carga e descarga diária.

De acordo com PEREIRA (2016), as baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas nos sistemas fotovoltaicos, aproximadamente 90%, devido ao baixo custo. Ainda existem as de níquel-cádmio que são utilizadas também em telemóveis, equipamentos médicos e também apresentam altos ciclos de carga e descarga. Existem também as baterias de níquel-hidreto metálico que são muito parecidas com as baterias de níquel-cádmio, porém as primeiras apresentam uma maior capacidade de carga, entretanto possuem ciclos de carga e descarga reduzidos. Por último as baterias de lítio que apresentam o maior potencial eletroquímico e a maior densidade de energia por peso, porém ainda é uma tecnologia com preço relativamente alto.

#### 4.6.4 CONTROLADOR DE CARGA

Os controladores de carga também são empregados em sistema autônomo e tem como função proteger a bateria de sobrecargas e descargas profundas, aumentando a vida útil da bateria. Na fase inicial, o controlador deixa que toda a corrente passe para a bateria, carregando-a. Quando esta se aproxima do seu estado totalmente carregada, o controlador permite apenas a passagem de corrente de forma intermitente, deixando a bateria num estado de flutuação (BERLENGA, 2012).

#### 4.6.5 CONTADOR

Os contadores são responsáveis por realizar a medição efetiva de produção para ser entregue a rede pública. Estes devem ser instalados em local acordado com a distribuidora de energia e devidamente protegido. Na contagem é utilizado geralmente um contador bidirecional, com função de telecontagem, que além da sua principal finalidade, também permitirá identificar possíveis falhas (MONTEIRO, 2014).

### 4.7 LIMITAÇÕES DO SISTEMA

Segundo BERLENGA (2012), apesar de possuir grandes vantagens como ausência de poluição na transformação, recorrer a uma fonte de energia praticamente inesgotável, redução das perdas devido ao transporte da energia visto que pode ser consumida no local de produção, custos operacionais mais baixos esse sistema apresenta limitações, principalmente em relação aos custos iniciais e rendimento dos painéis.

Destaca-se como limitações o elevado custo de produção dos painéis, custo relativamente alto de instalação, dependência de boas condições climáticas da região onde será instalado, visto que há pouca insolação no inverno, em dias nublados e chuvosos e não produção de energia durante a noite, e o baixo rendimento na transformação de energia aumentando a demanda no número de painéis e assim aumentando os custos associados ao alcance de uma determinada potência.

#### 4.8 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Com o surgimento da tecnologia fotovoltaica foi necessário a criação de uma legislação que estabelecesse regras e normas e que promovesse a nova tecnologia. Foi então em 27 de maio de 1988, que surgiu a primeira legislação relativa à utilização de recursos renováveis para a produção de energia elétrica, o Decreto-lei nº 189/88 que estabeleceu normas relativas à atividade de produção de energia elétrica por pessoas singulares ou por pessoas coletivas de direito público ou privado.

Mais tarde, o governo português lança o Programa E4, Resolução de Conselho de Ministros nº 154/2001 de 27 de setembro, “um conjunto de medidas múltiplas e diversificadas, mas com a preocupação de reforçar uma visão integrada e coerente, da oferta à procura da energia, com o objetivo de, pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade” (Programa E4; 2001). Este tinha como estratégia diversificar o acesso às formas de energia disponíveis no mercado, promover a melhoria da eficiência energética e estimular a utilização de energias endógenas. Surge então a figura do produtor-consumidor de energia elétrica de baixa tensão em Portugal, atribuído ao consumo próprio e o excedente entregue a terceiros ou à rede pública sem prejuízos. (MONTEIRO, 2014).

Em 25 de outubro de 2010, foi publicado o Decreto-lei nº118-A/2010 que tinha como objetivo de criar novas condições para produzir mais eletricidade em baixa tensão, de forma mais simples, mais transparente e em condições mais favoráveis. Para isso acontecer o decreto estipulava a obrigatoriedade para a generalidade dos comercializadores que fornecessem energia elétrica a comprar

os excedentes da eletricidade microgerada, a criação de mecanismos para garantir acesso à microprodução as entidades que prestassem serviços de caráter social como estabelecimentos na área da saúde, educação, proteção social, etc, os procedimentos de registro de produção da microprodução passem a ser mais simples e transparentes e cria-se um regime para que os laboratórios do Estado e de outras entidades públicas possam investigar desenvolver, testar e aperfeiçoar novas tecnologias de produção de eletricidade.

Em 8 de março de 2011, foi publicado o Decreto-Lei n.º 34/2011 que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de miniprodução. Entende-se por miniprodução a atividade de pequena escala de produção descentralizada de eletricidade e cuja potência máxima atribuível para ligação à rede é de 250 kW.

Em 19 de fevereiro de 2013 o Decreto-lei n.º 25/2013 altera os regimes jurídicos da microprodução e da miniprodução, cometendo apenas ao comercializador de último recurso exclusivamente em Baixa Tensão a obrigação de celebrar com os microprodutores e os minipprodutores contratos de compra e venda da eletricidade produzida pelas respetivas unidades, independentemente do regime remuneratório aplicável e sem prejuízo da inerente diferenciação de tarifários aplicáveis.

Segundo MONTEIRO (2014), a atual legislação existente para projetos de energia renovável a partir de fontes solares, seja em projetos de miniprodução ou microprodução, são republicações de decretos e regulamentos.

Atualmente a legislação fotovoltaica é regida pelo Decreto-Lei n.º 153/2014. São reformulados e integrados, neste Decreto-lei, os atuais regimes de miniprodução e microprodução. Esse decreto-lei estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, por unidades de produção para o autoconsumo (UPAC), com ou sem ligação à rede elétrica pública, pois caso tenha excedente na produção pode-se vender a rede e por unidades de pequena produção (UPP) que vendem energia na sua totalidade para a rede elétrica. Ainda especifica que a exploração das UPP está sujeita à obtenção de um certificado de exploração, assim como as UPAC, dependendo da potência

instalada e venda do excedente a rede, se necessita apenas de uma mera comunicação prévia, registo prévio e/ou certificado de exploração.

Além do decreto referido atrás, a legislação dos fotovoltaicos é regida pela Portaria n.º 14/2015 que define o procedimento para apresentação de mera comunicação prévia de exploração das unidades de produção para autoconsumo, bem como para obtenção de um título de controlo prévio no âmbito da produção para autoconsumo ou da pequena produção para injeção total na rede elétrica de serviço público (RESP) da energia elétrica produzida e o montante e o modo de pagamento e as fases do procedimento em que são devidas as taxas previstas no artigo 37.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

A Portaria n.º 15/2015 procede à fixação da tarifa de referência aplicável à energia elétrica produzida através de unidades de pequena produção, nos termos do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, e determina as percentagens a aplicar à tarifa de referência, consoante a energia primária utilizada por aquelas unidades.

Este trabalho se orientará para energia elétrica produzida para o autoconsumo da instalação de utilização, sendo assim serão expostos alguns dos pontos principais da legislação para esse tipo de aplicação.

#### 4.8.1 CONDIÇÕES DE ACESSO E DE EXERCÍCIO DE ATIVIDADE

Como citado por ARAÚJO (2015), a instalação de uma UPAC está sujeita a um controle prévio que deve ser seguido pelo consumidor que instalará a unidade de produção. São requisitos do controle prévio um registo prévio da unidade e a obtenção de um certificado de exploração, sendo este último dispensado em alguns casos específicos.

Existem dois casos em que o utilizador é dispensado da obtenção do certificado de exploração, são eles:

- A UPAC deve ter uma potência instalada superior a 200 W e inferior a 1500 W e não poderá estar ligada à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

- A UPAC deve ter uma potência instalada igual ou inferior a 200 W. Neste caso em específico é dispensado também o registro prévio.

#### 4.8.2 REQUISITOS PARA ACESSO AO REGISTRO

Para efetuar o registro da UPAC a pessoa singular ou coletiva, assim como condomínios de edifícios devem preencher cumulativamente os seguintes requisitos:

- Dispor, na data do pedido de registro, de uma instalação elétrica de utilização e caso essa esteja ligada à RESP possua um contrato de fornecimento de energia celebrado com o comercializador de eletricidade.
- A potência da UPAC deve ser igual ou inferior à 100% da energia contratada com o comercializador citado no item anterior.
- A potência aparente dos equipamentos de produção não seja superior a duas vezes a potência de saída do inversor.
- Condições técnicas de ligação no local onde se pretende instalar a UPAC, salvaguardando os limites e condições do Regulamento da Qualidade de Serviço e o Regulamento Técnico de Qualidade.

#### 4.8.3 PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO REGISTRO E CERTIFICADO DE EXPLORAÇÃO

O procedimento para registro da UPAC inicia-se com a formulação do pedido ao Sistema Electrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP) e conclui-se com a sua aceitação. Para o certificado de exploração é emitido apenas após a instalação da UPAC e conclusão dos procedimentos de inspeção e reinspeção previstos.

## 5 SISTEMAS TÉCNICOS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AQS

### 5.1 COLETOR SOLAR TÉRMICO

O REH torna obrigatório o recurso a sistemas de aproveitamento de energias renováveis tais como o uso de coletores solares para o aquecimento de águas sanitárias. O recurso a estes sistemas é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada. Define ainda um valor mínimo de energia solar (calculado com base em coletores solares padrão), sendo que os sistemas a instalar deverão proporcionar uma contribuição de energia renovável superior a esse valor. Prevê ainda, que em alternativa à utilização de coletores solares térmicos possam ser utilizadas quaisquer outras formas renováveis de energia que captem, numa base anual, energia equivalente à dos coletores solares padrão, podendo ser esta utilizada para outros fins que não a do aquecimento de água se tal for mais eficiente ou conveniente.

Os sistemas solares térmicos podem ser utilizados para o aquecimento de águas e para a climatização dos espaços. O sistema é constituído por um depósito, que tem a função de acumular o calor absorvido. Geralmente, dentro do depósito existe um permutador de calor para possibilitar a transmissão de calor do fluido que circula entre o depósito e o coletor para o fluido que circula entre o depósito e os emissores de distribuição finais, distribuídos pelos vários compartimentos do edifício (por exemplo as misturadoras de água e os radiadores).

Os sistemas solares térmicos mais utilizados em Portugal são os de termossifão e o sistema de circulação forçada.

O sistema de termossifão é o sistema mais simples de obter água quente a partir da energia solar. Consiste num coletor plano ao qual é acoplado um depósito de capacidade variável.

As principais vantagens deste sistema são a fácil instalação em telhados de todos os tipos, a simplicidade dos acessórios, apresentando-se como um dos sistemas mais económicos, constituindo uma boa solução para casa de férias, com pouca utilização. A maior desvantagem é a sua limitada capacidade de fornecer água.

Um sistema de circulação forçada é um sistema onde o coletor solar e o depósito se encontram fisicamente separados. Podem ser utilizados para águas quentes sanitárias, aquecimento de piscinas, apoio a piso radiante e aquecimento central.

A radiação solar incide sobre a cobertura de vidro do painel solar. O calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem. O fluido quente circula em circuito fechado e transfere calor através da serpentina do depósito para a água de consumo. Os sistemas ativos dispõem de uma bomba de circulação que faz com que o fluido circule entre o depósito e os coletores. Isto permite com que o depósito fique abaixo dos coletores (o fluido não circula por gravidade). A bomba pode ser acionada por meio de um termostato diferencial.

As principais vantagens deste sistema assentam na sua utilização versátil, permitem uma boa integração arquitetónica com a cobertura, para além do que não contribuem com o peso do depósito para a cobertura. As principais desvantagens assentam no funcionamento complexo com a utilização de acessórios sofisticados, encarecendo o seu custo, para além da necessidade de espaço interior (para a colocação do depósito e restantes elementos). (Aldrich,bris 2011)

Os sistemas solares térmicos podem chegar a garantir 80% da água quente sanitária consumida por ano, sendo, no entanto, necessário a utilização de um sistema de apoio (caldeira, esquentador, resistência elétrica, termoacumulador ou bomba de calor).

## 5.2 BOMBAS DE CALOR

As bombas de calor são sistemas que conseguem retirar energia de um determinado ambiente e transmitir para outro gerando conforto térmico no novo ambiente. Elas são capazes de retirar o calor da água, do ar e do solo. Uma bomba de calor pode ser comparada a um frigorífico, este retira o calor dos alimentos e o transmite para o exterior e a bomba retira do ambiente, transforma em energia que é utilizada para o aquecimento do ambiente interno e das águas da casa.

Para entender o ciclo de funcionamento da bomba, divide-se em três etapas. Na primeira etapa de extração do calor do ambiente, o ar exterior é conduzido para um sistema de tubulação que passa um fluído, este encontra-se

sempre a uma temperatura mais baixa que a do ambiente, e desse modo tende a aquecer.

Após o aumento inicial de temperatura o fluido que tem características de evaporar mesmo a baixa temperatura passa para o estado de vapor onde chega-se a segunda etapa do ciclo. Nessa etapa, um compressor comprime o vapor fazendo com que esse aumente ainda mais a sua temperatura, isso se dá devido ao aumento de pressão. Assim o vapor comprimido já está suficientemente quente para ser utilizado como fonte de calor.

A última etapa é a utilização do vapor que pode aquecer tanto as águas sanitárias como quando combinada a radiadores, piso radiante, ventilo convectores que fazem a distribuição da energia térmica para o ar podendo ser colocados nas paredes, piso e tetos dos diferentes espaços do ambiente interno.

Depois de resfriado o fluido volta ao estado líquido, porém com uma temperatura alta a ponto de ser aquecido novamente e pressão elevada. Para diminuir, o fluido é transportado para uma válvula de expansão que reduz a pressão e assim diminui a temperatura. Além da função de aquecer, as bombas atuais possuem um dispositivo que inverte o ciclo acima sendo capaz também de arrefecer.

Esse sistema é muito vantajoso pois permite um fornecimento térmico livre da emissão de CO<sub>2</sub>, apenas com um sistema climatizar e produzir AQS, elevado índice de rendimento (dependendo da bomba pode-se alcançar um rendimento de para cada 1kWh de energia elétrica para o funcionamento do processo se transforma entre 4 e 6kWh de energia térmica) e funcionamento em temperaturas extremas.

### 5.3 SISTEMA RADIANTE

O sistema radiante pode ser empregado de diferentes formas, no piso, nas paredes ou até mesmo no teto. Nesse tipo de sistema toda a área em que ele é aplicado contribui de maneira uniforme para o aquecimento e arrefecimento do ambiente. Além disso pode ser tanto hidráulico como elétrico. Quando hidráulico, consiste numa rede de tubagens instalada na parte interior à superfície mais externa por onde passa a água advinda dos sistemas centrais e no elétrico, ao invés de tubos consiste numa rede de cabos. Ainda quando

combinado com uma bomba de calor com sistema reversão do calor, pode ser empregado para arrefecer durante o verão.



*Figura 12 - Sistema radiante de piso (CONSTRUCOESLUISFERNANDO, 2018)*

#### 5.4 AR CONDICIONADO

De acordo com CERDEIRA (2011), o sistema de ar condicionado funciona seguindo o mesmo princípio de uma bomba de calor. Tal sistema pode ser utilizado para arrefecimento e aquecimento dos ambientes tendo como uma desvantagem a recirculação do ar o que não garante a homogeneidade da temperatura, sendo a diferença de temperatura entre o teto e o chão relativamente alta. Entretanto, apresenta como vantagens custo de aquisição baixo e o controle de humidade e temperatura.

#### 5.5 CALDEIRA A GÁS

As caldeiras podem ser utilizadas para o aquecimento central e para preparação de AQS podendo utilizar o gás natural ou de garrafa, o gasóleo, a lenha, pellets e algumas são mistas sendo uma solução bastante utilizada. A distribuição de calor faz-se através de rede de água aquecida pela caldeira, constituída por um circuito paralelo e fechado, que distribui o calor até aos emissores finais (radiadores, ventiloconvetores), distribuídos pelos vários compartimentos do edifício. Um dos avanços dessa tecnologia foram a utilização dos gases e do calor proveniente da combustão para pré-aquecer a água antes de passar pela chama. A Portaria 349-B de 2013, especifica que o rendimento

das caldeiras devem ser entre 0,89 e 0,92 para classe de eficiência energética A, podendo chegar a 0,96 para classe de eficiência energética A++.

