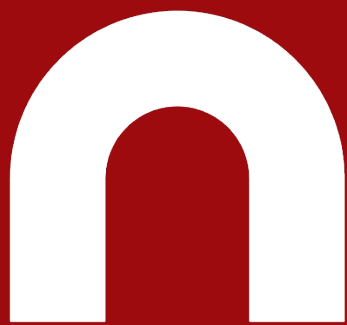




DEFINITIVO

isec

Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

Sistemas Energéticos para Edifícios Integrando Energias Renováveis

Autor

André Esteves Alves

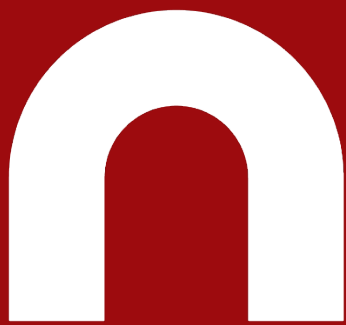
Orientador

Doutora Anabela Duarte de Carvalho

Coimbra, fevereiro de 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Sistemas Energéticos para Edifícios Integrando Energias Renováveis

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos

Autor

André Esteves Alves

Orientador

Doutora Anabela Duarte de Carvalho

Supervisor na empresa

Eco Plug, Lda

Engenheiro Luís Santos

INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro, 2022

AGRADECIMENTOS

Dedico esta página a todos que fizeram parte da minha vida durante este período acadêmico.

Aos meus pais pelo constante apoio psicológico e pelo esforço financeiro de estudar longe de casa, permitindo-me focar exclusivamente em concluir a Licenciatura e o Mestrado.

À minha irmã, que apesar da distância, sempre esteve do meu lado desde o primeiro dia, que nunca duvidou das minhas capacidades e sempre me encorajou a fazer melhor.

Ao Engenheiro Luís Santos, ao Engenheiro Luís Marques e a todos os colaboradores da empresa Eco Plug pela disponibilidade, boa disposição e auxílio prestado durante todo o período de estágio.

À minha professora orientadora Anabela Carvalho, por toda a disponibilidade, paciência e cuidado prestado durante todo o período de Mestrado.

A todos os docentes que ao longo dos anos me cativaram e ajudaram a adquirir conhecimentos das várias temáticas lecionadas.

E por fim, mas não menos importante, a todos os meus restantes familiares e amigos que me acompanharam nos momentos bons e nos momentos maus que a vida académica me ofereceu.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

O setor dos edifícios é responsável por grande parte do consumo de energia final na Europa, fazendo com que, a seleção de sistemas energéticos eficientes com aproveitamento de fontes de energia renováveis seja bastante importante.

No âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, o aluno optou por realizar um estágio curricular na empresa Eco Plug, com o objetivo de aprofundar e complementar os conhecimentos adquiridos ao longo do período escolar ao nível do dimensionamento e de instalação de sistemas energéticos para edifícios, com aproveitamento de energia renováveis.

Durante o período de estágio foram dimensionados sistemas para aquecimento central, sistemas de ar condicionado, sistemas solares térmicos e sistemas fotovoltaicos (FV). Devido à situação pandémica, grande parte do trabalho realizado na empresa foi de orçamentação, diálogo com os clientes, fornecedores e entidades comercializadoras.

No relatório foram apresentados com maior detalhe dois trabalhos realizados com diferentes aproveitamentos de FER, um para produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) e outro para produção de energia elétrica.

Para produção de AQS, foi estudada a possibilidade de utilizar bombas de calor (BC) ar-água ao invés de sistemas solar térmicos, para um bloco de apartamentos. Concluiu-se que as BC são uma escolha viável e vantajosa para produção de AQS tendo em consideração os custos associados e o aproveitamento de energia renovável.

Para produção local de energia elétrica, foi dimensionado um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo para um bloco de escritórios, utilizando o software *Sunny Design Web*. Com base nos resultados energéticos da simulação, efetuou-se uma análise económica do investimento e concluiu-se que o mesmo traz benefícios para o cliente a médio/longo prazo.

A realização do estágio correspondeu a uma experiência enriquecedora a nível de conhecimentos e competências adquiridas na área das energias renováveis.

Palavras-Chave: Edifícios, Sistemas de produção de energia, Energias Renováveis, Bombas de Calor, Sistema solar Fotovoltaico, Autoconsumo.

ABSTRACT

The building sector is responsible for a large part of the final energy consumption in Europe, so much so that the selection of efficient energy systems with the use of renewable energy sources is a very important matter.

Under the scope of the Masters degree in Mechanical Engineering, the student decided to enrol on a curricular internship in Eco Plug, Lda, with the objective of further complimenting the acquired knowledge over the academic path, regarding the dimensioning and installation of systems with the use of renewable energy sources.

During the internship period, central heating systems, air conditioning systems, thermal solar systems and photovoltaic (PV) systems were dimensioned on a regular basis. Due to the pandemic situation, most of the work made in the company was about creating budgets, dialogue with customers, suppliers and commercial entities.

In this report, two case studies have been presented with different renewable energy sources, one for production of Domestic Hot Water and one for electricity production.

For Domestic Hot Water production, a study was made to investigate the possibility of using air-to-water heat pumps instead of thermal solar systems, for a block of flats. We concluded that the heat pumps are a viable and advantageous solution for Domestic Hot Water production considering the costs associated and the use of renewable energy.

For local electricity production, a photovoltaic solar system was dimensioned for an office building for self-consumption, using the software *Sunny Design Web*. Based on the energetic results from the simulations, an economic analysis was made, and we concluded that the installation brings benefits for the customer in a medium/long time frame.

The internship was a very enriching experience for the student regarding the level of knowledge and skills acquired in the renewable energy area.

Palavras-Chave: Buildings, Energy production systems, Renewable energies, Heat Pump, Photovoltaic solar system, Self-consumption.

ÍNDICE

1.	Introdução.....	1
1.1	Objetivos do estágio.....	1
1.2	Estrutura do relatório.....	2
2.	Empresa acolhedora do estágio.....	3
3.	Enquadramento legislativo	4
3.1	Decreto-Lei nº118/2013.....	5
3.2	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).....	6
3.3	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)	7
3.4	Decreto-Lei nº101-D/2020.....	9
4.	Tecnologia Bomba de Calor.....	12
4.1	2ª Lei da Termodinâmica.....	12
4.2	Ciclos Termodinâmicos	12
4.3	Parcela de energia renovável.....	14
4.4	COP e EER.....	15
4.5	SCOP e SEER	17
4.6	Exemplos de Bombas de Calor Instaladas Durante o Estágio	22
5.	Tecnologia Solar Fotovoltaico	25
5.1	Constituição de uma célula fotovoltaica.....	25
5.2	Funcionamento de uma célula fotovoltaica.....	26
5.3	Parâmetros característicos.....	26
5.4	Influência da radiação e da temperatura na produção FV.....	27
5.5	Importância da escolha dos inversores.....	28
5.6	Exemplos de Painéis Fotovoltaicos Instalados Durante o Estágio	32
5.7	Sistemas de monitorização da instalação FV	35
6.	Principais trabalhos realizados durante o estágio	40
6.1	Orçamentação	40
6.2	Acompanhamento/visita de obras.....	42
6.2.1	Visita a obra de climatização por BC.....	42
6.2.2	Pré-instalação de tubagem de cobre para Ar Condicionado	43
6.2.3	Ampliação de instalação solar FV.....	44
6.2.4	Instalação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo.....	45
6.3	Trabalhos de manutenção/assistência.....	47
6.3.1	Verificação de fuga em sistema de Ar Condicionado.....	47

6.3.2	Substituição de inversor de bateria SMA.....	49
6.4	Dimensionamento de uma instalação com Bomba de Calor para AQS	49
6.4.1	Solar térmico padrão para AQS.....	50
6.4.2	Escolha dos Sistemas Solar Térmicos para AQS	52
6.4.3	Escolha das Bombas de Calor para AQS.....	53
6.4.3.1	Verificação do cumprimento do valor mínimo de Eren para as BC	54
6.4.4	Comparação de custos entre os sistemas ST e BC escolhidos	55
6.5	Dimensionamento de uma instalação fotovoltaica para autoconsumo.....	58
6.5.1	Dimensionamento da instalação FV.....	59
6.5.2	Análise Financeira	64
7.	CONCLUSÃO	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Instalações Ecoplug, Lda	3
Figura 2 - Evolução da legislação do SCE (SCE, 2021).....	4
Figura 3 - Exemplo de Pré-Certificado Energético fornecido à empresa durante o período de estágio	7
Figura 4 - Ciclo Termodinâmico Bomba de Calor/Máquina Frigorífica (Çengel et Boles, 2005).....	13
Figura 5 - Ciclo de refrigeração por compressão de vapor (Çengel et Boles, 2005)	14
Figura 6 - Parcela de energia renovável num sistema Bomba de Calor/Máquina Frigorífica (Panasonic, 2021)	15
Figura 7 - Gráfico típico de Pressão - Entalpia	16
Figura 8 - Valores de SCOP para Aquecimento Central e respetiva eficiência energética dos modelos de 3, 5, 7 e 9kW (Panasonic 2021)	21
Figura 9 - Valores de SCOP para AQS e respetivo indicador de eficiência energética dos modelos de 3, 5, 7 e 9kW (Panasonic 2021)	21
Figura 10 - Etiqueta energética da Bomba de Calor combinada Panasonic Aquarea All-in-One Compact 5kW (Panasonic, 2021)	22
Figura 11 - Panasonic Aquarea All-in-one Compact 9kW (Panasonic 2021)	23
Figura 12 - Energie Aquapura Split 160i.....	23
Figura 13 - Composição de uma célula fotovoltaica (Morais, 2019).....	25
Figura 14 - Curva IV típica de um painel fotovoltaico (Morais, 2019)	26
Figura 15 - Curva típica de influência da radiação para a produção FV (Morais, 2019)	27
Figura 16 - Valores de produção FV para diferentes níveis de radiação (Axitec, 2020)	27
Figura 17 - Curva típica de influência da temperatura para a produção FV (Morais, 2019).....	28
Figura 18 - Ficha característica painel Axitec AxiPremium BLK 320 Wp	29
Figura 19 - Coeficientes de variação das características do painel com a temperatura.....	29
Figura 20 - Ficha técnica do inversor SMA Sunny Tri Power 15000TL (SMA, 2021)	31
Figura 21 - Ficha característica painel Luxor Eco Line HC Full Black 305Wp (Luxor, 2020)	32
Figura 22 - Ficha característica painel Axitec AxiPremium BLK 320 Wp (Axitec, 2021)	32
Figura 23 - Ficha técnica do inversor APS YC600 (APSystems, 2021a).....	33
Figura 24 - Ficha técnica do inversor APS YC1000-3 (APSystems, 2021b)	33
Figura 25 - Acoplamento DC com Inversor híbrido Huawei e Bateria de Lítio.....	34
Figura 26 - Acoplamento DC com Inversor híbrido Solax e Bateria de Lítio	34
Figura 27 - Acoplamento AC com Inversor de Rede SMA (vermelho) e Inversor de Bateria SMA (branco e preto)	35
Figura 28 - Fluxograma da monitorização Huawei através do software Fusionsolar	36
Figura 29 - Monitorização Wibeee Box Monofásico (60A)	37
Figura 30 - Monitorização Wibeee Box Trifásico (100A).....	37
Figura 31 - Pinças de alimentação dos equipamentos Wibeee Box Monofásico e Trifásico	37
Figura 32 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeee	38
Figura 33 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeee	39
Figura 34 - Piso Radiante Daikin.....	43
Figura 35 - Coletores hidráulicos para Piso Radiante Daikin.....	43
Figura 36 - Pré-instalação de Ar Condicionado (exterior)	44
Figura 37 - Pré-instalação de Ar Condicionado (interior).....	44
Figura 38 - Ampliação a FV existente (antes)	45
Figura 39 - Ampliação a FV existente (depois)	45
Figura 40 - Instalação FV em telhado chapa sanduíche com inclinação dada pela estrutura	46

Figura 41 - Microinversor com as devidas ligações e localização	46
Figura 42 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeee para a instalação em questão.....	46
Figura 43 - Processo de vácuo numa instalação de Ar Condicionado.....	48
Figura 44 - Substituição do Inversor de Bateria SMA Sunny Boy Storage (branco e preto)	49
Figura 45 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T1.....	51
Figura 46 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T2.....	51
Figura 47 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T3.....	51
Figura 48 - Perfil de consumo médio no Período de Verão	59
Figura 49 - Perfil de consumo médio no Período de Primavera/Outono	60
Figura 50 - Perfil de consumo médio no Período de Inverno	60
Figura 51 - Imagem satélite do bloco C do IPN	61
Figura 52 - Ficha característica do painel JA Solar MBB Half-Cell Module com 490Wp	62
Figura 53 - Ficha técnica inversor SMA STP CORE I.....	63
Figura 54 - Resultados simulação Sunny Design	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classe energética correspondente ao valor de RNT.....	8
Tabela 2 - Requisitos mínimos após julho 2021 para um edifício ou fração autónoma nova	10
Tabela 3 - Requisitos mínimos após julho 2021 para um edifício ou fração autónoma em grande remodelação	10
Tabela 4 - Classes de eficiência energética do aquecimento ambiente sazonal das bombas de calor de baixa temperatura.....	19
Tabela 5 - Indicadores de eficiência energética	19
Tabela 6 - Tipologias existentes no edifício em estudo	50
Tabela 7 - Valores ST padrão para as diferentes tipologias	51
Tabela 8 - Comparação entre ST padrão e ST escolhido	52
Tabela 9 - BC's escolhidas com os respetivos SPF's e Perfis de Consumo	54
Tabela 10 - Valores de Qusable retirados da norma EN16147:2011	54
Tabela 11 - Valores de Qa, Eren e de Eren,p para as diferentes tipologias	55
Tabela 12 - Tarifa simples para BTN (($\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA) (ERSE 2020))	56
Tabela 13 - Consumo elétrico anual das BC	56
Tabela 14 - Custos ST vs BC	57
Tabela 15 - Zonas para a instalação de painéis FV com as respetivas áreas e nº de painéis FV.....	61
Tabela 16 - Consumos e tarifas retirados da fatura de eletricidade do cliente	65
Tabela 17 - Investimento inicial para instalação FV	66
Tabela 18 - Análise Financeira FV	68

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

AC	Corrente Alternada
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BC	Bomba de Calor
COP	Coefficient of Performance
DC	Corrente Contínua
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EER	Energy Efficiency Ratio
EN	Norma Europeia
EPBD	Energy Performance Building Directive
$E_{ren,p}$ [kWh/ano]	Fração de energia renovável de um sistema de produção de AQS
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FV	Fotovoltaico
ST	Solar térmico
UE	União Europeia
I	Corrente [A]
I_{cc} ou I_{sc}	Corrente de curto-circuito
MPPT	Maximum Power Point Tracker
N_t	Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de
SCE	Sistema de Certificação Energética de Edifícios
N_{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh _{EP} /m ² .ano]
	energia primária [kWh _{EP} /m ² .ano]
PNEC	Plano Nacional de Energia-Clima
PRI	Prazo de Retorno do Investimento
Q_a	Energia útil solicitada para AQS [kWh/ano]
Q_{usable}	Energia anual útil das tiragens de água de acordo com o perfil de extração [kWh]
RECS e Serviços	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH Habitação	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
R_{Nt}	Rácio de classe energética
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
SPF	Seasonal Performance Factor
TIR	Taxa Interna de Retorno
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
V ou U	Tensão [V]
VAL	Valor Acrescentado Líquido
V_{ca} ou U_{oc}	Tensão circuito aberto
Wp	Watt-pico
η_s	Seasonal space heating energy efficiency
η_{wh}	Water heating efficiency

1. Introdução

A preocupação pelo meio ambiente já era um tópico debatido no final do século passado, onde os maiores países do mundo se reuniram e debateram a questão do aquecimento global do planeta. Foram sendo definidas, ao longo dos anos, várias políticas energéticas com o objetivo de encontrar soluções viáveis a nível social, económico e ambiental, para responder ao rápido crescimento populacional e à procura de níveis de vida e de conforto mais elevados, que fossem menos prejudiciais para o planeta.

Cerca de 36% das emissões totais de gases de estufa e cerca de 40% dos consumos energéticos da União Europeia são no setor dos edifícios, daí ser do maior interesse dos Estados-Membros encontrarem e promoverem soluções que passem pelo aumento da eficiência energética do setor. Soluções estas, que se devem traduzir num consumo de energia mais baixo e num maior aproveitamento de energias renováveis, contribuindo assim para uma redução de emissões de gases de efeito de estufa, responsáveis pelo aquecimento global do planeta.

Com a introdução de legislação cada vez mais exigente, foram sendo aplicados no setor dos edifícios medidas e ideologias de construção mais sustentáveis e eficientes. Tais como o uso de materiais com melhores propriedades térmicas, o aumento da qualidade das envolventes e das caixilharias e a instalação de equipamentos mais eficientes e com aproveitamento de energias renováveis a climatização e águas quentes sanitárias.

O interesse pela área levou o aluno a procurar um estágio numa empresa inserida nesse ramo, com vista a expandir os seus conhecimentos e valências. Após procura e diálogo com os professores coordenadores, foi encontrada a empresa Eco Plug, Lda localizada em Coimbra.

1.1 Objetivos do estágio

O estágio teve como objetivo principal a inserção do aluno no mundo real do trabalho, aprofundando os conhecimentos adquiridos na área de Engenharia Mecânica, dando a oportunidade de pôr em prática os vários anos de formação a nível de Licenciatura e de Mestrado.

Os objetivos mais específicos do estágio passaram por:

- Aprofundar conhecimentos no dimensionamento de sistemas com recurso a energias renováveis;
- Conhecer e aplicar a legislação em vigor das várias áreas de trabalho da empresa;
- Realizar trabalhos de orçamentação, manutenção, assistência, acompanhamento de obras e diagnóstico de sistemas técnicos;

- Conhecer o mercado dos sistemas energéticos e familiarizar-se com a variedade de produtos, tecnologias e fornecedores existentes, passando também pela análise e interpretação de catálogos e documentos técnicos;
- Desenvolver aptidões de comunicação com os clientes e fornecedores, sendo capaz de fazer passar a sua mensagem com clareza e profissionalismo.

1.2 Estrutura do relatório

Para além do capítulo inicial introdutório, o relatório será composto por mais quatro capítulos.

No segundo capítulo é feita uma introdução à empresa acolhedora do estágio do aluno, assim como às suas principais áreas de trabalho.

No capítulo três é feito o enquadramento legislativo relevante para a área dos edifícios, com especial ênfase no setor residencial, uma vez que esta é a área em que a empresa se insere e no qual o aluno teve contacto.

No capítulo quatro e capítulo cinco é feita uma descrição dos vários equipamentos e tecnologias com os quais o aluno teve contacto ao longo do período de estágio, referindo o seu funcionamento.

No capítulo seis são enunciados os principais trabalhos realizados pelo aluno na empresa durante período de estágio, desde orçamentação, visitas a obras a trabalhos de manutenção e de assistência técnica. São apresentados no final do capítulo seis, o dimensionamento de dois sistemas com aproveitamento de energias renováveis distintos.

Foi feito um dimensionamento com vista a substituir o sistema solar térmico (ST) obrigatório por bombas de calor (BC) para produção de águas quentes sanitárias, em uma obra denominada Terraços do Rio, verificando os requisitos exigidos pela legislação em vigor.

Por último, foi feito um dimensionamento de uma instalação solar fotovoltaica (FV) para autoconsumo utilizando o *software* gratuito *Sunny Design Web*, para o bloco C do Instituto Pedro Nunes.

No capítulo sete são apresentadas as principais conclusões.

2. Empresa acolhedora do estágio

A empresa acolhedora do estágio de Mestrado do aluno, foi a empresa Eco Plug, Lda, esta inserida na categoria de pequena/média empresa, fundada em 2013 em Coimbra.



