

Ferramenta de Auxílio ao Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

JOÃO PAULO CAMPELO QUEIRÓS

julho de 2018

FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

João Paulo Campelo Queirós



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2018

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: João Paulo Campelo Queirós, N.º 1110100, email_1110100@isep.ipp.pt

Orientação científica: Roque Filipe Mesquita Brandão, rfb@isep.ipp.pt

Empresa: Gintaqua, Instalações Sanitárias, Lda

Supervisão: Ricardo Manuel da Sousa Costa, email_ricardocosta@gintaqua.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2018

Resumo

Na atualidade os painéis fotovoltaicos são uma realidade que suscita cada vez mais o interesse dos consumidores de energia elétrica, tanto ao nível particular como industrial. Estes são uma energia renovável em constante evolução e com bastante importância para a descentralização da produção de energia elétrica.

Esta dissertação divide-se em dois tópicos, a saber: 1º desenvolvimento de um software de dimensionamento fotovoltaico para autoconsumo; 2º estudo de uma bomba de calor para águas quentes sanitárias.

O software irá permitir aos utilizadores, através da colocação de alguns *inputs* de fácil perceção, dimensionar um sistema fotovoltaico para autoconsumo, tanto a nível doméstico como industrial. O utilizador poderá ainda seleccionar se pretende que o dimensionamento fotovoltaico seja baseado nas suas faturas de energia elétrica ou através de analisadores de energia elétrica.

Sendo os gastos de energia elétrica para o aquecimento de águas quentes sanitárias uma preocupação para os seus utilizadores, este projeto tem o objetivo de reduzir esse consumo, através da junção de uma bomba de calor específica aos painéis fotovoltaicos. Pretende-se, com este estudo, produzir águas quentes sanitárias, através da energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos, sendo assim reduzidos os consumos de energia elétrica da Rede Elétrica de Serviço Público.

Palavras-Chave

Painéis Fotovoltaicos, Software, Eficiência, Bomba de Calor, Águas Quentes Sanitárias

Abstract

Nowadays, photovoltaic panels are a reality that is increasingly provoking the interest of electric energy consumers at both the private and industrial levels. These panels are a renewable energy in constant evolution and with important enough for the decentralisation of the production of electric energy.

My thesis is divided into two parts, namely: 1° the development of photovoltaic design software for self-consumption; 2° the development of heat pumps for sanitary hot water.

This software will allow users, through the placement of some inputs of easy perception, to size a photovoltaic system for self consumption, both domestically and industrially. You can also select whether you want the photovoltaic sizing to be based on your electricity bills or through electrical energy analysers.

Since electricity costs for hot water heating are a concern for its users, this project aims to reduce this consumption, by joining a specific heat pump to the photovoltaic panels. This study, intends to, produce hot sanitary water, through the electric energy produced by photovoltaic panels, thus reducing the electricity consumption of the Public Utility Electricity Network.

Keywords

Photovoltaic Panels, Software, Efficiency, Heat Pump, Sanitary Hot Water

Índice

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE TABELAS.....	XVII
ACRÓNIMOS.....	XIX
1. INTRODUÇÃO	21
1.1. Contextualização	22
1.2. Objetivos.....	22
1.3. Empresa.....	22
1.4. Calendarização	23
1.5. Organização do relatório	23
2. ESTADO DA ARTE.....	25
2.1. Energia Fotovoltaica.....	26
2.1.1. Tipo de Células Fotovoltaicas	26
2.1.1.1. Células de Silício Monocristalino.....	27
2.1.1.2. Células de Silício Policristalino.....	27
2.1.1.3. Células de Amorfo.....	28
2.2. Conceitos.....	28
2.3. Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro.....	30
2.4. Aplicações Fotovoltaicas em uso residencial	31
2.4.1. Autoconsumo Residencial	31
2.4.1.1. Monitorização e Controlo.....	32
2.4.1.2. Micro-inversores.....	32
2.4.2. Aplicações Fotovoltaicas em sistemas de aquecimento de uso residencial	34
2.4.2.1. Bomba de calor para AQS.....	34
2.4.2.2. Piso Radiante	36
2.4.2.3. Sistema de aquecimento da água da piscina.....	37
3. SOFTWARES DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO	39
3.1. Softwares.....	40
3.1.1. PV*SOL.....	41

3.1.1.1. Requisitos.....	41
3.1.1.2. Energia solar para veículos elétricos.....	42
3.1.1.3. Sistemas <i>Off-Grid</i>	42
3.1.1.4. Base de dados.....	43
3.1.1.5. Dados de radiação e temperatura.....	43
3.1.1.6. Visualização do projeto.....	44
3.1.1.7. Dimensionamento de cabos.....	44
3.1.1.8. Tarifas e Preços.....	45
3.1.1.9. Apresentação de resultados.....	46
3.1.2. PV SYST.....	47
3.1.3. Requisitos.....	48
3.1.4. Análise do sistema.....	48
3.1.4.1. Resultados.....	49
3.2. PVGIS.....	50
4. DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO FOTVOLTAICO.....	51
4.1. Ferramenta de apoio ao dimensionamento fotovoltaico.....	52
4.2. Radiação e temperatura.....	53
4.2.1. Dados recolhidos do PVGIS para o dimensionamento através de faturas.....	53
4.2.2. Dados recolhidos do PVGIS para o dimensionamento através de analisador de rede.....	54
4.3. Sombreamentos e área disponível.....	54
4.4. Métodos.....	54
4.4.1. Faturas de energia elétrica.....	54
4.4.2. Analisador de energia elétrica.....	55
4.5. Formulas utilizadas.....	56
4.5.1.1. Temperatura da célula.....	56
4.5.1.2. Potencial Térmico.....	57
4.5.1.3. Corrente inversa de saturação do díodo.....	57
4.5.1.4. Corrente de curto-circuito.....	57
4.5.1.5. Fator de idealidade do díodo.....	58
4.5.1.6. Corrente máxima.....	58
4.5.1.7. Potência máxima.....	58
4.6. Inversores.....	59
4.7. Painéis fotovoltaicos.....	61
4.8. Rentabilidade.....	62
4.9. Descrição de utilização.....	63
4.9.1. Capa.....	63
4.9.2. Informações.....	64

4.9.3. Escolha do método de Cálculo	64
4.9.4. Local da instalação	65
5. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA INFORMÁTICA	67
5.1. Caso Prático de autoconsumo	68
5.1.1. Faturas.....	69
5.1.2. Analisador de energia	70
5.2. Resultados.....	70
5.2.1. Faturas.....	70
5.2.2. Analisador de energia	72
5.3. Comparação dos resultados	73
6. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA INFORMÁTICA - CASO DE ESTUDO DE UMA BOMBA DE CALOR	75
6.1. Caso de estudo.....	76
6.2. Bomba de calor – Desenvolvida.....	76
6.2.1. Princípio de funcionamento da bomba de calor desenvolvida.....	77
6.2.2. Características técnicas da bomba de calor desenvolvida.....	78
6.2.3. Esquema elétrico	79
6.2.4. Sistema de controlo de radiação	79
6.3. Cenário de comparação de consumos elétricos	81
6.3.1. Bomba de calor de calor – Tipo I	82
6.3.2. Sistema de bomba de calor desenvolvida	84
6.4. Estudo económico-financeiro	88
6.4.1. Análise do Investimento	90
7. CONCLUSÃO	93
8. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	95

Índice Figuras

Figura 1 - Processo de fabrico de módulos fotovoltaicos	26
Figura 2 - Células de silício monocristalino	27
Figura 3 - Células de silício policristalino	27
Figura 4 - Células de silício de amorfo	28
Figura 5 - Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica	28
Figura 6 - Monitorização e controlo de sistemas de autoconsumo [3]	32
Figura 7 - Micro-inversor 250W [3]	33
Figura 8 – Princípio de funcionamento de uma bomba de calor [5]	35
Figura 9 - Piso radiante hidráulico	36
Figura 10 – Sistema fotovoltaico para sistema com veículos elétricos - <i>PV*SOL</i> [6]	42
Figura 11 – Sistemas isolados - <i>PV*SOL</i> [6]	42
Figura 12 – <i>MeteoSyn</i> – <i>PV*SOL</i> [6]	43
Figura 13 – <i>Photo Plan</i> – <i>PV*SOL</i> [6]	44
Figura 14 – Tarifas - <i>PV*SOL</i> [6]	45
Figura 15 – Apresentação de resultados – <i>PV*SOL</i> [6]	46
Figura 16 – <i>PVSyst</i> [7]	47
Figura 17 – Curvas – <i>PVsyst</i> [7]	48
Figura 18 – Resultados – <i>PVsyst</i> [7]	49

Figura 19 – <i>PVGIS</i>	50
Figura 20 – Dados de temperatura e irradiação	53
Figura 21 – Exemplo de um analisador de energia elétrica	55
Figura 22 - Exemplo de cálculo do simulador	62
Figura 23 - Cash-Flow acumulado para a instalação	63
Figura 24 – Capa do software desenvolvido	63
Figura 25 - Escolher tipo de dados de consumos de energia elétrica	64
Figura 26 – Simulação do software desenvolvido na escolha da zona geográfica	65
Figura 27 – Esquema unifilar fotovoltaico da empresa em estudo	68
Figura 28 – Analisador de energia elétrica	70
Figura 29 – Consumos e preços inseridos no software	70
Figura 30 – Resultados, Caso Prático – faturas	71
Figura 31 - Dados introduzidos no simulador, consumos de 2º feira	72
Figura 32 – Resultado do simulador para um dia do mês de abril	73
Figura 33 - Bomba de calor desenvolvida	76
Figura 34 - Princípio de funcionamento da Bomba de calor desenvolvida	77
Figura 35 - Esquema elétrico da Bomba de Calor – Tipo I	79
Figura 36 - Perfis de consumo [4]	81
Figura 37 - Bomba de calor – Tipo I [4]	82
Figura 38 - Consumo da bomba de calor – Tipo I	83
Figura 39 - Etiqueta energética da Bomba de calor Tipo I [4]	83

Índice Tabelas

Tabela 1 – SERUP (Sistema Eletrónico de Registo das Unidades de Produção)	31
Tabela 2 - Inversores Monofásicos	59
Tabela 3 - Inversores Trifásicos	60
Tabela 4 – Principais características dos Painéis Fotovoltaicos utilizados	61
Tabela 5 - Consumos anuais da empresa - Faturas	69
Tabela 6 - Resultados do simulador	71
Tabela 7 - Resultados do simulador	72
Tabela 8 - Comparação de resultados	73
Tabela 9 - Características técnicas	78
Tabela 10 - Ativação do contacto seco para 4 painéis fotovoltaicos da marca Luxor Ecoline 260P, zona de Braga	80
Tabela 11 - Ativação do contacto seco para 6 painéis fotovoltaicos da marca Luxor Ecoline 260P, zona de Braga	80
Tabela 12 – Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em agosto	85
Tabela 13 - Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em dezembro	87
Tabela 14 - Consumos anuais de sistema de AQS	89
Tabela 15 – Poupanças dos sistemas ao longo dos anos	89
Tabela 16 - Analise Económico-financeira	90

Acrónimos

AQS - Águas Quentes Sanitárias

COP - Coeficiente de Performance

MPTT - Maximum Power Point Tracking

PB – PayBack

PPA – Power Purchase Agreement

PVP - Preço de Vendas ao Público

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

SERUP – Sistema Eletrónico de Registo das Unidades de Produção

STC - Standard Test Conditions

TIR - Taxa Interna de Rentabilidade

UPAC - Unidade de Produção de Autoconsumo

VAL - Valor Atualizado Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O tema desta dissertação surgiu da introdução de uma nova área de negócios na empresa, Gintaqua – Instalações Sanitárias. Esta nova atividade seria a introdução da venda e instalação de painéis fotovoltaicos a nível doméstico e industrial. Por vezes, o dimensionamento de projetos fotovoltaicos a nível industrial torna-se bastante complexo, havendo a necessidade de se recorrer a ferramentas de dimensionamento. Dito isto, houve a necessidade de se desenvolver uma ferramenta informática de apoio ao projeto fotovoltaico, para se reduzir os erros associados ao dimensionamento.

Sendo a empresa instaladora de Sistemas de Águas Quentes Sanitárias (AQS), surgiu a ideia de se acoplar uma bomba de calor de AQS a alguns painéis fotovoltaicos, tornando assim, este sistema, mais eficiente.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem dois objetivos principais: 1º o desenvolvimento de uma ferramenta informática de apoio ao dimensionamento fotovoltaico; 2º o desenvolvimento de um sistema de AQS com reduzidos consumos de energia da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), aplicando a ferramenta informática desenvolvida.

1.3 EMPRESA

Esta Tese foi desenvolvida em colaboração com a empresa Gintaqua – Instalações Sanitárias, Lda, sediada em Gavião no concelho de Vila Nova de Famalicão. O pressuposto da empresa assenta no fornecimento de serviços especializados, modernos e ecológicos no ramo da instalação de equipamentos de climatização e instalação de redes de águas prediais, pluviais e residuais. A empresa disponibiliza de uma equipa motivada, competente, inovadora, empenhada e em permanente atualização.

A base de negócio da empresa assenta em três fatores, nomeadamente, a confidencialidade, integridade e disponibilidade.

1.4 CALENDARIZAÇÃO

Este projeto foi aceite no dia 23/11/2016 e teve a duração de 12 meses. Inicialmente, foi estabelecido estudar-se alguns *softwares* de dimensionamento fotovoltaico e o *Decreto-Lei n° 153/2014 de 20 de outubro*. Posteriormente, foi iniciado o desenvolvimento do software de dimensionamento fotovoltaico, que teve a duração de cerca de 6 meses. Juntamente com a realização do software, foi estudado e desenvolvido um sistema eficiente de AQS. Por fim, reunidos todos estes pontos, iniciou-se a realização do relatório final.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório divide-se em 7 capítulos. O capítulo 1 refere-se à introdução. O capítulo seguinte refere-se ao estado de arte. No capítulo 3 são apresentados alguns *softwares* de dimensionamento fotovoltaico existentes. O capítulo 4 apresenta a ferramenta desenvolvida de dimensionamento fotovoltaico. Seguidamente, no capítulo 5 é aplicado o *software* desenvolvido a um caso prático. O capítulo 6 apresenta a aplicação do software ao desenvolvimento de uma bomba de calor eficiente. Por último, o capítulo 7 relata as conclusões retiradas desta dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Hoje em dia, uma falha de energia elétrica prolongada seria desastrosa para a vida humana, pois poderia resultar numa perda dos bens de consumo básicos. Com o aumento dos preços das energias não renováveis, cada vez mais as empresas têm vindo a apostar em energias alternativas. Em função dos problemas mundiais em volta dos recursos que utilizamos para produzir energia elétrica, as energias renováveis são uma solução alternativa a considerar. A energia solar já há muitos anos que é utilizada pelo Homem, mas só em 1876 é que se deu a verdadeira revolução quando se criou a primeira célula fotovoltaica [1].

A instalação de painéis fotovoltaicos pode ser motivada por vários fatores, nomeadamente locais onde a rede de energia elétrica seja pouco fiável ou não exista, por questões económicas ou ambientais.

Portugal é um dos países da Europa com melhores condições de energia solar, dispondo de um número médio de 2200 a 3000 horas de sol por ano no continente e entre 1700 e 2200 horas de sol nas ilhas (Açores e Madeira). A média da irradiação solar global na zona de Trás os Montes é cerca de 1400 kWh/m² e 1700 kWh/m² no Algarve [2].

2.1.1 TIPO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Um dos desafios com maior dificuldade a nível das células fotovoltaicas é descobrir componentes que aumentem significativamente o seu grau de eficiência. Atualmente no mercado existem três tipos de células fotovoltaicas, que variam com o seu método de fabrico.



Figura 1 - Processo de fabrico de módulos fotovoltaicos

2.1.1.1 CÉLULAS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO

Os painéis fotovoltaicos constituídos por células de silício monocristalino formam-se a partir de barras cilíndricas de silício puro. Estas barras são cortadas em forma de pastilha quadrada e apresentam uma espessura muito fina (cerca de 0,4 – 0,5 mm). Estas células apresentam uma elevada eficiência com valores situados entre 15 a 18% [1]. Verifica-se que apesar da eficiência de conversão da luz em energia elétrica ser elevada, apresentam um custo de produção elevado, tornando este produto bastante caro no mercado.



Figura 2 - Células de silício monocristalino

2.1.1.2 CÉLULAS DE SILÍCIO POLICRISTALINO

As células de silício policristalino são produzidas a partir da fusão de partes de silício puro em moldes especiais. Estes moldes permitem que o silício arrefeça lentamente e solidifique, formando assim várias estruturas policristalinas, visto que, os átomos neste processo não se organizam num único cristal. A sua eficiência comparativamente com as células monocristalinas é menor, apresentando resultados de 13 a 15% [1]. Estas células fotovoltaicas apresentam baixo custo de produção, visto que, a quantidade de silício utilizado para a fabricação das células é menor, que comparativamente com as células monocristalinas.

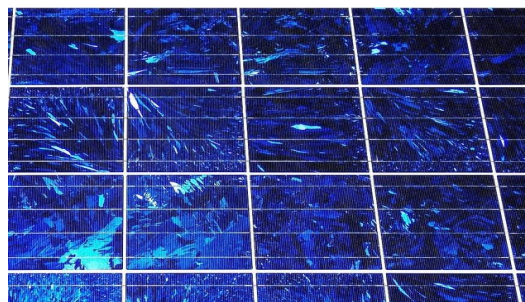


Figura 3 - Células de silício policristalino

2.1.1.3 CÉLULAS DE AMORFO

Estas células são produzidas a partir da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Estas células apresentam valores de eficiência de conversão da luz em eletricidade muito baixos, com valores entre 5 a 7% [1]. Este tipo de células apresentam um preço de custo baixo, que comparativamente com as células acima referidas, devido ao facto de apresentarem um processo de fabrico relativamente simples. Em contrapartida, estas células apresentam como desvantagem a baixa eficiência de conversão e o facto de as células se degradarem rapidamente, reduzindo assim significativamente a sua eficiência ao longo da sua vida útil.



Figura 4 - Células de silício de amorfo

2.2 CONCEITOS

As grandezas inerentes às células de um painel fotovoltaico podem ser explicadas através de um modelo matemático simplificado, representado pelo seguinte esquema elétrico.

