

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Projeto de Construção de uma Casa Energeticamente Autónoma

Dissertação de Mestrado

de

Renato José da Silva Cerqueira

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia, Lda.



Orientador na FEUP: **Dr. Carlos Gabriel Bernardo**

Co-Orientador na FEUP: **Prof. Vasco Freitas**

Coordenador na A400: **Eng. Tiago Lima**



Departamento de Engenharia Química

agosto de 2019

Agradecimentos

Este projeto marca o fim do meu percurso acadêmico, pelo que foi de grande importância para a minha vida, para o meu crescimento como pessoa e para o meu futuro profissional. Apesar disso, não deixou de ser uma fase complicada com algumas noites mal dormidas e pressão constante. Assim sendo, tenho de agradecer globalmente a todos os que me acompanharam neste percurso, porque de certeza que para eles também não foi fácil.

Primeiro, quero agradecer aos meus pais, porque sem eles nada era possível. Um obrigado por todo o apoio e condições que me proporcionaram ao longo da vida e por acreditarem sempre nas minhas capacidades. Agradeço também ao resto da minha família por estarem sempre disponíveis para mim quando precisei.

Agradeço à Kika, a minha namorada, todos os conselhos durante este período e toda a paciência para me ouvir falar deste projeto e de muitas coisas que provavelmente desconhecia, mas que teve sempre vontade de saber e compreender.

Os meus sinceros agradecimentos aos orientadores Dr. Gabriel Bernardo e Prof. Vasco Freitas pelos conselhos e correções dados ao longo do projeto. Um muito obrigado ao Prof. Adélio pela paixão que sempre mostrou pelo conhecimento e que me transmitiu ao longo dos últimos anos, nas suas aulas, fazendo com que quisesse fazer parte de um projeto como este.

Um agradecimento especial para toda a empresa A400 e, em especial, para o coordenador Eng. Tiago Lima e para a Eng. Fábica Leal, pois foram os que tiveram sempre disponíveis para explicar e dar conselhos sobre o tema e o software utilizado, o que tornou o caminho menos sinuoso. Agradeço também a relação desenvolvida nestes meses, que tornou o trabalho mais agradável.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos que me apoiaram, animaram e distraíram sempre que precisei.

A todos, um muito obrigado!

Renato Cerqueira

Resumo

O trabalho realizado nesta dissertação de mestrado teve como objetivo a integração de sistemas de produção e armazenamento de energia numa casa perto da praia do Mindelo, Portugal, de modo a torná-la energeticamente autónoma.

A análise energética foi realizada a partir do *software* IESve 2018. As cargas térmicas obtidas a partir da simulação do modelo foram de $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para o aquecimento e $41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para o arrefecimento. Após o estudo de três conjuntos de sistemas, chegou-se à conclusão que aquele que levaria a um menor consumo energético anual seria o de bomba de calor para aquecimento e piso radiante para arrefecimento. O consumo anual obtido foi de 11 311 kWh. A análise financeira teve como objetivo perceber qual o dimensionamento que os sistemas de painéis fotovoltaicos e armazenamento eletroquímico deveriam ter. O cenário de autonomia total foi obtido com 200 m^2 de painel fotovoltaico e 75 kWh de armazenamento levando a um *pay-back time* de 36 anos. O cenário mais económico, com 91,1 % de autonomia, teve um período de retorno de investimento de 19 anos e é constituído por 130 m^2 de painel, 25 kWh de armazenamento e uma caldeira de *pellets* de modo a produzir a energia para aquecimento que teria de ser comprada à rede.

Concluiu-se que o aumento da área de produção fotovoltaica teve menos influência que o aumento da capacidade de armazenamento no aumento da autonomia do sistema. O *pay-back time* seria menor, quanto menor o investimento nas baterias, no caso em que o preço de venda da eletricidade é o praticado atualmente. Caso se aumentasse esse preço e fosse possível vender a energia excedente a outros consumidores, os *pay-back times* iriam diminuir, por exemplo, 15 anos para o caso de 100 % de autonomia. Quanto maior o preço de venda, menor é importância do investimento nas baterias e mais importante se torna o investimento na área de produção fotovoltaica.

Palavras Chave:

IESve 2018; Autonomia Total; Painéis Fotovoltaicos; Armazenamento Eletroquímico; *Pay-back Time*.

Abstract

The work performed in this Master's dissertation aims to integrate energy production and storage systems into a house near Praia do Mindelo, Portugal, in order to make it energetically autonomous.

The energy analysis was carried out with the software *IESve* 2018. The thermal loads obtained through the simulation were $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ for the heating and $41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ for cooling. After the study of three different types of systems, the use of a heat pump for heating and radiant floor for cooling has proved to be the most energy efficient option. The annual consumption was 11 311 kWh. The economic analysis had the goal of estimating the better size for the PV systems and for electrochemical storage. The total autonomy scenario has 200 m² of PV panels and 75 kWh of storage capacity leading to 36 years of pay-back time. The most economical scenario, with 91,1 % of autonomy, had a pay-back time of 19 years and consisted of 130 m² of PV panels, 25 kWh of storage and a pellets boiler that produces the energy used for heating which would be bought to the grid.

It was concluded that the increase of the photovoltaic production area had less importance than the rise of the batteries capacity for the autonomy of the system. The pay-back time would be shorter when the investment on batteries was shorter, with the prices of selling electricity used nowadays. If that price was raised and was possible to sell the surplus to a third party, the pay-back times would decrease, for example, 15 years for the 100 % autonomy scenario. When the price of selling electricity is high, less important is the investment on batteries and more significant is the investment on photovoltaic production area.

Keywords:

IESve 2018; Total Autonomy; Photo-Voltaic Panels; Electrochemical Storage; Pay-back Time.

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Renato José da Silva Cerqueira

01 de Julho de 2019

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	2
1.3	Organização da Tese	2
2	Contexto e Estado da Arte	3
2.1	Orientação, forma e envolvente	3
2.2	Legislação	4
2.2.1	Diretiva 2010/31/UE e 2018/844/UE - Desempenho Energético dos Edifícios	4
2.2.2	Portaria nº349-B/2013 - Determinação da Classe de Desempenho Energético das Habitações.....	5
2.2.3	Decreto-Lei nº153/2014 - Produção Descentralizada de Energia	6
2.2.4	Plano Nacional Energia-Clima 2030 - PNEC 2030	7
2.3	Tecnologias de Energia Renovável Integradas.....	9
2.3.1	Painéis Fotovoltaicos	9
2.3.2	Painéis Solares Térmicos.....	13
2.3.3	Bombas de Calor	15
2.3.4	Piso Radiante	16
2.3.5	Armazenamento de Energia Eletroquímica.....	17
3	Materiais e Métodos	20
3.1	<i>IES - Integrated Environmental Solutions</i>	20
3.1.1	ModelIT.....	20
3.1.2	SunCast.....	20
3.1.3	MacroFlo.....	21
3.1.4	Apache.....	21
3.1.5	VistaPro	21
3.2	Método do Balanço Térmico	22
3.2.1	Balanço Térmico à Parede Exterior	23
3.2.2	Processo de Condução na Parede	23

3.2.3	Balanço Térmico à Parede Interior	23
3.2.4	Balanço Térmico ao Ar	23
3.3	Balanço Energético para Conforto Térmico	24
4	Caso de Estudo	25
4.1	Projeto da Residência	25
4.2	Construções da Envolvente	25
4.3	Perfis de Operação	26
4.4	Apoio Solar Térmico para AQS.....	27
4.5	Sistemas de AVAC	28
4.6	Custos	29
5	Discussão e Resultados.....	30
5.1	Isolamento na Parede Externa.....	30
5.2	Dispositivo de Sombreamento	30
5.3	Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento.....	31
5.4	Sistemas de Aquecimento, Arrefecimento e AQS	32
5.4.1	Sistema de Referência	32
5.4.2	Sistema de Bomba de Calor	33
5.4.3	Sistema de Radiadores e Piso Radiante	34
5.5	Produção Fotovoltaica	35
5.6	Armazenamento Eletroquímico	37
5.7	Análise Financeira	38
5.7.1	Cenário de Autonomia Total.....	38
5.7.2	Redução do Investimento nas Baterias.....	39
5.7.3	Utilização da Capacidade Mínima de Armazenamento	42
5.7.4	Venda da Eletricidade a Terceiros.....	43
6	Conclusões	44
7	Avaliação do trabalho realizado.....	46
7.1	Objetivos Realizados	46
7.2	Apreciação Final	46

Referências	47
Anexo A - Portaria nº379-A/2015.....	51
Anexo B - Folhas de Cálculo	52
Anexo C - Zonas Térmicas.....	53
Anexo D - Construções da Envolvente	54
D.1 - Paredes Exteriores	54
D.2 - Coberturas	55
D.3 - Pavimentos	57
Anexo E - Perfis de Operação	58
E.1 - Perfis de Ocupação	58
E.2 - Perfis de Iluminação.....	60
E.3 - Perfis de Uso de Equipamentos	62
E.4 - Perfil de Utilização de AQS.....	63
E.5 - Perfis de Sombreamento.....	63
Anexo F - Considerações para execução dos perfis	65
F.1 - Lâmpadas em cada divisão	65
F.2 - Potências de Equipamentos.....	65
Anexo G - Produção fotovoltaica e consumo	67
Anexo H - Estudo da Autonomia do Sistema	69

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Variação da altura do sol ao longo do ano. Adaptado de [5].</i>	4
<i>Figura 2 - Melhores eficiências de conversão, ao longo do tempo, para módulos fotovoltaicos comercializados [19].</i>	10
<i>Figura 3 - Potência instalada cumulativa conectada à rede entre os anos 2006 e 2016 [17].</i>	10
<i>Figura 4 - LCOE para projetos de energia eólica “onshore”, solar fotovoltaica, eólica “offshore” e solar concentrada [17].</i>	12
<i>Figura 5 - Esquema de uma claraboia fotovoltaica de silício cristalino [23].</i>	12
<i>Figura 6 - Esquemas de coletores solares planos a) e de tubos de vácuo b) [29].</i>	14
<i>Figura 7 - Esquema do ciclo de compressão de vapor [33].</i>	15
<i>Figura 8 - Configurações possíveis para pisos radiantes. a) serpentina - b) espiral em contracorrente - c) espiral modular. Adaptado de [37].</i>	16
<i>Figura 9 - Capacidade instalada, em GW, de armazenamento de energia eletroquímica por cada tipo de bateria em meados de 2017. Adaptado de [41].</i>	17
<i>Figura 10 - Representação esquemática de uma VRFB [42].</i>	18
<i>Figura 11 - Redução de custos potencial, entre 2016 e 2030, para os vários tipos de armazenamento eletroquímico [41].</i>	19
<i>Figura 12 - Animação 3D do SunCast.</i>	20
<i>Figura 13 - Esquema dos processos do Balanço Térmico na divisão [46].</i>	22
<i>Figura 14 - Interação térmica entre o corpo humano e o ambiente envolvente [46].</i>	24
<i>Figura 15 - Zonas Térmicas do Piso -1 (a) e do Piso 0 (b).</i>	25
<i>Figura 16 - Temperatura ambiente nas divisões das zonas mais ocupadas ao longo de um ano.</i>	31
<i>Figura 17 - Distribuição do consumo energético com o sistema de referência.</i>	32
<i>Figura 18 - Distribuição do consumo energético com o sistema de bomba de calor.</i>	33
<i>Figura 19 - Distribuição do consumo energético com o sistema de radiadores e piso radiante.</i>	34
<i>Figura 20 - Consumo energético discriminado ao longo de um ano.</i>	35
<i>Figura 21 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 130 m², mês a mês...</i>	36
<i>Figura B. 1 - Interface da folha de cálculo para obtenção do ficheiro climático.</i>	52
<i>Figura B. 2 - Interface da folha de cálculo SCE.ER da DGEG, que permite a simulação de um sistema de aquecimento de AQS.</i>	52

Figura E. 1 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1..... 58

Figura E. 2 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2..... 58

Figura E. 3 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3..... 58

Figura E. 4 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 4..... 59

Figura E. 5 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5..... 59

Figura E. 6 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 6..... 59

Figura E. 7 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1. 60

Figura E. 8 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2 60

Figura E. 9 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3 60

Figura E. 10 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 4..... 61

Figura E. 11 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5..... 61

Figura E. 12 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 6..... 61

Figura E. 13 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1. 62

Figura E. 14 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2. 62

Figura E. 15 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3. 62

Figura E. 16 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5. 63

Figura E. 17 - Perfis de Uso de AQS na habitação. 63

Figura E. 18 - Perfis de Sombreamento aos dias úteis e aos fins-de-semana, no inverno, na habitação. 63

Figura E. 19 - Perfis de Sombreamento aos dias úteis e aos fins-de-semana, no verão, na habitação.. 64

Figura G. 1 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 140 m² e 150 m². .. 67

Figura G. 2 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 160 m² e 170 m². .. 67

Figura G. 3 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 180 m² e 190 m². .. 67

Figura G. 4 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 200 m²..... 68

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Produção fotovoltaico conforme a área.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 2 - Estado da bateria para cada área de PV simulada.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3 - Balanço Económico dos Gastos Anuais em Eletricidade.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 4 - Balanço Económico para 170 m² de PV e 50 kWh de Armazenamento.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 5 - Balanço Económico para 130 m² de PV e 50 kWh de Armazenamento.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 6 - Balanço Económico para 130 m² de PV e 25 kWh de Armazenamento.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 7 - Pay-back Times alternativos para os cenários analisados.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela A. 1 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{ref} [W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}]$</i>	<i>51</i>
<i>Tabela C. 1 - Zonas térmicas da habitação e condições de arrefecimento, aquecimento e ventilação.</i>	<i>53</i>
<i>Tabela D. 1 - Parede exterior em contacto com o solo do piso -1.</i>	<i>54</i>
<i>Tabela D. 2 - Parede exterior com isolamento no exterior.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela D. 3 - Parede exterior com isolamento no interior.</i>	<i>55</i>
<i>Tabela D. 4 - Cobertura com pé direito de 2,95 m</i>	<i>55</i>
<i>Tabela D. 5 - Cobertura com pé direito de 3,10 m (Painéis Fotovoltaicos).</i>	<i>56</i>
<i>Tabela D. 6 - Cobertura jardinada com pé direito de 3,65 m.</i>	<i>56</i>
<i>Tabela D. 7 - Cobertura de água com pé direito de 3,65 m.</i>	<i>57</i>
<i>Tabela D. 8 - Pavimento Intermédio</i>	<i>57</i>
<i>Tabela F. 1 - Lâmpadas de 5 W usadas em cada divisão.</i>	<i>65</i>
<i>Tabela F. 2 - Potência total dos equipamentos em cada Zona.</i>	<i>65</i>
<i>Tabela H. 1 - Resultados para o estudo do aumento da capacidade das baterias.</i>	<i>69</i>

Notação e Glossário

A_p	Área Interior Útil de Pavimento do Edifício Medida pelo Interior	m^2
A_{PV}	Área Total do Painel PV	m^2
$C+R$	Calor Sensível perdido pela Pele	$W \cdot m^{-2}$
$C_{ef.}$	Custo Efetivo da Eletricidade Anual	€
$C_{O\&M}$	Custos de Operação e Manutenção	€
$C_{pellets}$	Custo da Energia dos <i>Pellets</i>	€
$C_{PV+Bat.}$	Custo da Eletricidade do Sistema PV + Baterias	€
C_{rede}	Custo da Eletricidade Comprada à Rede	€
C_{res}	Calor Convectivo Perdido pela Respiração	$W \cdot m^{-2}$
$C_{UPAC,m}$	Compensação Mensal Fixa	€
$E_{fornecida,m}$	Energia Fornecida à Rede no Mês ‘m’	kWh
E_{res}	Calor Evaporativo Perdido pela Respiração	$W \cdot m^{-2}$
E_{sk}	Calor Evaporativo Perdido pela Pele	$W \cdot m^{-2}$
$g_{\perp,vi}$	Fator Solar do Vidro para uma Incidência Solar Normal à Superfície do Vidro	
g_T	Fator Solar Global de um Envidraçado com as Proteções Solares Totalmente Ativadas	
g_{Tvc}	Fator Solar do Vão Envidraçado com Vidro Corrente e um Dispositivo de Proteção Solar, Permanente ou Móvel	
$I_{PV+Bat.}$	Investimento Total no Sistema PV + Baterias	€
K_t	Coefficiente de Ponderação	
M	Atividade Metabólica	$W \cdot m^{-2}$
N_i	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento	$kWh \cdot m^{-2} \cdot ano^{-1}$
N_v	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento	$kWh \cdot m^{-2} \cdot ano^{-1}$
$n_{v_{ref}}$	Fator de Utilização de Ganhos de Referência	
$OMIE_m$	Média Aritmética Simples dos Preços de Fecho do OMIE no mês ‘m’	€ · kWh ⁻¹
P_t	Produção Anual do Sistema PV + Baterias	kWh
P_{UPAC}	Potência Instalada da UPAC	kW
q''_{asol}	Fluxo (q/A) de Radiação Solar Direta e Difusa Absorvida	$W \cdot m^{-2}$
q''_{conv}	Fluxo Convectivo Trocado com o Ar Exterior	$W \cdot m^{-2}$
$q''_{conv.ar}$	Fluxo Térmico Convectivo do Ar da Zona	$W \cdot m^{-2}$
q''_{k0}	Fluxo Condutivo na Parede	$W \cdot m^{-2}$
q''_{ki}	Fluxo Condutivo que atravessa a Parede	$W \cdot m^{-2}$

q''_{LWR}	Fluxo de Radiação de Ondas-Longas Trocado com o Ar e a Envoltente	$W \cdot m^{-2}$
q''_{LWS}	Fluxo de Radiação de Ondas-Longas Proveniente do Equipamento na Zona	$W \cdot m^{-2}$
q''_{LWX}	Fluxo de Radiação de Ondas-Longas Trocado entre Superfícies de Zonas	$W \cdot m^{-2}$
q''_{sol}	Fluxo de Radiação Solar Transmitida que é absorvido na Superfície	$W \cdot m^{-2}$
q''_{SW}	Fluxo de Radiação de Ondas-Curtas, Proveniente das Luzes, nas Superfícies	$W \cdot m^{-2}$
q_{CE}	Partes Convectivas das Cargas Internas	W
$q_{conv.sup}$	Calor Transferido das Superfícies por Convecção	W
$Q_{g,v,ref}$	Ganhos Térmicos de Referência na Estação de Arrefecimento	$kWh \cdot ano^{-1}$
$Q_{gu,i,ref}$	Ganhos de Calor Úteis na Estação de Aquecimento	$kWh \cdot ano^{-1}$
q_{IV}	Carga Sensível Causada por Infiltrações e Ventilação do Ar	W
q_{res}	Transferência de Calor do Aparelho Respiratório para o Ambiente	$W \cdot m^{-2}$
q_{sk}	Transferência de Calor da Superfície da Pele para o Ambiente	$W \cdot m^{-2}$
q_{sys}	Calor Transferido de e para o Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)	W
$Q_{tr,i,ref}$	Calor por Transmissão através da Envoltente de Referência na Estação de Aquecimento	$kWh \cdot ano^{-1}$
$Q_{ve,i,ref}$	Calor por Ventilação de Referência na Estação de Aquecimento	$kWh \cdot ano^{-1}$
$R_{UPAC,m}$	Remuneração da Eletricidade Fornecida à RESP no mês 'm'	$€$
S_{cr}	Calor Armazenado no Núcleo	$W \cdot m^{-2}$
S_{sk}	Calor Armazenado na Pele	$W \cdot m^{-2}$
t_u	Tempo de vida útil	
U_{ref}	Coefficientes de Transmissão Térmica Superficial de Referência	$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$
$V_{CIEG,t}$	Valor que Permite Recuperar os CIEG da Respetiva UPAC no ano 't'	$€ \cdot kWh^{-1}$
W	Trabalho Externo que corresponde à Energia produzida pelo Corpo	$W \cdot m^{-2}$

Índices

\perp,vi	Incidência Solar Normal À Superfície do Vidro
<i>asol</i>	Radiação Solar Direta e Difusa
<i>CE</i>	Cargas Internas
<i>conv</i>	Convectivo
<i>conv.ar</i>	Convectivo do Ar
<i>conv.sup</i>	Convectivo da Superfície
<i>cr</i>	Núcleo
<i>ef.</i>	Eletricidade Anual Efetiva
<i>gu</i>	Ganhos Úteis
<i>i</i>	Aquecimento
<i>IV</i>	Infiltrações e Ventilação do Ar
<i>k0</i>	Condutividade na parede
<i>ki</i>	Condutividade que atravessa a Parede
<i>LWR</i>	Radiação de Ondas-Longas
<i>LWS</i>	Ondas-Longas nos Equipamentos
<i>LWX</i>	Ondas-Longas nas Superfícies de Zonas
<i>m</i>	Mês
<i>O&M</i>	Operação e Manutenção
<i>p</i>	Pavimento
<i>pellets</i>	Combustível <i>Pellets</i>
<i>PV</i>	Painel Fotovoltaico
<i>PV+Bat.</i>	Sistema de Produção de Paneis Fotovoltaicos e Baterias
<i>rede</i>	Eletricidade Comprada à Rede
<i>ref</i>	Referência
<i>res</i>	Sistema Respiratório
<i>sk</i>	Pele
<i>sol</i>	Radiação Solar
<i>SW</i>	Ondas-Curtas
<i>sys</i>	Sistema de AVAC
<i>t</i>	Ano
<i>T</i>	Global
<i>tr</i>	Transmissão
<i>Tvc</i>	Vidro Corrente e Dispositivo Proteção Solar
<i>u</i>	Vida Útil
<i>v</i>	Arrefecimento
<i>ve</i>	Ventilação

Lista de Siglas

AC	Corrente Alternada
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BAPV	<i>Building Attached Photovoltaics</i> - Painéis Fotovoltaicos Anexados ao Edifício
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaics</i> - Painéis Fotovoltaicos Integrados no Edifício
CC	Circuito Fechado
CdTe	Cádmio-Telúrio
CELE	Comissão Europeia de Licenças de Emissão
CIEG	Custo de Interesse Económico Geral
CIGS	Cobre-Índio-Gálio-Selênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Coefficiente de Desempenho
CSP	<i>Concentrated Solar Power</i> - Potência Solar Concentrada
DC	Corrente Direta
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DSC	Células Solares Sensibilizadas com Corante - <i>Dye Sensitized Cells</i>
EER	Rácio de Eficiência Energética
ETC	<i>Evacuated Tubes Colector</i> - Coletor Solar de Tubos de Vácuo
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
FPC	<i>Flat Panel Colector</i> - Coletor Solar de Painéis Planos
GEE	Gases de Efeito de Estufa
HBM	Heat Balance Method - Método do Balanço Térmico
IESve	Integrated Environmental Solutions - virtual environment
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i> - Custo Nivelado de Energia
LW	<i>Long Wave</i> - Onda Longa
NZEB	Nearly Zero Energy Buildings
O&M	Operação e Manutenção
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PCU	Unidade de Condicionamento de Energia
PEX	Polietileno com Formação de Rede
PNEC 2030	Plano Nacional Energia-Clima 2030
PV	Painéis Fotovoltaicos - <i>Photo-Voltaic Panels</i>
PVCCR	<i>Photo-Voltaic Cell Cover Ratio</i> - Razão de Cobertura de Célula Fotovoltaica
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SEER	Rácio de Eficiência Energética Sazonal
STPV	<i>Semitransparent Photo-Voltaic</i> - Módulos Fotovoltaicos Semitransparentes
SW	Short Wave - Onda Curta
UE	União Europeia
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
USD	Dólares Americanos - <i>United States Dollars</i>
VRFB	<i>Vanadium Redox Flow Batterie</i> - Bateria de Fluxo Redução/Oxidação de Vanádio

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

As alterações climáticas e a sustentabilidade do planeta são, atualmente, um tópico de enorme preocupação. Os contínuos relatórios sobre o aumento da temperatura média da Terra e os efeitos que essa terá a médio-longo prazo alarmam a sociedade e fazem com que esta exija maior esforço a nível político e económico. De modo a satisfazer esse pedido, as políticas “verdes” com o foco nas energias de fonte renovável e a redução de gases de efeito de estufa têm aumentado um pouco por todo o mundo.

Os edifícios de habitação e a energia para consumo doméstico são pontos fulcrais para o cumprimento das metas de redução e eficiência energética impostas pelo Acordo de Paris de 2015, visto que representam uma grande percentagem do consumo energético mundial. Estudos comprovam que a população mundial continua a aumentar e, por isso, a integração de sistemas de energia renovável, a produção local de energia e o estudo prévio da forma dos edifícios, da sua orientação e das construções da sua envolvente são de bastante relevância.

Com esse intuito, muitos estudos têm sido feitos ao longo dos últimos anos para que a eficiência, custo e tempo de vida útil desses sistemas e equipamentos melhore de forma a suscitar mais interesse comercial.

As ferramentas de simulação e estudo térmico tornaram-se assim indispensáveis no projeto de construção de novos edifícios, uma vez que a lei obriga a que certos parâmetros sejam cumpridos e porque dão a capacidade de prever qual o custo-benefício gerado por estas soluções. O objetivo final será ter edifícios de habitação que produzam todas as suas necessidades energéticas ao longo de um ano e sejam ainda capazes de fornecer o excedente.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo fazer, a partir de um projeto arquitetónico, o estudo energético de uma habitação para quatro pessoas, localizada perto da praia do Mindelo, em Vila do Conde (Portugal). Para que a autossustentabilidade seja atingida, será estudada a integração de sistemas de energia renovável, como painéis fotovoltaicos, coletores solares térmicos e bombas de calor. Devido à variabilidade do sol e, sendo essa uma das principais fontes de energia deste estudo, é necessário a aplicação de um sistema de armazenamento eletroquímico que permita o uso da energia excedente, produzida durante o decorrer do dia, nas horas de produção nula. Além do estudo tecnológico, será implementado um estudo financeiro de modo a perceber a viabilidade do projeto e qual a sua discrepância, em termos de investimento, para uma habitação comum.

1.2 Apresentação da Empresa

A A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia é uma empresa portuguesa fundada no ano de 1995 com forte tradição na engenharia de estruturas e que oferece serviços completos de engenharia no ramo da construção. A empresa tem a sua sede no Porto e tem escritórios em Lisboa, Madeira, Angola, Moçambique, Argélia e Marrocos.

A empresa tem nos seus quadros mais de 100 empregados, espalhados pelo mundo, e dá grande relevância à gestão e coordenação de projeto. Quando fornece os seus serviços, a A400 baseia os seus objetivos nos três pilares pelos quais se regem os serviços de engenharia: qualidade, custo e tempo.

Fazem parte da A400 os departamentos de Estruturas, de Estruturas Metálicas, de Hidráulicas, de Mecânicas, de Elétricas e Telecomunicações, de Coordenação e de Investigação e Desenvolvimento.

O projeto desenvolvido nesta Dissertação de Mestrado foi realizado nas instalações do Porto, relacionando-se sobretudo com o Departamento de Mecânicas.

1.3 Organização da Tese

O corpo principal desta dissertação terá sete capítulos, sendo eles: Introdução, Contexto e Estado da Arte, Materiais e Métodos, Caso de Estudo, Resultados e Discussão, Conclusões e Avaliação do Trabalho Realizado.