Figura 1 - Instalações Ecoplug, Lda

A área de atuação da empresa insere-se no ramo dos edifícios de habitação com foco no dimensionamento e na instalação de sistemas com aproveitamento de energias renováveis, na área da climatização, na produção de AQS e na produção de energia elétrica para autoconsumo através de sistemas solares fotovoltaicos.

À data da escrita deste documento, a empresa é composta por sete elementos na equipa técnica, três elementos na gerência, dois elementos na faturação e logística e por último, um fiel de armazém.

3. Enquadramento legislativo

Várias Diretivas Europeias foram transcritas para a legislação portuguesa, na forma de Decretos-Lei, Portarias e Despachos, com o objetivo de regulamentar, implementar e fomentar o aumento de eficiência dos edifícios novos e existentes, através do uso de sistemas com recurso a energias renováveis, com o objetivo de reduzir as necessidades energéticas e por consequente as emissões de gases de efeito de estufa.

Neste contexto surge a Diretiva nº2010/31/UE, conhecida como a Diretiva EPBD (*Energy Performance Building Directive*), veio alterar a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Mais recentemente foi publicada a Diretiva (UE) 2018/844, que procedeu a novas alterações e definição de novas exigências quanto ao desempenho energético dos edifícios.

O Decreto-Lei nº118/2013 transcreveu para a legislação portuguesa a Diretiva nº2010/31/UE, e teve como objetivo assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (DL 118, 2013)

No dia 7 de dezembro de 2020, foi aprovado pelo Conselho de Ministros um novo Decreto-Lei nº101-D/2020 que estabelece novos requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), transpondo a Diretiva EPBD mais recente da União Europeia (UE) 2018/844. A evolução da legislação relacionada com o SCE pode ser vista na Figura 2.

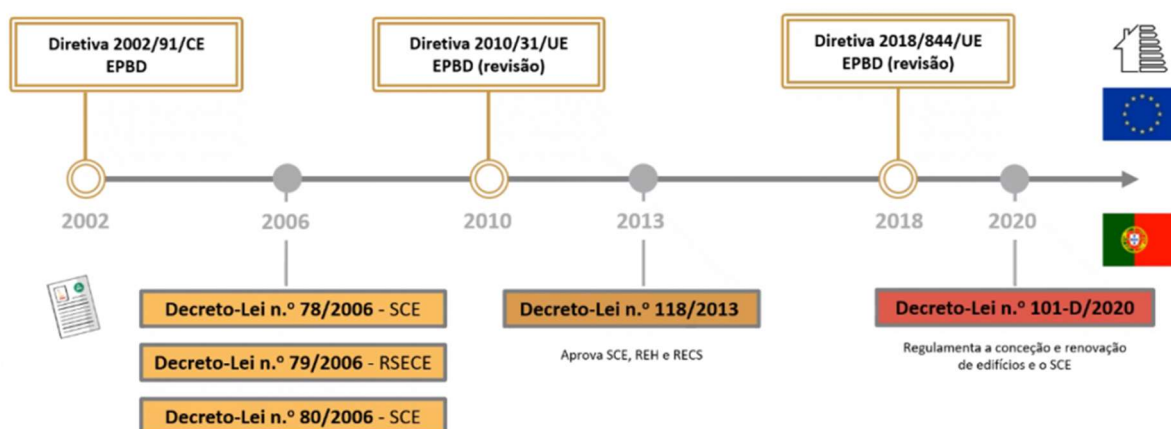


Figura 2 - Evolução da legislação do SCE (SCE, 2021)

Note-se que apesar do Decreto-Lei nº101-D/2020 ter efeito a partir do dia seguinte à sua publicação, a revogação dos diversos Decretos-Leis, Portarias e Despachos teve efeito a partir do dia 1 de julho de 2021, daí o aluno ter feito uma análise apenas ao Decreto-Lei nº118/2013 e suas Portarias e Despachos complementares uma vez que o período de estágio terminou no dia 11 de junho de 2021.

3.1 Decreto-Lei nº118/2013

O decreto-lei nº118/2013 veio transpor para a ordem jurídica nacional a Diretiva nº2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que por sua vez reformulou o regime estabelecido pela Diretiva nº2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, clarificando alguns dos princípios da Diretiva inicial e introduzindo novas disposições que visaram em reforçar o quadro de promoções do desempenho energético dos edifícios, após serem definidas as metas e os desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020 (DL118, 2013).

A transposição para o direito nacional da Diretiva nº2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, assegura não apenas a transposição da diretiva como também faz uma revisão da legislação nacional, que se unifica em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (DL118, 2013).

Com a introdução do DL nº118/2013, nos edifícios de habitação o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas assumem uma posição de maior relevância, ao passo que nos edifícios de comércio e de serviços essa relevância passa pela instalação, a manutenção e a condução dos sistemas técnicos. Para ambas as situações são definidas requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e a edifícios existentes. São também introduzidos requisitos mínimos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, abrangendo os sistemas de climatização, de preparação de águas quentes sanitárias, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis (DL118, 2013).

Neste relatório serão apenas abordados o SCE e o REH, uma vez que os trabalhos desenvolvidos durante o estágio são relativos a edifícios de habitação.

3.2 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

O certificado energético de um edifício ou fração autónoma é um documento digital emitido por um perito qualificado no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE), que traduz o desempenho energético do imóvel, classificando-o numa escala de A+ a F (Greenplan, 2015). Nesse documento são apresentadas as possíveis medidas de melhoria a implementar ao nível do desempenho energético e do conforto, destacando as de maior viabilidade económica, não sendo estas de carácter obrigatório, mas que em caso de serem aplicadas contribuirão para o desempenho energético e/ou conforto do edifício ou fração.

A classe energética indicada no Certificado Energético é calculada com base em:

- Características construtivas do imóvel (orientação, envolventes verticais e horizontais e caixilharias);
- Existência ou não de aproveitamento de energias renováveis;
- O tipo de sistemas de ventilação (natural ou mecânica);
- A eficiência e o tipo de combustíveis usados nos sistemas de climatização;
- A eficiência e o tipo de combustíveis usados nos sistemas de produção de águas quentes sanitárias.

No decurso do procedimento de licenciamento ou de autorização de construção de um edifício, o perito não emite um certificado energético, mas antes um Pré-Certificado onde se encara que o projeto cumpre os requisitos impostos pelos regulamentos. Na prática corresponde a um “certificado de projeto”, uma vez que possui um formato idêntico e o mesmo tipo de informação que um certificado final (Greenplan, 2015).

Este documento é por vezes fornecido à empresa por parte dos clientes com vista a orçamentar soluções para responder às necessidades do edifício ou fração.

A Figura 3 mostra um exemplo de um pré-certificado recebido pela empresa no período de estágio do aluno.



Figura 3 - Exemplo de Pré-Certificado Energético fornecido à empresa durante o período de estágio

O Certificado Energético segue o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) para o cálculo das necessidades nominais de anuais de energia primária de referência de forma que possa ser feita a comparação com as necessidades anuais para o edifício ou fração em estudo.

3.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)

Como foi dito anteriormente o REH define as metodologias de cálculo para as necessidades nominais anuais de energia primária (Ntc) e para o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária (Nt).

Para efeitos de cálculo, a legislação em vigor à data da escrita deste documento para os valores máximos e de referência são:

- Portaria nº349-B/2013
- Portaria nº379-A/2015
- Portaria nº319/2016
- Portaria nº297/2019

As fórmulas de cálculo encontram-se no Despacho nº15793/2013, sendo que o extrato H sofreu uma renovação, passando o mesmo a ser regido pelo Despacho nº10346/2018.

Para obter a classe energética de um edifício ou fração autónoma, é necessário determinar um rácio de classe energética R_{Nt} que é dado pela Equação 1:

$$R_{Nt} = Ntc / Nt \quad (1)$$

Conforme o valor de R_{Nt} será atribuída uma classe de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Classe energética correspondente ao valor de RNT

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

A metodologia de cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária (Ntc) está enunciada no extrato 15793-I/2013 e é dada pela Equação 2:

$$Ntc \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} * F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p} \quad (2)$$

A primeira parcela é calculada através do N_{ic} , sendo este as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, tendo em conta os diversos equipamentos utilizados e as suas eficiências (η_k) assim como o fator de conversão de energia útil para energia primária ($F_{pu,j}$). A segunda parcela é calculada através do N_{vc} , necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, mais uma vez tendo em conta as eficiências dos equipamentos e o fator de conversão. A terceira parcela diz respeito às necessidades de energia útil para produção de AQS. A quarta parcela diz respeito à ventilação mecânica, tendo em especial atenção que apenas equipamentos de ventilação contínua podem ser considerados neste ponto, isto é, exaustores de cozinha e de instalações sanitárias não estão incluídos. E por último a parcela de energia renovável, ou seja, energia consumida proveniente de

fontes renováveis que, caso exista, é subtraída às outras parcelas, contribuindo para a redução das necessidades nominais de energia primária.

Todos estes pontos referidos anteriormente estão devidamente enunciados nos despachos assim como as respetivas fórmulas e metodologias de cálculo.

Uma vez sabido o valor de N_{tc} , é necessário calcular o valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_t), retirado da Portaria nº349-B/2013, dado pela Equação 3:

$$N_t \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) * F_{pu,j} \quad (3)$$

O cálculo de N_t é todo ele feito com recurso a valores de referência, estando estes devidamente enunciados nas Portarias nº349-B/2013, nº379-A/2015, nº319/2016 e nº297/2019.

Note-se que a parcela de ventilação mecânica e de energias renováveis é admitida como inexistente.

Após o valor de N_{tc} e de N_t serem conhecidos, é possível então ser calculada a classe energética do edifício ou fração autónoma.

Para edifícios novos, de forma a obter um certificado válido, ou neste caso por se tratar de um edifício novo um pré-certificado, a classe energética mínima é de B-, isto é, $R_{nt} \leq 1$, querendo dizer que o edifício ou fração autónoma em estudo têm necessidades nominais anuais iguais ou inferiores aquelas de um edifício ou fração autónoma padrão.

Nas situações em que a classe energética não corresponde à classe mínima exigida, o projeto do edifício deve receber uma reestruturação das várias especialidades do mesmo, nomeadamente a nível de qualidade de isolamentos da envolvente, caixilharias com melhor isolamento térmico, equipamentos para climatização e produção de águas quentes sanitárias mais eficientes e introdução de sistemas com aproveitamento de energias renováveis.

3.4 Decreto-Lei nº101-D/2020

No dia 7 de dezembro de 2020, foi aprovado pelo Conselho de Ministros o Decreto-Lei nº101-D/2020, que vem revogar o Decreto-Lei nº118/2013, a Portaria nº349-A, B,

C e D de 2013, a Portaria nº353-A/2013, o Extrato C, D, E, F, G, H, I, J, K e L do Despacho nº15793/2013, o Despacho nº7113 e 8892 de 2015 e por último o Despacho nº6470/2016 (DL101-D, 2020).

Algumas das alterações com maior relevância relativamente à legislação anterior, foram a introdução dos Despachos nº6476, mais concretamente o Despacho E e H.

O Despacho E traz medidas mais restritivas no que diz respeito às necessidades de energia dos edifícios, tanto para construções novas como para edifício sujeitos a renovações, sejam elas grandes ou pequenas.

Para edifícios de habitação, os requisitos de conforto térmico e de desempenho energético foram revistos de forma que construções novas tenham necessidades quase nulas de energia, traduzindo-se num certificado energético de classe A, substituindo a legislação anterior que só exigia uma classe mínima de B- para edifícios novos. No caso de grandes remodelações, a classe mínima que o certificado tem de apresentar mantém-se na classe C.

Podemos observar os requisitos para ambos os edifícios enunciados, na Tabela 2 e Tabela 3, retiradas do Despacho nº6476-E.

Tabela 2 - Requisitos mínimos após julho 2021 para um edifício ou fração autónoma nova

Tipo de requisito	Zona climática		
	I1	I2	I3
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,85$	$N_{ic}/N_i \leq 0,90$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$		
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 0,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$		

Tabela 3 - Requisitos mínimos após julho 2021 para um edifício ou fração autónoma em grande remodelação

Tipo de requisito	Ano de construção (A)		
	$A < 1960$	$1960 \leq A \leq 1990$	$1990 < A$
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	Não aplicável	$N_{ic}/N_i \leq 1,25$	$N_{ic}/N_i \leq 1,15$
Necessidades de arrefecimento	Não aplicável	$N_{vc}/N_v \leq 1,25$	$N_{vc}/N_v \leq 1,15$
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a C		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 1,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$ (1)		

(1) Apenas aplicável quando renovados, cumulativamente, a rede de distribuição e o sistema produtor de AQS

O Despacho H aprova o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, que estabelece a metodologia de cálculo para efeitos de avaliação do desempenho energético dos edifícios e define os valores de referência para o cálculo das necessidades de referência (Nt), sendo que os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos estão definidos na nova Portaria nº138-I/2021.

4. Tecnologia Bomba de Calor

Ao longo do estágio o aluno teve a possibilidade de colocar em prática os diversos conhecimentos que adquiriu ao longo do seu percurso escolar, a nível de licenciatura e de mestrado.

Uma grande parte dos trabalhos realizados pela empresa durante o período de estágio do aluno foram na área da climatização, ou seja, aquecimento e/ou arrefecimento de espaços e na área de produção de AQS com base em sistemas de bomba de calor, daí se ter optado por apresentar neste capítulo noções teóricas relativas à tecnologia bomba de calor. No decorrer do estágio também foram dimensionados e instalados sistemas solares fotovoltaicos para produção de energia elétrica, que serão referenciados mais à frente no relatório.

Um sistema de bomba de calor tem como base o ciclo termodinâmico denominado de Bomba de Calor ou Máquina Frigorífica dependendo da necessidade, onde ambos recorrem a trabalho mecânico para retirar calor de uma fonte fria e colocá-lo numa fonte quente sem nunca violar a segunda lei da termodinâmica.

4.1 2ª Lei da Termodinâmica

A 2ª lei da termodinâmica diz que os processos ocorrem numa certa direção e que a energia tem qualidade assim como quantidade. Um processo não pode ocorrer a menos que satisfaça a 1ª e a 2ª lei da termodinâmica. Todos os processos encontrados na natureza respeitam ambas as leis, onde existe sempre a conservação de energia (1ª lei), que pode ou não ser transformada noutras formas de energia, e que a energia flui de reservatórios com mais quantidade para reservatórios com menos quantidade (2ª lei) (Çengel et Boles, 2005).

4.2 Ciclos Termodinâmicos

Na natureza, o calor flui de corpos ou reservatórios a uma certa temperatura para outros a temperaturas mais baixas, mas o contrário não ocorre naturalmente, obrigando o ser humano a encontrar soluções para o realizar. Podemos observar na Figura 4 o ciclo termodinâmico Bomba de Calor/Máquina Frigorífica.

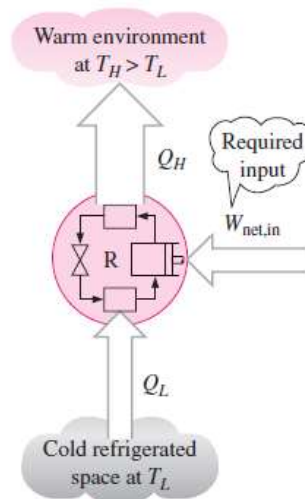


Figura 4 - Ciclo Termodinâmico Bomba de Calor/Máquina Frigorífica (Çengel et Boles, 2005)

Retiramos da Figura 4 que o sistema recorre ao trabalho mecânico de forma a ser capaz de retirar calor de uma fonte fria e rejeitar esse mesmo calor na fonte quente, através do ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

O ciclo tem 4 componentes principais: um compressor, um condensador, um evaporador e um dispositivo de expansão. Dentro deste circuito flui um fluido frigorígeno cuja função será conduzir calor desde a fonte fria até à fonte quente, recorrendo à mudança de fase do mesmo.

O compressor situa-se na saída do evaporador e é o local onde o fluido frigorígeno aumenta de pressão, mantendo-se no estado de vapor sobreaquecido a uma temperatura e pressão mais elevada em relação ao estado de saturação.

Após esse aumento de pressão, o fluido passa no condensador, onde por diferença de temperatura e devido ao processo de condensação do mesmo, transfere o seu calor para a fonte quente, completando assim a permuta e atingindo eventualmente a fase de líquido sub-arrefecido.

De seguida o fluido passa num dispositivo de expansão que baixa a pressão do líquido sub-arrefecido fazendo com que este comece a evaporar, que nos leva ao componente seguinte denominado de evaporador, local este onde se dá a permuta com a fonte fria, uma vez que o fluido atinge temperaturas mais baixas do que a do espaço a retirar calor, aproveitando essa diferença de temperatura para ganhar calor assim como o processo de evaporação.

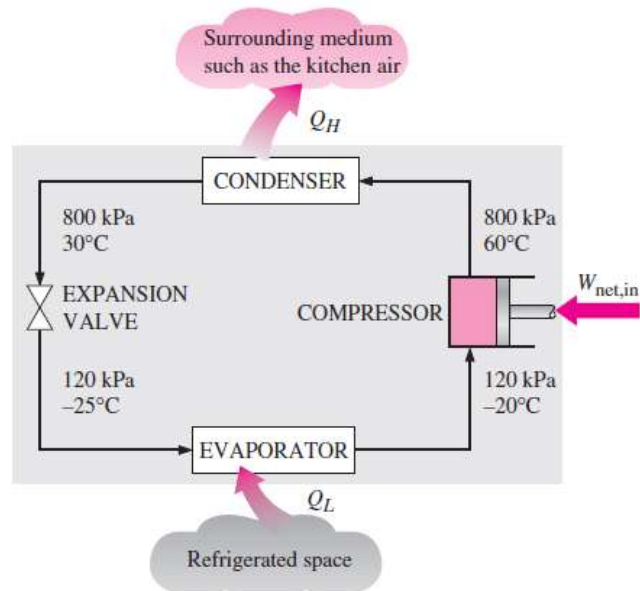


Figura 5 - Ciclo de refrigeração por compressão de vapor (Çengel et Boles, 2005)

A Figura 5 mostra visualmente o processo descrito nos parágrafos anteriores assim como a localização de todos os componentes enunciados.

4.3 Parcela de energia renovável

Devido ao funcionamento do ciclo de compressão de vapor, existe sempre uma parcela de energia que é obtida, devido à mudança de estado do fluido refrigerante, onde o fenómeno físico de evaporação e de condensação é um processo que absorve e liberta energia latente, respetivamente.

A Figura 6 mostra de forma intuitiva o ganho de energia quando comparada com outros tipos de tecnologias, onde é evidente a eficiência das várias soluções e a grande vantagem dos sistemas bomba de calor.

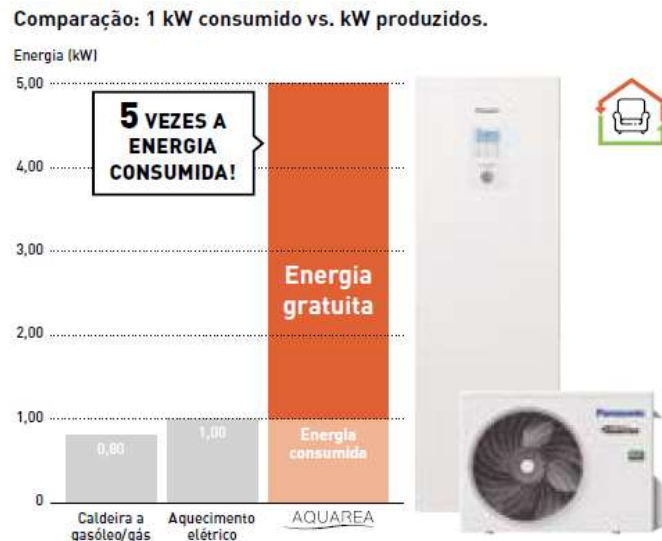


Figura 6 - Parcela de energia renovável num sistema Bomba de Calor/Máquina Frigorífica (Panasonic, 2021)

Em suma, uma bomba de calor em funcionamento com um COP (Coefficient of Performance) de 5, consome 1 kW elétrico no compressor para conseguir produzir 5 kW térmicos, que quando comparado com uma resistência elétrica resulta num ganho de 5 vezes mais energia com o mesmo consumo elétrico.