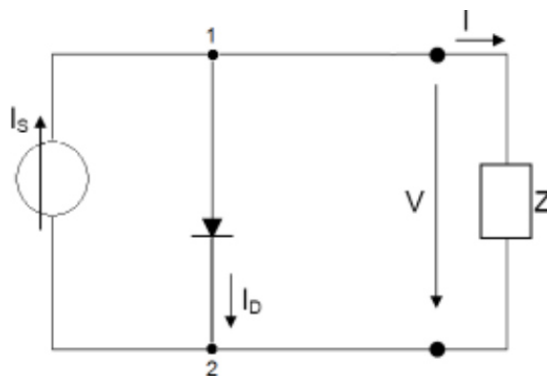


Figura 5 - Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica

A corrente gerada pela fonte I_s , representa a corrente produzida pelos painéis fotovoltaicos, que é unidirecional e apresenta valores constantes para valores de radiação incidente constantes.

A junção p-n da célula fotovoltaica é representada pelo diodo presente no esquema elétrico, que é atravessada pela corrente I_d , que depende da tensão aos terminais da célula. Com a passagem desta corrente pelo diodo é possível deduzir a seguinte fórmula:

$$I_d = I_0 * (e^{\frac{V}{m \cdot V_t}} - 1) \quad (1)$$

Nesta fórmula está representada a corrente inversa máxima de saturação do diodo (I_0), a tensão aplicada aos terminais do diodo (V), o fator de idealidade do diodo (m) e o potencial térmico (V_t).

Um dos conceitos importantes das células fotovoltaicas é a corrente de curto-circuito, que representa a máxima corrente que uma célula fotovoltaica pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e temperatura para um valor de tensão nula. Outro conceito importante é a tensão de curto-circuito aberto que representa o valor máximo de tensão que uma célula pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e temperatura para uma corrente nula. O valor de corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto são características descritivas de cada painel fotovoltaico, que são fornecidas pelos fabricantes, para determinadas condições de temperatura e radiação. A estas condições aplica-se o nome de STC (*Standard Test Conditions*).

Através da ficha técnica dos painéis fotovoltaicos fornecida pelos fabricantes é possível obter-se o fator de idealidade do diodo, cuja a expressão é dada por:

$$m = \frac{V_{max\ r} - V_{CA\ r}}{V_t\ r * \ln \left(1 - \frac{I_{max\ r}}{I_{cc\ r}} \right)} \quad (2)$$

- m - Fator de idealidade do diodo;
- $V_{max\ r}$ - Tensão máxima de referência (V);
- $V_{CA\ r}$ - Tensão de circuito aberto de referência (V);
- $V_t\ r$ - Potencial térmico de referência;
- $I_{max\ r}$ - Corrente máxima de referência (A);
- $I_{cc\ r}$ - Corrente de curto-circuito de referência (A).

2.3 DECRETO-LEI N.º 153/2014 DE 20 DE OUTUBRO

Em Portugal, a realidade fotovoltaica foi recentemente mudada com a introdução do *Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro*. Este decreto tem o objetivo de tornar as instalações autossustentáveis e menos dependentes da rede elétrica. O objetivo do autoconsumo é a adequação da capacidade de produção dos painéis fotovoltaicos aos consumos do utilizador, minimizando a injeção de energia na rede.

Este Decreto-Lei define que a potência de ligação da Unidade de Produção seja menor ou igual a 100% da potência contratada e, tratando de uma Unidade de Produção de Auto - Consumo (UPAC) a potência instalada não seja superior a duas vezes a potência de ligação.

O autoconsumo foi introduzido de forma a garantir que as novas instalações sejam dimensionadas para fazer face às necessidades de consumo verificadas no local e, assim, evitar o sobredimensionamento das centrais de produção.

2.4 APLICAÇÕES FOTOVOLTAICAS EM USO RESIDENCIAL

2.4.1 AUTOCONSUMO RESIDENCIAL

Atualmente, como os preços de venda de energia elétrica são bastante reduzidos, a instalação de painéis fotovoltaicos em residências tende para o autoconsumo sem injeção na Rede de Elétrica de Serviço Público (RESP). Assim sendo, deve dimensionar-se a instalação fotovoltaica para o seu perfil de cargas.

Com a introdução do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, o mercado ajustou-se à legislação e introduziu novos *kit's* fotovoltaicos com potências entre 250 e 1500 W para uso residencial, de modo, a eliminar o pagamento de registos e taxas à Direção Geral de Energia e Geologia.

Tabela 1 – SERUP (Sistema Eletrónico de Registo das Unidades de Produção)

	<200w	200-1500 W	1,5k W – 1MW	> 1MW	“em ilha”
Registo	-	Mera comunicação prévia	Controlo Prévio / Cert. Exploração	Licença de Exploração	Mera comunicação prévia
Taxas Registo	-	isento	✓	✓ aplicável ao respectivo regime	Isento
Equipamento de Contagem	-	-	Sim. Com Telecontagem	Sim. Com Telecontagem	-
Remuneração excedente (“Pool”)	- (apenas se existir registo)	- (apenas se existir registo)	✓	- (Terá de ser definida com contraparte)	-
PPA	- (CUR caso exista registo)	- (CUR caso exista registo)	CUR	Outro	-
Compensação	isento	isento	✓	✓	-
Seguro. Resp. Civil	-	-	✓	✓	-

Através da análise do perfil de consumo do utilizador, seja através das faturas ou analisadores de energia elétrica, consegue-se dimensionar o sistema fotovoltaico. No caso de a potência a instalar ser superior a 1500 W, deve-se ponderar o pagamento dos registos e taxas, de modo, a verificar a viabilidade do projeto.

2.4.1.1 MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Quando se trata de uma UPAC sem injeção na RESP (eliminando/ reduzindo o pagamento de taxas), o produtor deve garantir que o excedente da energia elétrica produzida pela instalação fotovoltaica não é injetado na RESP.

Existem vários sistemas de controlo e monitorização de energia para sistemas de autoconsumo, que apresentam várias funções, sendo uma delas a injeção zero na RESP. Estes tipos de controladores são compatíveis com a maior parte dos inversores do mercado e de fácil instalação.

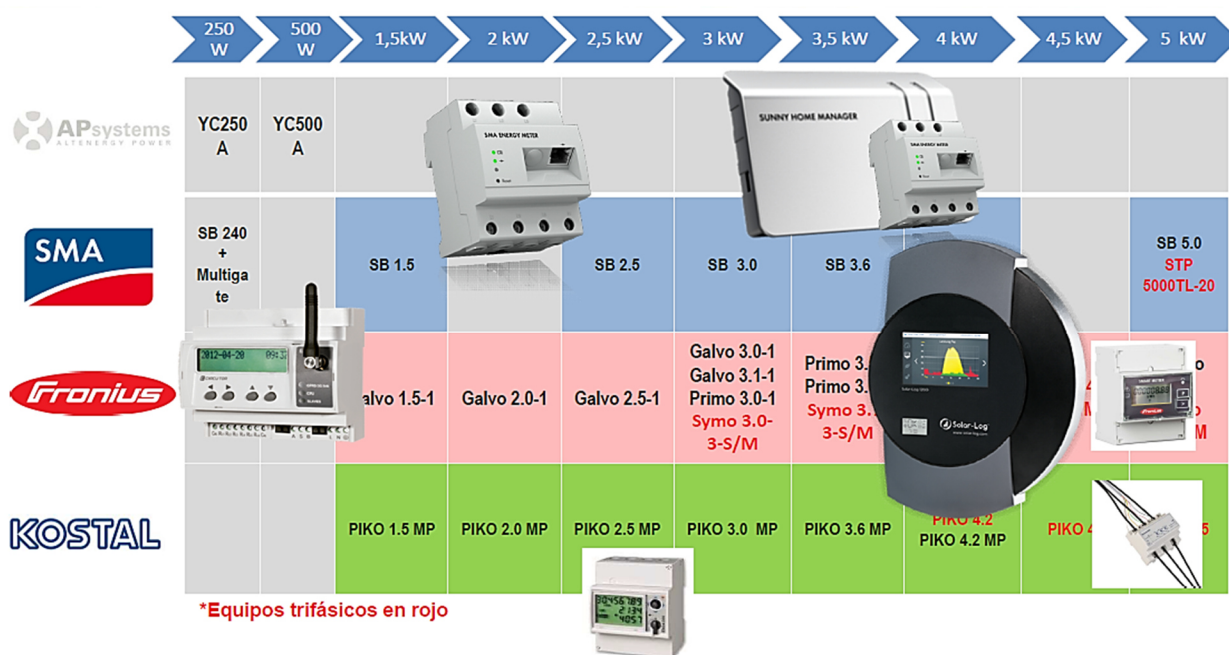


Figura 6 - Monitorização e controlo de sistemas de autoconsumo [3]

2.4.1.2 MICRO-INVERSORES

Progressivamente as instalações de sistemas fotovoltaicos tendem a integrar um inversor por cada painel fotovoltaico. Este tipo de instalações tem permitido aos instaladores identificar várias vantagens, tornando assim as instalações mais fiáveis, inteligentes e eficientes.

A potência produzida pelo sistema fotovoltaico varia com determinadas condições ambientais, como a temperatura e a radiação. Para se conseguir produzir a máxima potência dos painéis fotovoltaicos, em função das condições ambientais, os inversores são equipados com um sistema eletrónico, designado por *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*, que ajusta a tensão de saída do painel,

permitindo obter-se a máxima potência possível. Através de micro-inversores consegue-se obter o *MPPT* de cada painel fotovoltaico individualmente, ao contrário de um sistema com um único inversor para vários painéis fotovoltaicos, aumentando, assim, significativamente a eficiência do sistema.



Figura 7 - Micro-inversor 250W [3]

Sistemas tradicionais, em que os painéis fotovoltaicos estão ligados em série, isto implica que, quando um ou mais painéis fotovoltaicos apresentar sintomas de sombreamento, todo o sistema será prejudicado. Através de micro inversores isolamos a produção de cada painel fotovoltaico, eliminando-se a possibilidade de afetar o resto do sistema e, deste modo, analisar a eficiência de cada painel e identificar problemas.

Ao contrário de instalações em que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos se concentra num único inversor, através de micro-inversores consegue-se trabalhar com tensões mais reduzidas evitando-se a formação de arcos, protegendo deste modo o instalador (por exemplo, a tensão de entrada para o inversor *KOSTAL PIKO 17* poderá ir até 1000V, enquanto para o micro-inversor *APS250* poderá ser no máximo 55V) [3].

Como cada painel fotovoltaico funciona de modo independente isto permite a instalação de painéis fotovoltaicos, no mesmo sistema, de marcas e modelos diferentes. A única desvantagem é que este tipo de instalações apresentam um investimento inicial mais alto, mas que deixa de ser uma desvantagem ao longo dos anos, pois estima-se que aumente o rendimento do sistema entre 5% a 25% [3].

2.4.2 APLICAÇÕES FOTOVOLTAICAS EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE USO RESIDENCIAL

A aplicação de sistemas fotovoltaicos, deve ser dimensionado para eliminar os consumos excessivos de determinados equipamentos elétricos. Cada vez mais, grande parte do valor a pagar da fatura de energia elétrica, em residências, é derivada dos consumos de equipamentos de aquecimento e uma grande preocupação para os seus utilizadores.

2.4.2.1 BOMBA DE CALOR PARA AQS

A bomba de calor para as Águas Quentes Sanitárias (AQS) é um sistema que tem como objetivo a produção de águas quentes para sistemas sanitários. É uma solução moderna e eficiente e com reduzidos consumos de energia elétrica. A bomba de calor é um sistema 3 vezes mais eficiente que os esquentadores e termoacumuladores atuais, ganhando assim cada vez mais importância no mercado de AQS [4].

A bomba de calor permite, no inverno, com temperaturas exteriores de até -5°C , garantir a temperatura da água até 55°C [4].

Este tipo de equipamento apresenta vários tipos de modos de funcionamento, variando com a marca e modelo associado.

Um parâmetro fundamental em análise de sistemas de refrigeração é o coeficiente de performance (COP). Este coeficiente é a capacidade de a bomba de calor produzir calor através da potência consumida pelo compressor, sendo a razão entre o calor retirador pelo evaporador e o trabalho realizado pelo compressor.

A bomba de calor é constituída por um circuito frigorífico no qual circula um fluido (normalmente no caso de bombas de calor para AQS o gás R314a) que passa por várias etapas e que proporciona transferências de calor.

Este fluido é bombeado para um evaporador em estado líquido, onde, através de um ventilador, absorve a energia do ambiente, alterando o estado do fluido para gasoso (gás a baixa pressão e temperatura). Seguidamente, este fluido passará por um compressor, que tem como finalidade elevar a temperatura e pressão do fluido. A elevada temperatura, este gás segue para um permutador (condensador) que estará no interior de um depósito com água sendo assim o calor permutado para a

água. Após este acontecimento, o fluido passa do estado gasoso para líquido, reduzindo a sua temperatura. Seguidamente o fluido arrefecido passa por uma válvula de expansão que reduz a pressão do fluido e onde recomeça todo o processo [4].

Em paralelo a este circuito frigorífico existe uma resistência elétrica mergulhada no depósito de água, que permite elevar a temperatura da água com maior rapidez, comparativamente ao circuito frigorífico. Normalmente, esta resistência elétrica é acionada quando existe a necessidade de elevar a temperatura da água rapidamente ou a temperaturas que o circuito frigorífico não permite.

Para diminuir os consumos de energia elétrica da bomba de calor, poderá ser acoplado alguns painéis fotovoltaicos, que diminuirá significativamente estes consumos de energia elétrica à RESP. No capítulo 6, será estudado um caso-tipo da junção de uma bomba de calor com painéis fotovoltaicos, e demonstrado os seus benefícios.

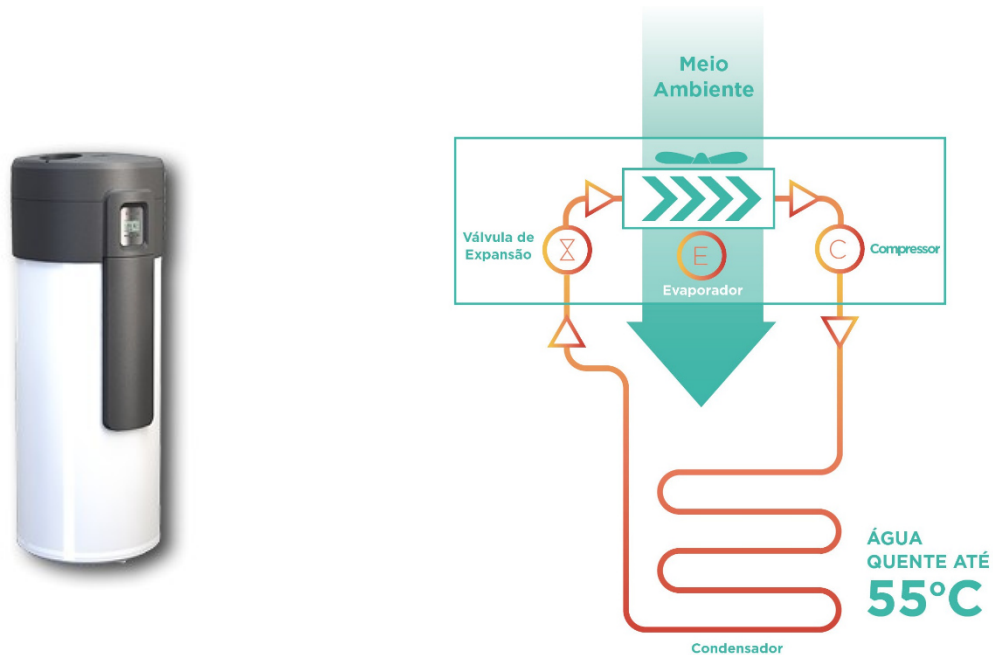


Figura 8 – Princípio de funcionamento de uma bomba de calor [5]

2.4.2.2 PISO RADIANTE

O piso radiante é o sistema de aquecimento ou arrefecimento mais limpo, silencioso, confortável e saudável existente atualmente. Neste tipo de sistemas, ao contrário de outros (como por exemplo o ar condicionado), o ar é aquecido ou arrefecido sem a circulação do ar, que evita o movimento dos ácaros do pó, sendo assim, um sistema muito saudável para os seus utilizadores.

O seu modo de funcionamento permite uma uniformização do aquecimento ou arrefecimento do ar, permitindo assim, sentir-se um conforto térmico notável.

Este sistema proporciona uma maior liberdade estética, pois os equipamentos são instalados dentro do pavimento, ao contrario, de todos os outros sistemas de climatização.

Existem dois tipos de piso radiante, nomeadamente, o elétrico ou hidráulico.

No caso do piso radiante elétrico, este sistema é aquecido através de resistência elétricas instaladas normalmente por debaixo do pavimento final. Este sistema será ligado diretamente ao quadro principal ou parcial da instalação, comandado por termostatos.

O piso radiante hidráulico, poderá ser instalado no teto ou no chão, dependendo se é um sistema para aquecer ou arrefecer o espaço.

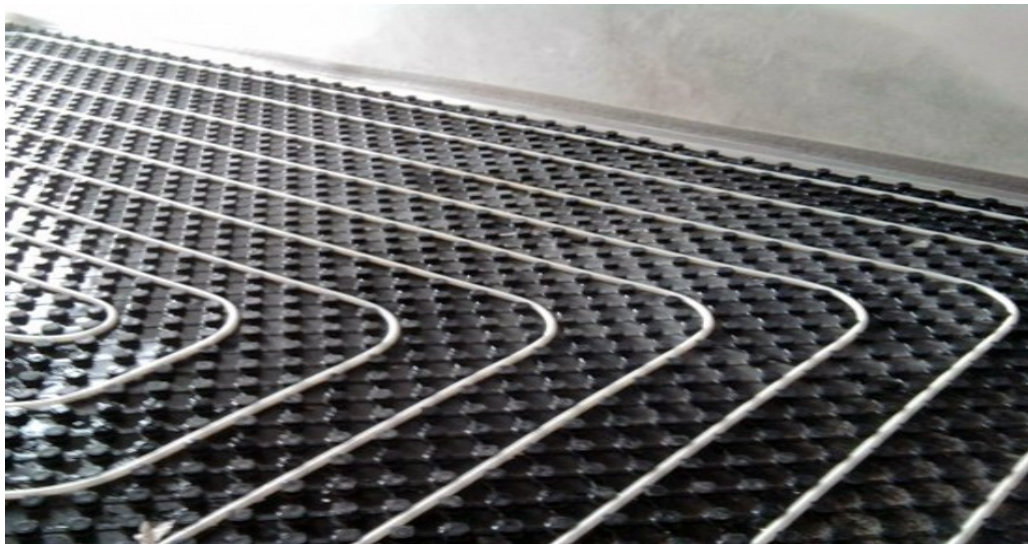


Figura 9 - Piso radiante hidráulico

O sistema funciona através da circulação da água pelas tubagens instaladas no local. As tubagens normalmente utilizadas para este tipo de sistemas, podem ser constituídas por PEX-a (polietileno reticulado) ou AL-PERT. Existem vários tipos de sistemas para aquecer ou arrefecer a água que passará nas tubagens. O sistema mais aconselhado pelos instaladores atualmente, é a bomba de calor, por ser um sistema económico e eficiente. Este tipo de bomba de calor, apresenta o mesmo princípio de funcionamento da bomba de calor de AQS, explicado no ponto 2.3.2.1 deste relatório.