## 5.6 ESQUENTADORES

Os esquentadores são dos aparelhos utilizados mais tradicionais para a produção de águas quentes. Podem utilizar o gás de garrafa (butano ou propano), o gás natural, e também, mas menos frequente, a energia elétrica. Podem ainda constituir sistemas de apoio ao sistema térmico solar. Um dos principais inconvenientes dos esquentadores relativamente às caldeiras é o fato de não poderem ser utilizados como sistema de aquecimento ambiente. Os seus rendimentos são em geral inferiores aos das caldeiras. Têm a vantagem de serem económicos e fáceis de instalar.

## 5.7 SALAMANDRA

As salamandras a biomassa utilizam material vegetal como lenha, pellets, e quando o material é compacto, reduzem as cinzas e espaço de armazenamento. Além disso, podem ser aplicadas em qualquer local da edificação, sendo aplicada mais comumente nas salas, pois necessitam apenas de uma saída para liberação do dióxido de carbono, eliminando a necessidade do uso de chaminé. A salamandra pode aquecer grandes ambientes, desde que esteja localizada em um local estratégico, com capacidade de mantê-los com temperatura agradável.

## 6 ESTUDO DE CASO

### 6.1 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi estudar a incorporação da tecnologia fotovoltaica a um edifício de habitação a construir no concelho de Bragança. Em uma primeira fase foi calculado o desempenho energético do edifício, simulando-se diferentes soluções de sistemas técnicos para atender aos requisitos da Portaria n.º 98/2019. Para a escolha dos sistemas técnicos, levou-se em consideração as soluções correntes encontradas no conselho de Bragança, como caldeira a gás, salamandra/recuperador de calor e coletores solares térmicos para aquecimento e preparação de AQS. Além destes estudaram-se soluções que incorporassem sistemas técnicos à energia elétrica como as bombas de calor e os ar condicionados.

A seguir, realizou-se um pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico a ser aplicado e, por conseguinte, o dimensionamento detalhado do sistema utilizando o software PVsyst 6.7.9. Depois foram recolhidos e tratados os resultados e por último, foi realizada uma análise de custo-benefício para as diferentes soluções.

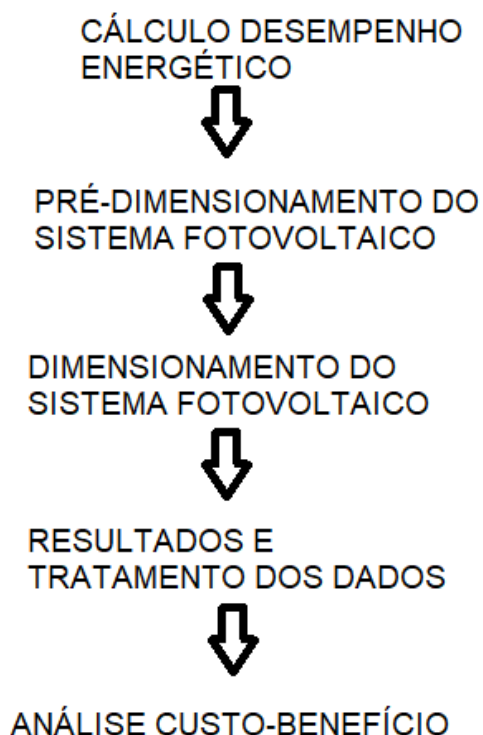


Figura 13 - Metodologia utilizada no estudo.

## 6.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO

O edifício a ser estudado está localizado na cidade de Bragança, em uma zona urbana na rua Dr<sup>a</sup> Branca Augusta Lopes Chiotte, no lote 20, com altitude de 710 metros (latitude 41.8065; longitude -6.7787), com fachada principal orientada a norte, conforme imagem a seguir. A edificação de tipologia T4 irá conter um pavimento enterrado com uma garagem, casa das máquinas e acesso para escadas. O rés do chão irá conter um hall de entrada, lavandaria, cozinha, sala de refeição, sala de jantar, instalação sanitária e escritório. O primeiro piso irá conter dois quartos, uma instalação sanitária e duas suítes. E a cobertura irá conter um sótão e dois arrumos. A área contruída será de 384,3 m<sup>2</sup>.

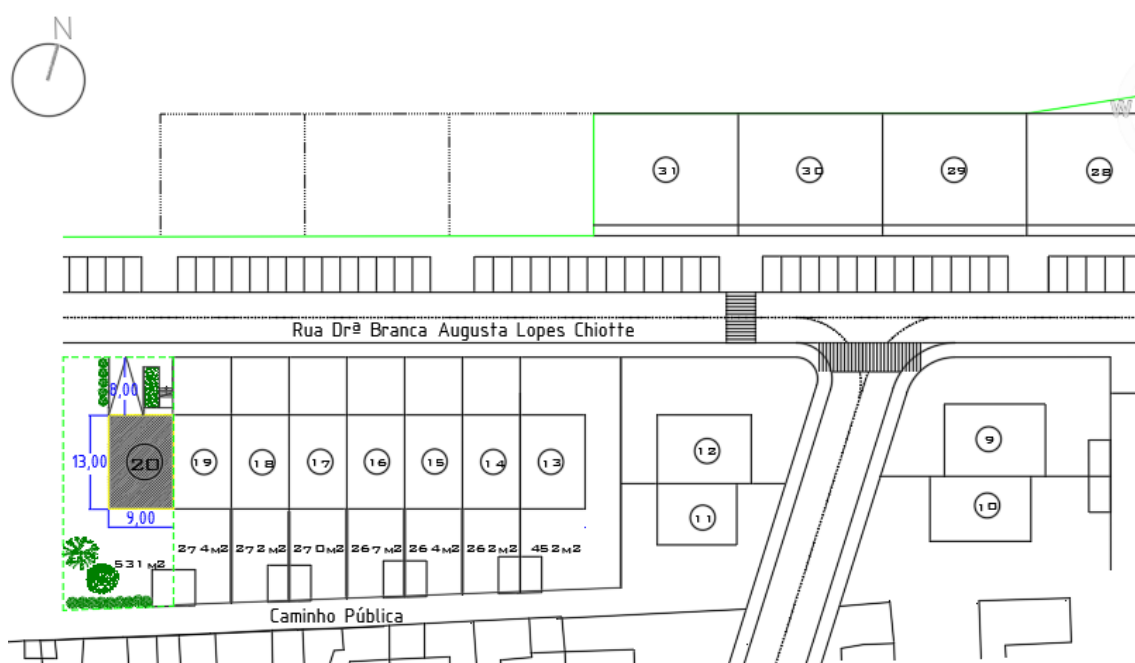


Figura 14 - Planta de Localização do Lote

## 6.3 CÁLCULO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

Para o cálculo do desempenho energético da edificação em estudo, foi aplicada a folha de cálculo, na plataforma Excel, do ITeCons versão V3. 10 de 9 de novembro de 2017, instituto de investigação e desenvolvimento tecnológico para a construção, energia, ambiente e sustentabilidade. A ferramenta está preparada para fazer de forma automática a verificação dos requisitos mínimos e energéticos. Para isso é necessário o preenchimento de um vasto conjunto de dados como área útil, coeficientes de transmissão térmica, entre outros.

Atendendo à localização do edifício referida atrás a zona climática é I3, V2. Considerou-se uma área útil de 220,43 metros quadrados. Espaços não úteis considerados foram a garagem, a casa das máquinas, a lavandaria e os arrumos. O pé direito considerado foi de 2,79 metros.

Como o projeto em estudo ainda não apresentava memorial descritivo dos materiais que deveriam ser utilizados na construção, foram definidas soluções construtivas correntes para a envolvente e para a ventilação de modo que atingissem os requisitos da Portaria n.º 98/2019. As soluções da envolvente adotadas para o estudo são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1: Detalhamento da envolvente.

Elementos da Envolvente		
U da parede exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento de EPS (12 cm) pelo exterior, duas fiadas de tijolo cerâmico furado (11 cm) com espaço de ar (5 cm) entre fiadas e acabada com gesso acartonado.	0,25
Área da parede exterior (m <sup>2</sup> )		174,13
Parede interior, requisito interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Gesso acartonado, isolamento EPS (10 cm) pelo exterior, tijolo cerâmico furado (15 cm) e gesso acartonado.	0,39
Área parede interior, requisito interior (m <sup>2</sup> )		15,12
Parede interior, requisito exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Reboco de cimento (2 cm), isolamento EPS (10 cm) pelo exterior, tijolo cerâmico furado (15 cm) e gesso acartonado.	0,35
Área da parede interior, requisito exterior (m <sup>2</sup> )		19,99
Pavimento exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento XPS (12 cm) pelo exterior, laje aligeirada de betão (23 cm), betonilha de regularização (4 cm), argamassa térmica com cortiça (1 cm) e mosaico cerâmico (1 cm).	0,26
Área pavimento exterior (m <sup>2</sup> )		10,04
Pavimento interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Isolamento XPS (12 cm), laje aligeirada de betão (23 cm), betonilha de regularização (4 cm), argamassa térmica com cortiça (1 cm) e mosaico cerâmico (1 cm).	0,26
Área pavimento interior (m <sup>2</sup> )		92,2
Cobertura exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Aglomerado de cortiça (1 cm), betoniha de regularização (4 cm), laje aligeirada de betão (23 cm), isolamento XPS (12 cm) e gesso acartonado .	0,26
Área cobertura exterior (m <sup>2</sup> )		33,73
Cobertura interior, requisito interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Gesso acartonado, isolamento XPS (12 cm), laje aligeirada de betão(23 cm), betonilha de regularização (4 cm) e aglomerado de cortiça (1 cm).	0,25
Área Cobertura interior, requisito interior (m <sup>2</sup> )		66,79
Ponte térmica plana exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Betão armado e isolamento EPS (7 cm) (com os mesmos revestimentos da parede adjacente).	0,49
Área ponte térmica plana exterior (m <sup>2</sup> )		9,46
Ponte térmica plana interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Betão armado e isolamento EPS (7 cm) (com os mesmos revestimentos da parede adjacente).	0,49
Área ponte térmica plana interior (m <sup>2</sup> )		2,25
Ventilação em renovações de ar por hora	Ventilação natural com grelhas fixas com quatro condutas nas instalações sanitárias.	0,4
Inércia térmica	FORTE	

Além disso, foram realizadas cinco diferentes simulações de sistemas técnicos do edifício. Entende-se por sistemas técnicos o equipamento técnico para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de AQS e a iluminação de um edifício ou de uma fracção autónoma, ou para uma combinação destas funções. Desse modo obtiveram-se diferentes resultados para o desempenho energético.

A solução 1, que servirá de comparação para as outras soluções, será composta por sistema técnico de caldeira a gás natural para aquecimento e preparação para AQS, ar condicionado mono split para arrefecimento e coletor solar térmico para AQS. O ar condicionado será do modelo BAXI ANORI MONO LS25 e apresenta rendimento para arrefecimento (EER) de 6,1. A caldeira a gás natural será do modelo BAXI VICTORIA PLUS ECO e apresenta um coeficiente de rendimento nominal de 0,91 e potência de 24kW. O coletor solar será do modelo BAXI SOL.

A solução 2 será composta por sistema técnico de caldeira a gás natural para o aquecimento e AQS, salamandra para aquecimento sala de estar e jantar, ar condicionado mono split para arrefecimento e coletor solar térmico para AQS. A caldeira a gás natural e o ar condicionado serão os mesmos utilizados na solução 1. A salamandra será do modelo FIRST BORDEAUX 8KW e apresenta coeficiente de rendimento de 0,88 e potência de 8kW. O coletor solar será do modelo BAXI SOL.

A solução 3 será composta por sistema técnico de uma bomba de calor ar-água modelo CLIMATIZAÇÃO 13 EH1315DC, rendimento para aquecimento (COP) de 4,6 e rendimento para arrefecimento (EER) de 5,86. Será utilizada em conjunto com ventiloconvectores modelo BAXI IQW30 para distribuição do calor, para aquecimento, arrefecimento e AQS.

A solução 4 será composta por sistema técnico de ar condicionado mono split para aquecimento e arrefecimento e bomba de calor para AQS. O ar condicionado será do mesmo modelo da solução 1. A bomba de calor será do modelo DAP 300L EINT com rendimento para AQS (COP) de 4,6.

A solução 5 será composta pelos mesmos sistemas técnicos da solução 3.

Em todas as soluções serão utilizados painéis fotovoltaicos sem acumulação de energia com exceção da solução 5 que será composta por bateria para acumulação. O quadro 2 a seguir mostra os sistemas técnicos aplicados em cada solução. Serão expostos mais a frente os pormenores de cada solução fotovoltaica.

*Quadro 2: Sistemas técnicos para cada solução.*

Solução	Função	Sistema técnico	Energia	Rendimento	Custo (€)
1	Aquecimento	Caldeira + radiadores	Gás natural	4	11380,00
	Arrefecimento	Ar condicionado	Eletricidade	6,1	
	AQS	Caldeira Coletor solar térmico	Gás natural	0,91	
Solar			-		
2	Aquecimento	Caldeira + radiadores	Gás natural	0,91	11443,00
		Salamandra	Biomassa	0,88	
	Arrefecimento	Ar condicionado	Eletricidade	6,1	
	AQS	Caldeira	Gás natural	0,91	
Coletor solar térmico		Solar	-		
3	Aquecimento	Bomba de calor + ventiloconvectores	Eletricidade	4,6	9522,00
	Arrefecimento			5,86	
	AQS	Bomba de calor	Eletricidade	4,6	
4	Aquecimento	Ar condicionado	Eletricidade	4	7278,00
	Arrefecimento	Ar condicionado	Eletricidade	6,1	
	AQS	Bomba de calor	Eletricidade	4,6	
5 (solução 3 + bateria)	Aquecimento	Bomba de calor + ventiloconvectores	Eletricidade	4,6	9522,00
	Arrefecimento			5,86	
	AQS	Bomba de calor	Eletricidade	4,6	

Depois de simulada as diferentes situações acima descritas foram encontrados os valores de necessidades nominais de energia primária para aquecimento, arrefecimento e para produção de AQS de cada solução. Os resultados encontram-se resumidos no quadro 3 e em anexo estão exemplificados os cálculos realizados na planilha do ITEcons para a simulação 1.

Quadro 3: Necessidades nominais de energia primária.

Simulação	Aquecimento (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	AQS (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano)
1	43,13	3,77	13,55
2	43,78	3,77	13,55
3	21,33	3,92	7,33
4	24,53	3,77	7,33
5	21,33	3,92	7,33

#### 6.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como mencionado no capítulo 4, existem três tipos de sistemas fotovoltaicos, isolados, ligados à rede e os híbridos. Entretanto, pode-se ainda classificar os sistemas de autoconsumo em ligados à rede de distribuição ou sem ligação a ela.

Para esta dissertação foi optado por escolher um sistema sem ligação à rede e com ou sem acumulação de energia em bateria, visto que devido à grande queda dos preços de energia de venda à rede foi optado por estudar outra opção de autoconsumo.

Após o cálculo do desempenho energético, estimou-se a potência a contratar. Para isso, foi também necessário estimar quais equipamentos elétricos ficariam ligados ao mesmo tempo. Entende-se, neste estudo de caso, por equipamentos elétricos os equipamentos eletrodomésticos como frigorífico, arca congeladora, televisão, lâmpadas, laptop, aspirador de pó, entre outros, e excluem-se aqueles de climatização.