4.4 COP e EER

A eficiência de qualquer máquina que opere segundo o princípio de ciclo de compressão de vapor é dada pelo seu COP (*Coefficient of Performance*) no aquecimento ou EER (*Energy Efficiency Ratio*) para o arrefecimento.

Como foi referido anteriormente, para que o ciclo seja possível de um ponto de vista termodinâmico, trabalho mecânico tem de ser realizado de forma que calor seja retirado de uma fonte fria e rejeitado numa fonte quente.

Posto isto, a fórmula da eficiência é dada por:

$$COP \text{ ou } EER = \frac{\text{O que queremos obter}}{\text{O que temos de fornecer}} \quad (4)$$

Numa situação em que a necessidade é o aquecimento de ar ou água, o COP toma a forma de,

$$COP = \frac{QH}{W_{net,in}} \quad (5)$$

onde Q_H é o calor libertado na fonte quente e $W_{net,in}$ é o trabalho líquido que o compressor tem de absorver.

Quando a necessidade é o arrefecimento de ar ou água, o EER toma a forma de,

$$EER = \frac{Q_L}{W_{net,in}}, \quad (6)$$

onde Q_L é o calor retirado da fonte fria e $W_{net,in}$ é o trabalho do compressor.

Podemos também escrever as fórmulas de eficiência recorrendo a gráficos de Pressão - Entalpia enunciado na Figura 7.

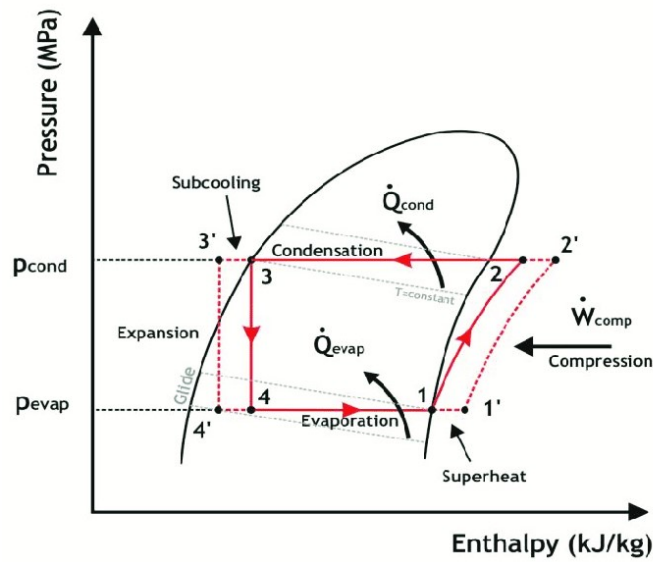


Figura 7 - Gráfico típico de Pressão - Entalpia

Assim sendo, temos que,

$$COP = \dot{Q}_{cond} / \dot{W}_{comp}, \quad (7)$$

Onde:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{Q}_{cond} - \dot{Q}_{evap} = h_{2'} - h_{1'}; \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{cond} = h_{2'} - h_{3'}; \quad (9)$$

Sendo:

- $\dot{W}_{comp}$ - Energia introduzida no sistema pelo compressor;

- $\dot{Q}_{cond}$ - Energia que o sistema liberta no condensador;
- $\dot{Q}_{evap}$ - Energia que o sistema absorve no evaporador;
- $h1'$ - Entalpia no ponto de sobreaquecimento do fluído à entrada do compressor;
- $h2'$ - Entalpia no ponto à saída do compressor;
- $h3'$ - Entalpia no ponto de subarrefecimento do fluído à entrada do dispositivo de expansão;
- $h4'$ - Entalpia no ponto à saída do dispositivo de expansão;

Logo, COP é dado por:

$$COP = \frac{h2' - h3'}{h2' - h1'}. \quad (10)$$

Podemos também escrever o EER recorrendo ao gráfico, chegando assim a:

$$\dot{W}_{comp} = h2' - h1'; \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{evap} = h1' - h4'; \quad (12)$$

$$EER = \dot{Q}_{evap} / \dot{W}_{comp}, \quad (13)$$

Ou passando para entalpias, EER será dado por:

$$EER = \frac{h1' - h4'}{h2' - h1'}. \quad (14)$$

4.5 SCOP e SEER

A eficiência de uma bomba de calor é dada pelo seu COP e EER, no entanto, esses valores correspondem à eficiência do equipamento nas condições nominais, não

sendo assim um bom indicador do consumo real do mesmo ao longo do ano. Como as condições climáticas variam ao longo das quatro estações, as temperaturas de permuta entre o fluido frigorígeno e os espaços interiores e exteriores também variam.

Foram então criados dois indicadores para a eficiência da tecnologia, consoante a estação de aquecimento e a estação de arrefecimento, concedendo uma indicação mais realista da eficiência energética e do impacte ambiental de um sistema.

Este método de classificação de eficiência energética foi promovido pela diretiva europeia 2009/125/CE (*Ecodesign ErP, Energy related Products*), que especifica os requisitos mínimos de conceção ecológica dos equipamentos, e pela diretiva europeia 2010/30/CE sobre rotulagem energética (*Labelling Directive*), que indica através de rotulagem, o consumo de energia dos equipamentos, sendo-lhes atribuído uma classe energética conforme o nível de eficiência.

Este último tem como grande objetivo informar o utilizador final acerca da eficiência do equipamento, traduzindo-se em custos de utilização do mesmo, dando assim a possibilidade de escolha comparando as mais diversas opções no mercado. Resultante destas diretivas, as bombas de calor passaram a ter indicadores de eficiência energética dependendo da utilização.

Numa bomba de calor ar-ar para climatização, os indicadores passam a ser conhecidos como SCOP (*Seasonal Coefficient of Performance*) em aquecimento, e por SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*) em arrefecimento, enunciado no Regulamento (UE) nº626/2011.

Numa bomba de calor elétrica para aquecimento central e para águas quentes sanitárias, operando no princípio ar-água, os indicadores de eficiência energética designam-se η_s (*Seasonal space heating energy efficiency*) e de η_{wh} (*Water heating efficiency*), respetivamente (Regulamento (UE) nº811/2013; Regulamento (UE) nº812/2013).

Classificação esta que permite fazer a comparação direta, em consumos de energia primária, das mais diversas tecnologias e equipamentos para aquecimento central e para produção de AQS.

A Tabela 4 e Tabela 5 representam a classe energética consoante o valor do indicador da eficiência energética. Para o caso dos aquecedores para AQS a classe energética atribuída também depende do perfil de consumo (de 3XS a XXL).

Tabela 4 - Classes de eficiência energética do aquecimento ambiente sazonal das bombas de calor de baixa temperatura

Classes de eficiência energética do aquecimento ambiente sazonal	Eficiência energética do aquecimento ambiente sazonal η_s em %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 175$
A ⁺⁺	$150 \leq \eta_s < 175$
A ⁺	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

No caso de uma BC elétrica utilizada para aquecimento central, com base em água quente, o indicador de eficiência energética é o η_s (Seasonal space heating energy efficiency) sendo aproximadamente igual ao valor de SCOP a dividir pelo fator de conversão para energia primária da eletricidade, que toma o valor de 2,5.

Tabela 5 - Indicadores de eficiência energética

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
A ⁺⁺⁺	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A ⁺⁺	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
A ⁺	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$53 \leq \eta_{wh} < 61$	$55 \leq \eta_{wh} < 72$	$100 \leq \eta_{wh} < 130$	$115 \leq \eta_{wh} < 150$	$123 \leq \eta_{wh} < 160$	$131 \leq \eta_{wh} < 170$
A	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$38 \leq \eta_{wh} < 53$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$65 \leq \eta_{wh} < 100$	$75 \leq \eta_{wh} < 115$	$80 \leq \eta_{wh} < 123$	$85 \leq \eta_{wh} < 131$
B	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$39 \leq \eta_{wh} < 65$	$50 \leq \eta_{wh} < 75$	$55 \leq \eta_{wh} < 80$	$60 \leq \eta_{wh} < 85$
C	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$36 \leq \eta_{wh} < 39$	$37 \leq \eta_{wh} < 50$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$40 \leq \eta_{wh} < 60$
D	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$36 \leq \eta_{wh} < 40$
E	$22 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$30 \leq \eta_{wh} < 33$	$30 \leq \eta_{wh} < 34$	$30 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 36$
F	$19 \leq \eta_{wh} < 22$	$20 \leq \eta_{wh} < 23$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$28 \leq \eta_{wh} < 32$
G	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

A norma europeia EN16147:2011 define as condições de teste que os fabricantes têm de respeitar com vista a calcular o indicador η_{wh} das BC elétricas para produção de água quente e define também os perfis de carga que são determinados a partir da combinação de caudal útil da água, de temperatura útil da água, de teor de energia útil e de temperatura de pico.

Posto isto, consoante o perfil de carga do aquecedor, o cálculo para o indicador η_{wh} é feito através da Equação 15.

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC * Q_{elec})(1 - SCF * smart) + Q_{cor}} \quad (15)$$

Onde:

- Q_{ref} - Energia de Referência. Soma do teor de energia útil dos escoamentos de água, expressa em kWh, num determinado perfil de carga;
- Q_{fuel} - Consumo diário de combustível. Consumo de combustível durante 24 horas consecutivas no perfil de carga declarado e em determinadas condições climáticas, expresso em kWh;
- CC - Coeficiente de conversão. Coeficiente que reflete a estimativa de uma média de 40 % de eficiência da produção de energia elétrica da União Europeia a que se refere a Diretiva 2012/27/EU; o valor do coeficiente de conversão é $CC = 2,5$;
- Q_{elec} - Consumo diário de eletricidade. Consumo de eletricidade durante 24 horas consecutivas no perfil de carga declarado e em determinadas condições climáticas, expresso em kWh em termos de energia final;
- SCF - Fator de controlo inteligente. Aumento da eficiência energética do aquecimento da água devido ao controlo inteligente;
- $Smart$ - Conformidade do controlo inteligente. Medida em que um aquecedor de água equipado com controlos inteligentes cumpre os critérios estabelecidos;
- Q_{cor} - Fator de correção ambiente. Fator que tem em conta o facto de o local onde está instalado o aquecedor de água não ser isotérmico, expresso em kWh;

Na Figura 8 e na Figura 9 são apresentados alguns exemplos retirados do catálogo da Panasonic para as Bombas de Calor Aquearea All-in-One, modelos de 3, 5, 7 e 9kW, em que retiramos os valores de SCOP para aquecimento central com a respetiva eficiência energética de aquecimento ambiente sazonal η_s e o valor de SCOP para AQS com o respetivo indicador η_{wh} . Este é um exemplo de uma bomba de calor combinada com capacidade de produzir AQS e aquecimento ambiente, sendo o controlo feito pelo próprio equipamento.

Aquecimento em clima temperado (água 35 °C / água 55 °C)	Eficiência energética sazonal	η_s %	200/136	200/136	193/130	193/130
	SCOP		5,07/3,47	5,07/3,47	4,90/3,32	4,90/3,32
Aquecimento em clima quente (água 35 °C / água 55 °C)	Classe energética ¹⁾	A+++ a D	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++
Aquecimento em clima quente (água 35 °C / água 55 °C)	Eficiência energética sazonal	η_s %	245/165	245/165	227/160	227/160
	SCOP		6,20/4,20	6,20/4,20	5,75/4,07	5,75/4,07
Aquecimento em clima quente (água 35 °C / água 55 °C)	Classe energética ¹⁾	A+++ a D	A+++ / A+++	A+++ / A+++	A+++ / A+++	A+++ / A+++
Aquecimento em clima frio (água 35 °C / água 55 °C)	Eficiência energética sazonal	η_s %	157/110	157/110	164/116	164/116
	SCOP		4,00/2,83	4,00/2,83	4,18/2,98	4,18/2,98
Aquecimento em clima frio (água 35 °C / água 55 °C)	Classe energética ¹⁾	A+++ a D	A+++ / A+	A+++ / A+	A+++ / A+	A+++ / A+

Figura 8 - Valores de SCOP para Aquecimento Central e respetiva eficiência energética dos modelos de 3, 5, 7 e 9kW (Panasonic 2021)

Perfil de carga AQS de acordo com a norma EN 16147		L	L	L	L
Depósito AQS ERP classificação de eficiência em clima temperado ³⁾	De A+ a F	A+	A+	A+	A+
Depósito AQS ERP classificação de eficiência em clima quente ³⁾	De A+ a F	A+	A+	A+	A+
Depósito AQS ERP classificação de eficiência em clima frio ³⁾	De A+ a F	A	A	A	A
Depósito AQS ERP clima temperado η / SCOP	η_{wh} % / SCOP	132/3,30	132/3,30	120/3,00	120/3,00
Depósito AQS ERP clima quente η / SCOP	η_{wh} % / SCOP	155/3,88	155/3,88	140/3,50	140/3,50
Depósito AQS ERP clima frio η / SCOP	η_{wh} % / SCOP	99/2,48	99/2,48	99/2,47	99/2,47

Figura 9 - Valores de SCOP para AQS e respetivo indicador de eficiência energética dos modelos de 3, 5, 7 e 9kW (Panasonic 2021)

Uma vez que Portugal está inserido no clima quente, para o modelo de 5kW (segunda coluna a contar da esquerda na Figura 8) temos o η_s de 245%, um SCOP de 6,20 e uma classe energética de A+++ para uma temperatura de água de 35°C. Para uma temperatura de água de 55°C temos o η_s de 165%, um SCOP de 4,20 e uma classe energética de A+++ . Quanto ao AQS (Figura 9), temos η_{wh} de 155% com um SCOP de 3,88 e uma classe energética de A+.

Após serem calculadas as classes energéticas dos equipamentos, são então geradas as etiquetas energéticas dos mesmos. Para bombas de calor combinadas, o rótulo tem a indicação da classe energética para aquecimento central e águas quentes sanitárias, da potência térmica que é capaz de debitar e do nível de ruído, tendo em conta as diferentes zonas climáticas na europa. Na Figura 10 podemos ver a etiqueta energética da bomba de calor combinada Panasonic Aquarea All-in-One Compact de 5kW, que apresenta uma classe energética para aquecimento ambiente de A++ e para produção de AQS de A+.

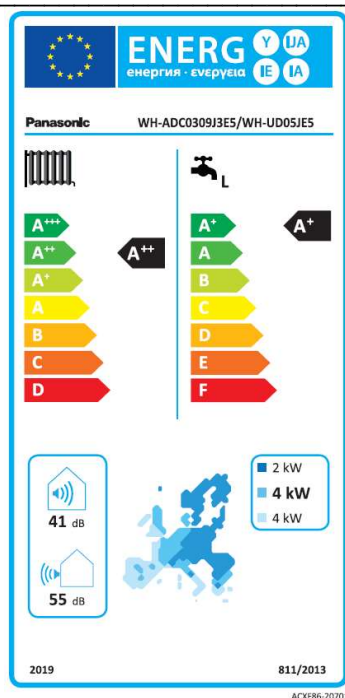


Figura 10 - Etiqueta energética da Bomba de Calor combinada Panasonic Aquarea All-in-One Compact 5kW (Panasonic, 2021)

4.6 Exemplos de Bombas de Calor Instaladas Durante o Estágio

Ao longo do estágio o aluno teve contacto com vários equipamentos da área da climatização dos mais diversos fabricantes, cujo interesse foi despertado para alguns equipamentos específicos que oferecem soluções interessantes de um ponto de vista de engenharia e de resposta às várias necessidades de uma habitação, mais concretamente ao aquecimento e arrefecimento central e à produção de AQS.

Um destes equipamentos é a bomba de calor Panasonic Aquarea All-in-One Compact com depósito integrado (Figura 11), que é capaz de responder a todas as necessidades de uma habitação ocupando um espaço relativamente pequeno na mesma. Devido à aplicação via smartphone ou web da marca, o utilizador tem um controlo muito interessante de todos os parâmetros relacionados com a bomba de calor, nomeadamente as temperaturas de impulsão e de retorno da água do circuito de climatização e da temperatura de impulsão das AQS, para além de permitir introduzir uma tarifa de eletricidade que desta forma nos indica quais foram os custos das diversas necessidades.



Figura 11 - Panasonic Aquarea All-in-one Compact 9kW (Panasonic 2021)

Quanto à filosofia de funcionamento, uma BC combinada terá sempre como prioridade a produção de AQS, onde após esta necessidade estar respondida fará aquecimento para radiadores, piso radiante e unidades ventilo-convectoras ou um mix destas. Caso a unidade dissipadora de calor seja uma unidade ventilo convectiva, a bomba de calor permite também fazer o arrefecimento de espaços, necessidade esta que não é possível ser respondida com radiadores ou piso radiante devido à condensação da água presente no ar ambiente do espaço a climatizar.

Um outro equipamento que despertou o interesse do aluno foi a BC Energie Aquapura Split 160i para produção de AQS (Figura 12). Este é um equipamento que para além do espaço reduzido, tem as ligações hidráulicas e frigoríficas na base da unidade interior que permite uma substituição direta de termoacumuladores existentes. Tem também a particularidade de não necessitar de ânodo de magnésio de proteção devido ao tratamento químico a que o aço utilizado é sujeito. Posto isto, a manutenção do equipamento é praticamente inexistente, passando apenas pela limpeza/desobstrução da sujidade que possa ser acumulada na unidade exterior.

A Figura 12 mostra o equipamento em questão.



Figura 12 - Energie Aquapura Split 160i

As vantagens enunciadas nos parágrafos anteriores levaram o aluno a orçamentar várias vezes a BC em questão a clientes que procuravam uma solução para AQS, tendo sido aceite em várias ocasiões.

5. Tecnologia Solar Fotovoltaica

Uma grande parte dos trabalhos realizados pela empresa durante o período de estágio do aluno foram na área dos sistemas de produção de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos, daí se ter optado por apresentar neste capítulo noções teóricas relativas à tecnologia solar fotovoltaica.

O efeito Fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz (Morais, 2019). O material semicondutor mais utilizado atualmente é o Silício com diferentes graus de pureza, podendo dar origem a células policristalinas ou monocristalinas. Ao longo do período do estágio o aluno teve apenas contacto com painéis fotovoltaicos monocristalinos uma vez que estes têm uma eficiência mais elevada quando comparados com a célula policristalina, sendo mais dispendioso inicialmente, mas compensando no funcionamento uma vez que se obterá uma produção fotovoltaica superior.

5.1 Constituição de uma célula fotovoltaica

Como foi referido, uma célula fotovoltaica é constituída por materiais semicondutores onde o mais comum é o Silício, criando uma célula composta por várias camadas de diferentes materiais. Para haver corrente elétrica é necessário que exista um campo elétrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício é possível criar duas camadas de material na célula: a chamada camada tipo p - dopado com boro (excesso de cargas positivas) e a chamada camada tipo n - dopado com fósforo (excesso de cargas negativas).