O capítulo 1 - *Introdução* - é a apresentação do tema da dissertação, dos objetivos a que se propõe e da empresa na qual foi realizada. O capítulo 2 - *Contexto e Estado da Arte* - é uma revisão da literatura sobre a legislação em vigor e as tecnologias possivelmente empregues. No capítulo 3 - *Materiais e Métodos* - é brevemente descrito o *software* IESve 2018 e os métodos associados às simulações. O capítulo 4 - *Caso de Estudo* - apresenta o projeto e todas as considerações feitas antes das simulações. No capítulo 5 - *Resultados e Discussão* - são apresentados e discutidos os resultados obtidos pelo IESve 2018 e pelas folhas de cálculo utilizadas. O capítulo 6 - *Conclusões* - apresenta os conhecimentos finais obtidos a partir do trabalho realizado e, no Capítulo 7 - *Avaliação do Trabalho Realizado* - é feita a avaliação final do projeto e da experiência a nível empresarial, apesar do cumprimento ou não dos objetivos propostos, sendo dadas algumas sugestões para futuros projetos.

2 Contexto e Estado da Arte

Desde o dia 01 de janeiro de 2019 todos os novos edifícios ocupados ou possuídos por entidades públicas devem ser do tipo “*nearly zero-energy buildings*” (NZEB). A lei pertence à diretiva europeia para o desempenho de edifícios de 2010, estando também previsto que a partir de 01 de janeiro de 2021 todas as novas construções serão do tipo NZEB [1].

A definição, dada pela União Europeia, para NZEB é um edifício com desempenho energético muito elevado, em que a energia necessária deverá ser produzida no local ou perto, através de fontes de energia renovável [1, 2].

Segundo a diretiva [1] os edifícios representam 40% do consumo total de energia na União Europeia. Prevê-se que a população mundial crescerá para os 10 mil milhões de indivíduos até 2050, pelo que é esperado que haja expansão no mercado da construção imobiliária e um aumento do consumo de energia. Deste modo, são necessárias soluções que façam com que a taxa do consumo de energia não aumente ao ritmo do crescimento demográfico [3].

Assim sendo, o estudo e planeamento prévios da orientação, da forma e das necessidades energéticas de um edifício são necessários para perceber quais as soluções passivas que deverão ser desenvolvidas na sua envolvente e quais as soluções ativas, na forma de tecnologias de energia renovável integradas, que deverão ser aplicadas com o objetivo da produção de energia suficiente para o seu abastecimento de forma sustentável [4].

2.1 Orientação, forma e envolvente

O clima onde o edifício se encontrará ditará a sua orientação, de que forma será construído e quais os materiais necessários que levarão ao seu melhor desempenho energético.

Em Portugal, a orientação dos edifícios, tendo em vista o maior aproveitamento da energia solar, deve ser a sul. No Inverno, como o sol se encontra todo o dia em azimutes muito próximos do Sul geográfico [5], a radiação incide diretamente na fachada sendo maioritariamente absorvida pelos envidraçados aquecendo o edifício [6]. No Verão, o sol encontra-se próximo do zénite solar [5] levando a que a maior parte da radiação incida sobre a cobertura não havendo tantos ganhos térmicos a partir da absorção desta pelos envidraçados da fachada sul [7]. Este fenómeno está representado no esquema da Figura 1 [5].

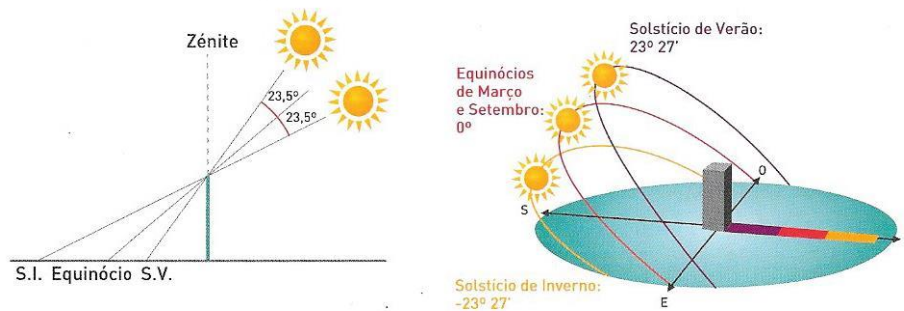


Figura 1 - Variação da altura do sol ao longo do ano. Adaptado de [5].

As características arquitetônicas de um edifício como a sua altura, a largura ou a profundidade são o que também pode ser referido como forma do edifício.

Estes dois fatores são importantes porque têm impacto em vários aspetos fulcrais no estudo energético de uma construção como as cargas de aquecimento e arrefecimento, a exposição à luz solar ou métodos de ventilação [8].

A envolvente de uma habitação consiste em todas as barreiras que se encontram em contacto com o exterior e que representam um obstáculo às perdas indesejadas de energia do interior para o exterior assim como aos ganhos do exterior para o interior. A envolvente térmica é constituída por elementos opacos, que são as paredes, o telhado, os pavimentos e as portas, e pelos vãos envidraçados, como as janelas e as claraboias. Em edifícios residenciais, o estudo da envolvente tem maior importância devido às infiltrações de ar que transportam energia do interior para o exterior ou no sentido inverso e que acontecem através destas estruturas [9].

2.2 Legislação

2.2.1 Diretiva 2010/31/UE e 2018/844/UE - Desempenho Energético dos Edifícios

A 19 de Maio de 2010, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia aprovaram a diretiva 2010/31/UE [1] referente ao desempenho energético dos edifícios. A União Europeia (UE) definiu vários objetivos na promulgação desta lei, como a utilização prudente, racional e eficiente da energia e a diminuição das fontes de emissão de dióxido de carbono (CO₂), de modo a cumprir o estabelecido no Protocolo de Quioto sobre as alterações climáticas. Com o mercado da construção em expansão e o conseqüente aumento da necessidade de energia, a diretiva pretende fornecer também medidas necessárias para reduzir a dependência energética da União Europeia e garantir a segurança do abastecimento a médio e longo prazo. O desempenho energético dos edifícios deverá ter como base uma metodologia de cálculo que deverá ser diferenciada conforme as condições climáticas e locais, assim como o ambiente interior e a rentabilidade económica. A lei pretende instituir ações mais concretas como forma de reduzir as grandes diferenças existentes entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados

apresentados, entre eles, no setor energético. Um exemplo é o Artigo 9º que define que a partir de 31 de Dezembro de 2018 todos os edifícios ocupados por autoridades públicas deveriam ter necessidades quase nulas de energia (ou por outras palavras, deveriam ser NZEB) e que a partir de 31 de Dezembro de 2020 essa característica passará a aplicar-se a todos os edifícios.

No dia 30 de Maio de 2018 foi promulgada a errata [10] que alterou as diretivas 2010/31/UE e 2012/27/EU referentes ao desempenho energético de edifícios e à eficiência energética, respetivamente. Os objetivos definidos por estas diretivas têm agora de cumprir o Acordo de Paris de 2015 sobre as alterações climáticas.

O artigo 2º-A foi inserido e apresenta os pontos fulcrais para uma estratégia para a renovação de edifícios a longo prazo até 2050. O artigo 8º que se refere a sistemas técnicos dos edifícios foi substituído passando a ser referente a sistemas técnicos de construção, eletromobilidade e indicador de aptidão para tecnologias inteligentes, promulgando medidas relativas ao carregamento de carros de baterias e ao autorregulamento de dispositivos, por exemplo [10].

2.2.2 Portaria nº349-B/2013 - Determinação da Classe de Desempenho Energético das Habitações

A construção de novos edifícios, para além de se reger pela diretiva europeia [1], deve também respeitar a lei portuguesa. A partir do dia 20 de Agosto de 2013 entrou em vigor o Decreto-Lei nº118/2013, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços [11]. A Portaria nº 349-B/2013 [11] define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético das habitações definindo a legislação acerca dos valores máximos de necessidades energéticas, aplicada à construção de novos edifícios e à reconstrução de existentes, da qualidade térmica da envolvente, do valor mínimo de taxa de renovação de ar, dos sistemas técnicos e dos sistemas para aproveitamento de energias renováveis.

2.2.2.1 Requisitos energéticos – Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados

Os coeficientes de transmissão superficiais de referência são valores que os elementos da envolvente devem respeitar de forma a diminuir as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Os valores apresentados na Tabela A.1 do Anexo A são os valores propostos na Portaria nº379-A/2015 [12] que alteram os valores apresentados na Portaria nº349-B/2013 [11]. Esta alteração fez com que os valores impostos a partir do dia 01 de Janeiro de 2016 fossem menos ambiciosos que aqueles propostos na legislação anterior.

2.2.2.2 Valores Máximos de Necessidades Energéticas - Edifícios de Habitação Novos

1 - Necessidades de Aquecimento

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) é determinado considerando valores e condições de referência e é obtido a partir da seguinte Equação (2.1) [11].

$$N_i = \frac{Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref}}{A_p} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}] \quad (2.1)$$

Em que os parâmetros $Q_{tr,iref}$, $Q_{ve,iref}$, $Q_{gu,iref}$ e A_p se encontram definidos na secção “Notação e Glossário”.

2 - Necessidades de Arrefecimento

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v) é determinado pela seguinte Equação (2.2) [11].

$$N_v = \frac{(1 - n_{v,ref}) \times Q_{g,v,ref}}{A_p} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}] \quad (2.2)$$

Em que os parâmetros N_v , $n_{v,ref}$, $Q_{g,v,ref}$ e A_p se encontram definidos na secção “Notação e Glossário”.

2.2.3 Decreto-Lei nº153/2014 - Produção Descentralizada de Energia

O Decreto-Lei nº153/2014 [13], de 20 de Outubro, estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução. A eletricidade produzida deve ser utilizada para autoconsumo por uma instalação elétrica acoplada ou pode ser entregue na totalidade e, de forma remunerada, à rede elétrica de serviço público (RESP).

O produtor de eletricidade pode estabelecer uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) por cada instalação elétrica de utilização, recorrendo a qualquer *mix* de fontes de energia, quer sejam renováveis ou não; pode ligar a UPAC à instalação elétrica a partir do momento em que é emitido um certificado; pode consumir a eletricidade produzida, assim como exportar excedentes para a RESP. O produtor deve suportar o custo das alterações da ligação da instalação elétrica de utilização à RESP, suportar o custo associado aos contadores que medem o total de eletricidade produzida pela UPAC, pagar a compensação devida pela UPAC, dimensionar a unidade de produção de forma a garantir que a energia elétrica produzida se aproxime, sempre que possível, da energia elétrica consumida e celebrar um seguro de responsabilidade civil para a reparação de danos corporais ou materiais causados a terceiros em resultado da produção de eletricidade para autoconsumo [13].

Quando a potência instalada no projeto for maior que 250 kW, é necessário executar um processo de licenciamento que consiste em várias etapas. No início, o produtor deve registrar-se no Sistema Eletrónico de Registo para UPAC, de seguida tem de pagar uma taxa de registo à Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), o que pode levar ou não à aceitação do pedido. Caso a resposta seja positiva, instala-se a UPAC e faz-se um pedido de inspeção. Depois desta ser realizada, é passado um Certificado de Exploração Final e o produtor deve celebrar um contrato com uma entidade do mercado elétrico para venda ou compra de eletricidade. Por fim, a UPAC pode ser conectada à instalação elétrica e à RESP [13].

A produção de eletricidade em excesso, em cada mês, permite ao produtor injetar essa mesma energia na RESP, sendo que essa injeção é remunerada ($R_{UPAC,m}$) segundo a Equação (2.3), onde $E_{fornecida,m}$ é a energia fornecida à rede no mês 'm' em kWh e $OMIE_m$ é o valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal relativos ao mês 'm' em $\text{€}\cdot\text{kWh}^{-1}$ [13].

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (2.3)$$

No caso da UPAC ter potência instalada superior a 1,5 kW e a instalação elétrica de utilização estar ligada à RESP, o produtor deve pagar uma compensação mensal fixa ($C_{UPAC,m}$) durante os primeiros 10 anos depois da obtenção do certificado de modo a que seja permitida a recuperação de uma parcela dos custos decorrentes de medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral (CIEG). A expressão que determina o valor de $C_{UPAC,m}$ (Equação 2.4) é determinada através de P_{UPAC} que é o valor da potência instalada da UPAC, de $V_{CIEG,t}$ que é o valor que permite recuperar os CIEG da respetiva UPAC no ano 't' em $\text{€}\cdot\text{kWh}^{-1}$ e de K_t que é o coeficiente de ponderação entre 0 % e 50 % a aplicar a $V_{CIEG,t}$ tendo em conta a representatividade da potência total registada das UPAC no Sistema Elétrico Nacional no ano 't' [13].

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times K_t \quad (2.4)$$

2.2.4 Plano Nacional Energia-Clima 2030 - PNEC 2030

O Plano Nacional Integrado Energia-Clima 2030 [14] define as políticas e linhas de atuação necessárias em relação à energia e ao clima para a próxima década de modo a que se cumpra o objetivo de neutralidade carbónica em 2050.

O plano é uma imposição da UE conforme o Regulamento (EU) 2018/1999 e estabelece os objetivos nacionais para as emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa), energias renováveis, eficiência energética e interligações [14].

A União Europeia definiu um conjunto de metas até 2030, sendo que na vertente energética, os objetivos são dar prioridade à eficiência energética, liderar mundialmente a percentagem de energia produzida a partir de fontes renováveis e apresentar condições equitativas para os consumidores europeus. Em termos numéricos, as metas estabelecidas para cumprir esses objetivos são 32,5 % para a eficiência energética, 32 % de energia de fontes renováveis na rede de consumo, 14 % de energia de fontes renováveis nos transportes e 15 % de interligações elétricas entre estados-membros. No pacote clima, a descarbonização da economia, redução das emissões por setores CELE e não-CELE e potenciar o contributo de sumidouros de carbono é a finalidade que se pretende atingir. As metas são de -40 % de emissões em relação a 1990, -43 % de emissões CELE em relação a 2005 e -30 % de emissões não-CELE também relativamente ao ano de 2005 [14].

As metas que Portugal se comprometerá a cumprir até 2030 de modo a ir de encontro às impostas pela UE serão de 35 % para a eficiência energética, 47 % de energia de fontes renováveis na rede de consumo, 20 % de energia de fontes renováveis nos transportes, 15% de interligações elétricas e entre -45 % e -55 % de emissões de GEE [14].

De modo a concretizar as metas a que se propõe, o PNEC 2030 assenta em vários guias para cada um dos tópicos abordados.

As emissões de GEE serão reduzidas através: da descarbonização do consumo e produção de energia; do incentivo da eletrificação do consumo; do aumento da energia de fontes renováveis no mix nacional e eficiência energética; da transição para uma economia circular; da sensibilização para o uso de transportes públicos; da mobilidade ativa; da mobilidade elétrica e serviços de partilha; da descarbonização da indústria e edifícios; da melhoria do ordenamento florestal; da redução da produção de resíduos e aumento de reciclagem; da promoção de projetos de investigação e desenvolvimento na área. A meta no setor residencial é de -35 % até 2030 [14].

O consumo de energia primária em Portugal deverá atingir um nível de 20,4 Mtep em 2030, o que garantirá o cumprimento da meta para a eficiência energética proposta pela UE. Este valor será atingido através: da requalificação e renovação do parque de edifícios; da promoção de equipamentos, produtos e serviços eficientes; da promoção da eficiência energética na indústria usando a competitividade entre empresas; da continuação da promoção da eficiência energética na administração pública; do combate à pobreza energética [14].

As guias que permitirão que a meta de 47 % de energias renováveis no consumo total do país seja alcançada, são as seguintes: a eletrificação da economia e dos consumos; a evolução na capacidade instalada e produção de eletricidade de base renovável; o impulso à produção descentralizada; a promoção do armazenamento; o reforço e otimização das redes de

transporte e distribuição; a penetração do veículo elétrico, biocombustíveis avançados e outras soluções de mobilidade sustentável e ativa no mercado; a promoção de renováveis no aquecimento e arrefecimento; a investigação e inovação em novas tecnologias e novos investimentos na rede e noutras infraestruturas elétricas. As energias renováveis representarão 80 % da energia no setor do consumo em edifícios, 20 % nos transportes e 38 % no aquecimento e arrefecimento [14].

De modo a cumprir a meta de 15 %, o reforço da capacidade de interligação na Península Ibérica é crucial para a segurança de abastecimento e integração no mercado europeu. Assim, será necessário o reforço da cooperação regional, a construção de novas interligações, os reforços internos de rede e maiores esforços de modo a diminuir as dificuldades existentes na fronteira entre a Península Ibérica e França [14].

2.3 Tecnologias de Energia Renovável Integradas

As fontes de energia renováveis são aquelas que são provenientes de processos naturais e que são consideradas inesgotáveis. Incluem-se nesta definição a energia solar, eólica, hídrica, ondas e marés, geotérmica, calor ambiente, biomassa e biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos [15].

Os tipos de tecnologia utilizados para conforto térmico e produção de eletricidade em habitações são, normalmente, os que aproveitam a energia solar, a energia contida no calor ambiente e a biomassa.

2.3.1 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas ligadas em série, e são revestidos por vidro e uma moldura de metal que servem de proteção contra fatores externos como o vento. As células fotovoltaicas convertem radiação solar em eletricidade de corrente direta (DC) [16]. O material mais utilizado para o fabrico de células fotovoltaicas é o silício, sendo produzidas células de silício policristalino, monocristalino e amorfo [5]. As células do tipo “*thin-film*” utilizam outros compostos e as mais presentes no mercado são as Cádmiio-Telúrio (CdTe) e as Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIGS) [17]. Um dos mais recentes avanços para o mercado da construção são as células solares sensibilizadas com corante (DSC - “*dye sensitized*”) que podem ser usadas em fachadas de edifícios e que têm como grande vantagem o facto de serem coloridas podendo mesmo ter a capacidade de alternar a sua coloração com uma eficiência máxima de conversão de energia de 7 % em circuito fechado (CC) [18].

A Figura 2 apresenta a melhor eficiência de conversão alcançada, ao longo do tempo, para vários tipos de módulos fotovoltaicos comercializados, sendo que os que apresentam maior dimensão rondam os 20 % de eficiência [19].

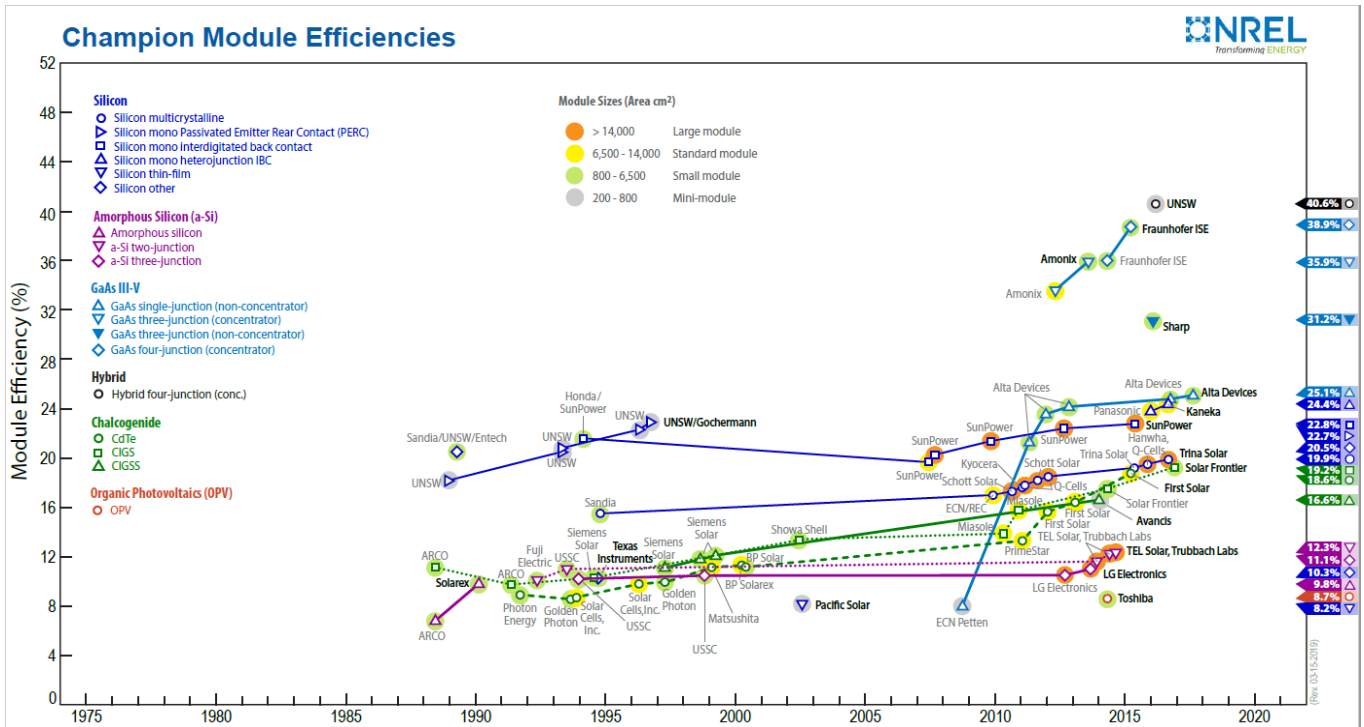


Figura 2 - Melhores eficiências de conversão, ao longo do tempo, para módulos fotovoltaicos comercializados [19].

O mercado dos painéis fotovoltaicos cresceu rapidamente nos últimos anos, sendo que esta solução constitui 94 % da capacidade instalada entre 2006 e 2016, o que se deveu, sobretudo, à entrada de países asiáticos, como a China e o Japão, no mercado. Juntos, estes dois países, instalaram 88 GW entre 2014 e 2016. No gráfico da Figura 3 é possível verificar a potência instalada (cumulativa) conectada à rede entre os anos 2006 e 2016 [17].

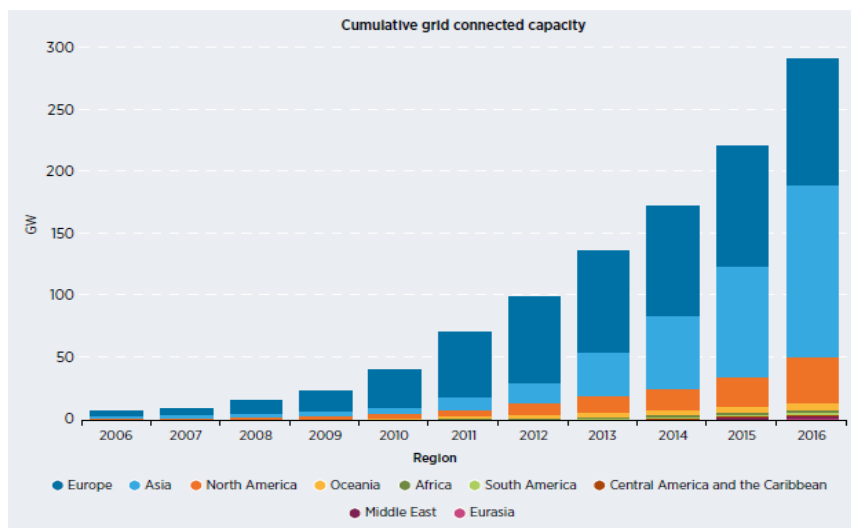


Figura 3 - Potência instalada cumulativa conectada à rede entre os anos 2006 e 2016 [17].

O sistema fotovoltaico numa habitação é normalmente constituído pelos painéis, por um controlador de carga, um inversor e, dependendo dos casos, uma bateria. A função do painel foi já explicada acima. O controlador de carga faz com que a bateria não seja sobrecarregada nem descarregada completamente aumentando o seu tempo de vida útil. O inversor converte a eletricidade DC em eletricidade com corrente alternada (AC) e frequência da rede. A bateria armazena a eletricidade produzida em excesso para ser usada em ocasiões de menor produção, como à noite ou dias com céu nublado [20].

A eletricidade produzida pelos painéis pode ser diretamente introduzida na rede depois de ter sido transformada de DC para AC por uma unidade de condicionamento de energia (PCU) ou, em alternativa, pode ser armazenada em baterias para ser usada posteriormente em momentos de necessidade. Os sistemas conectados à rede têm a vantagem de satisfazer sempre a procura, mesmo quando os painéis produzem menos que o necessário, uma vez que a PCU, nesses casos usa a eletricidade da rede. A principal vantagem dos sistemas autossustentáveis, que usam o armazenamento de energia eletroquímica, é o custo de operação reduzido deixando de haver obrigatoriedades, como impostos e taxas, para com as empresas que exploram o mercado da eletricidade [21].

A nível do desenho arquitetónico do edifício, os painéis fotovoltaicos podem ser de dois tipos: BAPV (“building attached photovoltaics”) ou BIPV (“building integrated photovoltaics”). Os BAPV são aqueles que são colocados sobre a telha convencional, enquanto que os BIPV substituem essa mesma telha (consequentemente passam a fazer parte da envolvente térmica) sendo uma melhor solução estética, económica e técnica. Além de serem uma fonte de produção elétrica têm também a função de proteger o edifício climaticamente [22].

Nos últimos anos, o LCOE (“levelized cost of energy”) da eletricidade proveniente da produção fotovoltaica tem vindo a diminuir drasticamente tendo como projeção para 2019 o custo de $0,03 \text{ USD} \cdot \text{kWh}^{-1}$, como se pode observar na Figura 4. Além do LCOE, o custo de instalação e manutenção diminuiu, o que tornou esta opção extremamente interessante para o uso na construção civil [17].

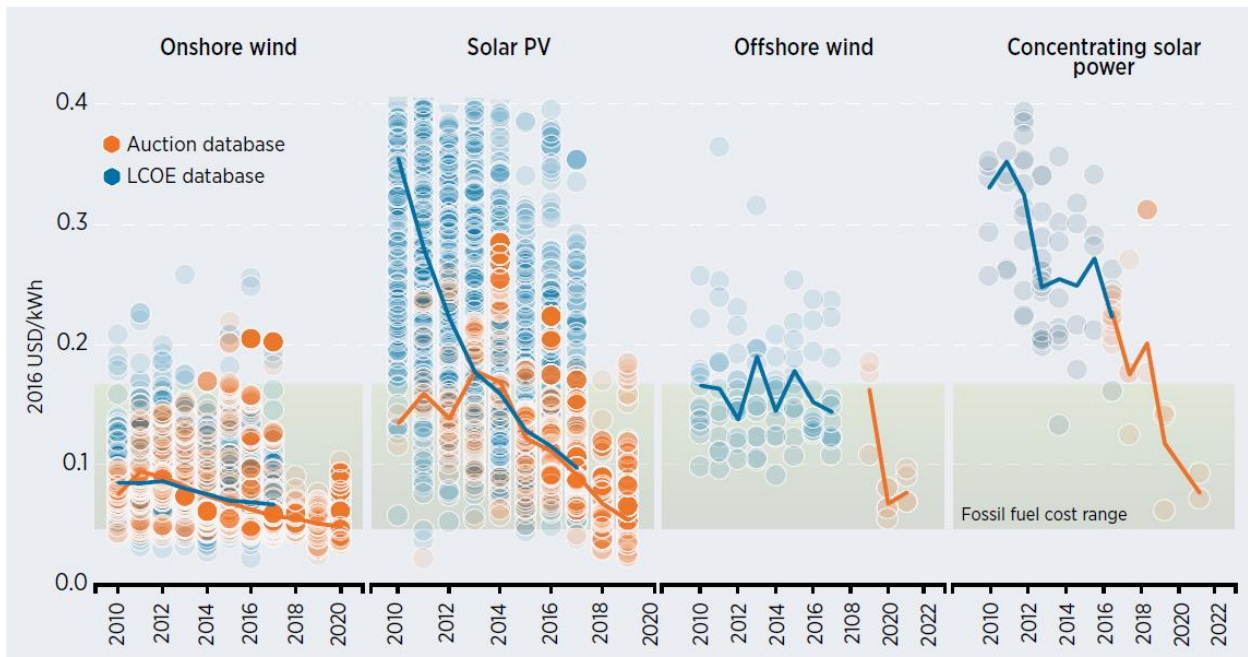


Figura 4 - LCOE para projetos de energia eólica “onshore”, solar fotovoltaica, eólica “offshore” e solar concentrada [17].