No caso de se optar pelo sistema de piso radiante elétrico, ou o hidráulico aquecido/ arrefecido através da bomba de calor, ambos os sistemas consomem energia elétrica, que poderá ser uma parte muito significativa da fatura de energia elétrica. Por este motivo, poderão ser dimensionados determinados sistemas fotovoltaicos, de modo, a diminuir significativamente os consumos à RESP.

2.4.2.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO DA ÁGUA DA PISCINA

Este sistema é utilizado para elevar a temperatura da água da piscina à temperatura desejável, permitindo assim uma utilização mais frequente e confortável da piscina. Existem vários tipos de sistemas para aquecer a água da piscina, a saber: aquecimento solar, aquecimento por bombas de calor, aquecimento elétrico, aquecimento a gás ou aquecimento a lenha.

Apesar da diversidade de sistemas apresentados para o aquecimento de piscinas, a bomba de calor é o sistema mais eficiente e utilizado. Este permite aquecer ou arrefecer a água da piscina, durante todo o ano, de forma silenciosa e com baixos consumos de energia, comparativamente, com os outros sistemas apresentados. Esta bomba de calor, apresenta o mesmo princípio de funcionamento da bomba de calor de AQS, explicado no ponto 2.3.2.1 deste relatório.

De modo a otimizar-se a utilização da bomba de calor, poderá ser aconselhado a instalação de painéis fotovoltaicos, em situações em que a piscina seja maioritariamente utilizada no verão (época do ano com maior radiação solar) para se reduzir os consumos de energia elétrica da bomba de calor à RESP.

3. SOFTWARES DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

3.1 SOFTWARES

A instalação de sistemas fotovoltaicos isolados ou ligados à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) serão sempre soluções que devem ser cuidadosamente estudadas e dimensionadas. É importante referir que cada inversor apresenta o seu ponto máximo de potência em função do nível de radiação e temperatura. Os módulos fotovoltaicos têm de ser ligados ao inversor corretamente de modo que todo o sistema seja compatível. Por estes motivos, é importante dimensionar corretamente todas as instalações fotovoltaicas, estabelecendo as melhores configurações para o projeto, de modo a permitir obter-se a maior eficiência possível. Por vezes, para se obter a melhor resposta para as situações descritas, os métodos empíricos não são suficientes, existindo a necessidade de se recorrer a softwares de apoio.

Com o passar dos tempos, houve uma evolução deste tipo de ferramentas de apoio para instalações fotovoltaicas, com o objetivo de facilitar o seu dimensionamento e diminuir os erros associados. Existe uma infinidade deste tipo de softwares que permitem realizar diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos. Os resultados apresentados por estas ferramentas são fundamentais para apresentação da eficiência global do projeto, isto é, apresentação da previsão da energia elétrica produzida e a sua viabilidade económica. Apesar destes softwares permitirem realizar o projeto completo é importante referir que é necessário o conhecimento de um técnico qualificado para introduzir corretamente os dados pedidos por estas ferramentas para que se obtenha uma solução possível.

É importante escolher um software em função das necessidades do projeto e caracterizá-lo corretamente. Uma escolha errada do software ou a colocação de dados errados poderá prejudicar o projeto a nível do dimensionamento. A introdução de dados errados acontece, naturalmente, em softwares complexos e em utilizadores sem experiência.

Existem muitos softwares que podem ajudar e facilitar o dimensionamento fotovoltaico. É importante referir que, associado a cada marca de inversores, normalmente está associado um software que permite estudar a viabilidade do projeto em termos de configuração. Neste subcapítulo, serão apresentados alguns softwares de apoio que poderão ajudar qualquer técnico com formação na área.

3.1.1 PV*SOL

O software *PV*SOL* foi desenvolvido pela empresa *Di Valentim Energy* com o objetivo de projetar sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede, com elevada precisão. Esta ferramenta permite dimensionar sistemas fotovoltaicos com base em perfis de carga medidos entre 1 a 15 minutos ou através de faturas de energia elétrica.

Após a introdução dos dados pedidos pelo software, a configuração em modo automático é capaz de fornecer, em segundos, todas as combinações possíveis para um sistema fotovoltaico, com um máximo de 100.000 módulos [6]. Esta ferramenta permite simular sistemas com vários módulos fotovoltaicos com diferentes orientações e inclinações, e permite selecionar vários tipos de inversores e módulos de marcas e modelos diferentes.

Pode-se, facilmente, dimensionar um sistema fotovoltaico com armazenamento da energia elétrica com baterias, de diferentes tipos e modelos. Este simulador permite calcular, com elevada fiabilidade as taxas de Auto Eficiência do sistema.

O software permite ao utilizador decidir se pretende configurar os módulos fotovoltaicos com um inversor ou escolher um inversor para cada módulo fotovoltaico ou combinar ambos os casos.

3.1.1.1 REQUISITOS:

Este software apresenta os seguintes requisitos [6]:

- Acesso à internet;
- Processador: Pentium PC de 1,5 GHz;
- Memória: 3 GB;
- Unidade de disco rígido: 800 MB;
- Resolução do monitor: pelo menos 1.024 x 768 pixels;
- Sistema operativo: Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows 10;
- Gráficos: compatível com DirectX (pelo menos Vers. 9.0c), 128 MB, OpenGL, Microsoft .Net Framework 4.0 Redistributable Package.

3.1.1.2 ENERGIA SOLAR PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

O software *PV*SOL* permite ao utilizador dimensionar sistemas fotovoltaicos com base nos consumos eléctricos de um carro. Para isso o utilizador deverá introduzir os quilómetros que faz por dia, e o software dimensionará o sistema fotovoltaico necessário.

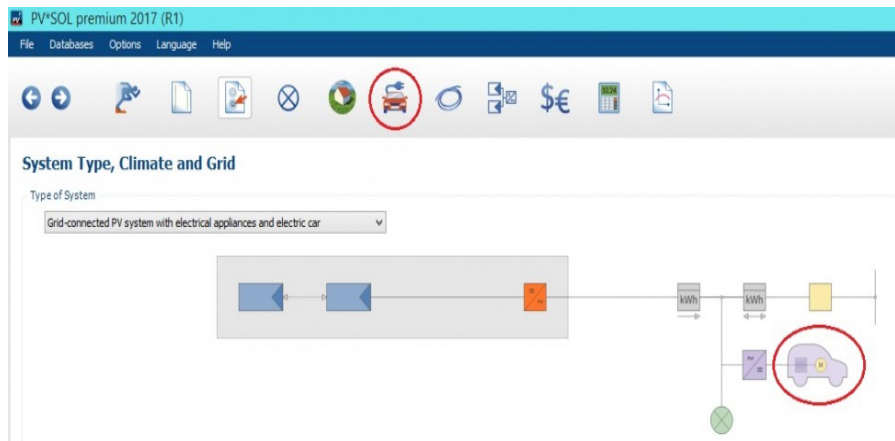


Figura 10 – Sistema fotovoltaico para sistema com veículos eléctricos - *PV*SOL* [6]

3.1.1.3 SISTEMAS *OFF-GRID*

Com o novo design para sistemas *off-grid* o software permite simular projetos fotovoltaicos para sistemas isolados da rede. Neste tipo de sistemas são calculados os módulos fotovoltaicos, o inversor e as baterias necessárias consoante as necessidades dos perfis de carga do cliente.



Figura 11 – Sistemas isolados - *PV*SOL* [6]

3.1.1.4 BASE DE DADOS

Este software apresenta uma base de dados bastante completa com cerca de 14.500 módulos fotovoltaicos e 3.500 conjuntos de inversores que são continuamente atualizados [6]. Os dados são colocados on-line diretamente pelos respetivos fabricantes.

3.1.1.5 DADOS DE RADIAÇÃO E TEMPERATURA

Este software utiliza dados das condições climáticas do *MeteoSyn*, que contém cerca de 450 conjuntos de dados do Serviço Meteorológico Alemão, para a Alemanha entre o período de 1981-2010, bem como mais de 8.000 conjuntos de dados globais, com base no *Meteonorm 7.0* no período de 1986 a 2005 [6]. O software permite, facilmente, seleccionar os dados climáticos através de um mapa interativo. Existe a possibilidade de se criar novos dados climáticos, seja por interpolação a partir de valores de medição existentes, seja com base nos próprios valores medidos pelo utilizador.

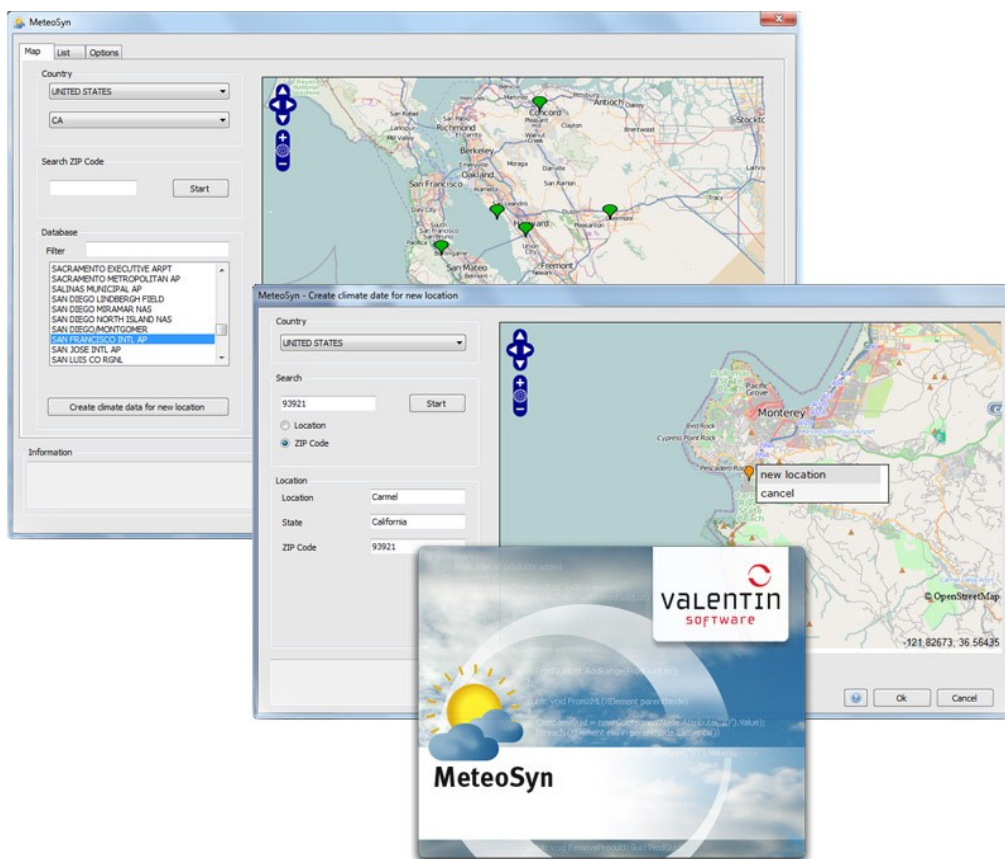


Figura 12 – MeteoSyn – PV*SOL [6]

3.1.1.6 VISUALIZAÇÃO DO PROJETO

O software permite configurar a representação do sistema fotovoltaico com símbolos padronizados com a possibilidade de ser exportado no formato *DXF*.

O software permite ao utilizador visualizar o seu projeto em modo 3D através do programa de dimensionamento de fotos integrado pelo *Photo Plan*.



Figura 13 – *Photo Plan – PV*SOL* [6]

3.1.1.7 DIMENSIONAMENTO DE CABOS

O software permite, facilmente, dimensionar a cablagem e proteções necessárias para o sistema fotovoltaico e apresentar resultados fidedignos com as perdas totais dos cabos. Para se dimensionar corretamente a cablagem necessária para o sistema fotovoltaico, deve-se introduzir os comprimentos necessários dos cabos.

3.1.1.8 TARIFAS E PREÇOS

Este software permite introduzir vários tipos de modelos de tarifas de eletricidade para diferentes de necessidades de cada projeto.

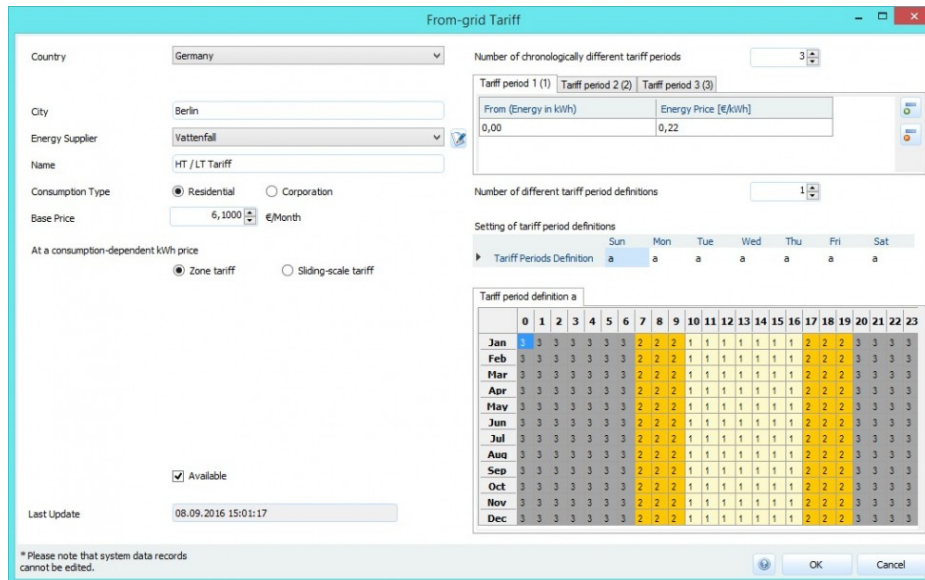


Figura 14 – Tarifas - PV*SOL [6]

O programa PV*SOL permite calcular a remuneração da energia elétrica solar consoante a energia vendida à RESP.

Este programa permite calcular os custos detalhados para os módulos fotovoltaicos, inversores e instalação. Os preços têm em consideração descontos, amortizações e pagamentos de impostos.

3.1.1.9 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O *PV*SOL* permite apresentar um relatório que contém os resultados da simulação. A análise financeira inclui uma tabela com os lucros e as perdas em relação ao valor investido. Todos os resultados da simulação podem ser exportados para o Excel.

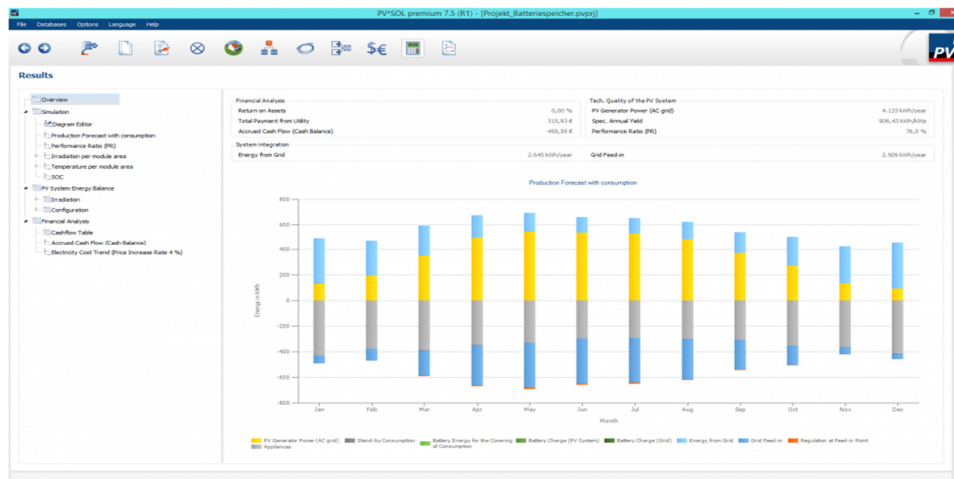


Figura 15 – Apresentação de resultados – *PV*SOL* [6]

O *PV*SOL* apresenta 7 idiomas de programa, nomeadamente, Inglês, Alemão, Francês, Italiano, Polaco, Espanhol, Português e 14 idiomas de apresentação, nomeadamente, Inglês, Alemão, Francês, Italiano, Polaco, Espanhol, Português, Dinamarquês, Croata, Norueguês, Sueco, Eslovaco, Turco e Húngaro.

3.1.2 PVSYST

O *PV_{syst}* é um software desenvolvido pela Universidade de Genebra com o objetivo de dimensionar sistemas fotovoltaicos isolados e ligados à rede. Esta ferramenta de apoio ao desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos apresenta menu de ajuda bastante explícito e intuitivo, tornando a ferramenta de uso bastantes simples. Este software permite importar dados meteorológicos de várias fontes diferentes, consoante as opções do utilizador.

Os resultados são apresentados sob a forma de um relatório completo, gráficos e tabelas específicas.

Este software permite especificar a energia desejada para a instalação fotovoltaica através de 3 pressupostos, isto é, o programa permite dimensionar os sistemas fotovoltaicos com base na área disponível para o sistema, na potência nominal do inversor ou nos consumos de energia do cliente.

Esta ferramenta apresenta uma base de dados com a maior parte das marcas e modelos de painéis fotovoltaicos e inversores.

Depois do dimensionamento do sistema fotovoltaico, o software define as diferentes perdas do sistema e permite ao utilizador definir as condições ambientais e de sombreamento através de um editor 3D.