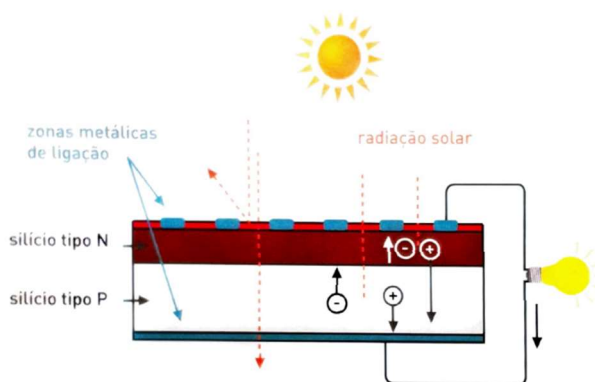


Figura 13 - Composição de uma célula fotovoltaica (Morais, 2019)

Podemos observar na Figura 13 a localização dos diferentes tipos de Silício dopado, assim como os contactos frontais em cobre que constituem os terminais negativos, o contacto metálico na parte posterior da célula que constitui o terminal positivo e a cobertura antirreflexo, geralmente uma película que reduz a reflexão da radiação incidente uma vez que sem este revestimento a célula refletiria cerca de um terço da radiação incidente.

5.2 Funcionamento de uma célula fotovoltaica

Quanto ao modo de funcionamento, os eletrões excitados pelos fotões, ou partículas de luz radiante, são acelerados para o terminal negativo da célula fotovoltaica, causando um excesso de cargas positivas no terminal positivo, criando assim uma diferença de potencial.

É possível observar este efeito na figura anterior, onde um condutor externo é utilizado de forma a ligar a camada positiva à camada negativa, gerando assim uma corrente correspondente ao fluxo de eletrões na ligação. Esta corrente vai existir enquanto incidir radiação solar na célula e será proporcional à intensidade dessa mesma incidência.

5.3 Parâmetros característicos

Os principais parâmetros característicos de um painel fotovoltaico estão devidamente enunciados nas respetivas datasheets dos módulos, sendo estes a corrente de curto-circuito (I_{cc} ou I_{sc}), ou seja, a corrente máxima produzida por módulo e a tensão de circuito aberto (V_{ca} ou U_{oc}), ou seja, o valor máximo de tensão produzida.

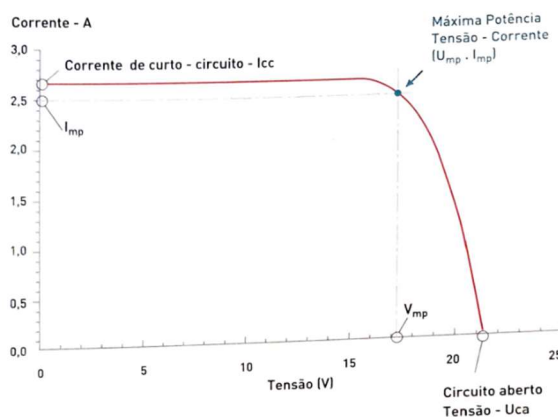


Figura 14 - Curva IV típica de um painel fotovoltaico (Morais, 2019)

Como se pode observar na Figura 14, o ponto de máxima produção fotovoltaica não ocorre quando a corrente ou a tensão elétrica é máxima, mas sim quando o produto das duas é maximizado.

5.4 Influência da radiação e da temperatura na produção FV

Todos os painéis fotovoltaicos são testados nas condições de referência, isto é, com uma irradiância solar de 1000 W/m^2 , uma temperatura de célula de 25°C e ausência de movimento de ar (vento). É com base nestes testes que a ficha técnica dos módulos fotovoltaicos é produzida e fornecida ao público. A potência do painel é dada em Watt-pico (Wp) que corresponde à potência debitada pelo painel nas condições referidas anteriormente.

No entanto, as condições meteorológicas nem sempre são as ideais para a produção fotovoltaica, ou seja, os valores de radiação e de temperatura não são iguais aos utilizados no teste dos módulos que por sua vez terá uma influência na potência produzida pelos mesmos.

Na Figura 15 podemos observar que aquando de uma diminuição da radiação incidente no painel fotovoltaico, há uma diminuição de potência produzida, enquanto um aumento tem o efeito contrário.

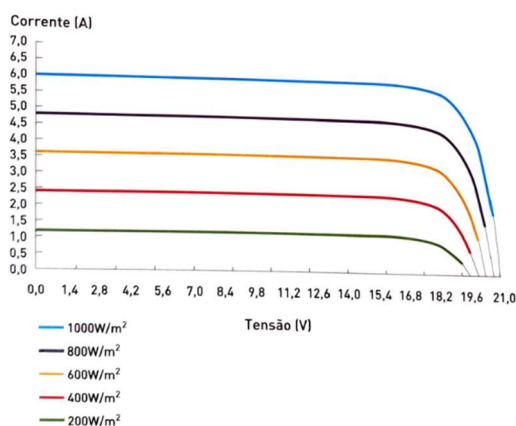


Figura 15 - Curva típica de influência da radiação para a produção FV (Morais, 2019)

Low-light performance (Example for AC-300M/60S)		
I-U characteristic curve	Current I _{pp}	Voltage U _{pp}
200 W/m ²	2,15 A	30,17 V
400 W/m ²	3,71 A	31,20 V
600 W/m ²	6,05 A	31,81 V
800 W/m ²	7,57 A	32,10 V
1000 W/m ²	9,27 A	32,37 V

Figura 16 - Valores de produção FV para diferentes níveis de radiação (Axitec, 2020)

Na Figura 15 pode-se observar valores de produção FV para diferentes níveis de radiação, provenientes da ficha característica do painel Axitec AxiPremium BLK monocristalino de 60 células, com potência de 300Wp.

A Figura 17 mostra que o aumento da temperatura das células tem um efeito similar à redução de radiação incidente, significando que a produção fotovoltaica é prejudicada.

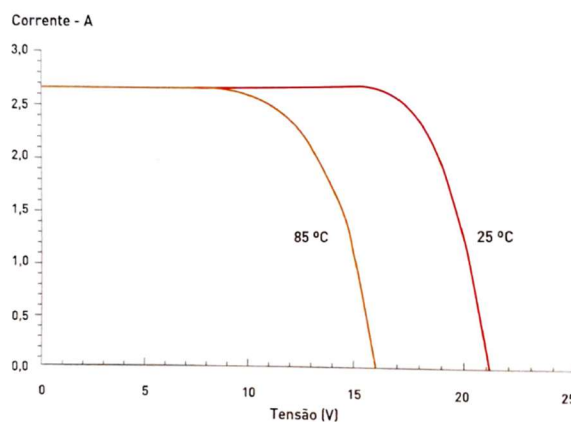


Figura 17 - Curva típica de influência da temperatura para a produção FV (Morais, 2019)

Em suma, a tecnologia solar fotovoltaica é muito sensível a mudanças de exposições solares ou temperaturas da célula, sendo que a variação do parâmetro da radiação tem um impacto superior na produção FV do módulo quando comparado com o parâmetro da temperatura.

5.5 Importância da escolha dos inversores

O inversor é o equipamento que faz a conversão de corrente contínua (DC) gerada pelos painéis para corrente alternada (AC), monofásica ou trifásica, de forma que possa ser consumida nas instalações. Com recurso às fichas técnicas dos inversores, é possível calcular qual é o número de painéis máximo por *string*, assim como o número de *strings* máximo por MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). A designação *string* refere-se ao fenómeno de colocar painéis ligados em série entre eles, criando de um ponto de vista elétrico um único painel fotovoltaico, onde todos estarão nas mesmas condições de produção. O fator limitativo do nº de painéis por *string* é a tensão elétrica produzida pelos mesmos, que nunca deve exceder o valor máximo admitido pelo inversor.

Quanto ao nº de *strings* por MPPT, o fator limitativo passa a ser a corrente máxima admitida pelo inversor, uma vez que em circuitos paralelos são somadas as correntes.

A escolha do inversor pode passar por fatores como o espaço disponível ou as condições de injeção na instalação da produção fotovoltaica, levando assim a que se

opte por microinversores ou por inversores *string*. Este ponto será abordado mais à frente com maior detalhe.

O MPPT é o dispositivo que tem como objetivo principal seguir a curva de produção fotovoltaica e alterar as características da tensão e corrente produzidas pela instalação de forma a que a potência de saída seja máxima (Figura 14). Por norma estes dispositivos encontram-se instalados no próprio inversor, tendo um MPPT por cada entrada disponível, permitindo assim que o mesmo equipamento tenha a capacidade de regular sem qualquer problema uma instalação com conjuntos de painéis com orientações diferentes e consequentemente potências diferentes à saída das diversas *strings*.

O cálculo que leva à escolha dos inversores passa primeiro pela análise dos parâmetros característicos dos módulos fotovoltaicos, onde se tem em consideração a influência da temperatura na tensão e na corrente.

Utilizando o painel Axitec AxiPremium BLK 320Wp, pode-se observar na Figura 18 as características e os parâmetros característicos (U_{oc} e I_{sc}) e na Figura 19 a variação dos parâmetros característicos e da potência com a temperatura.

Electrical data (at standard conditions (STC) irradiance 1000 watt/m², spectrum AM 1,5 at a cell temperature of 25°C)

Type	Nominal output P _{mpp}	Nominal voltage U _{mpp}	Nominal current I _{mpp}	Short circuit current I _{sc}	Open circuit voltage U _{oc}	Module conversion efficiency
AC-300M/60S	300 Wp	32,37 V	9,27 A	9,74 A	39,72 V	18,33 %
AC-305M/60S	305 Wp	32,41 V	9,42 A	9,83 A	39,81 V	18,63 %
AC-310M/60S	310 Wp	32,51 V	9,54 A	9,94 A	39,94 V	18,94 %
AC-315M/60S	315 Wp	32,79 V	9,61 A	10,03 A	40,16 V	19,24 %
AC-320M/60S	320 Wp	32,94 V	9,73 A	10,13 A	40,58 V	19,55 %

Figura 18 - Ficha característica painel Axitec AxiPremium BLK 320 Wp

Temperature coefficients

Voltage U _{oc}	-0,29 %/K
Current I _{sc}	0,04 %/K
Output P _{mpp}	-0,39 %/K

Figura 19 - Coeficientes de variação das características do painel com a temperatura

Retira-se das fichas técnicas os valores de U_{oc} , de I_{sc} e dos coeficientes de variação destes parâmetros com a temperatura, sendo estes:

$$U_{oc} = 40,58 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 10,13 \text{ A}$$

$$Tensão\ Uoc = 0,29\%/^{\circ}C\ (mantemos\ o\ valor\ absoluto)$$

$$Corrente\ Isc = 0,04\%/^{\circ}C$$

Os valores de temperatura de referência, mínima e máxima para o cálculo são de:

$$Tpainel\ ref. = 25^{\circ}C$$

$$Tpainel\ min. = -10^{\circ}C$$

$$Tpainel\ max. = 70^{\circ}C$$

O procedimento para o cálculo da tensão máxima à saída do painel para uma temperatura de $-10^{\circ}C$ é dado pelas Equações 16, 17 e 18:

$$Uoc * (Tensão\ Uoc/100) \rightarrow A\ [V/^{\circ}C] \quad (16)$$

$$A * (Tpainel\ ref. - Tpainel\ min.) \rightarrow B\ [V] \quad (17)$$

$$B + Uoc \rightarrow C\ [V] \quad (18)$$

$$C = Tensão\ máxima\ por\ painel\ a\ -\ 10^{\circ}C$$

Ou seja, fazendo os cálculos como se apresenta de seguida, dá que a tensão máxima à saída do painel para uma temperatura de $-10^{\circ}C$ é de cerca de 44,7 V.

$$40,58 * \frac{0,29}{100} = 0,117682\ V/^{\circ}C$$

$$0,117682 * [25 - (-10)] = 4,11887\ V$$

$$4,11887 + 40,58 = 44,69887\ V$$

O procedimento para o cálculo da corrente é dado pela Equações 19, 20 e 21:

$$Isc * (Corrente\ Isc/100) \rightarrow A\ [A/^{\circ}C] \quad (19)$$

$$A * (T_{\text{painel max.}} - T_{\text{painel ref.}}) \rightarrow B [A] \quad (20)$$

$$B + I_{sc} \rightarrow C [A] \quad (21)$$

$$C = \text{Corrente máxima por painel a } + 70^{\circ}\text{C}$$

Ou seja:

$$10,13 * \frac{0,04}{100} = 0,004052 \text{ A}/^{\circ}\text{C}$$

$$0,004052 * [70 - 25] = 0,18234 \text{ A}$$

$$0,18234 + 10,13 = 10,31234 \text{ A}$$

Sabe-se agora que o valor máximo de tensão é de 44,69887 V e que o de corrente é de 10,31234 A em casos extremos de temperatura, podendo ser feita a verificação das fichas técnicas dos inversores de forma a ser feita a seleção. Para a demonstração iremos utilizar o inversor *string* SMA Sunny Tri Power 15000TL.

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL
Input (DC)	
Max. generator power	27000 W _p
DC rated power	15330 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Max. DC short-circuit current input A/input B	43 A / 43 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3

Figura 20 - Ficha técnica do inversor SMA Sunny Tri Power 15000TL (SMA, 2021)

Podemos observar na ficha técnica do equipamento (Figura 20) que a tensão máxima do inversor é de 1000V e a corrente é de 33A.

O nº máximo de painéis que podemos colocar por string é de $1000 \text{ V} / 44,69887 \text{ V} = 22,37193 \rightarrow 22 \text{ painéis em série}$, e que o número de strings máximo por MPPT é de $33 \text{ A} / 10,31234 \text{ A} = 3,20005 \rightarrow 3 \text{ strings por MPPT}$.

Por outro lado, existe um mínimo de tensão necessária para que o inversor arranque, dado por $150 \text{ V} / 44,69887 \text{ V} = 3,35579 \rightarrow 4 \text{ painéis em série}$. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que para este inversor a instalação tem de ter no mínimo 4 painéis Axitec AxiPremium BLK 320Wp por *string* para que o inversor comece a trabalhar, um máximo de 22 painéis para que não ultrapasse o seu limite

de tensão máxima admissível e um máximo de 3 *strings* por cada MPPT para não ultrapassar o valor de corrente máximo admissível.

O cálculo é feito da mesma forma para todos os painéis e inversores, onde apenas variam os valores máximos de fabricante para fabricante. Este é um passo importante e por vezes limitativo no que diz respeito à escolha dos equipamentos para uma situação em particular.

O aluno realizou este cálculo para um pedido de orçamento que consistia em aproveitar ao máximo o inversor já existente, em que apesar do resultado final ser de 22 painéis em série, optou-se por colocar apenas 21 devido a restrições de espaço disponível. Este caso será exposto com mais à frente no capítulo 6, uma vez que o aluno acompanhou e ajudou a realizar a obra.

5.6 Exemplos de Painéis Fotovoltaicos Instalados Durante o Estágio

Ao longo do período de estágio, o aluno teve contacto com dois modelos de painéis fotovoltaicos, sendo estes o módulo Luxor Eco Line HC Full Black com 305Wp e mais recentemente o módulo Axitec AXIpremium BLK 320Wp. Como explicado no ponto anterior, cada painel vai gerar uma linha de cálculos para que sejam determinados os parâmetros característicos para situações extremas de temperatura de -10°C.

A Figura 21 e a Figura 22 dizem respeito às fichas técnicas dos painéis utilizados pelo aluno ao longo do período de estágio.

Electrical data at STC					
Rated power P _{mpp} [Wp]	305.00	310.00	315.00	320.00	325.00
P _{mpp} range to	311.49	316.49	321.49	326.49	331.49
Rated current I _{mpp} [A]	9.29	9.35	9.42	9.48	9.55
Rated voltage V _{mpp} [V]	32.88	33.18	33.48	33.78	34.08
Short-circuit current I _{sc} [A]	9.73	9.79	9.86	9.93	10.00
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	39.10	39.45	39.81	40.17	40.53
Efficiency at STC up to	18.75%	19.05%	19.35%	19.65%	19.95%
Efficiency at 200 W/m ²	17.88%	18.18%	18.50%	18.80%	19.13%

Figura 21 - Ficha característica painel Luxor Eco Line HC Full Black 305Wp (Luxor, 2020)

Electrical data (at standard conditions (STC) irradiance 1000 watt/m ² , spectrum AM 1,5 at a cell temperature of 25°C)						
Type	Nominal output P _{mpp}	Nominal voltage U _{mpp}	Nominal current I _{mpp}	Short circuit current I _{sc}	Open circuit voltage U _{oc}	Module conversion efficiency
AC-300M/60S	300 Wp	32,37 V	9,27 A	9,74 A	39,72 V	18,33 %
AC-305M/60S	305 Wp	32,41 V	9,42 A	9,83 A	39,81 V	18,63 %
AC-310M/60S	310 Wp	32,51 V	9,54 A	9,94 A	39,94 V	18,94 %
AC-315M/60S	315 Wp	32,79 V	9,61 A	10,03 A	40,16 V	19,24 %
AC-320M/60S	320 Wp	32,94 V	9,73 A	10,13 A	40,58 V	19,55 %

Figura 22 - Ficha característica painel Axitec AxiPremium BLK 320 Wp (Axitec, 2021)

A nível de inversores, a situação torna-se mais abrangente quanto a marcas e arquiteturas de instalação, podendo ser do tipo microinversor ou do tipo *string*.

Segundo a arquitetura microinversor uma das marcas mais utilizadas tanto a nível global como pela empresa é a marca APSsystems, quer para inversores monofásicos, modelo YC600, como para inversores trifásicos, modelo YC1000-3.

Esta filosofia tem a grande vantagem de tornar a instalação FV modular, onde se podem adicionar painéis à posteriori sem alterar a instalação existente, para além de cada microinversor ter um nº de MPPT igual ao nº de entradas permitindo que caso um dos painéis sofra com algum sombreamento ou tenha algum defeito que quebre a produção, a instalação não seja totalmente prejudicada.

A Figura 23 e Figura 24 mostram as fichas técnicas dos microinversores utilizados pela empresa.

INPUT DATA (DC)	
Module Compatibility	60 & 72 Cell PV Modules
MPPT Voltage Range	22V-48V
Operation Voltage Range	16V-55V
Maximum Input Voltage	60V
Maximum Input Current	12A x 2
Maximum Total PV Array Short Circuit Current	15A

Figura 23 - Ficha técnica do inversor APS YC600 (APSystems, 2021a)

INPUT DATA (DC)	
MPPT Voltage Range	16-55V
Maximum Input Voltage	60V
Maximum Input Current	14.8A x 4
Startup Voltage	22V

Figura 24 - Ficha técnica do inversor APS YC1000-3 (APSystems, 2021b)

Segundo a arquitetura *string*, o nº de fabricantes que a empresa utiliza é consideravelmente maior, passando por marcas de renome como a SMA Solar Technology AG, a Huawei Technologies Co. Ltd e a Fronius International GmbH, como por marcas menos conceituadas, como a Solax Power.

A arquitetura *string* tem a grande vantagem de centrarmos a conversão DC para AC apenas num ponto, tornando ao mesmo tempo mais simples a monitorização da produção uma vez que toda essa passa num único equipamento. Grande parte dos inversores *string* têm comunicação via internet que quando acoplado a um sensor de corrente instalado no quadro geral, consegue fazer toda a gestão e tratamento de dados relativos à produção fotovoltaica e ao consumo da habitação ao longo do dia e dos vários dias.

Uma outra vantagem do acoplamento DC é a possibilidade de utilizar um inversor *string* chamado inversor híbrido de baterias, isto é, o inversor tem a capacidade de converter DC em AC para consumo da habitação, no entanto tem também saída DC para carregamento de baterias, tornando o sistema muito interessante, uma vez que com apenas um equipamento se consegue fazer a gestão de injeção da produção fotovoltaica na habitação ou nas baterias no caso das necessidades de consumos de eletricidade serem inferiores à produção FV.

Este é o caso típico dos inversores da marca Huawei e Solax, que se apresentam na Figura 25 e na Figura 26.