2.3.1.1 Claraboias Fotovoltaicas

As claraboias fotovoltaicas, também conhecidas por módulos fotovoltaicos semitransparentes (STPV - Semi-Transparent Photo-Voltaic) [23], são um tipo de BIPV. Além da produção de eletricidade, estas estruturas reduzem os consumos energéticos relacionados com o aquecimento, arrefecimento e iluminação artificial do edifício [24].

Os sistemas convencionais, e que já estão mais estabelecidos, são os que têm na sua estrutura células de silício cristalino. O esquema do módulo está representado na Figura 5, onde é perceptível que este é formado por vidro nas extremidades, por células de silício que são seladas por uma espuma vinílica acetinada (EVA) e por uma cavidade de ar, podendo ainda ter um vidro colorido ou refletivo [24].

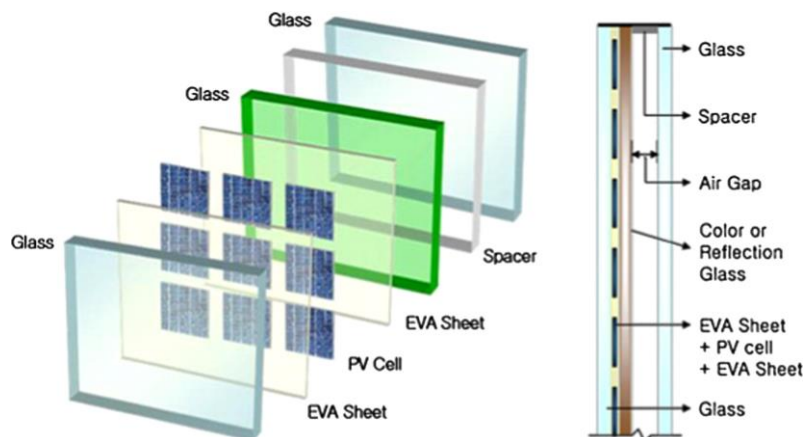


Figura 5 - Esquema de uma claraboia fotovoltaica de silício cristalino [23].

O uso de claraboias com estes módulos incorporados tem vindo a ser estudado tendo-se chegado a algumas conclusões. Por exemplo, Tina et al. (2013) [25] concluem que a distância entre a superfície do painel e o ocupante deve ser de pelo menos 2,0 m para assegurar que não existe desconforto térmico.

Sabe-se que, considerando um STPV com uma determinada área fixa, se se aumentar a área coberta por células fotovoltaicas, a produção de eletricidade aumenta, mas os ganhos térmicos e de luz solar diminuem, devido à sombra formada pelas células. Por este motivo, são necessários estudos de simulação de modo a chegar a um valor da “razão de cobertura de célula fotovoltaica” (PVCCR) [23] que equilibre a produção de energia, os ganhos solares térmicos e a luz solar [24].

O PVCCR define-se pela razão entre a área do número de células solares existentes e a área total do painel fotovoltaico (Equação 2.5) [23].

$$PVCCR = \frac{\text{Número de células PV} \times \text{Área da célula}}{\text{Área total do painel PV } (A_{PV})} \quad (2.5)$$

Apesar de ser um mercado relativamente recente já existem alguns fornecedores destes equipamentos para o setor da construção [26-28].

2.3.2 Painéis Solares Térmicos

A energia solar térmica pode ser coletada pelos painéis solares térmicos, armazenada em termoacumuladores e depois usada para águas quentes sanitárias e aquecimento central. Os coletores térmicos podem ser montados sobre a telha convencional ou integrados na envolvente do edifício [8].

Os painéis solares térmicos assemelham-se a um permutador de calor, que transforma a energia da radiação solar em energia interna do fluído circulante. O fluído aquecido pode ser usado diretamente como água quente sanitária e aquecimento central ou armazenado [29].

Os painéis solares térmicos podem ser divididos em dois tipos: os estacionários (ou não concentrados) e os concentrados (CSP). A grande diferença entre estes dois tipos de painel é que os estacionários têm a mesma área para a intercessão e absorção da radiação solar, enquanto que os concentrados têm superfícies côncavas para intercetar a radiação e a concentrar numa área menor que a absorve [29]. Os painéis solares térmicos usados em habitações são, normalmente, do tipo estacionário.

Os painéis estacionários existentes são os planos, os de tubos de vácuo (ambos representados no esquema da Figura 6) e os parabólicos [29], sendo que estes últimos não são usados em habitação.

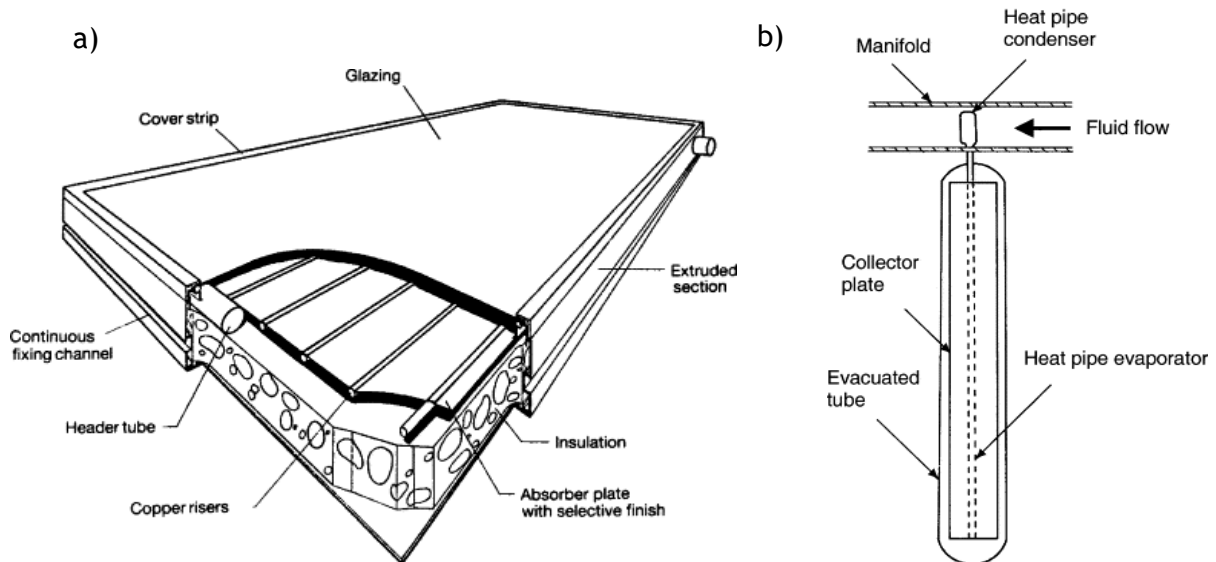


Figura 6 - Esquemas de coletores solares planos a) e de tubos de vácuo b) [29].

Os painéis planos (FPC) são capazes de aumentar a temperatura em 50 °C [8] e têm um funcionamento simples, que consiste na absorção da radiação solar por uma placa negra, depois desta ter passado por uma cobertura transparente (vidro). A energia é depois transferida para o fluido circulante, que frequentemente é água. Além destes elementos, os painéis têm na sua estrutura um isolamento entre a placa absorvente e a casca, de modo a diminuir as perdas por condução, e dois tubos maiores onde estão ligados todos os outros tubos onde o fluido circula [29].

Os painéis de tubos de vácuo (ETC) podem aumentar a temperatura em 150 °C [8] e consistem num pequeno tubo de calor dentro de um tubo de vácuo selado. Os ETC usam a mudança de fase entre líquido e vapor dos materiais para transferir energia sob a forma de calor. O tubo de calor (cobre) é agregado a um estabilizador de cobre bruto que preenche o tubo (placa absorvente). No topo de cada tubo encontra-se uma ponta de metal agregada que funciona como condensador. A pequena quantidade de fluido no tubo de calor (por exemplo metanol) é submetida a um ciclo de evaporação-condensação. A radiação solar evapora o líquido que é condensado na ponta de metal libertando o calor latente que é transferido para o fluido que se encontra no coletor [29].

Segundo Zambolin et al. (2010) [30], a escolha entre estes dois tipos de painel depende da temperatura necessária para a aplicação a que se destina e das condições climáticas do local onde serão instalados. A eficiência dos painéis depende da função à qual estão destinados, pelo que se sabe que os painéis planos são muito sensíveis às variações de temperatura (dia/tarde/noite, dias nublados ou ventosos), sendo os ETC muito mais eficientes nessas condições.

2.3.3 Bombas de Calor

As bombas de calor podem ser usadas para aquecimento e arrefecimento ambiente ou para aquecimento de água [8]. O termo bomba de calor normalmente define um sistema onde o equipamento de refrigeração é usado tanto para arrefecer, como para aquecer [31]. Este sistema permite transferir calor no sentido oposto ao normal do escoamento, ou seja, de um local mais frio para um local mais quente [32], através da aplicação de trabalho [8].

As bombas de calor podem ser de quatro tipos distintos: ar-ar [31], ar-água [31], água-ar [31] e água-água [32]. Os sistemas ar-ar são os mais comuns e são extremamente dependentes da temperatura exterior, pelo que é necessário, por vezes, o uso de uma resistência elétrica para obter a energia em falta. Os sistemas ar-água são, frequentemente, usados em edifícios maiores para a produção de água quente ou fria e para recuperação de calor. Uma bomba água-ar utiliza água como fonte de calor ou arrefecimento, o que é bastante atrativo devido à sua temperatura relativamente elevada e normalmente constante (10 °C no hemisfério Norte e 16 °C no hemisfério Sul) [31].

Os princípios de funcionamento de uma bomba de calor podem ser o ciclo de compressão de vapor ou o ciclo de absorção [8]. As mais usadas em habitações são as que se baseiam no ciclo de compressão de vapor. O princípio fundamenta-se no uso do calor latente que ocorre quando se dá a mudança de fase de uma dada substância. O uso de dois permutadores de calor é essencial para que ocorra o processo, sendo que um deles é o “evaporador” e o outro o “condensador”. No evaporador a pressão do fluido é reduzida de modo a que ocorra a evaporação havendo necessidade de energia, pelo que se dá o arrefecimento das redondezas. No condensador ocorre o fenómeno oposto. O refrigerante passa de vapor de alta pressão a líquido aumentando a temperatura das redondezas. Estas mudanças de pressão são possíveis devido à presença de um compressor, que faz com que o vapor do evaporador passe para o condensador. O compressor representa o trabalho necessário para que o sistema funcione [32]. A Figura 7 é um esquema do ciclo de compressão de vapor [33].

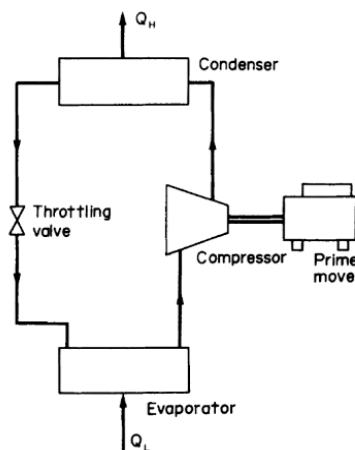


Figura 7 - Esquema do ciclo de compressão de vapor [33].

2.3.4 Piso Radiante

O piso radiante é uma forma de aquecimento ou arrefecimento central que torna possível o controlo climático interior de uma habitação através dos fenómenos de condução, convecção e radiação [34].

O sistema é construído por baixo do pavimento em polietileno com formação de rede (PEX). O PEX apresenta várias vantagens relativamente a outros materiais como o facto de apresentar uma barreira de difusão de oxigénio que previne a corrosão do material ferroso nas junções entre o tubo e o sistema coletor. Além disso, o tubo PEX está disponível em maior comprimento o que diminui a quantidade de juntas e, conseqüentemente, a possibilidade de fugas [35].

Para a elaboração do projeto o uso do piso radiante como meio de arrefecimento é o mais interessante, visto que a existência de um poço no terreno de construção faz com que o sistema seja economicamente viável, sendo apenas necessária, para além da instalação do sistema, a instalação de bombas.

Segundo Zhao et al. (2016) [36], o uso do piso radiante para arrefecimento não é tão comum como para aquecimento devido ao risco associado de condensação e baixa capacidade de arrefecimento, entre $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ e $40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Nos últimos anos, os desenvolvimentos nas tecnologias de desumidificação tornaram a solução mais interessante.

O piso radiante pode ser instalado com várias configurações e, na Figura 8 apresentam-se as três configurações mais comuns, nomeadamente: a) em serpentina, b) em espiral em contracorrente e c) em espiral modular [37].

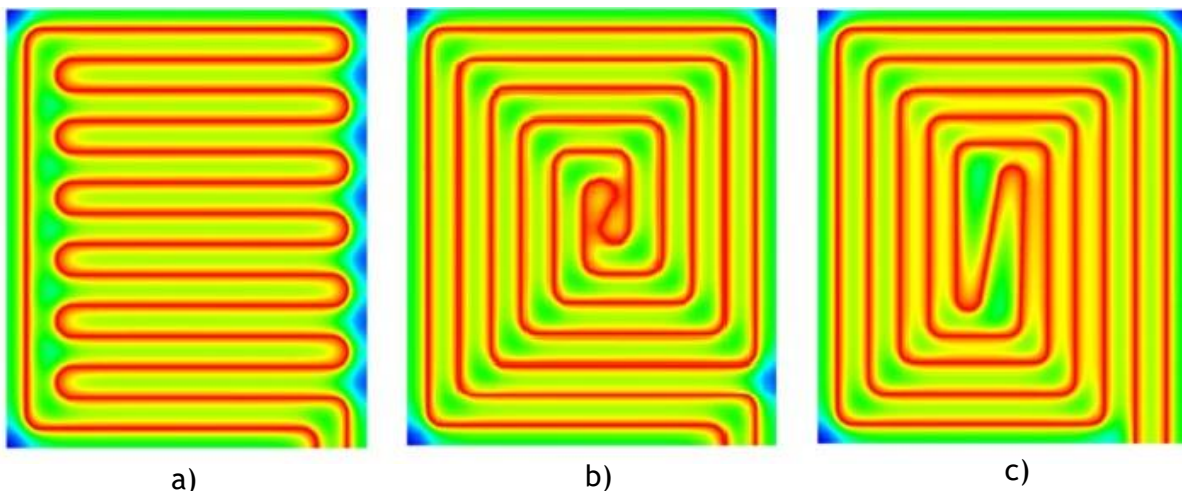


Figura 8 - Configurações possíveis para pisos radiantes. a) serpentina - b) espiral em contracorrente - c) espiral modular. Adaptado de [37].

2.3.5 Armazenamento de Energia Eletroquímica

A procura de eletricidade continua a crescer e com isso a produção a partir de fontes renováveis é cada vez mais comum e essencial [38-40]. Contudo, a energia proveniente de fontes renováveis é bastante intermitente, localizada e há um desfasamento temporal entre a produção e o consumo [38]. De modo a lidar com estes problemas, o uso de sistemas de armazenamento de energia (ou baterias) é fulcral [38-40], principalmente e sobretudo, em sistemas de aproveitamento da radiação solar [38], visto que dão origem a infraestruturas energéticas mais resistentes e diminuem os custos para os serviços energéticos e consumidores [39].

Os tipos de baterias existentes capazes de fazer o armazenamento de energia eletroquímica são as de Lítio, as de Chumbo-Ácido, as de Alta-Temperatura (NaNiCl e NaS), as baseadas em Níquel, as de armazenamento gasoso (Hidrogénio e Metano) e as “Flow Batteries” [41].

O mercado de armazenamento eletroquímico tem vindo a crescer rapidamente, sendo em meados de 2017 a capacidade instalada, em todo o mundo, de cerca de 1,9 GW. O gráfico da Figura 9 apresenta a contribuição de cada tipo de bateria, mencionado acima, para o total da capacidade existente [41].

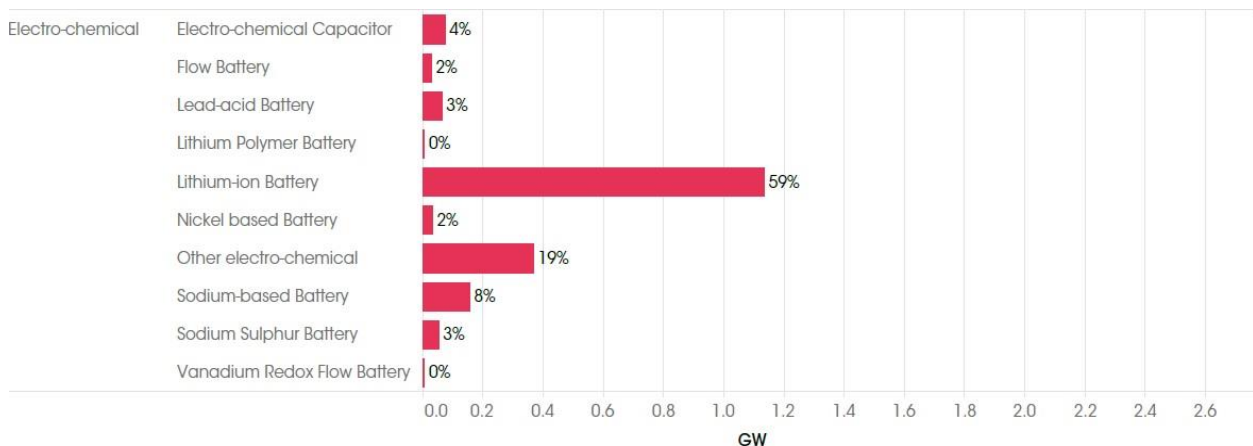


Figura 9 - Capacidade instalada, em GW, de armazenamento de energia eletroquímica por cada tipo de bateria em meados de 2017. Adaptado de [41].

Os requisitos primários na escolha de uma bateria a grande-escala são a segurança e a fiabilidade. Posto isto, uma das melhores opções são as “Vanadium Redox Flow Batteries” (VRFBs) [40], pois apresentam elevada estabilidade, longo ciclo de vida, design modular e adaptável, escalabilidade, resposta rápida, impacto ambiental reduzido, elevada eficiência de ida e volta e elevada profundidade de descarga [39, 40].

Apesar das VRFBs não serem ainda muito usadas para o armazenamento de energia eletroquímica (como se pode observar na figura 9), são aquelas que a empresa dinamarquesa-portuguesa ©VisBlue tem vindo a desenvolver nos últimos anos e disponibiliza no mercado para o uso em edifícios [42].

O funcionamento desta bateria baseia-se em dois tanques (normalmente enterrados no solo), em que um deles contém um eletrólito positivo e o outro um negativo. O vanádio está presente em ambos os eletrólitos, dissolvido em ácido sulfúrico, mas em estados de oxidação diferentes, o que representa uma vantagem em relação a outros tipos de bateria, pois diminui a possibilidade de perda de eficiência por ocorrência de fenômenos de *crossover* [43, 44].

A bateria contém um determinado número de células divididas em duas câmaras separadas por uma membrana por onde passam os iões. Em cada câmara existe um eletrodo positivo e um negativo e os eletrólitos são bombeados para estas células cada um para o seu respetivo lado das membranas [44].

A corrente proveniente do sistema fotovoltaico é alimentada aos eletrodos das células, movendo os eletrões do eletrólito positivo para o negativo. A bateria é carregada depois deste movimento acontecer e o líquido ser bombeado de novo para o tanque. Durante a descarga o processo é revertido [44].

O esquema da Figura 10 representa o sistema [42].

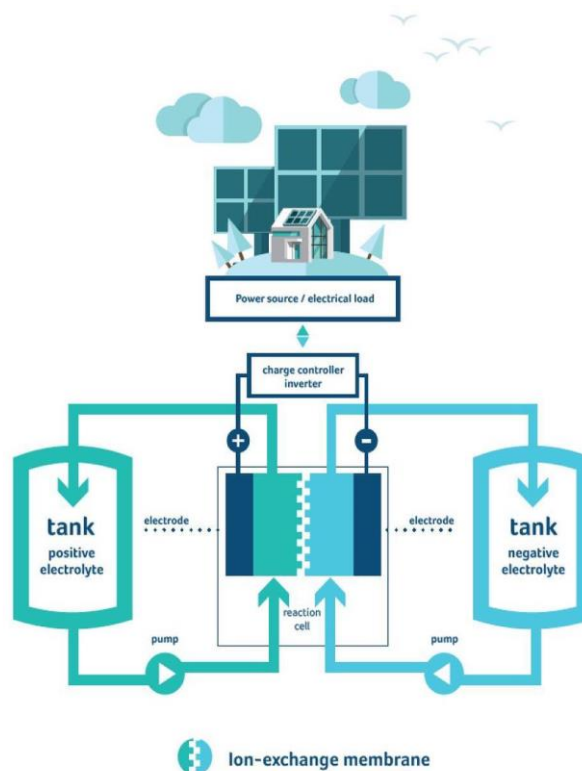


Figura 10 - Representação esquemática de uma VRFB

O custo atual de instalação da VRFBs ainda constitui um problema uma vez que ronda valores perto dos 400 USD·kWh⁻¹ (em 2016 [41]). O estudo intensivo deste tipo de baterias e as novas descobertas tecnológicas irão levar à redução de custos na ordem dos 66 % até 2030 (Figura 11), sendo aquelas que irão reduzir mais [41].

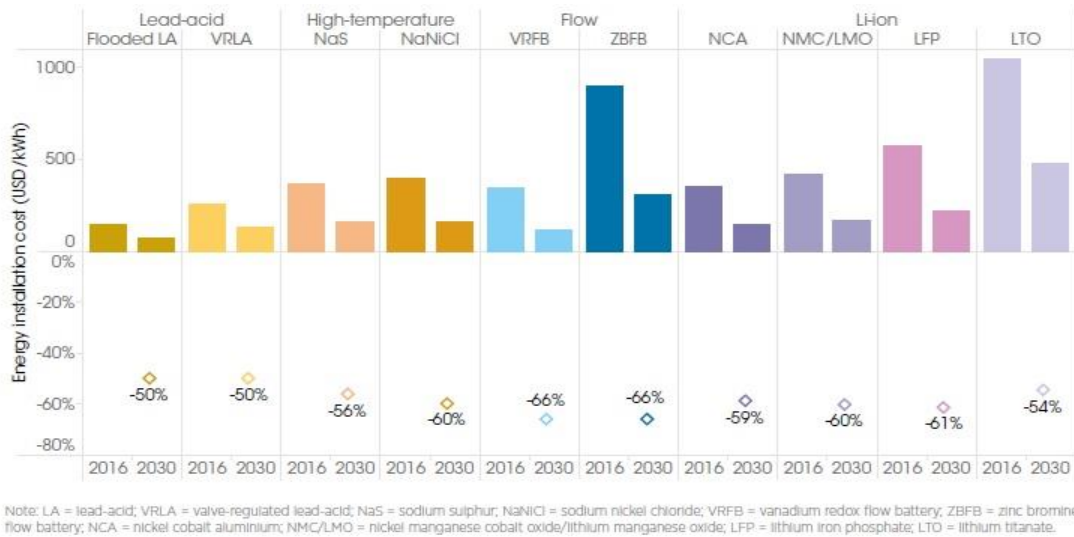


Figura 11 - Redução de custos potencial, entre 2016 e 2030, para os vários tipos de armazenamento eletroquímico [41].

3 Materiais e Métodos

3.1 IES - *Integrated Environmental Solutions*

O *software* utilizado foi o IESve 2018 que é um programa que através dos seus diferentes módulos permite testar várias opções no *design* do projeto, identificar as melhores soluções passivas, comparar tecnologias com baixa emissão de CO₂ e assim, obter conclusões sobre o uso energético, a emissão de CO₂, conforto térmico dos ocupantes, quantidade de luz natural e ventilação [45]. O cálculo das cargas térmicas necessárias para a realização da simulação baseia-se no Método do Balanço Térmico da ASHRAE [46]. Além do balanço térmico ao espaço, é também importante considerar o balanço energético relativo ao conforto térmico do ser humano [46].

3.1.1 ModelIT

O ModelIT é a componente do programa que permite realizar a modelação 3D do projeto e que é requerida pelos outros módulos [47].

Este módulo foi usado para criar as divisões, portas, janelas, claraboias e elementos de sombreamento presentes na planta fornecida. As construções, também fornecidas pelo projeto, foram atribuídas à envolvente da habitação, como paredes exteriores, coberturas e envidraçados. A partir do separador *Building Template Manager* definiram-se 6 zonas térmicas que depois viriam a facilitar as simulações relativas a cargas térmicas e necessidades energéticas.

3.1.2 SunCast

O SunCast pode ser utilizado em qualquer ponto do processo de modo a realizar estudos relativos ao sombreamento e insolação solar, sendo criadas imagens e animações que representam estes fenómenos no modelo 3D [48]. A Figura 12 é uma imagem de uma animação gerada pelo SunCast simulando o dia 11 de Janeiro às 13:19 h.

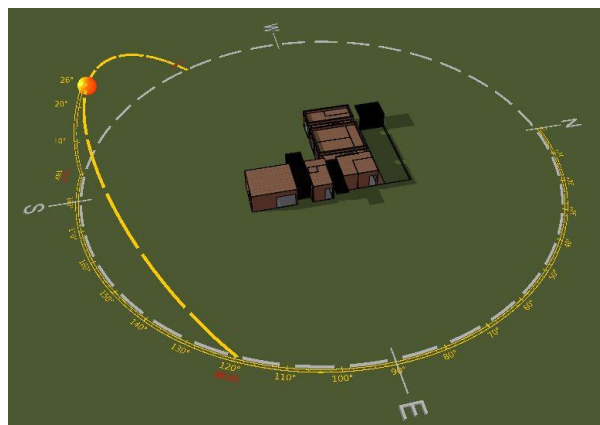


Figura 12 - Animação 3D do SunCast.

3.1.3 MacroFlo

O MacroFlo permite analisar as infiltrações e ventilação natural que ocorrem nos edifícios. O módulo utiliza um modelo de escoamento de ar zonal para calcular o movimento de uma massa de ar trazida pelo vento ou por pressões de flutuação induzidas [49].

De modo a que a ventilação natural fosse utilizada na simulação foi necessário definir as características das aberturas e o tipo delas. Neste caso, considerou-se ventilação natural apenas nas janelas das casas de banho que tinham contacto com o exterior e nas claraboias das outras duas casas de banho, tendo em conta a rosa dos ventos fornecida pela leitura na estação climática de Pedras Rubras.

3.1.4 Apache

O Apache é o módulo do IESvE que permite preparar os dados para simulações térmicas, neste caso o ASHRAE Loads e o ApacheSim, e fazer essas mesmas simulações e todos os cálculos relacionados com as cargas térmicas e as necessidades energéticas [50].