Após preenchimento de todos os dados pedidos pelo software, será apresentada uma primeira simulação preliminar com os dados do projeto fotovoltaico.



Figura 16 – PV_{Syst} [7]

3.1.3 REQUISITOS

Os requisitos do software são:

- Sistema operacional Windows Vista / 7/ 8/ 10, 32/64 bit;
- Sistema operacional MAC OS X e o LINUX;
- 1 GB de RAM;
- 1 GB de espaço livre no disco rígido;
- Resolução mínima de 800 x 600 pixels;
- Placa gráfica com suporte OpenGL 2.0 ou superior.

3.1.4 ANÁLISE DO SISTEMA

O software *PVsys* permite ao utilizador verificar as curvas de corrente e tensão dos painéis fotovoltaicos, o *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) e os limites de corrente do inversor.

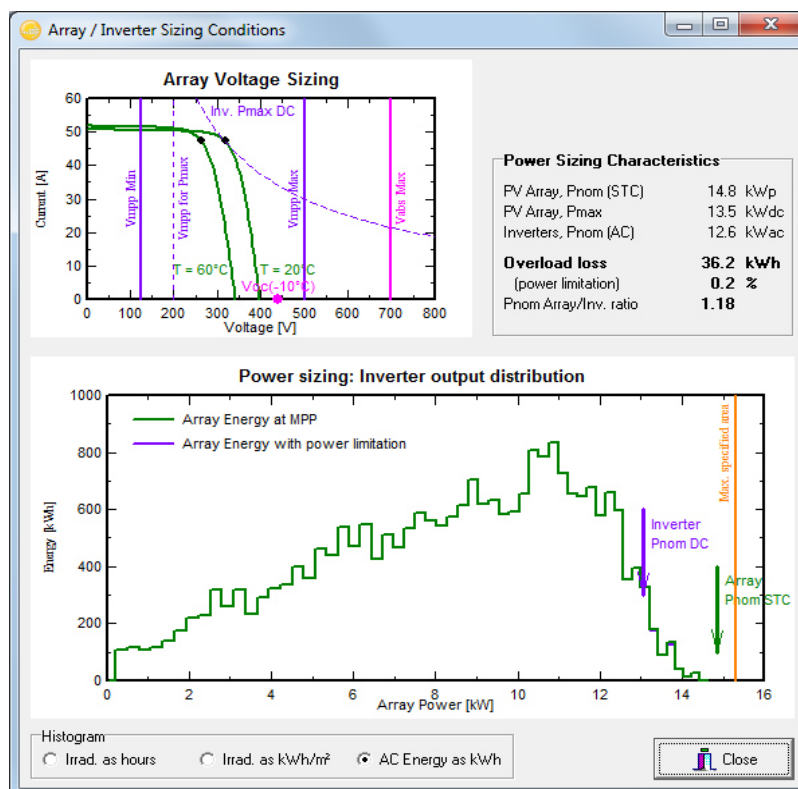


Figura 17 – Curvas – PVsyst [7]

3.1.4.1 RESULTADOS

Após a simulação do projeto fotovoltaico é gerado um relatório final com todos os pontos essenciais.

Todos os dados introduzidos pelo utilizador são apresentados neste relatório como, localização, dados meteorológicos, sombreamentos, perdas, etc.

Este relatório também contempla os principais resultados do projeto, incluindo o número de módulos fotovoltaicos e inversores.

Este software calcula a distribuição da energia elétrica ao longo do ano o que permite, através da energia elétrica produzida pelo sistema dimensionado, avaliar a rentabilidade do projeto fotovoltaico. O programa permite ao utilizador analisar os principais ganhos e perdas do projeto e identificar as principais melhorias do sistema.

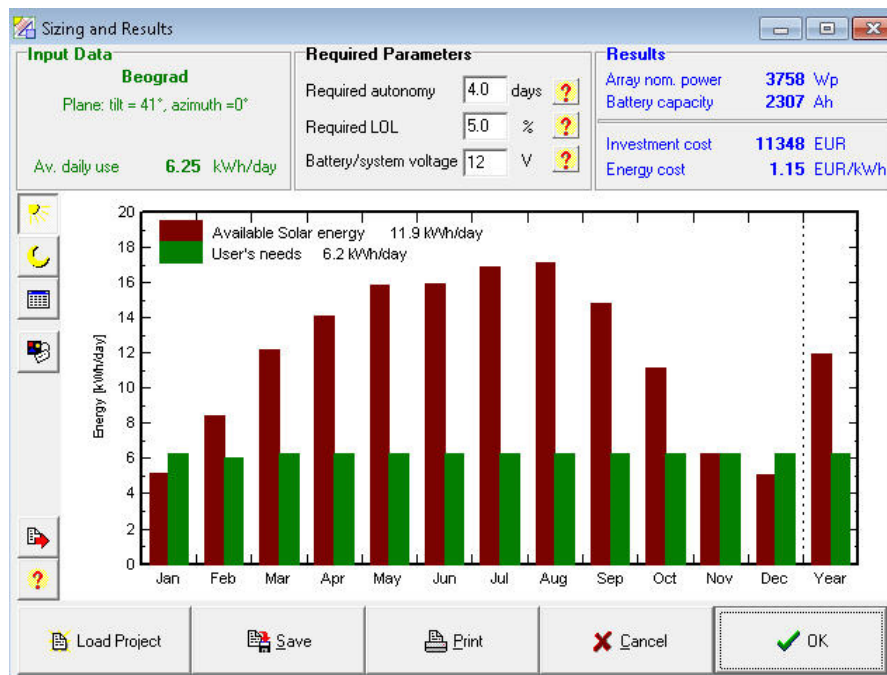


Figura 18 – Resultados – PVsyst [7]

3.2 PVGIS

O software *PVGIS* permite o acesso por via web à radiação solar e temperatura em todos os locais da Europa, África e grande parte da Ásia, através de um mapa interativo.

The screenshot shows the PVGIS web application interface. The header includes logos for JRC and CM SAF, and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". Below the header is a navigation menu and a search bar. The main area features a map of Europe with various countries labeled. To the right of the map is a control panel with several sections: "Performance of Grid-connected PV", "Fixed mounting options", "Tracking options", and "Output options". The "Performance of Grid-connected PV" section includes fields for "Radiation database", "PV technology" (set to "Crystalline silicon"), "Installed peak PV power" (set to 1 kWp), and "Estimated system losses" (set to 14%). The "Fixed mounting options" section includes a "Mounting position" dropdown (set to "Free-standing") and checkboxes for "Optimize slope" and "Also optimize azimuth". The "Tracking options" section includes checkboxes for "Vertical axis", "Inclined axis", and "2-axis tracking". The "Output options" section includes checkboxes for "Show graphs", "Show horizon", and radio buttons for "Web page", "Text file", and "PDF". A "Calculate" button is located at the bottom of the control panel.

Figura 19 – PVGIS

Esta aplicação online permite aos utilizadores estimar a produção anual em kWh de um sistema fotovoltaico num determinado local, com base no tipo, ângulo e orientação dos painéis fotovoltaicos, na potência nominal do sistema e perdas associadas.

Este software está disponível em inglês, italiano, francês, espanhol e alemão.

4. DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

4.1 FERRAMENTA DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Este software foi desenvolvido em *Excel – Visual Basic* e tem o objetivo dimensionar sistemas fotovoltaicos para autoconsumo. Para se dimensionar um sistema fotovoltaico com este software não são necessários muitos recursos técnicos, pois os dados que o software necessita para dimensionar o sistema fotovoltaico são bastantes intuitivos. Este software permite ao utilizador dimensionar o sistema fotovoltaico com base nas faturas de energia elétrica ou nos consumos instantâneos recolhidos no quadro principal da instalação. É necessário ter-se em atenção que este software só dimensiona sistemas fotovoltaicos para utilizadores com potência contratada até 41,4 kVA à RESP e painéis fotovoltaicos cristalinos orientados para Sul com uma inclinação de 35°.

Após a introdução dos consumos de energia elétrica e dados técnicos da instalação este software dimensionará o sistema fotovoltaico, apresentando a potência necessária para o sistema fotovoltaico. Juntamente com o projeto final do sistema fotovoltaico é apresentado a rentabilidade do projeto em termos económicos com Preço de Venda a Público (PVP).

É importante referir que a poupança anual/ dimensionamento do sistema fotovoltaico apresentado pelo software poderá ter um erro associado, visto que, este software se baseia em perdas gerais fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos propostos e pelos dados fornecidos do *PVGIS*. As perdas gerais contabilizadas para os cálculos foram: perdas de temperatura, perdas de irradiância, perdas de efeitos refletores, perdas dos painéis fotovoltaicos e perdas dos inversores. As perdas associadas aos efeitos provenientes do sol foram baseadas com dados fornecidos pelo *PVGIS*, enquanto que, as perdas dos equipamentos propostos foram baseadas nos dados dos fabricantes.

Este software dimensiona sistemas fotovoltaicos de autoconsumo sem injeção dos excedentes na RESP.

Foram contabilizadas todas as exigências do *Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro* relativamente ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos – autoconsumo, nomeadamente que a potência de ligação da Unidade de Produção seja menor ou igual a 100% da potência contratada e a potência instalada não seja superior a duas vezes a potência de ligação.

4.2 RADIAÇÃO E TEMPERATURA

Este software para o cálculo da irradiação total (w/m^2) e temperatura ($^{\circ}C$) sobre os painéis fotovoltaicos tem como base dados retirados do *PVGIS* para Portugal continental. Estes dados têm como pressuposto que os painéis fotovoltaicos apresentam uma inclinação de 35° . Consoante o tipo de dados que o utilizador irá introduzir no software, este apresentará dois métodos de cálculo como já referido.

Average Daily Solar Irradiance

PVGIS Estimates of average daily profiles

Results for: January

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Inclination of plane: 35 deg.
Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

Time	G	G _d	G _c	DNI	DNI _c	A	A _d	A _c
07:37	34	33	19	0	0	18	15	10
07:52	44	43	24	0	0	24	20	13
08:07	52	52	29	0	0	30	26	16
08:22	61	60	33	0	0	36	32	20
08:37	68	67	38	0	0	42	37	23
08:52	75	73	41	0	0	47	42	26
09:07	321	114	593	316	779	450	125	913
09:22	348	121	650	328	809	467	129	945
09:37	374	127	702	338	834	481	133	972
09:52	397	132	750	346	855	493	136	993
10:07	417	136	793	353	872	503	138	1010

Figura 20 – Dados de temperatura e irradiação

4.2.1 DADOS RECOLHIDOS DO *PVGIS* PARA O DIMENSIONAMENTO ATRAVÉS DE FATURAS

O software tem uma base de dados recolhida do *PVGIS* em que calcula o número de painéis fotovoltaicos com base nos consumos introduzidos pelo utilizador. Consoante a energia consumida pelo utilizador, o software determina a energia necessária a eliminar/poupar. Com base nos dados recolhidos do *PVGIS* este dimensiona o sistema fotovoltaico ideal para a zona selecionada.

4.2.2 DADOS RECOLHIDOS DO *PVIGIS* PARA O DIMENSIONAMENTO ATRAVÉS DE ANALISADOR DE REDE

O software baseia-se em dados recolhidos pelo *PVIGIS* de seis zonas de Portugal Continental relativamente à irradiação (w/m^2) e temperatura ($^{\circ} C$), durante um dia, de cada mês num período de um ano, com periodicidade de 15 em 15 minutos.

4.3 SOMBREAMENTOS E ÁREA DISPONÍVEL

O programa de cálculo desenvolvido, após o cálculo do número de painéis fotovoltaicos necessários, tem em atenção a área disponível para a instalação fotovoltaica e o sombreamento entre painéis. No caso de a área necessária para o projeto fotovoltaico ser superior à área disponível, o software automaticamente opta por dimensionar o número de painéis fotovoltaicos com base na área disponível. Este programa calcula a área necessária para cada painel fotovoltaico de forma a minimizar as sombras entre os mesmos, de acordo, com a seguinte fórmula:

$$\tan(\text{ângulo Solstício}) = \frac{\text{distância entre paineis fotovoltaicos}}{\text{altura dos paineis fotovoltaicos}} \quad (3)$$

4.4 MÉTODOS

Este programa tem como base de funcionamento dois métodos de cálculo, isto é, dimensionamento fotovoltaico através de faturas de energia elétrica ou com base em analisadores de energia elétrica instalados no quadro principal da instalação a dimensionar.

4.4.1 FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Este método é bastante utilizado por instaladores de painéis fotovoltaicos para uma fase inicial de projeto, e tem por base a análise dos consumos de energia elétrica através das faturas de energia elétrica. Aquando da utilização deste método é necessário ter-se em atenção que os consumos de energia elétrica da instalação que se vai dimensionar não tenham sofrido alterações significativas.

No software, deve introduzir-se os dados que aparecem nas faturas de energia elétrica relativamente aos consumos e aos preços de energia elétrica que estão a ser praticados por cada período de consumo (estes valores têm de ser introduzidos sem taxas e IVA). Com base nestes dados, é possível ter-se uma noção dos consumos de energia elétrica deste consumidor e definir-se a potência elétrica necessária a eliminar nos períodos diurnos.

Como já referido foram retirados do *PVGIS* os dados da potência produzida em cada região de Portugal Continental com base em 1 quilowatt e através dos consumos verificados nas faturas, o software dimensiona o número de painéis fotovoltaicos a instalar. Após este primeiro dimensionamento é necessário estimar-se a área disponível para a instalação fotovoltaica e, no caso de a área ser insuficiente, o programa passará automaticamente para um painel fotovoltaico com mais potência por metro quadro adaptando-o às necessidades do utilizador.

É importante referir que este método de cálculo tem em consideração o *Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro* e o ponto 4.3 deste relatório.

4.4.2 ANALISADOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Este é o método mais fiável para se determinar os consumos de energia elétrica de um determinado consumidor. O software para este método exige a instalação de um analisador de energia elétrica no quadro principal da instalação para se determinar o perfil de consumo da instalação. Este programa irá pedir os consumos de energia elétrica no período de uma semana, de 30 em 30 minutos.



Figura 21 – Exemplo de um analisador de energia elétrica

Com base na zona selecionada pelo utilizador, o software tem acesso aos dados de temperatura e radiação de 15 em 15 minutos no período diurno da região selecionada (dados fornecidos pelo PVGIS) e assim determinar a produção fotovoltaica por painel.

Com base nos consumos de energia elétrica introduzidos pelo utilizador e na região selecionada, o software determina a instalação fotovoltaica para este perfil de carga. Para se obter resultados mais reais e acertados, este programa utiliza o *Excel Solver* que determina o número ideal de painéis fotovoltaicos comparando os consumos e a produção em cada 15 minutos.

Este software dimensiona o sistema fotovoltaico para o mês de abril, devido ao facto, de ser o mês mediano em termos de temperaturas e radiações [8]. Todo este processo é realizado automaticamente pelo software. É importante referir que este método de cálculo tem em consideração o *Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro* e o ponto 4.3 deste relatório.

4.5 FORMULAS UTILIZADAS

Para se calcular a potência produzida pelos painéis fotovoltaicos, com base nos dados fornecidos pelo *PVGIS*, foram utilizadas as seguintes fórmulas.

4.5.1.1 TEMPERATURA DA CÉLULA

$$T = T_{amb} + \frac{G * (NOCT - 20)}{800} \quad (4)$$

- T - Temperatura da célula (°C);
- Tamb - Temperatura ambiente (°C);
- G - Radiação solar tendo em conta dados fornecidos pelo PVGIS (W/m^2);
- NOCT - Temperatura nominal de funcionamento da célula (°C);

4.5.1.2 POTENCIAL TÉRMICO

$$V_t = \frac{KT}{q} \quad (5)$$

- V_t - Potencial térmico;
- K - Constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$);
- T - Temperatura absoluta da célula (K);
- q - Carga elétrica do elétron ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

4.5.1.3 CORRENTE INVERSA DE SATURAÇÃO DO DÍODO

$$I_o = I_{or} * \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 * e^{\frac{\epsilon}{m'} * \left(\frac{1}{VT_r} - \frac{1}{VT}\right)} \quad (6)$$

- I_o - Corrente inversa de saturação do diodo (A);
- I_{or} - Corrente inversa de saturação do diodo de referência (A);
- T - Temperatura da célula (K);
- T_r - Temperatura da célula de referência (K);
- ϵ - Energia de Hiato (A Energia de Hiato de referência é 1.12 eV);
- m' - fator de idealidade equivalente;
- V_t - Potencial térmico;
- V_{tr} - Potencial térmico de referência.

4.5.1.4 CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

$$I_{cc} = I_{ccr} * \frac{G}{G_r} \quad (7)$$

- I_{cc} - Corrente de curto-circuito (A);
- I_{ccr} - Corrente de curto-circuito de referência (A);
- G - Radiação solar tendo em conta dados fornecidos pelo PVGIS (W/m^2);
- G_r - Radiação solar nas condições STC (25°C) (W/m^2).

4.5.1.5 FATOR DE IDEALIDADE DO DÍODO

$$m = \frac{V_{\max r} - V_{CA r}}{V_{t r} * \ln \left(1 - \frac{I_{\max r}}{I_{CC r}}\right)}$$

(8)

- m - Fator de idealidade do díodo;
- $V_{\max r}$ - Tensão máxima de referência (V);
- $V_{CA r}$ - Tensão de circuito aberto de referência (V);
- $V_{t r}$ - Potencial térmico de referência;
- $I_{\max r}$ - Corrente máxima de referência (A);
- $I_{CC r}$ - Corrente de curto-circuito de referência (A).

4.5.1.6 CORRENTE MÁXIMA

$$I_{\max} = I_{CC} - I_0 * \left(e^{\frac{V_{\max}}{m * V_T}} - 1 \right)$$

(9)

- I_{\max} - Corrente máxima (A);
- I_{CC} - Corrente de curto-circuito (A);
- I_0 - Corrente inversa de saturação do díodo (A);
- V_{\max} - Tensão máxima (V);
- m - Fator de idealidade do díodo;
- V_T - Potencial térmico.

4.5.1.7 POTÊNCIA MÁXIMA

$$P_{\max} = V_{\max} * I_{\max}$$

(10)

- P_{\max} - Potência máxima (W);
- V_{\max} - Tensão máxima (V);
- I_{\max} - Corrente máxima (A).

4.6 INVERSORES

Após o dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos, este software seleciona automaticamente um ou mais inversores, com base em 90% da potência dos painéis fotovoltaicos e se a instalação é monofásica ou trifásica.