Figura 25 - Acoplamento DC com Inversor híbrido Huawei e Bateria de Lítio



Figura 26 - Acoplamento DC com Inversor híbrido Solax e Bateria de Lítio

Uma outra situação é o chamado acoplamento AC, onde são utilizados dois inversores e em que o inversor de bateria está ligado em corrente alternada após o inversor de rede DC/AC, que faz a conversão AC de volta para uma tensão DC adequada para carregar a bateria instalada. Este tipo de instalação é o utilizado pela SMA (Figura 27).



Figura 27 - Acoplamento AC com Inversor de Rede SMA (vermelho) e Inversor de Bateria SMA (branco e preto)

Um acoplamento AC tem a grande vantagem de permitir uma maior expansão quer a nível de potência FV instalada como de nº de baterias quando comparada com um acoplamento DC.

5.7 Sistemas de monitorização da instalação FV

O grande objetivo de sistemas de produção fotovoltaica para autoconsumo é que a maioria da eletricidade produzida seja autoconsumida respondendo às necessidades de cada habitação em específico. Cada caso é um caso e não é vantajoso ter uma instalação com uma potência instalada muito superior à necessária uma vez que o excedente de produção é geralmente injetado na rede a custo zero, caso não haja acumulação por baterias. A remuneração relativa à energia excedente injetada na rede é um valor muito baixo e obriga a instalação de equipamentos adicionais que encarecem a instalação, não sendo, por isso, muito usual em unidades de produção de pequena dimensão.

Para permitir ao cliente fazer a gestão dos seus consumos de forma a maximizar o aproveitamento da produção fotovoltaica, é necessário haver algum tipo de monitorização que faça a medição e tratamento dos dados para que seja possível a sua visualização. A facilidade de utilização e o grau de interatividade é importante para que o cliente consiga utilizar essas ferramentas.

Vários fabricantes têm o seu próprio *software* de monitorização e utilizando o facto de a grande maioria dos consumidores hoje em dia terem acesso à internet, consegue-se com recurso a um medidor adicional colocado no quadro geral, fazer o balanço entre produção fotovoltaica e consumos da habitação, compilando esses dados numa aplicação para smartphone ou via web. Estes dados permitiram aos consumidores fazerem uma melhor gestão do seu diagrama de carga, desviando certos consumos de eletricidade para os períodos de maior produção FV.

Um destes *softwares* é da Fusionsolar, aplicação desenvolvida pela Huawei que mostra em tempo real a produção fotovoltaica, a potência a injetar na casa, a injetar na rede e uma vez que a instalação em questão utiliza uma bateria de Lítio Huawei Luna com 5kWh de acumulação, a potência de carregamento da mesma.

Na Figura 28 pode-se observar o fluxograma com os pontos referidos anteriormente.

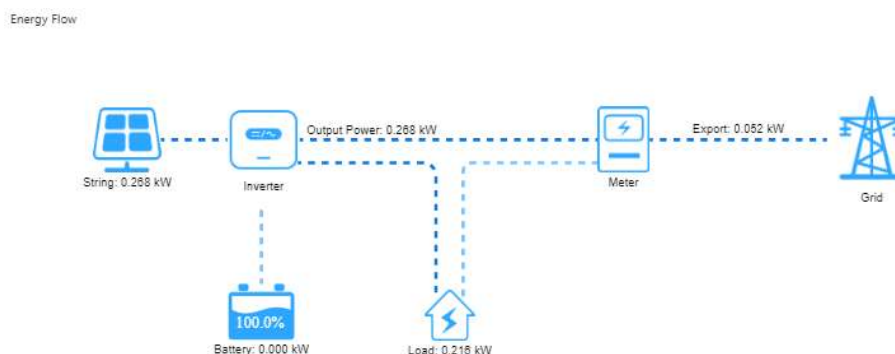


Figura 28 - Fluxograma da monitorização Huawei através do software Fusionsolar

Em análise à Figura 28, pode-se observar que a instalação num determinado dia à tarde, com 3,6 kWp de potência FV instalada, já carregou na totalidade a bateria de 5 kWh e está a injetar na habitação cerca de 216W, sendo que cerca de 52W estão a ser injetados na rede devido à programação feita no inversor. Esta programação está feita de modo que caso ocorra um aumento de consumo, o sistema recorra imediatamente à bateria ou à rede, ou por outras palavras, é uma produção fotovoltaica que permite abater flutuações de consumo da habitação.

Pode-se observar também que a produção fotovoltaica é apenas a necessária para a habitação, isto porque um dos parâmetros que é possível ajustar na aplicação é o chamado “injeção zero”, onde o sistema faz a gestão e limita a produção em função das necessidades. A instalação em questão é uma instalação em acoplamento DC, referente à Figura 25.

Softwares e equipamentos de monitorização da produção não têm obrigatoriamente de ser produzidos por fabricantes de inversores, podendo ser produzidos por terceiros, sendo um deles o caso do *software* Wibeet. Comercializado e instalado pela empresa Ecoplug com frequência, uma vez que oferece um serviço extremamente flexível, que pode ser utilizado em qualquer arquitetura de acoplamento DC ou AC, de microinversores ou de inversor *string*, tudo isto enquanto ocupa um espaço diminuto no quadro geral e oferece uma aplicação muito bem desenvolvida e intuitiva para o cliente e para o instalador, com modelos monofásicos e trifásicos.

Os equipamentos em questão são visíveis na Figura 29 e Figura 30.



Figura 29 - Monitorização Wibeee Box Monofásico (60A)



Figura 30 - Monitorização Wibeee Box Trifásico (100A)



Figura 31 - Pinças de alimentação dos equipamentos Wibeee Box Monofásico e Trifásico

O equipamento deve ser colocado preferencialmente no quadro geral da habitação de forma a que um único dispositivo consiga fazer as leituras necessárias. A instalação do mesmo é simples, a alimentação é feita no disjuntor geral através de duas pinças amperimétricas (Figura 31), facilitando consideravelmente as ligações. As pinças amperimétricas serão então colocadas uma no cabo de alimentação da habitação e uma outra na produção fotovoltaica, levando depois à configuração necessária na aplicação.

Após a configuração, o aparelho permite associar equipamentos consumidores de energia que o cliente tenha instalados na sua habitação uma vez que o *software* tem um algoritmo que determina quais são os equipamentos consumidores na habitação e é capaz de isolar esses consumos e mostrá-los ao cliente. O aparelho indica quanta energia foi consumida por esses equipamentos em específico e, caso o cliente introduza o valor da tarifa, indica qual o valor em euros que foi poupado devido à produção fotovoltaica ou que foi gasto nos períodos sem produção FV.

Na Figura 32 pode-se observar os dados retirados da aplicação Wibeee Home instalado na habitação de um cliente da empresa, em que é possível ver os resultados da monitorização de forma gráfica e intuitiva, retirando assim várias conclusões.



Figura 32 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeer

Em primeira instância podemos observar que foi um dia menos bom para produção fotovoltaica, linha a amarelo, devido a sombreamentos causados pelas condições climáticas que provocaram quebras significativas na energia gerada pela instalação FV.

Quando se faz uma análise a um sistema de monitorização de produção fotovoltaica, o valor mais importante é a relação entre a energia produzida (4,42 kWh) e a energia autoconsumida (4,03 kWh), minimizando assim a energia exportada a custo zero (0,39 kWh). Isto quer dizer que o investimento que foi feito na aquisição e instalação dos painéis fotovoltaicos está a ser recuperado, uma vez que a energia produzida está a ser consumida quase na totalidade (91%). Neste caso grande parte do consumo de eletricidade que ocorreu durante o período de produção FV foi totalmente fornecido pela própria instalação, não sendo necessário consumir energia da rede.

Na Figura 33 podemos observar um dia em que a produção fotovoltaica foi melhor em relação ao caso anterior (7,02 kWh), no entanto o aproveitamento foi pior, onde grande parte da produção foi injetada na rede elétrica a custo zero (4,73 kWh), enquanto o restante foi consumido (2,29 kWh). Esta situação gerou uma percentagem de energia autoconsumida de apenas 33%.



Figura 33 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeer

Numa situação como esta, em que a energia autoconsumida é relativamente baixa, é aconselhável mudar alguns consumos para as horas de produção FV, conseguindo fazê-lo através da programação de equipamentos como bomba de calor, máquina de lavar roupa e máquina de lavar loiça inteligentes, de forma a que a energia injetada na rede passe a energia autoconsumida.

6. Principais trabalhos realizados durante o estágio

Neste capítulo serão enunciados os principais trabalhos realizados durante o período de estágio, evidenciando assim a responsabilidade depositada no aluno pela empresa.

É de notar que devido à situação pandémica que o país atravessou durante a totalidade do período de estágio do aluno, não existiram tantas oportunidades para acompanhamento e visitas de obra quantas seriam possíveis em tempos normais. Posto isto, grande parte do trabalho realizado pelo aluno passou exclusivamente pelo trabalho de orçamentação no escritório, salvo as raras exceções onde houve a possibilidade de acompanhar os elementos da equipa técnica em serviços de obra, assistência e manutenção.

Foi feito um estudo comparativo de um sistema solar térmico (ST) com uma bomba de calor (BC) para produção de AQS, com vista a serem instalados num bloco de apartamentos com diferentes tipologias. Foi feito um dimensionamento de uma instalação FV para autoconsumo para um edifício de escritórios.

6.1 Orçamentação

O aluno teve a oportunidade e a responsabilidade de fazer trabalho de orçamentação ao longo do período de estágio, que serviu de oportunidade para aprender a interagir e a dialogar com clientes finais e fornecedores de materiais ou equipamentos.

Este é um trabalho de várias etapas que começa com o diálogo entre o aluno e o cliente acerca das soluções que este último procura, sempre com um espírito crítico da melhor tecnologia possível e viável para a situação em mãos, onde após esse primeiro diálogo o aluno fica com uma ideia do que será o mais aconselhado e parte para a etapa seguinte.

De seguida o aluno pensa numa solução tendo em conta todos os pormenores que sejam importantes e/ou limitativos para qualquer tipo de tecnologia, como por exemplo estudar a viabilidade de uma instalação de um sistema solar térmico sem haver uma pré-instalação para o mesmo. Esta solução implicaria um trabalho de mão-de-obra mais complicado e demorado que acarretaria custos ao cliente que podiam ser menores caso optasse por uma outra tecnologia (i.e., solar fotovoltaico com bomba de calor para AQS).

Após a solução ser pensada, o aluno entra em contacto com os mais diversos fornecedores de forma a obter os preços com as respetivas condições de

pagamento dos equipamentos, materiais e acessórios necessários à realização da obra. Após essa consulta o aluno obtém os preços líquidos da solução e entra em contacto com os Engenheiros Luís Santos e/ou Luís Marques de forma a chegar ao preço final que será apresentado ao cliente.

Este último ponto requer alguma experiência e noção do mapa de trabalhos da empresa no momento, algo que o aluno foi adquirindo ao longo do estágio e foi ganhando a capacidade de apresentar um valor final ao cliente que já contemplava todos os pontos referidos anteriormente. O aluno apresentava na mesma esses valores finais aos Engenheiros de forma que os mesmos tivessem conhecimento do trabalho que o aluno tinha feito, dando a sua opinião e fazendo alterações caso fossem necessárias.

Note-se que devido ao aluno adotar esta estratégia de nunca enviar qualquer tipo de orçamento aos clientes sem o conhecimento dos Engenheiros, pelo menos na fase inicial, nunca houve qualquer tipo de engano a nível de orçamentação. Falhas ou erros neste ponto podem colocar em causa o nome e a credibilidade da empresa e do aluno.

O aluno realizou trabalhos de orçamentação em todas as áreas de funcionamento da empresa, com maior ênfase na área de climatização, produção de águas quentes sanitárias e produção de energia elétrica para autoconsumo através de painéis fotovoltaicos.

Devido à situação pandémica que o país enfrentou e ao mapa de trabalhos a que a empresa esteve sujeita no período de estágio curricular do aluno, o trabalho de orçamentação foi feito maioritariamente recorrendo ao diálogo e cooperação com o cliente final. Todos os orçamentos realizados na condição de não visita eram sujeitos a verificação das condições reais de instalação, podendo sofrer alterações caso fosse necessário.

Caso o cliente final mostrasse interesse na proposta inicialmente enviada, então aí a visita ao local seria realizada pelo aluno acompanhado de um dos Engenheiros, de forma a formalizar o orçamento e/ou retificar se necessário.

Após a visita ser concluída e a proposta formalizada, o aluno daria seguimento ao processo internamente, criando a chamada Folha de Obra através do *software* interno da empresa, onde iria ser atribuído um número que por fim seria a designação final de todo o processo. A obra passaria então para o encargo dos Engenheiros de forma a serem adquiridos todos os equipamentos, materiais e acessórios e também para que fosse feito o agendamento da obra.

De seguida o aluno iria acompanhar o início da obra juntamente com o Engenheiro responsável e com a equipa técnica de forma a que a equipa técnica se familiarizasse com o trabalho a executar.

Por fim o aluno juntamente com o Engenheiro responsável iriam fazer o arranque da instalação e explicar o funcionamento da mesma ao cliente caso fosse necessário.

6.2 Acompanhamento/visita de obras

Durante o período de estágio, o aluno teve a possibilidade de realizar diversas visitas a obra, em várias fases do processo de instalação, sendo que algumas dessas obras foram orçamentadas pelo aluno. Em vários casos, o aluno fez visitas às obras com o intuito de aprender as metodologias de aplicação dos equipamentos, sem ter papel ativo na realização da obra. Noutras situações o aluno fez parte na íntegra da realização da obra acompanhando a equipa técnica.

De seguida seguem alguns exemplos dos diversos trabalhos de obra que o aluno realizou.

6.2.1 Visita a obra de climatização por BC

O aluno teve a oportunidade de visitar uma obra em Coimbra onde a climatização é feita a partir de pavimento radiante hidráulico e de ventiloconvectores, utilizando uma BC monobloco Daikin reversível. Esta BC é reversível o que permite fazer arrefecimento e aquecimento e é uma BC combinada que permite a produção de AQS. O controlo da BC para produção de AQS é feito através de uma válvula 3 vias motorizada. Após a temperatura definida no depósito de AQS ser atingida, o controlador da BC irá comutar a válvula e de forma a que o circuito de climatização seja novamente alimentado pela BC. O controlo no modo de arrefecimento da BC é feito através de uma válvula motorizada, situada depois do depósito de inércia isolando o circuito do piso radiante, de forma a que a água fria circule apenas no circuito dos ventiloconvectores. No modo de aquecimento é ativada uma válvula de bypass em cada unidade ventiloconvectora, uma vez que o piso radiante é a principal unidade dissipadora de calor.

A Figura 34 mostra a instalação de pavimento radiante hidráulico Daikin UFH com a respetiva caixa de coletores de um dos pisos, Figura 35. Pode-se observar os 8 circuitos de aquecimento, evidenciada pelo número de saídas e entradas nos coletores. Em cada coletor serão colocados atuadores termoelétricos, que farão a regulação de caudal para cada um dos circuitos, com ligação a termostatos de zona nas diferentes divisões. Note-se que os atuadores não estavam colocados à data do registo fotográfico, sendo que estes serão aplicados no coletor de retorno e substituindo as tampas roscadas de cor azul.



Figura 34 - Piso Radiante Daikin



Figura 35 - Coletores hidráulicos para Piso Radiante Daikin

A visita foi extremamente benéfica para o aluno ter conhecimento dos vários componentes necessários e da metodologia de instalação de piso radiante hidráulico, uma vez que esta não é tão comum quanto outras tecnologias de aquecimento central.

6.2.2 Pré-instalação de tubagem de cobre para Ar Condicionado

Durante o período de estágio o aluno teve a possibilidade de acompanhar a equipa técnica na realização de uma pré-instalação de tubagem de cobre devidamente isolado para um sistema de Ar Condicionado, em um edifício multifamiliar situado em Coimbra. Após serem dimensionadas as unidades interiores e exteriores do sistema AC a instalar, é necessário colocar tubagem de cobre com os diâmetros apropriados para interligar essas unidades. Depois da tubagem ser instalada nos locais designados, é feito um enchimento da mesma recorrendo a um gás inerte, o azoto. Este é um procedimento que deve ser sempre feito e que permite verificar se a tubagem de cobre não sofreu danos estruturais no ato da instalação e, ao mesmo tempo, garantir que o interior da tubagem fica a uma pressão superior à pressão atmosférica. Este procedimento garante que humidades e sujidades indesejadas não se infiltram no interior da tubagem, uma vez que são prejudiciais e potencialmente danificadoras para os equipamentos.

O aluno acompanhou a equipa técnica no trabalho em questão, não tendo feito parte do dimensionamento e orçamentação que o antecederam.

A Figura 36 mostra o resultado final de uma pré-instalação no local onde irão ser instaladas as unidades exteriores, ao passo que a Figura 37 mostra a mesma pré-instalação com um exemplo de onde será instalada uma das máquinas interiores.



Figura 36 - Pré-instalação de Ar Condicionado (exterior)



Figura 37 - Pré-instalação de Ar Condicionado (interior)

A obra em questão foi importante para que o aluno tivesse conhecimento do processo e das dificuldades que são encontradas num prédio de grandes dimensões. Trata-se de um trabalho que requer cuidados a nível do manuseamento da tubagem de cobre de forma a não danificar o mesmo. Por outro lado, para realizar este tipo de trabalho é necessário ter em conta as mais diversas especialidades de construção civil que atuam em obra.

6.2.3 Ampliação de instalação solar FV

Durante o período de estágio do aluno, a empresa recebeu um pedido para uma ampliação de uma instalação FV já existente. Inicialmente existiam 21 painéis com 270Wp cada, perfazendo um total de 5670Wp. O pedido feito à empresa passou por maximizar o inversor sobredimensionado no ato da instalação inicial, visto que este tinha uma entrada MPPT por utilizar. O aluno realizou todo o cálculo do número limite de painéis por *string* e do número de *strings* que o equipamento era capaz de suportar, utilizando os painéis fotovoltaicos Axitec AxiPremium BLK 320Wp. O cálculo realizado foi o exemplo dado no subcapítulo 5.5, aquando da apresentação dos cálculos a realizar para se escolher um inversor, sendo os resultados finais os seguintes:

- 22 painéis por *string*;
- 3 *strings* por MPPT

Como foi referido no subcapítulo 5.5, optou-se por instalar 21 painéis por *string*, perfazendo 63 painéis no total, devido a restrições com espaço existente. A potência instalada passou de 5.670Wp para 25.830Wp, resultando num aumento de potência FV instalada de 20.160Wp.

A Figura 38 e a Figura 39 mostram a instalação existente antes da ampliação e depois da ampliação, respetivamente.



Figura 38 - Ampliação a FV existente (antes)



Figura 39 - Ampliação a FV existente (depois)

Note-se que as imagens foram tiradas num período de inverno, onde o ângulo de incidência da radiação solar é menor, causando sombreamento em alguns módulos no final do dia.

Na obra em questão, o aluno ganhou conhecimentos sobre os diversos componentes de uma estrutura fotovoltaica, ficando assim a conhecer como é feita a fixação dos perfis em alumínio em telhado de chapa sanduíche assim como são feitas as ligações elétricas entre painéis e inversor.

6.2.4 Instalação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo

Durante o período de estágio o aluno teve a possibilidade de acompanhar a equipa técnica na instalação de painéis FV para autoconsumo.

O aluno não fez parte do dimensionamento nem da orçamentação para a instalação em questão. No entanto, foi o aluno a pessoa responsável pela separação de todo o material necessário, passando pela realização da obra e a consequente programação do equipamento de monitorização.

A Figura 40 e a Figura 41 mostram o resultado final da instalação.



Figura 40 - Instalação FV em telhado chapa sanduiche com inclinação dada pela estrutura



Figura 41 - Microinversor com as devidas ligações e localização

Na Figura 42 pode-se observar um dia típico da instalação em questão, retirado do *software* de monitorização Wibeec.