A estimativa foi realizada de maneira simples. Primeiro foram pesquisados valores médios de potência para cada equipamento elétrico comumente encontrado em edifícios de habitação, depois foi feita uma distribuição horária entre 0 a 24 horas e simulados os equipamentos que possivelmente estariam ligados ao mesmo tempo. Para o estudo de caso em questão foi considerada a potência a contratar de 13,8 kVA, sendo esta utilizada para todas as situações simuladas.

De acordo com Decreto-Lei n.º 153/2014, a potência de ligação da UPAC deve ser inferior a potência contratada com a concessionária na instalação de

consumo. Com isso a potência máxima de saída do inversor não poderia ultrapassar os 13,8kVA.

Logo, foi realizado um pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico para descobrir qual a potência de pico necessária para cumprir o requisito da Portaria n.º 98/2019. Para efetuar o pré-dimensionamento foi utilizada a fórmula, segundo Fotaic Energia Solar:

$$Potência\ total = \frac{Eg}{HSP * \eta} \quad (3)$$

Onde,

*Potência total* = potência total dos painéis, em kWp

*Eg* = Energia de geração necessária que os painéis devem produzir, em kWh/dia

*HSP* = número de horas que a irradiância solar é constante igual a 1kW/m<sup>2</sup>, em horas

*η* = rendimento dos painéis

Segundo portaria referida atrás, para ser considerado um edifício NZEB pelo menos 50% das necessidades energéticas de energia primária deverão ser supridas por fontes de energia renovável. No caso, além dos fotovoltaicos como sistema de fonte de energia renovável, utilizou-se dos sistemas técnicos de climatização por exemplo bomba de calor, ar condicionado monosplit e painel solar térmico como fontes de energia renovável.

Para calcular a energia de geração foi realizado o seguinte procedimento. Para cada solução foi transformado o valor de energia primária (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano) em energia primária diária (kWh<sub>ep</sub>/dia) tendo em conta a zona climática em questão 7,3 meses (219 dias) de inverno e 4 meses de verão (120 dias). Portanto, por exemplo, o valor de 43,13 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.ano para aquecimento da solução 1 foi dividido pelo número de dias da estação de arrefecimento (219) e multiplicado pela área útil do edifício, assim chegou-se ao valor na unidade kWh<sub>ep</sub>/dia. Então realizou-se esse procedimento para o arrefecimento e a preparação de AQS, depois somou-se cada valor encontrado e obteve-se o valor de necessidades de energia primária diária para cada solução.

Depois foi dividido este valor pela metade para encontrar o valor de 50% e por último transformou-se em energia útil diária (kWh/dia). Para chegar ao valor em energia útil diária levou-se em consideração um fator de conversão  $F_{pu}$  que transforma a energia de kWh<sub>ep</sub> para kWh. Esse fator é de 2,5 kWh<sub>ep</sub>/kWh para a eletricidade e 1 kWh<sub>ep</sub> /kWh para combustíveis sólidos, líquidos, gasosos não renováveis. É importante salientar que os valores encontrados estão desconsiderando a eficiência dos sistemas técnicos, pois estas serão consideradas depois. O quadro a seguir resume os valores para cada etapa descrita anteriormente.

*Quadro 4: Valores de demanda.*

Solução	Demanda de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /dia)	50% da demanda de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /dia)	50% da demanda de energia útil (kWh/dia)
1	89,89	44,94	20,42
2	89,89	44,95	17,98
3	161,32	80,66	32,26
4	161,37	80,68	32,27
5	161,32	80,66	32,26

Depois disso, foi subtraído o valor de 50% da demanda de energia útil pelo valor da contribuição de energia renovável advinda dos sistemas técnicos de alta eficiência como a bomba de calor e dos sistemas solares térmicos, para encontrar a energia de geração mínima necessária que os painéis fotovoltaicos deveriam produzir. O quadro a seguir resume esses valores.

*Quadro 5: Resumo para encontrar os valores de energia de geração.*

Solução	50% das necessidades anuais (kWh/dia)	Contribuição de energia renovável (kWh/dia)	Energia de geração (kWh/dia)
1	20,42	12,34	8,08
2	17,98	19,51	-1,53
3	32,26	29,53	2,74
4	32,27	28,79	3,48
5	32,26	29,53	2,74

A solução 2 apresenta o valor de energia de geração negativa pois os sistemas técnicos de climatização aplicados sem o contributo dos fotovoltaicos

já supre mais de 50% das necessidades de energia primária, devido ao facto da energia a biomassa ser considerada no cálculo.

O valor de HSP, que é a abreviação de horas de sol pico, foi encontrado a partir do banco de dados da *European Commission's Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. O quadro abaixo mostra os valores mensais de HSP durante um período de 10 anos entre 2007 e 2016.

*Quadro 6: Valores mensais de HSP.*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Média
Jan	2,77	2,90	2,54	2,67	2,77	3,81	2,79	2,39	3,48	2,08	2,82
Fev	3,35	4,18	5,32	3,39	4,57	5,89	4,21	3,18	4,21	4,29	4,26
Mar	5,42	5,81	6,84	4,87	4,71	6,61	3,90	5,45	5,84	5,16	5,46
Abr	5,50	5,77	6,03	6,13	6,40	4,87	5,73	6,13	5,63	5,40	5,76
Mai	6,23	5,52	6,77	6,42	6,68	6,45	6,58	7,06	6,94	5,65	6,43
Jun	6,53	6,93	6,30	6,57	7,50	6,83	7,37	6,90	6,80	7,40	6,91
Jul	7,29	7,26	7,65	7,81	7,65	7,52	7,23	7,35	7,65	7,77	7,52
Ago	7,10	7,23	7,39	7,61	6,87	7,45	7,71	7,13	6,94	7,55	7,30
Set	6,83	6,37	6,73	6,17	6,53	6,27	6,50	5,47	6,50	6,67	6,40
Out	5,39	5,29	4,71	4,74	5,74	4,48	4,19	4,74	3,94	4,87	4,81
Nov	4,90	4,10	2,79	3,77	2,97	3,50	4,00	2,06	3,80	3,27	3,52
Dez	3,21	3,32	2,45	2,89	3,20	2,60	3,05	2,92	2,47	2,88	2,90

E por último foi adotado um rendimento médio do sistema fotovoltaico de 0,75 que é um valor médio encontrado em pesquisa. Os resultados do pré-dimensionamento encontram-se resumidos no quadro abaixo.

*Quadro 7: Resumo resultados do pré-dimensionamento.*

Solução	E geração (kWh/dia)	HSP (h)	Rendimento	Ppico (kWp)
1	8,08	5,34	0,75	<b>2,02</b>
2	-1,53	5,34	0,75	<b>0,00</b>
3	2,74	5,34	0,75	<b>0,68</b>
4	3,48	5,34	0,75	<b>0,87</b>
5	2,74	5,34	0,75	<b>0,68</b>

## 6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com os valores da potência pico pré-dimensionados, passou-se para o software de dimensionamento e solução PVsyst.

Inputs utilizados no programa:

- Inclinação e orientação dos painéis.
- Potência pico do sistema.
- Modelo do módulo fotovoltaico.
- Modelo do Inversor.

Outputs retirados do programa:

- Produção de energia elétrica mensal.
- Produção de energia elétrica horária.

A primeira ação realizada foi definir a localidade geográfica e a base de dados meteorológico do projeto e logo após foram configurados os parâmetros de projeto.

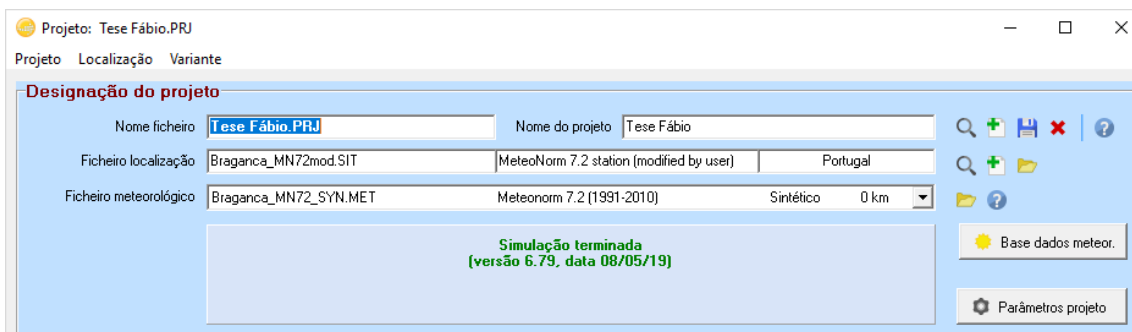


Figura 15 - Layout do programa PVsyst para definição da localidade, base de dados meteorológicas e parâmetros de projeto.

O próximo passo foi a definição da inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos, para isso foram utilizados os valores de otimização sugerida pelo software. Inclinação de 34° e orientação 0° voltado para o sul (tendo em conta que é possível instalar os módulos para o sul e com esta inclinação no edifício em estudo).

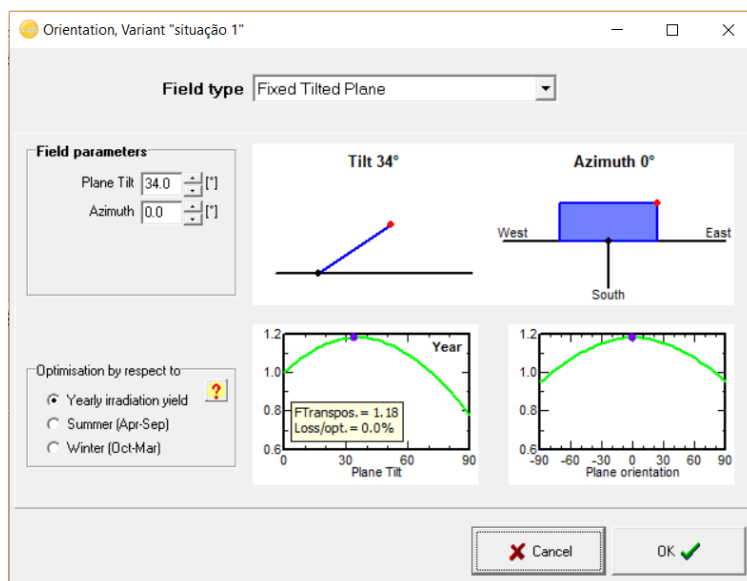


Figura 16 - Layout do programa PVsyst para definição da inclinação e orientação dos painéis.

Logo após, foram definidos os parâmetros de sistema, como a seleção do módulo fotovoltaico, do inversor e dessa forma foram pesquisados quais são as marcas encontradas comumente no mercado português.

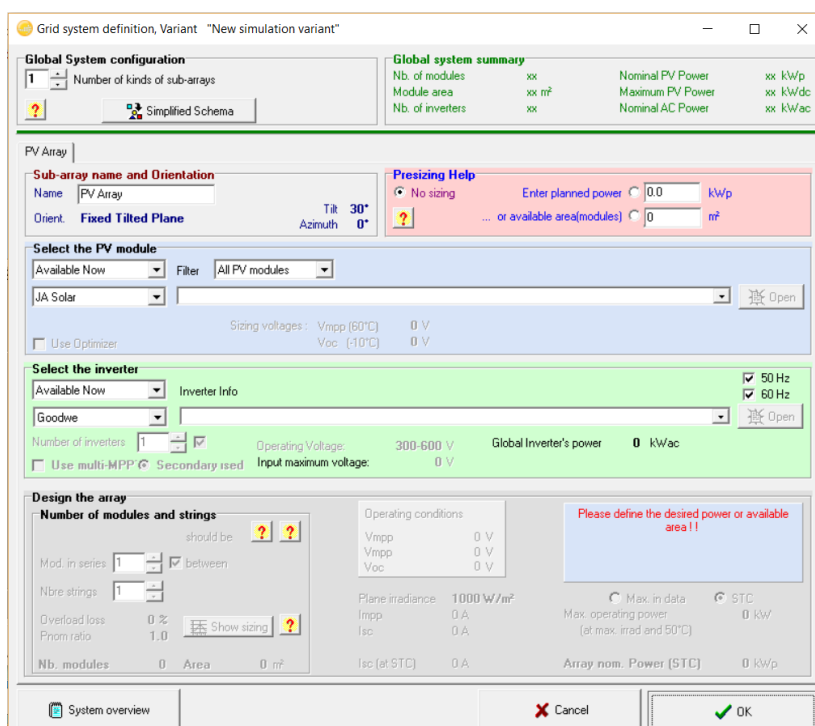


Figura 17 - Layout do programa PVsyst para definição dos módulos e do inversor.

Depois foi necessário definir os parâmetros de perda. Nesse passo mantiveram-se os valores por defeito do programa e alterou-se apenas os parâmetros de perdas térmicas onde foi selecionada a opção de que os módulos

eram semi-integrados com espaço para circulação de ar. E a perda por envelhecimento onde considerou-se uma degradação dos painéis de 0,4%.

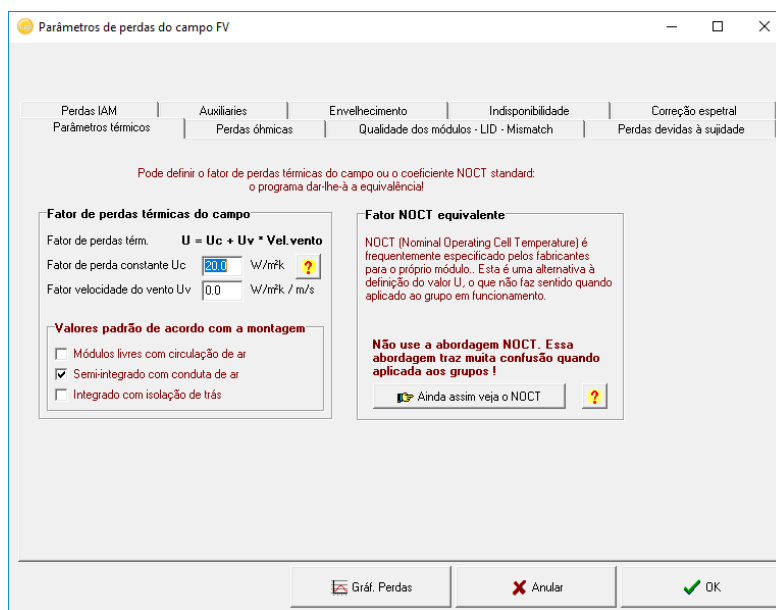


Figura 18 - Layout do programa PVsyst para definição das perdas.

A seguir teriam que se configurar os parâmetros de sombreamento distantes, entendendo-se por distante, comprimentos maiores que vinte vezes o tamanho dos módulos e o sombreamento devido aos materiais próximos como folhas de árvore. Porém, para efeitos de estudo foi considerado uma solução “ideal” onde não há efeitos desses parâmetros.

## 6.6 RESULTADOS

Depois de realizadas todas as simulações, foram coletados do programa PVsyst os resultados de produção de energia, já que um dos outputs do software são diagramas de produção de energia elétrica horária. Assim comparou-se esses com os diagramas de carga simulados para cada solução. Nestes diagramas de carga levou-se em consideração as cargas devido aos equipamentos elétricos e às necessidades de energia útil para climatização e AQS. Para melhor entendimento o quadro abaixo mostra quais os equipamentos elétricos foram utilizados para gerar o diagrama de carga para as simulações.

Quadro 8: Equipamentos elétricos potência e horas de uso por dia.

Equipamento	Potência (W)	Horas uso/dia
Frigorífico	200	24
Máquina de lavar louça	2000	0,5
Placa de indução	3000	2
Forno elétrico	2400	0,4
Microondas	900	0,1
Exaustor	140	1
Arca congeladora	200	24
Máquina de lavar roupa	2000	0,4
Máquina de secar	3500	0,3
Televisões	90	4
Lâmpadas led	11	2
Aspirador	750	0,4
Computadores	350	3
Jarro elétrico	2200	0,17
Secador de cabelo	1500	1
Torradeira	800	0,33

Desse modo, construiu-se os diagramas de carga de consumo horário de energia elétrica para cada solução e comparado com os valores de produção de energia elétrica dos dados retirados do software PVsyst. É importante ressaltar que como a residência em estudo ainda não foi construída e desse modo não apresentava valores de consumo, consideraram-se simulações de distribuição horária para um mês típico inverno (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, outubro, novembro e dezembro) e um de verão (junho, julho, agosto e setembro).

Depois compararam-se os diagramas de produção de energia com os diagramas de carga de consumo. Quando a produção de energia era menor que o consumo estipulado então o autoconsumo era igual à produção de energia. Quando a produção ultrapassava o valor do consumo estipulado então o autoconsumo era igual ao consumo estipulado. Dessa forma, foi possível descobrir a quantidade de energia autoconsumida e quantidade de energia excedente que seria perdida. Os resultados deste processo encontram-se nos quadros 9 ao 13.

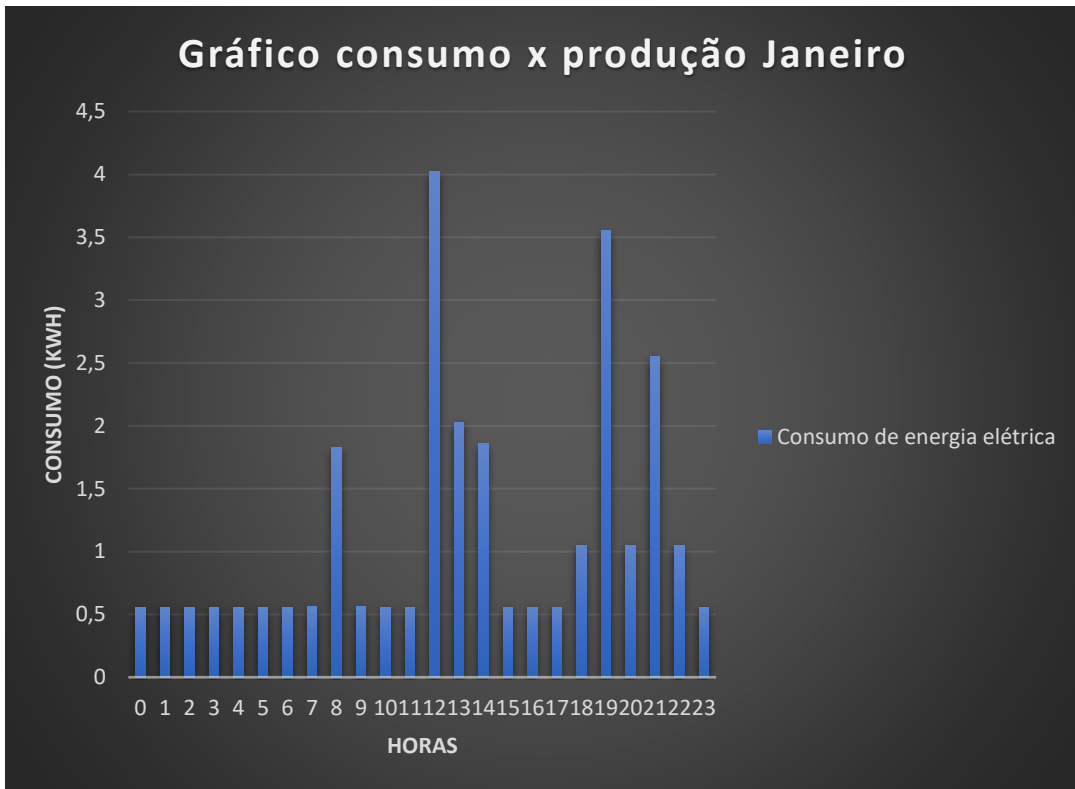


Figura 19 - Consumo de energia elétrica mês de janeiro, solução 1.

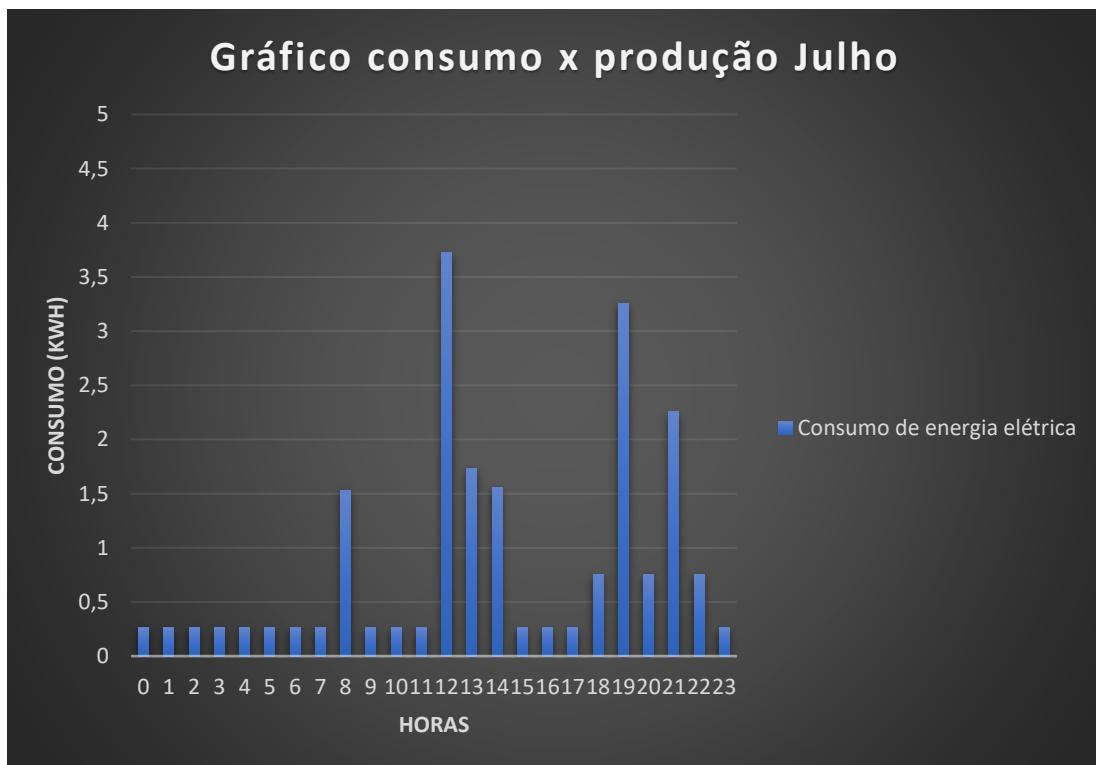


Figura 20 - Consumo de energia elétrica mês de julho, solução 1.

### 6.6.1 Solução 1

Para esta solução foi simulado um sistema fotovoltaico com 7 módulos do modelo REC Solar de 290 Wp, inversor GOODWE GW2000-NS, sem acumulação de energia em bateria. A potência nominal do sistema é de 2030 Wp. A quantidade de painéis foi definida de acordo com o valor da divisão entre a potência pico da solução pela potência nominal de um módulo escolhido para a solução.

Quadro 9: Resultados do dimensionamento para solução 1.

	ENERGIA PRODUZIDA [kWh]	EXCEDENTE [kWh]	ENERGIA AUTOCONSUMIDA [kWh]	CONSUMO TOTAL ESTIMADO [kWh]
JANEIRO	158,20	68,81	89,39	487,07
FEVEREIRO	210,70	109,24	101,46	439,93
MARÇO	260,00	123,88	136,12	487,07
ABRIL	300,30	145,39	154,91	471,36
MAIO	321,90	176,02	145,88	487,07
JUNHO	333,30	146,34	186,96	554,47
JULHO	356,80	158,81	197,99	572,95
AGOSTO	351,10	157,80	193,3	572,95
SETEMBRO	310,40	140,87	169,53	554,47
OUTUBRO	213,50	108,30	105,2	487,07
NOVEMBRO	164,90	102,16	62,74	471,36
DEZEMBRO	126,60	36,74	89,86	487,07
<b>ANO</b>	<b>3107,7</b>	<b>1474,36</b>	<b>1633,34</b>	<b>6072,84</b>

*Energia produzida* – É a energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

*Excedente* – É a energia excedente quando a produção ultrapassa o valor do consumo estipulado.

*Energia autoconsumida* – É a energia que será autoconsumida pelo edifício.

*Consumo total estimado* – É o consumo de energia elétrica total contabilizando os valores dos equipamentos elétricos, iluminação e as necessidades de energia elétrica para climatização e preparação de AQS.

Custo energia elétrica comprada da rede = 692,12 €/ano

Custo gás natural comprado da rede = 565,27 €/ano

## 6.6.2 Solução 2

Mesmo que esta solução não necessite de um sistema fotovoltaico pelos requisitos da Portaria n.º 98/2019, para efeitos de estudo, foi considerado um sistema com 2 módulos do modelo JA SOLAR JAP6-60-275, inversor APS YC500, sem acumulação de energia em bateria. A potência nominal do sistema é de 550 Wp.

Quadro 10: Resultados do dimensionamento para solução 2.

	ENERGIA PRODUZIDA [kWh]	EXCEDENTE [kWh]	ENERGIA AUTOCONSUMIDA [kWh]	Consumo total estimado [kWh]
JANEIRO	42,26	13,09	29,17	487,07
FEVEREIRO	56,11	20,36	35,75	439,93
MARÇO	69,30	18,23	51,07	487,07
ABRIL	79,91	19,62	60,29	471,36
MAIO	85,46	25,15	60,31	487,07
JUNHO	88,23	16,64	71,59	554,47
JULHO	94,26	18,47	75,79	572,95
AGOSTO	92,90	19,03	73,87	572,95
SETEMBRO	82,27	17,43	64,84	554,47
OUTUBRO	56,81	11,46	45,35	487,07
NOVEMBRO	43,92	21,66	22,26	471,36
DEZEMBRO	33,78	28,45	5,33	487,07
<b>ANO</b>	<b>825,21</b>	<b>229,59</b>	<b>595,62</b>	<b>6072,84</b>

Custo energia elétrica comprada da rede = 853,90 €/ano

Custo gás natural comprado da rede = 420,66 €/ano

### 6.6.3 Solução 3

Para esta solução foi simulado um sistema com 3 módulos do modelo JA SOLAR JAP6-60-275, inversor GOODWE GW1000-NS, sem acumulação de energia em bateria. A potência nominal do sistema é de 875 Wp.

Quadro 11: Resultados do dimensionamento para solução 3.

	ENERGIA PRODUZIDA [kWh]	EXCEDENTE [kWh]	ENERGIA AUTOCONSUMIDA [kWh]	Consumo total estimado [kWh]
JANEIRO	62,50	0,00	62,50	808,17
FEVEREIRO	83,30	0,00	83,30	729,96
MARÇO	102,90	0,00	102,90	808,17
ABRIL	118,70	0,00	118,70	782,10
MAIO	127,00	0,00	127,00	808,17
JUNHO	131,00	22,85	108,15	610,97
JULHO	139,90	26,97	112,93	631,33
AGOSTO	138,10	27,25	110,85	631,33
SETEMBRO	122,30	23,37	98,93	610,97
OUTUBRO	84,20	0,00	84,20	808,17
NOVEMBRO	65,00	0,00	65,00	782,10
DEZEMBRO	49,90	0,00	49,90	808,17
<b>ANO</b>	<b>1224,8</b>	<b>100,44</b>	<b>1124,36</b>	<b>8819,61</b>

Custo energia elétrica comprada da rede = 1199,69 €/ano

#### 6.6.4 Solução 4

Para esta solução foi simulado um sistema fotovoltaico com 3 módulos do modelo JA SOLAR JAP6-60-275, inversor GOODWE GW1000-NS, sem acumulação de energia em bateria. A potência nominal do sistema é de 875 Wp.

Quadro 12: Resultados do dimensionamento para solução 4.

	ENERGIA PRODUZIDA [kWh]	EXCEDENTE [kWh]	ENERGIA AUTOCONSUMIDA [kWh]	Consumo total estimado [kWh]
JANEIRO	62,50	0	62,50	848,11
FEVEREIRO	83,30	0	83,30	766,03
MARÇO	102,90	0	102,90	848,11
ABRIL	118,70	0	118,70	820,75
MAIO	127,00	0	127,00	848,11
JUNHO	131,00	23,42	107,58	607,56
JULHO	139,90	27,70	112,20	627,82
AGOSTO	138,10	27,98	110,12	627,82
SETEMBRO	122,30	24,08	98,22	607,56
OUTUBRO	84,20	0	84,20	848,11
NOVEMBRO	65,00	0	65,00	820,75
DEZEMBRO	49,90	0	49,90	848,11
ANO	1224,8	103,18	1121,62	9118,84

Custo energia elétrica comprada da rede = 1246,77 €/ano

### 6.6.5 Solução 5

Esta solução é composta pelos mesmos sistemas técnicos de climatização da solução 3, portanto apresenta as mesmas necessidades de energia elétrica. Para esta solução foi simulado um sistema com 10 módulos do modelo JA SOLAR JAP6-60-275, inversor GOODWE GW2500-NS e baterias de Lítio BYD B-BOX LV. A potência nominal do sistema é de 2750 Wp. Nesta solução não houve excedente de energia, pois a bateria consegue armazenar a energia que não é consumida instantaneamente. Para esta solução não foi considerada a quantidade mínima de módulos mais bateria para atender aos requisitos do NZEB, pois as baterias ainda apresentam altos valores o que não justificaria economicamente a utilização de poucos módulos. Então foi escolhido a quantidade de 10 módulos de acordo com a disponibilidade encontrada em pesquisa.

Quadro 13: Resultados do dimensionamento para solução 5.

	ENERGIA PRODUZIDA [kWh]	EXCEDENTE [kWh]	ENERGIA AUTOCONSUMIDA [kWh]	Consumo total estimado [kWh]
JANEIRO	213,90	0,00	213,9	808,17
FEVEREIRO	283,50	0,00	283,5	729,96
MARÇO	349,90	0,00	349,9	808,17
ABRIL	403,30	0,00	403,3	782,10
MAIO	431,20	0,00	431,2	808,17
JUNHO	444,90	0,00	444,9	610,97
JULHO	474,70	0,00	474,7	631,33
AGOSTO	467,80	0,00	467,8	631,33
SETEMBRO	414,40	0,00	414,4	610,97
OUTUBRO	286,90	0,00	286,9	808,17
NOVEMBRO	222,10	0,00	222,1	782,10
DEZEMBRO	171,20	0,00	171,2	808,17
<b>ANO</b>	<b>4163,8</b>	<b>0,00</b>	<b>4163,8</b>	<b>8819,61</b>

Custo energia elétrica comprada da rede = 725,84 €/ano

## 6.7 ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO

O valor de investimento inicial foi calculado levando em consideração o custo inicial de aquisição do sistema fotovoltaico e da sua instalação. Todos valores encontrados são valores fornecidos por fornecedores. No quadro abaixo encontram-se esses valores resumidos.

*Quadro 14 – Custo investimento inicial fotovoltaico.*

Solução	Kit fotovoltaico	Instalação	Investimento inicial
1	2 242,00 €	787,50 €	3 029,50 €
2	696,00 €	600,00 €	1 296,00 €
3	998,00 €	637,50 €	1 635,50 €
4	998,00 €	637,50 €	1 635,50 €
5	5 552,00 €	900,00 €	6 452,00 €

Com os valores de investimento inicial e produção autoconsumida foi possível mensurar de forma aproximada a poupança, em euros, devido à colocação do sistema fotovoltaico. Nesta etapa, segundo a EDP, foi considerada uma tarifa simples de energia elétrica no valor de 0,1559 €/kWh e essa aumentaria o preço numa taxa de inflação de 2% ao ano de acordo com valores médios pesquisados.

Além disso, como citado no subtópico 6.4, o sistema fotovoltaico irá se degradar 0,4% ao ano, o que acarretará numa diminuição da produção de energia nesta mesma proporção e o estudo estará limitado para um período de 20 anos.

Para mais foram obtidos os seguintes parâmetros de projeto: Valor atual líquido (VAL), Taxa interna de rentabilidade (TIR), Índice de lucratividade (IL) e o Payback. Todos estes valores foram obtidos com o auxílio do software Excel.

O VAL representa em valores atuais os recebimentos de valores futuros que o projeto irá gerar e é utilizado para avaliar se um projeto é viável financeiramente ou não.

A TIR representa a taxa de desconto para que o VAL do projeto passe a ser igual a zero. Essa é um parâmetro complementar ao VAL para análise financeira.

Assim como a TIR, o IL também é um parâmetro complementar ao VAL para análise e representa uma taxa. Por exemplo, caso o IR de um projeto seja 1,5, para cada 1€ investido terá um retorno de 1,5€.

O Payback representa o tempo necessário para que o fluxo de caixa acumulado torne-se positivo, comumente retratado como período de retorno do investimento.

## 6.7.1 Solução 1

Quadro 15: Análise custo-benefício solução 1.

ano	poupança	valor atual	valor atual acum
0	-3029,50	-3029,50	-3029,50
1	254,64	249,65	-2779,85
2	253,62	243,77	-2536,08
3	251,60	237,09	-2298,99
4	248,59	229,66	-2069,34
5	244,64	221,57	-1847,76
6	239,78	212,92	-1634,84
7	234,08	203,78	-1431,06
8	227,61	194,26	-1236,80
9	220,43	184,44	-1052,35
10	212,62	174,42	-877,93
11	204,26	164,28	-713,65
12	195,45	154,11	-559,54
13	186,28	144,00	-415,54
14	176,82	134,01	-281,54
15	167,17	124,21	-157,33
16	157,42	114,67	-42,66
17	147,64	105,44	62,78
18	137,91	96,56	159,34
19	128,31	88,08	247,42
20	118,91	80,02	327,44

Quadro 16: VAL, TIR, IL e Payback da solução 1.

Investimento inicial	3 029,50 €
Tarifa energia	0,1559 €
Inflação tarifa	2,00%
VAL	327,44 €
TIR	3,24%
IL	1,11 €
PAYBACK (anos)	16,40

## 6.7.2 Solução 2

Quadro 17: Análise custo-benefício solução 2.

ano	poupança	valor atual	valor atual acum
0	-1296,00	-1296,00	-1296,00
1	87,26	85,55	-1210,45
2	86,91	83,54	-1126,91
3	86,22	81,24	-1045,67
4	85,19	78,70	-966,97
5	83,83	75,93	-891,04
6	82,17	72,96	-818,08
7	80,22	69,83	-748,25
8	78,00	66,57	-681,68
9	75,54	63,20	-618,47
10	72,86	59,77	-558,70
11	70,00	56,30	-502,41
12	66,98	52,81	-449,59
13	63,83	49,34	-400,25
14	60,59	45,92	-354,33
15	57,29	42,56	-311,76
16	53,94	39,29	-272,47
17	50,59	36,13	-236,34
18	47,26	33,09	-203,25
19	43,97	30,18	-173,07
20	40,75	27,42	-145,65

Quadro 18: VAL, TIR, IL e Payback da solução 2.

Investimento inicial	1 296,00 €
Tarifa energia	0,1559 €
Inflação tarifa	2,00%
VAL	- 145,65 €
TIR	0,64%
IL	0,89 €
PAYBACK (anos)	-

### 6.7.3 Solução 3

Quadro 19: Análise custo-benefício solução 3.

ano	poupança	valor atual	valor atual acum
0	-1635,50	-1635,50	-1635,50
1	175,29	171,85	-1463,65
2	174,59	167,81	-1295,84
3	173,19	163,21	-1132,63
4	171,12	158,09	-974,54
5	168,40	152,53	-822,01
6	165,06	146,57	-675,44
7	161,14	140,28	-535,16
8	156,68	133,73	-401,43
9	151,74	126,97	-274,47
10	146,36	120,07	-154,40
11	140,61	113,09	-41,31
12	134,55	106,09	64,78
13	128,23	99,13	163,91
14	121,72	92,25	256,15
15	115,08	85,50	341,66
16	108,36	78,94	420,59
17	101,63	72,58	493,17
18	94,94	66,47	559,64
19	88,33	60,63	620,28
20	81,85	55,08	675,36

Quadro 20: VAL, TIR, IL e Payback da solução 3.

Investimento inicial	1 635,50 €
Tarifa energia	0,16 €
Inflação tarifa	2,00%
VAL	675,36 €
TIR	6,48%
IL	1,41 €
PAYBACK (anos)	11,39

#### 6.7.4 Solução 4

Quadro 21: Análise custo-benefício solução 4.

ano	poupança	valor atual	valor atual acum
0	-1635,50	-1635,50	-1635,50
1	174,86	171,43	-1464,07
2	174,16	167,40	-1296,67
3	172,77	162,81	-1133,87
4	170,71	157,71	-976,16
5	167,99	152,15	-824,01
6	164,66	146,21	-677,80
7	160,74	139,94	-537,86
8	156,30	133,40	-404,46
9	151,37	126,66	-277,80
10	146,00	119,77	-158,03
11	140,27	112,81	-45,22
12	134,22	105,83	60,61
13	127,91	98,88	159,49
14	121,42	92,02	251,51
15	114,79	85,29	336,81
16	108,10	78,74	415,55
17	101,38	72,40	487,95
18	94,70	66,31	554,26
19	88,11	60,48	614,74
20	81,65	54,95	669,69

Quadro 22: VAL, TIR, IL e Payback da solução 4.

Investimento inicial	1 635,50 €
Tarifa energia	0,1559 €
Inflação tarifa	2,00%
VAL	669,69 €
TIR	6,45%
IL	1,41 €
PAYBACK (anos)	11,43

### 6.7.5 Solução 5

Quadro 23: Análise custo-benefício solução 5.

ano	poupança	valor atual	valor atual acum
0	-6452,00	-6452,00	-6452,00
1	649,14	636,41	-5815,59
2	646,54	621,44	-5194,15
3	641,38	604,39	-4589,76
4	633,72	585,46	-4004,31
5	623,64	564,85	-3439,46
6	611,26	542,78	-2896,68
7	596,74	519,50	-2377,18
8	580,23	495,22	-1881,96
9	561,92	470,19	-1411,77
10	542,01	444,64	-967,13
11	520,72	418,79	-548,34
12	498,26	392,87	-155,46
13	474,86	367,08	211,62
14	450,75	341,61	553,23
15	426,16	316,64	869,87
16	401,29	292,32	1162,19
17	376,36	268,79	1430,98
18	351,57	246,16	1677,14
19	327,10	224,53	1901,67
20	303,12	203,99	2105,66

Quadro 24: VAL, TIR, IL e Payback da solução 5.

Investimento inicial	6 452,00 €
Tarifa energia	0,1559 €
Inflação tarifa	2,00%
VAL	2 105,66 €
TIR	5,60%
IL	1,33 €
PAYBACK (anos)	12,42

## 7 CONCLUSÃO

Portanto a diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios estabeleceu que os novos edifícios deverão apresentar necessidades quase nulas de energia, nesse sentido além dos edifícios apresentarem soluções passivas eficientes, terão que produzir sua própria energia. Desse modo a incorporação dos fotovoltaicos se tornam essenciais para os edifícios de habitação. Assim esta dissertação focalizou-se em estudar a tecnologia fotovoltaica, sua aplicação a um edifício de habitação em Portugal e realizar uma análise custo-benefício dessa aplicação. A partir dos resultados obtidos e analisados pode-se então destacar alguns pontos relevantes.

Como referido no capítulo anterior, a solução 2 não precisaria de um sistema fotovoltaico para atingir os requisitos da portaria n.º 98/2019, entretanto foram aplicados dois módulos fotovoltaicos e como mostram os resultados da análise custo-benefício essa opção não se mostrou viável, pois a economia produzida pelos fotovoltaicos não conseguiu recuperar o valor do investimento inicial. Pode-se apontar dois motivos para isso. O primeiro motivo foi a demanda de energia elétrica nos meses de inverno ser relativamente baixa, pois o sistema responsável pelo aquecimento foi principalmente a caldeira a gás natural, o que provocou maiores quantidades de energia excedente não aproveitada e assim reduzindo o valor da economia. Neste caso uma sugestão seria aumentar a quantidade de módulos fotovoltaicos de maneira a aumentar os valores de produção e conseqüentemente de economia, ou alterar o tipo de sistema técnico para um que fosse dependente de energia elétrica, mas também fosse de elevada eficiência.

Sistemas fotovoltaicos sem acumulação de energia em baterias são uma ótima solução de investimento, desde que o consumo de energia elétrica esteja programado para o mesmo período de produção de energia. A nova diretiva relacionada ao desempenho energético aborda que os novos edifícios tenham sistemas eletrônicos com vista a adaptar o funcionamento do edifício às necessidades dos ocupantes, bem como para melhorar a sua eficiência energética e o seu desempenho global. Desse modo, a introdução de equipamentos elétricos inteligentes capazes de serem programados para utilização durante o período do dia potencializa a incorporação dos fotovoltaicos,

pois quanto maior for o consumo de energia elétrica durante o dia e os sistemas técnicos de climatização orientados à utilização de energia elétrica, maior será o benefício originado pelos fotovoltaicos para liquidar o investimento inicial nesse tipo de sistema. Pode-se perceber isso comparando os resultados da análise custo-benefício das soluções 3 e 4 com os resultados da solução 1, este último apresenta um tempo de retorno de investimento de aproximadamente 5 anos maior que daqueles.

Ainda mais, sistemas com acumulação de energia em baterias se mostram como uma ótima alternativa, pois atualmente a tecnologia dos módulos fotovoltaicos está relativamente madura assim os preços dos fotovoltaicos tendem a baixar pouco. Desse modo, abre margem para o desenvolvimento das baterias, que ainda são uma tecnologia não tão madura quanto os módulos fotovoltaicos, que tenderão a apresentarem melhores preços no futuro. Assim, apesar desse tipo de sistema demandar de um investimento inicial relativamente alto, apresentam ótimas vantagens, autoconsumindo toda ou quase toda a energia produzida pelos fotovoltaicos. E como mostra a análise-custo benefício 5 um VAL elevado. Além disso é uma opção versátil já que a energia pode ser consumida em período diferente do período de produção.

Além disso, o sentido que as diretivas se desenvolvem potencializam cada vez mais a utilização de sistemas com base em energias renováveis, principalmente os sistemas fotovoltaicos e por consequência minimizam a utilização de soluções com gás natural.

## 7.1 TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho abre a oportunidade para a realização de trabalhos futuros mais complexos. Algumas sugestões serão dadas a seguir.

- Aplicação da mesma metodologia de cálculo para diferentes regiões de Portugal.
- Utilizar um exemplo de edificação já construída que possua as informações exatas de consumo de energia.
- Utilizar edifícios com infraestrutura para alimentar veículos elétricos.

## 8 REFERÊNCIAS

- ADENE (2011). Agência para a Energia. **Perguntas & Respostas sobre o RCCTE**. Maio de 2011.
- Aldrich, R. (2011). **Alternative Energy**. Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Available at: <http://www.wbdg.org/resources/alternativeenergy.php> [accessed 20/06/2013].
- APREN (2018). **Contents**. Disponível online em: <http://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/03-boletim-energias-renovaveis-2018.pdf> [acessado em: 08/07/2018]
- APREN (2018). **Energias Renováveis**. Disponível online em: <http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao/> [acessado em: 09/07/2018]
- CASTRO, R. (2002). **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. Universidade Técnica de Lisboa.
- CERDEIRA, C. (2011). **Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga.
- CONSTRUCOESLUISEFERNANDO (2018). Radiadores e Ventiloconvectores. Disponível online em: <https://www.construcoesluisfernando.com/radiadores-e-ventiloconvectores/> [acessado em: 21/08/2018]
- COSTA, G. (2012) - **A Contribuição dos Sistemas Solares Térmicos e Fotovoltaicos para o Balanço Energético dos Edifícios Residenciais Unifamiliares**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.
- DGEG (2018). Direção Geral de Energia e Geologia. Disponível online em: <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/dgeg-estatisticas-rapidas-renovaveis-outubro.pdf> [acessado em: 19/07/2018]
- Decreto-lei nº118-A/2010, de 25 de outubro. **Simplifica o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de microprodução, e procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de**

**Novembro, e à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro.**

- Decreto-lei nº 189/88, de 27 de maio. **Estabelece normas relativas à actividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou por pessoas colectivas de direito público ou privado.**
- Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro. **Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de unidades de microprodução, e à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por unidades de miniprodução.**
- Decreto-Lei n.º 34/201,1 de 8 de março. **Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de miniprodução.**
- Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro. **Cria os regimes jurídicos aplicáveis à produção de electricidade destinada ao autoconsumo e ao da venda à rede eléctrica de serviço público a partir de recursos renováveis, por intermédio de Unidades de Pequena Produção.**
- Diretiva 2010/31/EU, Jornal Oficial da União Europeia, 19 de maio de 2010. **Relativa ao desempenho energético dos edifícios.**
- Diretiva 2018/844, Jornal Oficial da União Europeia, 30 de maio de 2018. **Altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética.**
- ECOPLANETENERGY. **Energia Híbrida.** Disponível online em: <http://www.ecoplanetenergy.com/pt-br/sobre-eco-energia/visao-geral/energia-hibrida/> [acessado em: 02/09/2018]
- EDP (2019). **Tarifários.** Disponível online em: <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/> [acessado em: 18/05/2019]
- FADIGAS, E. (2012). **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica.** Apostila Solar, Escola Politécnica Universidade de São Paulo.
- FCSOLAR (2018). **Aprenda aqui.** Disponível online em: <http://www.fcsolar.eco.br/aprenda-aqui/> [acessado em: 05/09/2018]

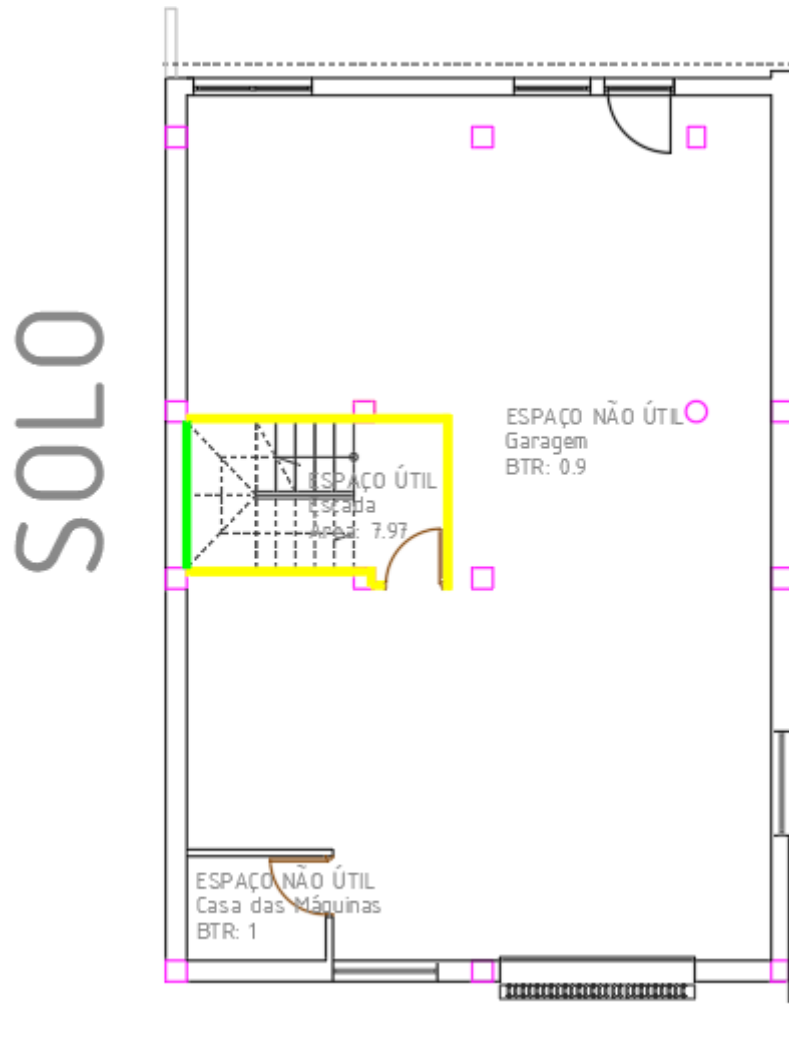
- FERNANDES, S. (2015). **Contributos para a caracterização energética de edifícios habitacionais do concelho de Bragança**. Trabalho profissional no âmbito das Provas para a atribuição do título de especialista em Engenharia Civil.
- FREITAS, S. (2008). **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Relatório de Projecto de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança.
- ISOLANI, P. (2008) – **Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais**. Manual do Consumidor, Lisboa.
- JUNKERS (2018). **Bomba de calor**. Disponível online em: [https://www.junkers.pt/consumer/produtos\\_consumidor/product\\_know\\_how/\\_bomba\\_de\\_calor/bomba\\_de\\_calor#](https://www.junkers.pt/consumer/produtos_consumidor/product_know_how/_bomba_de_calor/bomba_de_calor#) [acessado em: 29/09/2018]
- LAUSTSEN, J. (2008). **Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for new buildings**. International Energy Agency.
- LEROYMERLIN (2019). **Emissor Termoelétrico um Sistema de Aquecimento**. Disponível online em: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Fazer-e-facil/Tutoriais/Emissores-termoeletricos-um-sistema-de-aquecimento.aspx> [acessado em: 01/10/2018]
- LOJALUZ (2019). **Consumo médio**. Disponível online em: <https://lojaluz.com/faq/poupar-luz/consumo-medio>. [acessado em: 15/11/2018]
- MENDONÇA, P. (2005) - **Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. Tese para doutorado, Universidade do Minho.
- MONTEIRO, J. (2014). **Produção Fotovoltaica: Legislação, tarifas, tecnologia necessária e viabilidade económica para a produção numa perspetiva de chave na mão**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- NEOSOLAR (2018). **Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e seus Componentes**. Disponível online em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> [acessado em:04/09/2018]

- OBSERVADOR (2016). **Portugal usou apenas energias renováveis durante quatro dias consecutivos.** Disponível online em: <https://observador.pt/2016/05/18/portugal-usou-apenas-energias-renovaveis-durante-quatro-dias-consecutivos/> [acessado em: 18/05/2018]
- Portaria n.º 14/2015, de 23 de janeiro. **Define o procedimento para apresentação de mera comunicação prévia de exploração das unidades de produção para autoconsumo, bem como para obtenção de um título de controlo prévio no âmbito da produção para autoconsumo ou da pequena produção para injeção total na rede elétrica de serviço público da energia elétrica produzida, e determina o montante das taxas previstas no Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.**
- Portaria n.º 15/2015, de 23 de janeiro. **Procede à fixação da tarifa de referência aplicável à energia elétrica produzida através de unidades de pequena produção, nos termos do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, e determina as percentagens a aplicar à tarifa de referência, consoante a energia primária utilizada por aquelas unidades.**
- Portaria n.º 98/2019, de 2 de abril. **Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados do SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.**
- PROENÇA, E. (2007). **A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal – Estudo-da-Arte e perspectivas de Desenvolvimento.** Dissertação de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa
- PVGIS (2017). Photovoltaic Geographical Information System. Disponível online em: [https://www.researchgate.net/figure/Photovoltaic-Solar-Electricity-Potential-in-European-Countries-23\\_fig3\\_332146983](https://www.researchgate.net/figure/Photovoltaic-Solar-Electricity-Potential-in-European-Countries-23_fig3_332146983) [acessado em: 09/07/2018]
- RECICLOTECA. **Fontes de Energia Alternativa: Energia Solar.** Disponível online em: <http://www.recicloteca.org.br/noticias/fontes-de-energia-alternativa-energia-solar/> [acessado em: 09/07/2018]

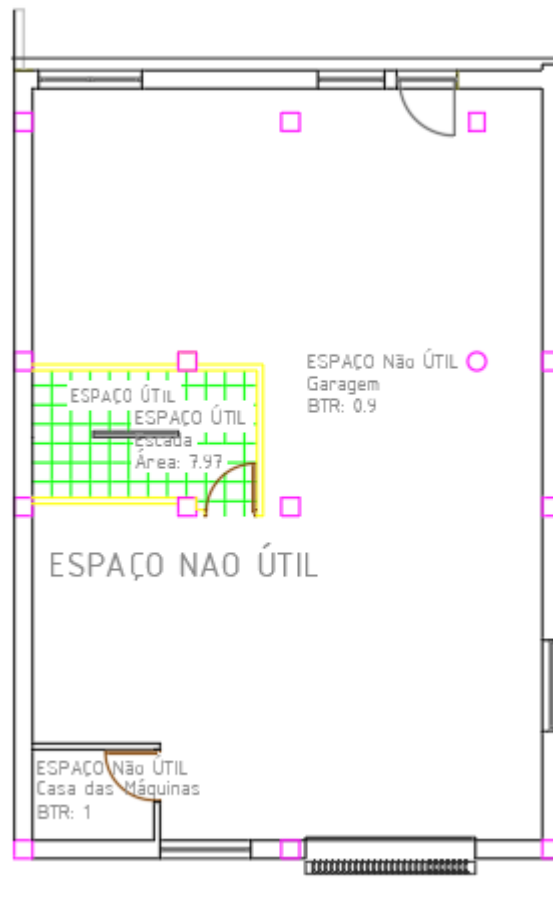
- Resolução de Conselho de Ministros nº 154/2001, de 27 de setembro. **Aprova o Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas.**
- TAVARES, F. (2013) - **Metodologia para edifícios de balanço energético nulo.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.
- UNIVERSOSOLAR (2018). **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede.** Disponível online em: <http://universosolar.com/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede/> [acessado em: 02/09/2018]
- VAILLANT (2018). **Bomba de Calor.** Disponível online em: <https://www.youtube.com/watch?v=Q9tt66C3D8U> [acessado em: 21/08/2018]
- VALLÊRA, A.; BRITO, M. (2006). **Meio Século de História Fotovoltaica,** Gazeta de Física.
- WORTEN (2019). **Emissores Térmicos.** Disponível em: <https://www.worten.pt/grandes-eletrdomesticos/climatizacao-e-aquecimento/aquecedores/emissores-termicos/> [acessado em: 21/08/2018]

# ANEXOS

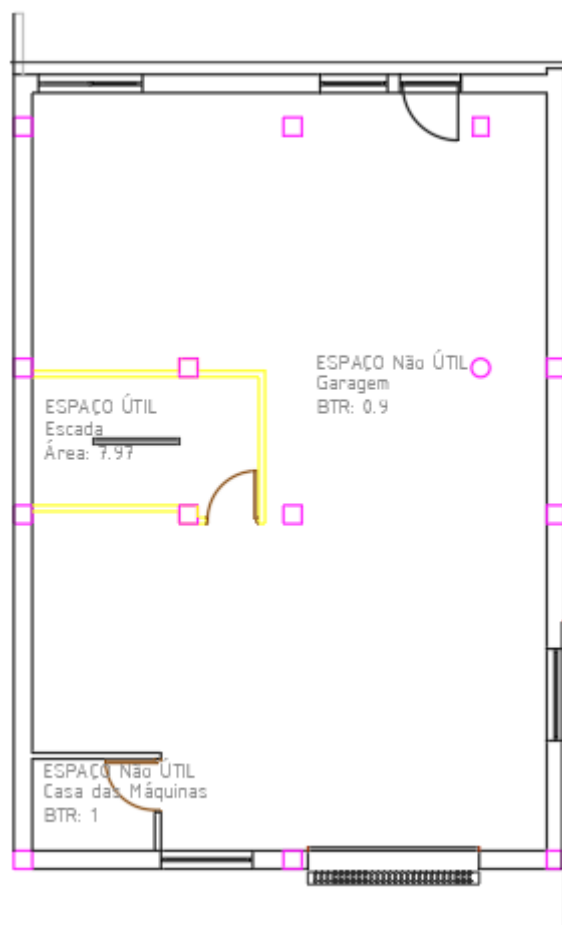
Anexo 1 - Envoltente vertical da Cave.



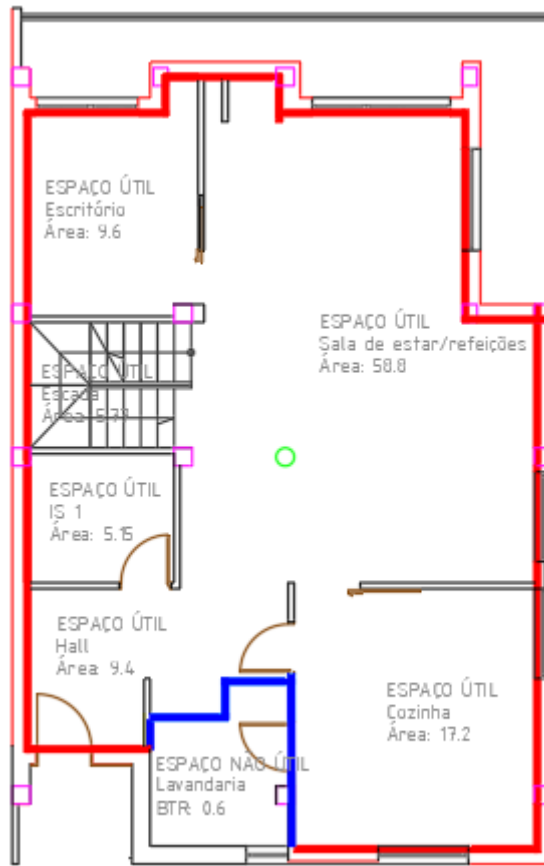
Anexo 2 - Envolvente de piso da Cave.



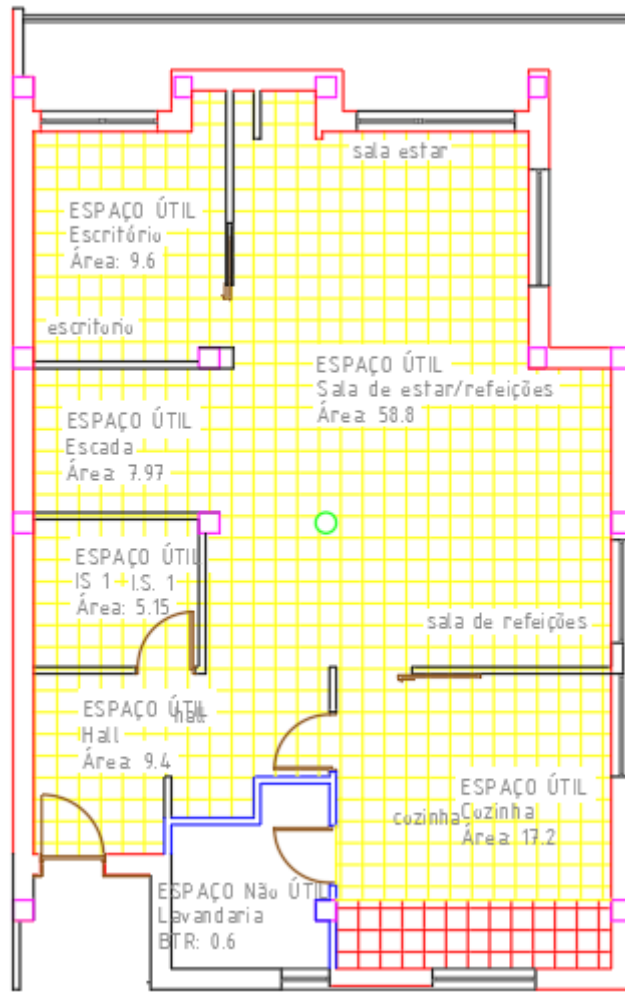
Anexo 3 - Envolvente de cobertura da Cave.



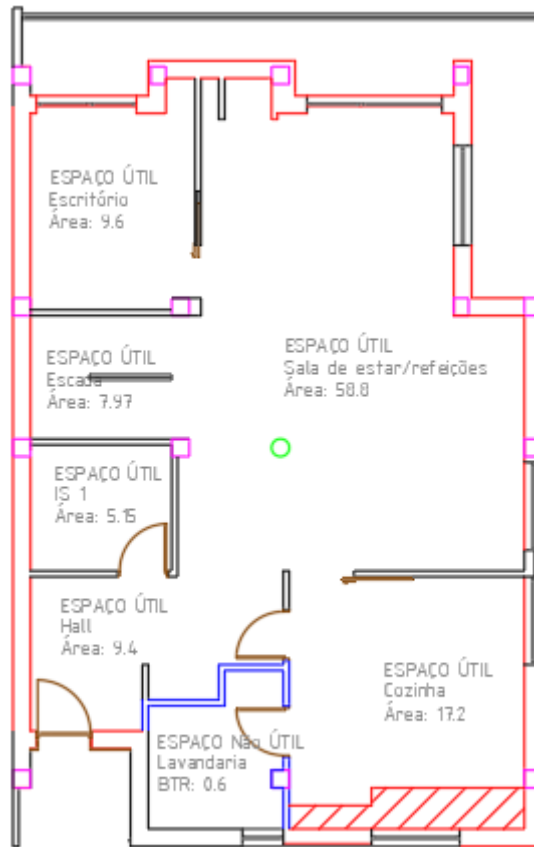
Anexo 4 - Envoltente vertical do Rés do chão.



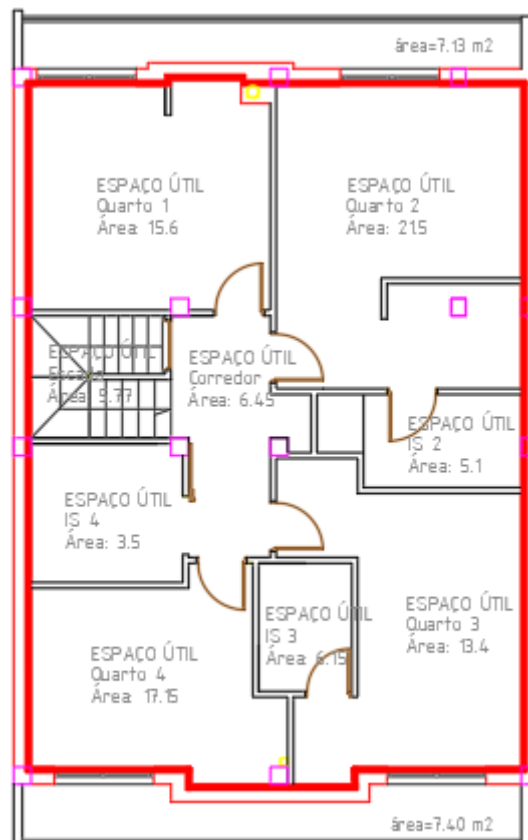
Anexo 5 - Envolvente de piso do Rés do chão.



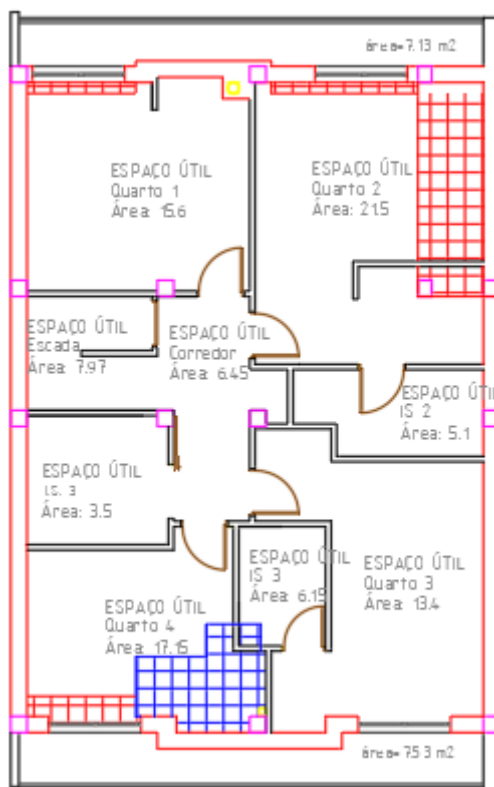
Anexo 6 - Envoltente de teto do Rés do chão.



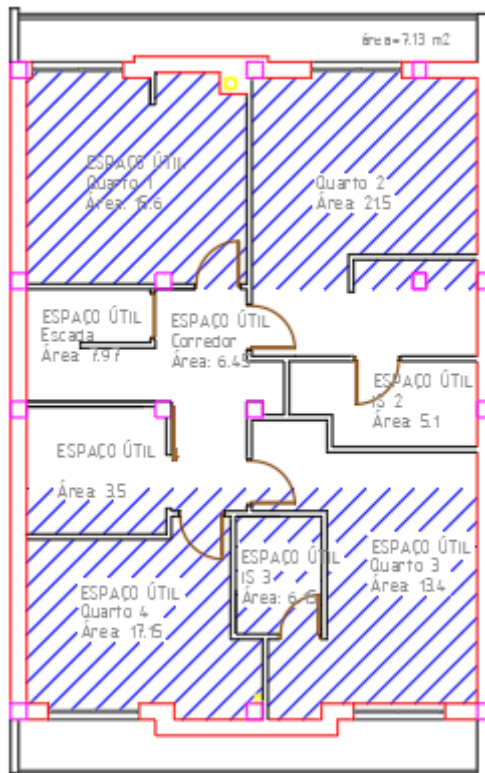
Anexo 7 - Envoltente vertical do primeiro pavimento.



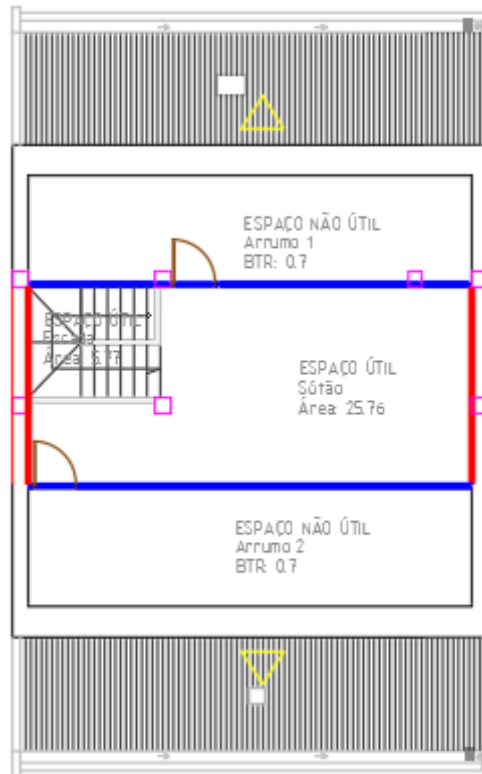
Anexo 8 - Envoltente de piso do primeiro pavimento.



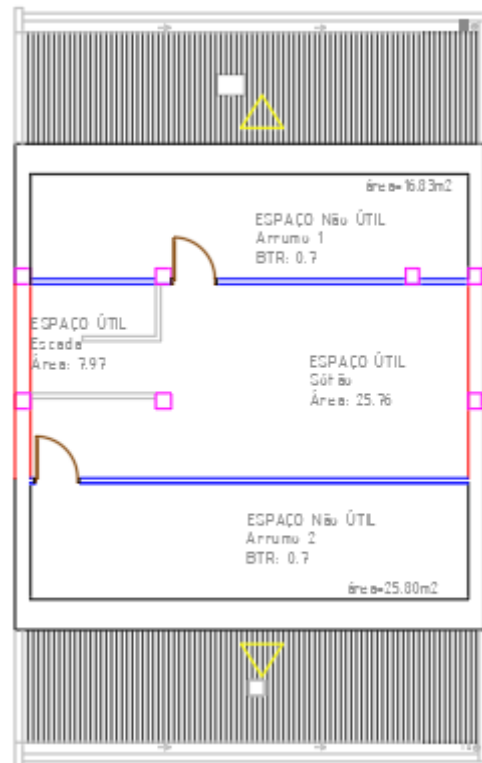
Anexo 9 - Envoltente de teto do primeiro pavimento.



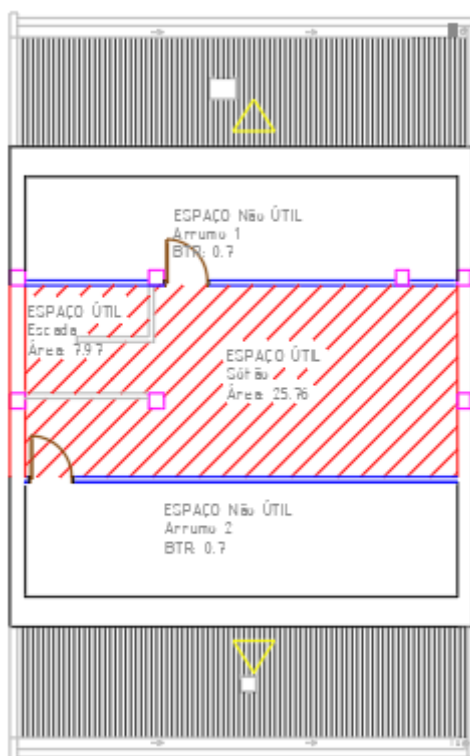
Anexo 10 - Envoltente vertical da cobertura.



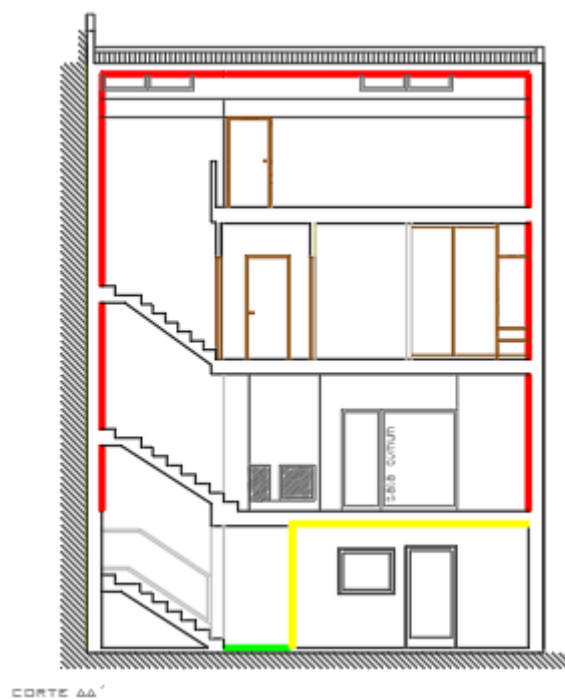
Anexo 11 - Envoltente de piso da cobertura.



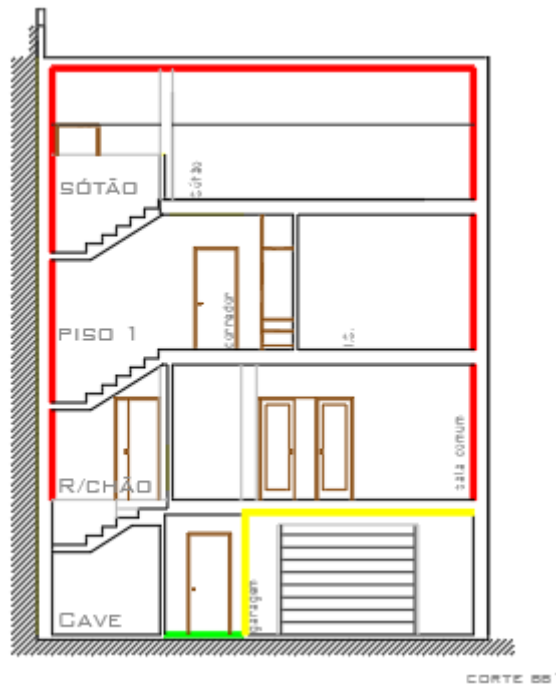
Anexo 12 - Envoltente de teto da cobertura.



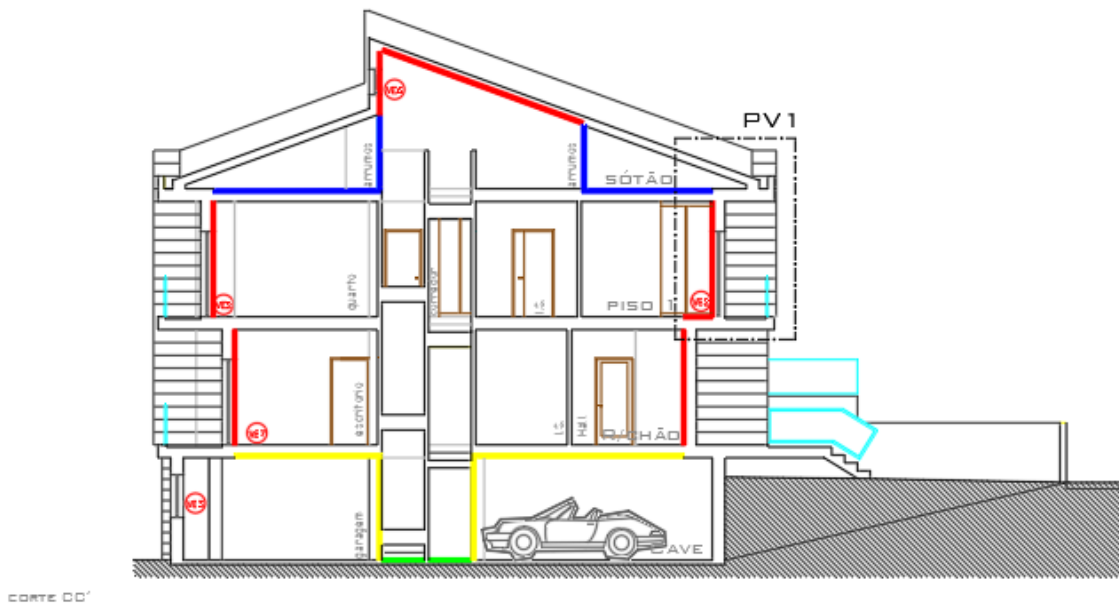
Anexo 13 - Envoltente corte AA'.



Anexo 14 - Envolvente corte BB'.



Anexo 15 - Envolvente corte CC'.



q

## Anexo 16 - Cálculo parede exterior

### Paredes Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Exterior - Tipo 1	Parede simples com isolamento térmico pelo exterior
Ponte Térmica Plana	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	Pilares

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	Parede exterior	0,25
PTPPDE1	Ponte Térmica Plana - Tipo 1		0,49

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m <sup>2</sup> )	Área a deduzir (Vãos, PTP, ...) (m <sup>2</sup> )	Cor	Fachada Ventilada?	Grau de ventilação	Emissividade	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área Efetiva (m <sup>2</sup> )	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
PDE1	Norte		12,39		Média	Não			0,25	12,39	0,35	0,35
PDE1	Oeste		24,41		Média	Não			0,25	24,41	0,35	0,35
PDE1	Sul		13,47		Média	Não			0,25	13,47	0,35	0,35
PDE1	Este		31,21		Média	Não			0,25	31,21	0,35	0,35
PDE1	Norte		15,07		Média	Não			0,25	15,07	0,35	0,35
PDE1	Oeste		31,59		Média	Não			0,25	31,59	0,35	0,35
PDE1	Sul		14,40		Média	Não			0,25	14,40	0,35	0,35
PDE1	Este		31,59		Média	Não			0,25	31,59	0,35	0,35
PTPPDE1	Oeste	PDE1	4,32		Média	Não			0,49	4,32	0,35	0,90
PTPPDE1	Sul	PDE1	1,22		Média	Não			0,49	1,22	0,35	0,90
PTPPDE1	Este	PDE1	3,11		Média	Não			0,49	3,11	0,35	0,90
PTPPDE1	Norte	PDE1	0,81		Média	Não			0,49	0,81	0,35	0,90

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Áreas por orientação (m <sup>2</sup> )								Área Total (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO				
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	27,46	0,00	62,80	0,00	27,87	0,00	56,00	0,00	174,13	0,25	0,35	0,35
PTPPDE1	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	0,81	0,00	3,11	0,00	1,22	0,00	4,32	0,00	9,46	0,49	0,35	0,90

## Anexo 17 - Cálculo pavimento exterior

### Pavimentos Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Pavimento Exterior - Tipo 1	Pavimento com isolamento térmico pelo exterior

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U desc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVE1	Pavimento Exterior - Tipo 1		0,26

Designação do Tipo de Solução	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m <sup>2</sup> )	U desc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVE1		10,04	0,26	0,30	0,30

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Área Total (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVE1	Pavimento Exterior - Tipo 1	10,04	0,26	0,30	0,30

## Anexo 18 - Cálculo cobertura exterior

### Coberturas Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Cobertura Exterior - Tipo 1	Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior
Solução Corrente	Cobertura Exterior - Tipo 2	Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo exterior

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U asc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U desc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)
CBE1	Cobertura Exterior - Tipo 1	Cobertura sótão / exterior	0,28	0,28
CBE2	Cobertura Exterior - Tipo 2		0,26	0,25

Designação do Tipo de Solução	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m <sup>2</sup> )	Cor	Revestimento com caixilho-de-ar ventilada?	Grau de ventilação III	Emissividade III	U asc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U desc. Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
CBE1		33,73	Escura	Não			0,28	0,28	0,30	0,30
CBE2		2,38	Escura	Não			0,26	0,25	0,30	0,30

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Área Total (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
CBE1	Cobertura Exterior - Tipo 1	33,73	0,28	0,30	0,30
CBE2	Cobertura Exterior - Tipo 2	2,38	0,26	0,30	0,30

## Anexo 19 - Cálculo vãos envidraçados exteriores

### Vãos Envidraçados Exteriores

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Janela	Tipo de solução caixilharia 1	Tipo de solução caixilharia 2
Envidraçado Exterior - Tipo 1	Simplex	Caixilharia plástica com vidro duplo	

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Tipo de Protecção	Descrição da Protecção
VE1	Envidraçado Exterior - Tipo 1	Janelas e portas	Com protecção pelo interior	Portada madeira clara

Designação do Tipo de Solução	Uvdn (W/m <sup>2</sup> .°C)	g <sub>gl</sub> III	g <sub>L,T</sub>	F <sub>S</sub> Global Prot. P <sub>erm.</sub> g <sub>L,T</sub>	Classe da Caixilharia	Tipo de Vidro	Fracção Envidraçada Fg	URef (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área (m <sup>2</sup> )	U <sub>max</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)
VE1	1,80	0,75	0,35	0,75	4	Duplo	0,65	2,20	28,13	2,20

IDvão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Permeabilidade da Caixa de Estore	Classe SEEP	ID SEEP	gT corrigido	Área do compartimento que serve (m <sup>2</sup> )	Área de envidraçados do compartimento que serve (m <sup>2</sup> )	gTmax	Aenu < 5% Apav
1	ADE ESTAR/REFE	VE1	Sul	1,80	Não	Não tem			0,18	58,80	8,40	0,56	Não
2	ADE ESTAR/REFE	VE1	Oeste	3,40	Não	Não tem			0,32	58,80	8,40	0,56	Não
3	ESCRITÓRIO	VE1	Sul	3,40	Não	Não tem			0,16	9,80	3,40	0,24	Não
4	ADE ESTAR/REFE	VE1	Oeste	3,40	Não	Não tem			0,24	58,80	8,40	0,56	Não
5	QUARTO 1	VE1	Sul	3,40	Não	Não tem			0,20	15,60	3,40	0,39	Não
6	QUARTO 2	VE1	Sul	3,40	Não	Não tem			0,21	21,50	3,40	0,53	Não
7	QUARTO 3	VE1	Norte	3,40	Não	Não tem			0,32	13,40	0,00	-	Sim
8	QUARTO 4	VE1	Norte	3,40	Não	Não tem			0,32	17,15	0,00	-	Sim
9	COZINHA	VE1	Oeste	1,53	Não	Não tem			0,32	17,20	1,53	0,56	Não
10	COZINHA	VE1	Norte	1,20	Não	Não tem			0,32	17,20	1,53	-	Não

## Anexo 20 - Cálculo vãos opacos exteriores

### Vãos Opacos Exteriores

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução									
Vão opaco exterior - Tipo	Não aplicável									

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada						U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)
VDE1	Vão Opaco Exterior - Tipo 1	Porta principal						2,55

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Cor	Área (m <sup>2</sup> )	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β <sub>ext</sub>	Pala vertical à direita β <sub>int</sub>	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
VDE1	Norte	Escura	1,80	48,18	58,85	68,49	2,55	0,35	-

Designação do Tipo de Solução	Áreas por orientação (m <sup>2</sup> )								Área Total (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .°C)
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO				
VDE1	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	2,55	0,35	-

## Anexo 21 - Cálculo pavimento térreo

### Pavimentos Têrreos

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução						
Pavimento Térreo - Tipo 1	Pavimento sem isolamento térmico						

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada					Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>Ref</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)
PVT1	Pavimento Térreo - Tipo 1	Escada cave					7,97	1,24	0,50

(continuação)

Designação do Tipo de Solução	R <sub>i</sub> m <sup>2</sup> .C/W	Perímetro Exposto P (m)	Espessura da parede exposta w (m)	Isolamento Perimetral?	Horizontal ou Vertical?	Espessura do Isol. dn (m)	Extensão de Isol. D (m)
PVT1	0,16	11,13	0,26	Não			

## Anexo 22 - Pontes térmicas lineares exteriores

### Pontes Térmicas Lineares Exteriores

TIPO DE LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Comp. B (m)	Cálculo de acordo com?	ψ calculado (W/m.°C)	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	ψ (W/m.°C)	ψ <sub>REF</sub> (W/m.°C)
Fachada com cobertura	75,41	Valores Tabelados		Isol. sob/sobre o cobertura?	Sob		Exterior	0,70	0,5
Fachada com pavimento intermédio	44,28	Valores Tabelados		Teto falso?		si teto falso	Exterior	0,15	0,5
Fachada com caixilharia	80,60	Valores Tabelados		Isol. contacta com a caixilharia?	Contacta		Interior	0,10	0,2
Dois paredes verticais em ângulo saliente	34,80	Valores Tabelados					Interior	0,10	0,4
								-	-

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Método	Comprimento (m)	Psi solução (W/m.°C)	Psi referência (W/m.°C)
PTLE1	Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura	Valores Tabelados	75,41	0,70	0,50
PTLE2	Fachada com pavimento de nível intermédio	Valores Tabelados	44,28	0,15	0,50
PTLE3	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	Valores Tabelados	80,60	0,10	0,20
PTLE4	Dois paredes verticais em ângulo saliente	Valores Tabelados	34,80	0,10	0,40

## Anexo 23 - Cálculo paredes interiores

### Definição da Envoltura Interior

ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Cálculo do btr de acordo com a norma 13789?	$b_{tr}$ calculado	$A_i/A_u$	Volume do ENU $m^3$	Ventilação	$b_{tr}$
Edifício Adjacente			-	-	-	0,60
Garagem	Não		$0.5 \leq A_i/A_u < 1$	$V > 200$	Fraca	0,90
Casa das máquinas	Não		$A_i/A_u < 0.5$	$V \leq 50$	Fraca	1,00
Lavandaria	Não		$1 \leq A_i/A_u < 2$	$V \leq 50$	Fraca	0,60
Arrumo 1	Não		$0.5 \leq A_i/A_u < 1$	$V \leq 50$	Fraca	0,70
Arrumo 2	Não		$0.5 \leq A_i/A_u < 1$	$V \leq 50$	Fraca	0,70
						-

### Paredes interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas e vãos opacos

Parede Interior, Ponte Térmica Plana ou Vão Opaco?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Interior - Tipo 1	Parede simples com isolamento térmico pelo interior
Ponte Térmica Plana	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	Pilares
Vão Opaco	Vão Opaco - Tipo	Não aplicável

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
PDI1	Parede Interior - Tipo 1	parede interior, requisito interior (lavandaria)	0,39
PDI2	Parede Interior - Tipo 1	parede interior, requisito interior (arrumo 1)	0,39
PDI3	Parede Interior - Tipo 1	parede interior, requisito interior (arrumo 2)	0,39
PTPPDI1	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	pilar lavandaria	0,46
PDI4	Parede Interior - Tipo 1	parede interior, requisito exterior (escada)	0,35
VDI1	Vão Opaco - Tipo	Porta principal	1,90

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m <sup>2</sup> )	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )	btr	U Solução (W/m <sup>2</sup> ·°C)	Área Efectiva (m <sup>2</sup> )	URef (W/m <sup>2</sup> ·°C)	UMáx (W/m <sup>2</sup> ·°C)
PD11	Lavandaria		15,12	0,00	0,60	0,39	15,12	0,60	1,90
PD12	Arrumo 1		13,06	0,00	0,70	0,39	13,06	0,60	1,90
PD13	Arrumo 2		11,02	0,00	0,70	0,39	11,02	0,60	1,90
PTPPD11	Lavandaria	PD11	0,81	0,00	0,60	0,46	0,81	0,60	0,90
PD14	Garagem		19,99	0,00	0,90	0,35	19,99	0,35	0,35
PTPPD11	Garagem	PD14	1,44	0,00	0,90	0,46	1,44	0,35	0,90
VD11	Garagem		1,74	0,00	0,90	1,90	1,74	0,35	-
VD11	Lavandaria		1,74	0,00	0,60	1,90	1,74	0,60	-
VD11	Arrumo 1		1,74	0,00	0,70	1,90	1,74	0,60	-
VD11	Arrumo 2		1,74	0,00	0,70	1,90	1,74	0,60	-

Designação do Tipo de Solução	btr	Área por btr (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> ·°C)	URef (W/m <sup>2</sup> ·°C)	UMáx (W/m <sup>2</sup> ·°C)
PD14	0,90	19,99	0,35	0,35	0,35
PTPPD11	0,90	1,44	0,46	0,35	0,90
PD11	0,60	15,12	0,39	0,60	1,90
PD12	0,70	13,06	0,39	0,60	1,90
PD13	0,70	11,02	0,39	0,60	1,90
PTPPD11	0,60	0,81	0,46	0,60	0,90
VD11	0,90	1,74	1,90	0,35	-
VD11	0,60	1,74	1,90	0,60	-
VD11	0,70	3,48	1,90	0,60	-

### Anexo 24 - Cálculo pavimento interior

#### Pavimentos Interiores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Pavimento Interior - Tipo 1	Pavimento com isolamento térmico pelo exterior

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m <sup>2</sup> ·°C)
PV11	Pavimento Interior - Tipo 1	Cavé/Rés do chão	0,25
PV12	Pavimento Interior - Tipo 1	Rés do Chão/IP - Lavandaria	0,26

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m <sup>2</sup> )	btr	Udesc (W/m <sup>2</sup> ·°C)	URef (W/m <sup>2</sup> ·°C)	UMáx (W/m <sup>2</sup> ·°C)
PV11	Garagem		92,2	0,90	0,25	0,30	0,30
PV12	Lavandaria		3,2	0,60	0,26	0,50	1,20

Designação do Tipo de Solução	btr	Área Total (m <sup>2</sup> )	U Solução (W/m <sup>2</sup> ·°C)	U referência (W/m <sup>2</sup> ·°C)	U máximo (W/m <sup>2</sup> ·°C)
PV11	0,90	92,20	0,25	0,30	0,30
PV12	0,60	3,20	0,26	0,50	1,20

## Anexo 25 - Cálculo cobertura interior

### Coberturas Interiores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Cobertura Interior Tipo 1	Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo exterior

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (w/m <sup>2</sup> .°C)
CBI1	Cobertura Interior Tipo 1	PI/Arrumo	0,25

#### ENCHER APENAS PARA O CASO DE COBERTURAS EM DES

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m <sup>2</sup> )	Cor da cob. Exterior	Grau de ventilação (%)	Emissividade (%)	Udescendente (w/m <sup>2</sup> .°C)	btr	U (w/m <sup>2</sup> .°C)	UPef (w/m <sup>2</sup> .°C)	UMáx (w/m <sup>2</sup> .°C)
CBI1	Arrumo 1		32,24	Escura	Fracamente	Baixa	0,29	0,70	0,25	0,50	1,20
CBI1	Arrumo 2		34,55	Escura	Fracamente	Baixa	0,29	0,70	0,25	0,50	1,20

Designação do Tipo de Solução	btr	Área por btr (m <sup>2</sup> )	U Solução (w/m <sup>2</sup> .°C)	U referência (w/m <sup>2</sup> .°C)	U máximo (w/m <sup>2</sup> .°C)
CBI1	0,70	66,79	0,25	0,50	1,20

## Anexo 26 - Cálculo pontes térmicas lineares interiores

### Pontes Térmicas Lineares Interiores

TIPO DE LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Espaço não útil	Comp. b (m)	Cálculo de acordo com?	ψ calculado (w/m.°C)	Informações adicionais	Sistema de isolamento nas paredes	ψ (w/m.°C)	ψ corr (w/m.°C)
Fach. com pavimentos térreos	Garagem	11,13	Valores Tabelados			Exterior	0,70	0,50
Fachada com pavimento intermédio	Garagem	11,13	Valores Tabelados		Teto falso?	s/ teto falso	0,15	0,5
							-	-

Designação da Solução	Espaço não útil	btr	Tipo de Solução	Método	Comprimento (m)	ψ solução (w/m.°C)	ψ referência (w/m.°C)
PTL1	Garagem	0,9	Fachada com pavimentos térreos	Valores Tabelados	11,13	0,70	0,50
PTL2	Garagem	0,9	Fachada com pavimento de nível intermédio	Valores Tabelados	11,13	0,15	0,50

## Anexo 27 - Cálculo sistemas técnicos

### Sistemas Técnicos

Existem Sistema Técnicos?

O edifício dispõe de abastecimento de combustível líquido ou gasoso?

Os chuveiros ou sistemas de duche possuem certificado de eficiência hídrica com rótulo A ou superior?

Identificação do Sistema	Fonte de Energia	Tipo de Equipamento	Nº de unidades iguais	Marca	Classe	Modelo	Foi possível aceder ao equipamento?	Descrição Específica do Equipamento	Produção Total de Energia (kWh/ano)
Sistema 1	Electricidade	Split (ar-ar)	7						1634,58
Sistema 2	Gás Natural	Caldeira	1						
Sistema 3	Solar	Painel Solar Térmico	2						2809,00
Sistema 4	Biomassa	Salamandra	1						2615,66

O edifício tem exposição solar adequada?

Produtividade de referência (kWh/m<sup>2</sup>) 706,00

Electricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Identificação do Sistema	Função	Funcionamento (perfil de consumo)	Potência (kW)	Informação sobre eficiência?	Eficiência do Equipamento Nominal/Sazonal	Fracção servida (0 a 1)	Idade do sistema	Eficiência do Equipamento (0 a 6)	Eficiência de referência	EREN (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)	Perda Estática (GPR Solução) kWh/24h	Perda Estática (GPR Máximo) kWh/24h	Parcela das necessidades (0 a 1)
Sistema 1	Arefecimento		2,6		6,10	1,00		6,10	3,00	1634,58	332,27			1,00
Sistema 2	Águas Quentes Sanitárias	Durante todo o ano	24		0,91	1,00		0,91	0,89	-	178,63			0,05
Sistema 2	Aquecimento		24		0,91	0,74		0,91	0,89	-	7035,52			0,74
Sistema 4	Aquecimento		8		0,86	0,26		0,86	0,89	2615,66	2615,66			0,26
											-			-

Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica

Identificação do Sistema	Função	Potência (kW)	EREN (kWh/ano)	Parcela alocada à Função (0 a 1)	EREN ext (kWh/ano)	Área Total de Colectores (m <sup>2</sup> )	Produtividade (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade de referência (kWh/m <sup>2</sup> )	Produtividade (kWh/vp)	Caudal Médio (m <sup>3</sup> /s)	Rendimento Nominal Turbina	Rendimento Nominal Gerador	Parcela das necessidades (0 a 1)	Parcela das necessidades de energia eléctrica (0 a 1)
Sistema 3	Águas Quentes Sanitárias		2803,00	1,00		3,60	780,28						0,95	-
			-										-	-

## Anexo 28 - Balanço energético

Indicadores energéticos

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,25	69,05	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	9,20	10,15	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2372	2372	
Wm	Energia eléctrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		0,00	Nic/Nt 0,42
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	10778	2295	
Eren_AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2326	2295	Classe Energética
Eren_ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00	A
Nco	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/vp/m <sup>2</sup> .ano)	32,58	78,33	

## Anexo 29 - Necessidades de energia

### G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N <sub>c</sub> kWh/m <sup>2</sup> .ano	f <sub>i</sub>	δ	Eficiência Nominal η <sub>i</sub>	Factor de Conversão F <sub>pu</sub> kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de Energia Final f <sub>i</sub> .δ.N <sub>c</sub> /η <sub>i</sub> .A <sub>p</sub> kWh/ano	Necessidades de Energia Primária f <sub>i</sub> .δ.N <sub>c</sub> .F <sub>pu</sub> /η <sub>i</sub> kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema 1	Electricidade	39,25	1,00	1	4,60	2,5	1880,82	21,33
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		1	2,5	0,00	0,00
TOTAL							1880,82	21,33

### G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N <sub>vc</sub> kWh/m <sup>2</sup> .ano	f <sub>v</sub>	δ	Eficiência Nominal η <sub>v</sub>	Factor de Conversão F <sub>pv</sub> kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de Energia Final f <sub>v</sub> .δ.N <sub>vc</sub> /η <sub>v</sub> .A <sub>p</sub> kWh/ano	Necessidades de Energia Primária f <sub>v</sub> .δ.N <sub>vc</sub> .F <sub>pv</sub> /η <sub>v</sub> kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema 1	Electricidade	9,20	1,00	1	5,86	2,5	345,88	3,92
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		3	2,5	0,00	0,00
TOTAL							345,88	3,92

### G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS

$$\begin{aligned}
 & \text{consumo médio diário de referência } M_{a,cb} = 200 \text{ l} \\
 & \times \\
 & \text{I de ocupantes de cada fracção } n = 5 \text{ ocupantes} \\
 & \times \\
 & \text{factor de eficiência hídrica} = 1 \\
 & = \\
 & \text{médio diário de referência MAQS} = 200 \text{ l} \\
 & \times \\
 & \text{aumento de temperatura } \Delta T = 35 \text{ }^\circ\text{C} \\
 & \times \\
 & \text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} = 365 \text{ dias} \\
 & = \\
 & 3600000 \\
 & \div \\
 & A_p = 220,43 \text{ m}^2 \\
 & = \\
 & \text{Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS } Q_u/A_p = 13,48 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil Q <sub>u</sub> /A <sub>p</sub> kWh/m <sup>2</sup> .ano	f <sub>a</sub>	δ	Eficiência Nominal η <sub>s</sub>	Factor de Conversão F <sub>pus</sub> kWh <sub>EP</sub> /kWh	Necessidades de Energia Final f.δ.Q <sub>u</sub> /η <sub>s</sub> kWh/ano	Necessidades de Energia primária f.δ.Q <sub>u</sub> .F <sub>pus</sub> /η <sub>s</sub> kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .ano
Sistema 1	Electricidade	13,48	1,00	1	4,60	2,5	646,00	7,33
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		0,95	2,5	0,00	0,00
TOTAL							646,00	7,33