As marcas sugeridas pela ferramenta informática poderão ser substituídas por outras que apresentem características de funcionamento semelhantes.

Este software utiliza as seguintes marcas e modelos de inversores:

Tabela 2 - Inversores Monofásicos

APS 250 W			Sunny Boy 2,5			Sunny Boy 4		
P _{max} DC (W)	310		P _{max} DC (W)	2650		P _{max} DC (W)	7500	
U _{max} DC (V)	45		U _{max} DC (V)	600		U _{max} DC (V)	600	
U _{MPP} (V)	22-45	22 45	U _{MPP} (V)	260 - 500	500 260	U _{MPP} (V)		140 500
IPV _{max} (A)	11,5		IPV _{max} (A)	10		IPV _{max} (A)	30	
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)			ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)	sim		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		
Eficiência (%)	95,5		Eficiência (%)	0,972		Eficiência (%)	97	
U _{AC} (V)	240		U _{AC} (V)	220 - 240		U _{AC} (V)	220-240	
f _{AC} (HZ)	60		f _{AC} (HZ)	50		f _{AC} (HZ)	50	
P _{AC} max (W)	250		P _{AC} max (W)	2500		P _{AC} max (W)	4000	
P _{AC} nom (W)	250		P _{AC} nom (W)	2500		P _{AC} nom (W)	4000	
APS 500 W			Sunny Boy 3.0			Sunny Boy 5		
P _{max} DC (W)	310		P _{max} DC (W)	5500		P _{max} DC (W)	7500	
U _{max} DC (V)	45		U _{max} DC (V)	600		U _{max} DC (V)	600	
U _{MPP} (V)	22-45	22 45	U _{MPP} (V)		110 500	U _{MPP} (V)		175 500
IPV _{max} (A)	24		IPV _{max} (A)	30		IPV _{max} (A)	30	
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)			ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)			ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		
Eficiência (%)	95,5		Eficiência (%)	97		Eficiência (%)	97	
U _{AC} (V)	240		U _{AC} (V)	220-240		U _{AC} (V)	220-240	
f _{AC} (HZ)	60		f _{AC} (HZ)	50		f _{AC} (HZ)	50	
P _{AC} max (W)	500		P _{AC} max (W)	3000		P _{AC} max (W)	5000	
P _{AC} nom (W)	500		P _{AC} nom (W)	3000		P _{AC} nom (W)	5000	
Sunny Boy 1,5			Sunny Boy 3.6			Fronius Primo 8.2		
P _{max} DC (W)	1600		P _{max} DC (W)	5500		P _{max} DC (W)	12700	
U _{max} DC (V)	600		U _{max} DC (V)	600		U _{max} DC (V)	600	
U _{MPP} (V)	160 - 500	500 160	U _{MPP} (V)		130 500	U _{MPP} (V)		270 480
IPV _{max} (A)	10		IPV _{max} (A)	30		IPV _{max} (A)	36	
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)	sim		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)			ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		
Eficiência (%)	0,972		Eficiência (%)	97		Eficiência (%)	97	
U _{AC} (V)	220 - 240		U _{AC} (V)	220-240		U _{AC} (V)	220-240	
f _{AC} (HZ)	50		f _{AC} (HZ)	50		f _{AC} (HZ)	50	
P _{AC} max (W)	1500		P _{AC} max (W)	3680		P _{AC} max (W)	8200	
P _{AC} nom (W)	1500		P _{AC} nom (W)	3680		P _{AC} nom (W)	8200	

Tabela 3 - Inversores Trifásicos

Fronius Symo 3.0-3-S / 3.0-3-M		Fronius Symo 10.0-3-M		SMA - Sunny Tripower 20000	
P max DC (W)		P max DC (W)		P max DC (W)	20440
U max DC (V)		U max DC (V)		U max DC (V)	1000
U MPP (V)		U MPP (V)		U MPP (V)	320 - 800 320 800
IPV max (A)		IPV max (A)		IPV max (A)	33
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)	sim
Eficiência (%)		Eficiência (%)		Eficiência (%)	0,984
U AC (V)		U AC (V)		U AC (V)	220 - 415
f AC (HZ)		f AC (HZ)		f AC (HZ)	50
P AC max (W)		P AC max (W)		P AC max (W)	20000
P AC nom (W)	3000	P AC nom (W)	10000	P AC nom (W)	20000
Fronius Symo 4.5-3-S		Fronius Symo 12.5-3-M		Fronius - Eco 25.0-3-S	
P max DC (W)		P max DC (W)		P max DC (W)	37800
U max DC (V)		U max DC (V)		U max DC (V)	1000
U MPP (V)		U MPP (V)		U MPP (V)	580 - 850 580 580
IPV max (A)		IPV max (A)		IPV max (A)	44,2
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)	sim
Eficiência (%)		Eficiência (%)		Eficiência (%)	0,982
U AC (V)		U AC (V)		U AC (V)	220 - 400
f AC (HZ)		f AC (HZ)		f AC (HZ)	50
P AC max (W)		P AC max (W)		P AC max (W)	25000
P AC nom (W)	4500	P AC nom (W)	12500	P AC nom (W)	25000
Fronius Symo 6.0-3-M		KOSTAL 15		Fronius 27.0-3-S	
P max DC (W)		P max DC (W)	16900	P max DC (W)	37800
U max DC (V)		U max DC (V)	1000	U max DC (V)	1000
U MPP (V)		U MPP (V)	800-390 800 390	U MPP (V)	580-850 850 580
IPV max (A)		IPV max (A)	20	IPV max (A)	71,6
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)	
Eficiência (%)		Eficiência (%)	98	Eficiência (%)	98,3
U AC (V)		U AC (V)	264,5	U AC (V)	400
f AC (HZ)		f AC (HZ)	50	f AC (HZ)	50
P AC max (W)		P AC max (W)	15000	P AC max (W)	27000
P AC nom (W)	6000	P AC nom (W)	15000	P AC nom (W)	27000
Fronius Symo 8.2-3-M		KOSTAL 17			
P max DC (W)		P max DC (W)	19200		
U max DC (V)		U max DC (V)	1000		
U MPP (V)		U MPP (V)	800-440 800 440		
IPV max (A)		IPV max (A)	20		
ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)		ESS - Eletronic Solar Switch (Sim ou Não)			
Eficiência (%)		Eficiência (%)	98		
U AC (V)		U AC (V)	264,5		
f AC (HZ)		f AC (HZ)	50		
P AC max (W)		P AC max (W)	17000		
P AC nom (W)	8200	P AC nom (W)	17000		

4.7 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os painéis fotovoltaicos utilizados para simulação deste software são constituídos por células de silício policristalino. A escolha destas células baseou-se no facto de estas apresentarem preços mais competitivos relativamente às células monocristalinas (apesar de apresentarem uma eficiência menor cerca de 13 a 15%) [9].

Para a base deste software foram seleccionados dois tipos de painéis fotovoltaicos constituídos por células policristalinas, nomeadamente, o painel da marca *Luxor Solar*, modelo *Ecoline LX 260P* e o painel fotovoltaico da marca *AXITEC*, modelo *AC-320/156-72S*. O motivo de escolha destes painéis fotovoltaicos é a sua diferença de potência em watts, que compensará o ponto 4.3 deste relatório.

As marcas sugeridas pela ferramenta informática poderão ser substituídas por outras que apresentem características de funcionamento semelhantes.

Tabela 4 – Principais características dos Painéis Fotovoltaicos utilizados

Características	<i>Luxor Solar, modelo Ecoline LX 260P</i>	<i>AXITEC, modelo AC- 320/156-72S</i>
Potência nominal	260 W	320 W
Corrente nominal	8,32 A	8,58 A
Tensão nominal	31,28 V	37,39 V
Corrente de CC	8,66 A	9,18 A
Tensão U0	37,94 V	45,59 V
Eficiência STC	15,99 %	16,49%
Suporte Tensão máxima	1000 VDC	1000VDC
Comprimento	1640mm	1956 mm
Largura	992 mm	992mm
Altura	35 mm	40 mm

4.8 RENTABILIDADE

Após o preenchimento de todos os dados solicitados pelo software será apresentada uma janela com os resultados da simulação. Nesta janela será apresentado o dimensionamento do projeto fotovoltaico e as poupanças associadas.

O cálculo da rentabilidade do projeto é baseado na energia poupada anualmente, dos preços da energia elétrica introduzidos pelo utilizador e o custo da instalação. No caso de o utilizador optar pelo método de cálculo de “faturas de energia” este software baseia-se nos cálculos do *PVGIS* para obter os resultados da energia poupada, enquanto que no caso do utilizador optar pelo método cálculo de “analisador de energia” o software calcula a energia poupada por dia, com base na energia produzida por cada painel fotovoltaico e na energia consumida instantaneamente. Ao resultado da diferença a cada 15 minutos da energia consumida e produzida pelos painéis fotovoltaicos são multiplicados os preços introduzidos pelo utilizador consoante o tipo de contrato que tiver. Estes cálculos são efetuados com base nas fórmulas utilizadas no ponto 4.5 deste relatório

5	Janeiro				44,1								
6	Time	Radiação PVGIS	Temperatura ambiente °C	Potência 260	Painéis 260	Consumos Instantaneo	Poupança	Poupança kWh	Poupança kWh mês	Preço da energia	Poupança Euros/Kwh - mês		
19	07:37	20	3,4	5,417695981	0,238920393	3	0,23892039	0,059730098	1,851633044	0,15	0,28 €		
20	07:52	31	3,5	8,397428781	0,370326609	3	0,37032661	0,092581652	2,870031222	0,15	0,43 €		
21	08:07	41	3,6	11,10627678	0,489786806	3	0,48978681	0,122446702	3,795847747	0,15	0,57 €		
22	08:22	50	3,8	13,54423998	0,597300983	3	0,59730098	0,149325246	4,629082619	0,15	0,69 €		
23	08:37	58	4	15,71131838	0,692869141	3	0,69286914	0,173217285	5,369735839	0,15	0,81 €		
24	08:52	65	4,2	17,60751198	0,776491278	3	0,77649128	0,19412282	6,017807407	0,15	0,90 €		
25	09:07	72	4,4	19,50370558	0,860113416	3	0,86011342	0,215028354	6,665878975	0,32	2,13 €		
26	09:22	78	4,7	21,12901438	0,931789534	3	0,93178953	0,232947384	7,22136889	0,32	2,31 €		
27	09:37	83	5	22,48343838	0,991519633	6,42857143	0,99151963	0,247879908	7,684277152	0,32	2,46 €		
28	09:52	88	5,3	23,83786238	1,051249731	6,42857143	1,05124973	0,262812433	8,147185415	0,32	2,61 €		
29	10:07	92	5,6	24,92140158	1,09903381	6,42857143	1,09903381	0,274758452	8,517512025	0,32	2,73 €		
30	10:22	362	6	98,06029758	4,324459123	6,42857143	4,32445912	1,081114781	33,5145582	0,32	10,72 €		
31	10:37	378	6,3	102,3944544	4,515595438	7,71428571	4,51559544	1,128898859	34,99586464	0,32	11,20 €		
32	10:52	392	6,7	106,1868416	4,682839713	7,71428571	4,68283971	1,170709928	36,29200778	0,15	5,44 €		
33	11:07	403	7,1	109,1665744	4,81424593	6,42857143	4,81424593	1,203561482	37,31040596	0,15	5,60 €		
34	11:22	413	7,4	111,8754224	4,933706127	6,42857143	4,93370613	1,233426532	38,23622248	0,15	5,74 €		
35	11:37	420	7,8	113,771616	5,017328264	6,42857143	5,01732826	1,254332066	38,88429405	0,15	5,83 €		
36	11:52	424	8,1	114,8551552	5,065112343	6,42857143	5,06511234	1,266278086	39,25462066	0,15	5,89 €		
37	12:07	426	8,4	115,3969248	5,089004383	6,42857143	5,08900438	1,272251096	39,43978396	0,15	5,92 €		
38	12:22	426	8,7	115,3969248	5,089004383	6,42857143	5,08900438	1,272251096	39,43978396	0,15	5,92 €		
39	12:37	424	9	114,8551552	5,065112343	6,42857143	5,06511234	1,266278086	39,25462066	0,15	5,89 €		
40	12:52	420	9,2	113,771616	5,017328264	6,42857143	5,01732826	1,254332066	38,88429405	0,15	5,83 €		
41	13:07	413	9,4	111,8754224	4,933706127	6,42857143	4,93370613	1,233426532	38,23622248	0,15	5,74 €		

Figura 22 - Exemplo de cálculo do simulador

Os custos associados à instalação do sistema fotovoltaico apresentado pelo software, são preços de tabela, que poderão sofrer determinados descontos consoante uma análise do local da instalação.

Para uma melhor análise do projeto fotovoltaico proposto, este software apresenta como índices de análise a *TIR* (*Taxa Interna de Rentabilidade*), o *VAL* (*Valor Atualizado Líquido*) e o *Pb* (*PayBack*) para uma escala de tempo de 25 anos.

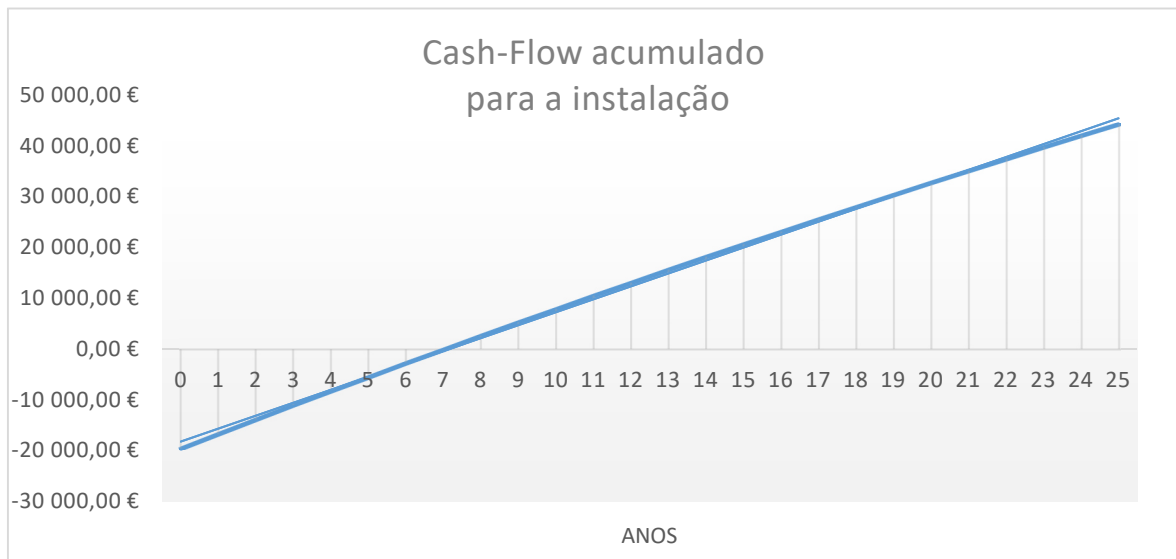


Figura 23 - Cash-Flow acumulado para a instalação

4.9 DESCRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO

4.9.1 CAPA

Ao iniciar o programa “*Simulador.xlsm*” será apresentado uma janela semelhante à da figura seguinte. Posteriormente deverá iniciar a simulação do programa no Botão – SIMULAR.



Figura 24 – Capa do software desenvolvido

4.9.2 INFORMAÇÕES

Nesta janela será necessário o utilizador introduzir a potência contratada, o tipo de energia utilizada e a área disponível para esta instalação. Para introduzir a potência contratada é necessário escolher uma das potências disponíveis pelo programa no intervalo entre 3,35 e 41,4 kVA. Seguidamente, o utilizador deverá introduzir o tipo de instalação, isto é, se é uma instalação monofásica ou trifásica. Por fim, o utilizador deverá introduzir a área disponível para o sistema fotovoltaico em metros quadrados.

4.9.3 ESCOLHA DO MÉTODO DE CÁLCULO

Neste ponto é importante saber o tipo de dados que o utilizador tem para introduzir no programa. No caso de serem faturas num período de um ano, deverá optar por essa opção, se não deve optar pela opção do analisador de energia elétrica.

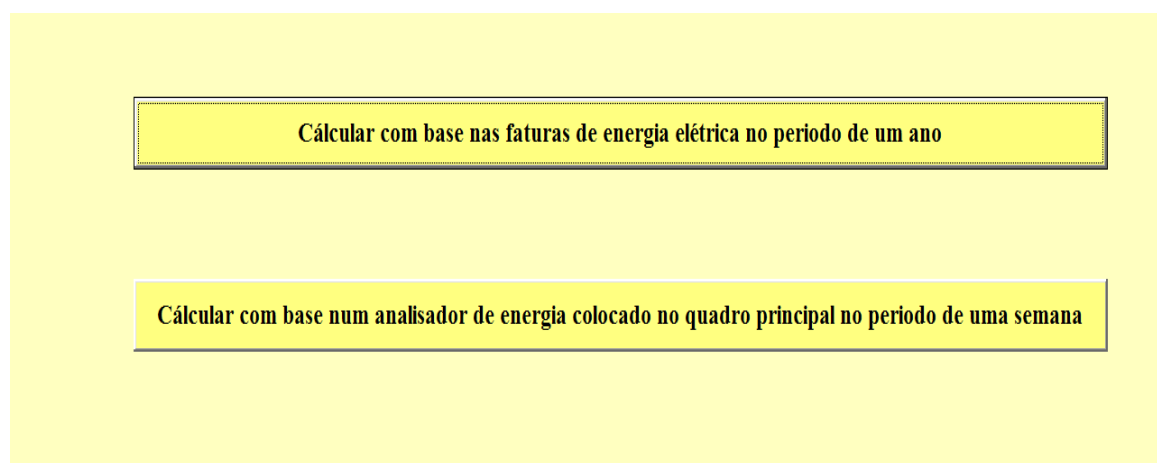


Figura 25 - Escolher tipo de dados de consumos de energia elétrica

Após escolher um dos métodos deverá consultar o ponto 4.4 deste mesmo relatório.

4.9.4 LOCAL DA INSTALAÇÃO

Este software permite ao utilizador seleccionar o local da instalação, através da selecção da região em se encontra.