Antes de simular foi necessário fornecer ao programa um ficheiro climático do local onde se encontra a habitação, que desse todas as informações climáticas necessárias. O ficheiro climático foi preparado com o auxílio de uma folha de cálculo fornecida pela DGEG, onde são submetidos o município e a altitude do terreno. A interface da folha de cálculo pode ser observada na Figura B.1 do Anexo B.

Além do ficheiro climático, foi nesta parte do programa que se criaram os sistemas de AVAC que serão mais à frente comparados e se associarão a cada uma das zonas térmicas. As condições de aquecimento, arrefecimento, ventilação, uso de AQS, uso de equipamentos, iluminação e ocupação foram também definidas, segundo determinados perfis.

3.1.5 VistaPro

O VistaPro é o módulo onde se pode observar os resultados das simulações e assim obter-se as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento e as necessidades energéticas do edifício de habitação.

Os relatórios são gerados a partir de duas simulações diferentes do módulo Apache: o das cargas térmicas é gerado a partir da simulação *ASHRAE Loads* e o das necessidades energéticas a partir da *ApacheSim*.

3.2 Método do Balanço Térmico

A estimativa das cargas térmicas calcula-se através do balanço térmico condutivo, convectivo e radiativo em cada superfície (paredes, teto, chão) da divisão. O Método do Balanço Térmico (HBM - “Heat Balance Method”) é um dos métodos utilizados para esse cálculo e tem a vantagem de não conter parâmetros arbitrariamente estabelecidos e não ignorar nenhum processo [46].

Como todos os métodos de cálculo, o HBM requer algumas suposições iniciais, sendo que a essencial neste modelo é que o ar na zona térmica pode ser modelado como perfeitamente agitado, o que significa que a temperatura é uniforme em toda a zona. A outra suposição é que todas as superfícies da divisão são tratadas como tendo temperatura de superfície uniforme, irradiação de onda curta (SW) e onda longa (LW) uniforme, superfícies de radiação difusa e condução de calor unidimensional [46].

O modelo pode ser visto como quatro processos distintos: balanço térmico à parede exterior, processo de condução na parede, balanço térmico à parede interior e balanço térmico ao ar. A Figura 13 demonstra a relação entre estes processos para uma superfície opaca. O processo para os vãos envidraçados é similar, mas a parcela relacionada com a absorção solar é usada no processo de condução em vez de ser usada no balanço térmico à parede exterior [46].

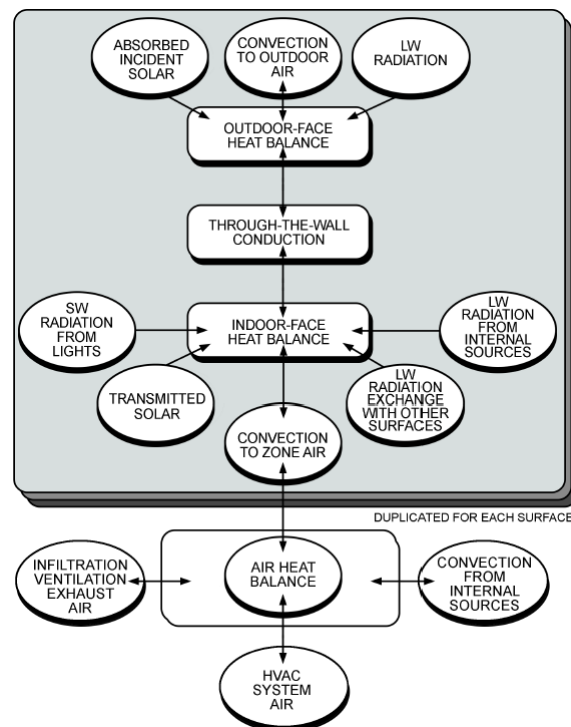


Figura 13 - Esquema dos processos do Balanço Térmico na divisão [46].

3.2.1 Balanço Térmico à Parede Exterior

O balanço térmico na parede exterior de cada superfície é dado pela Equação (3.1), onde $q''_{\alpha sol}$ é o fluxo (q/A) de radiação solar direta e difusa absorvida em $W \cdot m^{-2}$, q''_{LWR} é o fluxo de radiação de ondas-longas trocado com o ar e a envolvente em $W \cdot m^{-2}$, q''_{conv} é o fluxo convectivo trocado com o ar exterior em $W \cdot m^{-2}$ e q''_{k0} é o fluxo condutivo na parede em $W \cdot m^{-2}$ [46].

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{k0} = 0 \quad (3.1)$$

3.2.2 Processo de Condução na Parede

Este processo foi aquele formulado de mais maneiras entre os restantes, incluindo técnicas como a diferença numericamente finita, elemento numericamente finito, métodos de transformação e métodos de série de tempo. A dependência do tempo inerente ao cálculo das cargas foi introduzida também por este processo [46].

3.2.3 Balanço Térmico à Parede Interior

O balanço térmico na parede interior de cada superfície é dado pela Equação (3.2), onde q''_{LWX} é o fluxo de radiação de ondas-longas trocado entre superfícies de zonas em $W \cdot m^{-2}$, q''_{sw} é o fluxo de radiação de ondas-curtas, proveniente das luzes, nas superfícies em $W \cdot m^{-2}$, q''_{LWS} é o fluxo de radiação de ondas-longas proveniente do equipamento na zona em $W \cdot m^{-2}$, q''_{ki} é o fluxo condutivo que atravessa a parede em $W \cdot m^{-2}$, q''_{sol} é o fluxo de radiação solar transmitida que é absorvido na superfície em $W \cdot m^{-2}$ e $q''_{conv.ar}$ é fluxo térmico convectivo do ar da zona em $W \cdot m^{-2}$ [46].

$$q''_{LWX} + q''_{sw} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv.ar} = 0 \quad (3.2)$$

3.2.4 Balanço Térmico ao Ar

O balanço térmico ao ar é feito em estado quase-estacionário em cada período de tempo. A Equação (3.3) representa este balanço e as parcelas que o constituem. A parcela $q_{conv.sup}$ é o calor transferido das superfícies por convecção em W, q_{CE} representa as partes convectivas das cargas internas em W, q_{IV} é a carga sensível causada por infiltrações e ventilação do ar em W e q_{sys} é o calor transferido de e para o sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) [46].

$$q_{conv.sup} + q_{CE} + q_{IV} + q_{sys} = 0 \quad (3.3)$$

3.3 Balanço Energético para Conforto Térmico

A Figura 14 representa as interações térmicas do corpo humano com o ambiente envolvente.

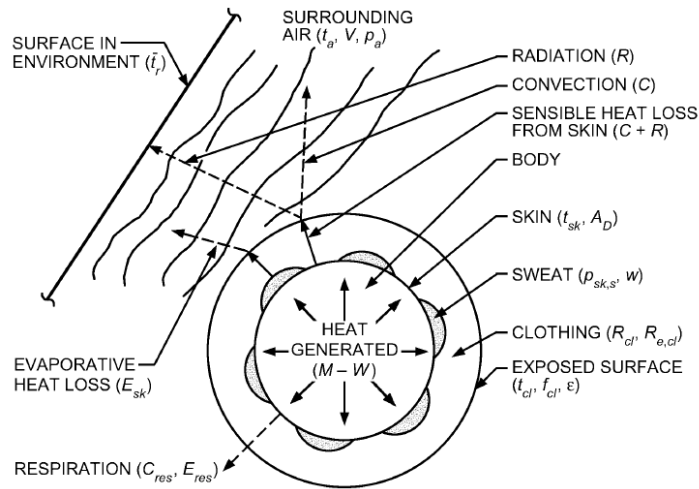


Figura 14 -Interação térmica entre o corpo humano e o ambiente envolvente [46].

A interação pode ser expressa por um balanço energético representado na Equação (3.4). A variável M representa a taxa metabólica necessária para a atividade da pessoa (M_{act}) mais o nível metabólico necessário para o estremeamento (M_{shiv}). O W é trabalho externo que corresponde à energia produzida pelo corpo que é gasta deste modo. O calor produzido ($M - W$) é transferido para o ambiente através da superfície da pele (q_{sk}) ou pelo aparelho respiratório (q_{res}) com qualquer excedente ou déficit armazenado.

As outras variáveis da Equação são $(C + R)$ que é o calor sensível perdido pela pele, E_{sk} é o calor evaporativo perdido pela pele, C_{res} é o calor convectivo perdido pela respiração, E_{res} é o calor evaporativo perdido pela respiração, S_{sk} é o calor armazenado na pele e S_{cr} é o calor armazenado no núcleo.

Todas as variáveis estão em $W \cdot m^{-2}$ [46].

$$M - W = q_{sk} + q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad (3.4)$$

4 Caso de Estudo

4.1 Projeto da Residência

O edifício sujeito ao estudo energético é referente a uma habitação localizada em Mindelo, Vila do Conde, para a acomodação de quatro pessoas. A localização geográfica da residência é 41,23° N e 8,73° W a uma altitude de 28 m em relação ao nível do mar.

No projeto de habitação constam 3 quartos, 1 escritório, 5 casas de banho, 1 lavandaria, 1 hall/corredor, 1 divisão com sala de estar, cozinha e sala de jantar acopladas no piso 0 e 2 casas das máquinas e 1 garagem no piso -1, sendo que a área total é de 372 m².

Como já referido anteriormente, a casa foi dividida em 6 zonas térmicas de modo a facilitar o estudo energético, apresentando condições de climatização, ventilação, iluminação, ocupação e uso de equipamentos diferentes cada uma dessas zonas. As diferentes zonas térmicas estão representadas na Figura 15, sendo que a Zona 1 se encontra a vermelho, a Zona 2 a cor-de-laranja, a Zona 3 a amarelo, a Zona 4 a verde, a Zona 5 a cor-de-rosa e a Zona 6 a azul. A divisões de cada zona, assim como a área e as condições de arrefecimento, aquecimento e ventilação são apresentadas na Tabela C.1 do Anexo C.

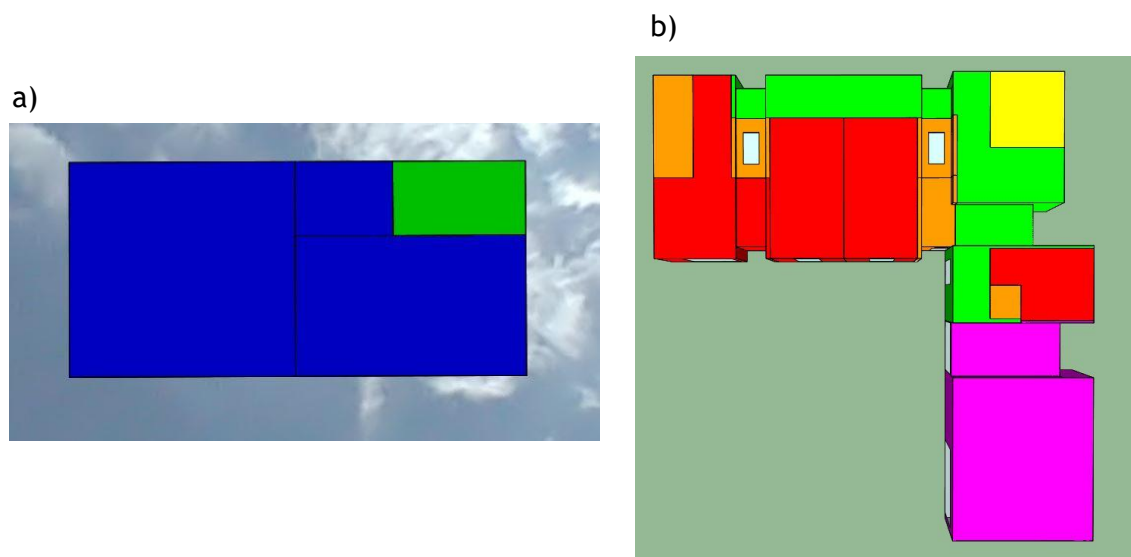


Figura 15 - Zonas Térmicas do Piso -1 (a) e do Piso 0 (b).

4.2 Construções da Envolvente

As construções da envolvente da residência foram impostas pelo projeto de arquitetura e serviram de ponto de partida para a sua definição no *Building Template Manager*. Depois dessa informação ser inserida no programa, foi possível perceber que duas das construções deveriam

ser alteradas de modo a que a casa respeitasse a legislação portuguesa [12]. As paredes exteriores em contacto com o exterior da habitação passaram a ter mais 20 mm de isolamento, assim como um dos tipos de cobertura da casa.

As paredes exteriores são de dois tipos: um deles é o que está em contacto com o solo e o outro o que está em contacto com o exterior da habitação.

O telhado da casa tem quatro tipos de coberturas no projeto fornecido, todas elas planas. O primeiro tipo tem pé direito de 2,95 m, o segundo tipo de cobertura é aquele que albergará os painéis fotovoltaicos e tem 3,10 m de pé direito, o terceiro tem 3,65 m de pé direito e caracteriza-se por ser uma cobertura jardinada e o último tem também 3,65 m de pé direito e é uma cobertura de água.

Os envidraçados do projeto eram apenas janelas, mas de modo a fornecer melhor iluminação e ventilação natural nas casas de banho, que não tem contacto com o exterior, foram adicionadas duas claraboias. Os envidraçados são todos de vidro duplo com uma caixa de ar no interior e nas janelas foram colocados dispositivos de sombreamento de modo a reduzir os ganhos solares.

O pavimento intermédio consiste numa construção de betão com um acabamento e o do piso -1 apenas numa construção de betão.

As construções encontram-se detalhadas no Anexo D, assim como o coeficiente de transmissão térmica superficial associado a cada uma delas.

4.3 Perfis de Operação

Os perfis de operação que se encontram no Anexo E foram construídos no módulo Apache e dão um padrão para a ocupação, iluminação, uso de equipamentos, consumo de AQS e uso dos dispositivos de sombreamento em cada zona, durante dias úteis e fins-de semana/feriados num ano.

Os perfis de ocupação encontram-se nas Figuras E.1-E.6 do Anexo E.1 e foram pensados para a ocupação de uma habitação por uma família de quatro pessoas.

Os perfis de iluminação encontram-se nas Figuras E.7-E.12 do Anexo E.2. Para calcular os perfis de iluminação em cada zona foi necessário saber a potência total instalada em cada divisão, sendo considerados focos LED de 5 W [51]. A quantidade de focos em cada uma das divisões foi estimada a partir dos valores da Tabela I.28 da Portaria nº349-D/2013 [52] para os valores máximos de densidade de potência de iluminação e estes foram $2,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para a Zona 1, $3,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para as Zonas 3, 5 e 6 e $3,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para as Zonas 2 e 4. O número de lâmpadas por divisão encontra-se na Tabela F.1 do Anexo F. Assim, com a potência total disponível em cada

divisão foi necessário assumir a fração de tempo que a iluminação seria usada em cada uma delas para que no fim se pudesse obter o perfil pretendido.

Os perfis de uso de equipamentos encontram-se nas Figuras E.13-E.16 do Anexo E.3. Apenas se assumiu o uso de equipamentos nas Zonas 1, 2, 3 e 5 e o valor das potências totais desses equipamentos encontram-se na tabela F.2 do Anexo F. Para cada uma das zonas foi assumida a fração de tempo de uso desses equipamentos e assim obtidos os perfis. Considerou-se ainda uma fração de equipamentos em *stand-by* nas Zonas 1, 3 e 5. Na Zona 1 o *stand-by* corresponde a 0,7 % da potência total, na Zona 3 a 2,8 % e na Zona 5 a 2,6 %. É de notar que os candeeiros são considerados como equipamentos estando os seus gastos associados a estes perfis.

O perfil de consumo de AQS pode ser observado na Figura E.17 do Anexo E.4 e foi executado tendo em conta que o consumo diário por pessoa é de $40 \text{ l}\cdot\text{dia}^{-1}$ o que leva a um total de $160 \text{ l}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Os perfis de sombreamento observam-se nas Figuras E.18 e E.19 do Anexo E.5. Calculou-se o perfil de sombreamento a partir da Tabela 13 do Despacho (extrato) nº15793-K/2013 [53] e a Equação 18 desse mesmo despacho (Equação 4.1). O g_T é o fator solar global de um envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, o $g_{\perp,vi}$ é o fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro e o g_{Tvc} é o fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel. Sabe-se que quando o vidro se encontra totalmente exposto o g_T é 0,56, o que corresponde a 0 % no perfil de sombreamento. Considerando uma cortina transparente (g_{Tvc} de 0,39) e uma persiana de régua metálicas (g_{Tvc} de 0,09), como obstruções, o g_T será de 0,0262, o que corresponde a 100 % no perfil. No caso do envidraçado ter apenas a obstrução das persianas o g_T será 0,0672 e, por interpolação, chega-se ao valor de 92,3 % no perfil. Por outro lado, se apenas as cortinas estiverem a obstruir a radiação o valor do g_T será 0,291 que corresponde a 50,4 % no perfil.

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (4.1)$$

4.4 Apoio Solar Térmico para AQS

Os sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias devem, pela regulamentação portuguesa [11], ser apoiados por coletores solares térmicos. O apoio solar térmico de referência deve ser orientado a Sul, ter uma inclinação de 35° , área de abertura de $0,65 \text{ m}^2$ por habitante, rendimento ótico de 73 %, coeficientes de perdas térmicas $4,12 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)^{-1}$ (a1) e $0,014 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)^{-1}$ (a2) e modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91 [11].

Os sistemas escolhidos para instalar neste projeto deveriam proporcionar uma maior contribuição de energia renovável que o sistema de referência. O painel escolhido foi um

Vulcano FKT-2S que tem um rendimento ótico de 79 % e coeficientes de perdas térmicas $3,86 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)^{-1}$ (a1) e $0,013 \text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)^{-1}$ (a2) [54]. Utilizaram-se dois coletores do modelo que correspondem a $4,9 \text{ m}^2$ de área de abertura a uma inclinação de 35° . Os painéis encontram-se ligados a uma bomba de calor monobloco da marca Energie. A AQUAPURA 250ix com COP de 3,1 e que armazena um total de 242 L de água [55], o que satisfaz as necessidades.

4.5 Sistemas de AVAC

De modo a testar várias soluções, simularam-se três tipos de sistema de AVAC. Os sistemas serão responsáveis pelo aquecimento e arrefecimento ambiente e aquecimento de AQS. As zonas que irão precisar de aquecimento e arrefecimento podem ser observadas na Tabela C.1 do Anexo C.

O primeiro sistema testado foi o de referência [11] que é composto por uma caldeira com eficiência de 86 % responsável pelo aquecimento da habitação, um equipamento de ar condicionado (*chiller*) para arrefecimento e um sistema solar térmico de referência para aquecimento de AQS, equivalente ao do capítulo 4.4.

De modo a aumentar a contribuição de energia renovável no sistema, foi dimensionado um sistema solar térmico apoiado por uma bomba de calor monobloco, equivalente ao do capítulo 4.4 e utilizada uma bomba de calor da BlueBox para fazer o aquecimento e arrefecimento ambiente. O sistema solar térmico foi dimensionado com o auxílio de uma folha de cálculo fornecida pela DGEG chamada SCE.ER, cuja interface pode ser observada na Figura B.2 do Anexo B. A bomba de calor escolhida foi uma Geysler 2 MT HWS 16 que tem COP (coeficiente de desempenho) de 3,29, EER (rácio de eficiência energética) de 3,16, SEER (rácio de eficiência energética sazonal) de 3,59, capacidade de aquecimento de 14,8 kW e capacidade de arrefecimento de 13,2 kW [56].

O último sistema testado teve como objetivo a redução do consumo de eletricidade anual e é composto por um sistema de bomba de calor (a mesma mencionada no parágrafo anterior) e radiadores para o arrefecimento, um sistema de aproveitamento da água do poço existente no terreno que usa bombagem e piso radiante para o arrefecimento e o sistema solar térmico equivalente ao do segundo sistema. A bomba utilizada no sistema foi uma bomba dupla Grundfos Magna3 D 32-40 50Hz com um caudal de $2,8 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ [57].

4.6 Custos

A análise financeira é vital para verificar a viabilidade de um projeto. Desse modo, foi necessário conhecer os custos de investimento e os custos de operação e manutenção dos equipamentos e sistemas implementados.

O custo de investimento dos coletores térmicos foi fornecido pelo catálogo da Vulcano [54] e é de 1 560 € para os 4,9 m² de área utilizados, o que corresponde a, aproximadamente, 318 €·m⁻². A bomba de calor monobloco para AQS ronda os 3 500 € [58], a bomba de calor para aquecimento os 5 500 € [58], a bomba usada no sistema de piso radiante custa 1 550€ [57] e o preço dos painéis fotovoltaicos é cerca de 0,38 €·Wp⁻¹, o que corresponde a cerca de 73 €·m⁻² [58]. O custo da bateria foi consultado no relatório da Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institute for Solar Energy System) e é de 560 €·kWh⁻¹ [59].

Considerou-se 1 % do investimento inicial para os custos de operação e manutenção (O&M) de todos os equipamentos [58].

5 Discussão e Resultados

5.1 Isolamento na Parede Externa

O primeiro estudo realizado foi a comparação entre as cargas térmicas quando o isolamento da parede externa é colocado no exterior da habitação (Parede 1) e, quando é colocado no interior (Parede 2). Foi realizada a simulação, admitindo o sistema de referência na habitação, através do *ASHRAE Loads* do módulo *Apache*. As cargas térmicas de aquecimento são iguais, tanto num caso como no outro, e correspondem a $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. As cargas térmicas de arrefecimento na Parede 1 foram de $52 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ e de $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ na Parede 2. Em primeira análise, o isolamento pelo interior é o que apresenta a melhor solução, uma vez que possui uma carga de arrefecimento menor. No entanto, a solução escolhida para este projeto foi a da Parede 1. Esta escolha deve-se sobretudo ao facto de, ao nível da aplicação, esta solução ser mais convencional, havendo maior conhecimento técnico e menores custos associados [58]. A solução de isolamento exterior acaba por ser melhor em relação à Parede 2, porque na primeira as pontes térmicas existentes na casa encontram-se revestidas, enquanto que na segunda não. As pontes térmicas caracterizam-se como os locais da envolvente de uma habitação em que a resistência térmica dos elementos construtivos é diferente, por exemplo, numa mudança de espessura da estrutura ou numa ligação parede/piso/teto, onde há diferenças entre a superfície interna e externa [60] e, tendo em conta que a casa tem 2 pisos, o revestimento pelo exterior parece mais adequado para a proteção desses locais.

5.2 Dispositivo de Sombreamento

De modo a estudar a influência de dispositivos de sombreamento nas cargas térmicas de um edifício de habitação, realizou-se uma nova simulação no *ASHRAE Loads* do *Apache*, em que o edifício não tinha qualquer tipo de proteção para a radiação solar e uma outra em que se colocaram persianas de réguas metálicas escuras e cortinas transparentes claras em todas as janelas da habitação. O perfil de utilização destes dispositivos de sombreamento foi já apresentado no subcapítulo 4.3, assim como os fatores solares associados a todos os elementos dos vãos envidraçados. Durante o Inverno, as divisões da habitação devem estar mais tempo do dia expostas à radiação, de modo a diminuir as necessidades de aquecimento, enquanto que no Verão o uso das proteções é mais frequente, tendo em vista a diminuição da quantidade de radiação solar que atravessa os vidros e assim, diminuir as cargas térmicas de arrefecimento. O valor das cargas de aquecimento é igual em ambos os casos, $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, visto que no Inverno (estação de aquecimento) o perfil foi idealizado de modo a aumentar os ganhos solares, pelo que a casa receberá a mesma quantidade de radiação tanto num caso como no outro. No Verão

(estação de arrefecimento), as cargas de arrefecimento são de $52 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, sem sombreamento, e $41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ quando se põe em prática o perfil de utilização.

Como o esperado, o perfil de sombreamento diminui drasticamente as necessidades de arrefecimento durante o Verão, neste caso em $11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, pelo que foi essa a condição utilizada para a simulação dos sistemas fornecedores de energia.

5.3 Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento

A primeira análise foi realizar a simulação no *ASHRAE Loads* com todas considerações feitas até então e obter a variação da temperatura ambiente nas divisões da casa que serão mais ocupadas, isto é, os quartos e o escritório (Zona 1) e a cozinha/sala de estar (Zona 5). Os *set points* de temperatura foram definidos como $20 \text{ }^\circ\text{C}$, para o mínimo, e $25 \text{ }^\circ\text{C}$, para o máximo, em todas estas divisões. A Figura 16 apresenta o gráfico da temperatura das divisões ao longo de um ano e dá uma noção inicial de quando será necessário aquecimento e arrefecimento.

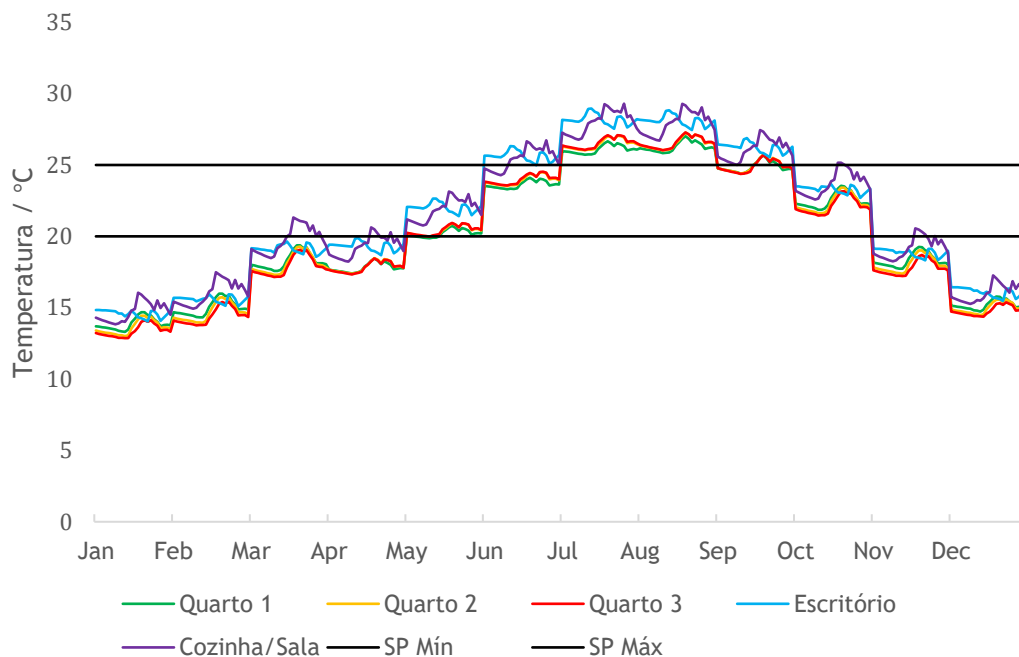


Figura 16 - Temperatura ambiente nas divisões das zonas mais ocupadas ao longo de um ano.

A interpretação da figura 16 permite perceber que o comportamento a nível de temperatura ambiente nos quartos é muito semelhante, devido ao facto destes se encontrarem todos do lado mais Oeste da habitação e terem condições de radiação e ventilação muito semelhante. Apesar de pertencer à mesma Zona Térmica, o escritório situa-se do lado oposto da casa, assim como a cozinha/sala de estar. As divisões mais a Este apresentam maiores temperaturas, porque a informação climatérica dá conta da predominância de ventos de Oeste (brisas marítimas), o que causa mais infiltrações nas divisões expostas a esses ventos.

O software, depois de corrida a simulação, deu então o resultado de $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para as cargas de aquecimento e $41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para as cargas de arrefecimento. Em média a casa estará 25 % do tempo em arrefecimento, 49 % em aquecimento e os restantes 26 % não será necessária qualquer ação.

5.4 Sistemas de Aquecimento, Arrefecimento e AQS

5.4.1 Sistema de Referência

O primeiro sistema simulado foi aquele que é detalhado na legislação [11] como sendo o de referência para todas as novas construções. Este sistema serviu como base de comparação para os outros sistemas idealizados e, também, para dar algumas noções onde os gastos energéticos poderiam ser reduzidos.

O sistema é composto por uma caldeira com η (eficiência) de 86 %, responsável pelo aquecimento, e um *chiller* com rácio de eficiência energética (EER - “*Energy Efficiency Ratio*”) de 2,9 para o arrefecimento. Para além dos sistemas de climatização ambiente foi necessário definir o sistema de aquecimento de AQS que, neste momento, é obrigatoriamente, por lei, composto por um sistema de coletores solares térmicos com apoio. Os equipamentos para aquecimento e arrefecimento foram simulados no *ApacheSim* do módulo *Apache*, enquanto que os de aquecimento de AQS foram simulados na folha de cálculo SCE.ER da DGEG, Figura B.2 do Anexo B.

O consumo energético anual com este sistema foi de 34,2 MWh e o gráfico circular da Figura 17 apresenta a percentagem correspondente a cada um dos tipos de consumo na habitação.

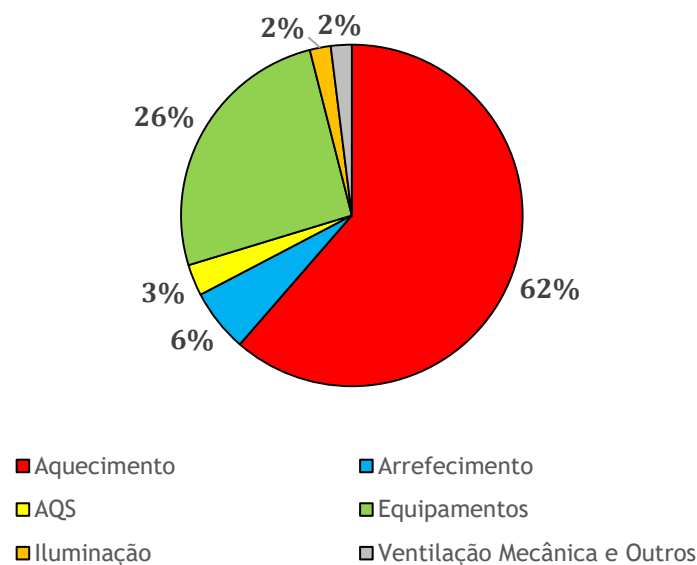


Figura 17 - Distribuição do consumo energético com o sistema de referência.

Percebe-se que o aquecimento é o consumo com maior peso neste cenário, assim como os equipamentos. A eletricidade que seria necessária para fazer o aquecimento é de 21 083 kWh ($56,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) e 1 952 kWh ($5,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) para o arrefecimento. Com o sistema solar de referência, o apoio precisaria de 939 kWh ($2,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) de energia para satisfazer as necessidades. Os gastos em equipamentos ($23,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), em iluminação ($2,0 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) e em ventilação mecânica e outros ($2,0 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) mantêm-se constantes ao longo de todas as simulações de sistemas, uma vez que os equipamentos e iluminação usados, assim como os seus perfis de utilização, foram definidos no subcapítulo 4.3 anteriormente. A ventilação mecânica ocorre apenas na lavandaria, como se pode perceber pela Tabela C.1 do Anexo C, uma vez que é o único espaço onde a ventilação natural não satisfaz as necessidades.

5.4.2 Sistema de Bomba de Calor

Para que os consumos em aquecimento, arrefecimento e AQS diminuíssem, foram trocados os sistemas de referência por novos sistemas, sendo estes de fonte renovável. A bomba de calor descrita no capítulo 4.5 - *Sistemas de AVAC* - tornou-se responsável por toda a climatização ambiente da habitação. O sistema de coletores térmicos, descrito no capítulo 4.4 - *Apoio Solar Térmico para AQS* -, foi otimizado na folha de cálculo SCE.ER, de forma a que maior parte das necessidades energéticas de aquecimento fossem cobertas pela energia solar e não pelo apoio (bomba de calor monobloco, neste caso).

O consumo anual energético, depois da simulação, foi de 12,6 MWh, o que é uma redução de 63 % em relação aos gastos do sistema de referência. Neste caso, os gastos em equipamento, 8 779 kWh ($23,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), têm um peso maior nos gastos anuais. Os gastos anuais em aquecimento reduziram para 1 242 kWh ($3,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), o que representa menos 94 % em relação à proposta anterior, e os gastos em arrefecimento para 1 022 kWh ($2,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), o que corresponde a menos 48 %. O aquecimento de AQS passou a precisar de apenas 87 kWh ($0,2 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) de eletricidade por parte do apoio para satisfazer as necessidades anuais, o que é menos 91 % em relação ao caso anterior, pelo que se achou esta parcela otimizada, sendo utilizada no último conjunto de sistemas estudado. A Figura 18 contém o gráfico circular referente à distribuição de consumos no sistema de bomba de calor.

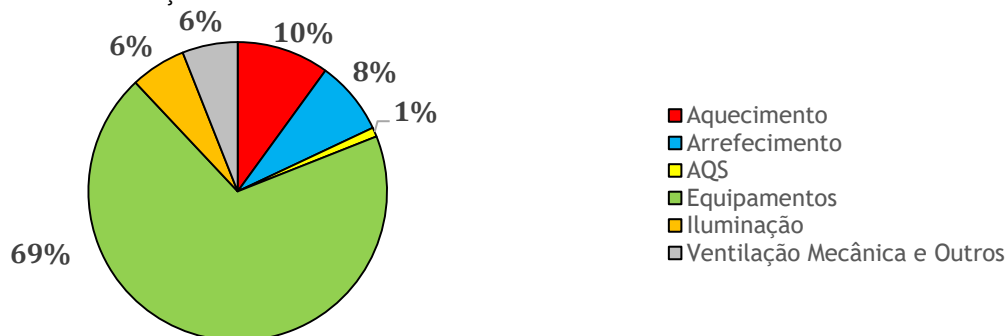


Figura 18 - Distribuição do consumo energético com o sistema de bomba de calor.

5.4.3 Sistema de Radiadores e Piso Radiante

O último sistema foi, sobretudo, pensado com o objetivo de diminuir o consumo anual em arrefecimento. O terreno para onde foi desenhada a habitação deste projeto tem um poço, o que dá uma oportunidade de arrefecimento simples, com baixo consumo energético e barato. Através da colocação de piso radiante e da bomba hidráulica, referenciada no subcapítulo 4.5, faz-se a circulação da água do poço, normalmente a 14 °C, de forma a refrescar as divisões quando necessário. A energia consumida anualmente com este sistema de arrefecimento é de apenas 293 kWh ($0,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), o que representa menos 71 % relativamente ao segundo sistema e menos 85 % ao primeiro. O sistema de aquecimento foi melhorado com o acoplamento de radiadores ao sistema de bomba de calor já existente. O consumo em aquecimento passou a ser 680 kWh ($1,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), representando menos 97 % em relação ao primeiro sistema e menos 45 % em relação ao segundo.

Os restantes consumos energéticos são equivalentes ao do sistema de bomba de calor e, mais uma vez, os equipamentos representam a maior porção nos gastos energéticos anuais, que foram de 11,3 MWh. O gráfico circular da Figura 19 apresenta a distribuição de consumos referente ao sistema de radiadores e piso radiante.

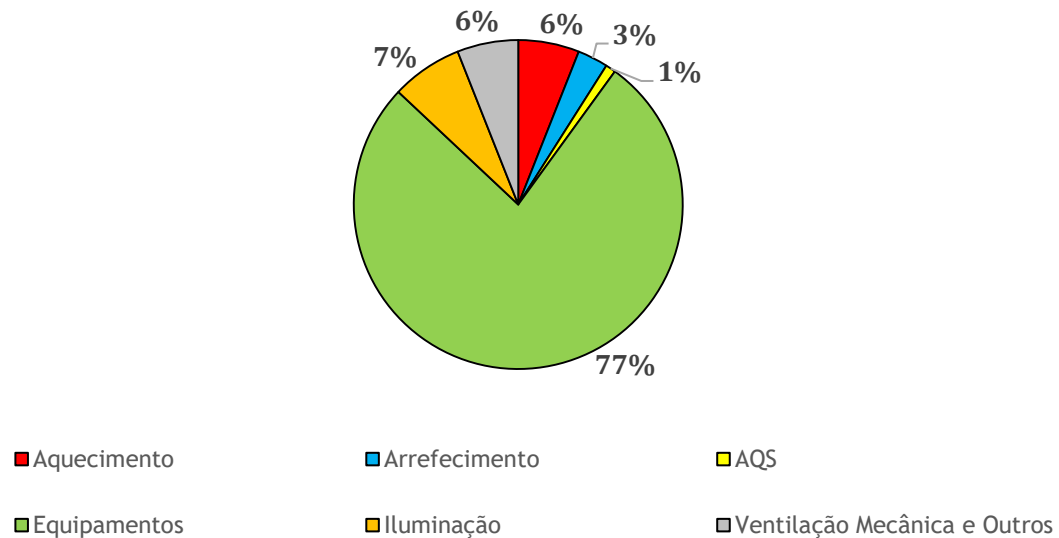


Figura 19 - Distribuição do consumo energético com o sistema de radiadores e piso radiante.

5.5 Produção Fotovoltaica

De modo a satisfazer as necessidades em termos de eletricidade, teria de ser instalado um conjunto de painéis para produção fotovoltaica e, como o sistema final escolhido para habitação foi o de radiadores e piso radiante, toda a energia utilizada é eletricidade. Por conseguinte, os painéis fotovoltaicos devem produzir anualmente, pelo menos, 11,3 MWh. A Figura 20 contém o gráfico do consumo energético discriminado em cada mês e é perceptível que a eletricidade necessária varia pouco durante o ano. Nos meses de Inverno, principalmente Janeiro e Dezembro, as necessidades aumentam em relação aos outros meses do ano, uma vez que é preciso mais aquecimento para manter o conforto térmico e para águas sanitárias. Nos meses de Verão, principalmente Julho e Agosto, as necessidades de arrefecimento aumentam e a bomba hidráulica responsável por essa ação consome mais energia.

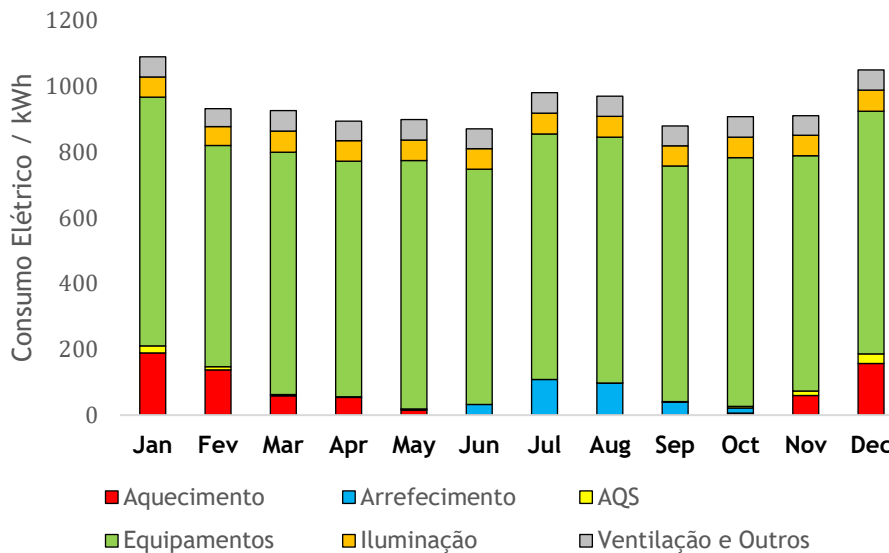


Figura 20 - Consumo energético discriminado ao longo de um ano.

A área de telhado neste projeto é de 193 m² e todas as coberturas são planas, pelo que são usados painéis do tipo BAPV montados numa estrutura metálica. De modo a que todos os painéis recebessem a mesma quantidade de radiação, foi necessário verificar qual a distância mínima que os painéis deveriam ter para a platibanda da fachada Sul, caso existisse, e qual a distância entre eles. Considerando a altura solar 24° no dia 21 de dezembro às 12:00 h, a distância para a platibanda deverá ser 1,25 m e a distância entre painéis 2,10 m. Chega-se à conclusão de que a área de telhado disponível para colocação de painéis fotovoltaicos será 103 m².

Sabe-se que a área de PV para a produção da energia mínima necessária em cada mês será maior do que 100 m², pelo que a restante área foi simulada como estando no terreno onde o edifício se encontra construído também.

Para células fotovoltaicas com uma eficiência de 20%, os painéis instalados a uma inclinação de 35° e completamente orientados a Sul, tiveram a produção que pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção fotovoltaico conforme a área.

Área de PV / m ²	Produção / MWh
130	39,3
140	42,4
150	45,4
160	48,4
170	51,4
180	54,4
190	57,4
200	60,4

Apesar destas áreas produzirem muito mais eletricidade do que aquela que se pretende, através de uma análise mais profunda de gasto energético hora a hora e produção hora a hora é perceptível que apenas a partir de 130 m² são satisfeitas as necessidades energéticas em todos os meses do ano, como pode ser observado no gráfico da Figura 21 e nos restantes das Figuras G.1-G.4 do Anexo G.

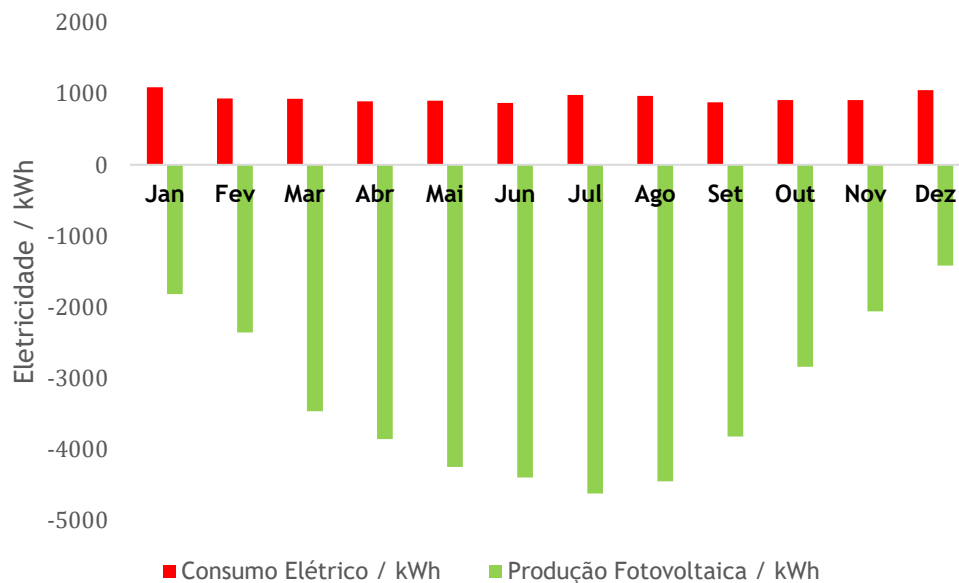


Figura 21 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 130 m², mês a mês.

5.6 Armazenamento Eletroquímico

A habitação só se torna autossustentável na presença de baterias que permitam armazenar a energia que é produzida em excesso ao longo do dia e do ano, podendo ser usada nos momentos em que a produção dos painéis PV seja nula. O programa IESve 2018 não permite simular o uso das baterias escolhidas para este projeto, as VRFB's, pelo que se consideraram como tanques para a realização dos cálculos.

O edifício terá duas baterias que serão capazes de armazenar 25 kWh no máximo e 0,5 kWh no mínimo. A eficiência de carga e descarga será 80 % e a bateria será capaz de completar 5500 ciclos [61].

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para a quantidade de energia exportada para a rede em cada área de painel simulada, assim como a autonomia.

Tabela 2 - Estado da bateria para cada área de PV simulada.

Área de PV /m ²	Energia Exportada / MWh	Autonomia
130	26,5	91,1 %
140	29,4	91,7 %
150	32,4	92,1 %
160	35,4	92,6 %
170	38,4	93,0 %
180	41,3	93,4 %
190	44,3	93,7 %
200	47,3	94,0 %

Pelos resultados da Tabela 2 percebe-se que neste momento a casa não é 100 % autônoma, o que se deve à produção nula dos painéis durante a noite e à coexistência de um gasto energético persistente a essas mesmas horas ao longo do ano, provocado pelos aparelhos em *stand-by*.

A solução ideal seria desligar completamente os equipamentos de forma a que esse gasto não existisse e assim, quando não houvesse produção também não houvesse consumo. Considerando que esses gastos irão sempre existir, procurou-se outra solução. Através dos resultados da Tabela 2, percebeu-se que aumentar a área de painel fotovoltaico não teria grande impacto no armazenamento e na autonomia, pelo que se tentou a opção de aumentar a capacidade da bateria e os resultados desse teste são exibidos na Tabela H.1 do Anexo H.

As baterias da Visblue têm capacidade de 25 kWh a 500 kWh [44] e, portanto, foram-se acrescentando 25 kWh de capacidade de armazenamento até atingir 100 % de autonomia.

Analisando os resultados da tabela H.1 do Anexo H, é perceptível que a autonomia de 100 % é atingida quando se aumenta a capacidade para 75 kWh e se tem 200 m² de área de produção fotovoltaica. Neste caso, a capacidade de armazenamento é mais determinante para a obtenção total da autonomia, uma vez que permite ter mais energia disponível durante as horas de produção nula. Assim, os equipamentos que se encontram em *stand-by* nunca consomem a totalidade da energia armazenada.

5.7 Análise Financeira

5.7.1 Cenário de Autonomia Total

O fator que irá servir de ponto de comparação entre os vários cenários estudados é o *pay-back time*. Esse valor permite perceber quantos anos o investimento demora a ser pago.

O primeiro caso a ser analisado é aquele em que se obtém 100 % de autonomia, visto que era o objetivo inicialmente pretendido.

O custo de investimento neste cenário é o mais elevado de entre todos os analisados e é de 68 710 €. Considerando os custos de investimento do subcapítulo 4.6, foram necessários: 14 600 € para a instalação de 200 m² de painéis fotovoltaicos, uma vez que nestas condições o sistema tem uma potência ideal de 38,42 kWp; 42 000 € para as baterias que têm no seu conjunto 75 kWh de capacidade; 5 060 € para o sistema de AQS, sendo 1 560 € para os 4,9 m² de coletores solares térmicos e 3 500 € para a bomba de calor monobloco; 1 550 € para a bomba hidráulica responsável pela bombagem da água do poço usada para o arrefecimento e 5 500 € para a bomba de calor usada no aquecimento ambiente.

Os custos de O&M foram também referenciados nesse subcapítulo e são, neste caso, 687 € anualmente.

De modo a perceber quanto custa a energia produzida e armazenada, os painéis fotovoltaicos e as baterias foram considerados como um único sistema com uma vida útil (t_u) de 25 anos e um investimento total ($I_{PV+Bat.}$) de 56 600 €. O sistema produz por ano (P_t) 60,4 MWh de eletricidade, o que corresponderá a 1 511 MWh em 25 anos. Assim, o custo da eletricidade do sistema ($C_{PV+Bat.}$) é calculado a partir da Equação (5.1) e é de 0,04 €·kWh⁻¹.

$$C_{PV+Bat.} = \frac{I_{PV+Bat.}}{t_u \times P_t} \quad (5.1)$$

Logo, este sistema de produção elétrica custa 2 264 € ao ano, neste cenário.

O estudo das baterias deu a entender que com 200 m² de área de produção fotovoltaica e uma capacidade de armazenamento de 75 kWh, a eletricidade excedente que é vendida para a rede anualmente é de 46,2 MWh. Considerando o preço de venda à rede 0,05 €·kWh⁻¹ [62] e a Equação (2.3) indicada no subcapítulo 2.2.3, chega-se à conclusão que a remuneração anual da energia fornecida à rede é de 2 081 €.

O preço de compra de eletricidade para residências em Portugal rondava os 0,23 €·kWh⁻¹ em 2017 [63], sendo esse o preço considerado. Caso toda a eletricidade, e entende-se esta por aquela necessária para o correto funcionamento da habitação (11,3 MWh) mais a que se poupa com o uso dos coletores solares térmicos (0,8 MWh), fosse toda comprada à rede, o custo anual seria de 2 754 €.

A Tabela 3 resume os custos já mencionados, apresenta o preço efetivo anual com este sistema implementado e apresenta a poupança anual contando com os custos de O&M. Assume-se que os valores positivos (+) são poupanças e os negativos (-) gastos.

Tabela 3 - Balanço Económico dos Gastos Anuais em Eletricidade.

Tipo de Custo	Balanço Económico / €
Eletricidade do Sistema ($C_{PV+Bat.}$)	- 2 264 €
Eletricidade Vendida à Rede ($R_{UPAC,m}$)	+ 2 081 €
Custo Efetivo da Eletricidade do Sistema ($C_{ef.} = R_{UPAC,m} - C_{PV+Bat.}$)	- 183 €
Custos de O&M ($C_{O\&M}$)	- 687 €
Eletricidade Comprada à Rede (C_{rede})	2 754 €
Poupança Anual = $C_{rede} + C_{O\&M} + C_{ef.}$	+ 1 884 €

O *pay-back time* é calculado pela razão entre a poupança anual e o custo total de investimento. Assim sendo, o período de retorno para um sistema com estas características, na habitação estudada, é de 36 anos.

Tal como previsto para as características do sistema, o período de retorno é bastante longo, uma vez que os custos de investimento e de O&M são muito elevados.

5.7.2 Redução do Investimento nas Baterias

Tendo por objetivo a redução do *pay-back time*, diminuiu-se o custo de investimento nas baterias reduzindo a sua capacidade para 50 kWh. Além disso, estudou-se qual a influência da diminuição da área de painéis fotovoltaicos no período de retorno de investimento. Para tal, usaram-se os cenários com 170 m² e 130 m² de área.

Em ambos os casos, a autonomia alcançada não é de 100 %, pelo que foi considerado o uso de biomassa para suprimir a percentagem de energia que teria de ser comprada à rede. Assumiu-se que essa energia seria usada para o aquecimento e, por isso, usou-se uma caldeira de *pellets* da Ecoforest. A Ecoforest Moon tem 7 kW de potência [64], o que corresponde ao maior pico de energia necessário a adquirir à rede. O custo de investimento deste equipamento é de 1 900 € e os custos de O&M anuais são de 1% [58].

O custo da energia produzida pela caldeira teve de ser calculado, dado que era necessário conhecer o poder calorífico do combustível utilizado, neste caso os *pellets*. O poder calorífico é de $17 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, o que corresponde a $4,7 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$. O custo de 15 kg deste combustível é de 3,50 € e essa mesma quantidade corresponde a 70,8 kWh, sendo que o custo da energia é a razão entre o custo de 15 kg e a energia gerada por essa mesma massa é de $0,05 \text{ €}\cdot\text{kWh}$ [6].

O custo de investimento é de 54 455 € e os custos de O&M são de 545 €, quando a área de painel instalado é de 170 m^2 , quando a capacidade de armazenamento é de 50 kWh e quando se considera o uso da caldeira de *pellets* mencionada neste subcapítulo.

A autonomia neste cenário é de 98,0 %, pelo que a caldeira só precisará de produzir 0,2 MWh de energia, o que representa um custo anual de 11 € em combustível. A produção anual (P_t) do sistema será 51,4 MWh, o que leva a um $C_{PV+Bat.}$ de 2 056 €. A remuneração anual $R_{UPAC,m}$ é de 1 683 € referente à venda de 37,4 MWh de eletricidade à rede. A Tabela 4 apresenta o balanço económico para este cenário, as poupanças obtidas a partir dele e o *pay-back time*.

Tabela 4 - Balanço Económico para 170 m^2 de PV e 50 kWh de Armazenamento

Tipo de Custo	Balanço Económico / €
Eletricidade do Sistema ($C_{PV+Bat.}$)	- 2 056 €
Energia das <i>Pellets</i> ($C_{pellets}$)	- 11 €
Eletricidade Vendida à Rede ($R_{UPAC,m}$)	+ 1 683 €
Custo Efetivo da Eletricidade do Sistema ($C_{ef.} = R_{UPAC,m} - C_{PV+Bat.} - C_{pellets}$)	- 384 €
Custos de O&M ($C_{O\&M}$)	- 545 €
Eletricidade Comprada à Rede (C_{rede})	2 754 €
Poupança Anual = $C_{rede} + C_{O\&M} + C_{ef.}$	+ 1 825 €
Pay-Back Time / Anos	30

Quando a área de painel instalado é 130 m² e se consideram todos os outros sistemas já mencionados, o custo de investimento é de 51 578 € e os custos de O&M são de 516 €.

A autonomia neste cenário é de 96,4 %, pelo que a caldeira precisará de produzir 0,4 MWh de energia anualmente para satisfazer todas as necessidades, o que representa um custo de 20 € em combustível. A produção anual (P_t) do sistema será 39,3 MWh, o que leva a um $C_{PV+Bat.}$ de 1 574 €. A remuneração anual $R_{UPAC,m}$ é de 1 145 € referente à venda de 25,5 MWh de eletricidade à rede. A Tabela 5 apresenta o balanço económico para este cenário, as poupanças obtidas a partir dele e o *pay-back time*.

Tabela 5 - Balanço Económico para 130 m² de PV e 50 kWh de Armazenamento

Tipo de Custo	Balanço Económico / €
Eletricidade do Sistema ($C_{PV+Bat.}$)	- 1 574 €
Energia das <i>Pellets</i> ($C_{pellets}$)	- 20 €
Eletricidade Vendida à Rede ($R_{UPAC,m}$)	+ 1 145 €
Custo Efetivo da Eletricidade do Sistema ($C_{ef.} = R_{UPAC,m} - C_{PV+Bat.} - C_{pellets}$)	- 448 €
Custos de O&M ($C_{O\&M}$)	- 516 €
Eletricidade Comprada à Rede (C_{rede})	2 754 €
Poupança Anual = $C_{rede} + C_{O\&M} + C_{ef.}$	+ 1 789 €
<i>Pay-Back Time</i> / Anos	29

Os períodos de retorno de investimento para 170 m² e 130 m² são, respetivamente, 30 anos e 29 anos. Conclui-se que diminuir a área de painéis fotovoltaicos não tem tanta influência na redução do *pay-back time*, porque apesar da diminuição em 40 m² ser equivalente a uma redução de 2 877 € em investimento, o facto da produção diminuir faz com que a remuneração anual proveniente da venda de eletricidade à rede seja menor, o que leva também a menores poupanças.

A diminuição da capacidade de armazenamento da bateria e conseqüente redução em custos de investimento é mais preponderante, uma vez que a redução de 75 kWh para 50 kWh representa uma diminuição de 14 000 €. Assim sendo, o último caso analisado será aquele em que se usa a capacidade de armazenamento mínima estudada (25 kWh) e a menor área de produção fotovoltaica (130 m²), tendo o auxílio da caldeira para satisfazer na totalidade as necessidades de consumo.

5.7.3 Utilização da Capacidade Mínima de Armazenamento

A autonomia da habitação é de 91,1 %, quando a área de produção fotovoltaica instalada é 130 m² e a capacidade de armazenamento é 25 kWh. Neste caso, é necessário que a caldeira satisfaça os restantes 8,9 % correspondentes a 1,0 MWh anuais.

O custo de investimento neste cenário é o menor entre todos e é de 37 578 €, enquanto que os custos de O&M são de 376 €.

A energia produzida num ano é 39,3 MWh, o que corresponde a um custo do sistema de 1 574 € e o custo de *pellets* necessário para a produção de 1,0 MWh anuais é de 51 €. A venda da eletricidade excedente (26,5 MWh) à rede é remunerada com 1 190 €, anualmente. Sabendo que o custo da eletricidade comprada à rede é o mesmo dos outros cenários e é de 2 754 €, as poupanças que se obtêm por ano com este sistema são de 1 944 €.

A Tabela 6 resume os valores já apresentados e apresenta o *pay-back time* para o cenário considerado.

Tabela 6 - Balanço Económico para 130 m² de PV e 25 kWh de Armazenamento

Tipo de Custo	Balanço Económico / €
Eletricidade do Sistema ($C_{PV+Bat.}$)	- 1 574 €
Energia das <i>Pellets</i> ($C_{pellets}$)	- 51 €
Eletricidade Vendida à Rede ($R_{UPAC,m}$)	+ 1 190 €
Custo Efetivo da Eletricidade do Sistema ($C_{ef.} = R_{UPAC,m} - C_{PV+Bat.} - C_{pellets}$)	- 434 €
Custos de O&M ($C_{O\&M}$)	- 376 €
Eletricidade Comprada à Rede (C_{rede})	2 754 €
Poupança Anual = $C_{rede} + C_{O\&M} + C_{ef.}$	+ 1 944 €
Pay-Back Time / Anos	19

Chega-se à conclusão de que o menor período de retorno de investimento para os sistemas considerados nesta habitação é de 19 anos.

Comparando este cenário com o de características semelhantes do subcapítulo anterior, em que se alterou apenas a capacidade de armazenamento e a percentagem de utilização da caldeira, percebe-se que o custo de investimento das baterias é o ponto fulcral para a diminuição do *pay-back time*.

5.7.4 Venda da Eletricidade a Terceiros

Os elevados períodos de retorno de investimento e o investimento inicial em si ainda são um entrave para o interesse comercial nas casas energeticamente autónomas.

A fórmula de cálculo da remuneração da eletricidade vendida à RESP é um dos principais fatores para esse desinteresse económico, uma vez que o valor de mercado atribuído a essa eletricidade é muito baixo comparativamente ao que é praticado pelas empresas fornecedoras de eletricidade.

Com o aumento da procura de carros movidos através de células combustíveis e da produção descentralizada de energia como formas de diminuir a emissão de CO₂, cria-se uma oportunidade de negócio para estas pequenas centrais de produção elétrica que podem fornecer a sua eletricidade excedente a terceiros a um preço que seja favorável para ambas as partes. Por exemplo, 0,114 €·kWh que é metade do preço pago atualmente aos fornecedores de eletricidade.

A Tabela 7 apresenta os *pay-back times* dos cenários analisados anteriormente no caso da eletricidade excedente ser vendida ao preço mencionado no parágrafo anterior.

Tabela 7 - Pay-back Times alternativos para os cenários analisados

Cenários	<i>Pay-Back Time</i> / Anos
200 m ² de PV + 75 kWh de Armazenamento	15
170 m ² de PV + 50 kWh de Armazenamento	14
130 m ² de PV + 50 kWh de Armazenamento	16
130 m ² de PV + 25 kWh de Armazenamento	11

Conclui-se que aumentando o preço da eletricidade excedente, os períodos de retorno de investimento diminuem abruptamente. Outra conclusão que se retira a partir da análise da Tabela 7 é, que nestas condições a área de produção fotovoltaica passa a ter maior influência no *pay-back time* e o armazenamento menor do que a que tinha, uma vez que o lucro da venda da eletricidade é muito maior.

A legislação portuguesa ainda é consideravelmente ambígua quanto à questão da venda de eletricidade por parte de terceiros a outros terceiros, sendo que a solução proposta é meramente hipotética. A investigação e desenvolvimento nas tecnologias produtoras de energia de fontes renováveis continua a um ritmo acelerado, o que levará a que este tópico tenha de ser revisto, uma vez que haverá mais investidores. O interesse comercial destas soluções aumentará devido à diminuição dos custos de investimento e a responsabilidade civil, perante a problemática das alterações climáticas, continuará a aumentar também.

6 Conclusões

O trabalho realizado teve como objetivo o estudo energético da integração de sistemas produtores de energia de fontes renováveis numa residência, de modo a torná-la 100 % autónoma. O edifício estudado foi projetado arquitetonicamente, tendo sido modelado no *software* para que respeitasse a legislação portuguesa de conforto térmico e eficiência energética. No fim, foi realizada a análise económica de modo a se perceber a viabilidade do projeto.

O projeto foi possível devido ao IESve 2018, o *software* que permitiu dimensionar os sistemas e calcular as cargas térmicas. Assim, realizaram-se as simulações que deram a informação dos consumos energéticos anuais e da produção fotovoltaica obtida.

A primeira análise realizada foi sobre o isolamento térmico da parede exterior. Tanto com o isolamento pelo interior como com o isolamento pelo exterior, as cargas térmicas de aquecimento são $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Já as cargas térmicas de arrefecimento são de $52 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ com o isolamento pelo exterior e $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ com o isolamento pelo interior. A diferença não é muito significativa, pelo que se escolheu a solução mais convencional (isolamento pelo exterior) para continuar o projeto. O conhecimento técnico desta solução é maior e as pontes térmicas deixam de ter tanta importância no estudo das cargas térmicas.

Os dispositivos de sombreamento foram testados, de maneira a perceber qual a sua influência nas cargas térmicas do edifício. A simulação sem dispositivos de sombreamento forneceu os valores de $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ e $52 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ para as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, enquanto que os valores para essas mesmas cargas quando os dispositivos são colocados são de $59 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ e $41 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, respetivamente. Conclui-se que as cargas de aquecimento são as mesmas, uma vez que o perfil de uso dos dispositivos de sombreamento foi idealizado para que durante o Inverno estes não fossem usados e, assim os ganhos solares fossem maiores. O sombreamento, principalmente durante o verão, permite diminuir bastante as cargas térmicas de arrefecimento, o que permite poupar energia anualmente.

A simulação ASHRAE *Loads* permitiu perceber quais as cargas térmicas ao longo de um ano e quais as necessidades de aquecimento e arrefecimento para que o conforto térmico fosse garantido e a temperatura ambiente nas divisões controladas estivesse sempre entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $25 \text{ }^\circ\text{C}$. A habitação está 49 % do tempo em aquecimento e 25 % do tempo em arrefecimento, durante o ano.

Os três tipos de conjunto de sistemas testados revelaram a importância da aplicação de tecnologias de produção de energia a partir de fontes renováveis para o aumento da eficiência energética de um edifício e a diminuição do consumo energético anual. A melhor solução

encontrada foi aquela em que se usou uma bomba de calor com um sistema de radiadores para o aquecimento ambiente e uma bomba hidráulica, que faz circular a água do poço existente, para o arrefecimento. Foram usados coletores solares térmicos com uma bomba de calor monobloco para o aquecimento de AQS. O consumo energético anual mínimo foi de 11 311 kWh.

Tendo em conta o valor de consumo elétrico anual, estudou-se qual a área mínima de painéis fotovoltaicos necessária para produzir a eletricidade referente às necessidades energéticas em cada mês. Concluiu-se que seriam necessários 130 m² no mínimo para que a energia produzida fosse suficiente.

O armazenamento eletroquímico era necessário para que houvesse energia disponível durante as horas de produção nula. Através do estudo da autonomia, chegou-se à conclusão de que a área de painel fotovoltaico não tinha tanta preponderância no aumento da autonomia como o aumento da capacidade de armazenamento da bateria.

O *pay-back time* obtido para o único caso de autonomia total foi de 36 anos, enquanto que para o cenário com menor custo de investimento foi de 19 anos. Percebeu-se que, com as condições de compra e venda à rede a diminuição do investimento em painéis PV não era tão fulcral como a diminuição do investimento em armazenamento, pois as baterias continuam a apresentar preços muito elevados por kWh.

Colocou-se a hipótese de o preço de venda ser maior caso os produtores decidissem vender o seu excedente a terceiros, o que revelou que nesse cenário a área de painéis PV passa a ter mais influência no período de retorno de investimento do que a capacidade de armazenamento. Neste caso, o *pay-back time* foi de 15 anos para o caso de 100 % de autonomia.

O trabalho produzido pode servir de base para futuros estudos energéticos que se desejem realizar, uma vez que as NZEB's passarão a ser obrigatórias. Além disso, dá a entender qual os aspetos a considerar no dimensionamento de sistemas produtores de energia a partir de fontes renováveis a integrar numa habitação.

7 Avaliação do trabalho realizado

7.1 Objetivos Realizados

Durante o desenvolvimento deste projeto conseguiu-se fazer o estudo energético de uma habitação desenhada arquitetonicamente. A integração de vários sistemas foi testada, apesar de algumas soluções pensadas como os sistemas de BIPV não terem sido estudados, uma vez que as características arquitetónicas do edifício, nomeadamente da cobertura, não o permitiram. O estudo do armazenamento eletroquímico foi efetuado, mas as baterias foram consideradas tanques de modo a serem realizados os cálculos, uma vez que o programa não permitia fazer simulações para este tópico. Por fim, a análise financeira foi efetuada com sucesso.

7.2 Apreciação Final

Globalmente, penso que o desenvolvimento deste projeto correu da melhor forma. O tópico tratado é de interesse atual e poderá ser uma grande oportunidade de negócio para os próximos anos, em que a imposição deste tipo de edifícios será obrigatória e o conhecimento profundo sobre esta área não é geral.

A minha motivação ao longo do trabalho prendeu-se ao meu interesse pelo tema e o facto deste ter uma grande componente que não se prende ao curso de Engenharia Química, o que o tornou mais desafiante. Por outro lado, a realização do trabalho em ambiente empresarial ajudou bastante e permitiu perceber o que se seguiria após o fim do percurso académico.

Penso que os objetivos propostos foram quase todos cumpridos, mas que é possível melhorar o conteúdo aqui apresentado. Uma das propostas será o estudo da integração de mais sistemas e equipamentos não investigados nesta dissertação e a outra será realizar o estudo do armazenamento eletroquímico num programa que o permita fazer, uma vez que esse foi dos pontos que gerou mais dificuldade e incerteza quanto aos resultados.

No geral encontro-me satisfeito com o trabalho realizado e espero que este possa contribuir para o aumento do conhecimento científico sobre o assunto.

Referências

- [1] *Directiva 2010/31/UE - Desempenho Energético dos Edifícios*, 31, 2010.
- [2] D. D'Agostino and L. Mazzarella, "What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions," *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 200-212, 2019/01/01/ 2019.
- [3] I. Visa, M. D. Moldovan, M. Comsit, and A. Duta, "Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status," *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 72-78, 2014/01/01/ 2014.
- [4] A. Chel and G. Kaushik, "Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 2, pp. 655-669, 2018/06/01/ 2018.
- [5] J. Morais, *Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Prática*. Porto, 2009.
- [6] F. Leal, "Assessment of a nearly zero energy house," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2018.
- [7] Helder Gonçalves e João Mariz Graça, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa, 2004.
- [8] L. D. D. Harvey, *A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems: Fundamentals, Techniques and Examples*. CRC Press, 2006.
- [9] M. Krarti, *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach, Second Edition*. CRC Press, 2016.
- [10] *Diretiva (UE) 2018/844 - Desempenho Energético dos Edifícios e Eficiência Energética*, 844, 2018.
- [11] *Portaria n.º 349-B/2013*, 349-B, 2013.
- [12] *Portaria n.º 379-A/2015*, 379-A, 2015.
- [13] *Decreto-Lei n.º 153/2014*, 153, 2014.
- [14] República Portuguesa, "PNEC 2030 - PLANO NACIONAL INTEGRADO ENERGIA-CLIMA 2030," ed, 2018.
- [15] eurostat - Statistics Explained. (2019, 12/03/2019). *Glossary: Renewable energy sources*. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Renewable_energy_sources
- [16] J. R. Balfour, *Advanced Photovoltaic System Design*. Jones & Bartlett Learning, 2011.
- [17] IRENA, "Renewable Power Generation Costs in 2017," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi 2018.
- [18] C. Costa, D. Ivanou, J. Pinto, J. Mendes, and A. Mendes, "Impact of the architecture of dye sensitized solar cell-powered electrochromic devices on their photovoltaic performance and the ability to color change," *Solar Energy*, vol. 182, pp. 22-28, 2019/04/01/ 2019.
- [19] NREL. (2019, 05/04/2019). *Champion Photovoltaic Module Efficiency Chart*. Available: <https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html>
- [20] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590-601, 2017/07/01/ 2017.

- [21] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [22] B. P. Jelle, "Building Integrated Photovoltaics: A Concise Description of the Current State of the Art and Possible Research Pathways," *Energies*, vol. 9, no. 1, p. 21, 2016.
- [23] A. Karthick, K. Kalidasa Murugavel, and L. Kalaivani, "Performance analysis of semitransparent photovoltaic module for skylights," *Energy*, vol. 162, pp. 798-812, 2018/11/01/ 2018.
- [24] N. Skandalos and D. Karamanis, "PV glazing technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 306-322, 2015/09/01/ 2015.
- [25] G. M. Tina, A. Gagliano, F. Nocera, and F. Patania, "Photovoltaic Glazing: Analysis of Thermal Behavior and Indoor Comfort," *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 367-376, 2013/01/01/ 2013.
- [26] Onyx Solar Group LLC. (18/03/2019). *Onyx Solar*. Available: <https://www.onyx solar.com/>
- [27] Super Sky Enterprises LLC. (18/03/2019). *Super Sky - Custom Skylighting*. Available: <http://www.supersky.com/>
- [28] Skyco Skylights. (18/03/2019). *Skyco Skylights - Integrity, Quality, Innovation*. Available: <http://www.skycoskylights.com/>
- [29] S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, no. 3, pp. 231-295, 2004/01/01/ 2004.
- [30] E. Zambolin and D. Del Col, "Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions," *Solar Energy*, vol. 84, no. 8, pp. 1382-1396, 2010/08/01/ 2010.
- [31] F. C. McQuiston, J. D. Parker, and J. D. Spitler, *Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design*. John Wiley & Sons, 2005.
- [32] J. Cantor and G. Harper, *Heat Pumps for the Home*. Crowood, 2013.
- [33] D. B. A. Macmichael and D. Reay, *Heat Pumps*. Elsevier Science, 2013.
- [34] Ashrae, *Ashrae Handbook 2000: HVAC Systems and Equipment - I-P and SI Editions*. ASHRAE, 2000.
- [35] Ashrae, *Ashrae Handbook 2016: HVAC Systems and Equipment - I-P and SI Editions*. ASHRAE, 2016.
- [36] K. Zhao, X.-H. Liu, and Y. Jiang, "Application of radiant floor cooling in large space buildings - A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 1083-1096, 2016/03/01/ 2016.
- [37] S. Oubenmoh, Allouhi, A., Ait Mssad, A., Saadani, R., Kousksou, T., Rahmoune, M., and Bentaleb, M., "Some particular design considerations for optimum utilization of under floor heating systems," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, pp. 423-432, 2018/09/01/ 2018.
- [38] J. Azevedo, T. Seipp, J. Burfeind, C. Sousa, A. Bentien, J. P. Araújo, and A. Mendes, "Unbiased solar energy storage: Photoelectrochemical redox flow battery," *Nano Energy*, vol. 22, pp. 396-405, 2016/04/01/ 2016.
- [39] R. Monteiro, J. Leirós, M. Boaventura, and A. Mendes, "Insights into all-vanadium redox flow battery: A case study on components and operational conditions," *Electrochimica Acta*, vol. 267, pp. 80-93, 2018/03/20/ 2018.

- [40] C. Choi, H. Noh, S. Kim, R. Kim, J. Lee, J. Heo, H. Kim, "Understanding the redox reaction mechanism of vanadium electrolytes in all-vanadium redox flow batteries," *Journal of Energy Storage*, vol. 21, pp. 321-327, 2019/02/01/ 2019.
- [41] IRENA, "Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi 2017.
- [42] VisBlue. (2018, 27/03/2019). *New Technology for Green Energy Storage*. Available: <https://visblue.com/>
- [43] VisBlue. (2018, 27/03/2019). *Vanadium Redox Flow Battery*. Available: <https://visblue.com/vanadium-redox-flow-battery.html>
- [44] VisBlue. (2018, 27/03/2019). *Renewable Energy Storage*. Available: <https://visblue.com/product.html>
- [45] Integrated Environmental Solutions Limited. (2019, 08/04/2019). *VE FOR ENGINEERS*. Available: <https://www.iesve.com/software/ve-for-engineers>
- [46] Ashrae, *2017 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. ASHRAE, 2017.
- [47] I. E. S. Limited., *ModelIT: Overview Tutorial*
Step-by-step instructions that show you how to use ModelIT. 2015, p. 3.
- [48] I. E. S. Limited., *Solar: SunCast*
User Guide. 2015, p. 3.
- [49] I. E. S. Limited., *MacroFlo User Guide*. 2015, p. 4.
- [50] I. E. S. Limited., *Apache View User Guide*. 2015, p. 4.
- [51] EDP Comercial. (2019, 03/05/2019). *Comprar lâmpadas LED*. Available: <https://www.edp.pt/particulares/servicos/iluminacao-eficiente/comprar-lampadas-led/>
- [52] *Portaria nº349-D/2013*, 349-D, 2013.
- [53] *Despacho (extrato) nº15793-K/2013*, 15793-K, 2013.
- [54] "Catálogo de Produtos - Solar Térmico," Vulcano, Ed., ed. Lisboa, 2015, p. 36.
- [55] "CATÁLOGOGERAL," vol. R2V1, *Energie - Energia Solar Termodinâmica*, Ed., ed. Póvoa do Varzim, Portugal, 2016, pp. 72,73.
- [56] "Product Catalogue 2019/2020," BlueBox, Ed., ed. Veneza, 2019, pp. 30,31.
- [57] Grundfos. (2019, 14/06/2019). *Magna3 D 32-40*. Available: https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=156112419639104076889479518939&hits=2&productnumber=97924449&searchstring=97924449&qcid=547165695
- [58] *Comunicação Pessoal - A400*, ed, 2019.
- [59] C. Kost, S. Shammugam, V. Jülch, H. Nguyen, T. Schlegl, "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies," Fraunhofer ISE, Friburgo 2018.
- [60] J. H. M. Pessoa, "Análise da influência das pontes térmicas nos edifícios residenciais" *Dissertação de Mestrado*, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [61] VisBlue. (2018, 17/06/2019). *What Are the Technical Specifications of a VisBlue Battery Solution?* Available: <https://visblue.com/technical-specifications-of-a-visblue-battery-solution.html>

- [62] OMIE. (2019, 28/06/2019). *Resultados do Mercado* Available: <http://www.omel.es/pt/inicio>
- [63] Eurostat - Statistics Explained. (2018, 26/06/2019). *Electricity prices by type of user*. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=en00117&plugin=1>
- [64] Ecoforest, "Catálogo de Caldeiras Ecoforest," ed. Vigo, 2016.

Anexo A - Portaria nº379-A/2015

Tabela A. 1 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]

U_{ref} [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 1 de janeiro de 2016		
		I1	I2	I1	I2	I1	I2
Em contacto com o exterior ou em espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
Com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	0,60	0,50
Vão envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Anexo B - Folhas de Cálculo

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Vila do Conde

Zona climática

NUTS 3: Grande Porto
 Latitude: 41,3 °N (nominal)
 Longitude: 8,6 °W (nominal)
 Altitude: 94 m (referência)

Local específico

Município: Vila do Conde
 Altitude: 28 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	6,2	6,1 meses
T média:	9,9	10,4 °C
Graus-dia:	1250	1144 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	20,9 °C

Zonas de verão e inverno

V 2 I 1

preparar ficheiro
 EPW (formato EnergyPlus Weather)

LNEG Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
 Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura B. 1 - Interface da folha de cálculo para obtenção do ficheiro climático.

DGEG SCE.ER Sistema Solar Térmico : um único tipo de consumo

v 1.5.7

Simular

Sistema instalado em Casa_Mindelo (Vila do Conde)

Necessidades de AQS regulamentares em 1 zona.

Utilizados 2 coletores de modelo Vulcano FKT-2S com área de abertura 2,43 m² (i.e. painel com 4,9 m² de abertura), em montagem fixa orientação 0 ° em azimute e inclinação 35 °.

Armazenamento central em 1 depósito de modelo Vulcano SK300-1 solar utilizado em modo água sanitária e numa posição vertical.

Apoio do tipo elétrico com rendimento 100% .

com montagem ao depósito e controlo temporizado

Circuito primário em circulação forçada, tubagens de diâmetro nominal comprimento de 4 m no exterior e 10 m até ao depósito, isoladas com poliuretano de espessura 20 mm. Fluido circulante com 25% de anticongelante.

Bombas de potência 30 W proporcionando um caudal de 43 litro/m² por hora.

Circuito de distribuição em tubagens de diâmetro nominal comprimento de 12 m para a zona de consumo e isolamento poliuretano de 10 mm.

Figura B. 2 - Interface da folha de cálculo SCE.ER da DGEG, que permite a simulação de um sistema de aquecimento de AQS.

Anexo C - Zonas Térmicas

Tabela C. 1 - Zonas térmicas da habitação e condições de arrefecimento, aquecimento e ventilação.

Divisão	Zona Térmica	Área (m ²)	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação Mecânica
Quarto 1	Zona 1	29,1	Sim	Sim	Não
Quarto 2		24,9			
Quarto 3		24,9			
Escritório		14,5			
Casa-de-banho 1	Zona 2	8,0	Sim	Não	Não
Casa-de-banho 2		5,5			
Casa-de-banho 3		5,5			
Casa-de-banho 4		6,3			
Casa-de-banho 5		2,3			
Lavandaria	Zona 3	11,5	Não	Não	Sim
Hall/Corredor	Zona 4	62,5	Não	Não	Não
Sala de Estar/Cozinha	Zona 5	64,7	Sim	Sim	Não
Casa das Máquinas 1	Zona 6	40,6	Não	Não	Não
Casa das Máquinas 2		8,9			
Garagem		60,6			

Anexo D - Construções da Envolvente

D.1 - Paredes Exteriores

Tabela D. 1 - Parede exterior em contacto com o solo do piso -1.

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coeficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	3,32
Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Tabela D. 2 - Parede exterior com isolamento no exterior.

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coeficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Reboco Tradicional	0,005	1,300	1900,0	0,0154	0,41
Isolamento XPS	0,080	0,037	30,0	2,1622	
Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Tabela D. 3 - Parede exterior com isolamento no interior.

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coefficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	0,41
Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Isolamento XPS	0,080	0,037	30,0	2,1622	
Reboco Tradicional	0,005	1,300	1900,0	0,0154	

D.2 - Coberturas

Tabela D. 4 - Cobertura com pé direito de 2,95 m

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coefficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Camada de Regularização	0,050	1,300	1900,0	0,0385	0,33
Isolamento XPS	0,100	0,037	30,0	2,7027	
Camada Impermeável	0,000	0,140	1200,0	0,0000	
Laje de Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Tabela D. 5 - Cobertura com pé direito de 3,10 m (Painéis Fotovoltaicos).

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coeficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Camada de Regularização	0,050	1,300	1900,0	0,0154	0,38
Isolamento XPS	0,080	0,037	30,0	2,7027	
Camada Impermeável	0,000	0,140	1200,0	0,0000	
Laje de Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Caixa de Ar	0,150	-	-	0,1800	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Tabela D. 6 - Cobertura jardinada com pé direito de 3,65 m.

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coeficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Terra Comprimida	0,500	1,100	1885,0	0,4545	0,32
Camada de Regularização	0,050	1,300	1900,0	0,0385	
Isolamento XPS	0,080	0,037	30,0	2,1622	
Camada Impermeável	0,000	0,140	1200,0	0,0000	
Laje de Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Caixa de Ar	0,150	-	-	0,1800	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Tabela D. 7 - Cobertura de água com pé direito de 3,65 m.

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coefficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Água	0,500	0,600	1000,0	0,8333	0,29
Camada de Regularização	0,050	1,300	1900,0	0,0385	
Isolamento XPS	0,080	0,037	30,0	2,1622	
Camada Impermeável	0,000	0,140	1200,0	0,0000	
Laje de Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Caixa de Ar	0,150	-	-	0,1800	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

D.3 - Pavimentos

Tabela D. 8 - Pavimento Intermédio

Material	Espessura (m)	Condutividade ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Densidade ($kg \cdot m^{-3}$)	Resistência Térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Coefficientes de transmissão térmica, U [$W \cdot (m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}$]
Acabamento	0,020	0,130	500,0	0,1538	1,83
Reboco Tradicional	0,100	1,300	1900,0	0,0769	
Laje de Betão	0,200	2,000	2400,0	0,1000	
Reboco Tradicional	0,020	1,300	1900,0	0,0154	

Anexo E - Perfis de Operação

E.1 - Perfis de Ocupação

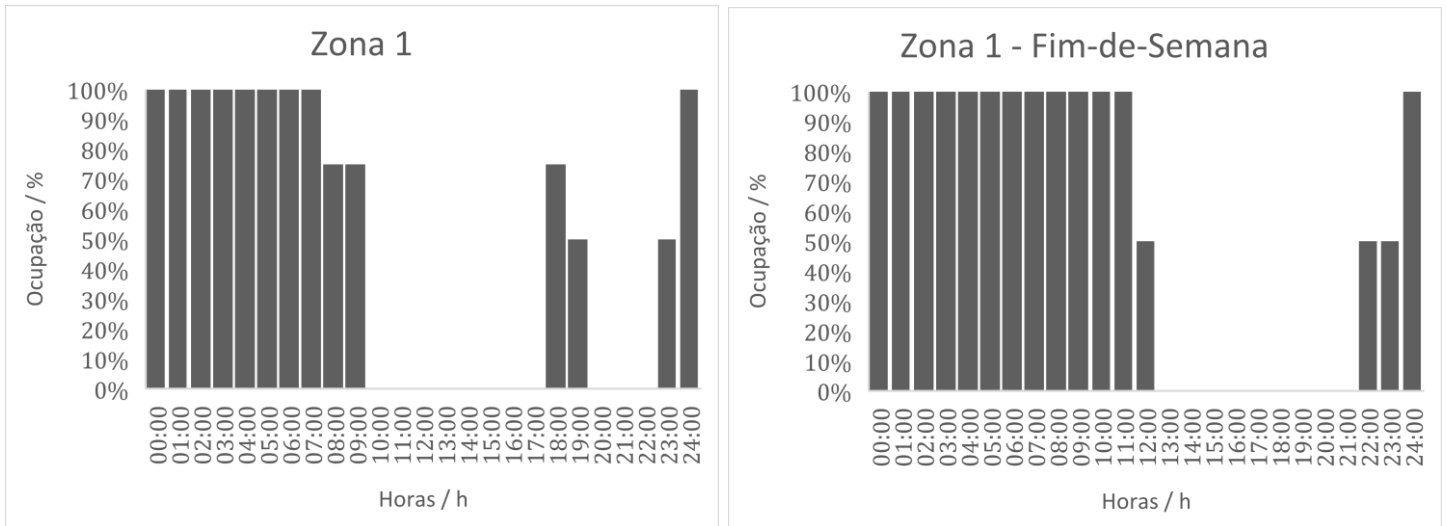


Figura E. 1 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1.

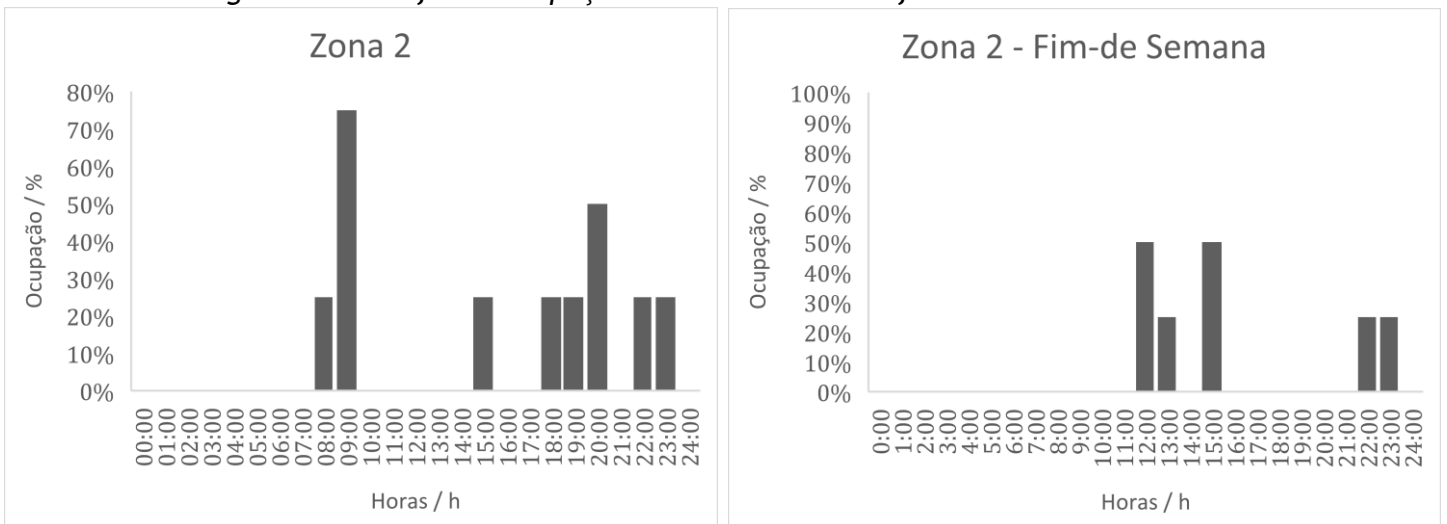


Figura E. 2 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2.

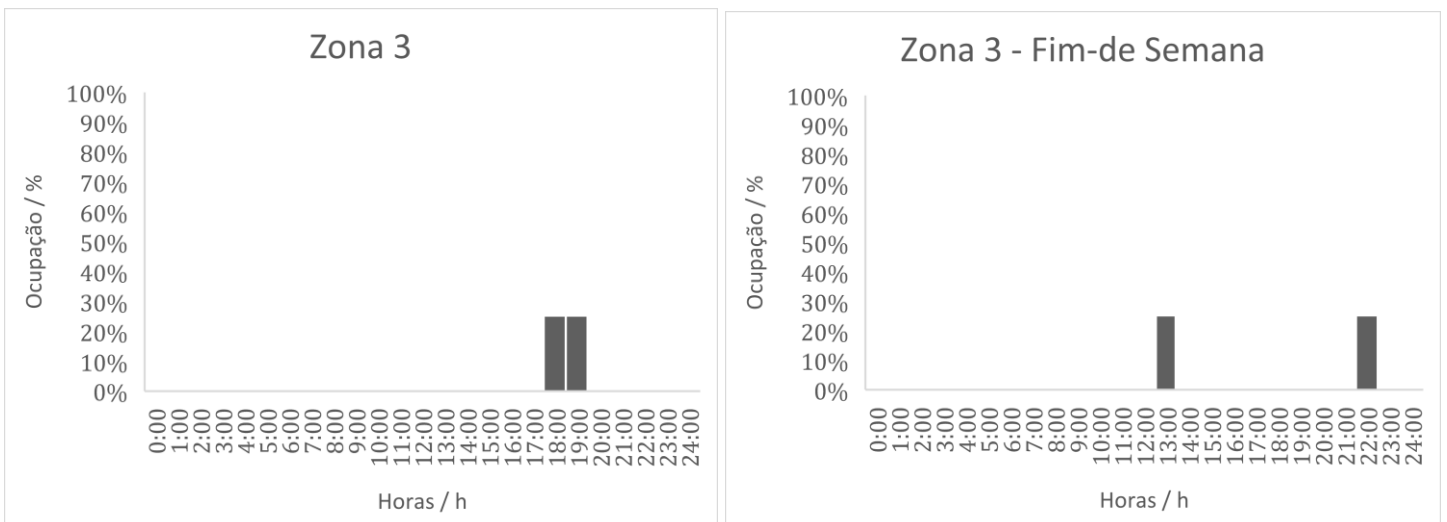


Figura E. 3 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3.

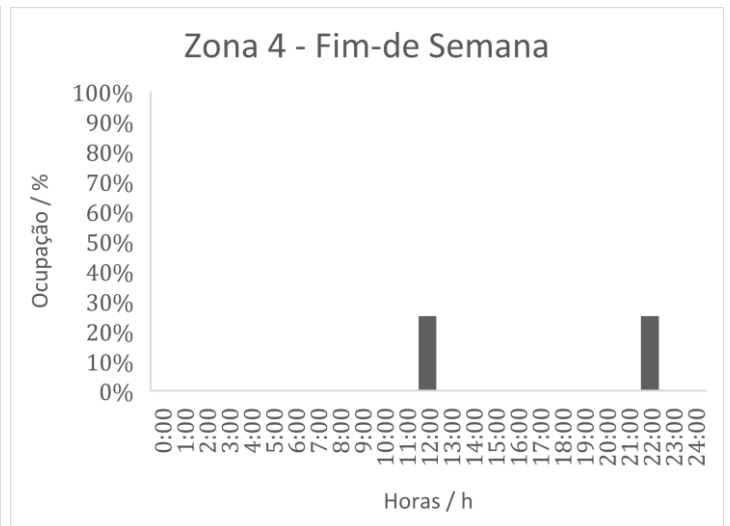
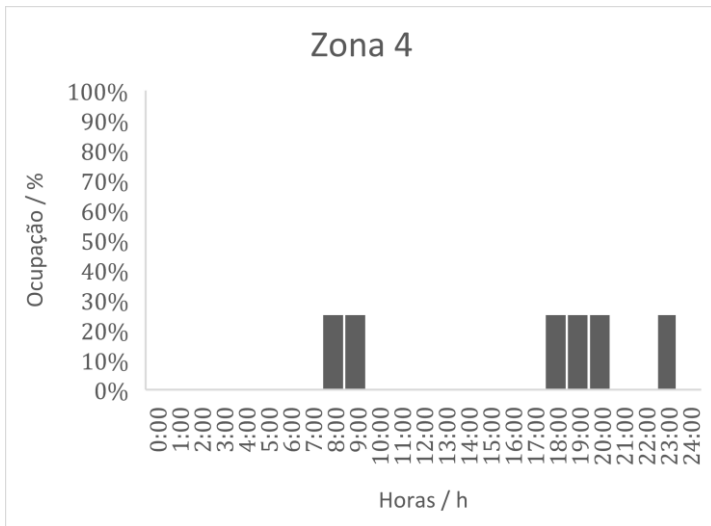


Figura E. 4 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 4.

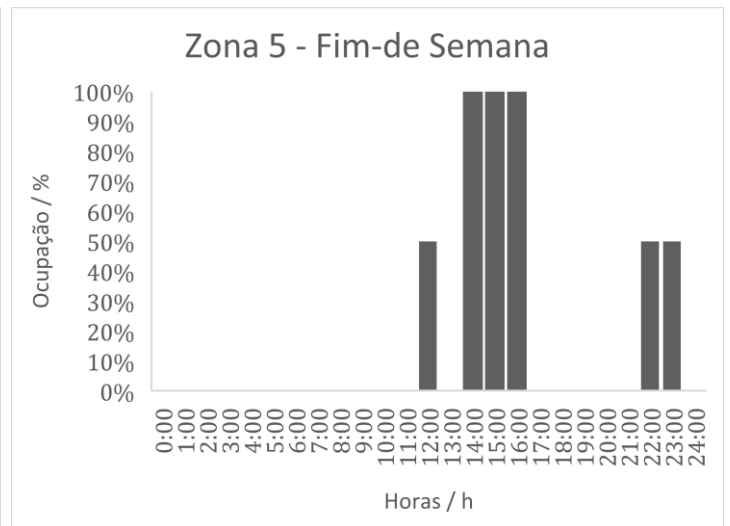
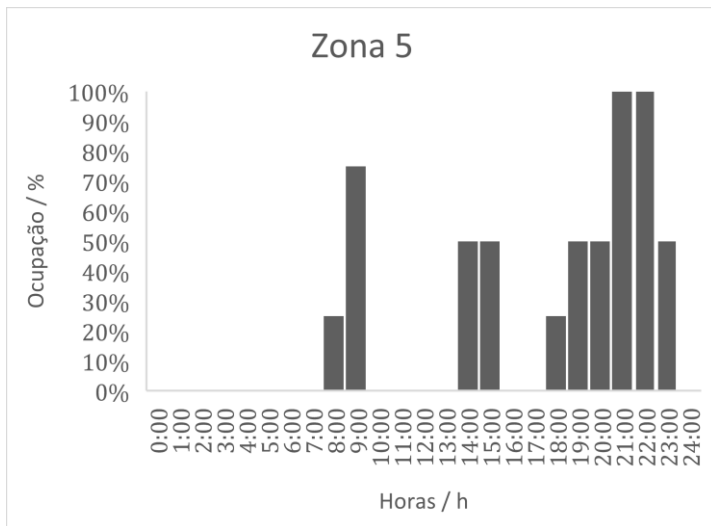


Figura E. 5 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5.

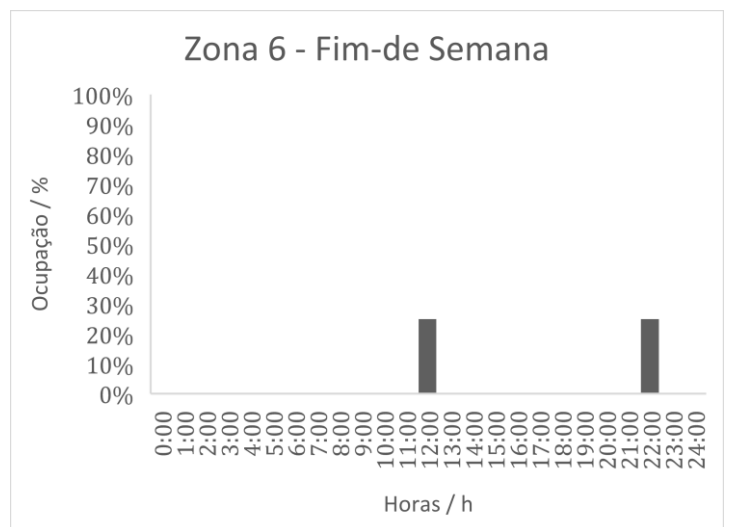
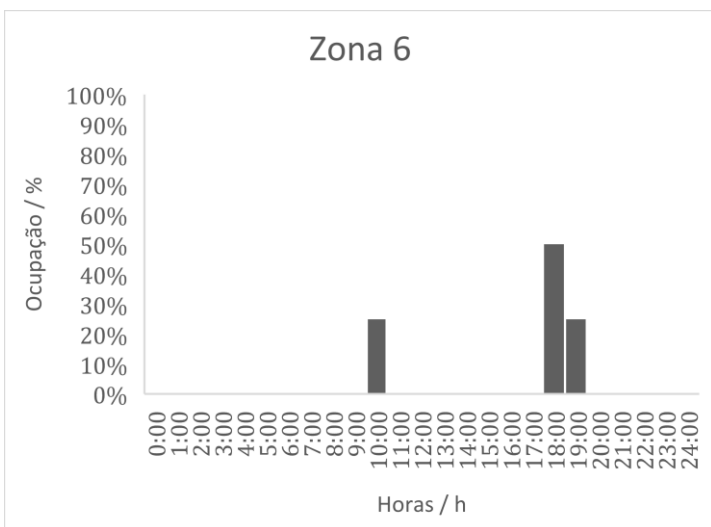


Figura E. 6 - Perfis de Ocupação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 6.

E.2 - Perfis de Iluminação

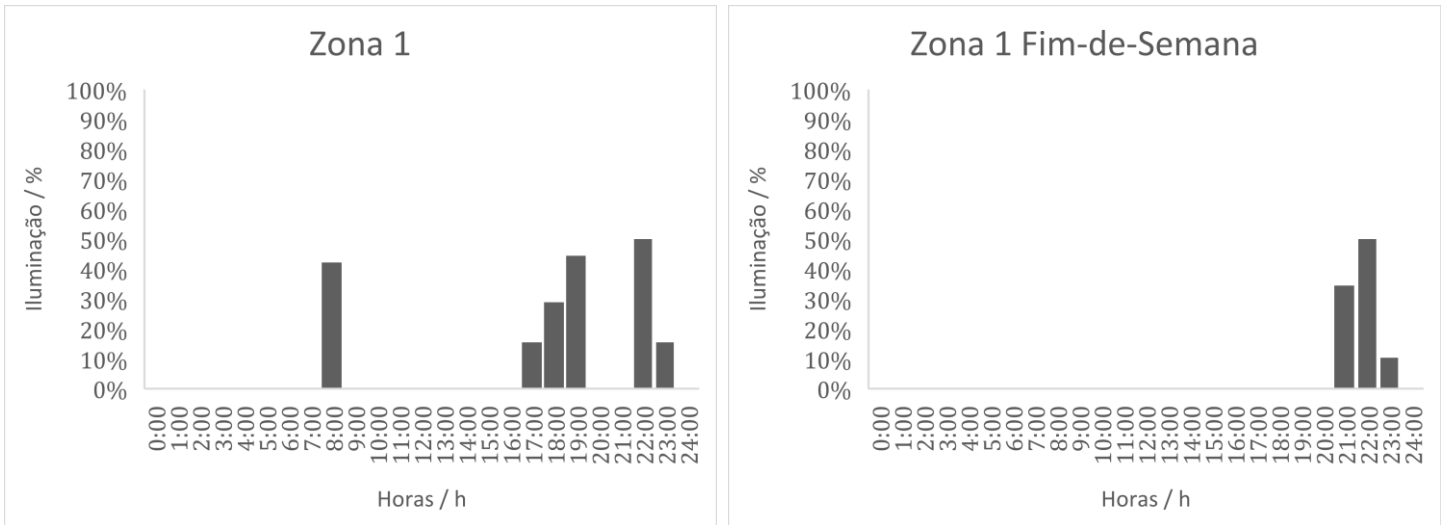


Figura E. 7 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1.

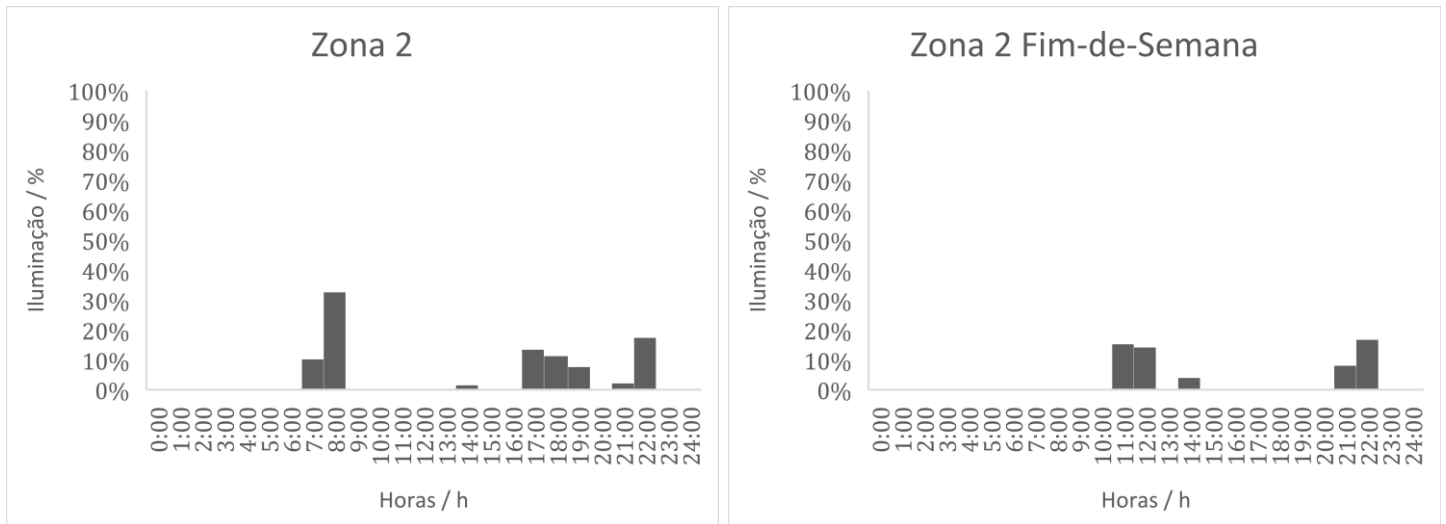


Figura E. 8 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2.

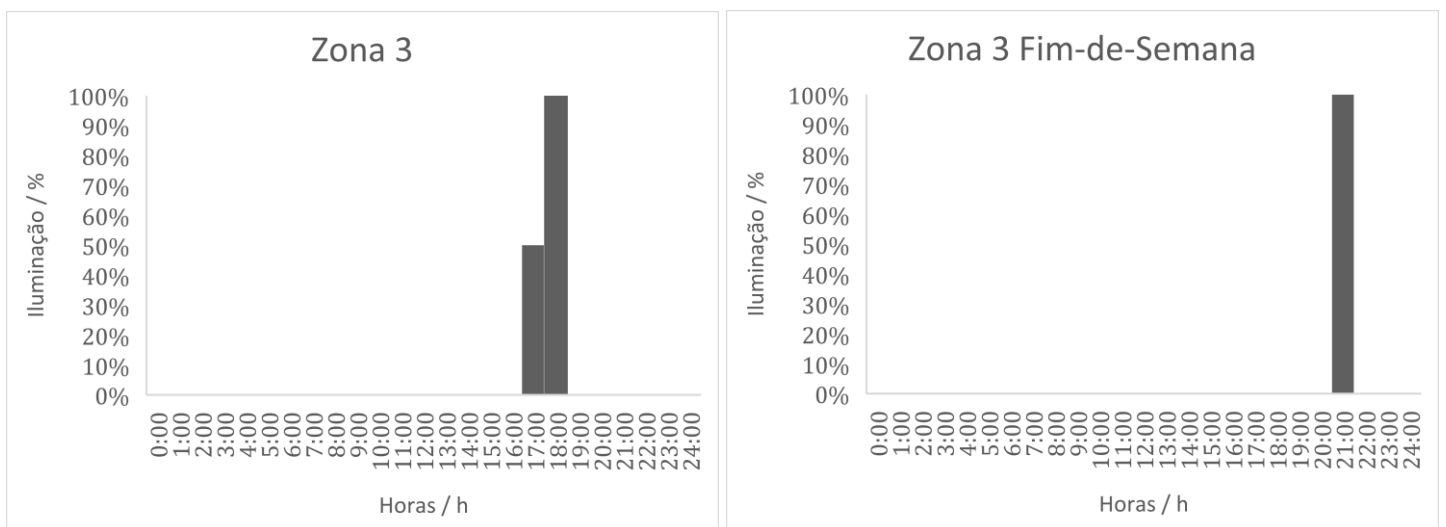


Figura E. 9 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3.

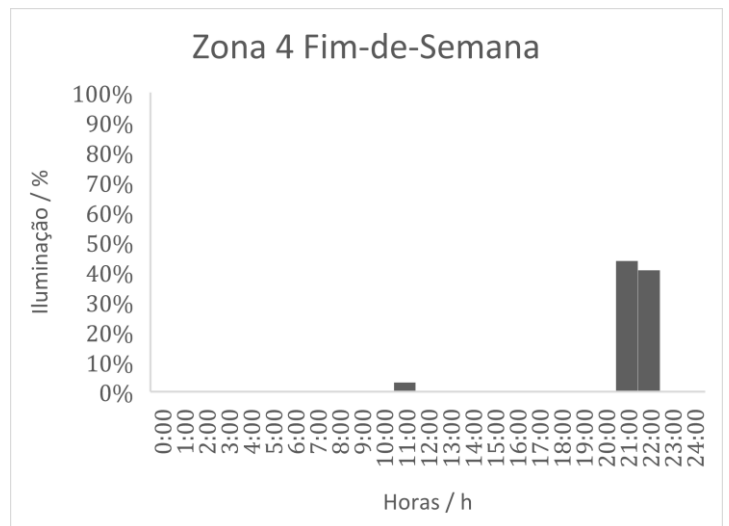
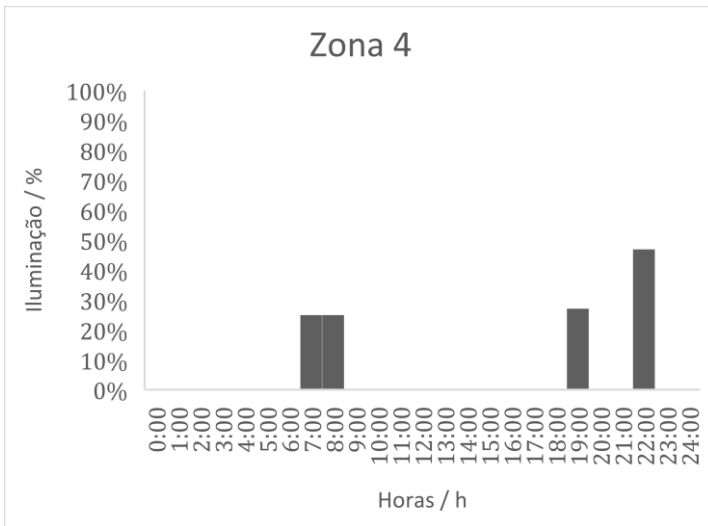


Figura E. 10 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 4.

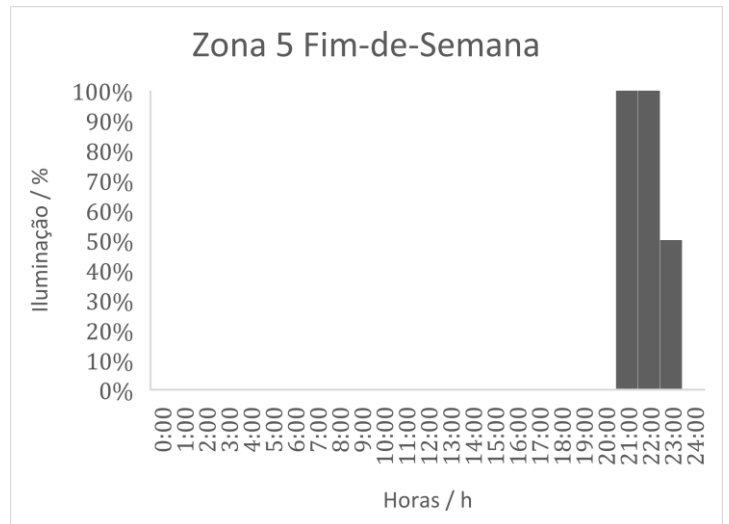
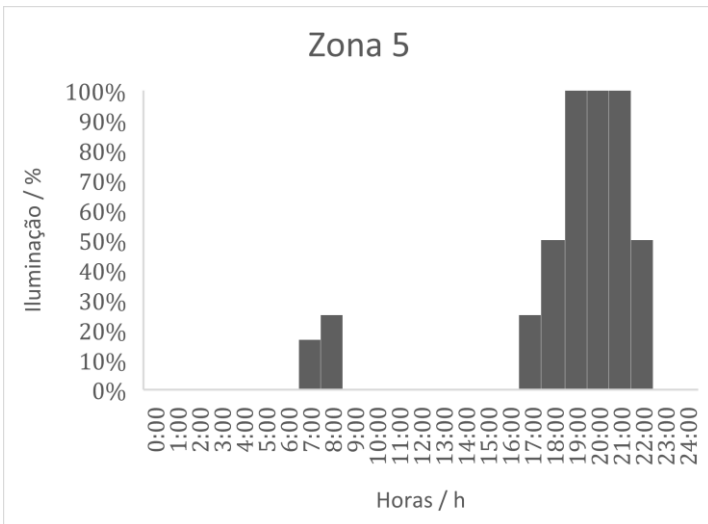


Figura E. 11 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5.

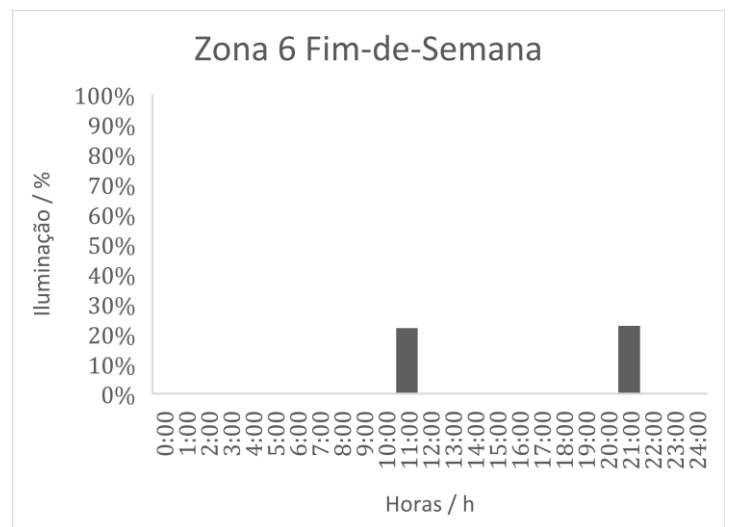
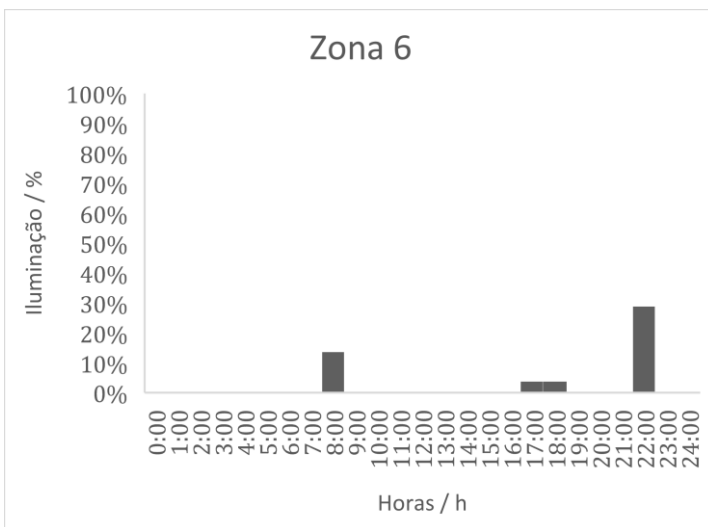


Figura E. 12 - Perfis de Iluminação aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 6.

E.3 - Perfis de Uso de Equipamentos

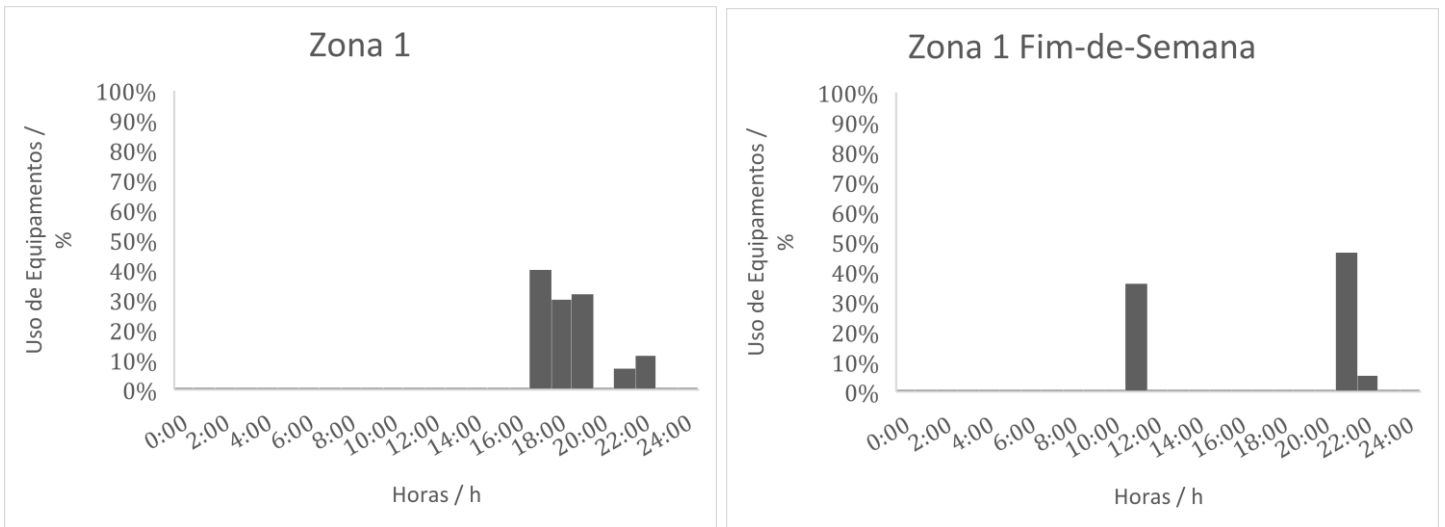


Figura E. 13 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 1.

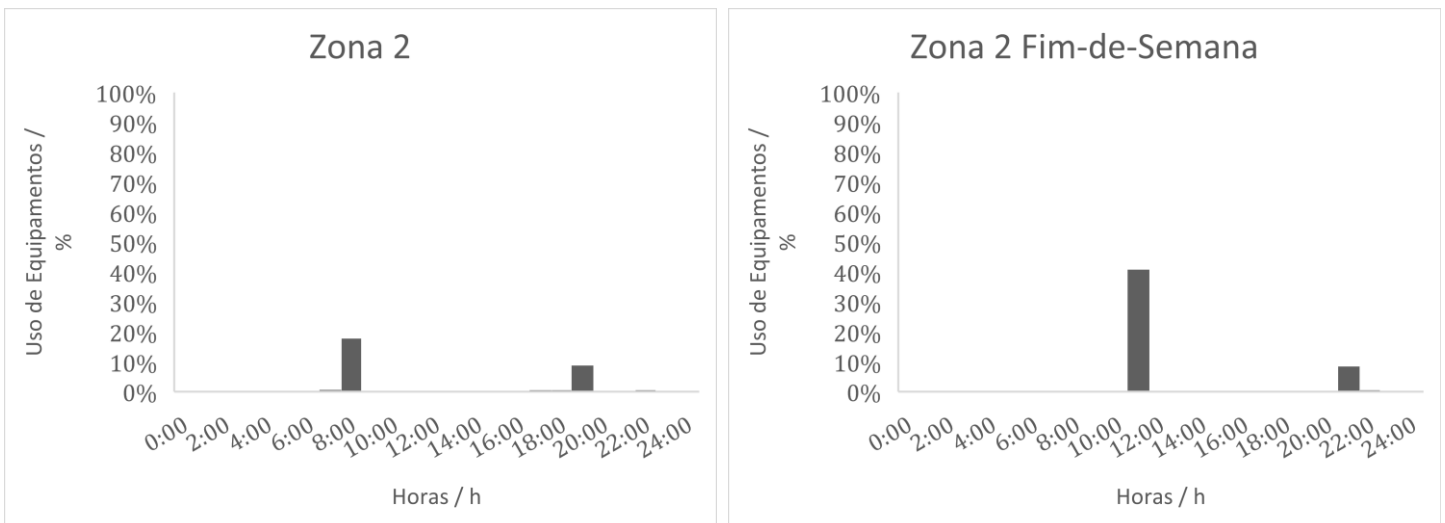


Figura E. 14 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 2.

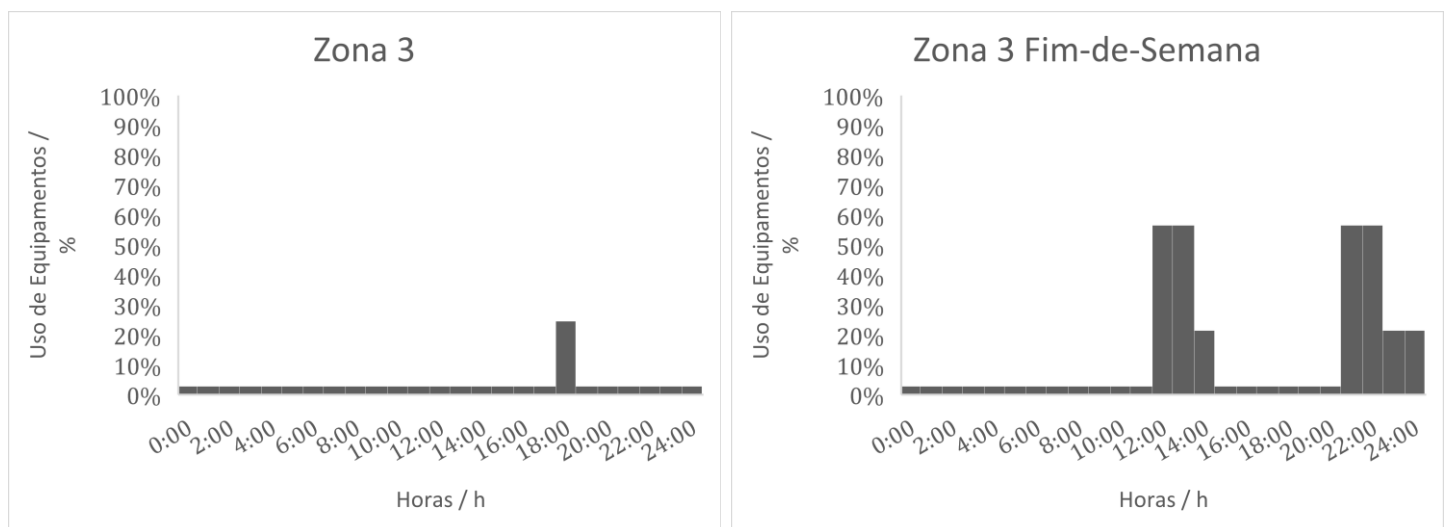


Figura E. 15 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 3.

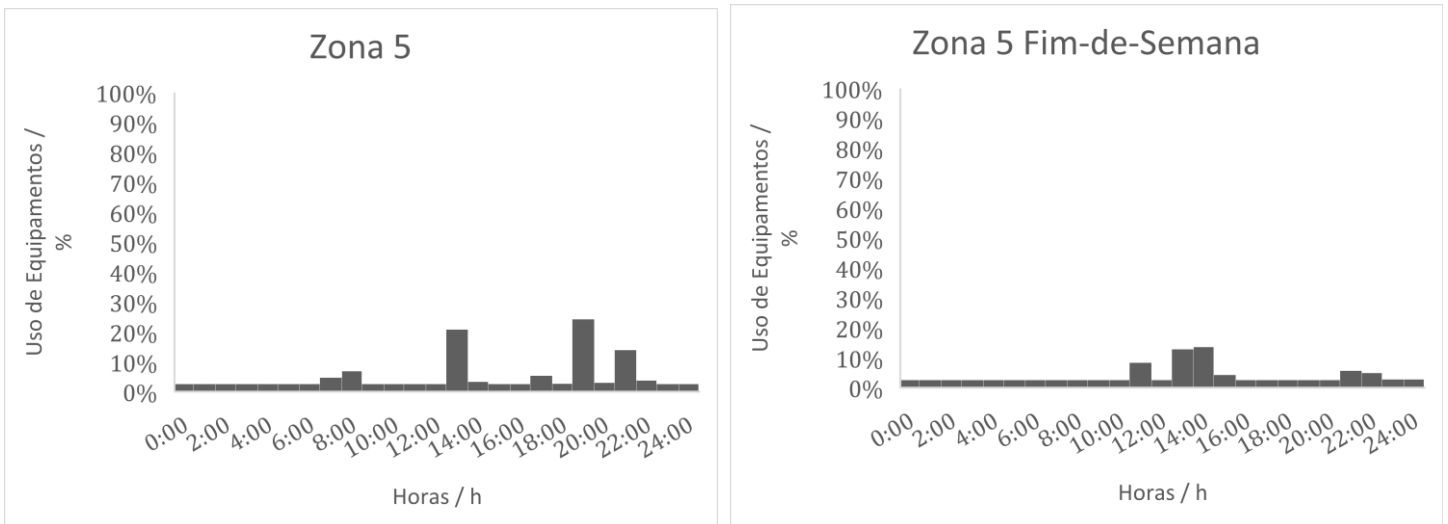


Figura E. 16 - Perfis de Uso de Equipamentos aos dias úteis e aos fins-de-semana na Zona 5.

E.4 - Perfil de Utilização de AQS

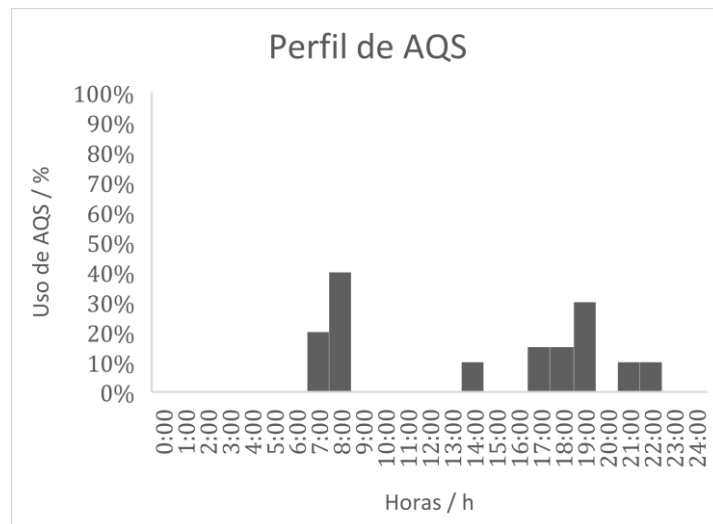


Figura E. 17 - Perfis de Uso de AQS na habitação.

E.5 - Perfis de Sombreamento

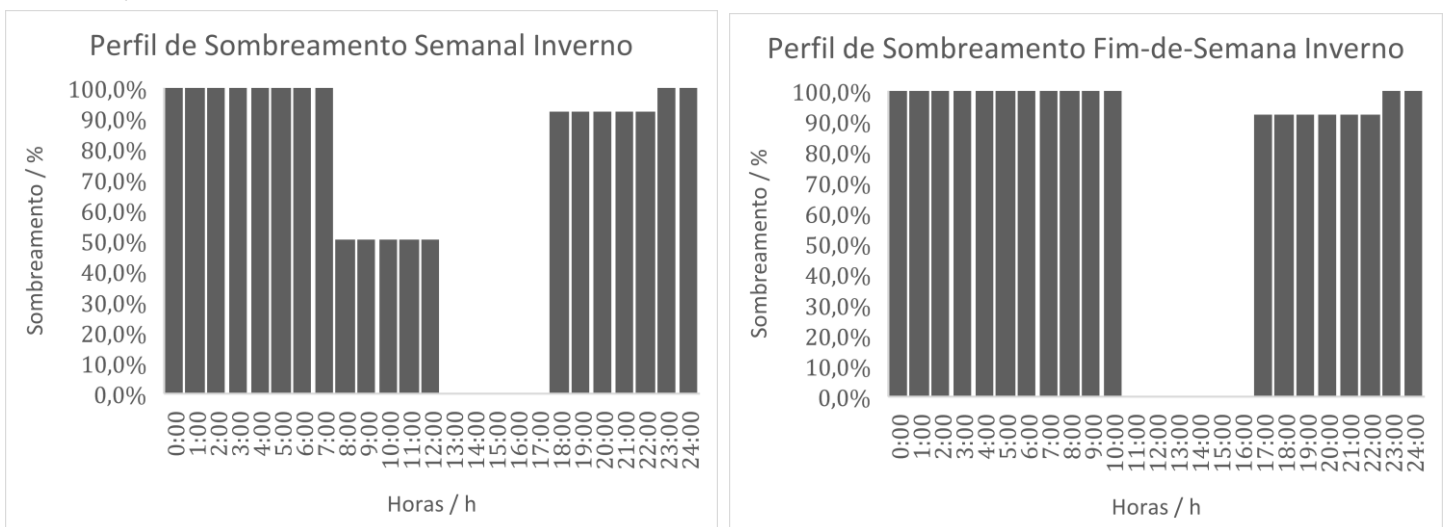


Figura E. 18 - Perfis de Sombreamento aos dias úteis e aos fins-de-semana, no inverno, na habitação.

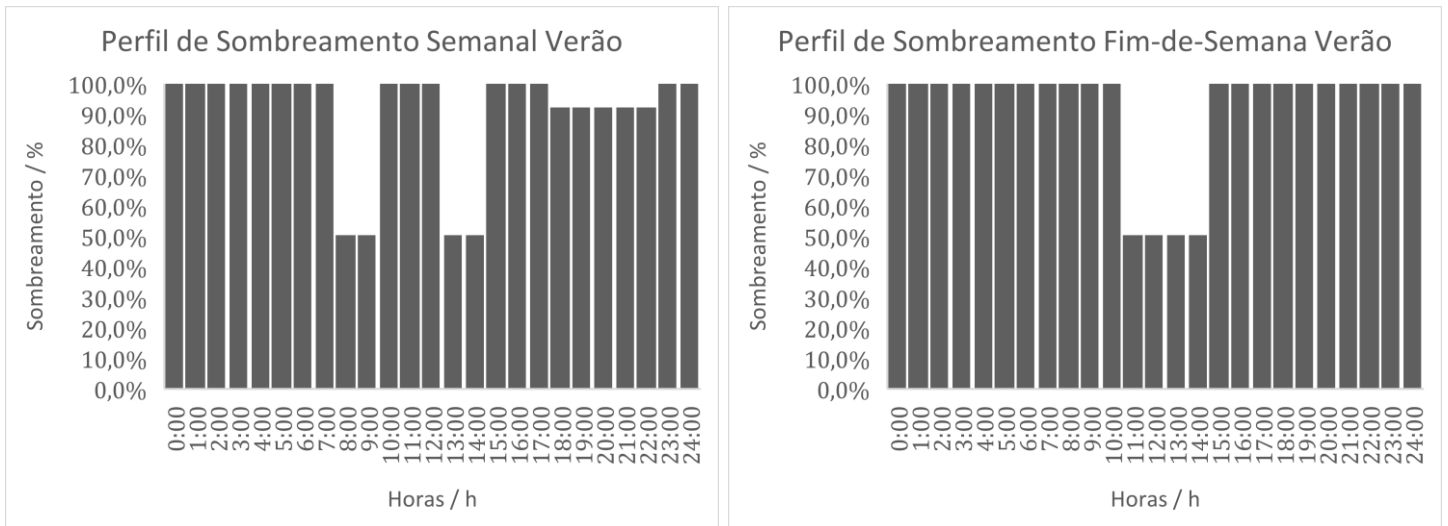


Figura E. 19 - Perfis de Sombreamento aos dias úteis e aos fins-de-semana, no verão, na habitação.

Anexo F - Considerações para execução dos perfis

F.1 - Lâmpadas em cada divisão

Tabela F. 1 - Lâmpadas de 5 W usadas em cada divisão.

Divisão	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Escritório	Casa-de-banho 1	Casa-de-banho 2	Casa-de-banho 3	Casa-de-banho 4
Nº de Lâmpadas	14	12	12	7	7	5	4	5
Divisão	Casa-de-banho 5	Lavandaria	Hall/Corredor	Sala de Estar/Cozinha	Garagem	Casa das Máquinas 1	Casa das Máquinas 2	
Nº de Lâmpadas	14	12	12	7	7	5	4	

F.2 - Potências de Equipamentos

Tabela F. 2 - Potência total dos equipamentos em cada Zona.

Zona 1						
Equipamentos	Desktop	Laptop (2x)	Telemóveis (4x)	Impressora	Candeeiros (x7)	Total
Potência (W)	220	60	20	420	28	748

Zona 2			
Equipamentos	Secador de Cabelo	Candeeiros	Total
Potência (W)	2000	40	2040

Zona 3				
Equipamentos	Ferro de Engomar	Máquina de Secar	Máquina de Lavar Roupa	Total
Potência (W)	2000	700	1900	4600

Zona 5							
Equipamentos	Placa	Máquina de Café	Frigorífico	Torradeira	Máquina de Lavar Louça	Forno	Exaustor
Potência (W)	1500	1200	200	750	788	2500	150

Zona 5						
Equipamentos	Micro-ondas	Televisão	Consola	Box	Candeeiros (x3)	Total
Potência (W)	1000	20	100	10	12	8230

Anexo G - Produção fotovoltaica e consumo

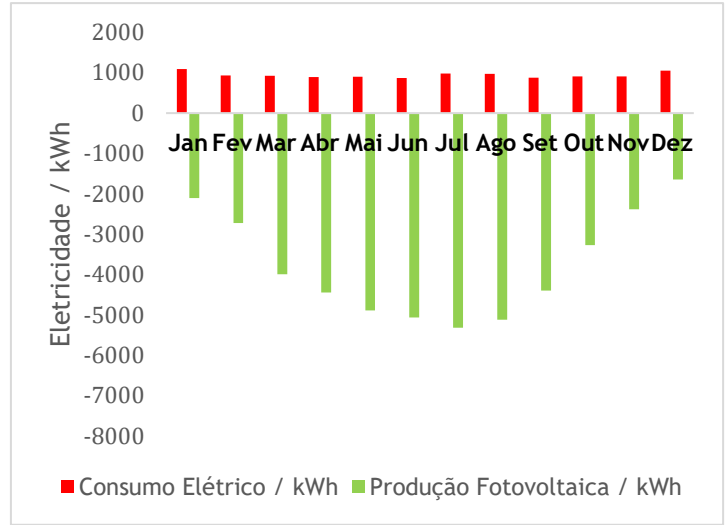
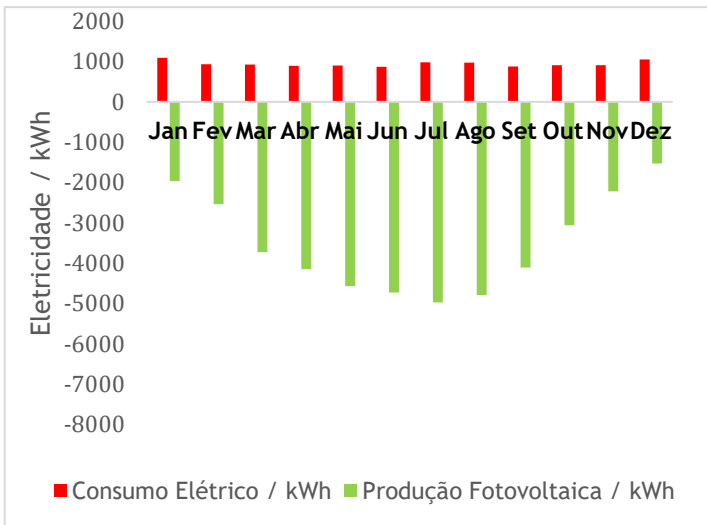


Figura G. 1 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 140 m² e 150 m².

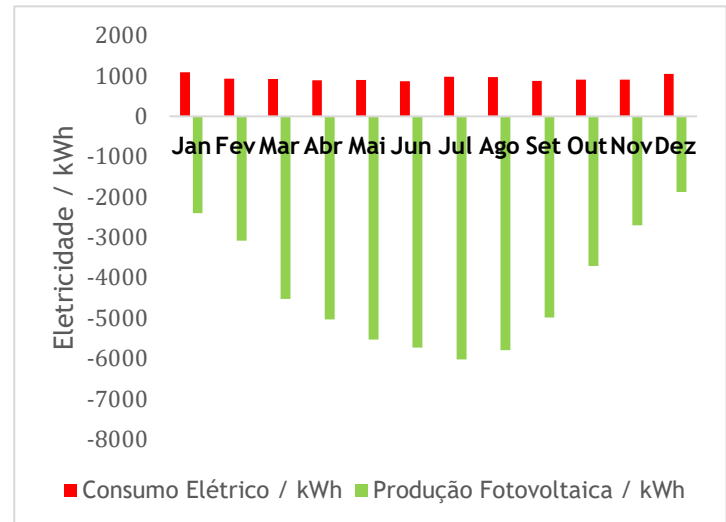
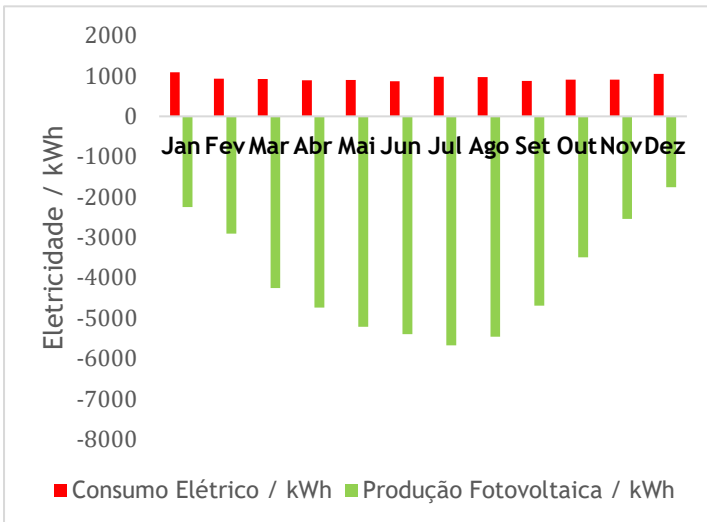


Figura G. 2 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 160 m² e 170 m².

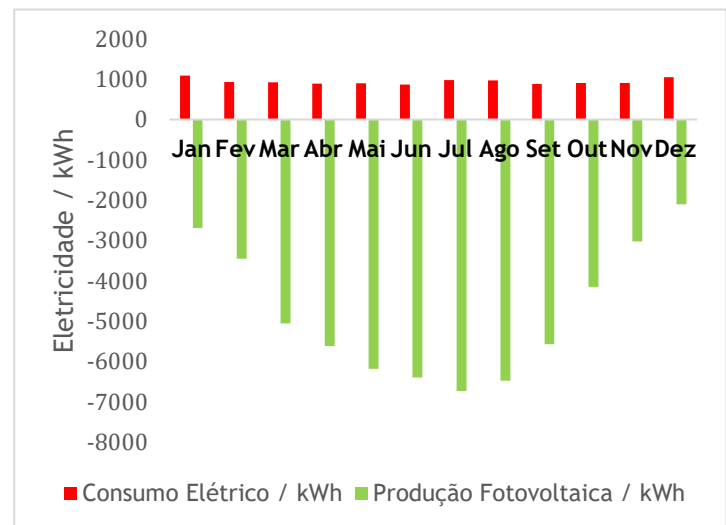
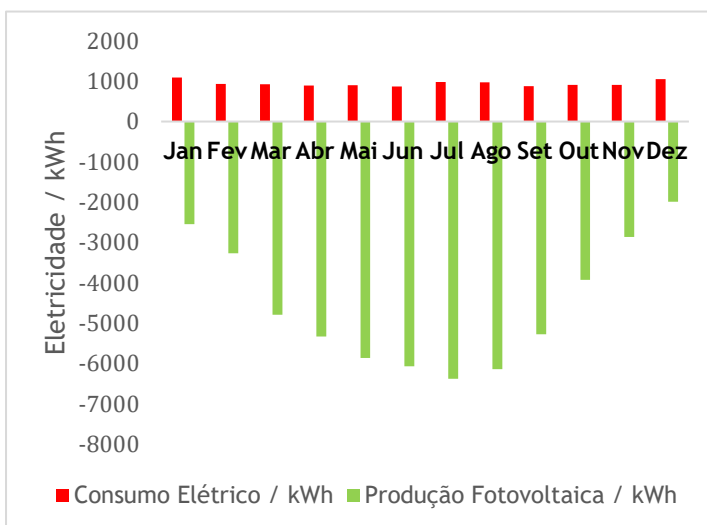


Figura G. 3 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 180 m² e 190 m².

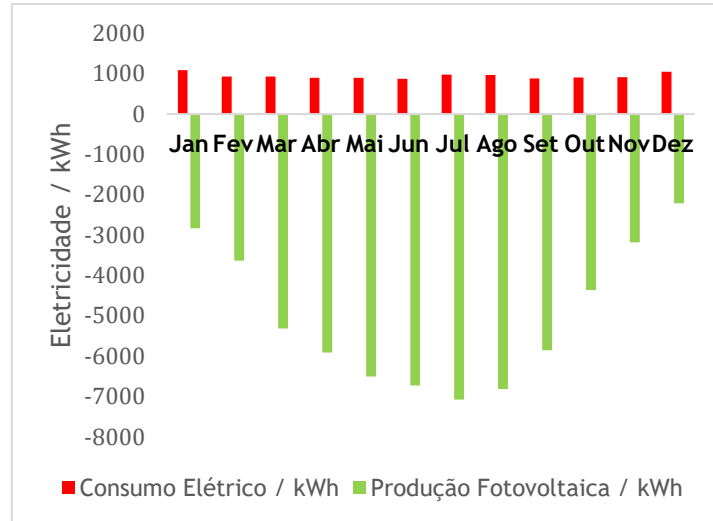


Figura G. 4 - Comparação entre o consumo elétrico e a produção fotovoltaica de 200 m².

Anexo H - Estudo da Autonomia do Sistema

Tabela H. 1 - Resultados para o estudo do aumento da capacidade das baterias.

Área de Painel / m ²	Capacidade da Bateria / kWh	Autonomia
130	50	96,4 %
	75	97,8 %
140	50	96,8 %
	75	98,2 %
150	50	97,3 %
	75	98,5 %
160	50	97,6 %
	75	98,7 %
170	50	98,0 %
	75	99,0 %
180	50	98,3 %
	75	99,3 %
190	50	98,5 %
	75	99,7 %
200	50	98,7 %
	75	100,0 %