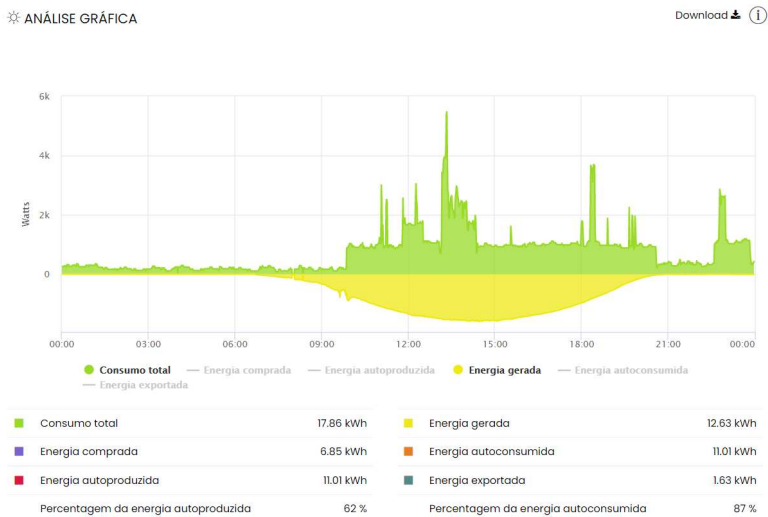


Figura 42 - Gráfico de Produção/Consumo retirado da monitorização Wibeec para a instalação em questão

Note-se que a unidade de produção para autoconsumo (UPAC) FV foi bem dimensionada, uma vez que a percentagem de energia autoconsumida é de 87%, sendo que 62% da energia consumida pela habitação é fornecida pela instalação FV.

A obra em questão foi importante para o aluno uma vez que este, sendo da área de Engenharia Mecânica, tinha apenas os conhecimentos de base de Eletrotécnica. Obras como esta serviram para adquirir mais conhecimentos nessa área.

6.3 Trabalhos de manutenção/assistência

O trabalho de manutenção nos equipamentos é uma ação que terá como consequência o aumento da vida útil dos mesmos.

Uma manutenção típica a um sistema de ar condicionado passa por uma limpeza e desinfeção bacteriana dos filtros da unidade interior e por uma limpeza utilizando um jato de água pressurizada na unidade exterior, com vista a remover sujidades e incrustações que se possam acumular na mesma. Ainda no tópico de limpeza, de forma que os painéis solares fotovoltaicos e solares térmicos mantenham as eficiências enunciadas pelos fabricantes, é necessário que a radiação solar encontre o mínimo de obstruções possíveis, significando que o vidro do painel deve estar limpo. Esta limpeza pode ser feita com recurso a um jato de água pressurizado e uma passagem com uma escova suave de forma a remover areias e incrustações que possam existir.

Em instalações solares térmicas, é aconselhável fazer a verificação, e caso necessário, a troca do ânodo de magnésio do depósito de armazenamento de águas quentes sanitárias. O objetivo do ânodo é de proteger o depósito contra corrosões potencializadas pela água em armazenamento, quer em instalações por termossifão ou por circulação forçada. Este procedimento é também realizado numa instalação bomba de calor com depósito pressurizado, pelas mesmas razões enunciadas anteriormente.

Ao longo do estágio o aluno teve a possibilidade de acompanhar a equipa técnica em alguns trabalhos de manutenção e de assistência. Devido à situação pandémica que o país atravessa, o número de manutenções realizadas foi muito reduzido quando comparado com os anos anteriores, daí que as poucas manutenções que foram feitas foram de limpeza e desinfeção de unidades interiores de máquinas de ar condicionado.

Quanto a nível de assistências, são enunciadas nos subcapítulos seguintes alguns dos trabalhos realizados pelo aluno em conjunto com a equipa técnica ou com os Engenheiros responsáveis.

6.3.1 Verificação de fuga em sistema de Ar Condicionado

Durante o período de estágio do aluno, um certo cliente contactou a empresa relativamente a um pedido de assistência para um sistema Ar Condicionado. Em

primeira instância, segundo a descrição do cliente, tudo indicava para uma fuga de fluido frigorígeno, uma vez que as unidades interiores ventilavam sem fazerem arrefecimento ou aquecimento.

O aluno teve a possibilidade de acompanhar o técnico à visita à instalação. Esta instalação era composta por uma máquina multisplit ligada a 3 unidades interiores e uma máquina monosplit.

Após inspeção visual, foi possível observar que existia óleo de lubrificação do compressor no exterior da ligação roscada, observação esta que confirmou a existência de uma fuga total do fluido, na tubagem entre a válvula de expansão termostática e o permutador da unidade exterior. Foram feitas novas ligações que foram colocadas sob vácuo para garantir a remoção da humidade e sujidade presente no interior das tubagens, como se pode observar na Figura 43.



Figura 43 - Processo de vácuo numa instalação de Ar Condicionado

De seguida foi feito o teste de estanquidade, que consiste em colocar a tubagem a uma pressão bastante superior à pressão atmosférica, em cerca de 50 bar, recorrendo a um gás inerte (azoto). Após um período de espera, pode-se observar se a pressão se mantém constante ou não, o que dá a indicação de que a tubagem está ou não em circuito fechado.

Por último, é feita a verificação da quantidade de fluido frigorígeno que cada máquina deve ter, assim como o cálculo de fluido adicional que deve ser injetado através do manual do equipamento da marca. O manual refere a quantidade de fluido que é necessário adicionar à instalação quando o comprimento total da tubagem é superior a 30 metros. No ato da primeira instalação ficaram marcadas nas máquinas a quantidade de tubagem adicional em metros, sendo de 20 metros na unidade multisplit 3 e de 10 metros na unidade monosplit. Isto traduz-se em 400g adicionais na unidade multisplit 3 e em 200g na unidade monosplit, uma vez que em ambas as máquinas a quantidade de fluido a adicionar é de 20g/metro (valores retirados dos respetivos manuais da Daikin). Após o cálculo chegou-se às quantidades finais de fluido a colocar nas instalações, sendo estas 2,4 kg na unidade multisplit 3 e de 1,4 kg na unidade monosplit.

Como se trata de uma assistência a um equipamento que utiliza gases fluorados, é obrigatório preencher um documento em como a assistência foi feita e em que consistiu. É necessário referir qual o técnico certificado que a realizou, as máquinas

intervencionadas, a morada da instalação e a quantidade de fluído adicional que foi colocado, com a respetiva quantidade enunciada em toneladas equivalentes de CO₂.

6.3.2 Substituição de inversor de bateria SMA

Um dos trabalhos de assistência realizado pelo aluno foi a substituição de um inversor de bateria SMA Sunny Boy Storage 6.0, que ainda no período de garantia começou a ter um comportamento estranho no seu funcionamento. O cliente entrou em contacto com a empresa, alegando que por vezes o inversor deixava de fazer o carregamento e descarregamento das baterias. Após contacto com o representante da marca em Portugal, foi-nos indicado que o inversor teria de ser substituído.

O aluno fez parte da assistência juntamente com o Engenheiro Luís Marques, onde foi substituído o equipamento defeituoso por um novo e foi feito o comissionamento na hora, com apoio do representante da marca no país.

Na Figura 44 podemos observar da direita para a esquerda, o inversor de rede Sunny Boy 6.0, o inversor de bateria Sunny Boy Storage 6.0 e duas baterias de lítio LG Chem RESU 10 HV, com capacidade de 20 kWh total de acumulação.



Figura 44 - Substituição do Inversor de Bateria SMA Sunny Boy Storage (branco e preto)

Até à data da escrita deste documento, o sistema não apresentou qualquer tipo de problema desde que a troca do inversor foi feita.

6.4 Dimensionamento de uma instalação com Bomba de Calor para AQS

Neste capítulo será feito o dimensionamento de uma instalação com Bomba de Calor para AQS para um edifício multifamiliar situado em Coimbra com 4 pisos (R/C, 1º, 2º e 3º pisos), denominado Terraços do Rio, com as tipologias T1, T2 e T3. Por

imposição do responsável de obra, todos os equipamentos que necessitassem de permuta com o ar exterior teriam que ser instalados na cobertura.

Foram utilizadas BC do tipo monobloco para o R/C e para o 1º piso devido à distância vertical entre as frações e a cobertura, onde seriam colocadas as unidades exteriores caso as BC fossem do tipo split. Esta escolha foi feita devido ao facto de não existirem BC no mercado que consigam vencer a diferença de alturas entre a unidade interior e a unidade exterior nesta situação. Nas BC do tipo monobloco é necessário assegurar a insuflação e extração de ar nos equipamentos, uma vez que todo o circuito frigorígeno se encontra no interior, sendo feita através de tubagem PVC devidamente isolada.

No 2º e 3º pisos, foram utilizadas BC do tipo split, uma vez que para além da eficiência das máquinas ser superior, reduz consideravelmente o ruído que se faz sentir dentro das frações. Razão esta devido ao facto do compressor da unidade exterior se encontrar na cobertura, havendo apenas ligações frigoríficas entre as unidades interiores e exteriores.

Na Tabela 6 podemos observar as oito frações e respetivas tipologias presentes no edifício em estudo.

Tabela 6 - Tipologias existentes no edifício em estudo

Piso	Tipologia
R/C	T1 + T3
1º Piso	T2 + T3
2º Piso	T2 + T3
3º Piso	T2 + T3

Apesar das tipologias terem áreas diferentes, para efeitos de AQS o fator de escolha é o número de ocupantes.

6.4.1 Solar térmico padrão para AQS

Segundo o Decreto-Lei nº118/2013, Artigo 27º - Eficiência dos sistemas técnicos, ponto 2º, um edifício novo é obrigado a que a produção de AQS seja feita com recurso a sistemas solares térmicos sempre que haja exposição solar adequada de acordo com as regras enunciadas no mesmo ponto. Em alternativa podem ser utilizados outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis desde que seja comprovado que o contributo renovável desses sistemas é superior ao contributo do sistema solar térmico (ST), como é o caso de uma bomba de calor (BC) cuja explicação será feita mais à frente no relatório.

O Despacho nº10346/2018 veio trazer alterações ao Despacho nº15793-H/2013, enunciando que a energia produzida pelo sistema solar térmico, deve ser

determinada com recurso à versão em vigor do programa SCE.ER da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

De forma a obter a parcela da Energia útil solicitada, Q_a [kWh/ano], e da Energia satisfeita por origem solar, $E_{ren,p}$ [kWh/ano], deve-se recorrer à folha de cálculo do SCE.ER, onde após a escolha da tecnologia é feita uma simulação que nos quantifica e indica os requisitos mínimos para cada tipologia.

A folha de cálculo do SCE.ER fornece o valor de Q_a e o valor mínimo que $E_{ren,p}$ pode tomar, ou seja, o requisito mínimo de energia renovável para AQS que qualquer outro sistema com o mesmo fim terá de cumprir.

Posto isto, foram feitas simulações para as tipologias T1, T2 e T3, sendo os resultados os apresentados na Figura 45, Figura 46 e Figura 47, retirados do *software* SCE.ER.

Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)
 Energia útil solicitada: 1 116 kWh
 - satisfeitas por origem solar **638 kWh** 57% de fração solar
 - satisfeitas pelo apoio 478 kWh 43%

Figura 45 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T1

Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)
 Energia útil solicitada: 1 674 kWh
 - satisfeitas por origem solar **1 006 kWh** 60% de fração solar
 - satisfeitas pelo apoio 668 kWh 40%

Figura 46 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T2

Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)
 Energia útil solicitada: 2 232 kWh
 - satisfeitas por origem solar **1 384 kWh** 62% de fração solar
 - satisfeitas pelo apoio 848 kWh 38%

Figura 47 - Sistema Solar Térmico padrão para uma Tipologia T3

Resumindo em forma de tabela temos que:

Tabela 7 - Valores ST padrão para as diferentes tipologias

Tipologia	Q_a [kWh/ano]	$E_{ren,p}$ [kWh/ano]
T1	1116	638
T2	1674	1006
T3	2232	1384

Retiramos então que o valor mínimo de energia renovável para AQS que os sistemas terão de cumprir é de 638 kWh/ano para a tipologia T1, 1006 kWh/ano para a tipologia T2 e de 1384 kWh/ano para a tipologia T3.

6.4.2 Escolha dos Sistemas Solar Térmicos para AQS

Neste subcapítulo será feita a escolha dos ST que terão obrigatoriamente de cumprir os valores mínimos de energia renovável para AQS referidos no subcapítulo 6.4.1.

Optou-se por utilizar equipamentos do fabricante Baxi uma vez que este é um fabricante que a empresa onde o aluno estagiou recorre com frequência para fornecimento de equipamentos solares térmicos, que para além da qualidade destes, tem um serviço de assistência técnica muito competente.

Foram então escolhidos para a situação em estudo, 3 modelos distintos da gama de solar térmico por termossifão de baixo perfil do fabricante Baxi, sendo estes o modelo STS BP 150 2.0 para a tipologia T1, o modelo STS BP 200 2.5 para a tipologia T2 e por fim, o modelo STS BP 300 2.5 para a tipologia T3.

O modelo STS BP 300 2.5 foi escolhido para a tipologia T3 uma vez que o modelo STS BP 200 2.5 não respondia ao valor mínimo de $E_{ren,p}$, apesar de para uma tipologia T3 serem necessários 160L de água quente por dia.

Após a escolha dos equipamentos, recorre-se à folha de cálculo do SCE.ER de forma a comprovarmos que os valores mínimos de energia renovável para AQS ($E_{ren,p}$) são cumpridos pelos sistemas ST escolhidos.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados de E_{ren} para as diferentes tipologias e respetivos ST assim como o valor $E_{ren,p}$ do ST padrão.

Tabela 8 - Comparação entre ST padrão e ST escolhido

Tipologia	ST escolhido	E_{ren} Baxi [kWh/ano]	$E_{ren,p}$ ST padrão [kWh/ano]
T1 R/C	Baxi STS BP 150 2.0	845	638
T3 R/C e 1º Piso	Baxi STS BP 300 2.5	1629	1384
T2 1º Piso	Baxi STS BP 200 2.5	1197	1006
T2 2º e 3º Piso	Baxi STS BP 200 2.5	1197	1006
T3 2º e 3º Piso	Baxi STS BP 300 2.5	1629	1384

Comparando com os valores retirados do ST padrão, conclui-se que todos os equipamentos escolhidos do fabricante Baxi cumprem com os valores mínimos de $E_{ren,p}$.

6.4.3 Escolha das Bombas de Calor para AQS

É possível agora fazer o estudo com vista a substituir o ST obrigatório por uma BC, segundo o Despacho nº15793-H/2013, apoiado pelo Despacho nº14985/2015, caso o contributo de energia renovável (Eren) da BC seja superior à do ST (Eren,p).

O primeiro aspeto a considerar, será avaliar se a bomba de calor em causa cumpre com o requisito mínimo de SPF (*Seasonal Performance Factor*) para que a energia seja considerada renovável, conforme previsto no nº7 do Despacho nº15793-H/2013, o qual obriga a que SPF seja superior a $1,15 \cdot (1/\eta)$. O parâmetro η (Eficiência da produção de eletricidade) para Estados-Membros foi estabelecido a 1 de março de 2013 pela Comissão Europeia (UE, 2013), tendo o valor de $\eta=0,455$, significando que o SPF mínimo de uma BC seja de 2,5.

Conforme previsto no despacho nº14985/2015 de 17 de dezembro no caso de sistemas de produção de AQS, a determinação do SPF é realizada com recurso a ensaio do equipamento de acordo com a norma EN16147:2011, estabelecendo-se que o SPF é equivalente ao COP_{dia}, caso o valor de SCOP não seja fornecido pelo fabricante.

De acordo com o Despacho nº15793-I/2013, o consumo médio diário de referência (M_{AQS}) em litros é dado pela Equação 22:

$$M_{AQS} = 40 * n * f_{eh} \quad (22)$$

Sendo o parâmetro 40 a quantidade de litros por pessoa, n o número de ocupantes da fração definido em função da tipologia sendo que se deve considerar $n + 1$ ocupantes nas tipologias Tn, e f_{eh} o fator de eficiência hídrica, este último tomando o valor de 1.

Para o caso em estudo temos então:

- 80 litros para tipologia T1;
- 120 litros para tipologia T2;
- 160 litros para tipologia T3;

Sabendo o volume em litros para cada tipologia, o aluno procurou no mercado quais as Bombas de Calor para AQS que poderiam responder a todas as necessidades e imposições colocadas no caso em estudo. As BC escolhidas encontram-se enunciadas na Tabela 9.

Os valores de SPF utilizados neste estudo foram para uma temperatura de ar exterior de 14°C (sendo esta a temperatura mais próxima da temperatura média em Portugal em oposição ao referencial de 7°C) com um $\Delta T=35^\circ\text{C}$.

Sendo assim, os valores a utilizar de SPF são os apresentados na Tabela 9 para cada uma das frações, assim como os respetivos perfis de consumo das BC a utilizar.

Tabela 9 - BC's escolhidas com os respetivos SPF's e Perfis de Consumo

Tipologia	BC	SPF AQS	Perfil Consumo
T1 R/C	Ariston Nuos Evo A+ 80	2,90	M
T3 R/C e 1º Piso	Energie Aquapura Monobloc 200i	3,72	L
T2 1º Piso	Ariston Nuos Evo A+ 150	3,15	L
T2 2º e 3º Piso	Energie Aquapura Split 160i	3,75	L
T3 2º e 3º Piso	Energie Aquapura Split 160i	3,75	L

Como já foi referido anteriormente, nas tipologias do R/C e do 1º Piso serão utilizadas BC monobloco enquanto nas tipologias do 2º e 3º Piso serão utilizadas BC do tipo split.

6.4.3.1 Verificação do cumprimento do valor mínimo de Eren para as BC

De seguida é feito o cálculo do contributo renovável de acordo com o previsto no nº7 do Despacho nº15793-H/2013, através da Equação 23, para verificar se as BC escolhidas satisfazem os requisitos mínimos de energia renovável:

$$E_{ren} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) [kWh/ano] \quad (23)$$

Sendo o Qusable calculado através da norma EN16147:2011 com recurso à Tabela 10:

Tabela 10 - Valores de Qusable retirados da norma EN16147:2011

Perfil de consumo de extração diário	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Qref (kWh/dia)	0,345	2,10	2,10	2,10	5,845	11,655	19,07	24,53	46,76	93,52

Uma vez que os perfis de consumo de extração das BC são de M e de L, temos então 5,845 kWh/dia e 11,655 kWh/dia, respetivamente. Sabendo a energia diária pode-se então calcular a energia numa base anual multiplicando pelo nº de dias num ano (365 dias).

$$Qusable (perfil M) = 5,845 * 365 = 2133,4 \text{ kWh/ano} \quad (24)$$

$$Qusable (perfil L) = 11,655 * 365 = 4254 \text{ kWh/ano} \quad (25)$$

Atendendo a que estes valores são superiores aos valores de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias (Qa) das várias tipologias, determinados pelo SCE.ER, deve ser considerado que Qusable é limitado pelos valores de Qa para determinar os valores de Eren.

Sendo conhecidos os Qusable e os SPF, os valores de Eren para as várias situações é obtido de acordo com a Equação 23, mostrando o resultado em forma de tabela, temos que:

Tabela 11 - Valores de Qa, Eren e de Eren,p para as diferentes tipologias

Tipologia	Qa [kWh/ano]	Eren BC [kWh/ano]	Eren,p ST padrão [kWh/ano]
T1 R/C	1116	731	638
T3 R/C e 1º Piso	2232	1632	1384
T2 1º Piso	1674	1143	1006
T2 2º e 3º Piso	1674	1228	1006
T3 2º e 3º Piso	2232	1637	1384

Da Tabela 11 conclui-se que o contributo renovável das BC escolhidas (Eren) para todas as tipologias é superior ao contributo do sistema solar térmico padrão (Eren,p), pelo que cumpre o previsto do nº3 do artigo 27º ou 29º do Decreto-Lei nº118/2013, sendo assim viável a utilização destas BC para AQS.

6.4.4 Comparação de custos entre os sistemas ST e BC escolhidos

Neste subcapítulo será feita uma comparação de custos entre os ST escolhidos no subcapítulo 6.4.2 e as diversas BC escolhidas no subcapítulo 6.4.3 tendo em conta as diversas tipologias.

Foi utilizada uma tarifa simples de 0,1466 €/kWh para a eletricidade, valor este retirado do documento Tarifas e Preços para a Energia Elétrica e Outros Serviços em 2021, publicado pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), para Baixa Tensão Normal ($\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA), como se pode observar na Tabela 12.

Tabela 12 - Tarifa simples para BTN ($\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA) (ERSE 2020))

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN ($\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA)			PREÇOS	
Potência contratada			(EUR/mês)	(EUR/dia) *
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	3,45		5,37	0,1765
	4,6		6,99	0,2298
	5,75		8,60	0,2827
	6,9		10,21	0,3357
	10,35		15,05	0,4948
	13,8		19,88	0,6536
	17,25		24,72	0,8127
Energia ativa			(EUR/kWh)	
Tarifa simples			0,1466	
Tarifa bi-horária	Horas de fora de vazio		0,1808	
	Horas de vazio		0,0913	
Tarifa tri-horária	Horas de ponta		0,2242	
	Horas cheias		0,1582	
			0,0913	

A razão pelo qual foi utilizada a tarifa simples deve-se ao facto de aquando do ato do dimensionamento, o edifício encontrava-se em construção, não havendo ainda contrato definitivo de eletricidade de cada fração.

Começando pelo ST, o valor de energia fornecido pela fonte de apoio é retirado do SCE.ER para as diversas tipologias, sendo de 271 kWh/ano para a tipologia T1, de 477 kWh/ano para a tipologia T2 e de 603 kWh/ano para a tipologia T3. A estes valores é multiplicado o valor da tarifa de eletricidade e obtêm-se o custo anual de funcionamento. A fonte de apoio de energia utilizada é uma resistência elétrica montada no depósito do termossifão, cuja eficiência é de 100%.

Para determinar o custo anual de funcionamento das BC, é necessário dividir o valor de Q_a pelos respetivos SPF de modo a obter-se o consumo elétrico anual dos equipamentos, enunciados na Tabela 13.

Tabela 13 - Consumo elétrico anual das BC

Tipologia	BC	Energia elétrica anual [kWh/ano]
T1 R/C	Ariston Nuos Evo A+ 80	384,83
T3 R/C e 1º Piso	Energie Aquapura Monobloc 200i	600,00
T2 1º Piso	Ariston Nuos Evo A+ 150	531,43
T2 2º e 3º Piso	Energie Aquapura Split 160i	446,40
T3 2º e 3º Piso	Energie Aquapura Split 160i	595,20

De seguida, multiplica-se o valor do consumo elétrico anual pela tarifa de eletricidade e obtêm-se o custo de funcionamento das diferentes BC.

A Tabela 14 mostra todos os custos relacionados com ambas as tecnologias. Os valores de investimento e de manutenção correspondem aos valores praticados pela empresa à data. Custo dos acessórios estão incluídos no custo de instalação.

Tabela 14 - Custos ST vs BC

Tipologia	ST Baxi vs BC	Custo equipamento [€]	Custo de instalação [€]	Custo funcionamento [€/ano]	Custos de manutenção [€/ano]	Custo anual [€/ano]
T1 R/C	Baxi STS BP 150 2.0	1165,00	500,00	39,73	75,00	114,73
	Ariston Nuos Evo A+ 80	1220,00	300,00	56,42	0,00	56,42
T3 R/C e 1º Piso	Baxi STS BP 300 2.5	1935,00	500,00	88,40	75,00	163,40
	Energie Aquapura Monobloc 200i	1862,00	300,00	87,96	75,00	162,96
T2 1º Piso	Baxi STS BP 200 2.5	1370,00	500,00	69,93	75,00	144,93
	Ariston Nuos Evo A+ 150	1405,00	300,00	77,91	0,00	77,91
T2 2º e 3º Piso	Baxi STS BP 200 2.5	1370,00	500,00	69,93	75,00	144,93
	Energie Aquapura Split 160i	1860,00	300,00	65,44	0,00	65,44
T3 2º e 3º Piso	Baxi STS BP 300 2.5	1935,00	500,00	88,40	75,00	163,40
	Energie Aquapura Split 160i	1860,00	300,00	87,26	0,00	87,26

Da Tabela 14, retiramos que em todas as frações, de um ponto de vista de investimento inicial e de custos de operação de ambas as tecnologias, a BC apresenta menores custos quando comparado com o ST. Isto deve-se grande parte ao facto de a mão-de-obra ter um custo mais elevado no ST assim como de necessitar de uma manutenção preventiva que acarreta custos.

Note-se que todas as BC com exceção da BC Energie Aquapura Monobloc 200i, têm custo zero de manutenção, isto deve-se ao facto de os equipamentos Ariston estarem equipados com um ânodo ativo que não necessita de ser substituído. Os equipamentos Energie Aquapura Split 160i devido ao tratamento químico no processo de fabrico, permite a remoção por completo do ânodo de proteção.

O caso de estudo foi apresentado como alternativa ao pedido que tinha sido feito à empresa, no entanto o cliente optou por outra solução de uma outra empresa concorrente.

6.5 Dimensionamento de uma instalação fotovoltaica para autoconsumo

No dia 20 de outubro de 2014, foi aprovado pelo Conselho de Ministros o Decreto-Lei nº153/2014, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, onde entre outros, estabelece a definição de Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC).

Em 25 de outubro de 2019, foi introduzido o Decreto-Lei nº162/2019, que aprovou o novo regime aplicável às instalações de utilização por auto consumidores de energia renovável, bem como o regime jurídico aplicável às comunidades de energia renovável, transpondo parcialmente a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018, que veio reformular a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

O Decreto-Lei nº162/2019 teve como suporte as metas ambiciosas para 2030, definidas no âmbito do Plano Nacional de Energia-Clima para o horizonte 2021-2030, nomeadamente atingir uma quota de 47% de energia proveniente de fontes de energia renováveis no consumo final bruto em 2030 (PNEC, 2030). Este novo Decreto-Lei vê o seu âmbito de aplicação limitado à produção descentralizada de eletricidade a partir de fontes de energia renovável.

Alcançar uma quota de 47% de renováveis no consumo final de energia implica que, no setor elétrico, as fontes renováveis contribuam com pelo menos 80% da produção de eletricidade. Nesse sentido, a ideologia de produção descentralizada será fundamental para atingir esse objetivo, pelo que a capacidade instalada em instalações solares fotovoltaicas deverá atingir pelo menos 1 GW em 2030.

Para efeitos de instalação da UPAC, é então previsto um regime de controlo prévio, acima de uma potência instalada superior a 350 W, que poderá ser uma mera comunicação prévia para instalações até 30 kW ou um registo prévio com certificado de exploração para instalações até 1 MW.

Ao longo do período do estágio, o aluno realizou diversos dimensionamentos de instalações fotovoltaicas para autoconsumo. De seguida, é apresentado todo o processo de dimensionamento da maior instalação fotovoltaica que o aluno dimensionou, desde a análise dos dados fornecidos de consumos elétricos até à proposta final apresentada.

Foi utilizado no dimensionamento o *software* gratuito *Sunny Design Web* desenvolvido pela marca SMA, ferramenta esta que faz a simulação anual da produção fotovoltaica com base na localização, orientação e inclinação da instalação. Este *software* tem como grande vantagem a possibilidade de fazer a

importação do diagrama de carga anual de uma instalação, com medições de 15 em 15 minutos através de um ficheiro .csv, traduzindo-se num total de 35040 medições.

Este *software* compara o perfil de consumo da instalação com o perfil de produção do sistema FV a instalar, dando uma informação bastante real da quantidade de energia que vai ser autoconsumida.

Recorre-se de uma base de dados extensa no que diz respeito aos módulos FV e suas características, sendo de fácil utilização e compreensão.

Esta é uma ferramenta utilizada no dia-a-dia da empresa aquando do ato de dimensionamento de instalações fotovoltaicas para autoconsumo.

6.5.1 Dimensionamento da instalação FV

O pedido em questão foi feito pelo Instituto Pedro Nunes, situado em Coimbra, que após visita às instalações, mais concretamente ao bloco C, nos forneceu o diagrama de carga na forma de um ficheiro Excel com todos os consumos anuais, medidos em intervalos de 15 em 15 minutos. O ficheiro foi depois tratado pelo aluno de forma a poder ser utilizado no *software* gratuito *Sunny Design Web*, dando origem aos perfis de consumos médios semanais por estação, como se podem observar na Figura 48, na Figura 49 e na Figura 50.

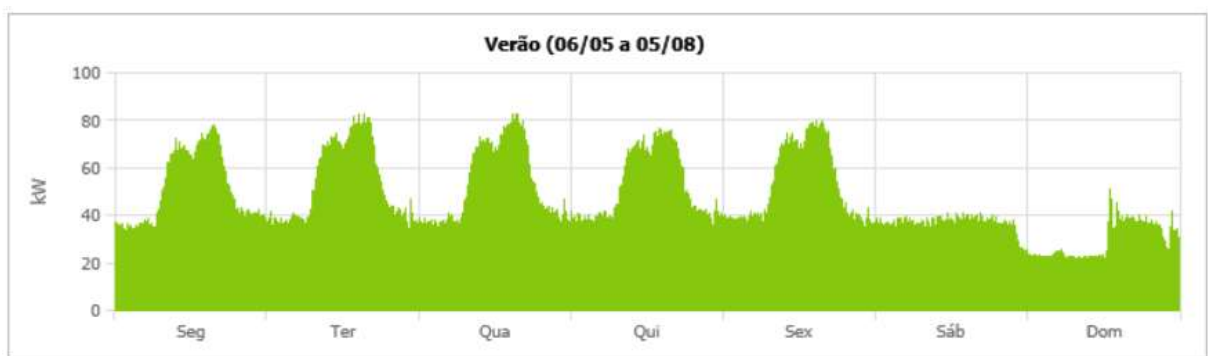


Figura 48 - Perfil de consumo médio no Período de Verão

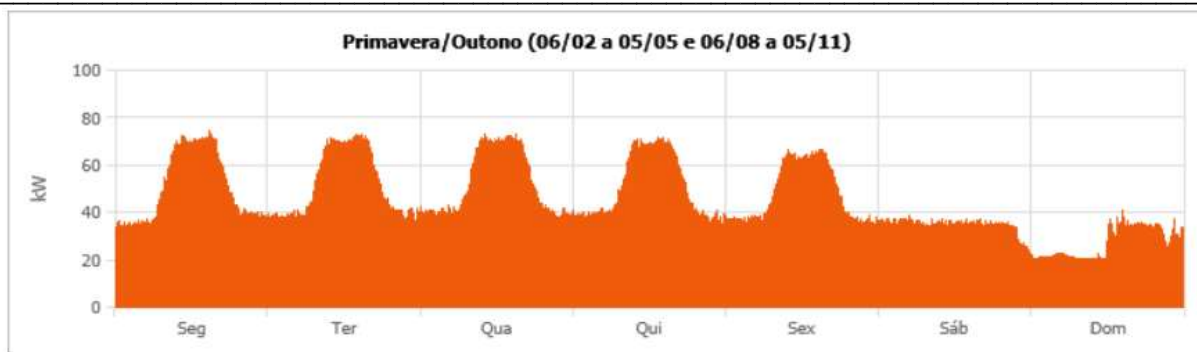


Figura 49 - Perfil de consumo médio no Período de Primavera/Outono

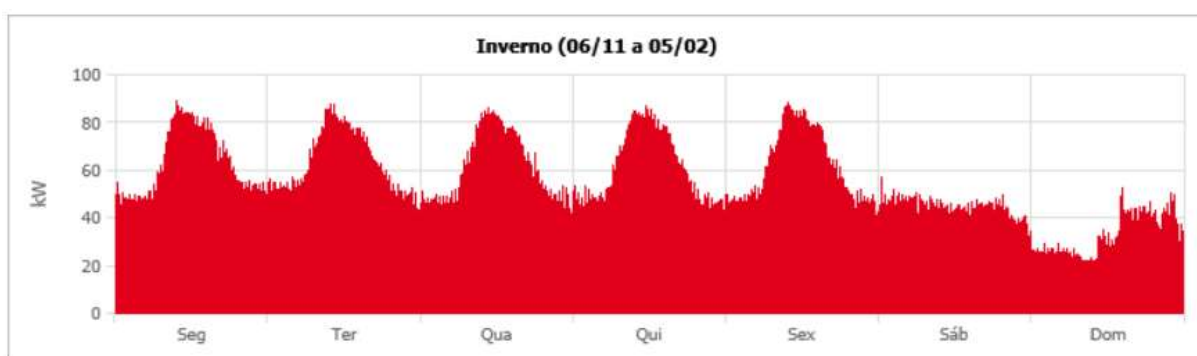


Figura 50 - Perfil de consumo médio no Período de Inverno

Para o caso em questão, foram feitos vários testes e chegou-se à conclusão de que o fator limitativo seria o espaço disponível, não apenas pela área disponível de cobertura, mas devido ao facto de o edifício em questão ter letras representativas do mesmo, quando visto numa imagem de satélite. Segundo o representante do Instituto Pedro Nunes, as letras representativas do bloco eram para manter, com a opção de as realocar. Após esta imposição, o aluno optou por painéis fotovoltaicos com potências superiores àquelas que estava habituado a utilizar, de forma a rentabilizar ao máximo o espaço que tinha sido atribuído para a instalação.

Recorrendo a ferramentas de imagem por satélite, o aluno calculou a área que havia sido disponibilizada, estando esta numerada na Figura 51 e enunciada na Tabela 15.

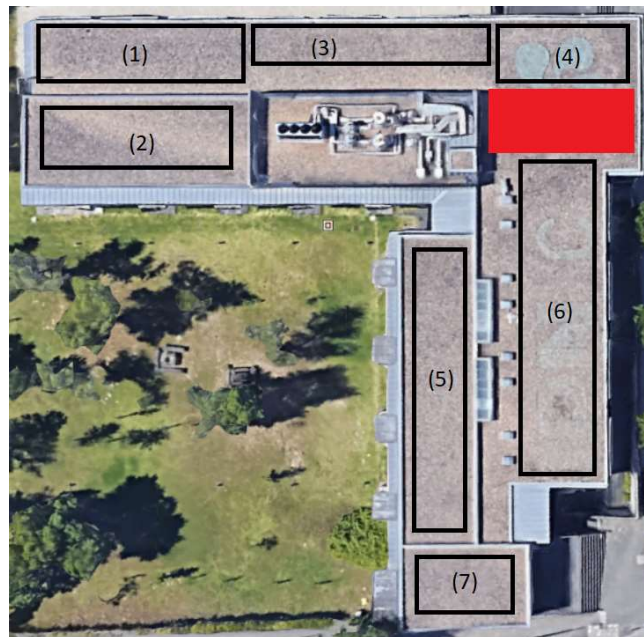


Figura 51 - Imagem satélite do bloco C do IPN

O retângulo a vermelho mostra o local onde a representação via imagem por satélite do bloco passaria a ser feita, imposição esta colocada pelo representante do Instituto Pedro Nunes.

Após o cálculo das áreas, foram calculados o nº de painéis que podiam ser colocados, tendo em conta a estrutura a utilizar, esta da marca Sunfer, fazendo o ajuste das sombras existentes na cobertura. Chegou-se então a um número total de painéis, por cada zona delimitada e que são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Zonas para a instalação de painéis FV com as respetivas áreas e nº de painéis FV

Zona	Área [m2]	Nº painéis
1	85,15	27
2	85,15	27
3	63,07	20
4	28,38	9
5	113,53	36
6	198,66	63
7	47,3	15

Perfazendo assim um total de 197 painéis fotovoltaicos, da marca JA Solar com 490Wp de potência, totalizando uma potência FV total de 95,53 kWh de sendo as suas características as enunciadas na Figura 52:

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	480	485	490	495	500	505
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45,07	45,20	45,33	45,46	45,59	45,72
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	37,62	37,81	37,99	38,17	38,35	38,53
Short Circuit Current(Isc) [A]	13,65	13,72	13,79	13,86	13,93	14,00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12,76	12,83	12,90	12,97	13,04	13,11
Module Efficiency [%]	20,2	20,4	20,6	20,8	21,1	21,3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0,045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0,275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0,350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

Figura 52 - Ficha característica do painel JA Solar MBB Half-Cell Module com 490Wp

Após serem conhecidos o nº de painéis, será então utilizado o *software Sunny Design Web* para dar seguimento ao dimensionamento. Serão selecionados os painéis escolhidos com a quantidade já definida levando ao ponto de escolha do inversor. Nesta situação optou-se por selecionar dois inversores trifásicos SMA Sunny Tri Power (50-40/41) Core 1, uma vez que o espaço para os mesmos era também ele um fator a ter em consideração.

De forma a verificar se os inversores escolhidos são os adequados para o caso em estudo, deve-se determinar o número máximo de painéis por *string* e o número de *strings* máximo por MPPT, aplicando a metodologia enunciada no subcapítulo 5.5.

Retiramos então da ficha técnica dos painéis os valores de tensão de circuito aberto e de corrente de curto-circuito, os coeficientes de temperatura e os valores de referência de temperatura:

$$U_{oc} = 45,33 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 13,79 \text{ A}$$

$$\text{Tensão } U_{oc} = 0,275\%/^{\circ}\text{C (mantemos o valor absoluto)}$$

$$\text{Corrente } I_{sc} = 0,045\%/^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{painel ref.}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{painel min.}} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{painel max.}} = 70^{\circ}\text{C}$$

É então feito o cálculo para a tensão:

$$45,33 * \frac{0,275}{100} = 0,124658 \text{ V/}^{\circ}\text{C}$$

$$0,124658 * [25 - (-10)] = 4,363013 \text{ V}$$

$$4,363013 + 45,33 = 49,69301 \text{ V}$$

Assim como o cálculo para a corrente:

$$13,79 * \frac{0,045}{100} = 0,006206 \text{ A/}^{\circ}\text{C}$$

$$0,006206 * [70 - 25] = 0,279248 \text{ A}$$

$$0,279248 + 13,79 = 14,06925 \text{ A}$$

Sabe-se então que o valor máximo de tensão por painel é de 49,69301 V e que o valor máximo de corrente é de 14,06925 A para o caso extremo de temperatura (-10°C).

TECHNICAL DATA	SUNNY TRIPOWER CORE I
Input (DC)	
Max. generator power	75000 W _p STC
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	500 V to 800 V / 670 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. operating input current / per MPPT	120 A / 20 A
Max. short circuit current per MPPT / per string input	30 A / 30 A
Number of independent MPPT inputs / strings per MPP input	6 / 2

Figura 53 - Ficha técnica inversor SMA STP CORE I

Podemos observar na ficha técnica do equipamento (Figura 53) que a tensão máxima do inversor é de 1000V e a corrente máxima é de 30^a. Fazendo os cálculos,

determina-se o número máximo de painéis por *string* e o número máximo de *strings* por MPPT, como se apresenta de seguida:

$$1000\text{ V} / 49,69301\text{ V} = 20,12355 \rightarrow 20 \text{ painéis por string}$$

$$30\text{ A} / 14,06925\text{ A} = 2,13231 \rightarrow 2 \text{ strings por MPPT}$$

O inversor tem 6 entradas MPPT e cada MPPT tem duas *strings*. Logo a este inversor podem ser ligadas 12 *strings* com 20 painéis ligados em série, ou seja, podem ser ligados 240 painéis. Após verificar que o inversor é o adequado para o nº de painéis escolhidos, pode-se finalizar o dimensionamento. No final, o *software* apresenta os resultados finais tendo em conta todos os parâmetros já introduzidos, nomeadamente a estimativa de energia produzida pela instalação FV, a energia autoconsumida e a energia que foi adquirida da rede elétrica.