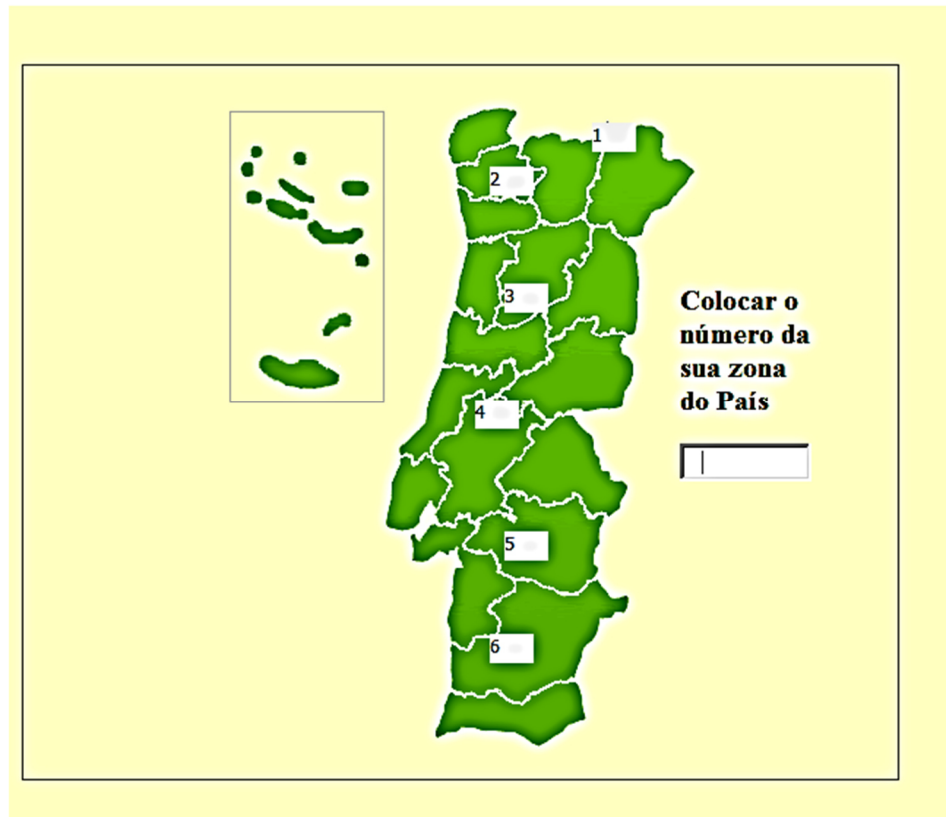


Figura 26 – Simulação do software desenvolvido na escolha da zona geográfica

Para melhor definir o local da instalação, o software divide Portugal Continental em 6 regiões com base nos dados fornecidos pelo PVGIS. Deverá colocar na janela em branco o número da zona da instalação (um número entre 1 e 6) e clicar em seguinte.

5. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA INFORMÁTICA

5.1 CASO PRÁTICO DE AUTOCONSUMO

O objetivo deste capítulo é aplicar este software a um caso prático e demonstrar a capacidade de cálculo do mesmo. Neste capítulo serão utilizados os dados de consumos de uma empresa em Vila Nova de Famalicão, com uma potência contratada de 41,4 kVA e com um telhado inclinado com cerca de 500 m² com orientação para Sul. Esta empresa apresenta uma instalação fotovoltaica de 12,5 kW, sendo os módulos da marca *Luxor* modelo *Eco Line 250P* e o inversor um *KOSTAL PIKO 15*.

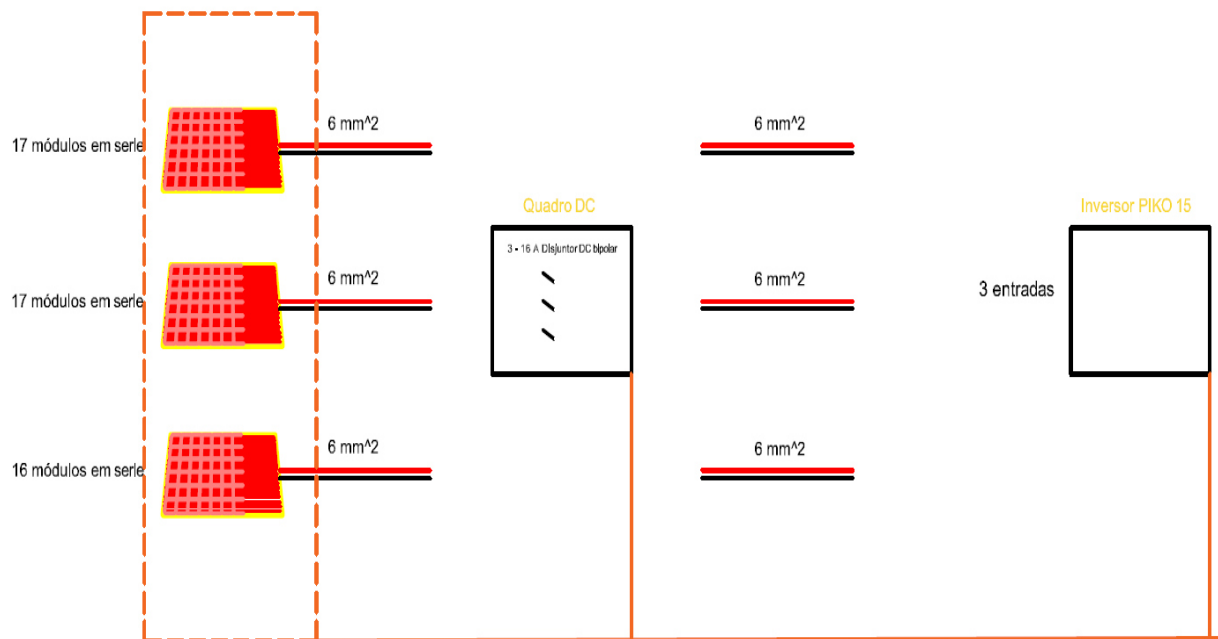


Figura 27 – Esquema unifilar fotovoltaico da empresa em estudo

5.1.1 FATURAS

Esta empresa apresenta um contrato com a *IBERDOLA* com ciclo de alimentação do tipo diário. Como se pode verificar na seguinte tabela foram contabilizados anualmente cerca de 7.220 kWh nas horas de ponta e 18.212 kWh nas horas de cheias. Como esta empresa apresenta um ciclo de alimentação do tipo diário, as horas de vazio não serão contabilizadas.

Tabela 5 - Consumos anuais da empresa - Faturas

Mês	Horas de Ponta(kWh)	Horas de cheia (kWh)
janeiro	690	1584
fevereiro	679	1275
março	760	1692
abril	351	982
maio	251	892
junho	688	1524
julho	665	1452
agosto	451	1682
setembro	694	1582
outubro	632	2683
novembro	436	819
dezembro	923	2045

5.1.2 ANALISADOR DE ENERGIA

Para este estudo foi colocado um analisador de energia elétrica no quadro principal da empresa durante uma semana. O analisador de energia elétrica escolhido foi da marca *Efergy*, modelo *Engage Hub Kit – Trifásico CT mini*.



Figura 28 – Analisador de energia elétrica

5.2 RESULTADOS

5.2.1 FATURAS

Foram intruzidos os consumos de energia elétrica e os restantes dados no simulador de energia elétrica.

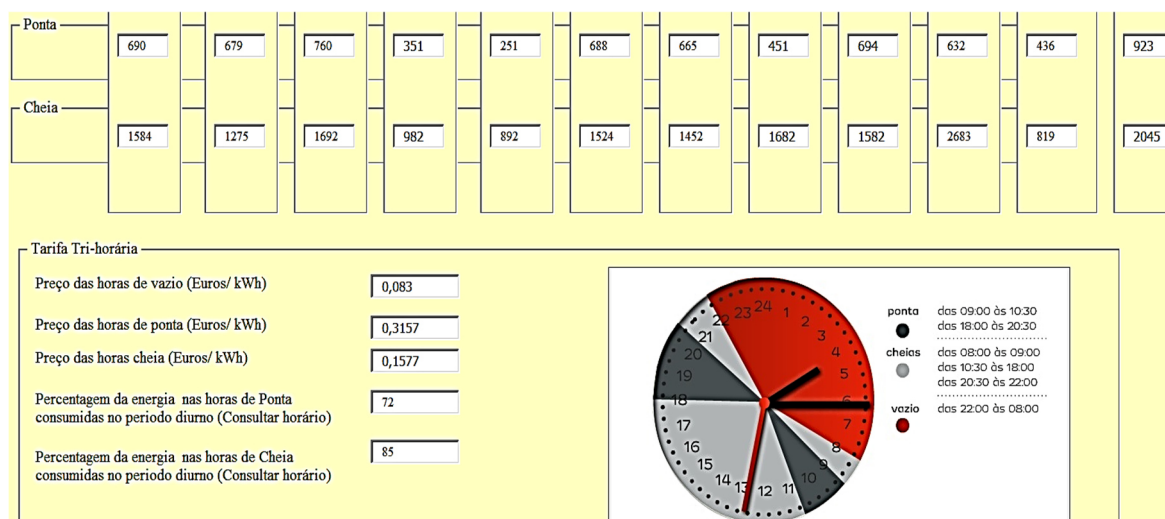


Figura 29 – Consumos e preços inseridos no software

Após a introdução de todos os dados no simulador conclui-se os seguintes resultados:

Tabela 6 - Resultados do simulador

Tipo de Painel	Eco Line LX 260P
Quantidade	58
Inversor	KOSTAL 15 (15 kW)
Energia Poupada Anualmente nas Horas Fora de Vazio	20961,2 kW
Poupança Anual	4299,14 €
Preço médio da Instalação	22.620,00 € + IVA
Taxa de Atualização	1 %
TIR	18,75 %
VAL	54.416,23 €
Payback	5,6

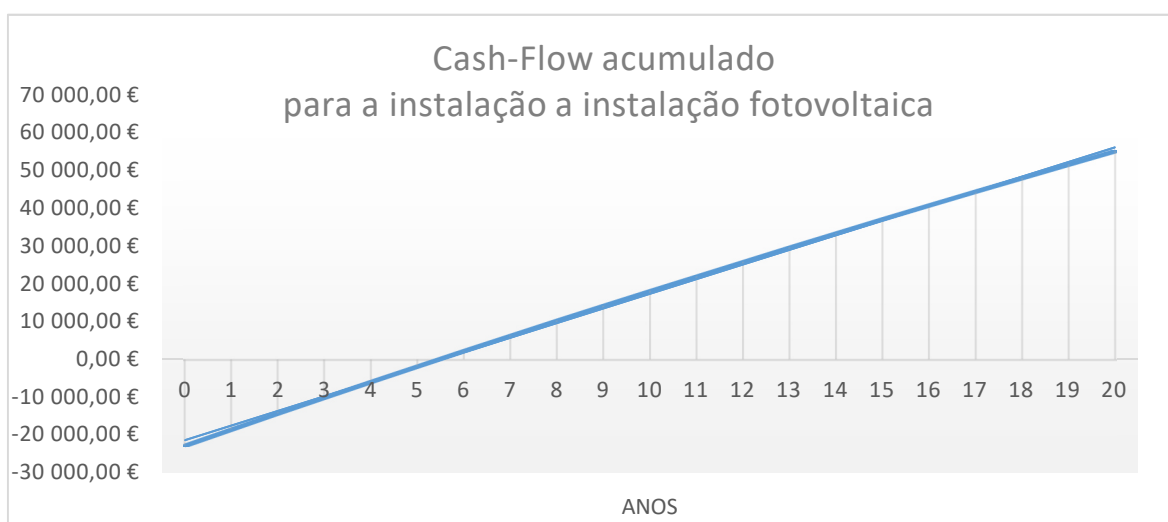


Figura 30 – Resultados, Caso Prático – faturas

5.2.2 ANALISADOR DE ENERGIA

Neste caso foram inseridos os consumos com base no analisador de energia elétrica durante uma semana.

00h00m	00h30m	01h00m	01h30m	02h00m	02h30m	03h00m	03h30m	04h00m	04h30m	05h00m	05h30m
2,5	2	2,5	2	3	2	2	2	2	2	2	2,5
06h00m	06h30m	07h00m	07h30m	08h00m	08h30m	09h00m	09h30m	10h00m	10h30m	11h00m	11h30m
2	2	2	3	4	5,5	5	8	8,5	10	8	8,5
12h00m	12h30m	13h00m	13h30m	14h00m	14h30m	15h00m	15h30m	16h00m	16h30m	17h00m	17h30m
8	4	3	3	3	6	7,5	12	15	12,5	13	14
18h00m	18h30m	19h00m	19h30m	20h00m	20h30m	21h00m	21h30m	22h00m	22h30m	23h00m	23h30m
10	11	12	14	7	2	2	2	2,5	3	2	2

Figura 31 - Dados introduzidos no simulador, consumos de 2º feira

Após a introdução de todos os dados no simulador conclui-se os seguintes resultados:

Tabela 7 - Resultados do simulador

Tipo de Painel	Eco Line LX 260P
Quantidade	63
Inversor	KOSTAL 15 (15 kW)
Energia Poupada Anualmente nas Horas Fora de Vazio	18872,0 kW
Poupança Anual	3893,49€
Preço médio da Instalação	24.570,00 € + IVA
Taxa de Atualização	1 %
TIR	14,85 %
VAL	45.237,78 €
Payback	6,7

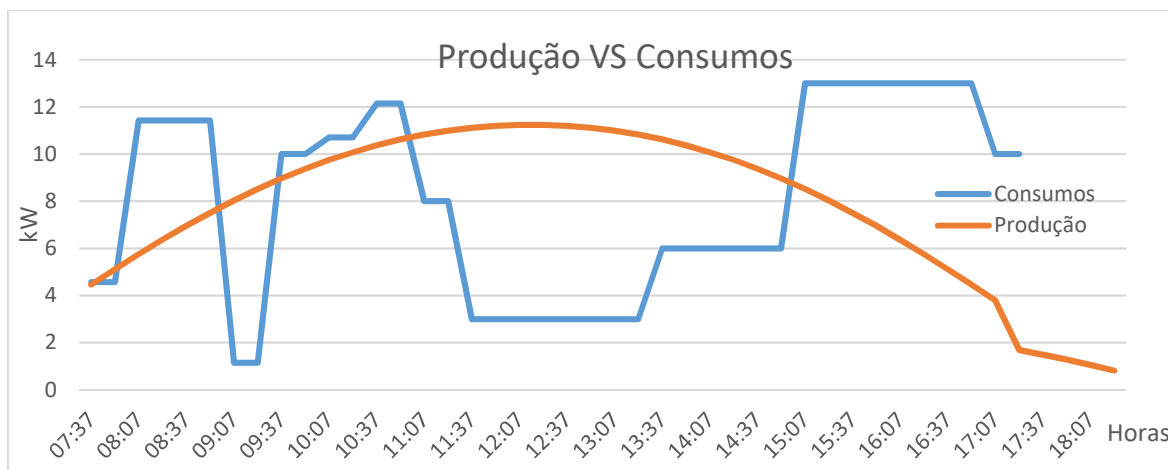


Figura 32 – Resultado do simulador para um dia do mês de abril

5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Como se pode verificar os resultados apresentados das duas simulações apresentam valores relativamente aproximados, havendo uma diferença de cerca de 3 kW para a instalação existente. Esta diferença era previsível, visto que a empresa em questão instalou duas máquinas novas com consumos totais de 4 kW instantâneos.

Tabela 8 - Comparação de resultados

	Simulação – Faturas	Simulação - Analisador
Instalação Total	15,08 kW	16,38 kW
Energia Poupada Anualmente nas Horas Fora de Vazio	20961,2 kW/h	18872,0 kW/h
Poupança anual	4299,14 €	3893,49€

Como já foi referido estas duas simulações apresentaram resultados de dimensionamento fotovoltaico relativamente semelhantes (verificando-se uma diferença de cerca de 1,3kW), mas valores de poupança de energia elétrica diferentes. Esta diferença advém do facto da produção simulada através das “faturas de energia elétrica” ser baseada na simulação dos dados de *PVGIS* e a produção simulada através do “analisador de energia elétrica” ser baseada nas características reais dos painéis fotovoltaicos propostos.

6. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA INFORMÁTICA - CASO DE ESTUDO DE UMA BOMBA DE CALOR

6.1 CASO DE ESTUDO

O caso de estudo desenvolvido nesta dissertação surgiu no âmbito da empresa na qual estou inserido, no desenvolvimento e estudo de um sistema de AQS eficiente e inovador. Este estudo, tem o objetivo de criar um sistema capaz de produzir AQS a baixos custos energéticos e manutenção reduzida. Tendo como fundamento estes dois princípios, optou-se por desenvolver uma bomba de calor que funcionará em função da energia fotovoltaica produzida e que permitirá reduzir os consumos de energia elétrica à RESP.

Para se estudar e desenvolver este caso de estudo, foi utilizado como base de cálculo as folhas de Excel desenvolvidas para a ferramenta informática.

6.2 BOMBA DE CALOR – DESENVOLVIDA

Este projeto tem como objetivo criar um sistema de AQS de elevada eficiência. Este sistema terá como base uma bomba de calor que pertence ao grupo da empresa Gintaqua – Instalações Sanitárias, que será estudada e projetada, de modo a que se reduza os seus consumos de energia elétrica à RESP. Para isso, será acoplado a esta bomba de calor alguns painéis fotovoltaicos. Com o objetivo de se reduzir os consumos de energia elétrica da bomba de calor à RESP foi desenvolvido um software que permite otimizar os consumos de energia elétrica, isto é, sempre que haja produção de energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos a bomba de calor irá ligar.



Figura 33 - Bomba de calor desenvolvida

6.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR DESENVOLVIDA

Trata-se de um sistema projetado para conseguir uma regulação ótima do aquecimento da água sanitária. A bomba de calor é uma solução moderna, eficiente e limpa para o meio ambiente.

Como já explicado no capítulo 2, a circulação do gás (R314a) pelo interior do depósito com água através de uma serpentina, permite o aquecimento da água. Este aquecimento da água apresenta um consumo de energia elétrica de cerca de 400-700W instantâneos (sendo em média 500W para o Verão e 600W para o Inverno) [5]. Para se eliminar estes consumos de energia elétrica à RESP, serão acoplados alguns painéis fotovoltaicos.

Para se utilizar eficientemente a produção de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos, foi desenvolvido um sistema de otimização através de um micro-controlador (arduino), que tem a finalidade de comunicar com a bomba de calor sempre que haja produção de energia elétrica. Esta comunicação é realizada através da produção de um contacto seco que fará ligar a bomba de calor.

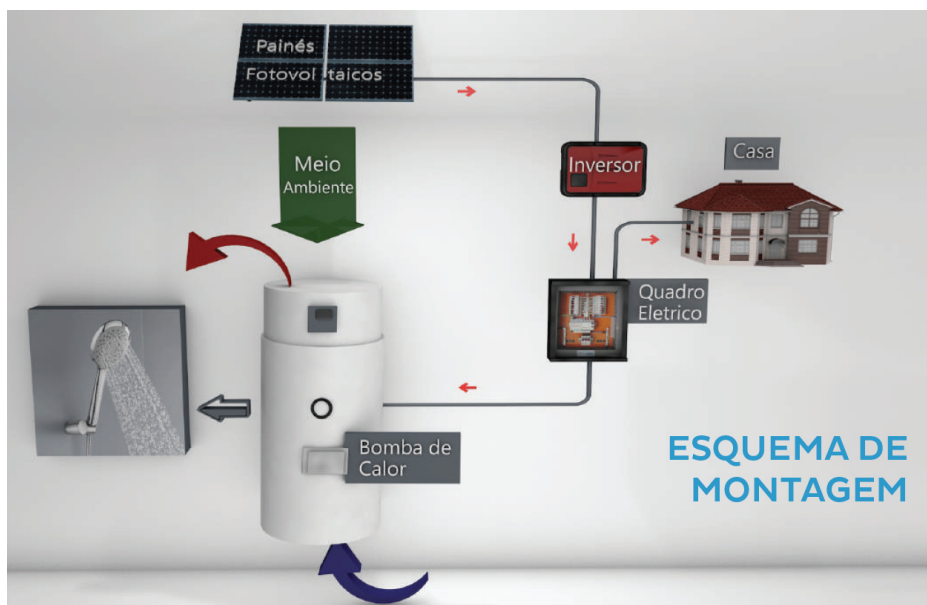


Figura 34 - Princípio de funcionamento da Bomba de calor desenvolvida

6.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BOMBA DE CALOR DESENVOLVIDA

Tabela 9 - Características técnicas

Dados técnicos	Bomba de calor
Alimentação	220-240/50 V/Hz
Potência térmica fornecida	1800 W
Potência elétrica consumida (sem apoio elétrico)	400-700 W
Cop Ar 7°C/20°C (EN16147)	2.9/3.2
Tempo de aquecimento	06h:46mm
Classe energética	A+
Dimensões Φ/H	580/1955 mm
Peso	80 Kg
Diâmetro das condutas	160 mm
Capacidade de armazenamento	250 litros
Material	Aço Inox

6.2.3 ESQUEMA ELÉTRICO

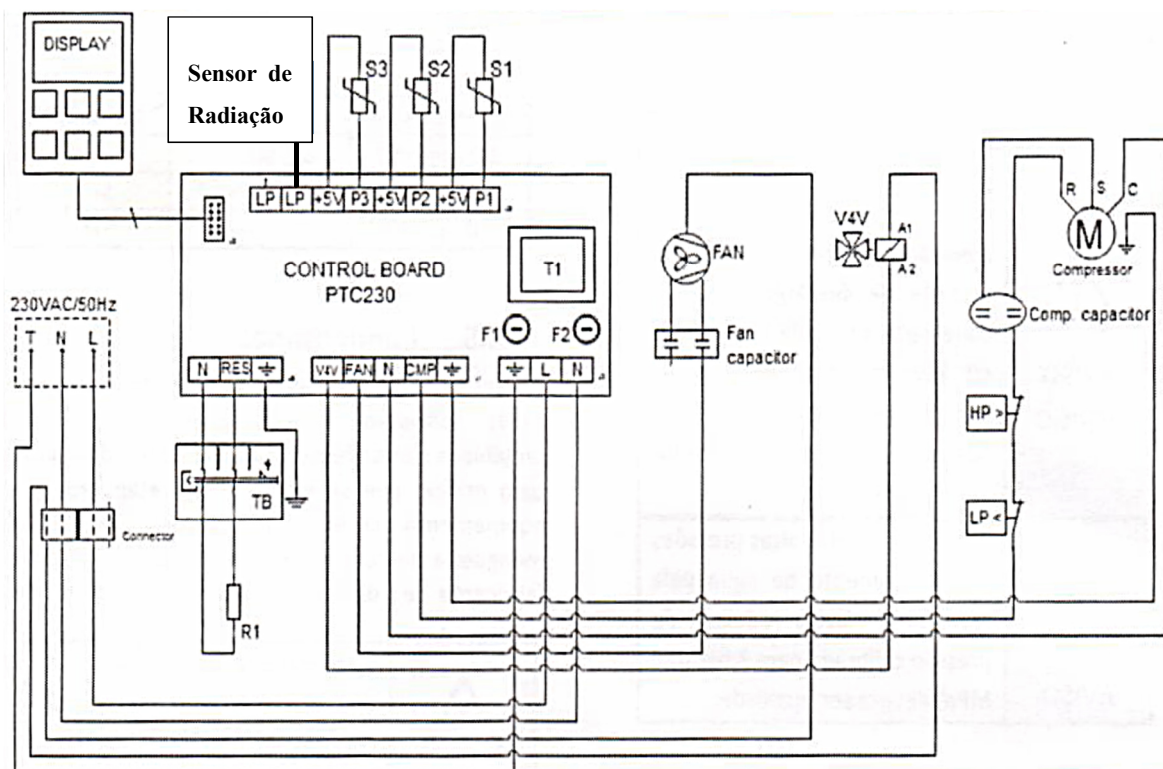


Figura 35 - Esquema elétrico da Bomba de Calor – Tipo I

6.2.4 SISTEMA DE CONTROLO DE RADIAÇÃO

O sistema de controlo e otimização da bomba de calor será composto por um Arduino, um sensor de radiação, um LCD retro iluminado e um relé de saída.

Este sistema permite aos utilizadores definir a partir de que nível de potência fotovoltaica pretendem que a bomba de calor ligue, isto é, se o utilizador regular o potenciômetro do Arduino para 500, significa que sempre que sejam produzidos 500 W pelos painéis fotovoltaicos, a bomba de calor irá ligar, e aquecerá a água do depósito até a temperatura definida.

O Arduino e o sensor de radiação serão protegidos por uma caixa com um IP55 e ficarão instalados ao lado dos painéis fotovoltaicos.

No caso de os utilizadores pretenderem utilizar valores pré-definidos pelo gestor de otimização para ativação da bomba de calor, são definidos os seguintes valores, consoante o número de painéis fotovoltaicos e altura do ano:

Tabela 10 - Ativação do contacto seco para 4 painéis fotovoltaicos da marca Luxor Ecoline 260P, zona de Braga

	Nível de radiação	Temperatura (°K)	Potência (kW)
Verão	467,000	307,544	0,455
Inverno	332,000	293,325	0,324

Tabela 11 - Ativação do contacto seco para 6 painéis fotovoltaicos da marca Luxor Ecoline 260P, zona de Braga

	Nível de radiação	Temperatura (°K)	Potência (kW)
Verão	367,000	303,519	0,537
Inverno	357,000	294,406	0,522

Estes valores foram definidos e estudados através de várias simulações efetuadas no software desenvolvido.

6.3 CENÁRIO DE COMPARAÇÃO DE CONSUMOS ELÉTRICOS

Com o objetivo de comparar o sistema desenvolvido com base nesta tese e pela empresa Gintaqua – Instalações Sanitárias com outras bombas de calor, foi criado um cenário de estudo para um sistema de AQS para uma moradia com 5 habitantes. Para este cenário de estudo será comparado o sistema desenvolvido com outra bomba de calor. É aconselhável a instalação de uma bomba de calor com capacidade entre 200 a 300 litros.

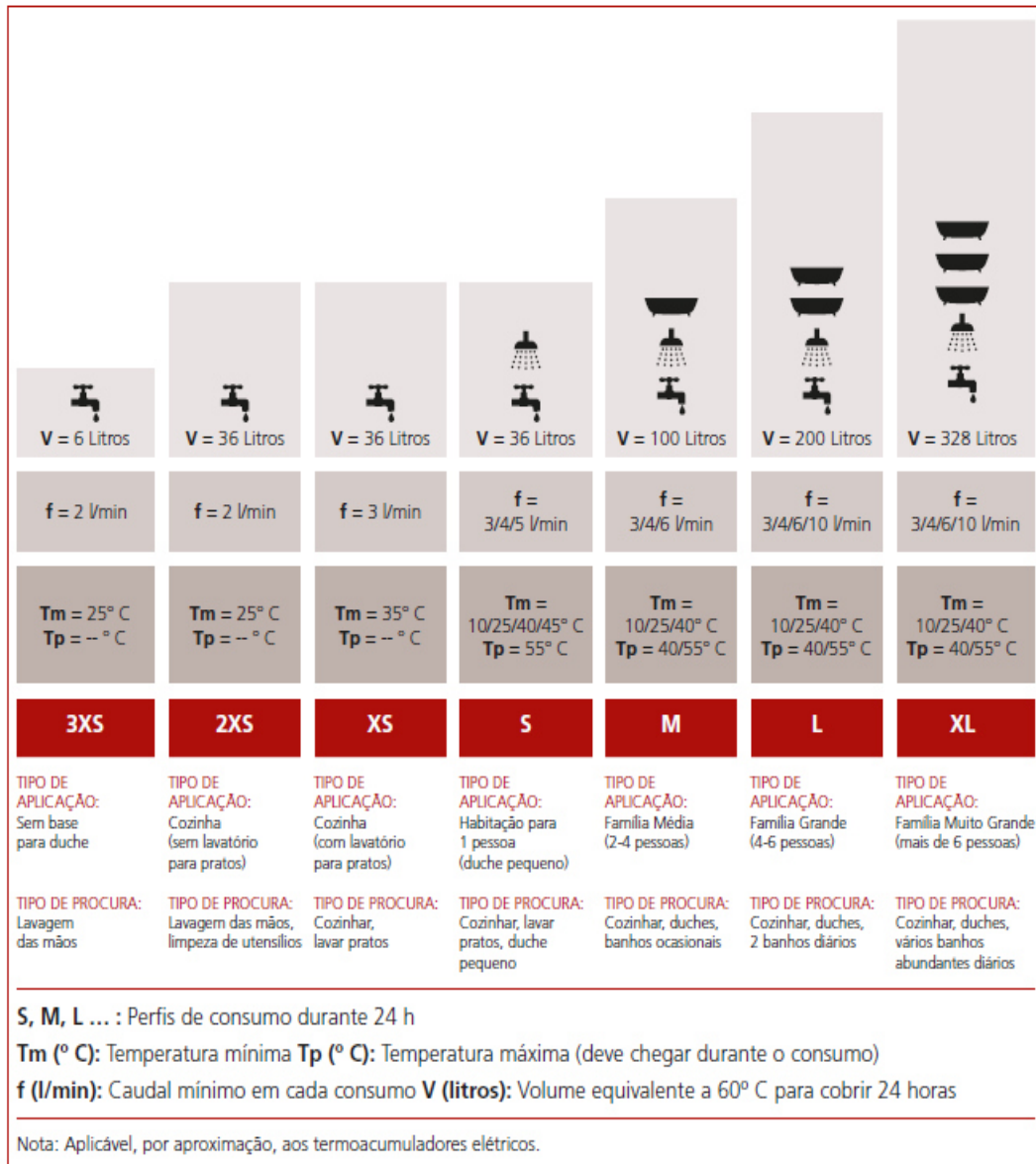


Figura 36 - Perfis de consumo [4]

6.3.1 BOMBA DE CALOR DE CALOR – TIPO I

Neste caso serão estudados os consumos de energia elétrica de uma bomba de calor de outra marca. Esta bomba de calor apresenta poupanças em cerca de 70% comparativamente com um típico cilindro elétrico [4]. Este modelo apresenta um depósito com capacidade para acumular 270 litros de água e um COP 4,3.

	Unidade	HP270-3E	HP270-3EC
Performance - de acordo com EN16147, ciclo XL, temperatura do ar 7 °C, aquecimento de água de 10 °C a 53 °C, Tref > 52,5 °C			
Coefficiente de Performance (COP)	-	2,98	2,95
Tempo de aquecimento	h	11:00	10:41
Perdas térmicas em 24h	kWh/dia	0,78	0,79
Volume de água quente, equivalente a água à temperatura de 40 °C, disponível após aquecimento	l	375	369
Ar de admissão			
Débito de ar (sem/com condutas) - velocidade do ventilador „SP1“	m ³ /h	380/350	
Débito de ar (sem/com condutas) - velocidade do ventilador „SP2“	m ³ /h	460/430	
Temperatura de serviço	°C	-10... +35	
Circuito refrigerante			
Gás refrigerante R134a	g	360	
Gás refrigerante R134a	tCO ₂ e	0,515	
Pressão máxima	MPa (bar)	2,7 (27)	
Água quente			
Capacidade do tanque	l	270	260
Superfície do permutador térmico (serpentina)	m ²	-	1,0
Potência contínua da serpentina ¹⁾	kW	-	31,8
Temperatura máxima de saída sem/com aquecimento elétrico suplementar	°C	60/70	
Pressão máxima de serviço	MPa (bar)	1 (10)	
Caraterísticas elétricas			
Alimentação elétrica	V	~230 (+10%/-10%)	
Frequência	Hz	50	
Corrente elétrica (sem/com aquecimento elétrico complementar)	A	2,6/11,3	
Potência nominal absorvida máx.	kW	0,6	
Potência calorífica do aquecimento elétrico suplementar	kW	2,0	
Potência nominal absorvida total máx. (com aquecimento elétrico suplementar)	kW	2,6	
Classe de proteção		I	
Tipo de proteção (sem/com condutas)	IP	21/24	
Generalidades			
Nível de ruído com condutas (pressão sonora a 2m, velocidade do ventilador „SP1“) ²⁾	dB(A)	46	
Dimensões L x A x P	mm	700 × 1835 × 735	
Peso líquido (sem embalagem)	kg	108	121

Figura 37 - Bomba de calor – Tipo I [4]

Esta bomba de calor apresenta um consumo elétrico sem apoio (resistência elétrica) de 0,6 kW instantâneos. Como se pode verificar na figura seguinte, esta bomba de calor apresenta um consumo de 6,836 kWh por dia, em condições normais para um perfil declarado XL.

Consumo anual de energia	AEC	kWh	1454	1454
Consumo anual de energia (condições climáticas médias)	AEC _{aver}	kWh	1454	1454
Consumo anual de energia (outros perfis de carga, condições climáticas médias)	AEC _{aver}	kWh	-	-
Consumo anual de energia (condições climáticas mais frias)	AEC _{cold}	kWh	1780	1780
Consumo anual de energia (outros perfis de carga, condições climáticas mais frias)	AEC _{cold}	kWh	-	-
Consumo anual de energia (condições climáticas mais quentes)	AEC _{warm}	kWh	1369	1369
Consumo anual de energia (outros perfis de carga, condições climáticas mais quentes)	AEC _{warm}	kWh	-	-
Consumo diário de energia (condições climáticas médias)	Q _{elec}	kWh	6,836	6,836
Controlos inteligentes ligados?	-	-	Não	Não
Consumo semanal de energia com controlos inteligentes	Q _{elec, week, smart}	kWh	-	-
Consumo semanal de energia sem controlos inteligentes	Q _{elec, week}	kWh	-	-
Consumo anual de combustível (condições climáticas médias)	AFC _{aver}	GJ	0	0
Consumo anual de combustível (condições climáticas mais frias)	AFC _{cold}	GJ	0	0
Consumo anual de combustível (condições climáticas mais quentes)	AFC _{warm}	GJ	0	0

Figura 38 - Consumo da bomba de calor – Tipo I

Para o nosso caso de estudo (perfil L) considerou-se um consumo diário de 200 litros de água quente (40 Litros de água quente por pessoa). Verifica-se pela etiqueta energética da bomba de calor (figura 34) que para um perfil L apresenta, em condições normais um consumo anual de 856 kWh.

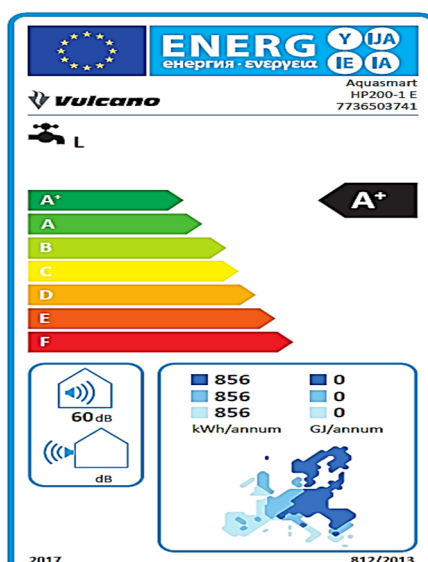


Figura 39 - Etiqueta energética da Bomba de calor Tipo I [4]

6.3.2 SISTEMA DE BOMBA DE CALOR DESENVOLVIDA

Este sistema apresenta consumos de energia elétrica da RESP consoante a radiação e temperatura ambiente. Para uma família com 5 habitantes aconselha-se a instalação de uma bomba de calor com 4/6 painéis fotovoltaicos [10]. Neste caso de estudo optou-se por analisar a instalação da bomba de calor com 4 painéis fotovoltaicos. Foram escolhidos painéis fotovoltaicos da marca *Luxor*, modelo *Eco Line 260p* e o inversor da marca *APS*, modelo *YC250A*. No caso de dias em que a radiação de energia elétrica é inferior à necessária para produção de energia elétrica para a bomba de calor, esta bomba de calor consumirá da RESP entre 400-700 W instantâneos.