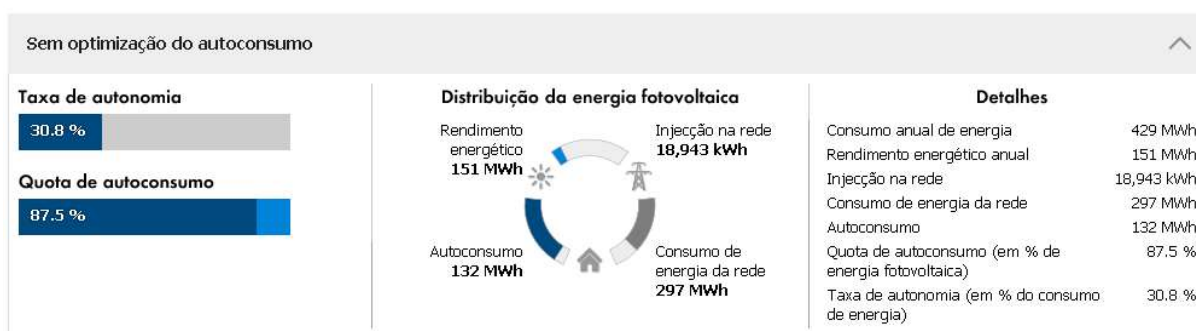


Figura 54 - Resultados simulação Sunny Design

Retiramos da Figura 54 que 87,5% da eletricidade produzida pela instalação fotovoltaica é consumida pelo edifício, injetando os restantes 12,5% na rede, sendo que o principal objetivo numa instalação fotovoltaica são os consumos que a entidade consumidora vai conseguir poupar da rede pública, que se traduz pela taxa de autonomia, sendo esta de 30,8%. Com base nestes resultados, pode-se afirmar que a UPAC está bem dimensionada, visto que a grande maioria da eletricidade produzida é autoconsumida. A instalação de uma potência superior (mais painéis FV) levaria a que uma maior percentagem de energia fosse injetada na rede.

6.5.2 Análise Financeira

Nesta secção será feita a análise financeira do sistema fotovoltaico, onde será calculada a redução anual de custos relacionados com a eletricidade que não será consumida da rede pública.

Uma vez que apenas foi fornecida uma fatura mensal por parte do cliente, não é possível obter a tarifa média anual. Posto isto, decidiu-se calcular a tarifa média ponderada dos diferentes períodos horários com base nos valores da fatura fornecida, utilizando a Equação 24.

$$\begin{aligned} \text{Tarifa média} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] &= \\ &= E_{Ativa\ SV} * \text{€ kWh}_{SV} + E_{Ativa\ V} * \text{€ kWh}_V + E_{Ativa\ P} * \text{€ kWh}_P + E_{Ativa\ C} * \text{€ kWh}_C \end{aligned} \quad (24)$$

Os valores de energia consumida com os respetivos períodos horários e tarifas estão enunciados na Tabela 16.

Tabela 16 - Consumos e tarifas retirados da fatura de eletricidade do cliente

Período horário	Energia Ativa [kWh]	Tarifa acesso à rede [€/kWh]	Componente Indexada da Energia Ativa [€/kWh]	Preço real por kWh [€/kWh]
Super Vazio	4559,72	0,014	0,052656	0,066656
Vazio	9356,85	0,0146	0,052656	0,067256
Pontas	4844,72	0,0567	0,052656	0,109356
Cheias	12591,47	0,0407	0,052656	0,093356

Uma vez que o sistema FV a instalar não tem previsto um sistema de acumulação, considerou-se para efeitos de análise financeira que a tarifa média a utilizar seria apenas com base nos valores dos períodos horários de Pontas e de Cheias, sendo estes aproximadamente o período de produção FV.

Com base nos valores da Tabela 16, retirando os períodos de Super Vazio e de Vazio, obteve-se uma tarifa média de 0,0978 €/kWh + IVA. De notar, que esta tarifa de eletricidade é baixa por se tratar de um contrato de alimentação em Média Tensão.

Do *software* Sunny Design retiramos que a energia autoconsumida será de 132 MWh, que multiplicando pela tarifa média calculada, dá a redução de custo anual de 12 910€ com a eletricidade, uma vez que deixa de ser paga ao comercializador.

De forma que seja feita a análise financeira do investimento, é necessário saber qual o custo do investimento inicial, sendo este o enunciado na Tabela 17, onde foram considerados os preços praticados pela empresa à data.

Tabela 17 - Investimento inicial para instalação FV

Designação	Quantidade	Preço s/ IVA [€]
Módulo Fotovoltaico JA Solar 490Wp	197	39 400,00 €
Inversor SMA Sunny Tri Power Core 1	2	12 400,00 €
Sunny Home Manager 2.0	1	500,00 €
Contador de energia + Modem GSM	1	550,00 €
3 Transformadores de Corrente	3	450,00 €
Estrutura	1	40 000,00 €
Material elétrico	1	5 000,00 €
Mão-de-obra	1	13 200,00 €
Total	-	111 500,00 €

Note-se que o preço da estrutura é superior ao preço dos painéis, isto devido ao mercado de produtos metálicos ter sofrido um aumento considerável em 2021 quando comparado com 2020, resultante da situação pandémica que o mundo atravessa.

Da Tabela 17 retiramos que o investimento inicial seria de 111 500,00€ + IVA.

Serão adicionados 200€ ao valor do investimento inicial correspondentes à apreciação do pedido de registo da instalação FV no Portal do Autoconsumo da DGEG. Este valor monetário está devidamente enunciado no Artigo 4º da Portaria nº16/2020 de 23 de janeiro, para uma instalação entre 30kW e 100kW, com injeção na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

Com vista a efetuar a análise financeira do investimento, irão ser calculados os indicadores Valor Atualizado Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Prazo de Retorno do Investimento (PRI).

Quando o VAL é positivo, a taxa de rentabilidade do investimento realizado é superior à taxa de atualização aplicada, significando que o investidor gerou um excedente monetário em comparação ao investimento inicial.

O indicador TIR é utilizado para medir a rentabilidade do projeto de investimento, ou seja, quanto maior esse valor, maior a rentabilidade do projeto. Se o TIR for superior à taxa de atualização, o projeto é viável economicamente.

O indicador PRI mostra o tempo necessário de recuperação do investimento inicial.

Para determinação dos indicadores VAL, TIR e PRI foi utilizada uma folha de cálculo Excel, onde os dados de entrada para a mesma foram o investimento inicial, a redução anual de custos, as despesas fixas anuais e o valor da taxa de atualização.

A análise financeira foi feita num período de 25 anos com uma taxa de atualização de 5%, sendo o investimento inicial de 111.700,00€. Considerou-se um valor de

150€ para os custos de manutenção anuais, sendo estes a limpeza dos painéis, verificação do sistema e mensalidade do cartão GSM.

Não foi tido em consideração a decadência da produção fotovoltaica ao longo dos anos, a possível venda de excedente à rede, a alteração do preço da eletricidade e, caso aconteça, a substituição de equipamentos com defeito.

Foi considerado também que a taxa de autoconsumo se manteria constante ao longo dos anos. A Tabela 18 mostra na íntegra a folha de cálculo utilizada com vista a obter os indicadores acima mencionados.

Tabela 18 - Análise Financeira FV

Ano	Custo eletricidade [€/kWh]	Redução anual consumo [kWh/ano]	Redução anual custo [€/ano]	Custos Manutenção [€/ano]	Cash-flow [€]	Saldo acumulado [€]	Fator Atualização	Cash-Flow Atualizado [€]	Cash-flow Líquido atualizado acumulado
0	-	-	-	-	-111700	-111700	1	-111700	-111700
1	0,0978	132000	12910	150	12760	-98940	0,95238095	12152,38095	-99547,61905
2	0,0978	132000	12910	150	12760	-86180	0,90702948	11573,69615	-87973,9229
3	0,0978	132000	12910	150	12760	-73420	0,8638376	11022,56776	-76951,35515
4	0,0978	132000	12910	150	12760	-60660	0,82270247	10497,68358	-66453,67157
5	0,0978	132000	12910	150	12760	-47900	0,78352617	9997,793884	-56455,87768
6	0,0978	132000	12910	150	12760	-35140	0,7462154	9521,708461	-46934,16922
7	0,0978	132000	12910	150	12760	-22380	0,71068133	9068,293772	-37865,87545
8	0,0978	132000	12910	150	12760	-9620	0,67683936	8636,470259	-29229,40519
9	0,0978	132000	12910	150	12760	3140	0,64460892	8225,209771	-21004,19542
10	0,0978	132000	12910	150	12760	15900	0,61391325	7833,533115	-13170,6623
11	0,0978	132000	12910	150	12760	28660	0,58467929	7460,507729	-5710,154575
12	0,0978	132000	12910	150	12760	41420	0,55683742	7105,245456	1395,090881
13	0,0978	132000	12910	150	12760	54180	0,53032135	6766,900434	8161,991315
14	0,0978	132000	12910	150	12760	66940	0,50506795	6444,66708	14606,6584
15	0,0978	132000	12910	150	12760	79700	0,4810171	6137,778172	20744,43657
16	0,0978	132000	12910	150	12760	92460	0,45811152	5845,503021	26589,93959
17	0,0978	132000	12910	150	12760	105220	0,43629669	5567,145734	32157,08532
18	0,0978	132000	12910	150	12760	117980	0,41552065	5302,043556	37459,12888
19	0,0978	132000	12910	150	12760	130740	0,39573396	5049,565292	42508,69417
20	0,0978	132000	12910	150	12760	143500	0,37688948	4809,109801	47317,80397
21	0,0978	132000	12910	150	12760	156260	0,35894236	4580,104573	51897,90854
22	0,0978	132000	12910	150	12760	169020	0,34184987	4362,004355	56259,9129
23	0,0978	132000	12910	150	12760	181780	0,32557131	4154,289862	60414,20276
24	0,0978	132000	12910	150	12760	194540	0,31006791	3956,466535	64370,6693
25	0,0978	132000	12910	150	12760	207300	0,29530277	3768,063367	68138,73266

Taxa de Atualização =	5%
-----------------------	----

VAL	68138,73266
-----	-------------

PRI	11,80365339
-----	-------------

TIR	10,48%
-----	--------

Da folha de cálculo (Tabela 18) retiramos que o VAL é positivo e corresponde a um valor de aproximadamente 68.140,00€. Observamos também que a TIR é de 10,48%, valor este superior à taxa de atualização de 5%. O PRI é de cerca de 11,8 anos.

Com base nos resultados apresentados, pode-se afirmar que o projeto traz benefícios económicos para o cliente a médio longo prazo, considerando que a vida útil da instalação FV é de 25 anos.

Até à data de escrita deste documento, a empresa ainda não obteve resposta por parte do cliente final.

Pode-se concluir que, mesmo com a subida de preços dos equipamentos e materiais que se tem vindo a observar devido ao ambiente pandémico que o mundo enfrenta, uma instalação FV para autoconsumo, ou UPAC, apresenta vantagens para o consumidor final, desde que seja bem dimensionada de forma a minimizar o excesso de produção FV.

7. CONCLUSÃO

A principal motivação pela escolha do aluno em realizar um estágio curricular na área de energias renováveis, passou pelo facto de este ser um tópico de alta discussão nos dias de hoje, no que diz respeito às alterações climáticas e à necessidade de se utilizarem tecnologias menos prejudiciais ao planeta, para satisfazer as necessidades do ser humano. O aumento da eficiência energética dos edifícios, recorrendo a fontes de energia renováveis, pode-se traduzir numa grande poupança de energia a nível global, uma vez que cerca de 40% da energia final, na Europa, é consumida no setor dos edifícios.

O aluno optou por realizar estágio curricular no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, na empresa Eco Plug, Lda, por ser uma empresa em que grande parte do seu caderno de trabalhos é a nível de sistemas energéticos com aproveitamento de energias renováveis, aplicados ao setor doméstico.

O estágio teve como principal objetivo aprofundar os conhecimentos do aluno na área de Engenharia Mecânica no mundo profissional, integrando as atividades desenvolvidas na empresa Eco Plug, Lda, mais concretamente na área de energias renováveis e na área da eficiência energética.

Devido à situação pandémica que o país atravessou durante a totalidade do período de estágio do aluno, não existiram tantas oportunidades para acompanhamento e visitas de obra quantas seriam possíveis em tempos normais. Por essa razão, grande parte do trabalho desenvolvido pelo aluno na empresa passou pelo trabalho de orçamentação, diálogo com os clientes acerca de soluções com vista a um aumento de eficiência energética das suas habitações e diálogo com os demais fornecedores de equipamentos e materiais.

Durante o período de estágio, o aluno desenvolveu trabalhos de dimensionamento das várias áreas de operação da empresa, tais como, sistemas de aquecimento central, sistemas de ar condicionado, sistemas solares térmicos e sistemas FV. Foram feitos também alguns acompanhamentos de obras, trabalhos de assistência técnica e de manutenção de sistemas.

Para elaboração do relatório decidiu-se apresentar com maior detalhe dois dos trabalhos realizados na empresa com aproveitamento de duas fontes de energia renováveis distintas. Um primeiro para produção de AQS e um segundo com para produção de energia elétrica.

O primeiro trabalho consistiu em fazer um estudo de forma a utilizar BC ar-água para AQS ao invés do sistema solar térmico obrigatório para um bloco de apartamentos. Para as várias BC escolhidas foi verificado, com base no software SCE.ER

reconhecido para o efeito, se os requisitos mínimos de aproveitamento de energia renovável eram cumpridos. Para cada tipologia do bloco de apartamentos e o perfil de consumo de água quente, foram também determinadas as necessidades energéticas anuais para AQS. Foi feita também uma análise comparativa entre bombas de calor e sistemas solares térmicos para as diferentes tipologias de apartamentos, de forma a verificar qual seria o sistema mais vantajoso em termos de custos. Tendo em consideração os custos do investimento, da mão-de-obra, da manutenção e de operação anuais, foi recomendado ao cliente a instalação das BC escolhidas. De referir que, todos os sistemas estudados cumpriam os requisitos mínimos de aproveitamento de energia renovável.

O segundo trabalho consistiu no dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo, sem acumulação de energia. O sistema foi dimensionado utilizando o *software Sunny Design Web* com base no perfil de consumo anual da instalação consumidora, cedido pelo cliente. Em função do espaço disponível na cobertura, determinou-se que no máximo poderiam ser instalados 197 painéis. Optou-se por usar painéis com potências acima das habituais, o que correspondeu a uma potência FV cerca de 95 kWp. Após a escolha do inversor, foi feita a simulação energética da instalação utilizando o software, o que permitiu concluir que a potência FV determinada é bastante adequada para uma UPAC, visto que cerca de 88% da energia produzida poderia ser autoconsumida. A taxa de autonomia deste edifício seria de cerca de 30%, ou seja, 30% da energia consumida no edifício deixaria de ser comprada à rede, o que se traduz num custo evitado. De seguida, foram calculados os indicadores económicos, VAL, TIR e PRI, concluindo-se que o sistema tem uma boa taxa de rentabilidade e que o tempo de retorno do investimento é de cerca de 11,8 anos. Os resultados do estudo foram apresentados ao cliente, no entanto, a empresa ainda não obteve resposta por parte do mesmo.

A realização do estágio foi uma experiência enriquecedora para o aluno, uma vez que para além dos conhecimentos técnicos e práticos que adquiriu, desenvolveu aptidões de comunicação com clientes, fornecedores e entidades comercializadoras. Em suma, pode-se afirmar que os objetivos definidos inicialmente foram devidamente cumpridos, proporcionando ao aluno uma experiência profissional que melhor o prepara para o mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ariston (2021). Folheto de características. [Online] Disponível de:

https://www.ariston.com/cms/s3Downloader/?sku=nuos_evo_a%2B&locale=pt-pt&file=1.%20Ficha%20t%C3%A9cnica%20NUOS%20EVO%20A%2B.pdf [Acedido em julho 2021]

Axitec (2021). Folha de características. [Online] Disponível de:

https://www.axitecsolar.com/data/solarpanels_documents/DB_60zlg_mono_power_MiA_EN.pdf [Acedido em fevereiro 2021]

APSystems (2021a). Folha de características [Online] Disponível de:

<https://usa.apsystems.com/wp-content/uploads/2018/07/APsystems-Product-Datasheet-YC600-6.29.18.pdf> [Acedido em fevereiro 2021]

APSystems (2021b). Folha de características [Online] Disponível de:

<https://usa.apsystems.com/wp-content/uploads/2017/07/APsystems-YC1000-Datasheet-7.20.17.pdf> [Acedido em fevereiro 2021]

Çengel, Y.A and Boles, M.A. (2014) Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th Edition. York: McGraw-Hill.

Decreto-Lei nº118/2013. Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Decreto-Lei nº101-D/2020. Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944.

Decreto-Lei nº153/2014. Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, onde entre outros, estabelece a definição de Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC).

Decreto-Lei nº162/2019. Aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, transpondo parcialmente a Diretiva 2018/2001.

Despacho nº15793-H/2013. Procede à publicação das regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia

renováveis, de acordo com o tipo de sistema, nos termos e para os efeitos do Decreto-Lei nº118/2013.

Despacho nº15793-I/2013. Procede à publicação das metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Despacho nº10346/2018. Estabelece que a energia produzida pelo sistema solar térmico, deve ser determinada com recurso à versão em vigor do programa SCE.ER da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Despacho nº14985/2015. Procede à publicação da metodologia a usar para determinar os valores (Qusable) e do Seasonal Performance Factor (SPF) utilizados na metodologia de cálculo da contribuição da energia renovável obtida a partir de bombas de calor.

Diretiva 2009/125/CE relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia.

Diretiva 2010/30/CE relativa à indicação do consumo de energia e de outros recursos por parte dos produtos relacionados com a energia, por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos.

Diretiva 2018/2001 relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis.

Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE.

ERSE (2020). Tarifas e preços para energia elétrica e outros serviços em 2021. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), Lisboa.

Greenplan (2015). Certificados Energéticos em Portugal [Online] Disponível de:

<https://xn--certificadoenergético-q2b.pt/certificado-sce-11655> [Acedido em junho 2021]

JA Solar (2021). Folha de características. [Online] Disponível de:

<https://www.jasolar.com//uploadfile/2020/1128/20201128122405600.pdf> [Acedido a junho 2021]

Luxor (2020). Folha de características. [Online] Disponível de:

<https://www.luxor.solar/en/downloads.html> [Acedido a dezembro 2020]

Morais, J. (2019). *Sistemas Fotovoltaicos - Da Teoria à Prática*, 1ª Edição. Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão, Lda.

Panasonic (2021). https://www.aircon.panasonic.eu/PT_pt/downloads/catalogues-and-leaflets/. Empresa Panasonic (página internet oficial), Lisboa

PNEC 2030. Plano Nacional de Energia e Clima.

Portaria nº16/2020 de 23 de janeiro, fixa os valores das taxas devidas no âmbito dos procedimentos administrativos relativos à atividade de autoconsumo e às Comunidades de Energia Renovável (CER).

Regulamento (UE) nº811/2013 que complementa a Diretiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita à rotulagem energética dos aquecedores de ambiente, aquecedores combinados, sistemas mistos de aquecedor de ambiente, dispositivo de controlo de temperatura e dispositivo solar e sistemas mistos de aquecedor combinado, dispositivo de controlo de temperatura e dispositivo solar.

Regulamento (UE) nº812/2013 que complementa a Diretiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita à rotulagem energética dos aquecedores de água, reservatórios de água quente e sistemas mistos de aquecedor de água e dispositivo solar.