DADOS TÉCNICOS		AQUA 25		
Alimentação	V/Hz	220-240/50		
Potencia Térmica Fornecida	W	1800		
Potencia Eléctrica Consumida (sem apoio eléctrico)	W	400-700		
Cop Ar 7°C/20°C (EN16147)	COP	2.9/3.2		
 Tempo de Aquecimento* (EN16147)	h:mm	06:46		
	Classe Energética	A+		
DIMENSÕES/PESO/ LIGAÇÕES				
Dimensões Ø/H	mm	580/1955		
Peso	KG	80		
Diâmetro Das Condutas	mm	160		
TERMOACUMULADOR				
Capacidade De Armazenamento	l	250		
Máxima Pressão De Trabalho	bar	7		
Material	Aço Inox **			
CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO				
Temp. de Funcionamento (Ar) Min/Max	°C	-5/40		
Temp. Máx. Da Água c/ Bomba De Calor	°C	55		
Temp. Máx. Da Água c/ Apoio Eléctrico	°C	70		
PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA		KIT 500	KIT 1000	KIT 1500
Painéis Fotovoltaicos	UN	2	4	6
Inversor	W	500	1000	1500
Potência eléctrica máxima produzida	W	500	1000	1500

Figura 40 – Características técnicas bomba de calor com painéis fotovoltaicos [5]

Para este caso de estudo, a moradia em questão apresentaria, em média um consumo diário de 200 litros de água quente. Verifica-se pela ficha técnica da bomba de calor que esta demora cerca de 5,23 horas para aquecer de 200 litros de água a quente. Sendo o seu consumo médio de 0,5 kW, pode-se concluir que, em média, esta bomba de calor para o caso

de estudo consumiria cerca de 2,6 kWh/dia. Neste caso serão acoplados os painéis fotovoltaicos para se reduzir os consumos à RESP.

O objetivo deste KIT é ligar a bomba de calor em horas em que haja mais produção de energia elétrica (assinalado a verde na tabela 12 e 13) e assim reduzir-se significativamente este custo. Para isso, este sistema terá dois modos de funcionamento, consoante o número de painéis fotovoltaicos e altura no ano.

Para este estudo utilizou-se o mês de dezembro (como pior cenário) e agosto (como melhor cenário).

Os resultados das tabelas 12 e 13 foram obtidos através das folhas de Excel do simulador desenvolvido.

Tabela 12 – Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em agosto

Horas	Radiação	Temperatura célula em Kelvin	Potência Produzida com 4 P.F (kW)	Potência média da B.C (kW)	Potência consumida à RESP (kW)	Consumo à RESP (kWh)	TOTAL restantes (kWh)
05:22	0,000	289,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05:37	24,000	290,300	0,023	0,000	0,000	0,000	0,006
05:52	36,000	290,775	0,035	0,000	0,000	0,000	0,009
06:07	47,000	291,319	0,046	0,000	0,000	0,000	0,011
06:22	74,000	292,363	0,072	0,000	0,000	0,000	0,018
06:37	117,000	293,906	0,114	0,000	0,000	0,000	0,029
06:52	163,000	295,644	0,159	0,000	0,000	0,000	0,040
07:07	213,000	297,606	0,208	0,000	0,000	0,000	0,052
07:22	264,000	299,500	0,257	0,000	0,000	0,000	0,064
07:37	315,000	301,494	0,307	0,000	0,000	0,000	0,077
07:52	367,000	303,519	0,358	0,000	0,000	0,000	0,089
08:07	417,000	305,581	0,407	0,500	0,093	0,023	0,000
08:22	467,000	307,544	0,455	0,500	0,045	0,011	0,000
08:37	515,000	309,444	0,502	0,500	0,000	0,000	0,001
08:52	561,000	311,281	0,547	0,500	0,000	0,000	0,012
09:07	605,000	313,056	0,590	0,500	0,000	0,000	0,022
09:22	646,000	314,738	0,630	0,500	0,000	0,000	0,032
09:37	684,000	316,325	0,667	0,500	0,000	0,000	0,042
09:52	719,000	317,819	0,701	0,500	0,000	0,000	0,050
10:07	752,000	319,150	0,733	0,500	0,000	0,000	0,058
10:22	781,000	320,356	0,762	0,500	0,000	0,000	0,065
10:37	806,000	321,438	0,786	0,500	0,000	0,000	0,071
10:52	828,000	322,425	0,807	0,500	0,000	0,000	0,077

Tabela 12 (Continuação) – Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em agosto

Horas	Radiação	Temperatura célula em Kelvin	Potência Produzida com 4 P.F (kW)	Potência média da B.C (kW)	Potência consumida à RESP (kW)	Consumo à RESP (kWh)	TOTAL restantes (kWh)
11:07	847,000	323,219	0,826	0,500	0,000	0,000	0,081
11:22	862,000	323,988	0,841	0,500	0,000	0,000	0,085
11:37	873,000	324,531	0,851	0,500	0,000	0,000	0,088
11:52	880,000	324,950	0,858	0,500	0,000	0,000	0,090
12:07	884,000	325,175	0,862	0,500	0,000	0,000	0,091
12:22	884,000	325,275	0,862	0,500	0,000	0,000	0,091
12:37	880,000	325,350	0,858	0,500	0,000	0,000	0,090
12:52	873,000	325,131	0,851	0,500	0,000	0,000	0,088
13:07	862,000	324,888	0,841	0,500	0,000	0,000	0,085
13:22	847,000	324,419	0,826	0,500	0,000	0,000	0,081
13:37	828,000	323,825	0,807	0,500	0,000	0,000	0,077
13:52	806,000	323,138	0,786	0,000	0,000	0,000	0,196
14:07	781,000	322,356	0,762	0,000	0,000	0,000	0,190
14:22	752,000	321,350	0,733	0,000	0,000	0,000	0,183
14:37	719,000	320,219	0,701	0,000	0,000	0,000	0,175
14:52	684,000	319,025	0,667	0,000	0,000	0,000	0,167
15:07	646,000	317,738	0,630	0,000	0,000	0,000	0,157
15:22	605,000	316,256	0,590	0,000	0,000	0,000	0,147
15:37	561,000	314,781	0,547	0,000	0,000	0,000	0,137
15:52	515,000	313,144	0,502	0,000	0,000	0,000	0,126
16:07	467,000	311,444	0,455	0,000	0,000	0,000	0,114
16:22	417,000	309,681	0,407	0,000	0,000	0,000	0,102
16:37	367,000	307,819	0,358	0,000	0,000	0,000	0,089
16:52	315,000	305,994	0,307	0,000	0,000	0,000	0,077
17:07	264,000	304,200	0,257	0,000	0,000	0,000	0,064
17:22	213,000	302,306	0,208	0,000	0,000	0,000	0,052
17:37	76,000	297,825	0,074	0,000	0,000	0,000	0,019
17:52	67,000	297,244	0,065	0,000	0,000	0,000	0,016
18:07	57,000	296,731	0,056	0,000	0,000	0,000	0,014
18:22	47,000	296,119	0,046	0,000	0,000	0,000	0,011

TOTAL consumidos à RESP pela B.C(kWh/dia)	0,01	TOTAL restantes produzidos pelos painéis fotovoltaicos	3,810
--	------	---	-------

Tabela 13 - Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em dezembro

Horas	Radiação	Temperatura célula em Kelvin	Potência Produzida com 4 P.F (kW)	Potência média da B.C (kW)	Potência consumida à RESP (kW)	Consumo à RESP (kWh)	TOTAL restantes (kWh)
05:07	0,000	281,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05:22	0,000	281,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05:37	0,000	281,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05:52	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06:07	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06:22	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06:37	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06:52	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
07:07	0,000	281,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
07:22	0,000	281,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
07:37	0,000	281,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
07:52	25,000	282,431	0,024	0,000	0,000	0,000	0,006
08:07	120,000	285,500	0,117	0,000	0,000	0,000	0,029
08:22	168,000	287,100	0,164	0,000	0,000	0,000	0,041
08:37	205,000	288,456	0,200	0,000	0,000	0,000	0,050
08:52	241,000	289,681	0,235	0,000	0,000	0,000	0,059
09:07	273,000	290,981	0,266	0,000	0,000	0,000	0,067
09:22	304,000	292,150	0,296	0,000	0,000	0,000	0,074
09:37	332,000	293,325	0,324	0,600	0,276	0,069	0,000
09:52	357,000	294,406	0,348	0,600	0,252	0,063	0,000
10:07	380,000	295,425	0,371	0,600	0,229	0,057	0,000
10:22	401,000	296,381	0,391	0,600	0,209	0,052	0,000
10:37	419,000	297,344	0,409	0,600	0,191	0,048	0,000
10:52	434,000	298,113	0,423	0,600	0,177	0,044	0,000
11:07	447,000	298,819	0,436	0,600	0,164	0,041	0,000
11:22	458,000	299,463	0,447	0,600	0,153	0,038	0,000
11:37	466,000	300,013	0,454	0,600	0,146	0,036	0,000
11:52	471,000	300,469	0,459	0,600	0,141	0,035	0,000
12:07	473,000	300,731	0,461	0,600	0,139	0,035	0,000
12:22	473,000	300,931	0,461	0,600	0,139	0,035	0,000
12:37	471,000	301,069	0,459	0,600	0,141	0,035	0,000
12:52	466,000	301,113	0,454	0,600	0,146	0,036	0,000
13:07	458,000	300,963	0,447	0,600	0,153	0,038	0,000
13:22	447,000	300,719	0,436	0,600	0,164	0,041	0,000
13:37	434,000	300,313	0,423	0,600	0,177	0,044	0,000
13:52	419,000	299,844	0,409	0,600	0,191	0,048	0,000
14:07	401,000	299,281	0,391	0,600	0,209	0,052	0,000
14:22	380,000	298,625	0,371	0,600	0,229	0,057	0,000
14:37	357,000	297,806	0,348	0,600	0,252	0,063	0,000
14:52	332,000	296,925	0,324	0,600	0,276	0,069	0,000

Tabela 13 (Continuação) - Simulação para 4 Painéis Fotovoltaicos da Marca Luxo Eco Line 260 para a zona de Braga em dezembro

Horas	Radiação	Temperatura célula em Kelvin	Potência Produzida com 4 P.F (kW)	Potência média da B.C (kW)	Potência consumida à RESP (kW)	Consumo à RESP (kWh)	TOTAL restantes (kWh)
15:07	70,000	288,538	0,068	0,000	0,000	0,000	0,017
15:22	64,000	288,150	0,062	0,000	0,000	0,000	0,016
15:37	58,000	287,763	0,057	0,000	0,000	0,000	0,014
15:52	51,000	287,344	0,050	0,000	0,000	0,000	0,012
16:07	43,000	286,894	0,042	0,000	0,000	0,000	0,010
16:22	34,000	286,313	0,033	0,000	0,000	0,000	0,008
16:37	25,000	285,831	0,024	0,000	0,000	0,000	0,006
16:52	0,000	284,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:07	0,000	284,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:22	0,000	284,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:37	0,000	284,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:52	0,000	283,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:07	0,000	283,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:22	0,000	283,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

TOTAL consumidos à RESP pela B.C(kWh/dia)	1,04	TOTAL restantes produzidos pelos painéis fotovoltaicos	0,410
--	------	---	-------

6.4 ESTUDO ECONÓMICO-FINANCEIRO

Para este estudo económico serão comparados a bomba de calor do Tipo I com o sistema desenvolvido. Nas tabelas seguintes foram definidos os preços médios praticados para a instalação destes dois sistemas (IVA não incluído).

A energia consumida e produzida pelo sistema desenvolvido com painéis fotovoltaicos foi obtida através do software criado. As estas tabelas foram aplicadas o preço médio da energia elétrica de 0,16 kWh.

Tabela 14 - Consumos anuais de sistema de AQS

	Preço de material + Instalação	Consumos anuais à RESP (kWh)	Energia Excedente Fotovoltaica Produzida (kWh)	Energia paga à RESP sem excedente (kW)	Energia paga à RESP
Bomba de Calor - Tipo I	2 200,00 €	856,00	0,00	136,96 €	136,96 €
Bomba de Calor desenvolvida	1 600,00 €	949,00	0,00	151,84 €	151,84 €
Bomba de Calor desenvolvida + Painéis Fotovoltaicos	2990,00 €	189,80	768,32	30,37 €	- 92,56 €

Tabela 15 – Poupanças dos sistemas ao longo dos anos

	ANO 0	ANO 3	ANO 4	ANO 7	ANO 8
Bomba de Calor – Tipo I	2 200,00 €	2 610,88 €	2 747,84 €	3 158,72 €	3 295,68 €
Bomba de Calor desenvolvida + Painéis Fotovoltaicos	2 990,00 €	3081,10 €	3 111,47 €	3 232,94 €	3 232,94 €
Bomba de Calor desenvolvida + Painéis Fotovoltaicos + EXC	2 990,00 €	2712,31 €	2 619,74 €	2 249,49 €	2 249,49 €

Na tabela 14 foram comparados os consumos de energia elétrica à RESP (preço médio de 0,16 kWh), nomeadamente, Bomba de Calor – Tipo I, da Bomba de Calor desenvolvida + Painéis Fotovoltaicos, em que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos não aproveitada pela bomba de calor para o aquecimento de águas quentes sanitárias não é injetada em outros equipamentos da moradia e, a Bomba de Calor desenvolvida + Painéis Fotovoltaicos + EXC, em que a energia fotovoltaica produzida pelos painéis fotovoltaicos não aproveitada pela bomba de calor para o aquecimento de águas quentes sanitárias é injetada em outros equipamentos da moradia.

Conclui-se com a tabela 15 que o sistema desenvolvido é um sistema eficiente e bastante interessante do ponto de vista dos consumos de energia elétrica. Apesar do investimento inicial ser superior, a produção fotovoltaica compensará esse investimento. Esta tecnologia permitirá minimizar os consumos de energia elétrica à RESP, aumentar autossustentabilidade do sistema, utilizar energia elétrica renovável e minimizar os custos de manutenção (praticamente nulos comparativamente com os painéis solares térmicos).

6.4.1 ANALISE DO INVESTIMENTO

Com o objetivo de se analisar a viabilidade económica do produto AQUA 25 - 1000 comparativamente com o sistema da bomba de calor do tipo I serão aplicados os avaliadores económico-financeiros.

Através da análise da tabela 14, conclui-se que o sistema da bomba de calor do tipo I, apresenta uma despesa anual de 136.96 euros, ao contrário, do sistema AQUA 25 - 1000 que apresenta uma poupança anual de cerca de 92,56 euros. Comparando estes dois sistemas, pode-se concluir que o sistema AQUA 25 - 1000 apresenta uma poupança anual de cerca de 229,52 euros.

Tabela 16 - Analise Económico-financeira

Ano	0	1	15	16	20
Investimento	2 990,00 €				
Receita anual	- €	229,52 €	229,52 €	229,52 €	229,52 €
Cash-flow	-2 990,00 €	229,52 €	229,52 €	229,52 €	229,52 €
Cash-flow atualizado	-2 990,00 €	227,25 €	197,70 €	195,74 €	188,10 €
Cash-flow atualizado acumulado	-2 990,00 €	-2 762,75 €	192,31 €	388,05 €	1 151,82 €

Taxa de atualização	1%
TIR	4,48%
VAL	1 140,4 €
PAYBACK	15,5

Conclui-se com esta tabela que o sistema AQUA 25 - 1000 comparativamente com o sistema da bomba de calor do tipo I, para as mesmas condições, supondo que ambos os sistemas

apresentaram as mesmas despesas ao longo do ano (substituição de ânodo de magnésio, recarga de gás ...) e que produzem a mesma quantidade de água quente sanitária, que ao fim de 15 anos o valor investido no sistema AQUA 25 - 1000 é pago com um retorno de 1140,40 euros, ao contrario da bomba de calor do tipo I, que apenas apresentará despesas ao longo dos anos.

7. CONCLUSÃO

Portugal é um país que tem uma radiação e temperatura bastante interessante para a instalação de painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos são uma energia renovável que merecem a nossa atenção e aposta.

Esta dissertação consolida aspetos fundamentais relativamente a sistemas de apoio ao dimensionamento fotovoltaico e sistemas eficientes de AQS.

Esta Tese de mestrado proporcionou-me uma grande aprendizagem relativamente ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e análise de sistemas de Água Quente Sanitária.

Relativamente à ferramenta de apoio fotovoltaica desenvolvida, esta poderá ser bastante útil para os instaladores de painéis fotovoltaicos e ajudar no dimensionamento dos seus projetos. A ferramenta permite ainda aos utilizadores verificar como são efetuados os cálculos e adaptá-los às suas necessidades. Com o desenvolvimento do software permitiu-me adquirir novos conhecimentos e consolidar matérias lecionadas no mestrado. Pretende-se evoluir o software e aplicar novos conceitos. Uma das atualizações futuras do software será a inserção de dados novos de radiação e temperatura para outros locais para além de Portugal Continental.

O sistema de AQS estudado nesta Tese de mestrado apresentou resultantes bastante interessantes, sendo um sistema atualmente comercializado pela empresa Gintaqua – Instalações Sanitárias. Conclui-se que o sistema desenvolvido é um sistema eficiente e bastante interessante do ponto de vista dos consumos de energia elétrica. Apesar do investimento inicial ser relativamente superior a outros sistemas de AQS, a produção fotovoltaica compensará esse investimento. Esta tecnologia permitirá minimizar os consumos de energia elétrica à RESP, aumentar autossustentabilidade do sistema, utilizar energia elétrica renovável e minimizar os custos de manutenção (praticamente nulos comparativamente com os painéis solares térmicos).

Apesar dos resultados apresentados pelo sistema AQUA 25 serem bastantes positivos, pretende-se evoluir e certificar o sistema. Futuramente pretende-se substituir o sistema de controlo (Arduíno) por um sistema com mais capacidade e com novas funcionalidades.

8. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- [1] Morais, Josué (2009). Sistemas fotovoltaicos da teoria à prática. Publindustria.
- [2] Adene, Agência para a Energia (2006). Sistemas solares fotovoltaicos.
- [3] Arturo, Andrés (2017). Autoconsumo industrial.
- [4] Vulcano (2017). Bombas de Calor para AQS, AquaSmart HP 200/250-1.
- [5] SOLARTEK (2017). Bomba de calor AQUA 25.
- [6] *Valentin - software* (2015). Disponível em :
<http://www.valentinsoftware.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>
- [7] *Software PVsyst* (2012). Disponível em: <http://www.pvsyst.com/en/software>
- [8] Castro, Rui (2009). Energias renováveis e produção descentralizada – Introdução à energia fotovoltaica, 3.º Edição.
- [9] Pereira, Filipe; Oliveira, Manuel (2015). Técnico instalador de energia solar fotovoltaica, 2º Edição. Publindustria.
- [10] Mascarenhas, Joana (2015). Comparação energética de sistemas de aquecimento a energia solar para o conforto térmico dos ocupantes de um edifício residencial.

Decreto-Lei:

Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro