

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Edifícios sustentáveis: análise energética, económica e
de ciclo de vida de edifícios de habitação**

João Pedro Leal Carreira

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:

Marta Panão

Carla Silva

2018

Agradecimentos

À Doutora Marta Panão, orientadora da dissertação, pela disponibilidade, conselhos e esclarecimentos dos vários obstáculos que foram surgindo na elaboração do trabalho, assim como a motivação para a sua realização. Um muito obrigado pelo acompanhamento ao longo destes meses e por toda a ajuda que prestou.

À Doutora Carla Silva, co-orientadora da dissertação, que se mostrou sempre disponível para esclarecimentos e conselhos, pela contribuição e revisão do trabalho elaborado, assim como o alargamento do meu conhecimento. Um obrigado pela sua disponibilidade e aceitação na partilha desta dissertação.

Aos meus pais e irmã, que me deram a oportunidade de realizar um curso superior e que me acompanharam ao longo dos anos, apesar da distância, contribuindo para o que sou hoje.

À Mona-Lisa, por todo o apoio incondicional que me vem prestando ao longo dos anos, pela paciência, partilha e dedicação, que permitiu a minha evolução pessoal e profissional.

A todos os meus colegas na FCUL, que tornaram o percurso académico a melhor etapa da minha vida, seja pela contribuição profissional ou pela partilha de todos os momentos inesquecíveis e divertidos ao longo destes anos.

Resumo

Na presente dissertação é efetuada uma análise energética, económica e de emissões de CO_{2e} no ciclo de vida dos edifícios de necessidades nulas de energia. O conceito adotado neste estudo – *Life Cycle Zero Energy Buildings (LC-ZEB)* – diz respeito a edifícios de necessidades nulas de energia na totalidade do seu tempo de vida. O balanço considera a energia produzida e a energia consumida, nas fases de construção e operação (trinta anos). Na fase de construção considera-se a energia associada à produção dos materiais e painéis fotovoltaicos utilizados e as respetivas emissões de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}). Este estudo inclui uma análise económica, que visa comparar os custos destas edificações LC-ZEB com a construção tradicional, no intuito de avaliar se os edifícios em desenvolvimento poderão representar uma vantagem económica. Este estudo pretende ainda mostrar o impacto dos materiais no consumo do edifício, salientando a sua contribuição na energia incorporada. Além disso, existe o objetivo de sensibilizar a população para uma consciência ambiental e da importância das ações de cada elemento, promovendo a escolha por edifícios LC-ZEB, com o aproveitamento de recursos e de reutilização de materiais.

A presente dissertação baseia-se na simulação energética realizada pelo modelo numérico computacional *EnergyPlus*, onde são definidas as cargas que o edifício experimenta. Através das equações de transferência de calor incorporadas, ele determina os fluxos de calor e fornece, como resultados, as variáveis que se pretendam analisar sobre o edifício, como temperatura interior ou níveis de CO₂.

Os dois casos desenvolvidos dizem respeito ao estudo energético de dois edifícios residenciais: um baseado num contentor de 30 m² e outro do tipo vivenda de 212 m², nos quais se definem as respetivas cargas e são simuladas medidas de melhoria, como orientação ou construção, determinando o conjunto de condições que apresenta o melhor desempenho energético e menores emissões de CO_{2e}. O primeiro caso diz respeito a um edifício construído a partir de um contentor marítimo, que apresenta dimensões reduzidas e serve para famílias de número reduzido, enquanto que o segundo se baseia na tipologia moradia, visando representar o tipo mais usado no país.

O estudo permitiu concluir que os edifícios LC-ZEB garantem uma redução significativa do consumo energético ao longo da sua vida relativamente à construção tradicional podendo-se atingir poupanças de 20%, assim como uma redução das emissões de CO_{2e} em 10%, incentivando a produção de energia renovável no local. Tem-se ainda que a energia incorporada no sistema fotovoltaico apresenta uma fração muito expressiva da energia total, com um valor de 30%. Contudo, esse sistema é o que permite a produção local e a obtenção dos dois edifícios LC-ZEB.

Conclui-se ainda que a utilização dos recursos naturais permite assegurar a climatização do edifício e a manutenção da qualidade de ar. A utilização de energia produzida no local é o que possibilita um desempenho energético elevado.

Palavras-chave: desempenho energético, edifícios LC-ZEB, ciclo de vida, eficiência energética, moradia, edifício contentor, *EnergyPlus*.

Abstract

In this dissertation, an energetic, economic, and the impact of CO_{2e} emissions analysis, on the life cycle zero energy buildings is carried out. The concept adopted in this study – *Life Cycle Zero Energy Buildings (LC-ZEB)* – concerns buildings with no energy necessities in the totality of their lifetime. The balance considers the produced and the consumed energy, in the stages of construction and operation (thirty years). The construction stage considers energy associated with the production of materials and used photovoltaics panels, as well as equivalent carbon dioxide emissions (CO_{2e}). This study contains an economic analysis, which aims to compare the costs of these types of constructions (LC-ZEB) with the traditional ones, with the intention of measuring if those buildings will bring economic benefits. It also intends to show the impact of materials in the general consumption of the building, pointing out its contributions to the incorporated energy. Furthermore, there's a goal to raise environmental awareness within the population, as well as to show the value of the actions of each element, to encourage the choice for LC-ZEB, with the exploitation of resources and the reuse of materials.

This dissertation is based on a building performance simulation provided by the simulation engine *EnergyPlus*, in which several types of loads that the building must account for are defined. Through the software's incorporated heat transfer equations, various energy and mass flows within a building are forecasted and, as a result, it is possible to predict many performance aspects, such as indoor temperature and CO₂ levels.

The two developed cases are related to the energetic study of two residential buildings: one based on a container with 30 m² and the other based on a villa style with 212 m² of area, in which their respective loads are defined, and improvement measures are simulated, like orientation or construction, presenting the set of conditions that have the best energy performance and lower CO_{2e} emissions. The first case refers to a building constructed from a shipping container, with small dimensions and targeted for families with a small number of elements, whereas the second one is more of a housing type, aiming to represent the most used kind in the country.

This study allowed one to conclude that LC-ZEB buildings assure a significant cut in energy consumption throughout their lifecycle over the traditional construction, with energetic savings up to 20% and a cut of 10% in CO_{2e} emissions, encouraging the production of renewable energy. It was also realized that the embodied energy of the photovoltaic system represents a very expressive fraction of the total energy, more precisely 30%. However, this is the system that permits local production and the attainment of the two LC-ZEB buildings.

Moreover, it is also concluded that the use of natural resources allows to ensure the building's acclimatization and the preservation of the indoor air quality. The use of local produced energy is what enables a high energy performance.

Keywords: energy performance, LC-ZEB buildings, life cycle, energetic efficiency, housing, container building, *EnergyPlus*.

Índice

Resumo.....	v
Abstract	vi
Índice de Figuras	x
Índice de tabelas	xv
Acrónimos	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivo	8
1.3. Estrutura.....	9
2. Conceitos Teóricos	10
2.1. Considerações iniciais	10
2.2. Enquadramento legal.....	11
2.2.1. Diretiva 2010/31/EU	11
2.3. Edifícios de elevado desempenho energético	12
3. Método.....	14
3.1. Caracterização de Fatores.....	15
3.2. Transferência de calor	16
3.3. Programa <i>EnergyPlus</i>	17
3.3.1. <i>Inputs</i> simulação.....	18
3.3.2. Horários.....	18
3.3.3. Materiais	19
3.3.4. Pessoas	19
3.3.5. Iluminação	20
3.3.6. Equipamentos	21
3.3.7. Águas Quentes Sanitárias.....	21
3.3.8. Climatização	22
3.4. Localização	23
3.5. Energia Incorporada/Emissões CO _{2e}	24
3.6. Produção Fotovoltaica	26
3.7. Balanço Nulo de Energia no Ciclo de Vida.....	27
3.8. Avaliação de cenários.....	28
3.8.1. Ventilação natural	28
3.8.2. Orientação.....	29

3.8.3.	Sensor de Luz.....	29
3.8.4.	Sombreamento.....	29
3.8.5.	Construção	30
4.	Resultados	31
4.1.	Fatores Comuns.....	31
4.1.1.	Localização	31
4.1.2.	Produção Fotovoltaica.....	33
4.2.	Projeto 1 – Contentor.....	34
4.2.1.	Planta.....	35
4.2.2.	Cargas	36
4.2.3.	Avaliação de cenários.....	38
4.2.4.	Caso Final.....	43
4.2.5.	Comparação	48
4.2.6.	Incerteza.....	49
4.2.7.	Resultado Final	51
4.3.	Projeto 2 – Moradia	52
4.3.1.	Planta.....	52
4.3.2.	Cargas	54
4.3.3.	Avaliação de cenários.....	55
4.3.4.	Caso Final.....	60
4.3.5.	Comparação	64
4.3.6.	Incerteza.....	66
4.3.7.	Resultado Final	68
5.	Discussão de Resultados	70
6.	Conclusões.....	75
7.	Referências.....	76
8.	Anexos.....	78

Índice de Figuras

Figura 1.1: Produção de energia final mundial por região (Eurostat 2016 [1]).....	1
Figura 1.2: Consumo de energia final mundial por região (Eurostat 2016 [1]).....	2
Figura 1.3: Efeito de estufa: emissão e absorção dos raios infravermelhos [2].....	2
Figura 1.4: Emissões mundiais de CO ₂ para a atmosfera por região (Eurostat 2016 [1]).....	3
Figura 1.5: Dependência energética de energia importada na EU-28, 2016 [1].....	4
Figura 1.6: Consumo de energia final por sector para a EU-28, 2014 [3].....	4
Figura 1.7: Consumo de energia final por sector na EU, 2014 [3].....	5
Figura 1.8: Fracionamento da área de pavimento útil do setor dos edifícios na UE com particularização do setor de edifícios não-residenciais, 2011 [7].....	6
Figura 1.9: Fachada frontal e esquematização da ventilação natural no edifício Solar XXI.....	8
Figura 2.1: Balanço energético esperado de um edifício nZEB ou NZEB [23].....	12
Figura 3.1: Representação esquemática dos processos de transferência de calor no edifício [19].....	16
Figura 3.2: Campos do <i>EnergyPlus</i> associados à definição do sistema PV.....	26
Figura 4.1.1: Campos do <i>EnergyPlus</i> associados à definição da localização.....	31
Figura 4.1.2: Variação da temperatura exterior ao longo de um ano típico para Coimbra.....	32
Figura 4.1.3: Número de horas para as diferentes classes de temperatura ao longo do ano típico para Coimbra.....	32
Figura 4.1.4: Variação da produção do painel solar para as diferentes inclinações testadas.....	33
Figura 4.2.1: Representação de um contentor marítimo ainda em serviço de transportes [31]....	34
Figura 4.2.2: Planta base para teste de cenários do Projeto 1.....	35
Figura 4.2.3: Condições fronteira para as superfícies do edifício.....	36
Figura 4.2.4: Representação do modelo base do Projeto 1 no programa <i>Sketchup</i>	36
Figura 4.2.5: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da ventilação natural.....	39
Figura 4.2.6: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da orientação.....	39
Figura 4.2.7: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sensor de iluminação natural.....	40
Figura 4.2.8: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sombreamento e janelas.....	41

Figura 4.2.9: Variação do consumo nos 30 anos de iluminação, AVAC e EE para o cenário da construção / energia incorporada no Projeto 1	42
Figura 4.2.10: Aproximação tomada na escolha do caso a seguir.....	43
Figura 4.2.11: Variação do consumo mensal para o caso final.....	45
Figura 4.2.12: Concentração de dióxido de carbono no interior das zonas para o caso final do Projeto 1.....	47
Figura 4.2.13: Composição do consumo energético e produção PV do Projeto 1	48
Figura 4.2.14: Composição das emissões associadas aos vários casos alternativos do Projeto 1	49
Figura 4.2.15: Consumo para os casos alternativos do Projeto 1 e respetiva incerteza cometida.....	50
Figura 4.2.16: Emissões para os casos alternativos do Projeto 1 e respetiva incerteza cometida	50
Figura 4.2.17: Perspetiva SW do edifício final desenvolvido em <i>Sketchup</i>	51
Figura 4.3.1: Planta base para teste de cenários do Projeto 2.....	53
Figura 4.3.2: Representação do modelo base do Projeto 2 no programa <i>Sketchup</i>	53
Figura 4.3.3: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da ventilação natural.....	56
Figura 4.3.4: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da orientação.....	56
Figura 4.3.5: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sensor de iluminação natural.....	57
Figura 4.3.6: Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sombreamento e janelas.....	58
Figura 4.3.7: Variação do consumo nos 30 anos de iluminação, AVAC e EE para o cenário da construção / energia incorporada no Projeto 2	59
Figura 4.3.8: Aproximação tomada na escolha do caso a seguir.....	60
Figura 4.3.9: Variação do consumo mensal para o caso final.....	61
Figura 4.3.10: Intervalos de temperatura fornecidos ao sistema de climatização no Projeto 2....	63
Figura 4.3.11: Concentração de dióxido de carbono no interior das zonas para o caso final do Projeto 2.....	64
Figura 4.3.12: Composição do consumo energético e produção PV do Projeto 2.....	65
Figura 4.3.13: Composição das emissões associadas aos vários casos alternativos do Projeto 2.....	65
Figura 4.3.14: Consumo para os casos alternativos do Projeto 2 e respetiva incerteza cometida.....	66

Figura 4.3.15: Emissões para os casos alternativos do Projeto 2 e respetiva incerteza cometida	67
Figura 4.3.16: Perspetiva SUL do edifício final desenvolvido em <i>Sketchup</i>	68
Figura 6.1: Fracionamento do consumo energético final do Projeto 1.....	70
Figura 6.2: Fracionamento do consumo energético final do Projeto 2.....	70
Figura 6.3: Emissões associadas ao Projeto 1.....	71
Figura 6.4: Emissões associadas ao Projeto 2.....	72
Figura 6.5: Emissões para as três tipologias de edifícios consideradas.....	73
Figura A.1 - Interface inicial do <i>EnergyPlus</i>	78
Figura A.2 - Campos a definir para a simulação em <i>EnergyPlus</i>	79
Figura A.3 - Definição do campo <i>People</i> no <i>EnergyPlus</i> para o Projeto 1.....	80
Figura A.4 - Resumo dos equipamentos considerados e respetivas potências para o Projeto 1	80
Figura A.5 - Resumo dos equipamentos considerados e respetivas potências para o Projeto 2	81
Figura A.6 - Propriedades para o cálculo da necessidade de AQS no Projeto 1.....	81
Figura A.7 - Esquematização da obtenção da Latitude e Longitude.....	82
Figura A.8 - Interface da ferramenta <i>Excel</i> para cálculo da altura solar.....	82
Figura A.9 - Folha de especificações do painel <i>SPR-X21 335</i> utilizado.....	83
Figura A.10 - Localização de Coimbra no mapa nacional.....	83
Figura A.11 - Níveis de iluminância considerados para os Projetos 1 e 2.....	84
Figura A.12 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição da iluminação no Projeto 1.....	84
Figura A.13 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição dos equipamentos no Projeto 1.....	84
Figura A.14 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição das AQS no Projeto 1.....	85
Figura A.15 - Metodologia para obtenção da potência a definir no <i>EnergyPlus</i> para as AQS no Projeto 1.....	85
Figura A.16 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição da ventilação natural no Projeto 1.	86
Figura A.17 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição do sensor de luz (<i>daylight sensor</i>) no Projeto 1	86
Figura A.18 - Exemplos de casos testados no cenário Construção no Projeto 1.....	87
Figura A.19 - Consumo anual de Iluminação e AVAC para os casos do cenário Construção no Projeto 1.....	87
Figura A.20 - Construção "convencional" para o edifício do Projeto 1.....	87

Figura A.21 - Consumo mensal por carga para o Projeto 1.....	88
Figura A.22 - Representação gráfica do consumo mensal do Projeto 1.....	88
Figura A.23 - Consumo mensal para as várias cargas do caso alternativo (B) do Projeto 1.....	89
Figura A.24 - Consumo mensal para as várias cargas do caso convencional (C) do Projeto 1	89
Figura A.25 - Consumo mensal para as várias cargas do caso Reciclagem (D) do Projeto 1.....	89
Figura A.26 - Perspetiva SE do caso B do Projeto 1.....	90
Figura A.27 - Perspetiva SW do interior do caso A do Projeto 1	90
Figura A.28 - Perspetiva SE do caso A do Projeto 1.....	90
Figura A.29 - Orçamento para o Projeto 1.....	91
Figura A.30 - Esquematização do campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição das condições fronteira das superfícies para o Projeto 1.....	92
Figura A.31 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição da ocupação das pessoas no Projeto 1.....	92
Figura A.32 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição da iluminação no Projeto 1.....	92
Figura A.33 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição dos equipamentos no Projeto 1.....	92
Figura A.34 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição das Águas Quentes Sanitárias (AQS) no Projeto 1.....	92
Figura A.35 - Metodologia para obtenção da potência a definir no <i>EnergyPlus</i> para as AQS no Projeto 2.....	93
Figura A.36 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição da ventilação natural no Projeto 2.....	93
Figura A.37 - Campo do <i>EnergyPlus</i> associado à definição do sensor de luz (<i>daylight sensor</i>) no Projeto 2.....	94
Figura A.38 - Esquematização da localização dos sensores de medição de radiação solar no Projeto 2.....	94
Figura A.39 - Exemplos de casos testados no cenário Construção no Projeto 2.....	94
Figura A.40 - Consumo anual de Iluminação e AVAC para os casos do cenário Construção no Projeto 2.....	95
Figura A.41 - Esquematização da construção que representa o melhor caso desse cenário para o Projeto 2.....	95
Figura A.42 - Representação gráfica do consumo mensal do Projeto 2.....	95
Figura A.43 - Concentração de CO ₂ no interior das zonas do Projeto 2.....	96
Figura A.44 - Perspetiva realista Sul do Projeto 2.....	96
Figura A.45 - Perspetiva realista Topo do Projeto 2.....	97

Figura A.46 - Perspetiva NW do Projeto 2.....	97
Figura A.47 - Consumo mensal por carga para o caso D (LC-ZEB) do Projeto 2.....	97
Figura A.48 - Consumo mensal por carga para o caso C (Convencional) do Projeto 2.....	98
Figura A.49 - Esquematização da construção "tradicional" para o Projeto 2	98
Figura A.50 - A Esquematização do melhor caso para o cenário da construção para o Projeto 1	98

Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Valores de iluminância exigidos por atividade	20
Tabela 3.2 - Determinação das variáveis associadas ao COP [27]	23
Tabela 4.2.1 - Dimensões de um contentor marítimo do tipo HC (<i>High Cube</i>) [32]	35
Tabela 4.2.2 – Resultados para a produção e consumo finais do Projeto 1	46
Tabela 4.2.3 - Tempo de retorno dos painéis solares para os valores limite	51
Tabela 4.3.1 - Resultados para a produção e consumo finais do Projeto 2	62
Tabela 4.3.2 - Tempo de retorno dos painéis solares para os valores limite	68
Tabela 6.1 - Poupanças monetárias para os projetos realizados	73
Tabela A.1 - Descrição dos casos de ventilação natural testados no Projeto 1	99
Tabela A.2 - Descrição dos casos de sombreamento/janelas testados no Projeto 1	99
Tabela A.3 - Descrição dos casos de ventilação natural testados no Projeto 2	100
Tabela A.4 - Descrição dos casos de sombreamento/janelas testados no Projeto 2	100

Acrónimos

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Comissão Europeia
CO₂	Dióxido de Carbono
CO_{2e}	Dióxido de Carbono Equivalente
COP	Coefficiente de Performance
EC	Carbono Incorporado
EE	Energia Incorporada
EM	Estado-Membro
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
ICE	Inventory of Carbon and Energy
LC-ZEB	Life Cycle Zero Energy Building
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
nZEB	Nearly Zero Energy Building
NZEB	Net Zero Energy Building
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PV	Fotovoltaico
RPH	Renovações por Hora
Tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
UE	União Europeia
ZEB	Zero Energy Building

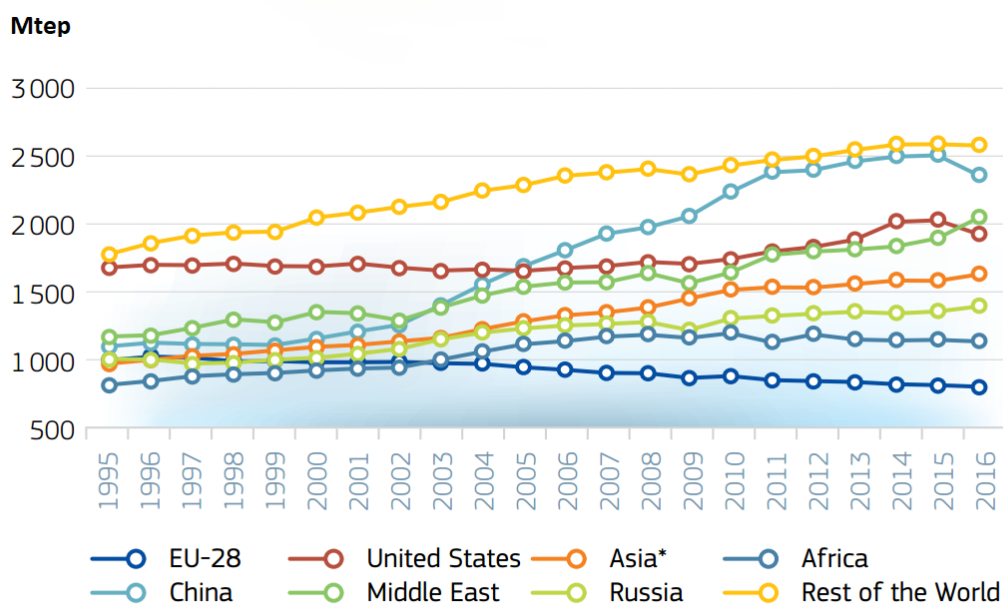
1. Introdução

1.1. Enquadramento

Nas últimas décadas, a sociedade experimentou uma evolução na sua qualidade de vida, garantida pelo desenvolvimento industrial e tecnológico que se vem verificando, levando ao aumento da exploração de recursos para satisfazer as suas necessidades.

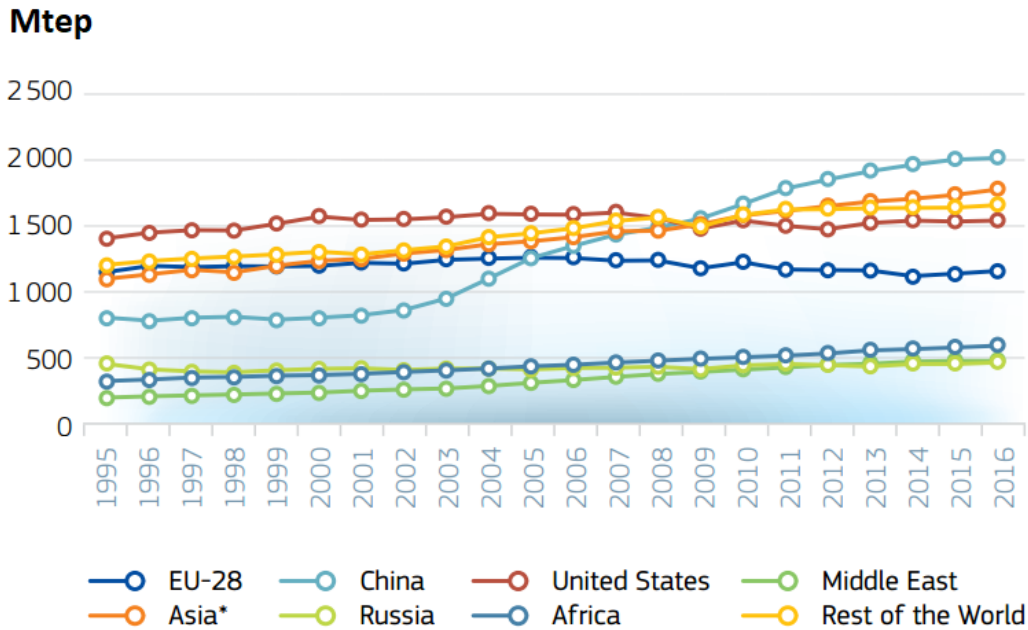
Nesse período, o consumo energético aumentou exponencialmente, devido também ao desenvolvimento económico e à utilização de máquinas para substituir o trabalho manual, e com ele as emissões de gases como o dióxido de carbono (CO₂) que degradam a atmosfera terrestre, provocando alterações nos padrões climáticos. A energia é um dos vetores mais importantes da atualidade e a sua produção representa um número excecional de processos, que vão desde a obtenção dos recursos até à entrega da energia sob a forma final pronta a utilizar. Desses processos destaca-se, na maioria das fontes, a combustão do minério, que liberta poluentes na atmosfera terrestre, tornando-se assim essencial a redução do consumo de energia a nível mundial. Com o intuito de contrariar o aumento das emissões e da exploração de recursos, começaram a surgir estudos sobre o consumo de energia, que representam o início da temática da sustentabilidade.

De acordo com o Eurostat [1], podemos constatar diversos factos sobre o consumo e dependência energéticos. Analisando o panorama global, verifica-se claramente a insaciável necessidade de energia dos vários países, em especial as maiores potências mundiais, como a China e Estados Unidos da América (EUA), que apresentam um papel fundamental neste processo energético. As Figuras 1.1 e 1.2 mostram a produção e o consumo energéticos, respetivamente, por zona do globo, destacando-se o aumento do consumo da China. De salientar também o défice de produção na Europa, onde se consome aproximadamente o dobro do que se produz, contrariamente ao Médio Oriente, onde se produz energia em excesso relativamente ao seu consumo.



* non OECD and OECD Asia, excluding China.

Figura 1.1 - Produção de energia final mundial por região (Eurostat 2016 [1])



* non OECD and OECD Asia, excluding China.

Figura 1.2 - Consumo de energia final mundial por região (Eurostat 2016 [1])

Analisando as figuras apresentadas, verifica-se que a China passou a produzir, em 2010, sensivelmente o dobro do que em 1995, à semelhança dos restantes que aumentaram a produção, apesar de numa escala menor. Também no consumo (Figura 1.2) se verifica um grande aumento na China, que praticamente triplicou, contrariamente a muitos outros casos, onde se verificam reduções no consumo e que se devem, na maioria, a um aumento na eficiência energética. Quanto ao Médio Oriente, verifica-se um excesso de produção muito elevado, onde se consumiu cerca de 700 Mtep face a uma produção de 1700 Mtep. Este excesso torna-se essencial a países em que a sua produção não é suficiente e com necessidade de recurso à importação de energia.

Associada à produção e consumo já referidos, encontra-se o aumento das emissões de gases que provocam o efeito de estufa (Figura 1.3). O conceito refere-se a situações em que a radiação infravermelha é emitida pela superfície terrestre e absorvida por determinados gases presentes na atmosfera, os denominados gases de efeito de estufa (GEE). Como consequência disso, parte do calor é irradiado de volta para a superfície terrestre, não sendo libertado para o espaço [2]. Esse aprisionamento da radiação infravermelha leva a um aumento da temperatura, o qual denomina-se aquecimento global, e que provoca alterações ambientais.

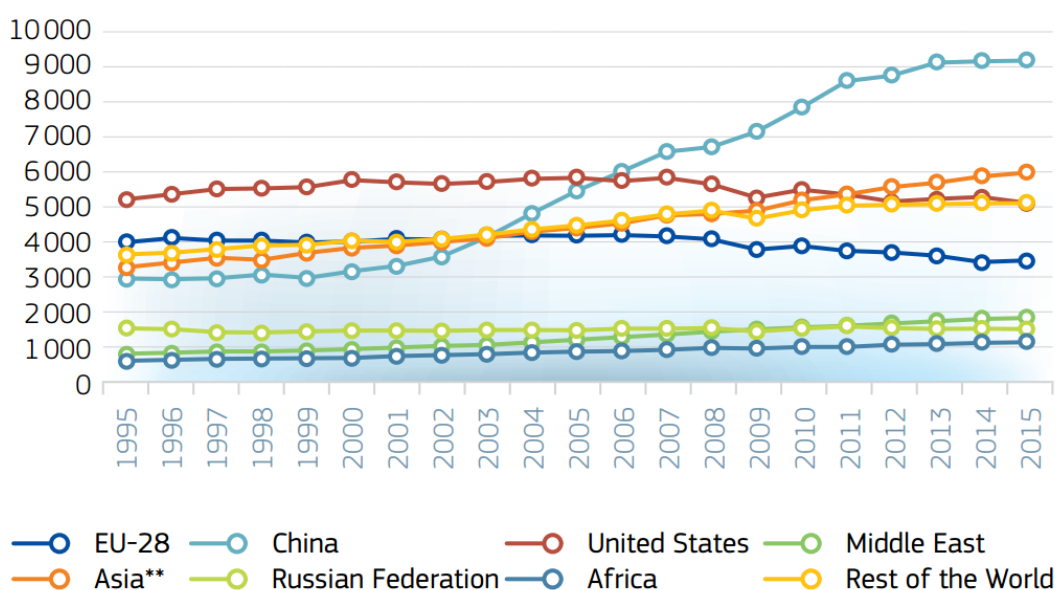


Figura 1.3 - Efeito de estufa: emissão e absorção dos raios infravermelhos [2]

Desses GEE faz parte o dióxido de carbono (CO₂), que contribuem para o efeito mencionado, daí o facto das emissões de CO₂ serem um dos temas mais relevantes da atualidade. Dado o seu papel neste contexto, a sua redução passou a ser o objetivo principal e todos os esforços energéticos, quer o aumento do desempenho dos edifícios quer a redução da exploração de recursos, visam este objetivo.

Os resultados para as emissões são os expectáveis, assemelhando-se muito à variação do consumo energético, pois são dois conceitos que se encontram intrinsecamente ligados. A Figura 1.4 ilustra as emissões de CO₂ para a atmosfera por zona do globo, segundo a Eurostat [1], tendo-se um total de 31375 Mio tonCO₂ em 2010. Mais uma vez, salienta-se a evolução por parte da China, que triplicou as suas emissões de dióxido de carbono no período de tempo 1995-2015.

Mio ton CO₂



* Contains CO₂ emissions from fuel combustion and international maritime and aviation bunkers.
 ** non OECD and OECD Asia, excluding China.

Figura 1.4 - Emissões mundiais de CO₂ para a atmosfera por região (Eurostat 2016 [1])

Relativamente à dependência energética, que traduz a energia que um país importa, quer por não aproveitar o recurso quer pela sua inexistência, como o petróleo na Europa, pode verificar-se que existe um aumento ao longo dos anos. Analisando a Figura 1.5, obtém-se que essa dependência passou de cerca de 43% em 1995 para 53.6% em 2016, para a EU-28. Além disso, verifica-se um aumento na dependência destes países para combustíveis fósseis, petróleo e gás natural, que representam fontes muito poluentes. Essa dependência salienta a necessidade de energia por parte da EU-28 e a falta de adoção de fontes de energia renovável, uma vez que estes países apresentam condições de clima favoráveis para a produção de energia limpa, de modo a satisfazer as necessidades energéticas de forma não poluente (renováveis). Esse aumento deve-se à crescente necessidade de energia e, como estes países são essencialmente não produtores, têm de importar a energia.

EU-28 Dependência de Energia Importada, por combustível (%)

	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Total	43.1	46.7	52.1	52.7	53.9	53.6
Combustíveis Fósseis	21.4	30.6	39.4	39.4	42.4	40.2
dos quais Carvão Bruto	29.7	42.5	55.6	57.9	63.6	61.2
Petróleo e Produtos	74.1	75.7	82.2	84.5	88.8	86.7
dos quais Crude e GNL	73.0	74.4	81.3	84.6	88.4	87.4
Gás Natural	43.4	48.9	57.1	62.5	69.0	70.4

Figura 1.5 - Dependência energética de energia importada na EU-28, 2016 [1]

Focando agora no panorama europeu (EU-28), o consumo energético também apresentou uma variação considerável, onde se verificou um ligeiro aumento desde 1990. Contudo, a promoção de medidas de eficiência energética fez com que esse consumo viesse a diminuir na última década.

Na EU-28, o consumo energético atingiu um pico no ano de 2006. Comparativamente a 1990, onde o consumo de energia final foi de 1081.2 Mtep, o ano de 2006 apresentou um aumento de cerca de 10.3%, com o valor de 1192.6 Mtep, informação que se pode verificar na Figura 1.6 e fornecida pela Agência Europeia do Ambiente [3].

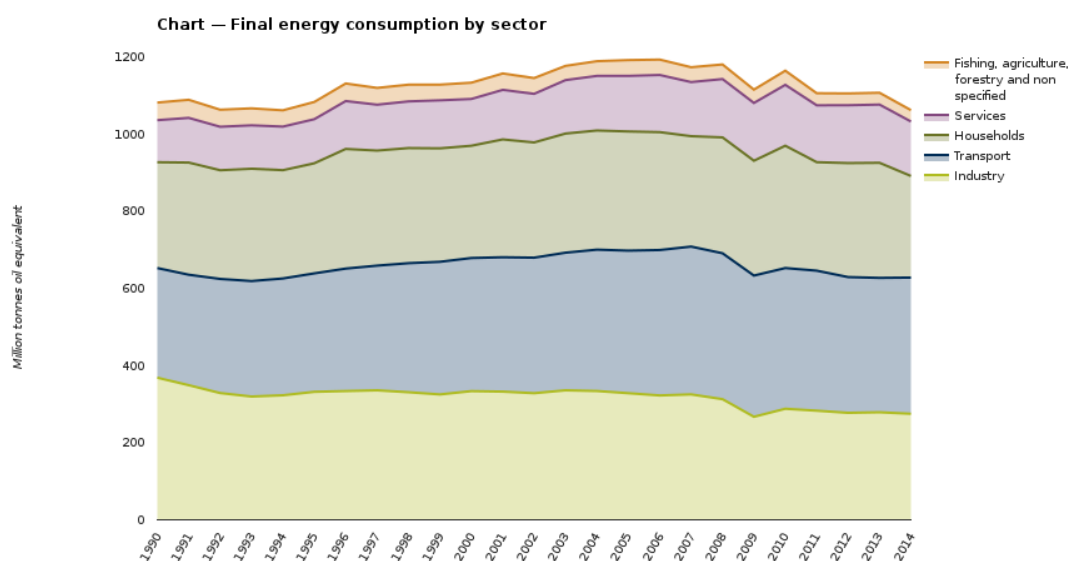


Figura 1.6 - Consumo de energia final por sector para a EU-28, 2014 [3]

O ano mais recente para o qual existem dados na Agência Europeia do Ambiente é 2014 e indica uma redução do consumo de energia final para 1061.6 Mtep, que representa um valor menor ao verificado em 1990.

O crescimento acentuado das exigências de conforto, por um lado, e a necessidade de economizar e racionalizar o uso de energia, por motivos de escassez de recursos e impactos ambientais negativos, pelo outro, conferem atualmente ao comportamento térmico dos edifícios uma elevada importância [4]. Além de serem responsáveis por uma fração considerável do consumo, representam também um dos setores em que menor evolução em termos de eficiência energética se tem verificado, contrariamente a todos os outros setores. Torna-se assim essencial o seu desenvolvimento para o cumprimento dos objetivos energéticos e de emissões estipulados pelo

Conselho Europeu, e a alteração do comportamento térmico dos edifícios, garantindo menores consumos de energia, mantendo as condições de conforto exigidas.

Na atualidade, estima-se que os edifícios representem cerca de 40% do consumo total de energia e um terço das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) na União Europeia (EU), como demonstrado pela Figura 1.7 da Agência Europeia do Ambiente [3], provando ser um setor ainda mais influente que a indústria e transportes, dada a sua vastidão. Também a Diretiva 2002/91/EC [5] e a Diretiva 2010/31/EU [6] já o vinham a referir, no intuito de despertar o interesse de estudos no contexto do uso de energia.

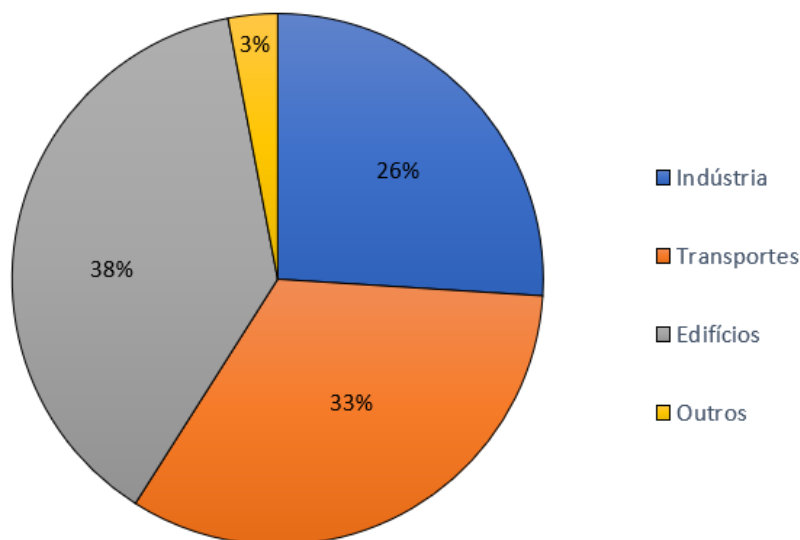


Figura 1.7 - Consumo de energia final por sector na EU, 2014 [3]

Dada a dimensão do setor dos edifícios no consumo de energia final, torna-se essencial desenvolver e aplicar medidas que aumentem o seu desempenho energético. Através da Figura 1.6, pode verificar-se que, com o ligeiro aumento nas condições de habitação, nomeadamente temperatura adequada e qualidade de ar interior, o consumo por parte dos edifícios foi aumentando, o que apenas representa uma fração do problema, pois grande parte dos sistemas que garantem conforto não são elétricos, utilizando-se na maioria dos casos combustíveis fósseis, aos quais estão associadas emissões GEE.

Os edifícios podem ainda ser distribuídos por duas categorias e que se baseiam na atividade para a qual foram desenvolvidos: serviços ou residenciais. Analisando a Figura 1.8, que diz respeito ao fracionamento da área de pavimento útil do setor dos edifícios na EU [7], verifica-se que o setor residencial representa cerca de 75% do edificado, pelo que o desenvolvimento das características ótimas para essa categoria apresenta uma importância acrescida.

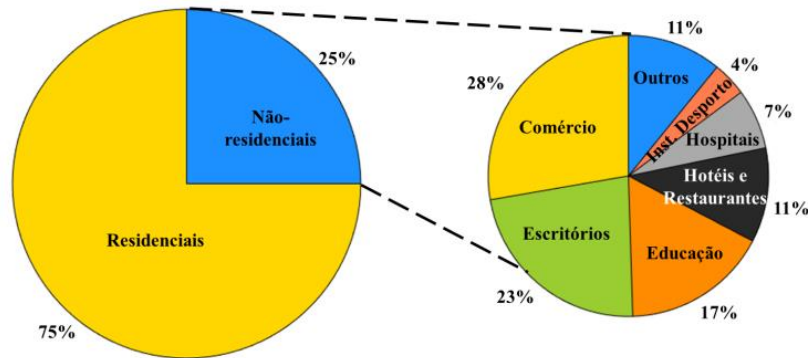


Figura 1.8 - Fracionamento da área de pavimento útil do setor dos edifícios na UE com particularização do setor de edifícios não-residenciais, 2011 [7]

Apesar do setor residencial representar 75% dos edifícios, tal não representa que sejam responsáveis por 75% do consumo energético. Os edifícios de serviços apresentam, geralmente, equipamentos ligados ao longo de todo o dia, contrariamente aos residenciais, apresentando maior consumo por edifício.

Perante a situação ambiental verificada, a EU desenvolveu um conjunto de políticas, com requisitos específicos, que tornem os edifícios mais eficientes e que se aplique a todos os Estados Membros (EM). Estas políticas, apresentadas sob a forma de diretivas vinculativas, forçam a que exista um aumento na eficiência energética dos edifícios, levando à redução do consumo e contribuindo para que se cumpram os objetivos propostos nos acordos internacionais.

A Diretiva 2010/31/EU requer que todos os seus Estados Membros assegurem níveis ótimos de rentabilidade para os requisitos mínimos de desempenho energético de edifícios. Adicionalmente, esta diretiva estipula que até ao fim do ano de 2020 todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), e que até ao fim de 2018, os edifícios novos ocupados ou detidos por entidades públicas sejam edifícios nZEB [6].

A temática da sustentabilidade e eficiência energética tem vindo a registar uma importância crescente devido a um conjunto de fatores como o consumo energético e as emissões mencionadas acima, assim como a escassez de recursos e o impacto do aquecimento global. Contudo, a preocupação pelo ambiente e a tomada de medidas a respeito não se trata de uma questão atual. Apesar de não existir uma data concreta, os movimentos ambientalistas começaram há muitos anos, onde se acreditava que o desperdício e destruição de recursos levaria à destruição do planeta [8]. Esses movimentos viriam a ser mais frequentes após a enorme industrialização ocorrida depois da Segunda Guerra Mundial, verificando-se o crescimento exponencial urbano e o consumo desenfreado de recursos. Em 1949, faz-se a Conferência das Nações Unidas, em Paris, e em 1960, origina-se o Clube de Roma, ambos eventos que visavam a discussão de problemas ambientais no intuito de estabelecer algumas regras e objetivos para os evitar, o que acabou por não se verificar. Em 1972, cria-se a Carta de Estocolmo, que destacava a importância de uma nova postura da sociedade e um uso mais adequado dos recursos naturais, sem pôr em risco as gerações futuras, que veio delinear o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Apenas 20 anos depois, em 1992, no Rio de Janeiro, decorre a Conferência Rio-92, onde se formula a Agenda 21, que é um programa global que regulamenta o processo de desenvolvimento com base em princípios de sustentabilidade. Dadas as evoluções que se foram verificando, propõe-se em 2002, em Joanesburgo, a revisão e reformulação dessa Agenda 21, que pretendia a renovação dos

objetivos definidos por cada país. Em 2010 é então estabelecida a diretiva que ainda hoje se encontra em vigor e que define objetivos muito específicos em termos de desempenho e consumo.

A sustentabilidade nos edifícios tem vindo a assumir uma importância crescente na sociedade atual, uma vez que o setor da construção é um dos setores mais influentes a nível global, quer pela sua produção de bens e serviços, quer pelo consumo a que está associado. Na Europa, a Comissão Europeia (CE) tem-se debruçado sobre o assunto afincadamente, estabelecendo metas extremamente ambiciosas, com o intuito de minimizar os impactos ambientais provocados pela atividade da construção, entre outras indústrias, e pelo património já construído, como ficou decretado com a Diretiva 2010/31/EU [6]. Foi realizada uma reformulação da diretiva respeitante ao desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de conseguir uma otimização da eficiência energética dos mesmos. Dessa forma, prevê-se uma redução de 5% a 6% do consumo energético e de 5% das emissões de CO₂ até 2020 em toda a UE. Para tal, pretende-se que nessa data, todos os novos edifícios sejam edifícios de necessidades quase nulas de energia (nZEB). Esta Diretiva encontra-se descrita com mais atenção no Capítulo 2.2.1. Dada a evolução da tecnologia e de materiais disponíveis, é possível o desenvolvimento de edifícios com necessidades nulas de energia, que contrariamente aos indicados pela Diretiva 2010/31/EU, produzem a totalidade da energia consumida em fase de operação.

Os edifícios LC-ZEB (*Life Cycle Zero Energy Buildings*) representam um conceito novo e ainda não existe nenhum exemplo concreto. O englobar da energia associada aos materiais e aos painéis no balanço energético permite a avaliação completa do consumo do edifício, permitindo concluir o seu impacto real. Ao contrário dos NZEB, edifícios que apresentam necessidades nulas de energia, onde se produz uma quantidade de energia maior ou igual que a consumida anualmente na sua operação, não são analisadas as medidas que se praticam para o conseguir, que podem representar consumos ou emissões superiores ao que o consumo evitado implicaria. Com este conceito, evita-se também o sobredimensionamento de sistemas PV, pois a sua energia incorporada é contabilizada, o que promove o aumento da eficiência energética de modo a conseguir o mínimo consumo possível.

Assim, surge a necessidade de um desenvolvimento e uma aplicabilidade de edifícios de necessidades nulas de energia, onde a quantidade de energia produzida é igual ou superior à quantidade de energia consumida pelo edifício, no seu ciclo de vida, considerado 30 anos, incluindo-se a energia consumida para a produção dos materiais e painéis que são utilizados. Os referidos edifícios permitem uma significativa redução do consumo energético e apresentam-se como uma solução à redução das emissões, nomeadamente o CO₂ que é estudado. São ainda a prova de que a sustentabilidade de um processo pode ser atingida numa vasta gama de setores e é essencial que se priorize a redução do impacto negativo da atividade humana no planeta. Os Estados Membros têm de planificar as suas estratégias de modo a fomentar a construção destes edifícios e assim aumentar o número deste tipo de edifícios. Tem-se verificado recentemente uma crescente preocupação em construir edifícios deste género, já existindo, no entanto, alguns protótipos, em particular os que seguem o conceito de nZEB ou NZEB (*net zero*).

Em Portugal, os edifícios LC-ZEB em questão ainda se apresentam como um conceito novo e com algum preconceito associado, focando-se muito na construção tradicional, o que apenas começa a ser alterado com a entrada em vigor da legislação mencionada, nomeadamente a certificação energética e os parâmetros mínimos de desempenho. Não obstante, existem alguns exemplos de edifícios de necessidades quase nulas de energia e até mesmo NZEB, destacando-se o edifício Solar XXI existente no *Campus* do LNEG [9], como mostrado na Figura 1.9.

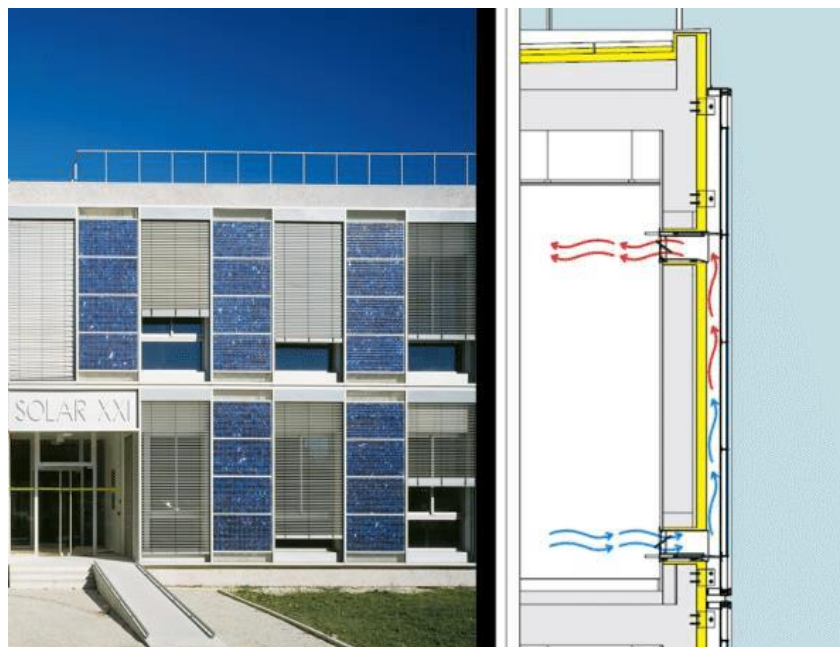


Figura 1.9 - Fachada frontal e esquematização da ventilação natural no edifício Solar XXI.

1.2. Objetivo

A presente dissertação tem como principal objetivo projetar duas tipologias diferentes de edifícios LC-ZEB em Coimbra, com recurso a modelação 3D, ao *EnergyPlus* e à base de dados ICE, de modo a garantir o conforto dos habitantes em termos de temperatura e qualidade do ar, de forma que cumpram os objetivos da Diretiva 2010/31/EU. Dada a variabilidade da informação, pretende-se avaliar a incerteza nos resultados, garantindo que estes são precisos o suficiente para serem considerados válidos.

Esta tentará também contribuir para uma melhor compreensão do que se tratam os edifícios LC-ZEB e a influência que poderão apresentar no consumo energético, descrevendo detalhadamente e de forma simples o processo seguido, nomeadamente a definição das suas cargas, as características essenciais do edifício, a ocupação e os sistemas que permitem a satisfação das exigências por parte dos ocupantes.

É igualmente objetivo da presente dissertação comparar os edifícios LC-ZEB e a construção tradicional face a consumos e impactos negativos a que estão associados, demonstrando a importância da sua aplicação no edificado, onde se analisa o consumo energético final para cada caso, as emissões de dióxido de carbono equivalente e o custo final do edifício, pretendendo-se comprovar que, além de ser uma solução para a problemática do consumo e das emissões, são também edifícios com um custo acessível e comparável com a construção tradicional, reduzindo o preconceito da construção.

Dada a importância das emissões de CO₂ no problema tratado, é realizada uma análise de emissões evitadas, assim como o impacto da produção renovável no edifício.

1.3. Estrutura

De modo a cumprir os objetivos mencionados e de modo a tornar o processo compreensível, dada a vasta amplitude de conceitos analisados, a presente dissertação encontra-se organizada do seguinte modo:

- O Capítulo 1 (presente capítulo) apresenta uma introdução ao consumo energético, a sua distribuição e a sua influência nos fatores ambientais, à sustentabilidade e a importância do setor da construção, a contribuição dos edifícios no consumo, assim como a descrição dos principais objetivos e a estrutura adotada para tratar do assunto referido.
- O Capítulo 2 apresenta uma descrição de alguns conceitos utilizados e a discussão do enquadramento legal que se aplica atualmente, detalhando os objetivos da diretiva em vigor. É também analisada a evolução do conceito de balanço de energia nulo, discutindo a sua evolução e as considerações para determinação do balanço nulo.
- O Capítulo 3 descreve o método utilizado no desenvolvimento do presente trabalho, com especial foco no modelo numérico computacional *EnergyPlus* que é a base da simulação energética, e no tratamento de dados, destacando o processo de obtenção do melhor caso em cada situação avaliada, que consiste no caso com menor consumo de energia final. Também se apresenta a descrição dos parâmetros essenciais ao desenvolvimento do projeto, desde as cargas assumidas e a sua definição no programa de simulação até à descrição dos cenários avaliados e o método de melhor caso.
- Os Capítulos 4 e 5 sintetizam os dois casos práticos desenvolvidos e os principais resultados obtidos, assim como a descrição do edifício, dos consumos e hábitos praticados e os parâmetros que são essenciais à avaliação energética. É ainda apresentada uma comparação com o caso de construção tradicional em termos de consumo e emissões evitadas, assim como um estudo da incerteza.
- O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões a retirar da dissertação e sugestões do que será importante implementar num futuro próximo, além de destacar a importância dos edifícios LC-ZEB.

2. Conceitos Teóricos

2.1. Considerações iniciais

Os edifícios são construções que o Homem realiza para criar melhores condições para si e para o proteger, assim como para modificar o ambiente exterior. Para executar essas construções e para as manter em operação, é consumida energia. Contudo, os edifícios podem ser classificados consoante o seu desempenho energético, atividade ou dimensão, sendo o primeiro o aspeto mais importante no presente estudo.

Entende-se por *net zero energy building* (*Net-ZEB*) um edifício que utiliza 0 kWh/m² de energia, normalmente quantificada em energia primária, numa base de tempo anual. Esses encontram-se ligados a redes de energia e possuem um desempenho energético muito elevado. O balanço anual de energia primária de 0 kWh/m² conduz à necessidade de uma produção significativa de energia no local. Portanto, a *net ZEB* produz energia quando as condições são favoráveis, caso contrário usa energia entregue pela rede [10].

Entende-se por energia primária, aquela que provém de fontes renováveis ou de fontes não renováveis, que não tenham sofrido qualquer tipo de processo de conversão ou transformação [10].

De uma forma generalista, um NZEB pode ser descrito como “um edifício que possui elevado desempenho energético” e a energia que ainda é necessária, deverá ser garantida na sua totalidade por fontes renováveis [10].

Entende-se por *life cycle zero-energy building* (*LC-ZEB*) um edifício onde a energia total consumida, dada pela soma entre a usada em operação e a incorporada nos materiais e sistemas constituintes, incluindo sistemas de produção de energia, para o tempo de vida do edifício, é igual ou menor do que a energia produzida pelos sistemas de produção renovável existentes no edifício [11].

Consoante a consideração da energia para o balanço nulo, podem obter-se inúmeras definições para os edifícios ZEB. Contudo, os LC-ZEB são o conceito aqui adotado, uma vez que avaliam o ciclo de vida integral, incluindo o consumo de energia dos materiais utilizados, uma fração muitas vezes ignorada e que representa uma parte muito significativa do consumo total do edifício. Como toda a energia é contabilizada, este conceito promove a eficiência energética, de modo a que o sistema fotovoltaico seja o menor possível, mas adequado ao edifício em que se instala.

As emissões tratadas na presente dissertação são as de “dióxido de carbono equivalente” (CO_{2e}), uma medida internacionalmente padronizada de quantidade de gases de efeito estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano. A equivalência tem em conta o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos e calcula quanto CO₂ seria emitido se todos os gases de efeito estufa fossem emitidos como esse gás. O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Então, dizemos que o CO₂ equivalente do metano é igual a 21 [12].

2.2. Enquadramento legal

A eficiência energética e o aumento do desempenho dos edifícios apenas poderão ser uma realidade se a legislação assim o promover. Num cenário crítico de consumo energético e com a necessidade de uma alteração no desempenho dos edifícios, é criada em 2002 a Diretiva 2002/91/EC [5] com o propósito de dar cumprimento ao Protocolo de Quioto, onde se impõe que a EU reduza até 2010 as suas emissões de CO₂ em 5.2% em relação aos valores registados em 1990. A diretiva foi formulada através da definição de alguns parâmetros chave, nomeadamente a certificação energética para edifícios novos e existentes e a metodologia de cálculo para medição do desempenho energético dos edifícios.

Devido às diferentes condições existentes para cada um dos Estados Membros, tais como clima, cultura ou recursos disponíveis, a sua implementação revelou-se um processo difícil, uma vez que não se conseguiu uma abordagem comum ao nível de toda a UE.

2.2.1. Diretiva 2010/31/EU

A Diretiva 2010/31/EU [6] foi aprovada no dia 19 de maio de 2010 e surgiu com a necessidade de reformular e simplificar a Diretiva 2002/91/EC que lhe precedeu, adicionando algumas exigências e reforçando parte das estipuladas anteriormente de modo a promover a eficiência energética nos edifícios. Veio ainda também reforçar a intenção de reduzir a dependência energética da EU, as emissões de gases como o CO₂, que provocam efeito de estufa, e um aumento do conforto térmico dos utilizadores dos edifícios. Consequentemente, tem-se:

- Até dia 31 de dezembro de 2020, os novos edifícios na EU devem ter necessidades quase nulas de energia e essa deverá ser suprimida maioritariamente por fontes de energia renováveis.
- As autoridades públicas que possuam ou ocupem um edifício devem dar o exemplo construindo ou alugando edifícios de energia quase nula a partir de 31 de dezembro de 2018.
- São introduzidos requisitos mínimos para componentes em todas as substituições e renovações. No caso de grandes obras de renovação, a metodologia de cálculo integrado é o procedimento aconselhado.
- Em todos os Estados Membros será necessário desenvolver um procedimento mais detalhado e rigoroso para emissão de certificados de desempenho energético.

Segundo a mesma, um edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB) é uma construção com um desempenho energético muito elevado, em que as suas necessidades energéticas são quase nulas ou muito baixas e são satisfeitas por fontes de energia renováveis (FER) produzida no local ou nas proximidades.

Estas exigências colocam a eficiência energética num patamar superior de desempenho e o seu cumprimento é de difícil realização. Para tal, a utilização de FER e o uso inteligente de recursos naturais são essenciais e o estudo detalhado do edifício fundamental, onde cada característica deverá ser avaliada.

2.3. Edifícios de elevado desempenho energético

Os edifícios designados de LC-ZEB são construções que apresentam um elevado desempenho energético, com necessidades de energia baixas e que são suprimidas por produção renovável no local. Um LC-ZEB é um edifício onde a soma da energia primária consumida no edifício em operação e a energia incorporada nos materiais e sistemas, incluindo os sistemas produtores de energia, é igual ou menor à quantidade de energia produzida pelos seus sistemas de energia renovável, no seu ciclo de vida, considerado 30 anos. O consumo no ciclo de vida inclui a sua construção, operação e fim de vida. A Figura 2.1 traduz o conceito apresentado, fazendo ainda uma referência ao edifício de comparação usado para realizar a certificação energética e que normalmente representa o caso de construção tradicional, com reduzido desempenho [13].



Figura 2.1 - Balanço energético esperado de um edifício nZEB ou NZEB [23]

Contudo, importa salientar que a definição do conceito apresentado, apesar de ser a mais aceite pela comunidade internacional, é ainda muito recente, assim como o objeto que trata. Na verdade, o conceito que inclui a energia que se consome para a produção dos materiais foi apresentado só em 2010, por Hernandez e Kenny [14], estendendo as fronteiras do conceito a uma visão mais alargada.

A par desta definição, aparecem muitas outras, no decorrer do tempo e da avaliação energética, que limitam o conceito a uma visão mais restrita. A primeira vez que é introduzido o conceito “zero energy” acontece em 1977, por Esbensen e Korsgaard [15], onde se considera uma habitação de energia zero como:

“Com restaurações no âmbito da conservação energética, como uma construção altamente isolada, equipamento de recuperação de calor e sistemas de aquecimento solar, a “Zero Energy House” estará dimensionada para ser auto-suficiente em aquecimento interior e fornecimento de

água quente nas condições climáticas habituais na Dinamarca. O fornecimento de energia para a instalação elétrica será conseguido com recurso às instalações locais”.

Por sua vez, Torcellini et al. (2006) [16] definiu um edifício de energia zero como um edifício residencial ou comercial, com necessidades energéticas reduzidas conseguidas pela aplicação de medidas de eficiência energética, em que o balanço energético pode ser suprido por fontes renováveis, numa base anual. Este foi o primeiro a introduzir uma definição mais ampla e concreta, e a preocupação com o sistema de ponderação de fatores de conversão de energia, dando origem a quatro diferentes definições de ZEB, com base no tipo de compensação pretendida:

- Energia final (*Site ZEB*)
- Energia primária (*Source ZEB*)
- Custo (*Cost ZEB*)
- Emissões equivalentes de dióxido de carbono (*Emission ZEB*)

Este ainda estabeleceu que um edifício ZEB pode ser definido de várias formas, dependendo da fronteira e métrica que se pretende aplicar ao mesmo. Esta depende do objetivo do projeto, das intenções do proprietário, das preocupações relativas ao clima, das emissões de gases de efeito estufa e ao custo da energia.

Também Panagiotidou e Fuller (2013) [17] contribuíram para o desenvolvimento do conceito, onde verificaram que a grande maioria dos estudos omitiam a energia incorporada dos materiais do edifício, construção e demolição, contabilizando apenas a energia de operação. Eles formularam uma das maiores preocupações do contexto energético, que passa pelo sobredimensionamento do sistema produtor, isto é, os edifícios não se encontram necessariamente otimizados para uma redução do consumo, mas sim uma integração de sistemas que produzem energia, o que leva muitas vezes a um sobredimensionamento do sistema solar e sem a aplicação de medidas de poupança energética.

3. Método

O método abordado para a elaboração deste trabalho baseia-se na simulação energética e na avaliação do desempenho energético do edifício. Esta permite a obtenção das características que melhor se adaptam ao edifício, levando a um consumo total menor.

Uma vez que se desenvolveram dois projetos, o modo como se realizam deve ser bem definido, de maneira a que os resultados obtidos, apesar de diferentes entre si, possam ser comparáveis e que as características classificadas como essenciais sejam igualmente testadas em ambos os casos. Assim, começa-se por se identificarem as várias etapas e, posteriormente, faz-se uma descrição do objetivo que apresentam e como se procedeu para tal:

1. Desenvolvimento da planta do edifício, onde as divisões e as respetivas dimensões são definidas, assim como a localização dos vãos (janelas e portas);
2. Elaboração do modelo 3D do edifício na plataforma *Sketchup/EnergyPlus*;
3. Definição das condições fronteira para cada superfície do edifício, assim como a nomenclatura de todos os elementos presentes no projeto (superfícies e vãos);
4. Definição dos campos associados ao clima, localização do edifício e parâmetros associados à simulação, como período de simulação;
5. Definição das cargas que caracterizam o consumo do edifício, definindo todos os equipamentos e ganhos que este experimenta, desde a iluminação, a ocupação das pessoas e os equipamentos utilizados;
6. Estudo das características mais adequadas, através da avaliação de vários cenários, determinando o melhor caso pelo mínimo consumo energético;
7. Desenvolvimento do caso final que reúne a melhor solução de cada cenário avaliado na etapa anterior e verificação do cumprimento das condições de conforto dos ocupantes, assim como estudo económico e de emissões;
8. Análise do consumo energético total, da incerteza nos cálculos executados e das poupanças associadas aos edifícios, quer energéticas quer de emissões de CO_{2e}. Comparação entre caso convencional e eficiente.

Tratando-se de um estudo que envolve maximizar o desempenho energético de um edifício, a primeira etapa consiste em definir as características de um modelo base, que servirá para começar os testes de consumo. Deste modo, torna-se vital que a primeira etapa seja a definição de uma planta desse mesmo edifício, onde as diferentes zonas são apresentadas e dimensionadas, definindo também a localização das janelas e portas (vãos). Esta fase permite o desenvolvimento posterior do edifício em três dimensões no programa *Sketchup*, em que se encontra associado o modelo de simulação *EnergyPlus*. Aqui, recorrendo à planta do edifício realizada anteriormente, definem-se as várias zonas, individualmente e com as medidas internas, atribuindo-se a cada superfície um nome e uma condição fronteira. As condições fronteira determinam as trocas de calor que o edifício experimenta e podem variar desde o contacto com o exterior, com o solo ou com outras superfícies.

A primeira fase no *EnergyPlus* consiste na definição dos campos associados à envolvente, como a localização, tipo de terreno e período de simulação. A definição das temperaturas do solo a 2m é outro dos campos importantes e os seus valores são retirados do ficheiro EPW do clima para a localização escolhida, ficheiro esse disponibilizado pela plataforma do próprio *EnergyPlus* [18].

Uma vez desenvolvido o modelo 3D no programa *Sketchup*, e recorrendo ao programa de simulação *EnergyPlus*, definem-se todos os consumos, ganhos de calor e condições do edifício. O consumo diz respeito à energia que o edifício necessita e define-se através da descrição dos

equipamentos, iluminação e sistema de climatização, que consomem energia elétrica para funcionar. Os ganhos de calor representam uma contribuição para o aquecimento do edifício e que nem sempre é desejado, influenciando a necessidade de uso do sistema de climatização. Por último, as condições que o edifício experimenta representam todos os campos adequados que há a preencher no programa e são exemplo as características do local, como latitude, temperatura do solo a 2m, o intervalo de simulação, características dos materiais usados, horários praticados, entre outros parâmetros. A definição de todas as condições que o edifício apresenta traduz a etapa mais complexa e demorada, devendo ser realizada com a máxima atenção, pois traduz quase na totalidade o consumo que o edifício experimenta. Também na sua definição são assumidas muitas variáveis, pelo que deve haver um senso na sua realização e uma justificação posterior.

Após definidos todos os campos importantes no *EnergyPlus*, pode prosseguir-se ao estudo dos vários cenários, que consiste em testar isoladamente várias soluções de uma dada característica no intuito de determinar qual a melhor, como a orientação, ventilação natural ou construção. Esse processo iterativo permite determinar qual a solução que leva ao menor consumo e o caso final a detalhar será aquele que reúne todas as melhores soluções. Ao estudar cada característica isoladamente, garante-se que a variação no consumo se deve apenas a essa característica, não sendo influenciada por qualquer outra.

Uma vez determinado o conjunto de soluções ideais, isto é, reunidas as melhores soluções nas várias características estudadas, pode detalhar-se o estudo do caso final, que reúne esse mesmo conjunto de soluções. O caso final representa o edifício com o melhor desempenho energético, conseguido pelas melhores soluções estudadas, sendo necessário verificar se são asseguradas as condições de conforto de temperatura e qualidade de ar interior. Com o consumo total deste edifício, pode avaliar-se o peso de cada carga mencionada e uma comparação com a construção tradicional, que representa a maioria das construções atualmente praticadas, com especial atenção no consumo e emissões evitados. Aqui, é também avaliada a incerteza dos cálculos realizados.

Com o intuito de comparar os edifícios LC-ZEB com outros tipos de construção, avaliaram-se vários casos alternativos que podem surgir associados ao respetivo projeto e que apresentam ligeiras diferenças em termos construtivos ou de sistema fotovoltaico, apresentando sempre uma área muito semelhante entre si. Posteriormente, realiza-se uma comparação com o caso “Referência”, que apresenta o desempenho energético mostrado na Figura 2.1 do capítulo anterior e uma construção tradicional, mostrada pela Figura A.20 e A.49 no anexo, para os Projetos 1 e 2, respetivamente, e que não apresenta painéis fotovoltaicos, de modo a descrever a maioria dos edifícios existentes atualmente.

As emissões evitadas representam a quantidade de CO_{2e} que se deixa de emitir ao adotar um sistema produtor renovável e permite demonstrar a influência dos edifícios no panorama energético. Todo o processo de otimização de desempenho energético foca a redução nas emissões de CO_{2e}, avaliando-se quais as medidas para o conseguir e o custo a que se associam.

3.1. Caracterização de Fatores

No presente capítulo pretende-se descrever os fundamentos essenciais ao trabalho realizado e clarificar os parâmetros assumidos para a simulação. Aqui, detalham-se os processos de transferência de calor inerentes ao programa utilizado, enunciam-se os campos mais importantes e o modo da sua obtenção, assim como o processamento de dados resultantes da simulação.

3.2. Transferência de calor

O desempenho energético de um edifício é fortemente influenciado pelos ganhos que este experimenta, pelo que é necessário compreender e quantificar os fenômenos de transmissão de calor presentes. Os fluxos de calor verificados no edifício devem-se a várias fontes, desde fontes de calor interiores, onde o calor é libertado no interior do edifício devido ao funcionamento de equipamentos elétricos, iluminação, climatização ou da presença dos próprios ocupantes, ou da interação com o exterior, onde o clima apresenta um papel preponderante, verificando-se a transmissão de calor pela envolvente e entre as várias zonas através de condução, convecção e radiação, como esquematizado pela Figura 3.1. Enquanto que a condução representa a transferência que ocorre através de um meio material, a convecção diz respeito a uma interação entre a superfície e o ar. De salientar que também as superfícies opacas apresentam ganhos solares, pois estas vão interagindo com o sol.

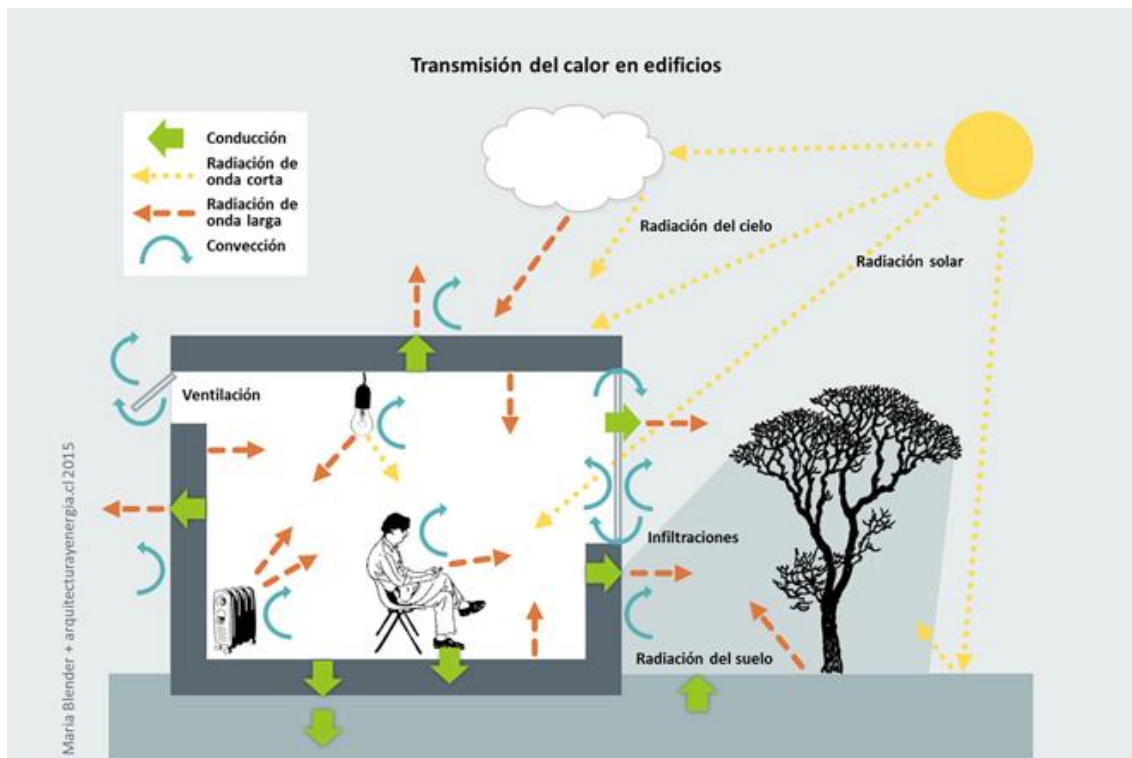


Figura 3.1 - Representação esquemática dos processos de transferência de calor no edifício [19]

Para avaliar o desempenho energético é necessário avaliar estes fenômenos de transmissão de calor em regime transiente, sendo, no entanto, na maioria dos estudos, tomadas algumas aproximações [19]. A conservação de energia de uma zona é expressa pela equação seguinte:

$$G_i + G_s + G_v + G_c = \rho C_p V_s \frac{\delta T}{\delta t} + \sum_{n=1}^k A_n U_n (T_i - T_{sn}) \quad [3.1]$$

Em que:

- G_i – Ganhos internos de uma zona [W]
- G_s – Ganhos solares de uma zona [W]
- G_v – Fluxos de calor associados à ventilação [W]
- G_c – Ganhos associados à climatização [W]

- ρ – Massa volúmica do ar [kg/m³]
- C_p – Calor específico do ar [J/kgK]
- V_s – Volume da zona [m³]
- A_n – Área da superfície n em que se avalia a transferência de calor [m²]
- U_n - Coeficiente de transmissão térmica da zona n [W/m²K]
- T_i – Temperatura do interior da zona [K]
- T_{sn} – Temperatura da zona n [K]

A Equação 3.1 apresenta-se como uma expressão complexa e que visa incorporar todos os fluxos que uma dada zona pode experimentar. Apesar de não ser necessário utilizá-la no presente trabalho, uma vez que o programa de simulação utilizado inclui esta equação na sua base e fornece imediatamente os resultados pedidos, existem parâmetros que se podem assumir e que resultam em equações simplificadas da versão anterior. Considerando que todas as características se mantêm inalteráveis no tempo, isto é, se verifica um estado estacionário, pode determinar-se a densidade de fluxo de calor que uma superfície experimenta. Neste regime, a Lei de Fourier [19] permite a determinação do fluxo de calor através do conhecimento de apenas dois parâmetros, de tal modo que:

$$\dot{q}_x \text{ [W/m}^2\text{]} = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{(T_{se} - T_{si})}{R_{int}} \quad [3.2]$$

Em que:

- \dot{q}_x – Fluxo de calor [W/m²]
- λ_x – Condutividade térmica [W]
- T_{se} – Temperatura superficial exterior [K]
- T_{si} – Temperatura superficial interior [K]
- R_{int} – Resistência térmica do elemento [m²K/W]

A Equação 3.2 permite a obtenção do fluxo de calor que atravessa uma superfície conhecendo apenas a diferença de temperatura entre os dois pontos do elemento e a sua resistência térmica. As aproximações tomadas para a obtenção desta equação são válidas para uma grande parte dos estudos e a sua utilização evita a necessidade de um cálculo mais complexo.

O programa utilizado (*EnergyPlus*), descrito com maior atenção de seguida, inclui os métodos de determinação das transferências de calor na sua base de código, que permite a simulação e o seu funcionamento e, devido à sua interface de campos, onde se definem as várias condições associadas ao edifício e ao local, evita a utilização das referidas equações, pelo que este capítulo apenas serve de resumo aos processos que se verificam.

3.3. Programa *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um programa de simulação e é usado para modelar o consumo de energia de um edifício, como aquecimento, arrefecimento, ventilação, necessidades de águas quentes, entre outras cargas [18]. Ele lê os dados fornecidos através de uma interface associada (*IDF-Editor*) e escreve os resultados num ficheiro de texto, tornando-se um processo simplificado, mas que cobre

a maioria das necessidades, permitindo assim ser a base de todo o desenvolvimento de um edifício de desempenho elevado. Ele apresenta uma interface de trabalho muito simples e que se baseia em comandos que são preenchidos consoante a necessidade e a caracterização do espaço. A Figura A.1 no anexo mostra a interface inicial do *IDF-Editor* do *EnergyPlus* e os campos iniciais a preencher.

A interface inicial é a que apresenta os comandos básicos e que se encontram associados ao funcionamento do próprio programa. Nessa, encontra-se descrita a localização do ficheiro IDF associado ao edifício em estudo e o ficheiro que resume todos os aspetos relacionados com o clima do local. Este ficheiro EPW [20], também fornecido pela própria base de dados do *EnergyPlus*, contém informação sobre o vento, temperatura, humidade relativa, entre outros aspetos. Além disso, a interface apresenta mais alguns comandos que permitem simular, ter acesso aos resultados e aos erros/avisos de simulação, caso existam, e ainda à segunda interface do programa, onde todos os campos se encontram listados.

Dada a extensão de campos possíveis de definir, encontram-se apenas discutidos os mais relevantes para a simulação e o consumo do edifício. Como o programa se encontra no idioma inglês, é colocado entre parêntesis o nome de cada campo como é apresentado na interface.

3.3.1. Inputs simulação

O *EnergyPlus* realiza a simulação de acordo com os parâmetros que se estabelecem para o efeito. Para que um edifício seja ZEB, a energia produzida por FER deve corresponder ou exceder à energia consumida no edifício, numa base anual, logo o primeiro campo a definir tem de ser o período de simulação (*Run Period*), onde apenas é necessário fornecer a data de início e fim, que corresponde ao primeiro e último dia do ano para o caso. O terceiro campo da Figura A.2 no anexo é o local do edifício (*Building*), onde se pode designar o ficheiro IDF em que se trabalha e definir o tipo de terreno em que o edifício se encontra implementado. Essa figura apresenta a maioria dos campos utilizados no desenvolvimento do trabalho da presente dissertação. Cada campo representado nessa figura é acompanhado por um número à esquerda que indica a quantidade de objetos definidos. Alguns dos campos aí mostrados encontram-se definidos por defeito, isto é, são essenciais à simulação, mas não dependem do caso de estudo, apresentando uma definição padrão. Para esses, não será realizada uma explicação nem detalhar os vários objetos.

3.3.2. Horários

O campo denominado por horários (*Schedules:Compact*) é o que permite a definição de todos os horários, como o nome assim o sugere, e apresenta uma extrema importância no projeto. Eles podem ser do tipo fração, “*On/Off*”, valor de temperatura e “*Any Number*”, entre outros raramente utilizados, e consoante a definição que se pretenda, deve ser escolhido o seu tipo. O modo como é utilizado é igual para todos, onde o programa vai analisar o campo em que é chamado o horário e multiplicar este pelo valor fornecido, que representa uma espécie de valor máximo. Por exemplo, o número de pessoas que se verifica numa dada zona é dado pela multiplicação do número máximo de pessoas que essa zona alguma vez terá e o horário de frações.

Dada a versatilidade dos horários, eles são usados em praticamente todos os campos que se utilizam no programa *EnergyPlus*, sendo a sua maioria do tipo fracionário. Para a sua definição, devem ser seguidas algumas regras, que são bastante intuitivas devido às opções que são

disponibilizadas. Assim, o primeiro campo consiste no nome que se pretenda atribuir e o segundo o tipo de horário, que apresenta as opções já mencionadas. Após isso, basta definir o período que se pretende para esse horário, onde se deve fornecer a data do seu fim, isto porque o programa entende sempre que o início é no dia 1 de janeiro e os vários períodos que se pretendam analisar devem partir todos daí. Caso se pretenda avaliar um período a meio do ano, é necessário definir que, desde o início do ano até a data desejada, o valor a usar é zero.

Para a realização dos edifícios LC-ZEB no presente trabalho, foram definidos vários horários para cada carga existente, desde iluminação, equipamentos e ocupação, entre outros, e são estes que permitem a variação do valor fornecido ao longo do ano.

3.3.3. Materiais

Os materiais (*Materials*) utilizados são também um aspeto essencial no desempenho energético do edifício e a sua descrição deve ser realizada com um cuidado acrescido, garantindo-se que as características inseridas são retiradas de uma base de informação fiável. As propriedades mais importantes a fornecer são a condutividade térmica, o parâmetro essencial à simulação da transferência de calor através das superfícies, o calor específico e a massa volúmica. Para o presente trabalho, a informação dos materiais utilizados foi retirada do LNEC-ITE50 [21] e o documento Calor Específico, de Javier Neila Gonzalez [22], que representam bases de dados com um elevado nível de segurança. Os materiais usados nos vãos, especificamente nas janelas, são definidos em outros campos, mas que se comportam exatamente como o campo *Materials*, apenas se apresenta separado de forma a tornar mais simples a sua definição. Para a definição de produtos que resultem da união de vários materiais, foi realizada uma ponderação das suas características através da fração que esse representa no total.

Uma vez definidos todos os materiais necessários, pode especificar-se o tipo de construção utilizado, que se baseia em colocar em camadas um grupo desses materiais, começando pela camada mais exterior. Também os vãos, isto é, janelas e portas, são definidos aqui, recorrendo a materiais que se encontram num campo específico. Na Figura A.2 no anexo, podem verificar-se os campos em questão e que são o conjunto desde *Materials* até *Construction* (6 campos).

3.3.4. Pessoas

O campo nomeado por pessoas (*People*) permite a definição da ocupação do edifício pelos seus usuários. O corpo humano liberta calor devido à sua atividade e quanto mais intensa esta for, maior a libertação, assim como a libertação de dióxido de carbono, que resulta da respiração. Esta contribui para os ganhos internos de calor e qualidade de ar, que influenciam o consumo energético do edifício, exigindo uma resposta diferente por parte do sistema de climatização e ventilação.

As diferentes atividades que podem existir numa habitação podem incluir-se em duas situações: uma em que ocorre a libertação normal de calor e que abrange a maioria das atividades, a qual apresenta um valor de 120 W/pessoa e a que corresponde a períodos em que as pessoas se encontram a dormir, ao qual se atribuiu o valor de 72 W/pessoa. A existência de mais alguma situação é provável e depende do tipo de ocupação que se assume no edifício. Caso exista, será especificada no respetivo projeto.

Para a definição correta deste campo, além do nível de atividade, é necessário especificar mais dois elementos chave e que são o número de pessoas que habita o edifício (máximo) e o horário de ocupação, podendo ver-se um exemplo na Figura A.3 no anexo. O horário fornecido descreve uma fração para cada hora do ano e que será multiplicada pelo número de ocupantes fornecido, que representa o número máximo que cada zona tem, como representado pela equação seguinte:

$$N^{\circ} \text{ pessoas } \left[\frac{\text{pessoas}}{\text{hora}} \right] = N^{\circ} \text{ máximo pessoas} * \text{horário fração} \quad [3.3]$$

O horário que se fornece multiplica todas as características associadas à presença das pessoas, nomeadamente a contribuição para os ganhos de calor e qualidade de ar. Na sua ausência, o programa entende que se verifica sempre o número de pessoas máximo, o que é incorreto para períodos da sua ausência, como o período de trabalho, em que os ocupantes se encontram no seu respetivo emprego.

3.3.5. Iluminação

A iluminação (*Lights*) diz respeito ao campo em que se definem as propriedades das luzes de forma a garantir níveis de iluminância adequados [23]. Esses níveis de iluminação exigidos dependem da atividade que se realiza na zona, onde tarefas que exigem maior detalhe requerem maiores níveis, como mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Valores de iluminância exigidos por atividade.

Tarefas	Iluminância
Mínimo p/a locais de trabalho, s/ actividade	100 – 150 lx
Classe I: Tarefas visuais simples, s/ gde. esforço	250 – 500 lx
Classe II: Observação contínua de detalhes médios	500 – 1000 lx
Classe III: Tarefas visuais contínuas e precisas	1000 – 2000 lx
Classe IV: Tarefas mto. precisas e c/ gde. esforço	> 2000 lx

Tendo em conta as diferentes atividades que se podem ter numa habitação, os níveis de iluminância (*lux*) exigidos variam significativamente, pelo que se indica uma tabela em cada caso de estudo com a descrição dessas atividade e o respetivo nível assumido. A quantificação da iluminância requer um projeto de iluminação, mas neste trabalho foi considerado de uma forma simplificada, definindo cada iluminância exigida em W/m². Para tal, é necessário encontrar a eficiência das lâmpadas utilizadas, valor esse que se utilizou como 115 lm/W [24], dado tratar-se de um valor médio para lâmpadas de eficiência elevada, como as utilizadas. Conhecendo a iluminância exigida e a eficiência da iluminação, pode determinar-se a potência por unidade de área a inserir no programa, que se traduz pela Equação 3.4:

$$\text{lux} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{Potência} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Nível exigido}}{\text{Eficiência}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} * \frac{\text{W}}{\text{lm}} \right] \quad [3.4]$$

Para determinar o consumo de energia por parte da iluminação, basta pedir como resultado (*Output*) esse parâmetro, onde o tratamento de dados consiste em apenas somar as parcelas horárias de cada zona, obtendo-se um consumo para todo o edifício, para cada hora do ano. O

resultado deve ainda ser convertido em kWh, uma vez que é fornecido em *Joule* (J) pelo programa, o que se faz sabendo que 1Wh equivale a 3600J.

3.3.6. Equipamentos

Os equipamentos (*Equipments*) são o campo onde se definem todos os eletrodomésticos e sistemas que consomem energia no seu funcionamento e são exemplos o fogão, frigorífico, televisão ou computador, entre muitos outros. A primeira grande consideração é a que todos os equipamentos são elétricos, o que facilita a interação com o sistema produtor solar, assim como o cálculo do balanço energético. A segunda é que se assume que existem dois tipos de equipamentos, onde uns libertam a maioria do calor que resulta do seu funcionamento para o exterior, denominados por "Processo", como fogão e forno, e aqueles que grande parte do calor é libertado no interior da zona, contribuindo para os ganhos internos e que influencia o funcionamento da climatização. Para fazer essa distinção, o programa apresenta um parâmetro dentro de *Equipments* que representa a fração de calor perdida, onde os equipamento de "Processo" apresentam uma perda de 70%, ao invés dos 10% considerados para os restantes.

A característica que melhor define os equipamentos, e também a principal, é a potência que estes consomem no seu funcionamento. O consumo que estes apresentam é na verdade o resultado da multiplicação desta potência com o horário que se associa a cada objeto definido, como traduzido pela Equação 3.5.

$$\text{Consumo (Wh)} = \text{Potência (W)} * \text{tempo (h)} * \text{horário} \quad [3.5]$$

O horário mencionado na Equação 3.5 representa também um horário de fração e permite a adaptação do consumo ao caso real, isto é, possibilita a variação da potência que depende dos hábitos dos ocupantes. Na sua ausência, o consumo seria sempre constante e à potência fornecida como a máxima. Além disso, a potência que se considera não é a máxima dos equipamentos (nominal), mas sim um valor que muitas vezes ronda 50% desse, o que se deve ao fato de que o equipamento raramente funciona à potência máxima. Os vários equipamentos assumidos nos Projetos 1 e 2 encontram-se descritos em anexo nas Figuras A.4 e A.5, respetivamente, onde se podem ler a potência nominal, a utilizada e o método resumido para a obtenção do valor inserido no programa.

Para determinar o consumo de energia no edifício por parte dos equipamentos basta pedir como resultado (*Output*) esse parâmetro, realizando o mesmo processo associado à iluminação.

3.3.7. Águas Quentes Sanitárias

As águas quentes sanitárias (AQS) representam a água quente que se consome no edifício e encontra-se ligado a atividades como banhos, limpeza ou lavagens, pelo que a sua determinação é um processo complicado e bastante subjetivo. Antes de iniciar o processo, é necessário apurar algumas propriedades, em especial a eficiência do sistema de aquecimento, as perdas do sistema e a capacidade térmica da água, como mostrados na Figura A.6 no anexo.

Para determinar as necessidades de AQS recorre-se a um processo de engenharia inversa, onde se começam por determinar os usos de água, a sua duração e a fração de água quente, de modo a que se consiga determinar a energia consumida. Posteriormente, através de um horário, que representa o tempo, é possível determinar a potência necessária que se fornece ao programa.

3.3.8. Climatização

A climatização (AVAC) representa um dos campos mais importantes na definição de um edifício no programa, uma vez que a temperatura do interior é um dos aspetos mais rigorosos relativamente ao conforto. Uma vez que se pretende maximizar o desempenho energético, o sistema utilizado é uma bomba de calor, que é um dispositivo idêntico à máquina frigorífica, mas com a finalidade de transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente [27], realizando um ciclo termodinâmico. Elas são projetadas para trocar calor no sentido oposto ao fluxo espontâneo de calor [25] e são caracterizadas por apresentar um coeficiente de desempenho muito elevado (COP). Como a eficiência deste tipo de sistema pode resultar em valores superiores à unidade, prefere-se utilizar a designação de COP, em vez de eficiência [27].

Para a sua determinação no programa, apenas são necessários fornecer a temperatura que se deseja no interior e o horário do funcionamento do sistema. Começando por este último, pretende-se que a bomba de calor funcione essencialmente quando os seus ocupantes se encontrem em casa, pois não é de todo interessante climatizar o edifício quando este está vazio. Porém, sendo um processo com trocas de calor entre dois meios, é necessário um certo período para atingir a temperatura desejada, pelo que existe a necessidade de colocar o sistema de climatização em funcionamento alguns minutos antes de a ocupação ocorrer (30 min no geral). A temperatura desejada representa o outro aspeto importante e é dada por um intervalo de temperaturas (*Thermostat*). O conforto térmico ocorre para temperaturas operativas entre os 19 e os 26°C [26]. A temperatura operativa representa uma média entre as temperaturas das superfícies e do ar [19] e, sendo a temperatura utilizada no programa relativa ao ar, é necessário várias vezes definir um intervalo mais estreito, na maioria das situações 22-26°C, de modo a que se verifique esse conforto. Tal deve-se ao fato de que, ao fornecer calor ao ar interior, irá inicialmente ocorrer a sua transferência para as superfícies mais frias e só depois se verificará um aumento mais significativo da temperatura do ar, e a situação oposta para o arrefecimento, onde se arrefece primeiro as superfícies.

Para se verificar se existe conforto térmico, é necessário pedir como resultado da simulação a temperatura operativa de cada zona e avaliá-la quando esta se encontra ocupada. Caso o número de horas de desconforto ultrapasse os 5% das horas totais de ocupação, assumido como valor máximo, tem de reduzir-se o intervalo de temperatura ou aumentar-se o tempo de funcionamento.

A ocupação dos quartos apresenta a particularidade de se verificarem períodos em que não é necessário conforto térmico, pois os ocupantes encontram-se a dormir. Para esse efeito, torna-se necessário subtrair 4.5 horas por dia, ao longo dos 355 dias do ano, de modo a avaliar corretamente a percentagem de horas de desconforto. A ocupação é descrita pela equação seguinte.

$$n^{\circ} \text{ horas ocupação} = n^{\circ} \text{ horas ocupação total} - (4.5 * 355) \quad [3.6]$$

A Equação 3.6 permite a obtenção da ocupação adequada para os quartos, de modo a contabilizar corretamente os períodos em que é necessário verificar-se o conforto. Na sua ausência, seria exigido ao sistema AVAC a manutenção da temperatura operativa entre 19°C e 26°C, para a totalidade da ocupação.

Para determinar o consumo de energia associado à climatização, deve pedir-se como resultado (*Output*) as cargas de aquecimento e arrefecimento associadas à bomba de calor utilizada (*Zone Packaged Terminal Heat Pump Total Heating Energy* e *Zone Packaged Terminal Heat Pump Total Cooling Energy*), os quais permitem o tratamento de dados, nomeadamente o cálculo do COP. A primeira fase consiste em somar as várias parcelas para cargas de aquecimento e arrefecimento, obtendo-se duas colunas que reúnem a carga de climatização por hora para o

edifício, em unidades *Joule*. Uma vez que o calor que a bomba de calor retira é do ar, a sua determinação depende da temperatura exterior, como mostrado na Tabela 3.2. As Equações 3.7 e 3.8 permitem a obtenção do valor horário do COP para aquecimento e arrefecimento, onde η representa a eficiência global da bomba de calor, considerado 0.3. Esta eficiência deve-se a perdas de calor ao longo do sistema de distribuição e a perdas elétricas que se podem verificar nas bombas de calor. Essas limitações devem-se também aos ciclos termodinâmicos (Carnot) que se verificam, que apresentam um máximo teórico [27]. A Equação 3.9 permite calcular a quantidade de energia elétrica anual necessária.

Tabela 3.2 - Determinação das variáveis associadas ao COP [27].

	Heating	Cooling
T_{dist} (° C)	50	0
T_{cond} (° C)	$T_{dist} + 5$	$T_{outdoor} + 5$
T_{evap} (° C)	$T_{outdoor} - 5$	$T_{dist} - 5$

Onde:

- T_{dist} – Temperatura de distribuição;
- T_{cond} – Temperatura de condensação;
- T_{evap} – Temperatura de evaporação;
- $T_{outdoor}$ – Temperatura exterior;

$$COP_{Heat} = \eta * \frac{T_{cond}}{T_{cond} - T_{evap}} \quad [3.7]$$

$$COP_{Cool} = \eta * \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}} \quad [3.8]$$

$$Energia\ Elétrica = \frac{Energia\ Térmica}{COP} \quad [3.9]$$

A energia elétrica obtém-se ao dividir a energia térmica necessária pelo valor de COP, fazendo com que se obtenham duas cargas e que dizem respeito individualmente ao aquecimento e arrefecimento. O tratamento individual destas cargas permite a avaliação do comportamento do edifício perante o clima em que se apresenta e a conclusão sobre a interação entre eles os dois. Por exemplo, caso a carga de arrefecimento seja elevada e o clima seja frio, é possível concluir que existem definições mal realizadas ou uma interação incorreta entre edifício e clima. Tal é válido também para a analogia de aquecimento e verão.

3.4. Localização

A localização onde será construído o edifício representa um dos parâmetros mais importantes a ter em conta no desenvolvimento das suas características e condiciona todo o seu desempenho energético. Cada localização é caracterizada por um conjunto de fatores que exigem um determinado comportamento do edifício, sendo a interação deste com as condições que se verificam no local o primeiro aspeto a analisar. Uma vez que se pretende desenvolver habitações extremamente eficientes, é necessário que estas consigam utilizar os recursos naturais a seu favor,

reduzindo a utilização de sistemas mecânicos e, com isso, a redução do consumo energético. Torna-se essencial conhecer o clima que se verifica no local, tendo maior interesse nas temperaturas que se verificam, assim como a radiação solar que existe e que condiciona não só a iluminação natural, mas também a produção fotovoltaica.

O local é essencialmente representado por dois parâmetros, latitude e longitude, onde o primeiro é dado pelo ângulo entre o plano do equador e a normal à superfície e pode variar entre 90° norte e 90° sul, como representado na Figura A.7 no anexo. Associada à latitude encontra-se o movimento do sol, em que se verificam trajetórias com maior altura solar para baixas latitudes e vice-versa, como evidenciado pela Equação 3.10, que traduz a altura solar média ao longo do ano.

$$\text{Altura solar} = 90^\circ - \text{Latitude} \quad [3.10]$$

Para uma latitude reduzida, verifica-se uma altura solar maior, o que leva a climas mais quentes e com mais sol direto, sendo exemplos os países próximos da linha do equador. Neles, os ganhos solares são indesejados, o que se torna relativamente fácil de evitar devido à posição alta do sol, enquanto que se torna mais difícil em países em que o sol apresenta um movimento mais baixo, contudo esses ganhos são desejados para esses locais, pois são sítios mais frios. A altura solar permite definir o trajeto do sol ao longo do dia e é o parâmetro mais importante a ter em conta para o dimensionamento correto dos sombreamentos exteriores.

Através da ferramenta *Excel* desenvolvida e fornecida pelo ISCTE e OIKONET [28], é possível determinar qual a posição máxima e mínima do sol ao longo do ano, fornecendo apenas a latitude e em que dias se pretende total sombreamento e iluminação, que corresponde aos dias do solstício, pois são os dias em que o sol apresenta maior e menor distância angular em relação ao plano do equador. Assume-se que o solstício de inverno ocorre a 21 de dezembro e que esse é o dia mais frio, pelo que se pretende total iluminação na janela, levando a maiores ganhos solares no edifício. O dia de total sombreamento coincide com o solstício de verão e é o dia em que se tem temperaturas mais elevadas, pelo que se pretende que o sol não incida nas janelas. A ferramenta *Excel* apresenta uma interface como a mostrada na Figura A.8 no anexo. Ela fornece ainda o dimensionamento adequado do sombreamento exterior, apresentando a sua dimensão e a distância ao nível de telhado. Em cada projeto desenvolvido será utilizado um sombreamento diferente, assim como as suas dimensões, pelo que os aspetos verdadeiramente importantes são as duas posições do sol.

O clima representa um conjunto de diversos elementos atmosféricos que ocorrem na atmosfera da Terra e é característico de cada região, descrevendo a forma como esses elementos condicionam o local. Apesar de ligeira variação, agravada como consequência das emissões de GEE, o clima apresenta um comportamento típico, onde o comportamento dos elementos naturais é conhecido, nomeadamente a sua intensidade e variação. Esses encontram-se reunidos num ficheiro climático relativos a um ano típico e são valores médios para uma escala de 30 anos. Esse ficheiro EPW é fornecido pelo próprio *EnergyPlus*.

3.5. Energia Incorporada/Emissões CO_{2e}

A energia incorporada (EE) representa a energia que se consome na produção de um bem e é na maioria dos estudos deixada de parte na avaliação do balanço de energia. Contudo, com a crescente preocupação de condições de conforto e a instalação de mais materiais nas várias superfícies, nomeadamente o isolamento, faz com que essa energia incorporada aumente, de modo

a representar uma fração importante do total. Na verdade, o consumo energético tem vindo a tornar-se tão reduzido que esta energia incorporada começa a ter um papel bastante importante no panorama geral e com uma tendência crescente.

O estudo sobre a energia incorporada inclui duas vertentes claras: o estudo dos materiais e o estudo do sistema produtor de energia, mais especificamente os painéis solares. Para tal, é necessário apurar os dados sobre a energia incorporada dos vários materiais usados, o que foi feito através da base de dados ICE (*Inventory of Carbon and Energy*) [29], que representa a base mais completa e fiável. Os valores desta base de dados são relativos aos processos de extração, processamento e embalamento, normalmente denominado por *cradle-to-gate*, sendo o transporte excluído, o que faz sentido pois não é conhecida a distância entre produção e utilização. Além disso, esta base de dados apresenta, para vários materiais, um intervalo de valores, que permite obter resultados finais diferentes. Tendo isso em conta, incluiu-se neste estudo a avaliação da incerteza, discutida individualmente em cada projeto realizado.

Analisando este ficheiro, verifica-se que os valores fornecidos apresentam a energia consumida por unidade de massa de material (MJ/kg), pelo que se torna necessário determinar a massa utilizada, o que é conseguido através das equações seguintes.

$$Massa [kg] = Espessura[m] * \text{Área}[m^2] * Massa\ Volúmica \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [3.11]$$

$$Energia\ Incorporada [kWh] = Energia\ Inc. \left[\frac{MJ}{kg} \right] * Massa [kg] * \frac{1}{3.6} \left[\frac{kWh}{MJ} \right] \quad [3.12]$$

Assim, para cada construção avaliada, é necessário determinar o volume de cada material e, através da sua massa volúmica, calcula-se a massa total. Conhecida a massa e pela Equação 3.12, obtém-se a energia consumida para a produção do material em questão.

Relativamente aos painéis solares e janelas, o modo de obtenção da energia incorporada é diferente, uma vez que os dados são fornecidos por unidade de área. Quanto aos primeiros, são dados valores para os vários tipos de módulos existentes, o que implica que se conheça o tipo de painel, a área de cada um e o número total de painéis. Assim, tem-se:

$$\begin{aligned} Energia\ Inc.\ PV [kWh] \\ = Energia\ incorp. \left[\frac{MJ}{m^2} \right] * \text{Área} [m^2] * n^o\ paineis * 2 * \frac{1}{3.6} \left[\frac{kWh}{MJ} \right] \end{aligned} \quad [3.13]$$

Sabendo a área total de painéis e o valor da energia incorporada, obtém-se a energia associada ao sistema completo, multiplicando os dois termos. Para a Equação 3.13, o fator 2 serve para ajustar o tempo de vida dos painéis ao do edifício. Como se assume que o edifício apresenta um tempo de vida de 30 anos, enquanto que o dos painéis é de 15 anos, deve instalar-se duas vezes no período total de estudo, pelo que se consome duas vezes essa energia incorporada. O tempo útil dos painéis poderia ser considerado 20 anos, mas o decréscimo da sua eficiência nos últimos anos de operação levaria a um maior erro na estimativa da produção, pelo que se considera apenas 15 anos, assumindo-se que os painéis mantêm a sua produção máxima nesse período.

Quanto às janelas, o valor de EE apresentado diz respeito a uma área de 1.44 m², sendo referidos os vários tipos de caixilho existente. Para o trabalho, as janelas consideradas apresentam caixilho de madeira e, de modo a obter a energia incorporada para estes elementos, é necessário em

primeira mão calcular a área total de janelas, sendo depois determinado o energia por unidade de área e de seguida multiplicado pelo valor individual, como mostrado na equação:

$$\begin{aligned} \text{Energia Inc. [kWh]} \\ = \text{Energ. incorp.} \left[\frac{\text{MJ}}{1.2 * 1.2 \text{ m}^2} \right] * \text{Área total [m}^2] * \frac{1}{3.6} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{MJ}} \right] \end{aligned} \quad [3.14]$$

Como referido, as emissões de CO_{2e} apresentam grande importância e a sua determinação segue o mesmo processo que a energia incorporada (Equação 3.12). Conhecida a quantidade de material a usar e através das emissões por unidade de massa, determinam-se as emissões associadas à produção desses materiais.

Contudo, em relação às emissões, há mais um aspeto importante a avaliar e que consiste nas emissões evitadas ao utilizar o sistema PV. Na sua presença, existem emissões associadas à sua produção, mas deixam de existir as associadas ao consumo de operação, que é suprimido pela produção renovável local, como demonstrado na equação seguinte:

$$\text{Emissões de Operação (kgCO}_{2e}) = 420 \frac{\text{kgCO}_{2e}}{\text{MWh}} * \text{Consumo Operação (MWh)} \quad [3.15]$$

$$\begin{aligned} \text{Emissões Inc. PV [kgCO}_{2e}] \\ = \text{Emissões incorp.} \left[\frac{\text{kgCO}_{2e}}{\text{m}^2} \right] * \text{Área [m}^2] * n^{\circ} \text{ paineis} * 2 \end{aligned} \quad [3.16]$$

$$\text{Emissões evitadas} = \text{Emissões Inc. PV} - \text{Emissões de Operação} \quad [3.17]$$

As emissões evitadas apresentam um valor negativo, que se traduz como o processo habitual de representação de uma redução, no contexto científico. Caso esse valor seja positivo, tem-se que o edifício passa a ser menos sustentável, causando maior degradação da atmosfera, pelo que esse caso é de evitar, apesar de ser praticamente impossível de acontecer. Este parâmetro permite avaliar se existe o sobredimensionamento de um sistema PV e avaliar de forma rápida o desempenho do edifício.

3.6. Produção Fotovoltaica

As necessidades energéticas devem ser satisfeitas através de fontes de energia renováveis e, para o setor dos edifícios, essa passa pela produção solar, sendo necessário definir um sistema que suprima as necessidades do edifício. A primeira fase consiste em escolher um modelo de painel, tendo-se para o caso optado pelo painel *SunPower X-Series x21-335-BLK* [30], um modelo americano monocristalino que se destaca pela sua eficiência elevada (21%) e que apresenta as dimensões 1.558 m x 1.046 m. As características mais importantes encontram-se descritas na Figura A.9 em anexo. As suas dimensões permitem saber a dimensão de cada *array* (fila) de painéis a desenvolver no *Sketchup*.

Quanto à sua definição no *EnergyPlus*, esta baseia-se em vários processos que abordam características diferentes do sistema e que se encontram na Figura 3.2. Antes da definição dos campos no programa, é necessário defini-los no *Sketchup*, criando elementos de sombreamento (*Shading Group*). Aqui, deve calcular-se as dimensões de cada fila de painéis e o número de filas desejadas, de modo a formar o sistema fotovoltaico.

```

[0004] Generator:Photovoltaic
[0001] PhotovoltaicPerformance:Simple
[0001] ElectricLoadCenter:Generators
[0001] ElectricLoadCenter:Inverter:Simple
[0001] ElectricLoadCenter:Distribution

```

Figura 3.2 - Campos do *EnergyPlus* associados à definição do sistema PV.

O primeiro passo no programa *EnergyPlus* é nomear os sombreamentos que se criaram como painéis, de modo a poder chamá-los no primeiro campo mostrado na Figura 3.2, onde se define no programa que os sombreamentos são na verdade painéis solares, definindo-se também o seu número em cada fila. No segundo campo, são indicadas a fração coletora do painel e a eficiência deste, assim como a definição do tipo de estrutura que o suporta, sendo o tipo fixo para o caso. É necessário também definir o inversor e o sistema de distribuição, que usam geralmente a definição padrão. Por último, no campo *Generators*, define-se que os painéis são produtores de energia (*Generator:Photovoltaic*), a sua potência e em que períodos isso ocorre. Enquanto que o primeiro consiste em multiplicar a potência máxima de cada painel pelo número de painéis, o segundo baseia-se no tempo em que o sistema está disponível para produzir e, tratando-se de um sistema solar, a disponibilidade corresponde à totalidade do tempo. Após tudo definido no programa, basta pedir como resultado da simulação a produção total no edifício (*Facility Total Produced Electric Energy*) que dá a produção horária do sistema. Essa produção serve de comparação para o balanço nulo, como explicado no próximo capítulo.

Também a disposição dos painéis representa um objeto de estudo, uma vez que todo o sistema tem de ser instalado na área de telhado do próprio edifício. Esse estudo avalia qual a melhor posição (longitudinal ou não) e inclinação, sendo a melhor solução aquela que apresentar maior produção de energia. Dada a área disponível, por vezes, a instalação pode levar ao sombreamento entre painéis, que também é avaliado e representa um caso a evitar.

Conhecida a produção total do sistema, é possível calcular a produção associada a cada painel e avaliar o tempo de retorno, isto é, o tempo que demora a compensar o investimento, comparando esta com a energia consumida para a sua produção, como traduzido pela equação seguinte.

$$\text{Tempo de retorno (anos)} = \frac{\text{Energia incorporada painel [kWh]}}{\text{Produção anual } \left[\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right]} \quad [3.18]$$

Da base de dados, verifica-se que a energia incorporada para os painéis apresenta grande variabilidade, sendo fornecido um intervalo de valores, pelo que foi tomado o valor médio para os cálculos principais, sendo posteriormente estudada a incerteza associada ao cálculo.

3.7. Balanço Nulo de Energia no Ciclo de Vida

O balanço nulo de energia é a característica que representa os edifícios LC-ZEB e o método para o calcular apresenta muitas variantes, como demonstrado no Capítulo 2.3. Aqui, seguindo-se o conceito de LC-ZEB, o balanço deve incluir a energia que se consome na produção dos materiais usados e no sistema fotovoltaico, onde a produção terá de igualar o consumo do edifício ao longo da sua vida útil. A quantidade total produzida deve ser igual ou maior à soma do consumo em fase de operação e a energia incorporada, para os 30 anos de vida, como mostrado na Equação 3.19.

$$\text{Energia produzida PV} = \text{Consumo}_{\text{operação}} + EE_{\text{materiais}} + EE_{\text{painéis}} \quad [3.19]$$

Assim, uma vez que apenas os consumos da fase de operação são resultados do programa de simulação, deve existir o processamento de dados mencionado acima, de modo a conhecer as variáveis da Equação 3.19 e garantir o balanço nulo.

3.8. Avaliação de cenários

A obtenção da melhor solução para cada característica avaliada apenas é conseguida quando se estudam as várias possibilidades que existem, determinando-se o melhor caso com base no consumo mínimo. Uma vez que o consumo associado aos equipamentos e à produção de águas quentes sanitárias (AQS) se mantem sempre constante, pois é totalmente independente dos fatores ambientais e das características avaliadas, por simplicidade, a avaliação do consumo dos vários cenários restringiu-se apenas à iluminação e climatização, que são influenciadas pelas características em estudo. Na verdade, a contribuição dos equipamentos e AQS apenas alteraria a magnitude dos valores obtidos, e não a sua variação, sendo esta última exatamente o aspeto que se pretende avaliar. Em suma, o objetivo desta etapa consiste em testar as várias hipóteses de cada característica com base no seu consumo de modo a verificar a sua variação. Além disso, também por questões de simplificação, assume-se que o sistema de climatização é um sistema ideal elétrico com 100% de eficiência, onde a carga térmica total coincide com a carga elétrica total. Este aspeto permite uma comparação rápida entre casos e evita todos os cálculos associados ao COP das bombas de calor.

As características em avaliação consistem em condições que o edifício experimenta e que podem alterar o seu consumo energético e são exemplo destas a ventilação natural, orientação, o sombreamento e a construção utilizada, descritos de seguida. Cada uma destas características apresenta inúmeras possibilidades e que fazem com que o edifício interaja de modo diferente com o ambiente. Dentro de cada característica, estipulam-se diferentes condições e que estabelecem um cenário de estudo. O estudo do conjunto desses cenários permite a determinação daquele que apresenta menor consumo energético e que representa a melhor solução.

3.8.1. Ventilação natural

A ventilação natural representa o movimento de ar pelo edifício e permite a renovação do ar em cada zona, de forma natural. Ela deve-se essencialmente a dois gradientes: pressão e temperatura. O último apresenta pouca influência, uma vez que a temperatura rapidamente tende para o equilíbrio, enquanto que o primeiro caracteriza esse movimento de ar. Quando desenvolvido de forma adequada, essa ventilação natural é capaz de renovar o ar interior, mantendo os níveis de dióxido de carbono apropriados (abaixo da média de 1625 ppm em 8h consecutivas) sem provocar desconforto ou consumos energéticos elevados, o que poderia acontecer caso se verificasse climatização e ventilação em simultâneo. Assim, o objetivo deste estudo é definir qual a situação que leva a essa qualidade do ar e, uma vez garantido, reduzir o consumo energético associado ao mínimo possível.

O movimento do ar pode dar-se por infiltrações, que diz respeito à entrada de ar indesejada pelas pequenas brechas e ranhuras que os vãos apresentam, enquanto que a categoria ventilação natural representa a abertura de janelas para esse mesmo fim e que ocorre de forma controlada e desejada. Os vários casos para o estudo da ventilação natural diferem entre si pela intensidade e período de

ocorrência da entrada de ar e ainda consideram o caso em que apenas existe infiltrações, que é impossível eliminar, dada a existência de ranhuras. A unidade de representação usada foi renovações por hora (RPH) e traduzem o volume de ar que entra por unidade de tempo.

3.8.2. Orientação

A orientação representa o estudo da posição do edifício no terreno de construção e representa uma das medidas mais controversas em estudo, uma vez que pode ser a mais fácil de aplicar, caso o edifício se encontre ainda em fase de projeto, podendo determinar-se a melhor orientação e construindo o edifício segundo ela, não levando a qualquer acréscimo do custo, ou pode ser a medida mais difícil, caso o edifício já se encontre construído, onde a única solução será a alteração massiva de todos os vãos, que representa um cenário dispendioso. Para este estudo, uma vez que se trata do desenvolvimento de edifícios, é fácil implementar a melhor orientação, de modo a que o edifício faça uma utilização inteligente dos recursos naturais ao seu dispor.

Para o caso, a orientação é dada pela fachada que possui a entrada do edifício e todos os 360° serão estudados, de modo a avaliar qual a que apresenta menor consumo final. Antes de analisar os consumos e o poder comprovar, espera-se que a melhor situação diga respeito à orientação sul, pois esta é a que é mais adequada ao movimento do sol, podendo chegar-se a uma conclusão diferente devido ao efeito da ventilação definida anteriormente. Para o hemisfério norte, o sol nasce a este, tendo reduzida capacidade de aquecimento, isto é, providencia luz natural, ideal para iluminar os quartos, mas não é uma radiação que provoca aquecimentos significativos nas zonas. O sol vai-se deslocando para sul e ganhando altura (altura solar) e vai aumentando a sua capacidade de aquecimento, seguindo para oeste, onde a intensa luminosidade provoca algum desconforto quando incide no campo de visão das pessoas. Assim, dado este trajeto, é normal que a situação onde existam maiores ganhos solares seja a sul, sendo oeste e este os piores casos. Além disso, existe a preferência de orientar as zonas de convívio a sul, que é atingida por maior radiação solar e, segundo estudos fisiológicos, provoca maior conforto aos ocupantes. Também é habitual orientar as janelas do quarto a este, garantindo maior iluminação na manhã.

Apesar de ser estudada a orientação, o caso sul será a solução escolhida a não ser que apresente um consumo muito maior do que as outras soluções. Isso deve-se ao facto do conforto dos ocupantes referido anteriormente e à posição dos painéis solares, que se orientam a sul e que não deverão apresentar uma orientação diferente do edifício, pelo sentido estético.

3.8.3. Sensor de Luz

A definição de um sensor de luz consiste apenas em fornecer ao programa a capacidade de medir a radiação solar e diminuir essa quantidade na iluminação artificial. Caso se exigisse um dado nível de iluminância numa zona, mesmo que repleta de janelas e iluminação natural, o programa não apresentava a capacidade de a medir e utilizava a iluminação artificial, levando a um consumo maior e que poderia ser evitado.

3.8.4. Sombreamento

O cenário do sombreamento/janelas visa avaliar qual a dimensão e a localização mais adequadas para os vãos e elementos de bloqueio de radiação. Tendo em conta a planta definida para cada projeto, o estudo das janelas consiste em variar ligeiramente as suas dimensões, a que não estão associadas grandes poupanças de energia, enquanto que o estudo do sombreamento se baseia em

avaliar a sua existência, dimensão e até disponibilidade. Ambas as características influenciam os ganhos de calor no edifício através da radiação incidente, devendo maximizar-se esses ganhos para climas frios e reduzi-los para climas mais quentes.

3.8.5. Construção

O cenário da construção pretende garantir que os materiais utilizados no edifício final são os que levam ao maior desempenho energético, de modo que a soma do consumo em operação e a energia incorporada sejam o mínimo possível, como descrito na Equação 3.20.

$$\textit{Consumo final} = (\textit{cons. operação} * 30) + \textit{EE}_{\textit{materiais}} \quad [3.20]$$

Aqui são avaliadas várias configurações de materiais, verificando-se qual o caso com menor consumo em fase de operação. Quando se passa à soma das duas parcelas, existe uma mudança na base temporal, em que se deixa de avaliar o consumo anual e se passa para uma escala de 30 anos, porque essa é a vida útil dos materiais. O consumo apresentado no estudo da “construção” diz respeito à energia consumida pelo edifício nos 30 anos para a climatização, iluminação e produção dos materiais.

4. Resultados

O presente capítulo visa mostrar os resultados obtidos para os dois casos estudados, indicando as características e valores mais significativos, assim como a pormenorização do consumo energético e a verificação dos requisitos exigidos. O capítulo encontra-se dividido em três partes, sendo a primeira dedicada à análise dos fatores comuns aos dois projetos e as outras duas o estudo de cada edifício.

4.1. Fatores Comuns

4.1.1. Localização

A localização escolhida foi Coimbra, que apresenta um clima em que se verificam muitas horas com temperatura exterior abaixo do conforto, e que representa um maior desafio em termos de edifícios residenciais, isto porque, ao contrário dos edifícios de serviços, a maior necessidade é tipicamente o aquecimento. A localização de Coimbra no país encontra-se representada na Figura A.10 no anexo e é descrita pelos dois seguintes parâmetros:

- Latitude: 40.2°
- Longitude: -8.42°

Sabendo a latitude e recorrendo à Equação 3.10, tem-se uma altura solar de 49.8°, que representa a altura solar média ao longo do ano. Para maior detalhe da altura solar, que condiciona o sombreamento, recorreu-se à ferramenta Excel [28] descrita no capítulo anterior.

Por questões de simplificação, recorreu-se ao *EnergyPlus* para avaliar as condições de clima no local. Ao fornecer ao programa o ficheiro EPW com os dados do clima, basta pedir da sua simulação as variáveis que se pretendem avaliar e este apresenta o resultado em folha de cálculo *Excel*, como realizado para analisar a temperatura exterior. Assim, foi necessário definir o campo da localização no programa, descrito pela Figura 4.1.1, onde se devem fornecer os quatro parâmetros apresentados, apesar dos dois mencionados acima serem os mais importantes. Do mesmo ficheiro, tem-se que as condições do clima foram medidas a uma elevação de 67 m, pelo que foi essa a considerada no programa, assim como o fuso horário.

Field	Units	Obj1
Name		Coimbra
Latitude	deg	40.2
Longitude	deg	-8.42
Time Zone	hr	0
Elevation	m	67

Figura 4.1.1 - Campos do *EnergyPlus* associados à definição da localização.

Pedindo como resultado a temperatura exterior (*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*), e com algum tratamento de dados, foi possível construir o gráfico que se apresenta na Figura 4.1.2, onde os limites apresentados representam o intervalo da temperatura de conforto, considerado 19-26°C.

Do gráfico, pode confirmar-se que o clima apresenta uma fração significativa de horas abaixo do limite mínimo de conforto, indicado a amarelo, pelo que se deve priorizar os ganhos de calor no edifício, de modo a reduzir o consumo por aquecimento.

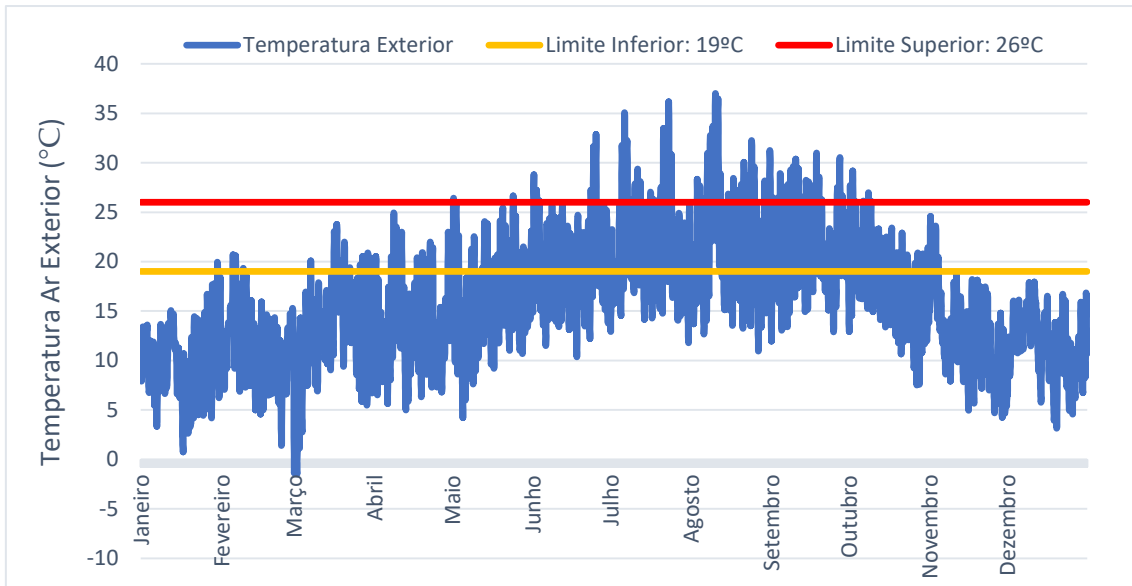


Figura 4.1.2 - Variação da temperatura exterior ao longo de um ano típico para Coimbra.

De modo a tornar-se mais evidente, pode avaliar-se o número de horas fora do intervalo de conforto, que se mostra na Figura 4.1.3 e que possui três avaliações distintas, que permite a caracterização do clima e o tipo de condições a favorecer.

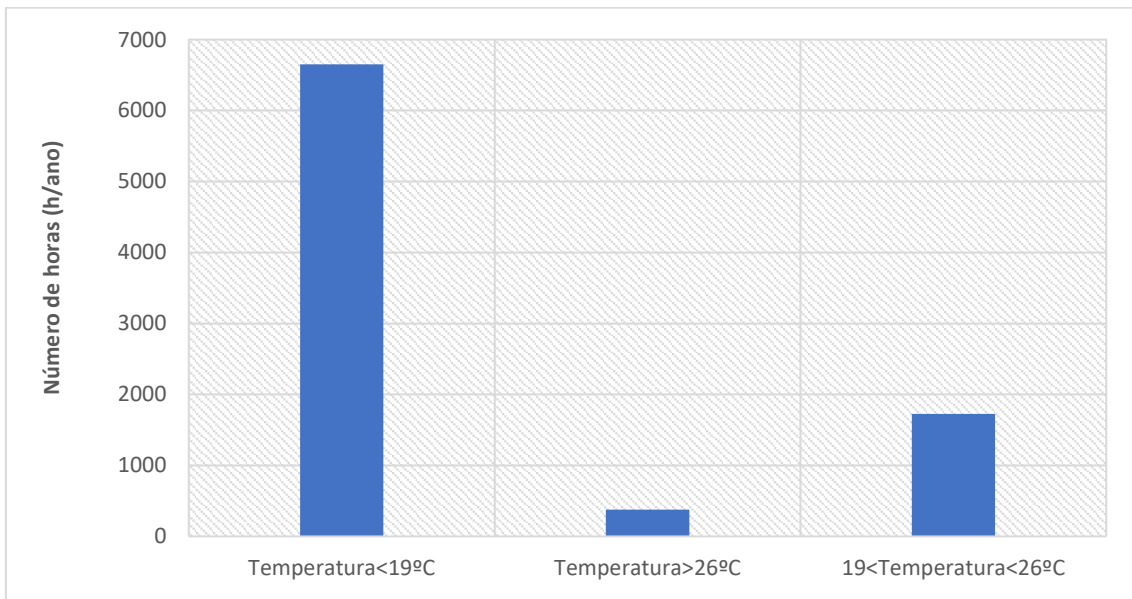


Figura 4.1.3 - Número de horas para as diferentes classes de temperatura ao longo do ano típico para Coimbra.

Avaliando os dois gráficos apresentados acima (Figuras 4.1.2 e 4.1.3), pode concluir-se que o clima em Coimbra apresenta uma temperatura exterior menor que o limite inferior cerca de 75% do ano, apresentando apenas 379 horas acima do limite superior (cerca de 4.3%). Pode então concluir-se que se torna importante para o desempenho do edifício maximizar os ganhos solares, de modo a que este aqueça de forma natural, evitando os sistemas mecânicos. Dessas figuras, conclui-se que o arrefecimento deverá apresentar uma carga bastante reduzida, dado o número de horas acima dos 26°C. Tendo em conta o número de horas dentro do intervalo 19-26°C, espera-se que a climatização represente uma fração elevada do consumo total do edifício.

Posição Solar

Através da ferramenta *Excel* [28] e fornecendo a latitude do local, para 21 de junho, verifica-se que o sol, ao meio dia solar, se encontra a 73.2° de altura, enquanto que se encontra apenas a 26.4° no dia 21 de dezembro. Esta altura solar permite o dimensionamento adequado do sombreamento exterior, caso exista, permitindo um bloqueio à radiação solar apenas nos dias de maior incidência (período de verão) e a sua passagem em períodos mais frios, como verificados no inverno.

4.1.2. Produção Fotovoltaica

O modelo de painel usado foi o *SunPower X-Series X21-335-BLK* [30], um modelo dedicado à instalação em edifícios de habitação e que apresenta as características mostradas na Figura A.9 no anexo, destacando-se a sua eficiência de 21% e a potência nominal de 335 W. No intuito de determinar a sua melhor posição, recorreu-se ao *EnergyPlus* e definiu-se um sistema fotovoltaico constituído apenas por um painel, pedindo-se como resultado a quantidade de energia produzida no edifício. Fazendo variar apenas a inclinação deste, obtém-se a produção descrita na Figura 4.1.4 seguinte. O facto de se definir apenas um painel deve-se a que se pretende avaliar a variação da produção e não a sua magnitude, pelo que um painel torna o processo mais simples.

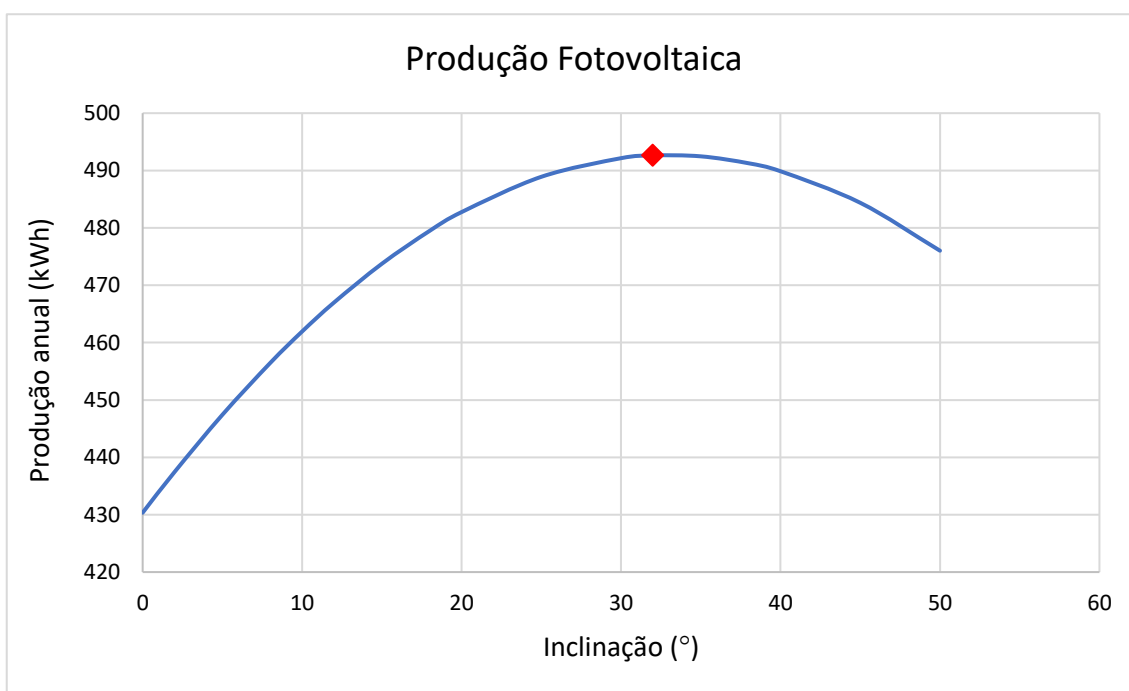


Figura 4.1.4 - Variação da produção do painel solar para as diferentes inclinações testadas.

Analisando o gráfico, verifica-se que a produção máxima ocorre para os 32° , pelo que essa será a inclinação a definir nos casos práticos. Essa inclinação representa o ângulo entre a normal do painel e a superfície terrestre, pelo que, quando aplicado em superfícies inclinadas, se deve ter em atenção a inclinação de cada componente, de modo a completar apenas os 32° .

4.2. Projeto 1 – Contentor

O primeiro projeto consiste no desenvolvimento de um edifício LC-ZEB a partir de um contentor marítimo e visa ser a opção com o menor impacto ambiental, uma vez que se baseia na reutilização de recursos para a sua construção. Na Figura 4.2.1 encontra-se um desses contentores ainda desempenhando a sua função principal.



Figura 4.2.1 - Representação de um contentor marítimo ainda em serviço de transportes [31].

Os contentores marítimos são construídos para o serviço de transporte marítimo e apresentam a sua estrutura em aço inoxidável, que lhes garante grande resistência e durabilidade, apesar de um peso consideravelmente reduzido. Ao fim de cerca de 10 anos, estes deixam de apresentar impermeabilização a 100%, que representa um requisito a esse serviço, e são considerados inapropriados para o serviço de transporte [31]. Consideram-se assim no fim da sua vida útil e são abandonados. Assim, eles são substituídos por outros novos, fazendo com que existam milhares de exemplares amontoados em sucatas e “cemitérios de metal”, à espera de uma segunda função. Devido à sua estrutura composta por aço inoxidável, sabe-se que os contentores podem durar até 90 anos [31], o que os torna num excelente recurso a reutilizar. A sua versatilidade de organização e resistência, devido à sua constituição, garantem aos contentores uma grande vantagem, sendo possível amontoar vários contentores.

O desenvolvimento e transformação de um contentor em um edifício LC-ZEB é um processo que envolve uma análise cuidadosa da transferência de calor, uma vez que o aço inoxidável é um metal e, como tal, um ótimo condutor, apresentando uma condutividade térmica elevada. Tal aspeto faz com que ele aqueça rapidamente no verão e arrefeça no inverno, pelo que o isolamento térmico apresenta um papel essencial neste projeto, para garantir o conforto térmico no interior. Como a estrutura básica do edifício consiste no contentor, onde o aço que o compõe apresenta grande resistência aos fatores de clima, como vento, chuva e sol, a adição de materiais é realizada pelo interior, deixando como camada mais externa o próprio aço, o que leva a um aspeto importante no desenvolvimento e organização do espaço interior, pois é necessário garantir uma área útil adequada à ocupação.

Analisando os vários modelos de contentor existentes, verifica-se que o que apresenta a maior área útil é o tipo *High Cube* (HC) [32], o modelo escolhido, que apresenta as medidas da Tabela

4.2.1, onde a última coluna representa a espessura de cada parede para a respetiva orientação, parâmetro essencial na definição da construção no programa.

Tabela 4.2.1 - Dimensões de um contentor marítimo do tipo HC (High Cube) [31].

[m]	Interior	Exterior	Diferença	Espessura Parede
Comprimento	12.03	12.192	0.162	0.081
Largura	2.35	2.438	0.088	0.044
Altura	2.68	2.896	0.216	0.108

De salientar que estas são as medidas do contentor bruto e que, ao adicionar o isolamento e acabamento pelo interior, a área final útil é menor, que condiciona a elaboração da planta do edifício.

Com o intuito de se tornar o projeto com o orçamento mais reduzido, isto é, menor custo final, pois baseia-se em recursos reutilizados, utiliza-se apenas um contentor, que será usado apenas por duas pessoas, sendo o objetivo manter o custo final da casa inferior a 35 k€.

4.2.1. Planta

Para iniciar a avaliação energética do presente projeto, é necessária a definição de um modelo base, onde se defina as condições e as cargas que o edifício experimenta. Assim, como sugerido pela metodologia seguida, a primeira fase consiste em desenvolver a planta do edifício, onde as dimensões do contentor mencionadas acima apresentam um papel essencial. A análise energética é feita para a constituição completa das várias superfícies, que inclui a adição de materiais além do aço inoxidável. Como este é o elemento mais exterior do edifício, sendo todos os materiais aplicados pelo interior, a sua espessura deve ser considerada, reduzindo o espaço útil. Analisando as várias combinações de materiais, determinou-se que a espessura média adicionada seria de cerca de 12 cm, pelo que esse foi o valor utilizado para a versão inicial. Além disso, analisando a última coluna da Tabela 4.2.1, verifica-se que as superfícies de aço não apresentam todas a mesma espessura, que pode ser também percebido através da planta desenvolvida e que é apresentada na Figura 4.2.2.

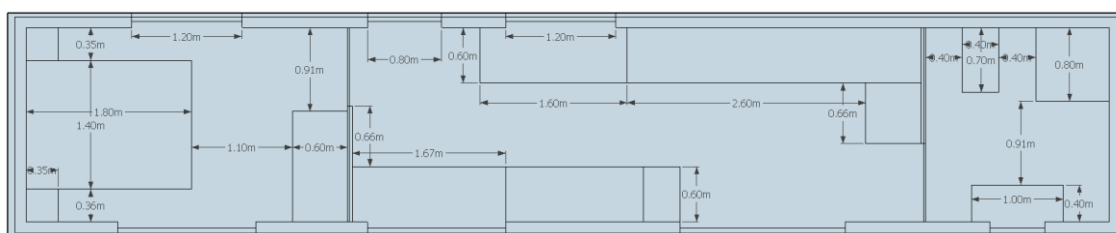


Figura 4.2.2 - Planta base para teste de cenários do Projeto 1.

Existe um quarto a oeste e uma wc a este, sendo a zona central dedicada a espaço de refeição e lazer, podendo ver-se também o espaço útil que resulta após a instalação de equipamentos e mobília. Estando a planta definida, é possível desenvolver o modelo de três dimensões que será usado para a simulação energética. Como referido, as medidas a fornecer são as internas finais, o que é agora conhecido recorrendo à planta desenvolvida. O modelo 3D é realizado na plataforma *Sketchup*, sendo cada zona gerada individualmente, assim como a sua nomenclatura, a de cada

superfície e a definição das condições de fronteira que esta apresenta, onde se define se esta contacta o solo, outra superfície ou o ar exterior. Na Figura 4.2.3 encontram-se alguns exemplos de definições de superfícies no programa de simulação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		quarto_chao	quarto_west	quarto_este	quarto_norte	quarto_roof	quarto_sul	sala_chao
Surface Type		Floor	Wall	Wall	Wall	Floor	Wall	Floor
Construction Name		Exterior Floor	Exterior Wall Menor	Interior Wall	Exterior Wall	Exterior Roof	Exterior Wall	Exterior Floor
Zone Name		Quarto	Quarto	Quarto	Quarto	Quarto	Quarto	Sala
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Surface	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Ground
Outside Boundary Condition Object				sala_west				
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind
View Factor to Ground		0						0

Figura 4.2.3 - Condições fronteira para as superfícies do edifício.

Tratando-se de um edifício com sombreamento exterior, que representa uma varanda e que não entra em contacto com a própria habitação, é necessário defini-lo recorrendo ao *Shading Group*. O aspeto final deste modelo base encontra-se representado na Figura 4.2.4 onde o código de cores inerente ao programa de simulação é visível, destacando-se a cor do sombreamento, que permite concluir rapidamente que é apenas um elemento de bloqueio à radiação solar.

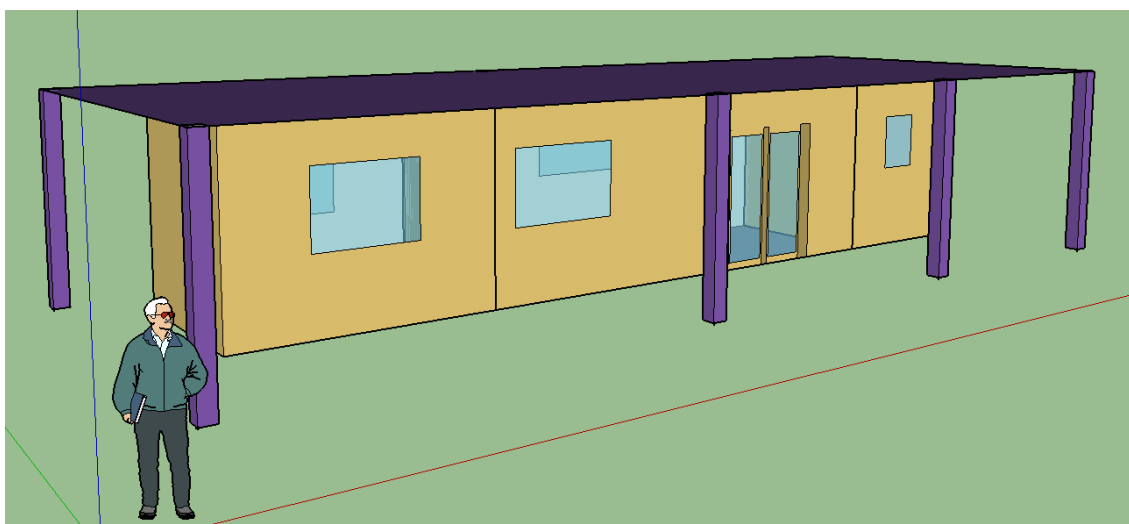


Figura 4.2.4 - Representação do modelo base do Projeto 1 no programa Sketchup.

A Figura 4.2.4 permite ainda verificar que não se considera qualquer obstáculo na envolvente, quer naturais quer de ação humana, que maximiza a penetração solar e o contacto com massas de ar.

4.2.2. Cargas

As cargas representam todos as necessidades que o edifício apresenta e baseiam-se em quatro grandes consumos: iluminação, equipamentos, águas quentes sanitárias (AQS) e climatização (AVAC). De modo a incluir todos os consumos no balanço energético e que facilmente sejam satisfeitos através do sistema fotovoltaico, considera-se que todos os equipamentos são elétricos, incluindo o sistema de climatização.

- **Pessoas**

A primeira carga a definir consiste no número de habitantes e a sua ocupação ao longo do ano. Dadas as dimensões do contentor, assumiu-se que o edifício é ocupado por apenas duas pessoas

que, devido ao seu emprego, apenas se encontram na casa nos períodos de refeição e noturno. Assume-se que ambos são empregados (Segunda-Sexta) e que residem próximo do trabalho, levando cerca de 15 min a deslocar-se de um sítio ao outro. Uma semana típica pode ser descrita por:

Dias de semana – ambos os ocupantes acordam às 7h e dirigem-se à cozinha, onde estão 30 min a tomar o pequeno almoço, entre outras quaisquer coisas. Nos 15 min seguintes, a ocupação varia entre a wc e o quarto, pelo que se pode assumir que um dos elementos está numa zona e o outro está na outra. Ambos saem às 7:45h e só voltam às 12:15h, para fazer o almoço, estando na sala até às 13:15h, sendo essa a hora que partem novamente, regressando só às 18:30h. A essa hora, pode assumir-se que o quarto se encontra 15 min ocupado por apenas uma pessoa, respetivo ao tempo que os ocupantes poderão demorar a trocar de roupa, para ir realizar outras tarefas domésticas. De seguida, um dos ocupantes ocupa a sala, realizando tarefas domésticas, enquanto que o outro se encontra no exterior até às 20h. A essa hora, o ocupante do exterior vai tomar banho (15 min), enquanto que o outro permanece na sala, sendo o oposto nos 15 min seguintes. Depois, às 20:30, ambos vão preparar o jantar, demorando cerca de meia hora a fazê-lo e estando mais 30 min a jantar. Às 21:30h, quando terminam, permanecem na sala até as 22h, realizando tarefas do trabalho ou outra atividade, indo para o quarto às 22h, utilizando o computador até as 23h, sendo essa a hora a que ambos vão dormir.

Dias de fim de semana – ambos os ocupantes acordam às 8h e as manhãs são iguais aos dias semanais, onde estes saem às 8:45h e só voltam às 12h, estando uma hora a tratar do almoço e a almoçar. Voltam a sair e só regressam às 18h, onde um dos ocupantes vai tomar banho e o outro permanece na sala por 15 min. Nos 15 min seguintes, enquanto que um dos ocupantes está a tomar banho, o outro está no quarto. Quando o último termina o banho, às 18:30h, ficam os dois na sala até as 20h, começando a preparar o jantar. Às 21h terminam o jantar e permanecem na sala até as 22h, como nos dias de semana, indo para o quarto até as 23h.

Todos os restantes dias servem para contabilizar períodos em que não existe ocupação, como seria verificado em caso de férias ou ausência por qualquer outro motivo. Os dias que o programa considera não ocupado são os feriados, tendo-se um total de 15 dias por ano para tal. O fato de não se considerar férias deve-se à variabilidade do período e duração com que ocorrem. A descrição da ocupação resumida acima no programa é realizada através do horário de frações chamado em cada objeto do programa.

Tendo em conta a ocupação descrita acima, entende-se que as emissões de calor por parte das pessoas se incluem nos dois valores referidos no Capítulo 3.3.4, não existindo nenhuma atividade que provoque emissões significativamente diferentes. A definição do campo referente aos ocupantes encontra-se na Figura A.3 do anexo.

- **Iluminação**

O edifício em questão apresenta três zonas distintas, pelo que, regra geral, se tem de definir três objetos no campo da iluminação. Na Figura A.11 no anexo pode verificar-se a intensidade definida para cada zona, onde o valor é apresentado tanto em W/m^2 como em *lux*, enquanto que a Figura A.12 no anexo apresenta a definição do respetivo campo da iluminação. O horário apresentado em cada objeto na figura é definido por valores nulos ou a unidade, pois não existem duas necessidades diferentes para a mesma zona, pelo que o horário representa o funcionamento ou ausência de iluminação.

- **Equipamentos**

Os equipamentos são a carga mais importante e representam cerca de metade do consumo total de operação do edifício. Para a sua definição, é necessário atender aos hábitos dos seus ocupantes e, posteriormente, assumir que equipamentos estes usam. Além de fornecer o equipamento usado, é ainda necessário calcular a potência com que este opera, para a qual são também necessárias algumas aproximações. Deste modo, encontra-se na Figura A.4 no anexo, uma descrição dos equipamentos mais significativos e o cálculo para a sua potência. O horário de frações mencionado no respetivo campo (*Schedule: Compact*) é elaborado a partir da última coluna desta figura e permite a variabilidade da potência máxima fornecida. Após tudo definido, procede-se à definição do campo dos equipamentos, como se mostra na Figura A.13 no anexo, salientando-se essa potência máxima fornecida.

De salientar a presença de equipamentos que funcionam continuamente, como relógios ou frigorífico, definidos com o horário *AlwaysOn*, assim como a presença do último objeto que diz respeito aos equipamentos de processo e que libertam grande parte do calor para o exterior.

- **Águas Quentes Sanitárias**

As necessidades de águas quentes dizem respeito a poucas atividades e são de rápida definição no programa, sendo necessário apenas definir a potência e o horário de funcionamento. Como sugerido no Capítulo 3.3.7, após a aplicação de engenharia inversa, assume-se que a potência a fornecer é igual a 1576 W. O campo respetivo do *EnergyPlus* encontra-se representado na Figura A.14 no anexo e indica a simplicidade do campo. O modo para obter os respetivos valores encontra-se na Figura A.15 no anexo, destacando-se o horário e os hábitos assumidos dos ocupantes.

4.2.3. Avaliação de cenários

As características em avaliação consistem em condições que o edifício experimenta e que podem alterar o seu consumo energético e são exemplo destas a ventilação natural, orientação, o sombreamento e a construção utilizada. Cada uma destas características apresenta inúmeras possibilidades e que fazem com que o edifício interaja de modo diferente com o ambiente. O consumo apresentado na avaliação dos cenários diz respeito apenas a climatização e iluminação, que variam com os testes, como explicado no Capítulo 3.8.

- **Ventilação Natural**

Uma vez que a qualidade de ar interior é um pré-requisito dos edifícios, a ventilação natural foi o primeiro cenário a avaliar. Definida pela intensidade e ocorrência das infiltrações e abertura das janelas, são possíveis elaborar vários casos de estudo, começando por um cenário básico, onde existem apenas as infiltrações, até cenários mais complexos, onde a abertura das janelas é programada para períodos de desocupação. Os vários casos avaliados encontram-se resumidos na Tabela A.1 no anexo.

Dos vários casos estudados, verifica-se que apenas a partir do caso 6 se tem as condições de qualidade de ar, pelo que a partir desse interessa induzir alterações que reduzam o consumo. Os

resultados para esses casos encontram-se resumidos na Figura 4.2.5, onde se verifica grande semelhança entre as últimas situações, sendo o caso 11 o que apresenta menor consumo.

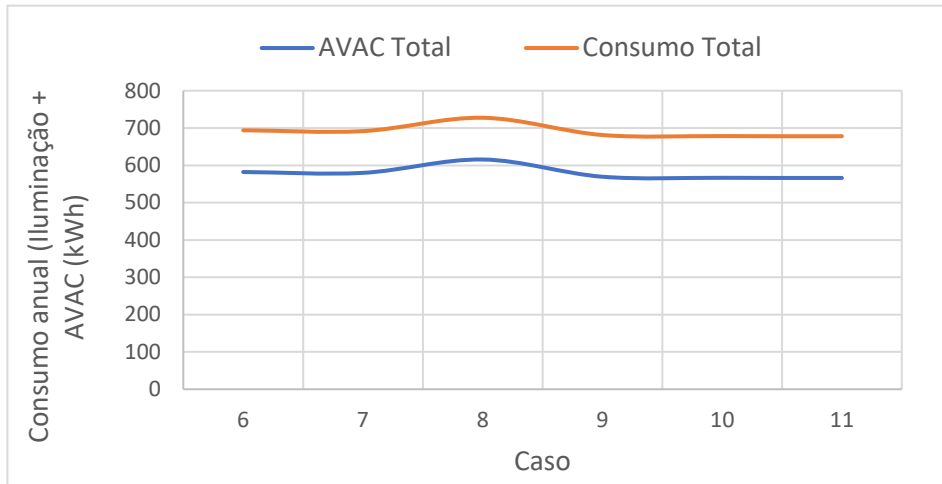


Figura 4.2.5 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da ventilação natural.

O consumo para iluminação e climatização para o caso 11 é de 678.1 kWh e diz respeito às necessidades de um ano, verificando-se umas infiltrações de 0.3 RPH, que garantem condições de ar na sala e wc, enquanto que o quarto exige ainda ventilação diária e uma ligeira ventilação noturna. Essa caracterização encontra-se representada na Figura A.16 no anexo.

- **Orientação**

Após a garantia da qualidade de ar, procedeu-se à avaliação do cenário da orientação, onde os casos possíveis variam entre 0° e 360°. Tomando o edifício com as condições do caso 11 da ventilação natural, geraram-se os vários casos da orientação e procedeu-se à sua simulação, obtendo-se os resultados apresentados no gráfico da Figura 4.2.6. De salientar que o eixo vertical não tem início em zero, de modo a tornar a diferença entre casos mais clara, tendo-se uma diferença de cerca de 54 kWh entre melhor e pior caso.

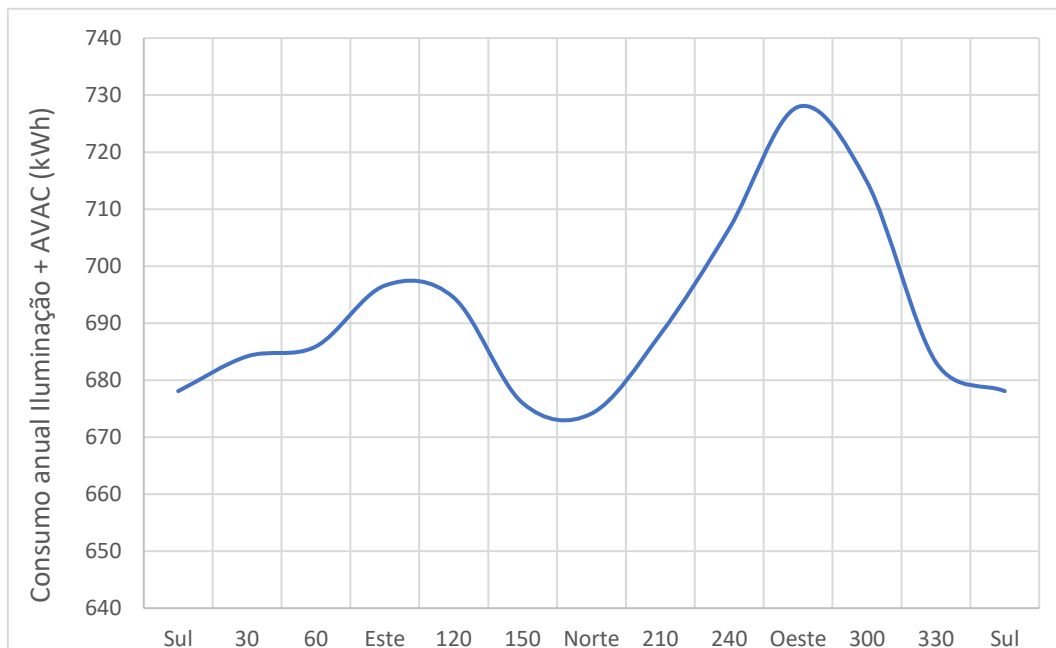


Figura 4.2.6 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da orientação.

Através do gráfico, confirma-se que a orientação sul representa um dos melhores casos, com um consumo de 678.1 kWh, que representa o mesmo valor que no estudo anterior, pois este já se encontrava orientado a sul. Também a orientação norte apresentou ótimos resultados, com um consumo de 674.1 kWh, tratando-se do melhor caso. Contudo, a orientação tomada continuou a ser sul, uma vez que estão associados outros fatores de conforto, como a preferência da orientação de janelas maiores para sul, como é o caso das da sala, e a orientação dos painéis solares, que ficam esteticamente errados ao ficarem inversamente orientados em relação à fachada frontal.

- **Sensor de luz**

A outra característica avaliada é a definição de um sensor de luz que tem a capacidade de medir a iluminação natural e que está associado à orientação. Para a sua definição, é necessário apurar as coordenadas dos vértices da base de cada zona, de modo a definir o sensor o mais afastado das janelas, de modo a que não se sobredimensione a radiação existente, pois esse nível é atribuído a toda a zona. No caso, os três sensores encontram-se no ponto central da zona, uma vez que existem janelas de ambos os lados. Na Figura A.17 no anexo encontra-se representado os vários sensores e as respetivas coordenadas.

Após se determinar a posição correta do sensor, procedeu-se à simulação das várias orientações, as mesmas que no cenário anterior, que levou aos resultados mostrados na Figura 4.2.7.

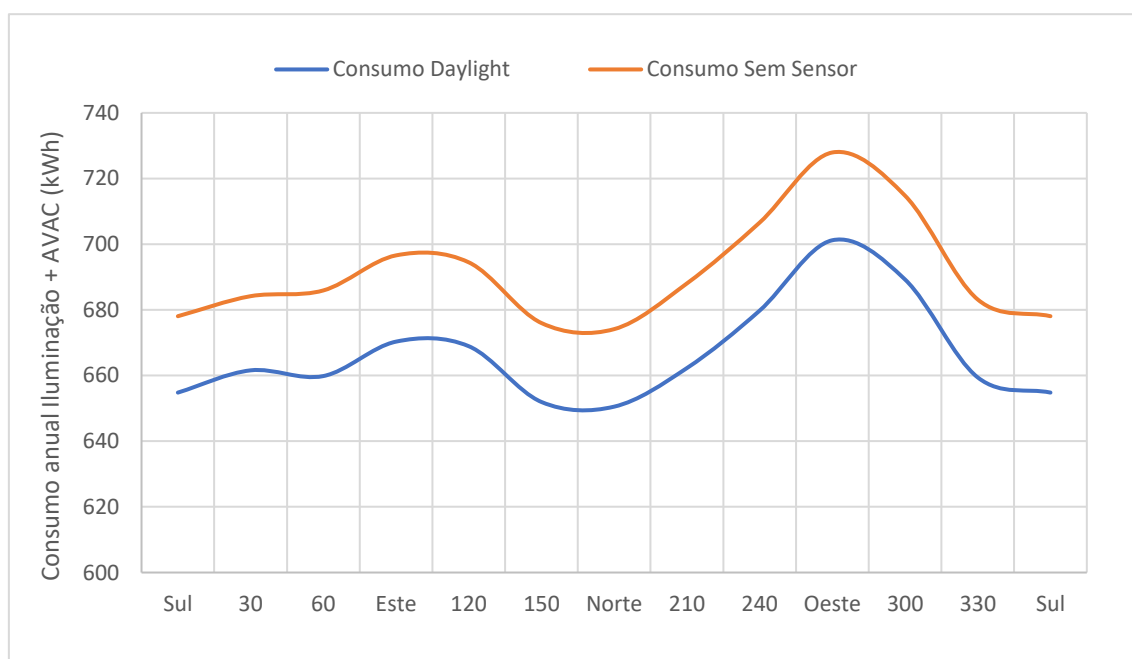


Figura 4.2.7 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sensor de iluminação natural.

Como seria de esperar, a variação do consumo é muito semelhante ao caso anterior, sendo a sua magnitude ligeiramente menor, que se deve à redução do consumo de iluminação. A orientação seguida foi a sul que, apesar de não ser o melhor caso, apresenta um dos consumos mais baixo, com um total anual para iluminação e AVAC de 654.8 kWh. Comparativamente ao cenário anterior, verifica-se uma melhoria de cerca de 24 kWh.

- **Sombreamento/Janelas**

Tratando-se de um edifício de reduzidas dimensões, pretende-se criar um espaço exterior que permita a sua ocupação quando o clima o permita, pelo que se considerou um alpendre frontal em que o comprimento mínimo seria de 1.2 m, o suficiente para garantir a proteção adequada de uma varanda, enquanto que nas restantes faces, o sombreamento não apresenta dimensão mínima. Até ao momento, o edifício em estudo apresenta um alpendre de 2 m de extensão na fachada frontal e 1 m nas restantes fachadas, o que bloqueia grande parte da radiação direta. Assim, torna-se importante avaliar outros casos, principalmente onde existe maior radiação incidente nas janelas, de modo a aumentar os ganhos no edifício.

As janelas apresentam-se como outro aspeto a ter em conta, uma vez que permitem a entrada de radiação no edifício, tendo-se definido alguns casos onde a sua dimensão foi alterada.

Tendo tudo isso em conta, desenvolveram-se alguns casos alternativos, onde os primeiros seis dizem respeito à variação do sombreamento e os três seguintes a variações das janelas. Os últimos três casos dizem respeito a considerações que não se esperariam tomar, mas que o consumo energético assim o induz, sendo também no último considerada a existência de um sombreamento interior que é utilizado apenas no período de verão. Os vários casos avaliados encontram-se resumidos na Tabela A.2 no anexo. Os resultados para os vários casos encontram-se representados na Figura 4.2.8.

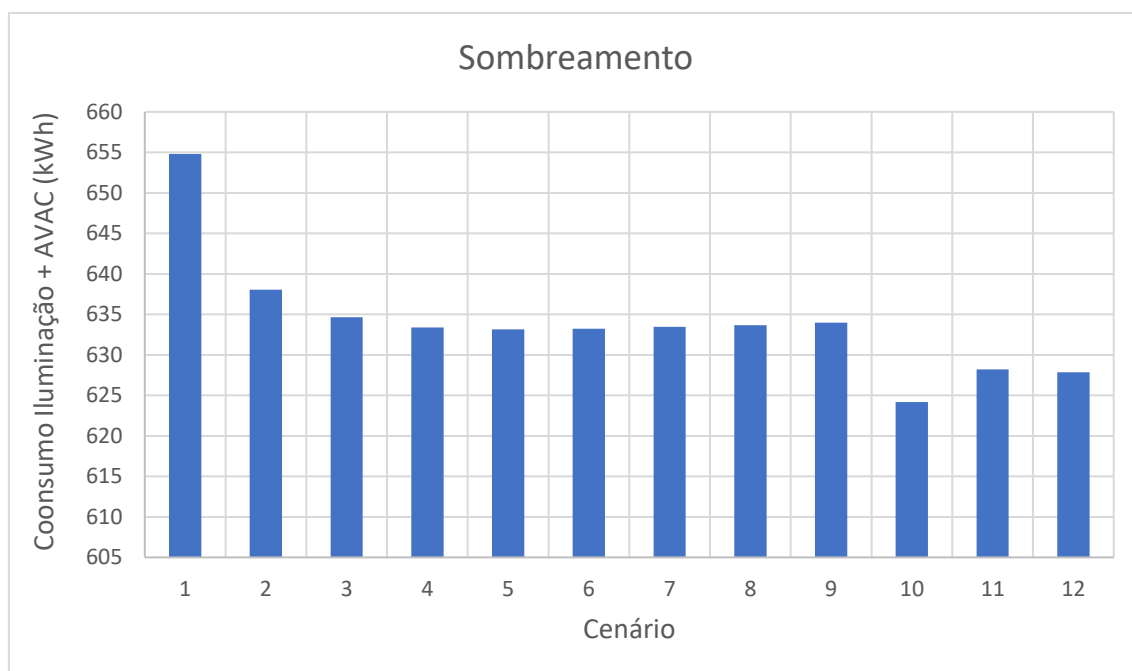


Figura 4.2.8 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sombreamento e janelas.

Analisando o gráfico, tem-se que o melhor caso é o 10, mas a sua realização implica a inexistência de um alpendre, o que serviu apenas para estudos dos ganhos de calor e indicação da tendência a seguir. Verifica-se que o segundo melhor caso é o último, com um consumo de 627.8 kWh para iluminação e AVAC e será o caso a seguir. Nele, tem-se um sombreamento frontal de 1.2 m de extensão e a utilização de um sombreamento interior, definido para horário de verão e apenas para as janelas sul, uma vez que é inútil para as restantes.

- **Construção/Energia Incorporada**

A construção representa um dos estudos mais importantes no desempenho, uma vez que influencia o consumo de operação e a energia incorporada dos materiais. Deste modo, começou-se por definir as várias construções, determinando-se qual o caso com menor consumo anual energético para iluminação e AVAC, sendo depois avaliada qual o caso de menor energia incorporada, que é válido para a totalidade da vida útil do edifício. O melhor caso deste estudo será aquele que apresentar o menor consumo para a soma das duas parcelas, nos 30 anos.

Alguns exemplos de definição dos campos do programa associada à construção encontram-se na Figura A.18 no anexo, onde são feitas as várias combinações de materiais, sendo os resultados para o consumo de operação das várias construções visíveis na Figura A.19 no anexo.

Porém, como referido, o consumo de operação é apenas metade do estudo do melhor cenário, sendo agora necessário avaliar a energia incorporada associada a cada construção. Seguindo o processo descrito no Capítulo 3.5, podem obter-se os diferentes valores. Uma vez que esses são relativos ao tempo de vida do edifício (30 anos), é necessário avaliar o consumo de operação na mesma escala de tempo, somando a energia incorporada e o consumo multiplicado pelos 30 anos. Os resultados dos vários cenários encontram-se na Figura 4.2.9, sendo o caso 0 associado à construção tradicional e os restantes a adição de materiais que promovem a eficiência.

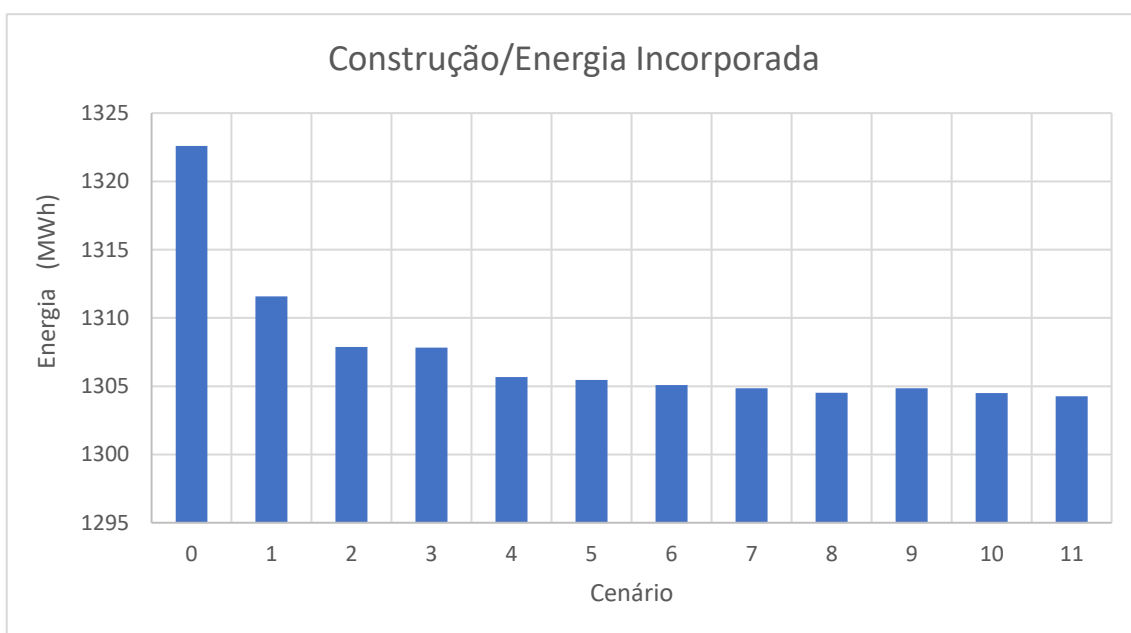


Figura 4.2.9 - Variação do consumo nos 30 anos de iluminação, AVAC e EE para o cenário da construção / energia incorporada no Projeto 1.

Ao analisar os dados obtidos, verifica-se que a melhor situação diz respeito ao cenário 11, com um consumo para 30 anos de 1304.2 MWh, salientando novamente que este valor inclui apenas iluminação e climatização da fase de operação e energia incorporada dos materiais usados. Para o resultado final, a energia a compensar será maior, o que se deve à soma deste valor obtido (1304.2 MWh) com a energia incorporada dos painéis e alpendre e ainda o consumo para equipamentos e AQS. A construção associada a este caso encontra-se na Figura A.50 do anexo.

Dada a importância das emissões no panorama atual, elas também foram analisadas e assumiu-se que, mesmo que o conceito seguido se baseie no mínimo consumo energético, se toma o caso com as menores emissões associadas, nomeadamente em casos em que essa diferença é significativa. Para o caso, tem-se que o consumo mínimo não coincide com as mínimas emissões, mas a diferença é tão pequena que se pode desprezar, tendo-se tomado o caso mais eficiente energeticamente. Na Figura 4.2.10 seguinte pode verificar-se essa aproximação e o caso tomado (vermelho), que apresenta mais 50 kgCO_{2e} que o caso com o menor valor de emissões.

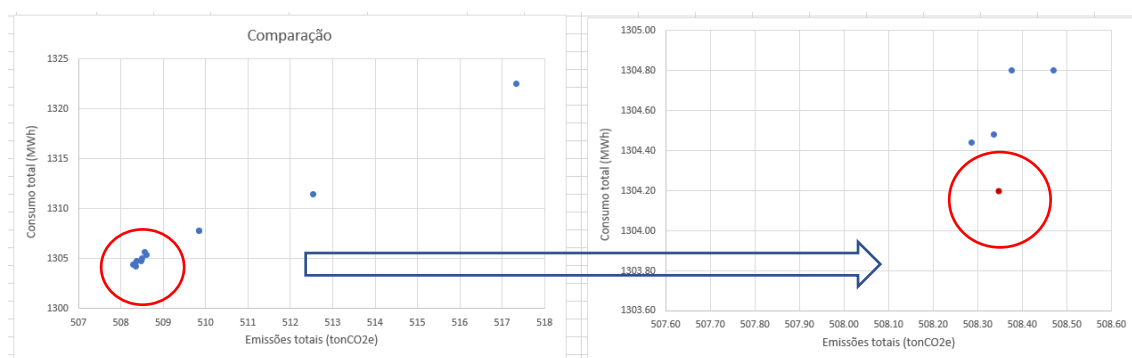


Figura 4.2.10 - Aproximação tomada na escolha do caso a seguir para o Projeto 1.

Agora que são conhecidas as melhores soluções de cada cenário avaliado, pode-se reuni-las num único edifício que será avaliado com mais detalhe e com a totalidade dos consumos que ele experimenta. Esse estudo diz respeito ao caso final e é realizado no próximo capítulo.

4.2.4. Caso Final

O caso final representa o estudo detalhado do edifício que reúne as melhores soluções e pretende-se avaliar se ele cumpre os requisitos de conforto, nomeadamente condições de temperatura e qualidade de ar interior, pormenorizando o seu consumo e a sua composição, isto é, avaliar a influência de cada componente no consumo final.

No caso dos contentores, o tipo de implementação do edifício no local de construção apresenta um aspeto importante de avaliação. Tratando-se de aço inoxidável, é comum aplicar os contentores sobre pilares, de modo a que não contactem o solo, evitando assim a sua maior degradação. Contudo, é sabido que o solo representa um dos melhores reguladores naturais da temperatura, fornecendo calor no inverno e frio no verão, pelo que se avaliaram os casos mais comuns, diferindo entre si apenas na sua implementação no local e a consideração da energia associada à produção do aço. De forma a melhor descrever cada um deles, apresenta-se de seguida a sua nomeação e breve descrição, sendo o primeiro caso o utilizado para o desenvolvimento do projeto.

- A. Caso base que serve para o estudo energético detalhado, onde o contentor é aplicado diretamente no solo, contactando com este e tirando vantagem da sua regulação térmica natural. Neste caso, optou-se pela maximização da produção de energia solar, definindo um sistema com o número máximo de painéis possíveis para a área de telhado disponível. Este aspeto prende-se com a contabilização da energia que se usa para a produção do aço

do contentor, que representa um estudo à parte. O objetivo é fazer um balanço nulo entre um conjunto de edifícios, onde haja um excesso de produção naqueles em que não se considera a energia associada à produção do aço e que representam contentores reutilizados. A não consideração dessa energia torna-se legítima ao usar contentores em segunda mão e o excesso de produção desses casos visa compensar um exemplo em que essa energia é considerada, que seria esperado caso seja utilizado um contentor novo. Devido à sua complexidade, o assunto será descrito com mais detalhe no final.

- B. O caso alternativo (B) apresenta a mesma construção que A e visa representar o cenário mais comum nesta tipologia de edifícios, que se refere à aplicação do contentor sobre pequenos pilares, deixando este em contacto com o ar exterior em todas as suas superfícies. Como não contacta o solo, não existe a regulação térmica natural que este providencia e espera-se maior consumo na climatização. Para este caso e os restantes, a energia consumida na produção do aço do contentor não é contabilizada e o sistema fotovoltaico é dimensionado para o consumo total a satisfazer.
- C. O terceiro exemplo diz respeito a uma construção tradicional (C) e serve de comparação entre tipos de construção. De modo a fornecer uma melhor perspetiva dos resultados associados aos casos A e B, fez-se a comparação entre estes e um caso em que se utiliza a construção considerada tradicional, como apresentada na Figura A.20 no anexo. Este apresenta uma área útil semelhante ao edifício A, a mesma localização e dimensão dos vãos, diferindo apenas na composição das paredes. Devido à reduzida área interior, as paredes interiores são compostas apenas por um painel de MDF, como nos casos anteriores, em vez do típico tijolo.
- D. O último caso apresenta a mesma construção e instalação que A, diferindo apenas na quantidade de painéis utilizados. Como a energia incorporada do aço não é aqui contabilizada, pode dimensionar-se um sistema fotovoltaico adequado, de modo a que não existam excessos elevados de produção, verificando-se um equilíbrio entre produção e consumo. A redução do sistema em relação a A permite menor energia incorporada dos painéis e, conseqüentemente, menor consumo final.

Como referido, o caso A foi o tomado para o desenvolvimento do estudo energético completo, tratando-se do caso com melhor interação com a envolvente. De modo a simplificar a análise energética, o estudo encontra-se dividido em três categorias: necessidades energéticas, produção fotovoltaica e condições de conforto.

1. Necessidades energéticas

As necessidades energéticas representam a quantidade total de energia que o edifício consome e podem dividir-se em duas grandes categorias: a fase de operação, que representa o consumo para satisfazer as necessidades dos seus ocupantes, nomeadamente equipamentos, iluminação, AVAC e AQS, e a energia incorporada, desde os materiais utilizados na construção até à energia utilizada para produzir os próprios painéis.

Fazendo a simulação do edifício, obtém-se os resultados apresentados na Figura A.21 em anexo, onde se encontram os consumos mensais da fase de operação, assim como a produção mensal, realizada pelos painéis fotovoltaicos. Para maior perceção, estes são representados graficamente (Figura A.22 no anexo), de modo a melhor visualizar a sua variação ao longo do ano.

Somando as várias parcelas, verifica-se que o consumo anual de fase de operação é de 2660 kWh, que equivale a 89.5 kWh/ano.m², sendo cerca de 60% representado pelos equipamentos. Como se tratam de lâmpadas muito eficientes, a iluminação apresenta uma dimensão reduzida e muito menor que as restantes parcelas. De notar também a diferença entre aquecimento e arrefecimento, que se justifica devido ao clima em questão. Da Figura A.21 no anexo, tem-se ainda a produção fotovoltaica ao longo do ano e que pode também ser representada graficamente, como descrito na Figura 4.2.11, onde se incluem as energias incorporadas para materiais e painéis.

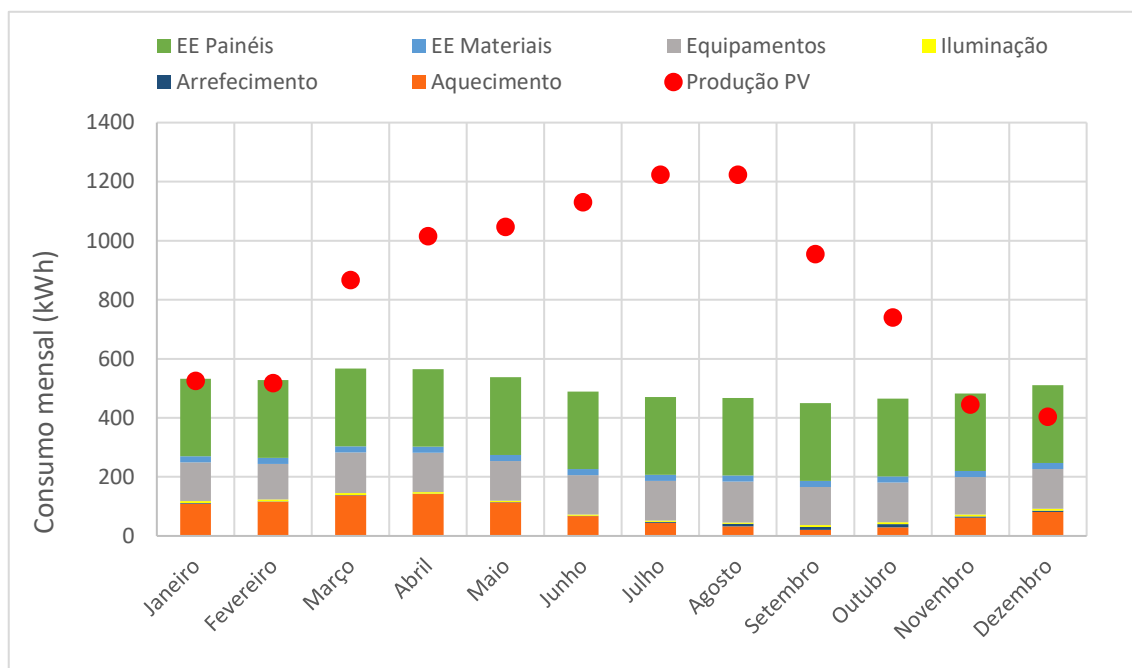


Figura 4.2.11 - Variação do consumo mensal para o caso final.

Na figura, pode então verificar-se a produção de energia solar, apresentando um pico no verão e uma produção mínima no inverno, como esperado, sendo ainda visível a discrepância entre a produção e o consumo, que se deve à maximização da produção, devido à dimensão da energia incorporada. A energia incorporada representada na Figura 4.2.11 obtém-se pela divisão do valor total pelos 30 anos e 12 meses de cada ano, resultando num valor constante mensal.

Verifica-se ainda que existe aquecimento no verão e arrefecimento no inverno, que se apresenta como uma medida contra-intuitiva, mas que foi seguida no contexto de pior cenário, isto é, não existe nenhuma hipótese que faça o consumo ser maior que o verificado. Ao não utilizar a climatização referida, ela funciona menos tempo e o consumo torna-se mais baixo, podendo verificar-se períodos fora do intervalo de conforto.

Também as emissões associadas à produção de energia para satisfazer o consumo de operação devem ser calculadas, onde esse valor apenas é importante caso não existisse o sistema fotovoltaico no edifício, pois na sua presença o seu valor seria zero e as únicas emissões são as associadas à produção do próprio sistema PV. Assim, assumiu-se que a intensidade de carbono na produção de energia que é fornecida pela rede é de 420 kgCO₂/MWh, que representa o valor médio em 2015, que leva à emissão de 33.5 tonCO₂. Estas emissões encontram-se ligadas ao consumo de operação e são o valor principal para o cálculo das emissões evitadas.

A outra categoria do consumo diz respeito à energia incorporada dos materiais e, dada a sua importância, as emissões (CO₂e) associadas. Para o caso, a energia incorporada dos materiais é de

cerca de 7.5 MWh e produzem-se cerca de 1.6 tonCO_{2e} na sua produção, valores estes associados aos 30 anos de vida útil do edifício, ao contrário do consumo de operação, que se trata de um valor anual. De sublinhar que a energia associada à produção do aço inoxidável do contentor não é aqui incluída, pois, ao considerar-se esse valor, a produção nunca se tornaria maior ou igual do que o consumo, sendo realizada uma análise a este tema num capítulo posterior. Para se ter uma noção da quantidade de energia a produzir pelo sistema fotovoltaico, de forma a atingir o balanço energético nulo, realizou-se a soma das duas parcelas anteriores, resultando um consumo de 87.3 MWh para os 30 anos do edifício, pelo que este sistema terá de produzir uma quantidade acima desta, de modo a incluir a energia consumida na sua própria produção.

2. Produção PV

De modo a satisfazer a procura de energia, definiu-se um sistema fotovoltaico composto por 22 painéis que ocupam a área de telhado. Este sistema é capaz de produzir anualmente cerca de 10 MWh, o que perfaz cerca de 302.4 MWh nos 30 anos, como sumarizado na Tabela 4.2.2.

Tabela 4.2.2 – Resultados para a produção e consumo finais do Projeto 1.

Produção 30 anos MWh	nº painéis	associado aos painéis		Total Energia a suprimir (MWh)	Total Emissões (tonCO _{2e})
		EE (MWh)	EC (tonCO ₂)		
302.42	22	94.61	17.35	181.92	18.97

O consumo total a satisfazer é igual a 181.9 MWh e representa o consumo total do edifício em toda a sua vida. Ele resulta da soma do valor apresentado anteriormente (87.3 MWh) com a energia incorporada dos painéis, igual a 94.6 MWh, destacando-se a influência do sistema no contexto energético global, ao que estão associadas as emissões de cerca de 19 tonCO_{2e}. Dada a área do edifício, o seu consumo total é igual a 204 kWh/m².ano. Ao analisar a Tabela 4.2.2, pode concluir-se que se consome 94.6 MWh apenas para a produção do sistema fotovoltaico, que representa cerca de 52% do total consumido, salientando a sua importância no consumo final.

Para o sistema PV, como a sua vida útil é de 15 anos, enquanto que a do edifício é de 30, é necessária uma segunda instalação, pelo que se consome o dobro da energia incorporada, que é contabilizada ao multiplicar a energia pelo fator 2. Esta aproximação funciona como o pior caso, uma vez que os sistema pode durar até 20 anos, e visa garantir as condições propostas, onde o único resultado além do obtido poderá ser uma maior produção do que a prevista, como explicado no Capítulo 3.6.

Através de alguns cálculos, verifica-se que a produção anual de cada painel é de cerca de 458 kWh e, sabendo que a energia incorporada é de 2150 kWh (valor médio) e recorrendo à Equação 3.18, conclui-se que são necessários cerca de 4.7 anos para recuperar a energia investida. Como se assume que a vida útil é de 15 anos, o painel consegue, no mínimo, compensar a energia em um terço da sua vida. Uma vez que existe elevada variabilidade da energia incorporada, o tempo de retorno encontra-se analisado de forma mais detalhada no capítulo da incerteza, onde são testados os casos limite.

3. Condições de conforto

As condições de conforto são os requisitos principais a cumprir e são responsáveis por uma significativa fração do consumo energético. No estudo realizado, entende-se por conforto a garantia de uma temperatura operativa dentro do intervalo 19-26°C e a concentração de dióxido de carbono abaixo de 1625 ppm para média de 8 horas consecutivas.

a. Temperatura de conforto

Para atingir o intervalo de conforto exigido, foi necessário fornecer ao sistema de climatização o termostato de 23-26°C, que se refere à temperatura do ar, como explicado no Capítulo 3.3.8. Com as temperaturas operativas como resultado da simulação, verifica-se que existem 3.1% de horas de desconforto na zona sala e 2.7% para a wc. Os quartos representam o caso especial de ocupação, dada pela Equação 3.6, e também nesta zona se verifica conforto térmico.

b. Qualidade de ar

A qualidade do ar garante-se através de uma concentração de CO_{2e} abaixo dos 1625 ppm para uma média de 8 horas consecutivas. Para garantir esta qualidade do ar, verifica-se uma ventilação natural nas várias zonas como mostrado na Figura A.16 em anexo e, pedindo-se como resultado a concentração de CO₂ no edifício, é possível obter a sua variação ao longo do ano, verificando-se que o limite nunca é atingido, como mostrado nos gráficos seguintes.

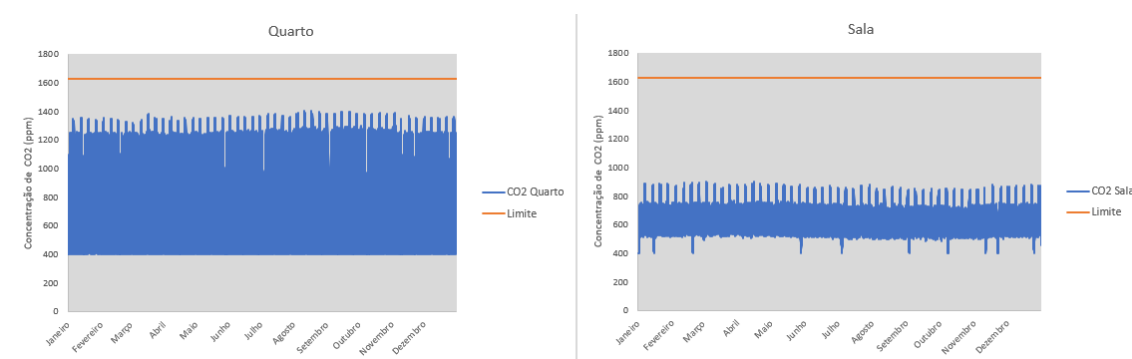


Figura 4.2.12 - Concentração de dióxido de carbono no interior das zonas para o caso final do Projeto 1.

A zona wc tem pouca ocupação e nunca apresenta concentrações de CO₂ em excesso, sendo a qualidade de ar garantida apenas pelas infiltrações.

Consideração do aço inoxidável

O presente projeto baseia-se no uso de um contentor em segunda mão e consiste na reciclagem de um recurso, pelo que a consideração da energia consumida na sua produção não se torna justa. Por outro lado, a experiência descreve que, com o possível início da tendência do uso desta tipologia de edifícios, várias empresas passarão a construir contentores precisamente para este fim, ou que as pessoas usariam contentores novos, mesmo que não fosse a intenção do produtor, o que faz com que, para esses casos, seja determinante contabilizar essa energia. Tendo estes dois casos em mente, e através da produção de energia, avaliou-se quantos edifícios com contentores reutilizados seriam necessários para compensar o uso de um contentor novo para uma habitação. Pretende-se assim verificar quantos edifícios teriam de produzir em excesso para que se possa contabilizar a produção do contentor num caso.

A única diferença localiza-se na energia incorporada, havendo a necessidade de somar a parcela associada ao aço do próprio contentor e que é igual a 1283.68 MWh, para os quais se associam emissões de cerca de 501 tonCO_{2e}. Tal faz com que o consumo total passe a 1465.5 MWh, o equivalente a 1643.4 kWh/m².ano, e que as emissões por parte do edifício sejam de 520 tonCO_{2e}. Como a produção total é de apenas 302.4 MWh, significa que existe uma escassez de 1163 MWh, ao contrário de antes, que existia um excesso de 120.5 MWh. Fazendo um balanço entre as duas situações, conclui-se que seriam necessários 10 edifícios para compensar a energia que se consome na produção de um contentor, isto é, em 11 edifícios, apenas 1 poderia utilizar um contentor novo, de modo a que toda a energia consumida por esse conjunto de edifícios seja compensada.

4.2.5. Comparação

Aqui apresentam-se alguns dados e cálculos importantes que foram feitos para os casos alternativos, que representam situações prováveis no contexto dos edifícios em contentor, como uma instalação diferente ou outras premissas assumidas, traduzidas pelos cenários B, C e D, definidos no início do Capítulo 4.2.4. Seguindo o mesmo processo que em A, calculou-se o consumo energético para os casos alternativos, avaliando a influência de cada parcela. O consumo encontra-se detalhado nas Figuras A.23 a A.25 no anexo, destacando-se a variabilidade de cada parcela, nomeadamente a carga de climatização. Contudo, a grande diferença entre eles consiste na EE, pelo que se torna mais importante avaliar o consumo total e a respetiva produção de cada caso, como na Figura 4.2.13.

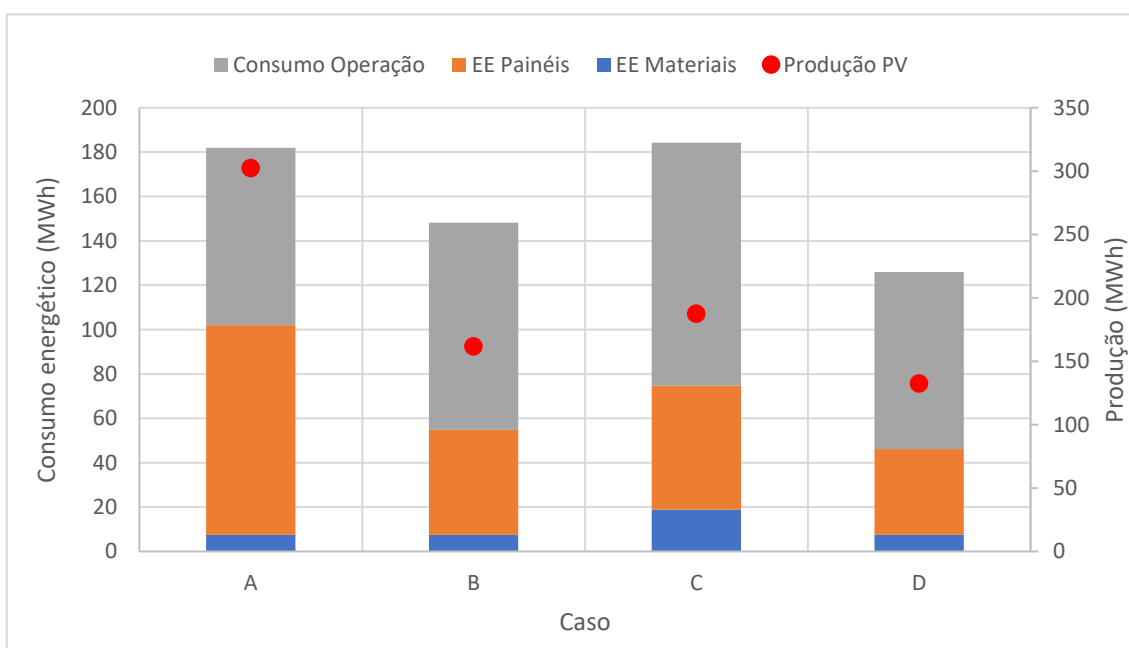


Figura 4.2.13 - Composição do consumo energético e produção PV do Projeto 1.

Tendo em conta que os edifícios A e D apenas diferem no número de painéis utilizados, eles apresentam os mesmos consumos de operação, dado pela Figura A.21 em anexo, e EE materiais. Para os casos B, C e D, considera-se que não são usados contentores novos, pelo que a energia incorporada do aço não é contabilizada, podendo ajustar-se o sistema produtor ao consumo, ao contrário do caso A, onde há a sua maximização, como se destaca na Figura 4.2.13 através da EE para os painéis.

Analisando os vários casos, verifica-se que o caso tradicional (C) é o que apresenta o maior consumo, destacando-se a EE de materiais, sendo a mais elevada, mas que se deve ao fato de que

nos outros, apenas se consideram os acabamentos, pois a restante estrutura pertence ao contentor, ao contrário deste caso. Como apresenta o maior consumo, igual a 230 MWh, tem de apresentar um maior sistema produtor e, conseqüentemente, maior EE dos painéis, sendo superado apenas pelo caso A, onde se procede à maximização da produção pelos motivos já referidos.

Relativamente às emissões, pode verificar-se uma redução bastante significativa para os edifícios LC-ZEB, que pode ser visível na Figura 4.2.14 e onde se destacam as emissões evitadas para o caso B e D, que mostram ser uma solução apropriada à redução do impacto ambiental negativo dos edifícios.

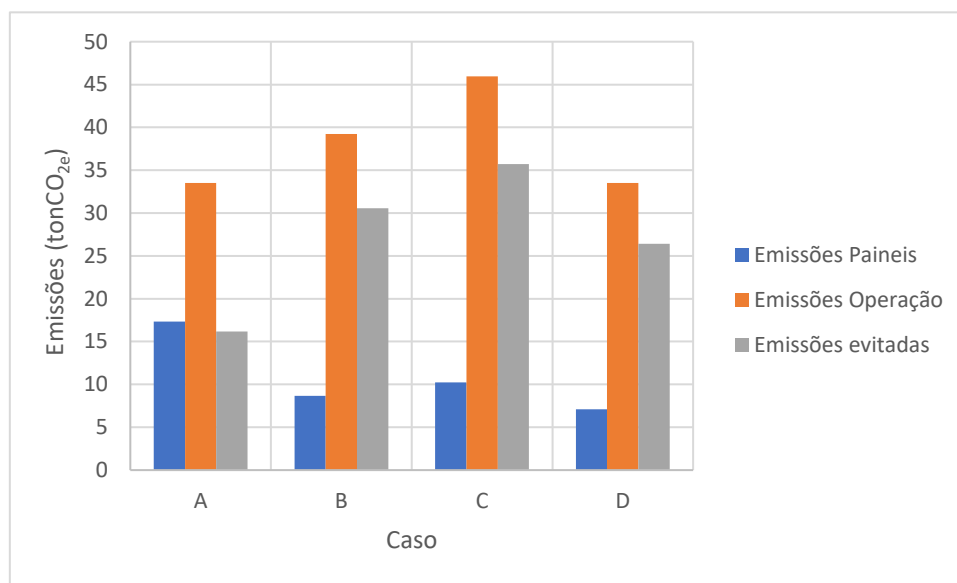


Figura 4.2.14 - Composição das emissões associadas aos vários casos alternativos do Projeto 1.

De relembrar que os casos A e D são iguais em termos de desempenho, diferindo apenas na dimensão do sistema PV. Além disso, excluindo a energia para a produção do aço, todos os casos apresentados são LC-ZEB, produzindo sempre mais que o consumo total do edifício no seu tempo de vida útil.

4.2.6. Incerteza

A presente secção pretende mostrar as incertezas que se cometem no desenvolvimento do edifício e concluir se os resultados do estudo realizado são fiáveis, analisando-se a diferença entre os vários casos.

O consumo é caracterizado por quatro grupos essenciais: a energia incorporada, que se divide em três componentes (materiais, vãos e painéis solares) e o consumo da fase de operação. Este último, obtido como resultado do programa de simulação, assume-se que não apresenta incerteza e que não leva à alteração aos resultados, assim como a energia dos materiais, que não apresenta variabilidade na base de dados do ICE [29]. Contudo, ao analisar essa mesma base de dados, verifica-se que os valores apresentados para as janelas (vãos) e painéis são, na verdade, um intervalo de valores, o que representa conclusões bastante diferentes.

Deste modo, pelo mesmo processo que se seguiu no cálculo da energia incorporada para os vários casos, calcularam-se quais os limites superior e inferior e os resultados finais, que representam o

pior e o melhor caso, respetivamente. A Figura 4.2.15 mostra essa incerteza, dada pela barra vertical, para os quatro casos associados ao Projeto 1.

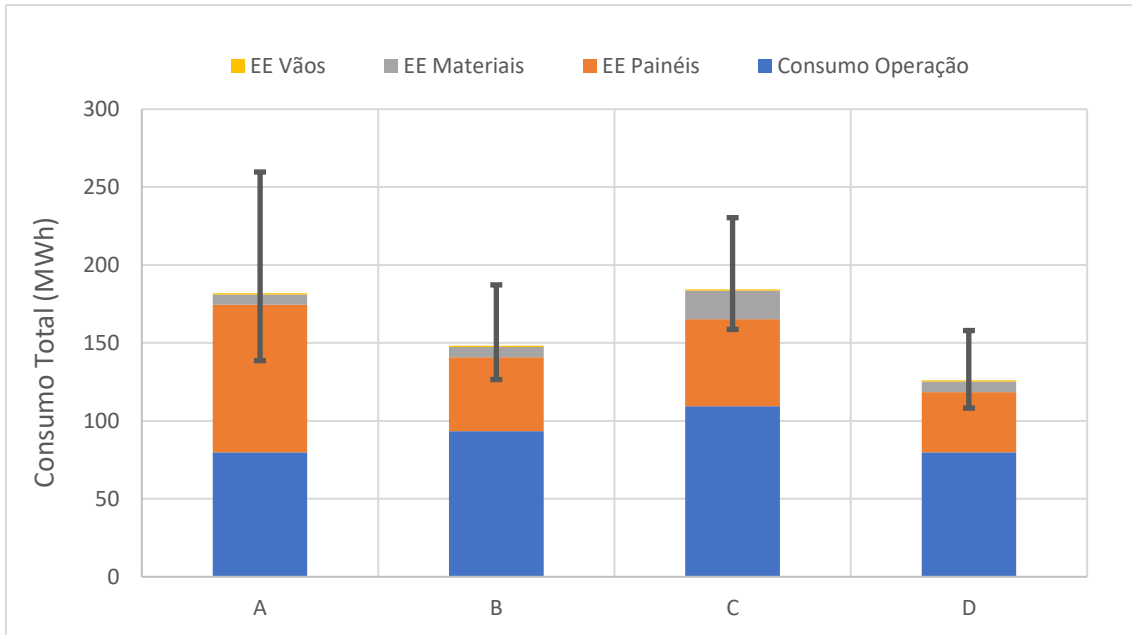


Figura 4.2.15 - Consumo para os casos alternativos do Projeto 1 e respetiva incerteza cometida.

Analisando a Figura 4.2.15, verifica-se que a incerteza cometida é de dimensão bastante considerável, que se deve essencialmente à variação dos valores associados à produção dos painéis. Contudo, entende-se que esse aspeto não inviabiliza o estudo, apenas o torna menos preciso, onde, caso se pretenda maior segurança, se deve optar pelo pior caso, que corresponde ao valor máximo de EE (8640 MJ/m²). Por outro lado, este aspeto deve incentivar o estudo dos materiais, tornando a base de dados mais completa e fiável. Como as emissões seguem o mesmo processo que a energia, também elas apresentam incerteza, que é descrita pela Figura 4.2.16.

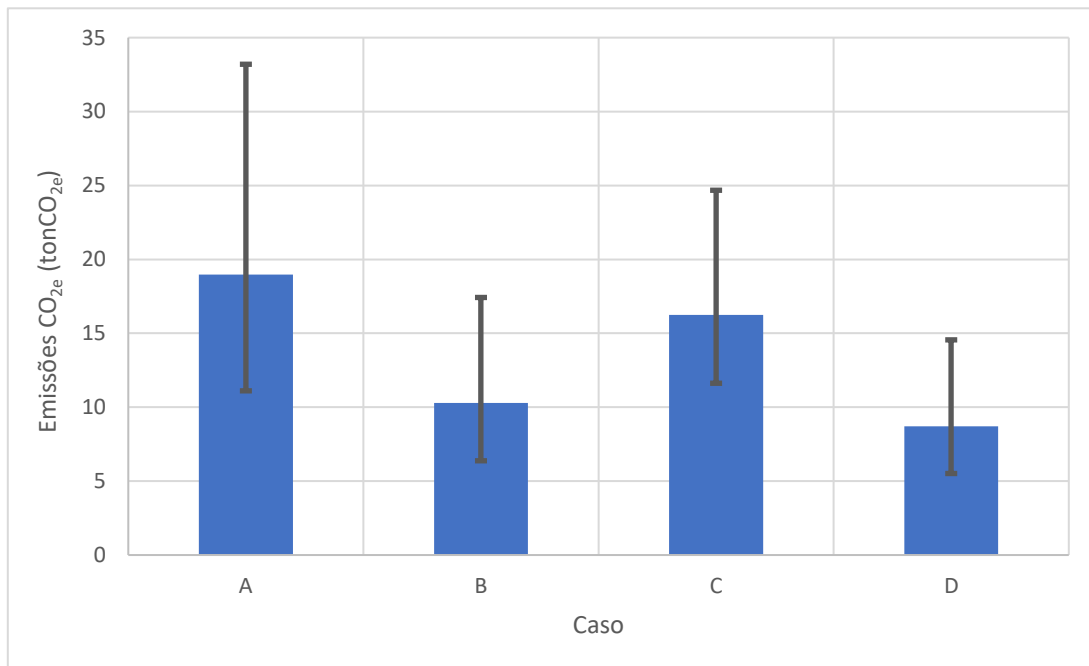


Figura 4.2.16 - Emissões para os casos alternativos do Projeto 1 e respetiva incerteza cometida.

À semelhança da incerteza no cálculo da energia consumida pelo edifício, também as emissões apresentam um valor bastante significativo. Contudo, entende-se que a viabilidade do estudo se mantém, podendo seguir-se pelo pior caso possível de modo a garantir os resultados apresentados.

Com base nessa variabilidade da energia associada aos painéis, na Tabela 4.2.3 pode visualizar-se os tempos de retorno para os valores de EE máximo e mínimo, tendo como pior caso 8.5 anos de retorno, o que representa ainda cerca de metade da vida do painel, pelo que este será sempre rentável.

Tabela 4.2.3 - Tempo de retorno dos painéis solares para os valores limite.

	Módulo fotovoltaico monocristalino 335W 21%		
	Minimo	Máximo	Médio
MJ/m²	2590	8640	4750
kWh	1172.46	3911.20	2150.26
Tempo Retorno	2.6	8.5	4.7

A utilização de painéis do tipo policristalino leva a valores menores de energia incorporada e, consequentemente, a menores tempos de retorno. Esse aspeto prova que todos os sistemas fotovoltaicos instalados atualmente permitem o retorno do investimento realizado.

4.2.7. Resultado Final

Aqui apresenta-se apenas uma figura que ilustra o caso final A numa perspetiva mais realista, sendo apresentadas mais figuras do projeto em anexo, onde a Figura A.26 representa o caso B, onde o contentor não contacta o solo, e as Figura A.27 e A.28 outras perspetivas do caso A. O caso D apresenta o mesmo aspeto exterior do caso A, diferindo apenas no número de painéis utilizados, em que se instalam 9 painéis ao contrário dos 22 mostrados na figura. Quanto ao caso C, que representa a construção tradicional, não se verifica nenhuma figura que traduza uma perspetiva mais realista, porque esse caso apenas serve para comparação energética e monetária.



Figura 4.2.17 - Perspetiva SW do edifício final desenvolvido em Sketchup.

O aspeto económico considera-se um dos pontos mais importantes no que toca a incentivar a aplicabilidade e a aquisição de um dado bem ou serviço, pelo que se espera que estes edifícios se tornem uma realidade apenas se mostrarem um custo apelativo.

Para o caso, o orçamento foi realizado a partir de uma estimativa dos materiais usados, calculando a quantidade utilizada e multiplicando pelo preço médio. Também as várias parcelas associadas a mão de obra, painéis solares, construção, contentor, entre muitos outros, foram estimadas, fazendo com que se obtenha um custo final de cerca de 29400 €, que equivale a um custo de 989 €/m², que se encontra dentro da estimativa do orçamento. A Figura A.29 no anexo descreve o custo de cada parcela.

4.3. Projeto 2 – Moradia

O segundo projeto consiste no desenvolvimento de um edifício LC-ZEB do tipo moradia, que representa um dos tipos mais comum da construção nacional, a par dos apartamentos. Assim, este estudo torna-se interessante para uma quantidade elevada de pessoas e pretende com isso mudar o panorama energético do país.

As moradias são edifícios de dimensões médias e permitem a habitação de famílias com número de elementos desde um até 6, tendo-se assumido 4 pessoas para o caso, o que implica que se tenha de desenvolver um *design* do edifício que sirva a totalidade das suas necessidades. No intuito de manter o edifício dentro de um orçamento médio, onde se pretende manter o custo final da casa inferior a 100 k€, definiram-se as zonas essenciais e com dimensões consideradas médias. Caso se verifique o seu cumprimento, prova-se que estes edifícios conseguem ser uma alternativa competitiva mesmo no aspeto económico.

4.3.1. Planta

Para iniciar a avaliação energética do projeto, é necessária a definição de um modelo base, onde se defina as condições e as cargas que o edifício experimenta. Deste modo, com o intuito de desenvolver um edifício simples, que maximiza a eficiência energética, e tendo em conta o número de ocupantes, considerou-se necessária a existência de uma cozinha, sala, três quartos e duas casas de banho. Uma vez que se assume que os adultos são empregados e com a crescente tendência da realização de trabalho profissional em casa, definiu-se também um escritório, que representa uma zona não obrigatória, mas adequada à situação, assim como a existência de uma garagem e de uma zona de trabalhos domésticos, nomeada por “Máquinas”, que, apesar de não serem essenciais, apresentam também uma vantagem ao edifício. Tendo isso em mente, desenvolveu-se a planta que se apresenta na Figura 4.3.1, onde a espessura das paredes exteriores e interiores é de 0.28 m e 0.11 m, respetivamente, e representam um valor médio deste aspeto, uma vez que é comum dupla camada nas paredes exteriores.

O quarto principal encontra-se marcado com o índice 1 e destina-se à ocupação dos adultos, enquanto que os quartos 2 e 3 são para as crianças. A entrada do edifício encontra-se na saliência entre a sala e esse quarto principal, onde o corredor contacta o exterior. Dadas as zonas descritas, espera-se desde já ultrapassar o orçamento, mas é preferível considerar o edifício com as zonas assumidas e ultrapassá-lo do que definir apenas as zonas básicas e, na sua aplicação, todos os interessados exijam a adição das zonas secundárias.

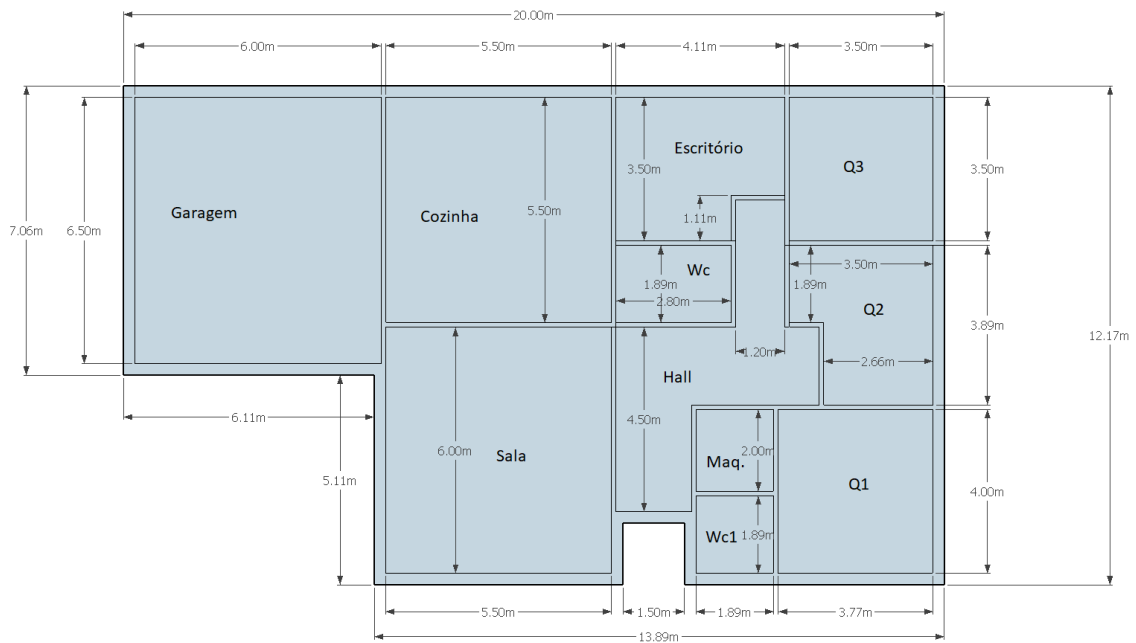


Figura 4.3.1 - Planta base para teste de cenários do Projeto 2.

Estando a planta do edifício definida, é possível desenvolver o modelo 3D que será usado para a simulação energética, que é realizado na plataforma *Sketchup*. Cada zona é nomeada individualmente, assim como a nomenclatura de cada superfície e a definição das condições de fronteira que esta apresenta. Com base nos valores médios registados, utilizou-se uma altura útil de 2.6 m. Acima dessa altura, todos os elementos pertencem à zona nomeada como “Telhado” e que representa o espaço associado ao sótão de um edifício comum. Uma vez este contacta as zonas úteis, ele deve ser definido no programa como zona e não como sombreamento, como no projeto anterior, de forma a que se possam definir as condições de fronteira entre as superfícies. Além disso, o prolongamento da zona “Telhado” para o exterior faz com que este sirva de sombreamento exterior ao próprio edifício, o que também se verifica nos edifícios deste tipo existentes. O aspeto final deste modelo base encontra-se representado na Figura 4.3.2.

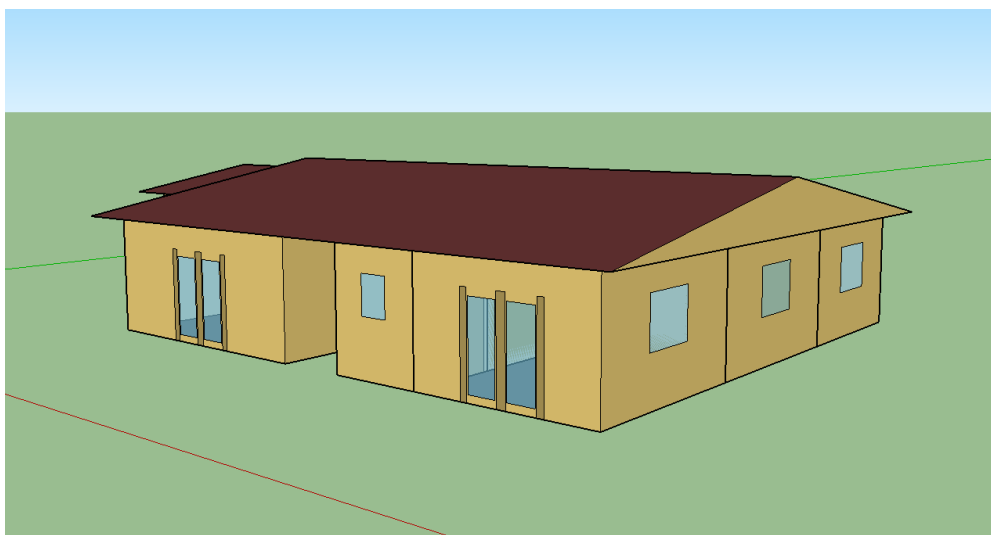


Figura 4.3.2 – Representação do modelo base do Projeto 2 no programa *Sketchup*.

Algumas das definições das superfícies encontram-se também em anexo, onde se destacam as condições fronteira assumidas (Figura A.30 no anexo).

4.3.2. Cargas

As cargas representam todos as necessidades que o edifício apresenta e baseiam-se em quatro grandes consumos: iluminação, equipamentos, águas quentes sanitárias e climatização. Todos os sistema são elétricos, de modo a serem satisfeitos pelo sistema PV.

- **Pessoas**

A primeira carga a definir consiste no número de habitantes e a sua ocupação ao longo do ano. Devido ao seu emprego/escola, os seus ocupantes apenas se encontram no edifício nos períodos matinal e noturno, mais especificamente das 18h às 8h, o que é válido para todos os dias semanais, sendo a sua ocupação típica descrita por:

Dias de semana – todos acordam às 7h, um adulto vai tomar banho e o outro vai para a cozinha, enquanto que uma criança toma banho e a outra está no quarto, sendo o oposto nos 15 min seguintes. Das 7:30-7:45h estão os 4 na cozinha a tomar o pequeno almoço e nos 15min seguintes nos respetivos quartos, onde às 8h todos saem de casa. Voltam às 18h, parando 15min na cozinha para lanchar, onde depois as crianças vão para os respetivos quartos, o homem anda no exterior e a mulher esta na sala de máquinas. Às 19h o homem volta para casa, para o escritório, e a mulher vai para a cozinha às 19:30h, preparar o jantar, demorando meia hora, pelo que às 20h todos se encontram na cozinha para jantar, que dura até as 21h. De seguida, seguem todos para a sala onde ficam mais uma hora, ate às 22h. As crianças vão para a cama enquanto que os pais ficam na sala mais uma hora, ate as 23h. A essa hora vão dormir e às 7h tudo se repete.

Dias de fim de semana – acordam todos as 8h e a primeira hora é igual aos outros dias. Às 9h, considera-se que todos saem de casa até a hora de almoço (12h), para praticar desporto, trabalhar ou qualquer outra atividade. Às 12h, ambos os pais vão para a cozinha enquanto que as crianças se encontram na sala e às 13h almoçam todos na cozinha, que dura até as 14h. Até às 18h, as crianças estão na sala a estudar, enquanto que os pais estão no escritório. Às 18h, os pais vão para a sala, ficando os 4 ocupantes lá, até as 19:30, onde a essa hora os pais vão preparar o jantar, demorando meia hora, pelo que às 20h todos se encontram na cozinha para jantar, que dura até as 21h. De seguida, seguem todos para a sala onde ficam mais uma hora, ate às 22h. As crianças vão para a cama enquanto que os pais ficam na sala mais uma hora, ate as 23h.

Devido às diferentes atividades que são executadas na habitação, há a necessidade de definir mais uma taxa de libertação de calor que corresponde a 180 W/pessoa e representa atividades mais intensas, como trabalhos domésticos e cozinhar. Contrariamente ao Projeto 1, cozinhar representa agora uma atividade mais intensa e que se deve ao facto de existirem mais pessoas, pelo que cozinhar representa um maior esforço e tempo. Para definir a ocupação no *EnergyPlus*, recorre-se ao campo *People*, representado na Figura A.31 do anexo, onde são fornecidos o número de pessoas e a sua ocupação, assim como o horário de frações, definido pela ocupação descrita.

- **Iluminação**

A iluminação apresenta um campo mais complexo agora que existem mais zonas em estudo e que, em algumas delas, são exigidos diferentes níveis de iluminância, devido à ocupação assumida. Na Figura A.11 no anexo, juntamente com os dados do projeto anterior, são mostrados os níveis assumidos, sendo também referido a fração que o nível menor de iluminância representa do valor maior, que permite a definição do horário de frações. Sabendo os níveis de iluminância exigidos, definiram-se os vários campos associados, tendo-se no mínimo um objeto para cada zona, como se mostra na Figura A.32 no anexo.

- **Equipamentos**

Os equipamentos são a carga mais importante e representam cerca de metade do consumo total de operação do edifício. Além de fornecer o equipamento usado, é ainda necessário calcular a potência com que este opera, para a qual são também necessárias algumas aproximações, pois não coincide com a potência máxima. Deste modo, encontra-se na Figura A.5 no anexo, uma descrição dos equipamentos mais significativos e o cálculo para a sua potência, assim como a apresentação das frações usadas no horário. O horário de frações mencionado no respetivo campo (*Schedule:Compact*) é elaborado a partir da última coluna desta figura e permite a variabilidade da potência máxima fornecida.

Quanto à definição no programa, ela encontra-se na Figura A.33 no anexo, onde se destacam os campos associados aos equipamentos que perdem 70% do calor para o exterior e ainda os que funcionam continuamente no tempo, como relógios e frigorífico.

- **Águas Quentes Sanitárias**

As necessidades de águas quentes dizem respeito a poucas atividades e é apenas necessário definir a potência e o horário de funcionamento. Como sugerido no Capítulo 3.3.7, após a aplicação de engenharia inversa, assume-se que a potência a fornecer é igual a 3540 W. O campo respetivo do *EnergyPlus* encontra-se representado na Figura A.34 no anexo e indica a simplicidade do campo. O modo para obter os respetivos valores encontra-se na Figura A.35 no anexo, destacando-se o horário e os hábitos assumidos dos ocupantes.

4.3.3. Avaliação de cenários

As características em avaliação consistem em condições que o edifício experimenta e que podem alterar o seu consumo energético, sendo exemplos destas a ventilação natural, orientação, o sombreamento e a construção utilizada. Cada uma destas características apresenta inúmeras possibilidades e que fazem com que o edifício interaja de modo diferente com o ambiente.

- **Ventilação Natural**

A ventilação natural consiste no primeiro cenário testado e é definida pela intensidade e ocorrência das infiltrações e abertura das janelas, sendo as primeiras suficientes para garantir essa qualidade em inúmeros casos. Os vários casos visam estudar qual a melhor combinação para a ventilação, começando por um mais simples, apenas com as infiltrações, até um cenário mais complexo, onde existe ventilação diária e noturna. Os vários casos avaliados encontram-se resumidos na Tabela A.3 no anexo.

A ventilação noturna nos quartos assume-se como admissível desde que a sua intensidade seja reduzida, considerando 1 RPH o máximo permitido. Os resultados dos vários casos encontram-se resumidos na Figura 4.3.3, onde se destaca a reduzida variabilidade do consumo.

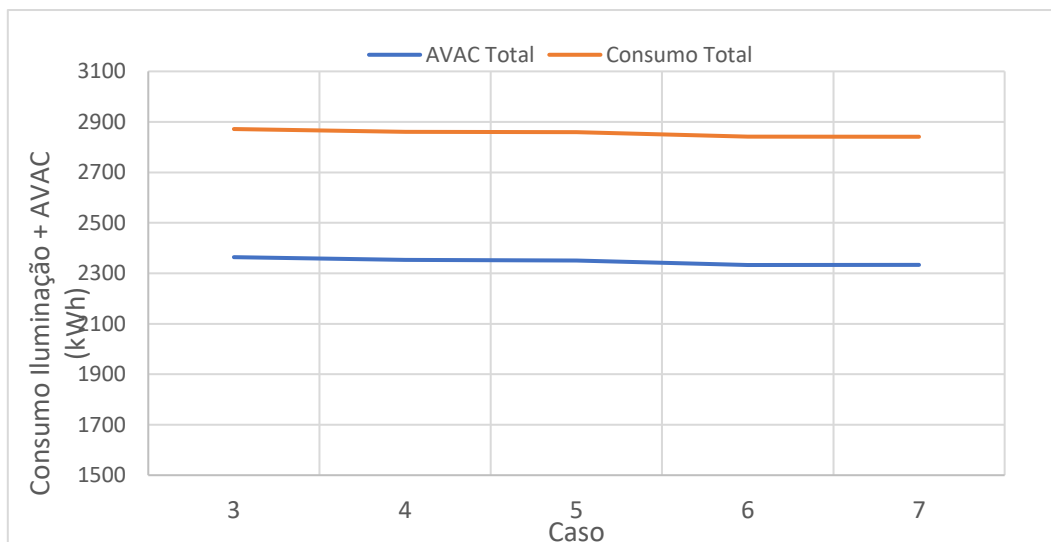


Figura 4.3.3 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da ventilação natural.

O melhor caso diz respeito ao 7, com um consumo anual de iluminação e AVAC de 2841.1 kWh e que se encontra descrito na Figura A.36 em anexo, onde se identificam os tipos de ventilação usados. O estudo começa no caso 3 pois não se verificam as condições de qualidade de ar para os primeiros casos.

- **Orientação**

Após a garantia da qualidade de ar, procedeu-se à avaliação do cenário da orientação, onde os casos possíveis variam entre os 0° e 360°. Tomando o edifício com as condições do caso 7 da ventilação natural, geraram-se os vários casos da orientação e procedeu-se à sua simulação, obtendo-se os resultados apresentados na Figura 4.3.4. De salientar que o eixo vertical não tem início em zero, de modo a tornar a diferença entre casos mais clara, verificando-se uma diferença de 134.5 kWh entre o pior e melhor caso.

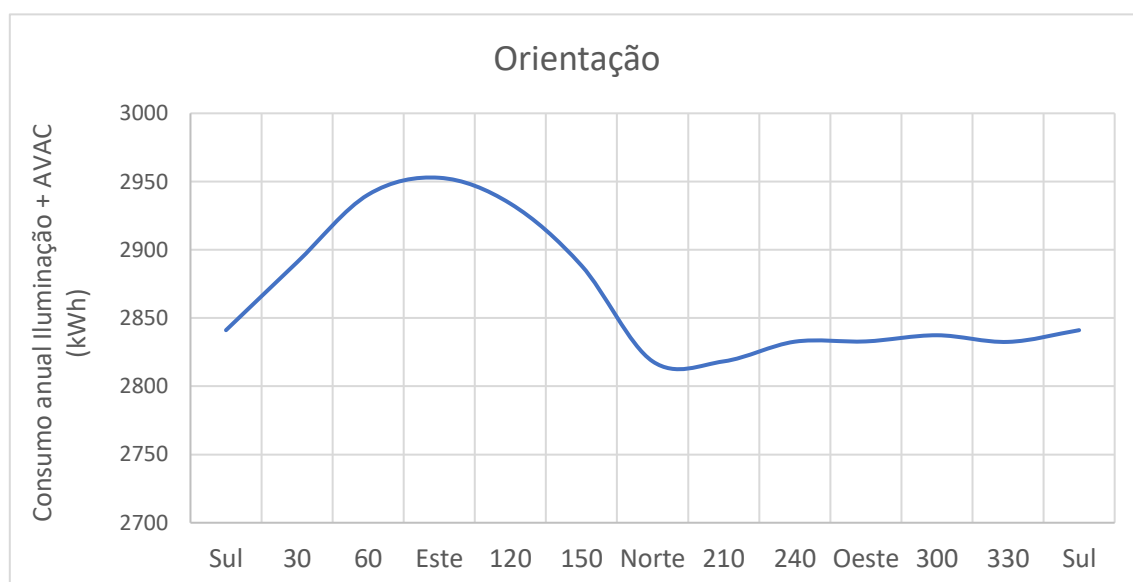


Figura 4.3.4 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário da orientação.

Através da figura, confirma-se que a orientação sul representa um dos melhores casos, com um consumo de 2841.1 kWh, que representa o mesmo valor que no estudo anterior, pois este já se

encontrava orientado a sul. Também a orientação norte apresentou ótimos resultados, com um consumo de 2818.2 kWh, tratando-se do melhor caso. Contudo, a orientação tomada continuou a ser sul, uma vez que estão associados outros fatores de conforto, como a preferência da orientação de janelas maiores para sul, como é o caso das da sala, e a orientação dos painéis solares, que ficam esteticamente errados ao ficarem inversamente orientados em relação à fachada frontal.

De realçar a variação do consumo para os vários casos, onde seria de esperar um grande aumento para a orientação Oeste, à semelhança do caso Este. Para essas orientações, os ganhos de calor são mais reduzidos e exige-se maior utilização do sistema AVAC. Tal deve-se, com grande probabilidade, à influência da ventilação natural, que afeta o comportamento do edifício. Contudo, como a diferença entre casos não é demasiada elevada, o caso escolhido continua a ser sul.

- **Sensor de luz**

A outra característica avaliada é a capacidade do edifício em medir a iluminação natural, ao qual se denomina sensor de luz. Para a sua definição, é necessário apurar as coordenadas dos vértices da base da zona, de modo a delinear o sensor na zona mais afastada das janelas, de modo a não sobredimensionar a radiação existente, pois esse nível é atribuído a toda a zona. Na Figura A.37 no anexo encontra-se representado os vários sensores e as respetivas coordenadas. As zonas “Máquinas” e “WC” apresentam a particularidade que consiste na inexistência do sensor, uma vez que se tratam de zonas onde não existem janelas. Apesar de existir alguma radiação natural, o programa considera que não existe o suficiente para garantir qualquer requisito de iluminação, pelo que não permite a sua definição. A Figura A.38 no anexo mostra a localização dos vários sensores.

Após se determinar a posição correta do sensor, procedeu-se à simulação das várias orientações possíveis, as mesmas que no cenário anterior, que levou aos resultados mostrados na Figura 4.3.5.

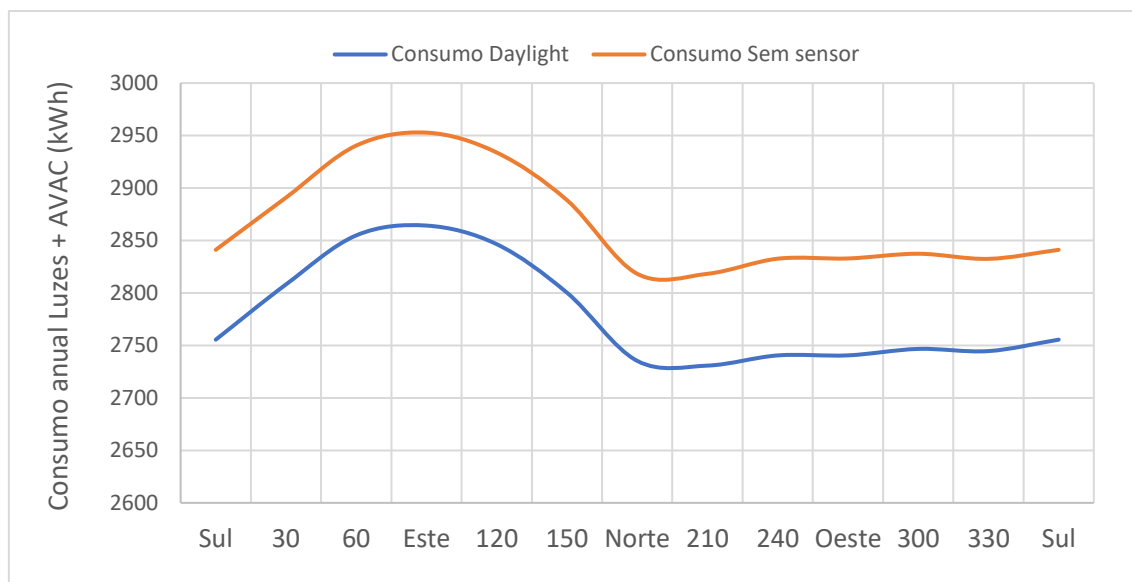


Figura 4.3.5 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sensor de iluminação natural.

Como seria de esperar, a variação do consumo é muito semelhante ao caso anterior, sendo a sua magnitude ligeiramente menor, que se deve à redução do consumo de iluminação. A orientação seguida foi a sul que, apesar de não ser o melhor caso, apresenta um dos consumos mais baixo,

com um total anual para iluminação e AVAC de 2755.5 kWh. Aqui, pode já verificar-se uma redução no consumo de cerca de 86 kWh.

- **Sombreamento/Janelas**

O sombreamento ao edifício consiste noutra cenário a estudar e, como é comum para as moradias, ele é realizado pelos beirados do próprio telhado. Na construção da placa que divide os dois pisos, isto é, as zonas úteis do sótão, faz-se um prolongamento para o exterior, consoante o beirado desejado. Para o caso em estudo, pretende-se que esse beirado seja reduzido, não só porque não se pretende nenhum tipo de varanda propriamente dito, como se promove a entrada de radiação no edifício, o que é vantajoso dado o clima. Apenas a região da entrada apresenta um sombreamento maior, uma vez que se encontra desalinhada da fachada frontal, resultando num sombreamento com, no mínimo, 1.5 m de extensão.

Tendo isso em conta, desenvolveram-se vários cenários, fazendo variar ligeiramente a dimensão do sombreamento, assim como a dimensão e localização de algumas janelas. Os vários casos avaliados encontram-se descritos na Tabela A.4 no anexo. Os resultados para este cenário encontram-se resumidos na Figura 4.3.6.

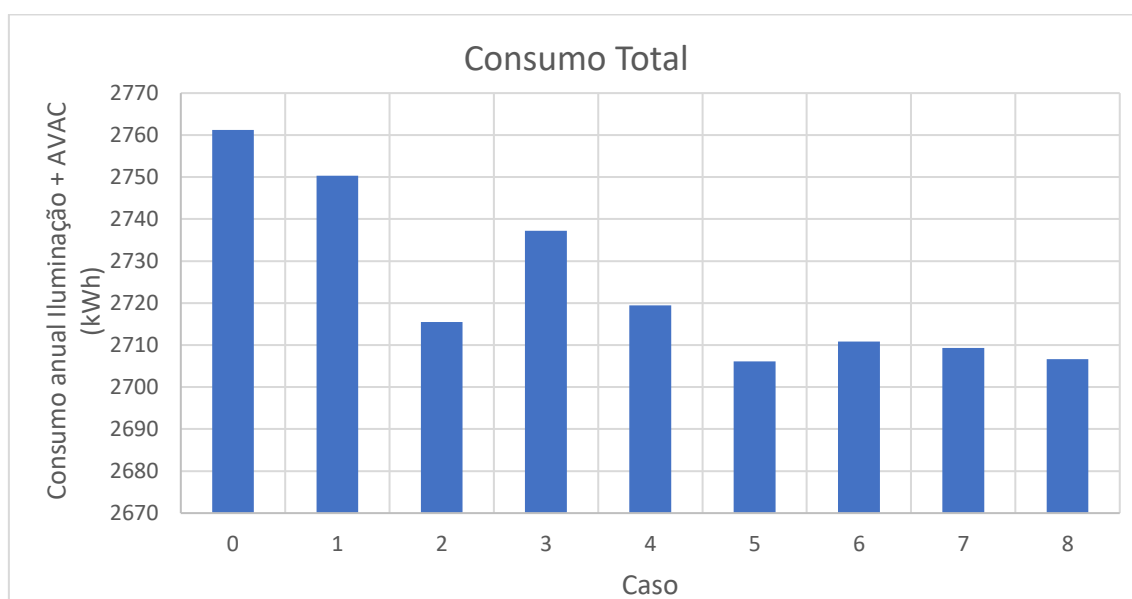


Figura 4.3.6 - Variação do consumo anual de iluminação e AVAC para o cenário do sombreamento e janelas.

Analisando a figura, tem-se que o melhor caso é o 5, apesar de não ter sido esse o seguido, pois se consegue um consumo muito próximo deste com um sombreamento ligeiramente maior e que permite maior proteção aos ocupantes. Assim, o caso seguido foi o último (8), apresentando um consumo de cerca de 2707 kWh para iluminação e AVAC, onde este apresenta um beirado de 30 cm e um sombreamento interior que funciona apenas no período de verão. Este sombreamento é utilizado em todas as janelas, que permite ligeira poupança em relação ao caso 7, onde se aplicam apenas nas janelas sul.

- **Construção/Energia Incorporada**

A construção representa um dos estudos mais importantes no desempenho energético, uma vez que influencia o consumo de operação e a energia incorporada dos materiais. Deste modo, começou-se por definir as várias construções, determinando-se qual o caso com menor consumo energético para iluminação e AVAC, sendo depois avaliada qual o caso de menor energia incorporada, que é válido para a totalidade da vida útil do edifício. O melhor caso deste estudo será aquele que apresentar o menor consumo para a soma das duas parcelas, nos 30 anos.

A definição dos campos do programa associada à construção encontra-se na Figura A.39 do anexo, onde são feitas as várias combinações de materiais, sendo os resultados para o consumo de operação das várias soluções visíveis na Figura A.40 do anexo. A construção que apresenta menor consumo de operação encontra-se esquematizada na Figura A.41 no anexo.

Porém, como referido, o consumo de operação é apenas metade do estudo do melhor cenário, sendo agora necessário avaliar a energia incorporada associada a cada construção. Seguindo o processo descrito no Capítulo 3.5, podem obter-se os diferentes valores e, uma vez que esses são relativos ao tempo de vida do edifício (30 anos), é necessário avaliar o consumo de operação na mesma escala de tempo, somando a energia incorporada e o consumo multiplicado por 30. Os resultados dos vários cenários encontram-se na Figura 4.3.7.

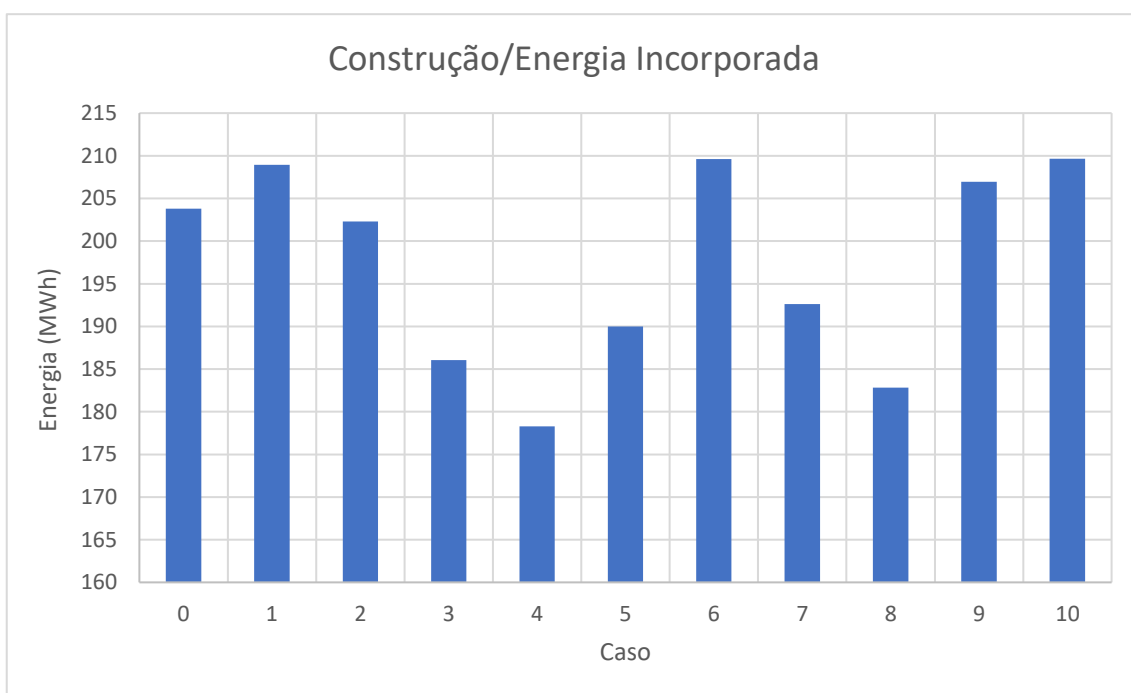


Figura 4.3.7 - Variação do consumo nos 30 anos de iluminação, AVAC e EE para o cenário da construção / energia incorporada no Projeto 2.

Ao analisar os dados obtidos, verifica-se que o caso 4 apresenta um consumo menor, com um total para iluminação, climatização e energia dos materiais de cerca de 178.3 MWh. Porém, lembre-se que o objetivo principal da transformação de edifícios em sistemas eficientes é reduzir as emissões associadas ao consumo de energia. Assim, assumindo uma intensidade de carbono de 420 kgCO₂/MWh, o que representa a média em 2015, ao avaliar as emissões conjuntas (consumo + materiais), verifica-se que o caso mais favorável passa a ser o 8, que apresenta um consumo de 182.9 MWh, mas que apresenta uma redução de 4.1 tonCO_{2e} em relação ao caso

anterior, pelo que este será o caso a seguir. O caso mais eficiente (8) apresenta a construção apresentada na Figura A.41 no anexo.

Analisando os resultados, verifica-se que o melhor caso energético não representa simultaneamente o melhor das emissões, o que se deve essencialmente às emissões associadas à produção de certos materiais. Assim, entende-se que esta aproximação é a medida mais apropriada, apesar de não se verificar grande diferença entre os dois casos. Na Figura 4.3.8 pode verificar-se essa aproximação e o caso tomado (laranja).

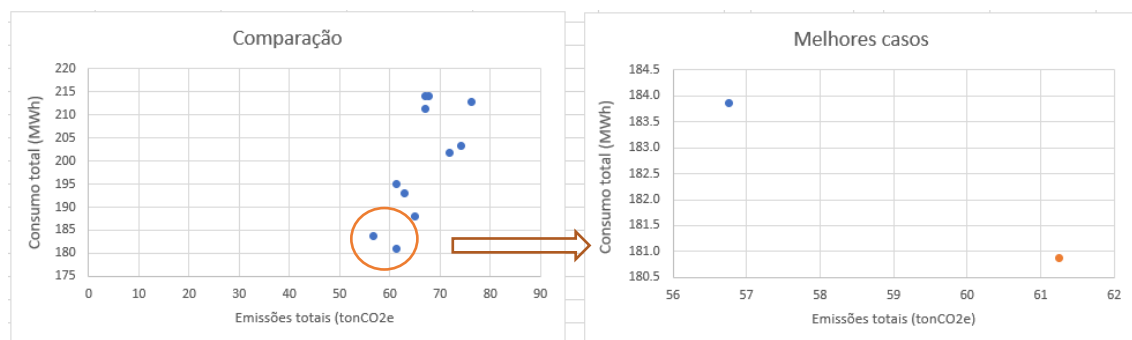


Figura 4.3.8 - Aproximação tomada na escolha do caso a seguir.

Através da figura, pode concluir-se que a diferença entre os dois casos discutidos não é significativa, mas entende-se que a justificação da opção tomada deva ser feita.

4.3.4. Caso Final

A reunião das melhores soluções em cada cenário estudado num único caso garante que ele seja o mais eficiente possível, apresentando um consumo energético mais baixo. Assim, faz-se aqui um estudo detalhado do caso final, de modo a garantir que este cumpre os requisitos de conforto, analisando as várias parcelas do consumo e o peso da energia incorporada.

1. Necessidades energéticas

As necessidades energéticas representam a quantidade de energia que o edifício consome no seu tempo de vida e representa o conjunto das suas necessidades em equipamentos, iluminação, climatização, AQS e energia incorporada.

Fazendo a simulação do edifício, tem-se as necessidades de energia na fase de operação, que são apresentados na Figura A.42 no anexo, onde os valores apresentados são mensais, verificando-se que o consumo energético anual é de 5459.3 kWh, sendo cerca de metade assegurado pelos equipamentos e outra fração significativa pela carga de aquecimento, pois o clima apresenta muitas horas abaixo do limite inferior de conforto. Esses consumos são também representados na Figura 4.3.9, que inclui os resultados para a energia incorporada e a produção renovável no edifício.

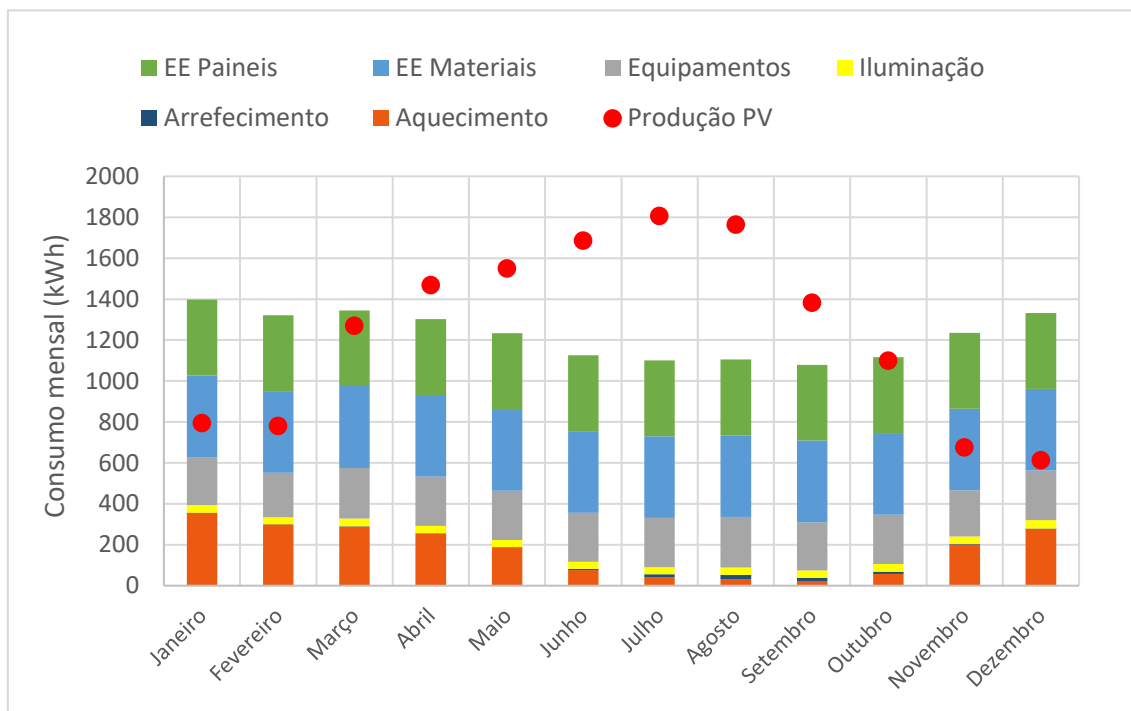


Figura 4.3.9 - Variação do consumo mensal para o caso final.

Analisando o gráfico, verifica-se que a produção tem um pico nos meses de verão, apresentando um valor superior ao consumo, ao contrário do inverno, onde não existe tanta radiação. A energia incorporada representada na Figura 4.3.9 obtém-se pela divisão do valor total pelos 30 anos e 12 meses de cada ano, resultando num valor constante mensal.

À semelhança do Projeto 1, verifica-se carga de aquecimento no verão e arrefecimento no inverno, o que não é intuitivo. Porém, isso acontece de modo a que se garanta o intervalo 19-26°C e, na realidade, caso os ocupantes não o façam, o consumo energético final torna-se menor que o apresentado, pelo que esta medida funciona como pior caso.

Também as emissões associadas à produção de energia para satisfazer o consumo de operação devem ser calculadas, onde esse valor apenas é importante caso não existisse o sistema fotovoltaico no edifício, pois na sua presença, as únicas emissões são as associadas à produção do próprio sistema. Assim, assumindo que a intensidade de carbono na produção de energia que é fornecida pela rede é de 420 kgCO_{2e}/MWh, que representa o valor médio em 2015, tem-se uma emissão de 68.8 tonCO_{2e}. Estas emissões seriam as verificadas para satisfazer as necessidades de operação ao abastecer o edifício na rede elétrica nacional e são o valor principal para o cálculo das emissões evitadas.

A outra categoria do consumo diz respeito à energia incorporada dos materiais e, dada a sua importância, as emissões (CO_{2e}) associadas. Para o caso, a energia incorporada dos materiais é de cerca de 143.8 MWh e produzem-se cerca de 40.3 tonCO_{2e} na sua produção, valores estes associados aos 30 anos de vida útil do edifício, ao contrário do consumo de operação, que se trata de um valor anual. Para se ter uma noção da quantidade de energia a produzir pelo sistema fotovoltaico, realizou-se a soma das duas parcelas anteriores, resultando um consumo de 307.5 MWh, pelo que este sistema terá de produzir uma quantidade acima desta, de modo a incluir a energia consumida na sua própria produção.

2. Produção PV

De modo a satisfazer a procura de energia, definiu-se um sistema composto por 31 painéis que ocupam a aba sul maior do telhado. Este sistema é capaz de produzir anualmente 14.88 MWh, o que perfaz cerca de 446.3 MWh nos 30 anos, como sumarizado na Tabela 4.3.1.

Tabela 4.3.1 - Resultados para a produção e consumo finais do Projeto 2.

		associado aos painéis			
Produção 30 anos MWh	nº painéis	EE (MWh)	EC (tonCO ₂)	Total Energia a suprimir	Total Emissões
446.31	31	133.32	24.45	440.85	64.71

O consumo total do edifício em toda a sua vida útil a satisfazer é de cerca de 441 MWh. Ele é dado pela soma do valor apresentado anteriormente (307.5 MWh) com a energia incorporada dos painéis, igual a 133.3 MWh, destacando-se a influência do sistema no contexto energético global, ao que estão associadas as emissões de cerca de 24.5 tonCO_{2e}. Dada a área do edifício, o seu consumo total é igual a 69.3 kWh/m².ano, que representa um valor muito mais baixo que o apresentado no projeto anterior, podendo concluir-se que este não é proporcional à área. Ao analisar a Tabela 4.3.1, pode concluir-se que se consome 133.3 MWh apenas para a produção do sistema fotovoltaico, que representa cerca de 30% do total consumido, salientando a sua importância no consumo final.

Para o sistema fotovoltaico, como a sua vida útil é de 15 anos, enquanto que a do edifício é de 30, é necessária uma segunda instalação, pelo que se consome o dobro da energia incorporada, que é contabilizado ao multiplicar a energia pelo fator 2. Esta aproximação funciona como o pior caso, uma vez que os sistema PV pode durar até 20 anos, e visa garantir as condições propostas, onde o único resultado além do obtido poderá ser uma maior produção do que a prevista.

Através de alguns cálculos, verifica-se que a produção anual de cada painel é de cerca de 479.9 kWh e, sabendo que a energia incorporada é de 2150 kWh, conclui-se que são necessários cerca de 4.5 anos para recuperar a energia, que representa cerca de um terço da vida do painel. A bibliografia sobre a energia associada a cada painel apresenta grande variabilidade, tendo-se estudado os casos limite, o que fez com que o tempo de retorno seja bastante diferente, encontrando-se detalhado no estudo da incerteza.

3. Condições de Conforto

As condições de conforto são os requisitos principais a cumprir e são os responsáveis por uma significativa fração do consumo energético. No estudo realizado, entende-se por conforto a garantia de uma temperatura operativa dentro do intervalo 19-26°C e a concentração de dióxido de carbono abaixo de 1625 ppm para média de 8 horas consecutivas.

3.1. Temperatura de conforto

Para atingir o intervalo de conforto, foi necessário fornecer ao sistema de climatização mais que um termostato, onde todos apresentam um intervalo mais estreito que o indicado. Assim, tem-se o primeiro que diz respeito aos valores 22-26°C, outro com 25-26°C e o último igual a 24-26°C. Eles encontram-se nomeados por “*thermostat*” e apresentam um índice associado, com a ordem descrita, sendo mostrado a definição do campo da climatização na Figura 4.3.10, onde se pode verificar que intervalo se associou a cada zona.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Zone Name		Sala	Cozinha	Hall	Quarto1	Quarto2	Office	wc1	Wc	Quarto3
Template Thermostat Name		Thermostat	Thermostat	Thermo_3	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermostat	Thermo_2	Thermostat
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
No Load Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Zone Heating Sizing Factor										
Zone Cooling Sizing Factor										
Outdoor Air Method	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum	Sum
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722	0.00235973722
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048	0.0003048
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s									
System Availability Schedule Name		AVAC_SCH_sala	AVAC_SCH_kit	AVAC_Hall	AVAC_Q1	AVAC_Q2_Q3	AVAC_Office	AVAC_wc1	AVAC_wc	AVAC_Q2_Q3
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		AVAC_SCH_sala	AVAC_SCH_kit	AVAC_Hall	AVAC_Q1	Lights_Q2_Q3	AVAC_Office	AVAC_wc1	AVAC_wc	AVAC_Q2_Q3
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough
Supply Fan Total Efficiency		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Supply Fan Delta Pressure	Pa	1438	1438	1438	1438	1438	1438	1438	1438	1438
Supply Fan Motor Efficiency		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX

Figura 4.3.10 – Intervalos de temperatura fornecidos ao sistema de climatização no Projeto 2.

Com as temperaturas operativas como resultado da simulação, assim como as horas de ocupação, estudou-se o número de horas de desconforto, verificando-se que não existe nenhuma zona climatizada com horas de desconforto que ultrapasse os 3% da ocupação. As zonas “Garagem” e “Máquinas” apresentam valores superiores a 5% porque não apresentam AVAC, dada a natureza da sua função.

3.2. Qualidade de ar

A qualidade do ar garante-se através de uma concentração de CO₂ abaixo dos 1625 ppm para uma média de 8 horas consecutivas. Assim, do mesmo modo que anteriormente, pediu-se como resultado a concentração deste poluente, fez-se a média em 8h e obtiveram-se os resultados apresentados na Figura A.43 no anexo, sendo aqui mostrados apenas quatro exemplos (Figura 4.3.11).

Para garantir esta qualidade do ar, verifica-se que as infiltrações de 0.3RPH são suficientes para a maioria dos casos, onde a sala e o escritório são os casos com maior dificuldade, pois apresentam maior ocupação e utilização de equipamentos. Verifica-se também a existência de ventilação noturna, com muito baixa intensidade, que permite restabelecer os níveis de CO₂ nas zonas em que se aplica. O quarto, apesar de ocupado nesse período, apresenta uma ventilação noturna com uma intensidade de 0.3RPH, que é um valor mínimo, na ordem da magnitude das infiltrações, levando-se a crer que não produza qualquer desconforto aos ocupantes. A ventilação que garante estas condições encontra-se resumida na Figura A.36 no anexo.

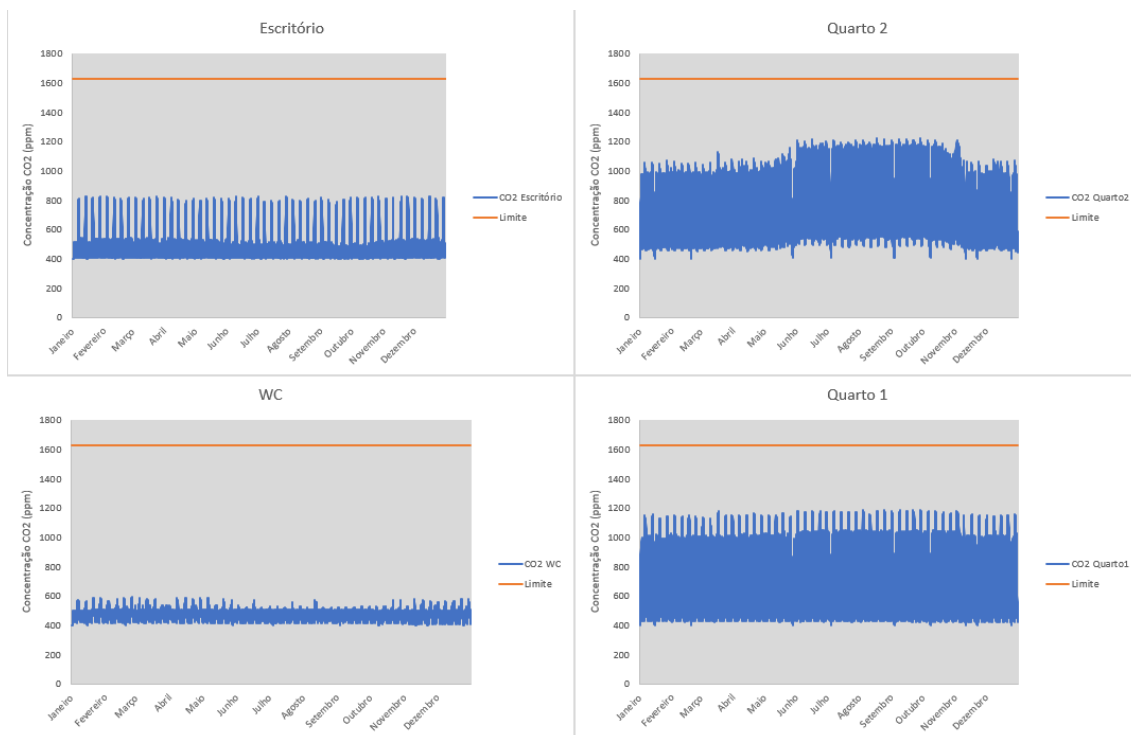


Figura 4.3.11 - Concentração de dióxido de carbono no interior das zonas para o caso final do Projeto 2.

4.3.5. Comparação

O presente capítulo pretende fazer uma comparação entre os vários casos alternativos que possam surgir associados a este edifício, sendo aqui apresentados alguns dados que são dignos de uma revisão. Ao contrário do projeto anterior, neste apenas existem dois casos principais e são basicamente a comparação entre LC-ZEB e construção tradicional. Contudo, foram discutidos mais dois casos e que dizem respeito às situações em que não existe sistema fotovoltaico, que visam detalhar o efeito da energia associada à produção dos painéis e uma comparação com a maioria dos edifícios existentes atualmente. Os quatro casos são os seguintes:

- A – Edifício com construção tradicional sem painéis instalados.
- B – Edifício eficiente sem painéis instalados.
- C – Edifício com construção tradicional com painéis instalados.
- D – Edifício eficiente com painéis instalados, que representa o caso final estudado em pormenor.

A construção considerada como tradicional encontra-se esquematizada na Figura A.49 no anexo, destacando-se a ausência de isolamento e a construção eficiente a resultante do cenário da construção estudado.

Seguindo o mesmo processo que no caso final, procedeu-se à simulação do caso tradicional (C), que apresenta o consumo de operação descrito na Figura A.48 no anexo. Os resultados essenciais para os casos apresentados (A a D) encontram-se resumidos na Figura 4.3.12, onde se destacam as emissões e a energia associada aos painéis de cada caso. Aqui, pode concluir-se que o consumo energético não se encontra diretamente ligado às emissões, onde os casos C e D apresentam menores emissões apesar de maiores necessidades energéticas. Além disso, pode observar-se a diferença na dimensão do sistema fotovoltaico, onde o caso C tem a necessidade de apresentar

mais 6 painéis que em D, onde se desenvolveu uma interação sustentável entre edifício e envolvente. Tal deve-se à sua construção não otimizada que leva a maior consumo em operação.

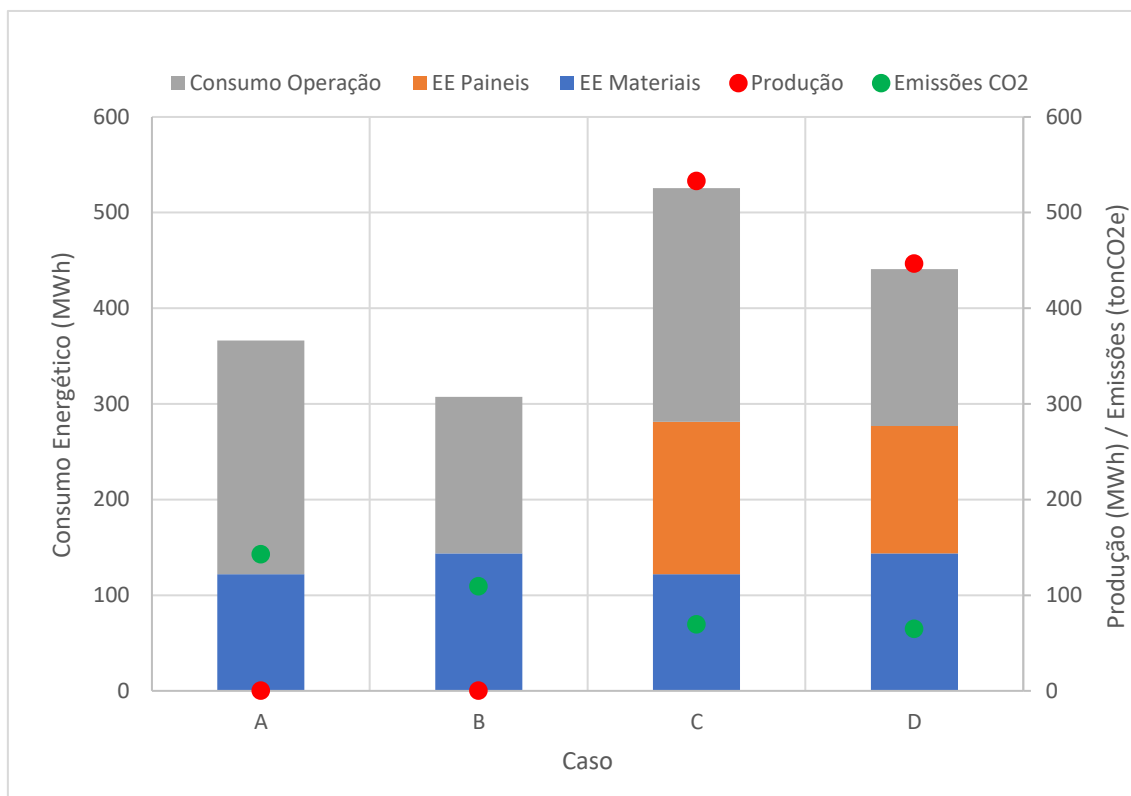


Figura 4.3.12 - Composição do consumo energético e produção PV do Projeto 2.

Analisando o gráfico, verifica-se que o caso C (tradicional) apresenta um consumo superior ao D, nomeadamente no consumo de operação, que exige um sistema PV de maior dimensão. Fazendo uma avaliação do impacto que os edifícios LC-ZEB poderão apresentar, basta comparar os casos A e D, verificando-se um consumo maior, mas emissões menores. Na verdade, verifica-se que o caso A apresenta quase 143 tonCO_{2e}, sendo que o D apresenta apenas 64.7 tonCO_{2e}, que representa menos de metade do primeiro caso.

A Figura 4.3.12 demonstra ainda o impacto energético no consumo total por parte do sistema fotovoltaico, verificando-se que a EE dos painéis apresenta aproximadamente um terço do total. Isso salienta a importância da sua consideração no balanço de energia, de modo a que todo o consumo associado ao edifício seja compensado por FER. Contudo, a existência do sistema fotovoltaico é o que permite a redução apresentada das emissões, pelo que o investimento compensa.

Focando nos dois casos principais (C e D), que apresentam sistema PV, pode verificar-se uma redução das emissões totais, mas numa dimensão inferior à que seria de esperar, como se pode verificar na Figura 4.3.13.

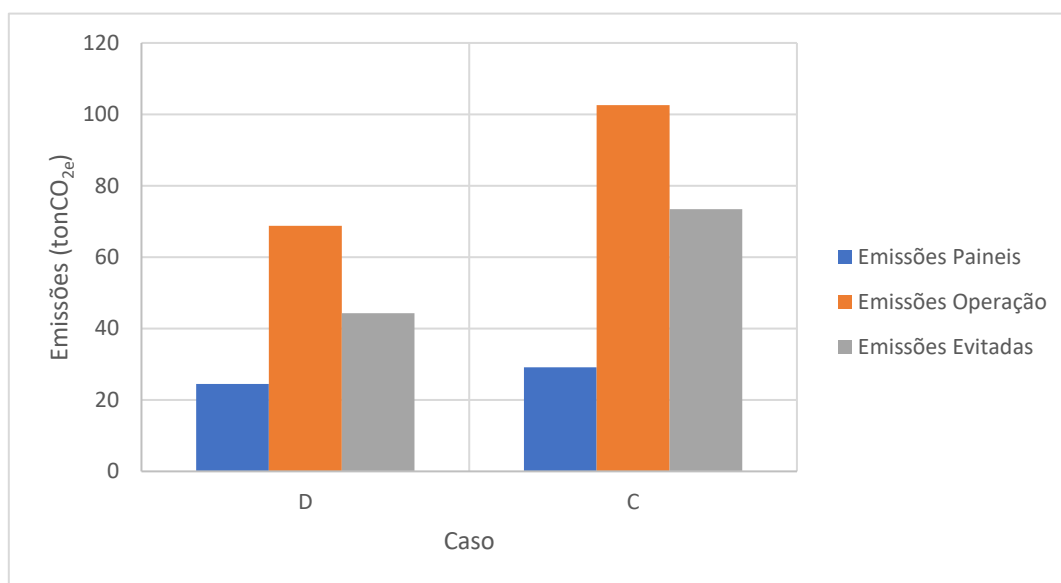


Figura 4.3.13 - Composição das emissões associadas aos vários casos alternativos do Projeto 2.

Pode verificar-se, pela figura, que as emissões evitadas são menores no caso D (LC-ZEB), mas que se deve à diferença do consumo de operação que é menor para esse caso. Assim, como este é significativamente maior em C (construção tradicional), ao utilizar um sistema PV vão eliminar-se mais emissões, pois são as associadas à produção de energia pela rede.

4.3.6. Incerteza

A presente secção pretende mostrar as incertezas no desenvolvimento do edifício e concluir se os resultados do estudo são fiáveis, analisando-se a diferença entre os vários casos.

O consumo é caracterizado por quatro grupos essenciais: a energia incorporada, que se divide em três componentes (materiais, vãos e painéis solares) e o consumo da fase de operação. Este último, obtido como resultado do programa de simulação, assume-se que não apresenta incerteza e que não leva à alteração aos resultados, assim como a energia dos materiais, que não apresenta variabilidade na base de dados do ICE [28]. Contudo, ao analisar essa mesma base de dados, verifica-se que os valores apresentados para as janelas (vãos) e painéis são, na verdade, um intervalo de valores, o que representa conclusões bastante diferentes.

Deste modo, pelo mesmo processo que se seguiu no cálculo da energia incorporada anteriormente, observaram-se quais os limites superior e inferior e calcularam-se os resultados finais, que representam o pior e o melhor caso, respetivamente. A Figura 4.3.14 mostra essa incerteza, dada pela barra vertical, para o caso do Projeto 2.

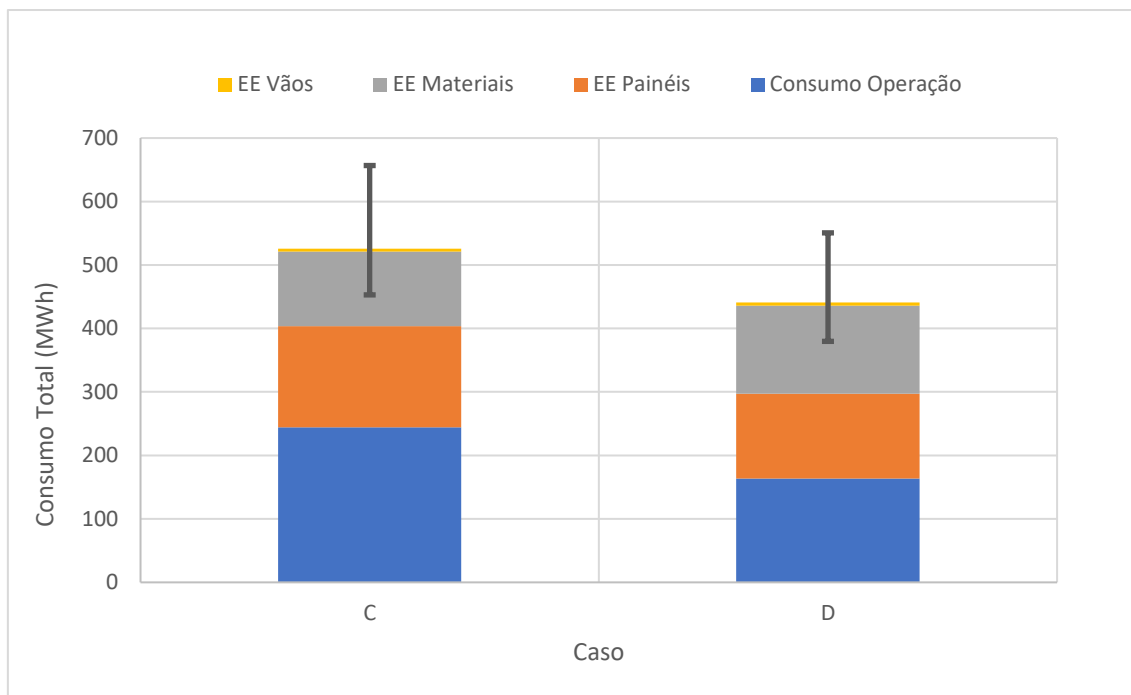


Figura 4.3.14 - Consumo para os casos alternativos do Projeto 2 e respetiva incerteza cometida.

Analisando a Figura 4.3.14, verifica-se que a incerteza cometida é de dimensão bastante considerável, que se deve essencialmente à variação dos valores associados à produção dos painéis. Contudo, entende-se que esse aspeto não inviabiliza o estudo, apenas o torna menos preciso, onde, caso se pretenda maior segurança, se deve optar pelo pior caso, que corresponde ao valor máximo de EE (8640 MJ/m²). Por outro lado, este aspeto deve incentivar o estudo dos materiais, tornando a base de dados mais completa e fíável. Como as emissões seguem o mesmo processo que a energia, também elas apresentam incerteza, que é descrita pela Figura 4.3.15.

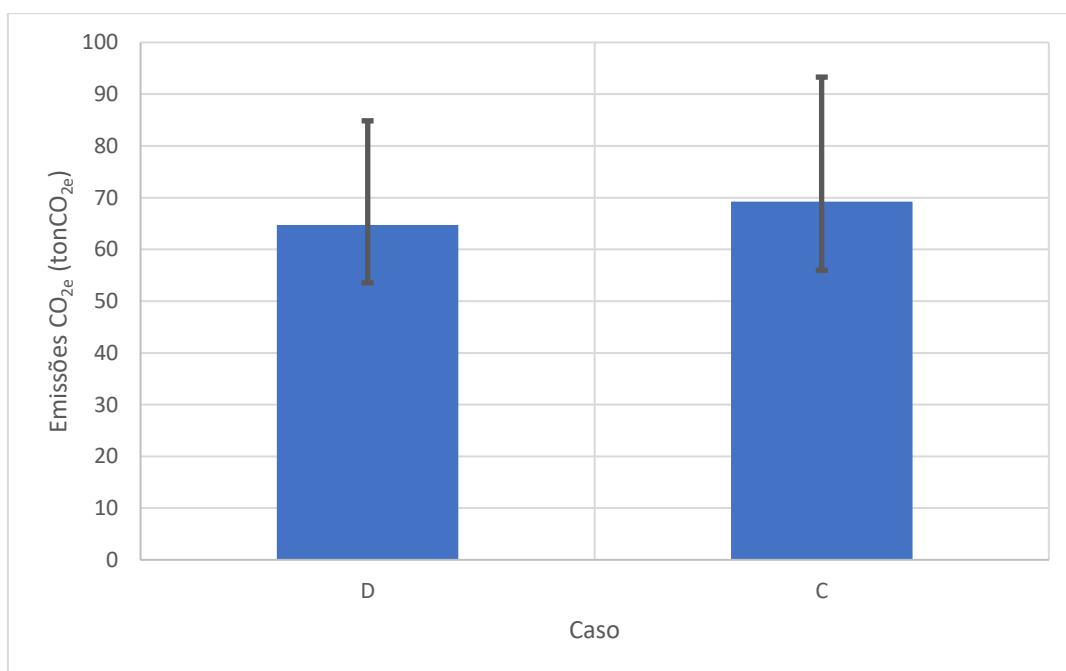


Figura 4.3.15 - Emissões para os casos alternativos do Projeto 2 e respetiva incerteza cometida.

Na Tabela 4.3.2 pode visualizar-se os tempos de retorno dos painéis para os valores de EE máximo e mínimo, tendo como pior caso 8.5 anos de retorno, o que representa cerca de metade da vida do painel.

Tabela 5.3.2 - Tempo de retorno dos painéis solares para os valores limite.

	Módulo fotovoltaico monocristalino 335W 21%		
	Minimo	Máximo	Médio
MJ/m²	2590	8640	4750
kWh	1172.46	3911.20	2150.26
Tempo Retorno	2.4	8.2	4.5

Em comparação com o Projeto 1, verifica-se que o tempo de retorno é menor, apesar de o painel usado e a inclinação serem os mesmos, o que permite concluir que deve existir sombreamento entre painéis nesse primeiro projeto. Esse aspeto faz com que a produção por painel seja menor e, conseqüentemente, o tempo de retorno seja maior. Independentemente do caso de estudo, os painéis apresentam-se como um investimento rentável e que leva a uma quantidade de emissões evitadas muito significativa.

4.3.7. Resultado Final

De modo a apresentar o edifício de uma forma mais realista, apresenta-se aqui apenas uma figura que ilustra o caso final D (LC-ZEB), sendo apresentadas mais figuras do projeto em anexo (Figuras A.44 a A.46 no anexo). Da Figura 4.3.16, destaca-se a presença dos 31 painéis fotovoltaicos, que ocupam toda a aba sul do telhado e que pode justificar a escolha da orientação sul do edifício, uma vez que assim as suas orientações coincidem.



Figura 4.3.16 - Perspetiva SUL do edifício final desenvolvido em *Sketchup*.

O aspeto económico considera-se um dos pontos fulcrais no que toca a incentivar a aplicabilidade e a aquisição de um dado bem ou serviço, pelo que se espera que estes edifícios se tornem uma realidade apenas se mostrarem um setor económico apelativo.

Para o caso, o orçamento foi realizado a partir de uma estimativa e com base em valores médio usados, tendo-se apenas duas componentes a analisar, ao contrário do caso anterior. Aqui, basta

determinar a área do pavimento do edifício e multiplicar pelo preço unitário, assumido como 550 €/m², e somar a componente associada ao sistema fotovoltaico. Deste modo, obtém-se um custo final de cerca de 126.7 k€, o que equivale a um custo de 597 €/m², que ultrapassa de forma significativa o valor estabelecido. Porém, foram definidas zonas que não são extremamente necessárias, mas que representam uma vantagem ao edifício, pelo que se preferiu ultrapassar o orçamento a não satisfazer as necessidades totais dos ocupantes.

Comparativamente ao projeto anterior, verifica-se que o custo total por unidade de área é muito menor, representando 60% do custo para o Projeto 1.

5. Discussão de Resultados

Uma vez obtidos os valores associados a cada projeto, podem analisar-se certos parâmetros que, apesar não serem essenciais ao estudo, mostram a influência de certas parcelas do consumo, que por sua vez, podem ditar a sua importância num futuro próximo, revelando a tendência que se verifica.

Um desses aspetos é a energia incorporada, isto é, aquela que está associada à produção dos materiais e dos painéis e que, para a esmagadora maioria dos estudos, não é contabilizada. Porém, o consumo dos edifícios começa a tornar-se tão reduzido que a energia consumida nestas parcelas começa a tornar-se significativa, nomeadamente com a integração de um sistema PV que satisfaça todo o consumo. Assim, de modo a tornar-se mais explícito, encontram-se nas Figuras 6.1 e 6.2 a contribuição de cada carga principal no consumo final dos Projetos 1 e 2, respetivamente.

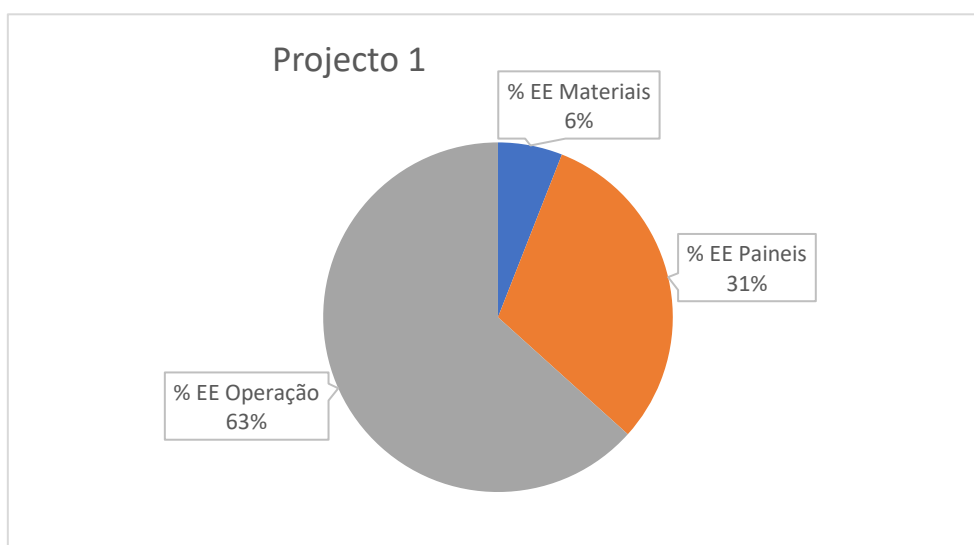


Figura 6.1 - Fracionamento do consumo energético final do Projeto 1.

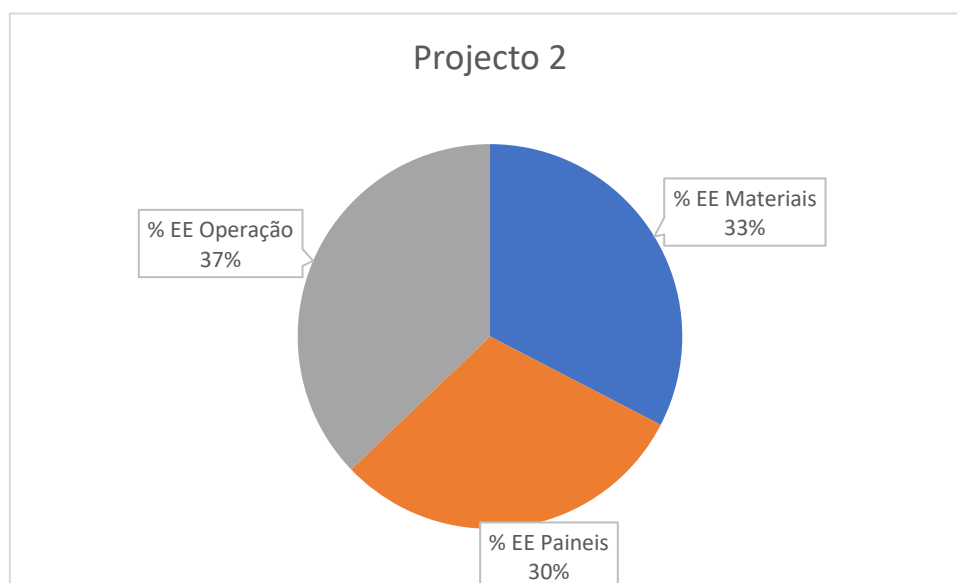


Figura 6.2 - Fracionamento do consumo energético final do Projeto 2.

Analisando a composição do consumo do Projeto 1, verifica-se que a contribuição dos materiais (6%) não é muito elevada, mas que se deve à reciclagem de um recurso, pois a energia do contentor não é contabilizada. Quando a energia do contentor é contabilizada e o consumo total do edifício é superior à produção, sendo o único caso onde não se atinge a classificação LC-ZEB, a fração dos materiais representa cerca de 89% do total. Apesar de ser um caso excepcional, indica que a energia associada à produção dos materiais deve ser avaliada em cada caso de estudo.

Quando todos os elementos da construção são contabilizados, como no caso do Projeto 2, a percentagem associada a essa energia aumenta significativamente, representando um terço de todo o consumo (33%), pelo que o estudo da construção e os materiais a usar representa um dos cenários importantes a estudar e deve ser incentivada a prática da sua contabilização no balanço.

Também para a fração da energia associada à produção dos painéis se verifica um valor elevado, representando um terço do consumo, pelo que em termos energéticos, a utilização de um sistema fotovoltaico parece pouco apelativo inicialmente. Contudo, além de resultar num consumo final menor, este ainda permite uma redução drástica das emissões de CO_{2e} pelo edifício ao longo da sua vida, como será mostrado de seguida.

Como traduzido pela Equação 3.17, podem analisar-se quais as emissões evitadas através da instalação de um sistema PV que produz energia limpa e que faz com que, no balanço, o edifício não precise da energia da rede, produzida com uma intensidade de carbono muito elevada. Assim, tem-se nas Figuras 6.3 e 6.4 as emissões associadas a cada projeto.

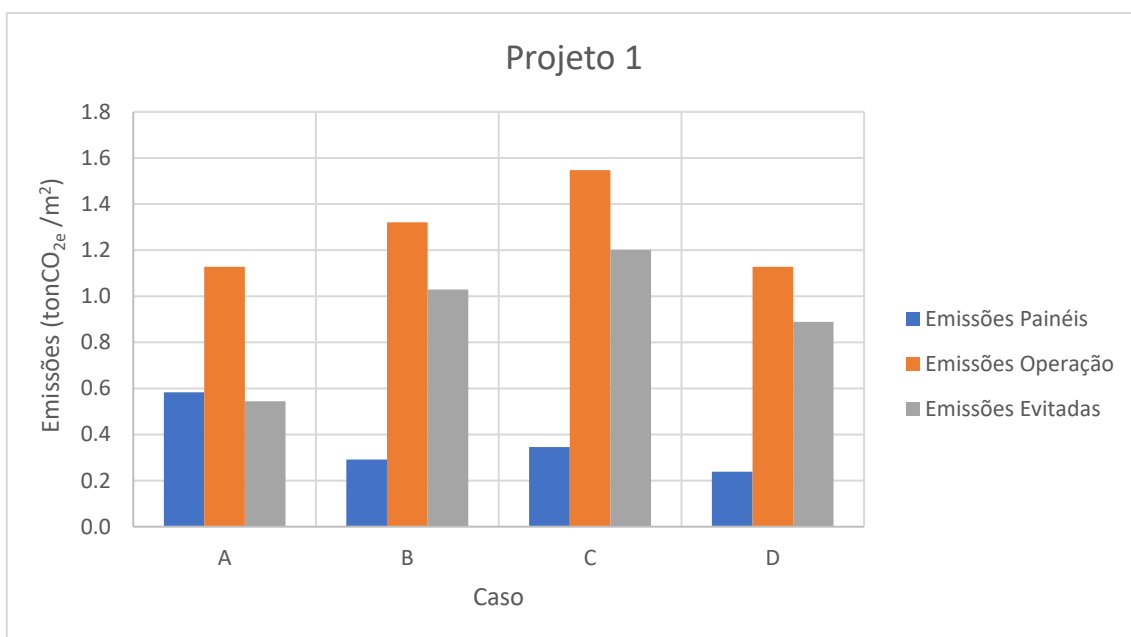


Figura 6.3 - Emissões associadas ao Projeto 1.

Ao analisar a figura acima, verifica-se imediatamente que todos os casos alternativos desenvolvidos no Projeto 1 apresentam uma quantidade de emissões evitadas bastante alta, onde o pior caso diz respeito ao A, onde se assume a maximização da produção, obtendo-se maior energia associada aos painéis.

O caso D apresenta as mesmas características de A, mas com um sistema fotovoltaico dimensionado para o consumo do edifício, que representa o melhor caso dentro desta tipologia, pois apresenta o

menor consumo total (4.24 MWh/m²). Para esse caso, verificam-se 0.89 tonCO_{2e}/m² de emissões evitadas.

O caso com o valor mais elevado é o C (tradicional) e que apresenta umas emissões evitadas de 1.2 tonCO_{2e}/m², pois apresenta um consumo de operação muito elevado.

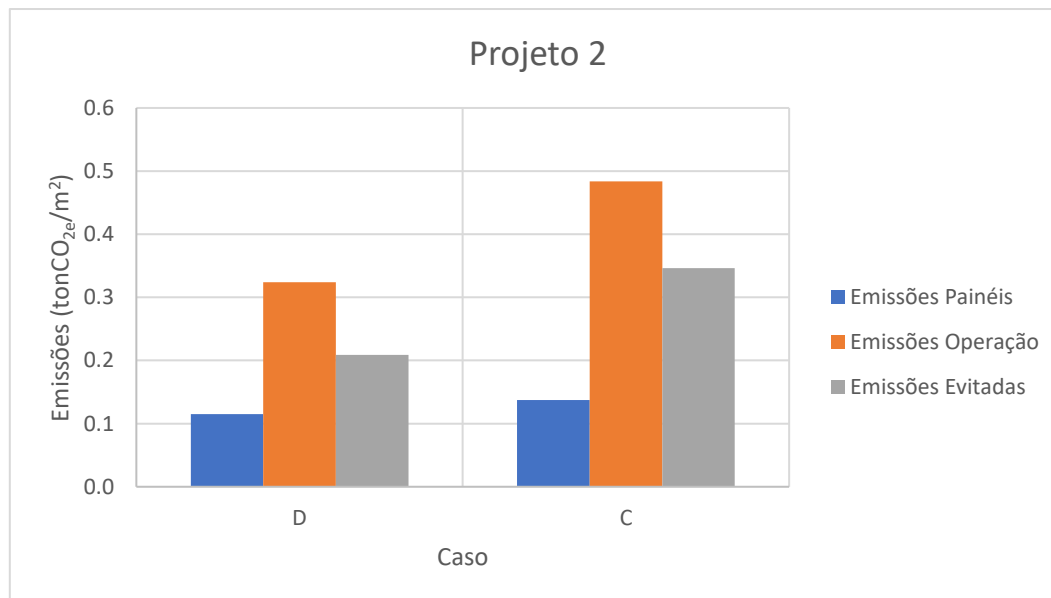


Figura 6.4 - Emissões associadas ao Projeto 2.

Ao analisar o Projeto 2, verifica-se que ambos os casos desenvolvidos apresentam uma quantidade de emissões evitadas interessante, onde o edifício LC-ZEB (D) apresenta o valor de 0.21 tonCO_{2e}/m² de emissões evitadas, enquanto que o caso C (tradicional) apresenta umas emissões evitadas de 0.35 tonCO_{2e}/m², pois apresenta um consumo de operação muito elevado.

Pode ainda justificar-se que, pelas figuras, estas fontes renováveis, na verdade, não apresentam zero emissões de poluentes na produção de energia, uma vez que o processo de produção dos painéis é um processo intenso, consumindo muita energia e, como tal, poluindo a atmosfera. Contudo, levam a grandes poupanças nas emissões libertadas, fazendo com que a intensidade de carbono final para a produção de energia destes edifícios seja muito menor que os 420 kgCO_{2e}/MWh que a rede apresenta.

Fazendo uma comparação entre LC-ZEB e tradicional para os dois projetos realizados, verifica-se que existe uma redução das emissões. Porém, grande parte dos edifícios não se encontra em nenhuma destas duas categorias, apresentando um desempenho energético baixo e ausência de sistemas produtores de energia no local. Essa classificação pode entender-se como o edifício de “Referência”, que apresenta o desempenho energético esquematizado na Figura 2.1 e que é usado na comparação para a certificação energética.

Deste modo, encontra-se na Figura 6.5, uma comparação entre as três classificações principais a que o edifício pode pertencer, sendo o LC-ZEB aquele que maior desempenho energético apresenta e com um balanço nulo de energia, o “Tradicional”, o edifício que apresenta um baixo desempenho energético mas que compensa toda a energia consumida através de um sistema PV, pelo que necessita de maior potência instalada, e o “Referência”, aquele que tem tanto baixo

desempenho como não apresenta a instalação de painéis e satisfaz todo o seu consumo com base na rede elétrica nacional.

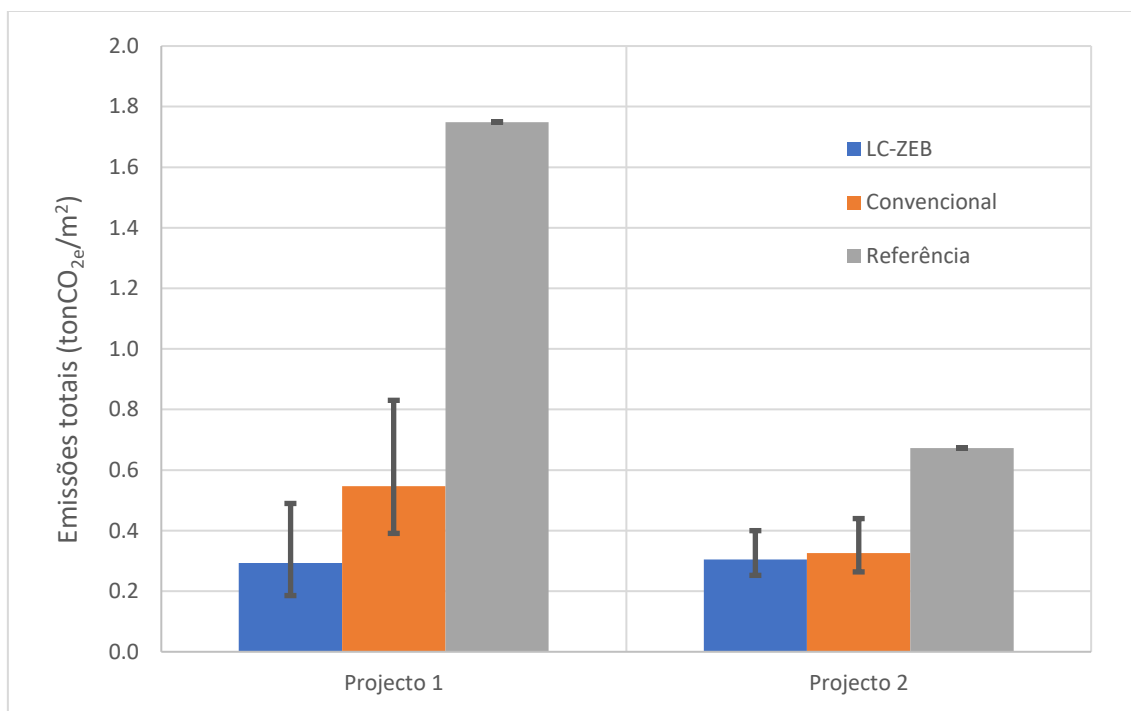


Figura 6.5 - Emissões para as três tipologias de edifícios consideradas.

A Figura 6.5 demonstra a importância do estudo no desempenho dos edifícios, destacando as reduções de emissões possíveis.

Comparando “LC-ZEB” com “Referência”, verifica-se uma redução de 83% para o Projeto 1 e 55% para o Projeto 2, pelo que estes representam uma medida no progresso via à sustentabilidade, mostrando claramente a necessidade de uma mudança ao nível de emissões, mostrando a diferença abrupta que existe entre edifícios de dimensões semelhantes.

O aspeto económico representa outro dos parâmetros a avaliar quando se pretende analisar ou adquirir um serviço/bem. No contexto do setor residencial, o sistema fotovoltaico continua a ser um dos aspetos mais controversos, onde existe a ideia de que o custo dificilmente será recuperado. Analisando apenas o consumo de operação e assumindo um custo da eletricidade de 0.4€/kWh, que visa incluir o custo da eletricidade, potência e ainda taxas e impostos, verifica-se que o custo total pago à rede pela eletricidade adquirida ultrapassa largamente o investimento do sistema solar. Na Tabela 6.1 encontra-se a estimativa do custo dessa eletricidade de operação, o investimento do sistema PV e a poupança que se consegue.

Tabela 6.1 - Poupanças monetárias para os projetos realizados.

	Projecto 1	Projecto 2
Consumo Operação (kWh/m²)	2684.72	771.90
Custo Total (€/m²)	1073.89	308.76
Custo Sistema PV (€/m²)	504.64	98.97
Poupança (€/m²)	569.25	209.79

O consumo utilizado no cálculo da poupança monetária diz respeito apenas ao de operação, que é o único associado à maioria de edifícios atualmente existentes e que se podem incluir na categoria de edifício “Referência”. Esse é o consumo que realmente importa ao proprietário do edifício e é para satisfazer o consumo de operação que o sistema PV é inicialmente adquirido.

Ao analisar a Tabela 6.1, verifica-se que, para o tempo de vida útil do edifício, se verifica uma grande poupança em termos monetários, verificando-se o maior valor para o Projeto 1, porque apresenta um consumo de operação por unidade de área maior. De lembrar que o custo do sistema PV se encontra multiplicado pelo fator 2, que se deve à necessidade de uma segunda instalação nos 30 anos do edifício.

Para se ter uma melhor noção do custo final, associado apenas à operação, tem-se um total de 31.9k€ e 65.5k€, para os Projetos 1 e 2, respetivamente, que representa a quantidade monetária que um edifício LC-ZEB deixa de pagar por apresentar o sistema PV, que tem um custo menor, representando 47% e 32% do valor gasto na eletricidade de operação, para os Projetos 1 e 2, respetivamente.

6. Conclusões

A mudança dos comportamentos energéticos é uma necessidade urgente e o aumento da eficiência e da sustentabilidade dos vários serviços traduz-se como a única alternativa ao cumprimento dos objetivos impostos pela diretiva. Dada a escassez de recursos e a crescente tendência de aumento do consumo *per capita*, é determinante a instalação de sistemas renováveis, de modo a que a satisfação dessas necessidades não leve ao agravamento da qualidade da atmosfera terrestre.

O estudo energético de um edifício, nomeadamente a simulação energética, mostra que podem ser atingidas grandes melhorias no desempenho energético, estimulando a interação sustentável entre edifícios e ambiente, onde se faz um uso adequado dos recursos naturais da envolvente.

Conclui-se que se atinge o estatuto de LC-ZEB nos dois projetos realizados, verificando-se uma produção superior ao consumo ao longo da vida do edifício para todos os casos avaliados. Dado o seu desempenho energético, pode concluir-se que os edifícios LC-ZEB representam um novo patamar de sustentabilidade e a poupança de energia e emissões revela ser de magnitude significativa, mostrando que se podem garantir as condições de habitação e manter um comportamento ambiental adequado. Comparativamente aos edifícios LC-ZEB, os tradicionais apresentam um consumo energético e emissões maiores, não sendo muitas vezes verificadas as condições de conforto.

Comparando o caso mais eficiente (LC-ZEB) e a construção tradicional, conclui-se que se verificam poupanças energéticas no consumo total de 31% e 16% para os Projetos 1 e 2, respetivamente, enquanto que, relativamente às emissões, se tem uma redução de 46% e 6.5%, respetivamente. A grande diferença no Projeto 1 deve-se à não contabilização da energia incorporada do aço pois trata-se da reciclagem do contentor.

A avaliação económica permite a conclusão de que os edifícios em questão representam grandes poupanças, nomeadamente a nível da eletricidade na operação, a que tem de ser satisfeita com base na rede elétrica nacional e que apresenta um custo elevado por kWh produzido. Conclui-se ainda que o sistema fotovoltaico apresenta um custo total que ronda os 47% e 32% do valor gasto na eletricidade necessária para satisfazer apenas o consumo de operação, para os Projetos 1 e 2, respetivamente. A integração do sistema PV leva à poupança de 569.2 €/m² para o primeiro, enquanto que se verifica uma poupança de 210 €/m² para o segundo.

Como referido, é cometida uma incerteza significativa no estudo dos projetos, apesar de se entender que tal não invalida o trabalho, podendo considerar-se o pior caso possível, de modo a evitar qualquer acréscimo de consumo. Dada a importância dos materiais no panorama energético, esse aspeto deve incentivar a que estudos mais detalhados e precisos devam ser realizados, alargando a base de dados para novos materiais, assim como a maior precisão dos valores apresentados.

Os resultados retirados da presente dissertação devem incentivar o desenvolvimento dos edifícios LC-ZEB, nomeadamente a nível legal e educacional, promovendo o seu conhecimento e aplicação. Também o desenvolvimento dos programas associados à simulação e da base de dados devem ser estimuladas, levando-se a resultados mais precisos e fiáveis.

7. Referências

- [1] Eurostat Statistical Pocketbook 2018 [Online]. Disponível: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-statistical-pocketbook> [Acedido: 10-Abr-2018].
- [2] Efeito de estufa [Online] – Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. Disponível: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html [Acedido: 15-Maio-2018].
- [3] European Environment Agency, “Final energy consumption by sector and fuel,” 2017. [Online]. Disponível: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/total-final-energy-consumption-by-sector-3#tab-googlechartid_chart_41 [Acedido: 14-Abr-2018].
- [4] Moret Rodrigues A., Canha da Piedade A., Braga A.M. (2009), *Térmica de Edifícios*, 1ª Edição, Edições Orion, página xi.
- [5] Jornal Oficial das Comunidades Europeias (4 de janeiro de 2003) – Diretiva 2002/91/EC: influência dos edifícios no consumo energético.
- [6] Diretiva 2010/31/EU: Diretiva 2010/31/EU [Online]. Disponível: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=pt> [Acedido: 16-Abr-2018].
- [7] N. Griffiths and I. Nolte, *Principles For nearly Zero-energy Buildings*. 2011.
- [8] George Perkins Marsh, “Man and Nature”, 1864, editor David Lowenthal.
- [9] SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building. Disponível: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2012/032012/solar-xxi-a-portuguese-office-building-towards-net-zero-energy-building/> [Acedido: 29-Mai-2018].
- [10] Kurnitski Jarek, Allard F., Braham D., et. al. “How to define nearly net zero energy buildings nZEB – REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast” 2010.
- [11] J. Williams et al. (2016). “Less is more: A review of low energy standards and the urgent need for an international universal zero energy standard”. *Journal of Building Engineering*, 6, 65–74
- [12] Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP 15), dezembro 2009. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencia-das-partes-cop/cop-15-mop-5-copenhague-dinamarca-dezembro-de-2009/> [Acedido: 15-Maio-2018].
- [13] R. C. Karsten Voss, Igor Santori, “Nearly-zero, Net zero and Plus Energy Buildings – How definitions & regulations affect the solutions,” *REHVA J.*, pp. 23–27, 2012.
- [14] Hernandez, P and Kenny P, From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB), *Energy and Buildings*, 2010, 42, pp.815-821.
- [15] V. K. Torben V. Esbensen, “Performance of the Zero Energy House in Denmark,” *Tech. Univ. Denmark*, pp. 1–14, 1977.
- [16] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley, “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition,” *ACEEE Summer Study Pacific Grove*, p. 15, 2006.

- [17] M. Panagiotidou and R. J. Fuller, “Progress in ZEBs-A review of definitions, policies and construction activity,” *Energy Policy*, vol. 62, pp. 196–206, 2013.
- [18] EnergyPlus (*Energy Simulation Program*) – Disponível: <https://energyplus.net/> [Acedido: 10-Abr-2018].
- [19] M. J. N. O. Panão, “Transferência de Calor em Edifícios.” 2015.
- [20] EnergyPlus Weather Data by Region (Coimbra) - Disponível: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/PRT%20%20 [Online] [Acedido: 16-Fev-2018].
- [21] Pina dos Santos Carlos A., Matias Luís: ITE50 Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC 2010
- [22] Neila Gonzalez F. Javier – La transmisión de calor a través de elementos constructivos, 2006.
- [23] Norma DIN 5035, Avaliação das Condições de Iluminância em Ambientes de Trabalho, 2015.
- [24] Lâmpada LED E14 Eficiência 115lm/W – Disponível: <https://www.aki.pt/L%C3%A2mpada-LED-vela-E14-4W-470LM-2700K-LEXMAN-P64726.aspx> [Acedido: 23-Abr-2018]
- [25] Bomba de calor: Borgnakke, Claus. Fundamentos da termodinâmica/ Claus Borgnakke, Richard E. Stonntag; tradução da 7ª edição americana, 2009.
- [26] Norma de Conforto Europeia EN 15251 (2007).
- [27] Paulo Pimentel de Oliveira, “Fundamentos da Termodinâmica Aplicada – Análise Energética e Exergética”, Grupo Lidel, pp 29-30, 166-170.
- [28] ISCTE e OIKONET, “Calculation of horizontal shading – South/North facing windows”
- [29] Tse Peter, Lowrie Fiona, embodied carbon: the inventory of carbon and energy (ICE), 2011.
- [30] Paine solar X21-series-335-345. Disponível: <https://pt.scribd.com/document/338803470/ds-x21-series-335-345-residential-solar-panels-pdf>
- [31] Engenharia e Construção: Durabilidade dos contentores – Disponível: <https://www.engenhariaeconstrucao.com/2017/10/casa-contentor.html> [Acedido: 13-Mar-2018].
- [32] Containex: Contentores marítimos. Disponível: <http://www.containex.pt/pt/produtos/contentores-maritimos> [Acedido: 13-Mar-2018].

8. Anexos

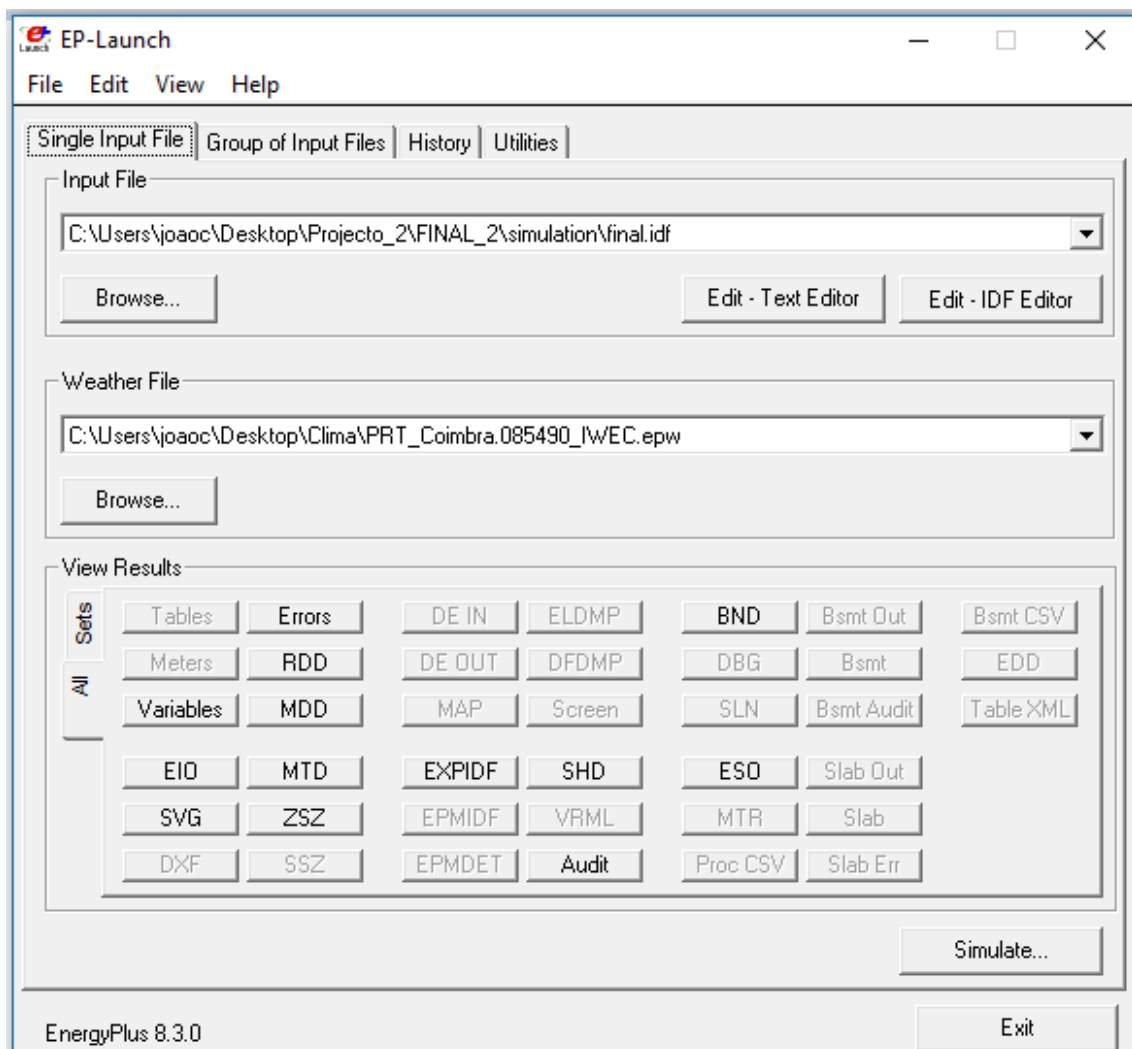


Figura A.1 - Interface inicial do *EnergyPlus*.

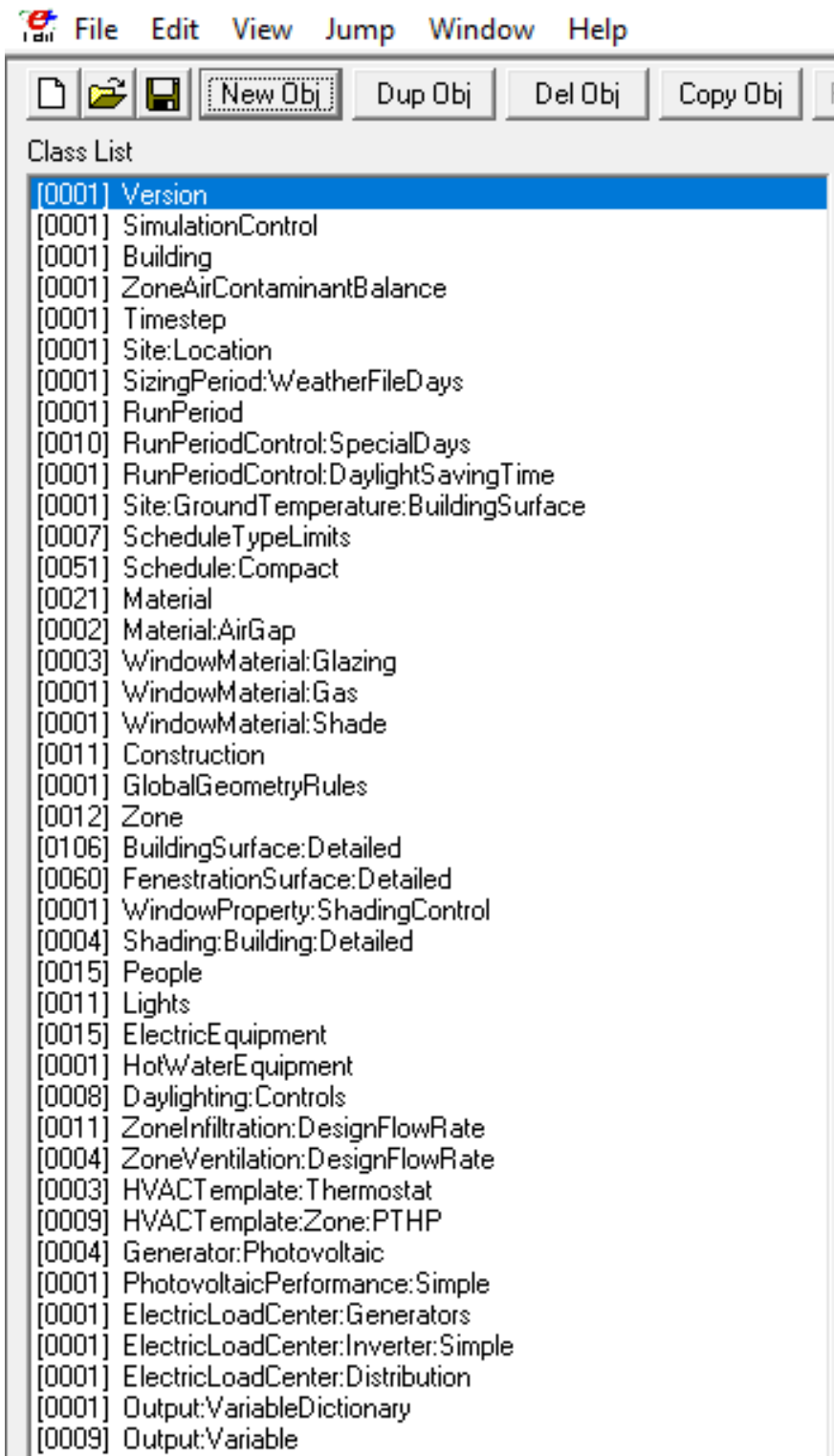


Figura A.2 - Campos a definir para a simulação em *EnergyPlus*.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		people_sala	people_wc	people_quarto	dormir_quarto
Zone or ZoneList Name		Sala	WC	Quarto	Quarto
Number of People Schedule Name		Occupancy Sala	Occupancy WC	Occupancy Quarto	Dormir SCH
Number of People Calculation Method		People	People	People	People
Number of People		2	1	2	2
People per Zone Floor Area	person/m2				
Zone Floor Area per Person	m2/person				
Fraction Radiant		0.58	0.58	0.58	0.58
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activity Schedule	Activity Schedule	Activity Schedule	Activity Dormir SCH
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s*W	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name					
Work Efficiency Schedule Name					
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name					

Figura A.3 - Definição do campo *People* no *EnergyPlus* para o Projeto 1.

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
Sala	Torradeira	350	10 min	$(350*2/3)+(500*1/3) = 400W$	0.73
	Máquina Café	500	5 min		
	Micro-ondas	550	5 min	-	1
	Ferro Engomar	1000	1 h/ 2x Semana	$1000W*1h*2 = 2000 Wh/sem$ $--> xW*1h*5 = 2000 Wh/sem$ $--> x=400W$	0.73
	Computador	125	1 h	-	0.22
	TV	50	1 h	-	0.09
				Máximo (W)	550
Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo (min)	Consideração	Fração
Sala (Processo)	Forno	700	30	-	0.35
	Fogão	900	15	-	0.45
	Fogão	2000	30	-	1
				Máximo (W)	2000
Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
WC (semana)	Secador	1000	2x/semana	$1000W*10/60h*3 = 500 Wh/sem$ $--> xW*10/60h*6 = 500 Wh/sem$ $--> x=400W$	0.8
	Máquina Barbear	10	2x/semana	4	0.008
WC (FDS)	Secador	1000	1x	500	1
	Máquina Barbear	10	1x	5	0.01
				Máximo (W)	500

Figura A.4 - Resumo dos equipamentos considerados e respectivas potências para o Projeto 1.

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
Sala	Computador	125		-	1
	Consola	75		0.6 (consola) + 0.4(TV) = 1	1
	TV	50		-	0.4
Máximo (W)					125

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo (min)	Consideração	Fração
Cozinha (Processo)	Forno	700	30	-	0.35
	Fogão	900	15	-	0.45
	Fogão	2000	30	-	1
Máximo (W)					2000

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
Cozinha	Torradeira	350	15 min	(350 + 500 + 550)/3 = 470	0.86
	Máquina Café	500			
	Micro-ondas	550			
	Micro-ondas	550	-	1	
	TV	50	-	0.091	
Máximo (W)					550

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
Q1	Telemóvel (x2)	6	-	-	
Q2/Q3	Telemóvel	3	-	-	0.024
	Computador	125	-	-	1
Escritório	Computador (x2)	250	-	-	
Garagem	Portão Garagem	250	-	-	

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
Máquinas	Máquina Lavar	350	2 h/ 3x Semana	350W*2h*3 = 2100 Wh/sem --> xW*2h*5 = 2100 Wh/sem ----> x=210W	1
	Ferro Engomar	1000	1 h/ 3x Semana	1000W*1h*3 = 3000 Wh/sem --> xW*2h*5 = 300 Wh/sem ----> x=300W	
Máximo (W)					510

Zona	Equipamento	Potência Média	Tempo	Consideração	Fração
WC1	Secador (Semana)	1000	15min/ 3x semana	1000W*0.25h*3 = 750 Wh/sem --> xW*0.25h*5 = 750 Wh/sem ----> x=600W	1
	Secador (FDS)	1000	15min/ 1x FDS	1000W*0.25h*1 = 250 Wh/sem --> xW*0.25h*2 = 250 Wh/sem ----> x=500W	0.84
	Máquina Barbear	10	10min/ 3x semana	10W*10/60h*3 = 5 Wh/sem --> xW*10/60h*5 = 5 Wh/sem ----> x=6W	0.01
Máximo (W)					600

Figura A.5 - Resumo dos equipamentos considerados e respetivas potências para o Projeto 2.

Uso de Energia Anual AQS

Eficiência Aquecedor de Água	100%		100% ié um valor típico para sistemas elétricos
Perdas "Standby"	70%		Reservatório de 200 litros
Fator de Energia	70.0%		Eficiência x Perdas Standby
Perdas de Distribuição	95%		Valor típico de 5%
Temperatura Normal da Água	13 °C		Temperatura normal
Temperatura Desejada Banho	50 °C		
Diferença de Temperatura	37 °C		Temperatura Normal da Água Usada
Capacidade Térmica da Água	1.16 Wh/ L-K		Propriedade Fundamental da Água
Procura de Energia	42.92 Wh/ L		
Eficiência Total do Sistema	66.5%		
Uso de Energia	64.54 Wh/ L		

Figura A.6 - Propriedades para o cálculo da necessidade de AQS no Projeto 1.

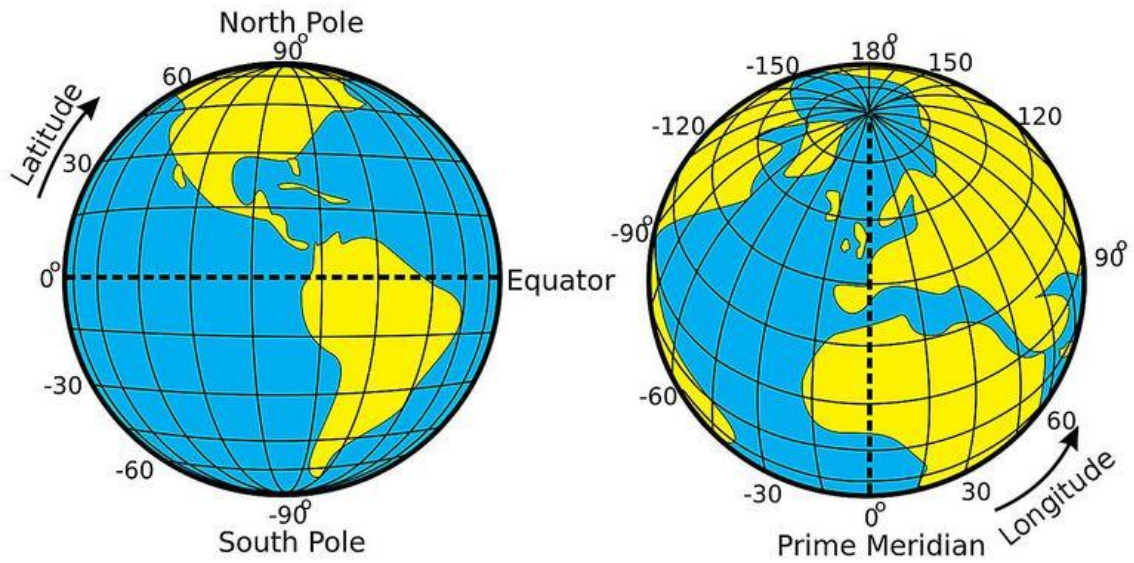


Figura A.7 - Esquemática da obtenção da Latitude e Longitude.

Location		N/S?
Latitude [°]	40.2	N

	Shading/Sunlight until...	Use Max Solar Altitude?	Angle [°]	Max solar altitude [°]	Solar radiation coming from...
Day for total shading	21/jun	1	yes	73.2	South
Day for total sunlight	21/dez	2	yes	26.4	South

h [m]	1.00
a [m]	0.35
b [m]	0.18

Partial incidence of solar radiation

Solar altitude (3)	
h' [m]	measured from the bottom of the window

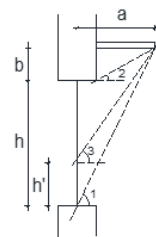


Figura A.8 - Interface da ferramenta Excel para cálculo da altura solar.

Electrical Data		
	SPR-X21-335-BLK	SPR-X21-345
Nominal Power (P _{nom}) ¹¹	335 W	345 W
Power Tolerance	+5/-0%	+5/-0%
Avg. Panel Efficiency ¹²	21.0%	21.5%
Rated Voltage (V _{mpp})	57.3 V	57.3 V
Rated Current (I _{mpp})	5.85 A	6.02 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	67.9 V	68.2 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.23 A	6.39 A
Max. System Voltage	600 V UL & 1000 V IEC	
Maximum Series Fuse	15 A	
Power Temp Coef.	-0.29% / °C	
Voltage Temp Coef.	-167.4 mV / °C	
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C	

Figura A.9 - Folha de especificações do painel *SPR-X21 335* utilizado.

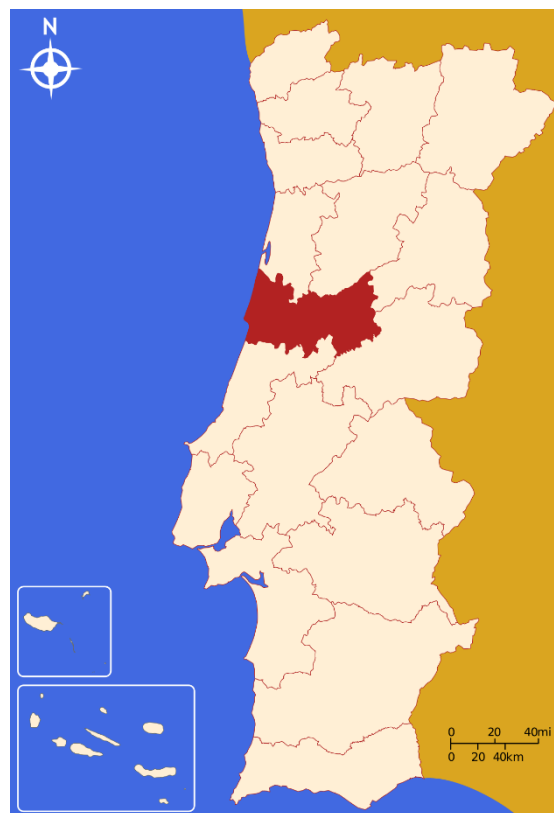


Figura A.10 - Localização de Coimbra no mapa nacional.

Projeto 1					
Zona	Iluminancia (lux)	Potencia (W/m2)			
Cozinha	400	3.48			
Quarto	250	2.17			
Wc	250	2.17			
Projeto 2			Caso 1		Caso 2
Zona	Iluminancia (lux)	Potencia (W/m2)	Iluminancia (lux)	Potencia (W/m2)	Fração
Sala	300	2.61	500	4.35	0.6
Cozinha	400	3.48	-	-	
Garagem	250	2.17	-	-	
Q1	250	2.17	-	-	
Q2	250	2.17	500	4.35	0.5
Q3	250	2.17	500	4.35	0.5
wc1	250	2.17	-	-	
wc	250	2.17	-	-	
Máquinas	300	2.61	-	-	
Hall	250	2.17	100	0.87	2.5
Escritório	500	4.35	-	-	

Figura A.11 - Níveis de iluminância considerados para os Projetos 1 e 2.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Lights_sala	Lights_wc	Lights_quarto
Zone or ZoneList Name		Sala	WC	Quarto
Schedule Name		Lights Sala	Lights WC	Lights Quarto
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	3.48	2.17	2.17
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction		0	0	0
Fraction Radiant		0.37	0.37	0.37
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18
Fraction Replaceable		1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No

Figura A.12 - Campo do *EnergyPlus* associado à definição da iluminação no Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Equipaments_sala	Equipaments_wc	Equipaments_quarto	Equipam_small	Equipam_fridge	Process_sala
Zone or ZoneList Name		Sala	WC	Quarto	Sala	Sala	Sala
Schedule Name		Equipm Sala	Equipam WC	Equipment Quarto	Always On	Always On	Equip_Process_sala
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	550	500	3	11	20	2000
Watts per Zone Floor Area	W/m2						
Watts per Person	W/person						
Fraction Latent		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1
Fraction Radiant							
Fraction Lost							0.7
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General

Figura A.13 - Campo do *EnergyPlus* associado à definição dos equipamentos no Projeto 1.

Field	Units	Obj1
Name		DHW
Zone or ZoneList Name		WC
Schedule Name		DHW SCH
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	1576
Power per Zone Floor Area	W/m2	
Power per Person	W/person	
Fraction Latent		0.2
Fraction Radiant		
Fraction Lost		0.7
End-Use Subcategory		Hot Water

Figura A.14 - Campo do *EnergyPlus* associado à definição das AQS no Projeto 1.

Annual DHW Energy Use								number of uses in the building - 2	
	flowrate L/m	time minutes	volume/use L	use/year #	multiplier #	%hot water	volume/year/zone L	Annual energy use Wh	
Shower	10	5	50	350	1.5	73%	19155.40541	1 236 315.8	
Bath							0	-	
Laundry							0	-	
Cooking			12	122	1	80%	1171.2	75 590.8	
Hand Washing	5	0.25	1.25	365	2	80%	730	47 115.2	
Dish Cleaning			40	183	1	80%	5840	376 921.5	
Other cleaning			50	52	1	50%	1300	83 903.8	
Total volume/year							28196.60541	1 819 847.1	

Average Power	1575.67
Energy Use	1 819 509.43

Percentage of hot water			Water temperature for bath			WeekDay Schedule			WeekendDay Schedule		
	40	°C				Hour	Fraction	Resultant Power	Hour	Fraction	Resultant Power
%hot water	73	%				1	0.05	78.78	1	0.05	78.78
						2	0.05	78.78	2	0.05	78.78
						3	0.05	78.78	3	0.05	78.78
						4	0.05	78.78	4	0.05	78.78
						5	0.05	78.78	5	0.05	78.78
						6	0.05	78.78	6	0.05	78.78
						7	0.05	78.78	7	0.05	78.78
						8	0.2	315.13	8	0.2	315.13
						9	0.05	78.78	9	0.05	78.78
						10	0.05	78.78	10	0.05	78.78
						11	0.05	78.78	11	0.05	78.78
						12	0.05	78.78	12	0.05	78.78
						13	0.05	78.78	13	0.05	78.78
						14	0.05	78.78	14	0.05	78.78
						15	0.05	78.78	15	0.05	78.78
						16	0.05	78.78	16	0.05	78.78
						17	0.05	78.78	17	0.2	315.13
						18	0.05	78.78	18	0.6	945.40
						19	0.2	315.13	19	0.9	1418.11
						20	0.5	787.84	20	0.5	787.84
						21	0.9	1418.11	21	0.4	630.27
						22	0.2	315.13	22	0.05	78.78
						23	0.05	78.78	23	0.05	78.78
						24	0.05	78.78	24	0.05	78.78
						Average	0.123	193.677	Average	0.154	242.916

Figura A.15 - Metodologia para obtenção da potência a definir no *EnergyPlus* para as AQS no Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		NightCooling_quarto	NatVent_quarto	NatVent_quarto_verao
Zone or ZoneList Name		Quarto	Quarto	Quarto
Schedule Name		NightCooling SCH	NatVent Innver	NatVent Verao
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr	1	3	3
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa			
Fan Total Efficiency		1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				
Minimum Indoor Temperature	C	5	10	10
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	C	-2	0	0
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Outdoor Temperature	C	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name				
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40

Figura A.16 - Campo do *EnergyPlus* associado à definição da ventilação natural no Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		Quarto	Sala	WC
Total Daylighting Reference Points		1	1	1
X-Coordinate of First Reference Point	m	1.8	3	1.15
Y-Coordinate of First Reference Point	m	-0.7	-1.1	0
Z-Coordinate of First Reference Point	m	0.8	0.8	0.8
X-Coordinate of Second Reference Point	m			
Y-Coordinate of Second Reference Point	m			
Z-Coordinate of Second Reference Point	m	0.8	0.8	0.8
Fraction of Zone Controlled by First Reference Point		1	1	1
Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point				
Illuminance Setpoint at First Reference Point	lux	500	500	500
Illuminance Setpoint at Second Reference Point	lux	500	500	500
Lighting Control Type		1	1	1
Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock	deg	0	0	0
Maximum Allowable Discomfort Glare Index		22	22	22
Minimum Input Power Fraction for Continuous Dimming		0.3	0.3	0.3
Minimum Light Output Fraction for Continuous Dimming		0.2	0.2	0.2
Number of Stepped Control Steps		1	1	1
Probability Lighting will be Reset When Needed in Man		1	1	1

Figura A.17 - Campo do *EnergyPlus* associado à definição do sensor de luz (*daylight sensor*) no Projeto 1.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Wall Menor
Stainless Steel 10.8	Stainless Steel 4.4cm	Plasterboard 2CM	Stainless Steel 10.8	Clear 3mm	madeira 2cm	madeira 2cm	Stainless Steel 8cm
	LA Rocha 3cm			Air 13mm			LA Rocha 3cm
	Equiv Parede Maior			Clear 3mm			Equiv Parede Maior

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Wall Menor
Stainless Steel 10.8	Stainless Steel 4.4c	Plasterboard 2CM	Stainless Steel 10.8	Clear 3mm	madeira 2cm	madeira 2cm	Stainless Steel 8cm
	LA Rocha 3cm		TYVEK_membran	Air 13mm			LA Rocha 3cm
	Equiv Parede Maior		Equival Tecto	Clear 3mm			Equiv Parede Maior
	Plasterboard 2CM		Plasterboard 2CM				Plasterboard 2CM

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Wall Menor
Stainless Steel 10.8	Stainless Steel 4.4c	Plasterboard 2CM	Stainless Steel 10.8	Clear 3mm	madeira 2cm	madeira 2cm	Stainless Steel 8cm
	Equival Tecto		TYVEK_membran	Air 13mm			Equival Tecto
	Plasterboard 1CM		Equival Tecto	Clear 3mm			Plasterboard 1CM
			Plasterboard 2CM				

Figura A.18 - Exemplos de casos testados no cenário Construção no Projeto 1.

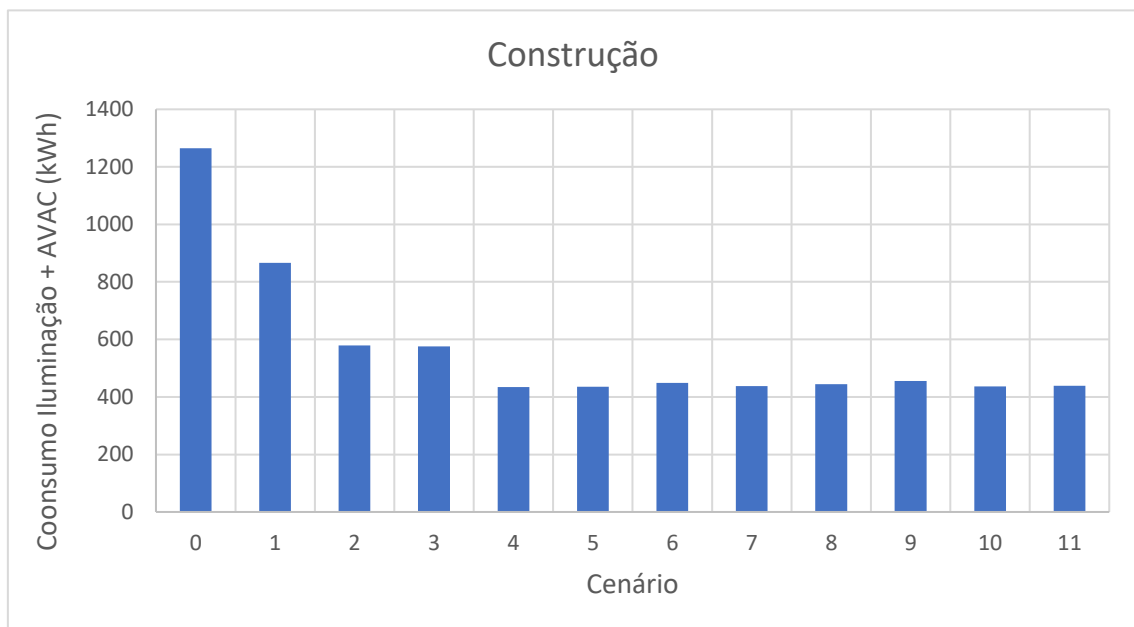


Figura A.19 - Consumo anual de Iluminação e AVAC para os casos do cenário Construção no Projeto 1.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Wall Menor
Soil	stucco - 1cm	MDF 2CM	telha	Clear 3mm	madeira 2cm	madeira 2cm	stucco - 1cm
Riprap	Brickwork - 15cm		TYVEK_membran	Air 13mm			Brickwork - 15cm
HW Concrete - 15cm	stucco - 1cm		estrutura_telhado	Clear 3mm			stucco - 1cm
			MDF 2CM				

Figura A.20 - Construção "tradicional" para o edifício do Projeto 1.

	Energia Total Aquecimento [kWh]	Energia Total Arrefecimento [kWh]	Energia Total Iluminação [kWh]	Energia Total Equipamentos [kWh]	Energia Produzida Total [kWh]
Janeiro	109.04	2.66	6.88	130.54	524.18
Fevereiro	115.70	1.20	6.29	120.76	516.22
Março	138.08	0.68	6.52	137.84	865.72
Abril	142.30	0.52	5.30	133.32	1014.03
Maiο	113.95	0.69	4.67	134.32	1046.21
Junho	66.70	1.24	4.36	133.32	1129.29
Julho	43.93	4.00	4.53	134.07	1222.26
Agosto	32.93	7.81	5.09	138.09	1222.71
Setembro	20.64	10.16	5.81	129.30	953.91
Outubro	29.42	10.60	6.83	134.32	739.28
Novembro	61.36	4.98	6.55	126.27	443.67
Dezembro	81.81	3.72	7.09	133.82	403.03
Total	955.86	48.25	69.92	1585.99	10080.51

Figura A.21 - Consumo mensal por carga para o Projeto 1.

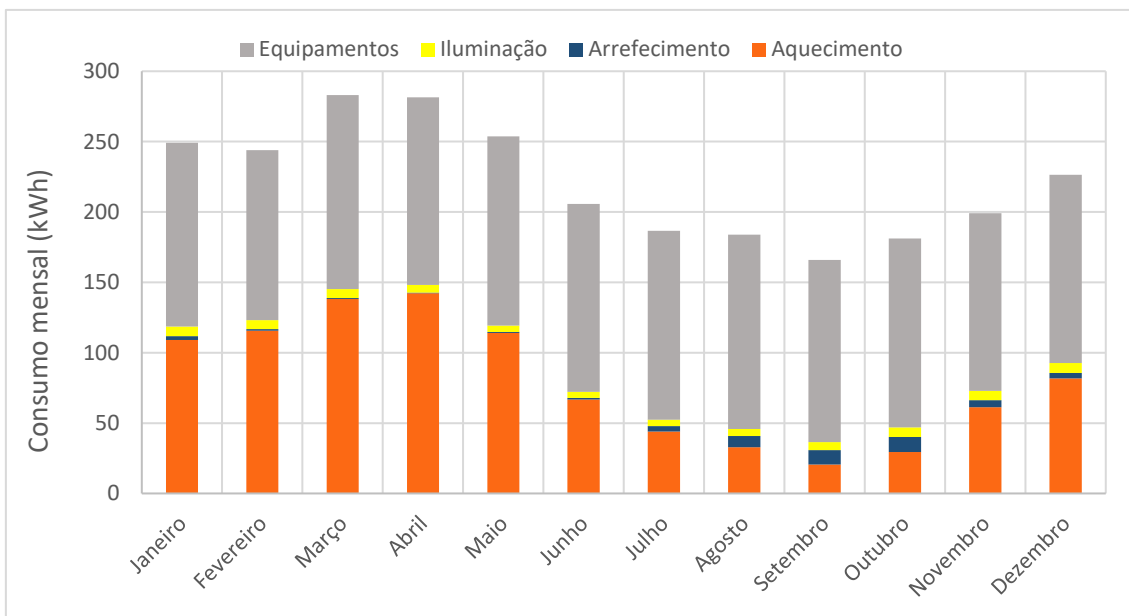


Figura A.22 - Representação gráfica do consumo mensal do Projeto 1.

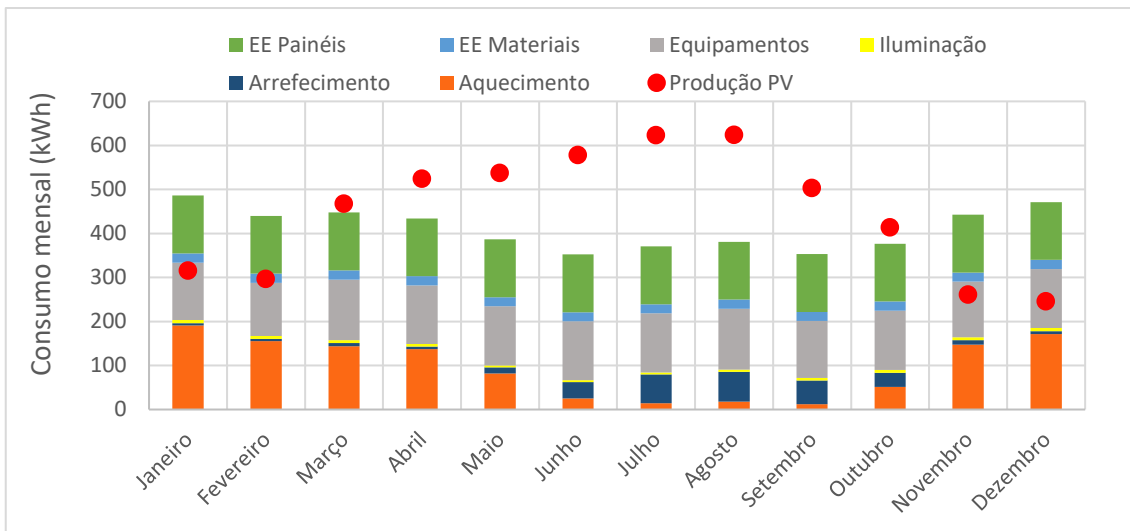


Figura A.23 - Consumo mensal para as várias cargas do caso alternativo (B) do Projeto 1.

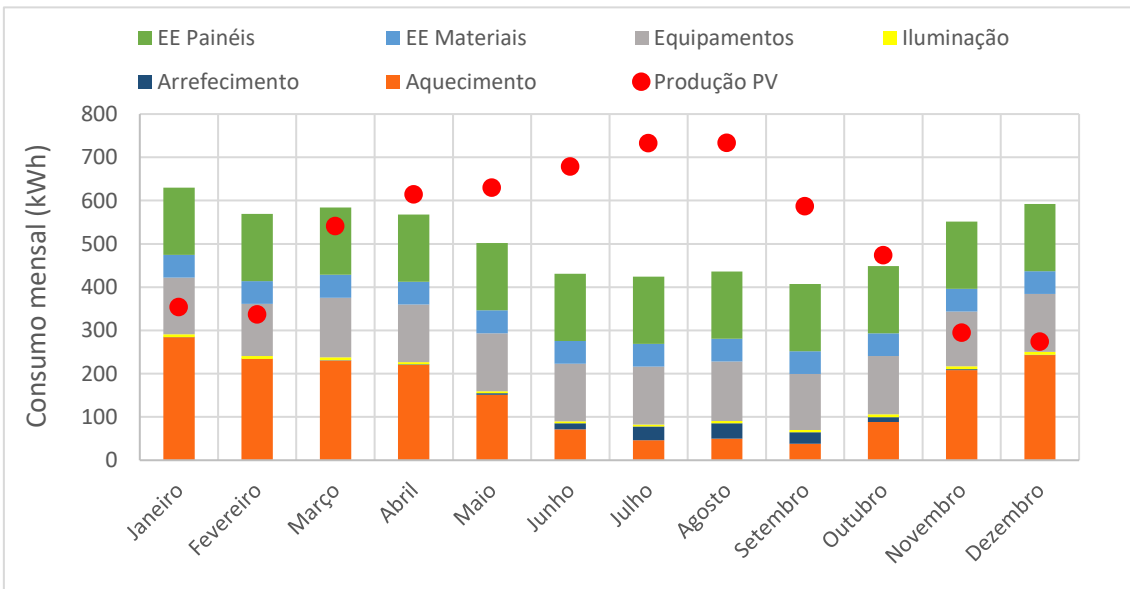


Figura A.24 - Consumo mensal para as várias cargas do caso convencional (C) do Projeto 1.

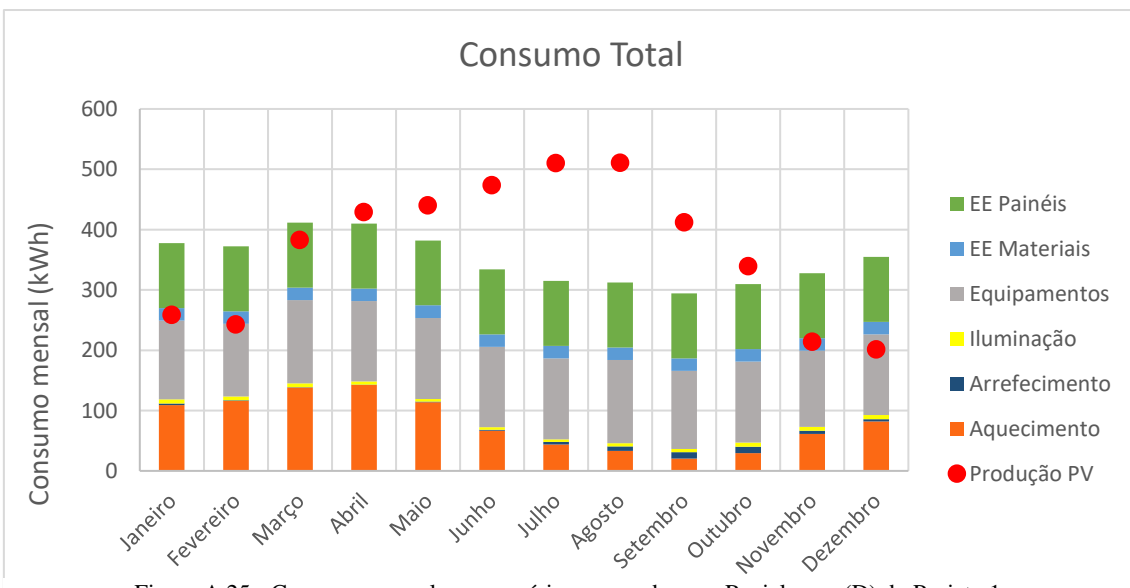


Figura A.25 - Consumo mensal para as várias cargas do caso Reciclagem (D) do Projeto 1.



Figura A.26 - Perspetiva SE do caso B do Projeto 1.



Figura A.27 - Perspetiva SW do interior do caso A do Projeto 1.



Figura A.28 - Perspetiva SE do caso A do Projeto 1.

		Preço Total (€)
Contentor	Contentor	1900
	Transporte	240
	Colocação	75
Vãos	Portas interiores	358
	Porta entrada	500
	Porta norte	234
	Janelas	1295.00
Materiais	Lã de rocha	598.40
	Pavimento Flutuante	136.42
	MDF	779.23
	Ripas Madeira	538.67
	TYVEK	33.89
Alpendre	Pilares exteriores	300
	Chão exterior	877.52
	Chapas zinco	101.33
Solar Fotovoltaico	Paineis	6500
	Acessorios/instalação	500
	Fundações	500
Mão de obra	Construção	4000
	Canalização	1000
	Instalação elétrica	1000
WC	Sanita	90.49
	Base de duche	159
	Lavatório	248.49
	Iluminação	228.99
	Pintura	700
Mobilia	Bancada cozinha	2000
	Movel lateral tv	29.99
	Cama	249
	Bancada fogão	140
	Secretária	129
	Armário Quarto	229
	Cómodas	37.99
Equipamentos	Placa Fogão	179.99
	Lava loiça	117.99
	Frigorifico	812.99
	Forno	149.99
	Bomba de Calor	2119
	Torneiras	89.99
	Estores interiores	74.97
	Acessórios Extra	100
	Total	29354.33

Figura A.29 - Orçamento para o Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13
Name		garagem_chao	garagem_norte	garagem_roof	garagem_sul	garagem_lit	garagem_west	kt_chao	kt_sul	kt_west	kt_este_wc	kt_roof	kt_norte	sala_chao
Surface Type		Floor	Wall	Ceiling	Wall	Wall	Wall	Floor	Wall	Wall	Wall	Ceiling	Wall	Floor
Construction Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Ceiling	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Wall	Exterior Floor	Exterior Wall	Exterior Wall	Interior Wall	Interior Ceiling	Exterior Wall	Exterior Floor
Zone Name		Garagem	Garagem	Garagem	Garagem	Garagem	Garagem	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Sala
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Surface	Outdoors	Surface	Outdoors	Ground	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Outdoors
Outside Boundary Condition Object			roof_baco_garagem	roof_baco_garagem	kt_west	kt_west			sala_norte	sala_norte	garagem_lit	roof_baco_lit	roof_baco_lit	Outdoors
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	6	6	0	0	6	0	2.659505	-2.840495	-2.840495	2.659505	-2.840495	2.659505	5.022078
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	0	0	-6.5	6.5	0	6.338712	0.838712	6.338712	6.338712	0.838712	6.338712	8.201616
Vertex 2 X-coordinate	m	0	2.6	2.6	2.6	2.6	0	2.6	0	2.6	2.6	0	2.6	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	6	6	0	0	6	0	2.659505	-2.840495	-2.840495	2.659505	-2.840495	2.659505	5.022078
Vertex 2 Z-coordinate	m	-6.5	0	-6.5	-6.5	6.5	0	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	2.201616
Vertex 3 X-coordinate	m	0	0	2.6	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	0	6	6	6	0	-2.840495	2.659505	-2.840495	2.659505	2.659505	-2.840495	-0.477322
Vertex 3 Z-coordinate	m	-6.5	0	-6.5	-6.5	6.5	0	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	0.838712	2.201616
Vertex 4 X-coordinate	m	0	0	2.6	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	0	0	6	6	6	0	-2.840495	2.659505	-2.840495	2.659505	2.659505	-2.840495	-0.477322
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	0	-6.5	0	-6.5	0	6.338712	0.838712	0.838712	2.638712	6.338712	6.338712	8.201616
Vertex 5 X-coordinate	m	0	2.6	2.6	2.6	2.6	0	2.6	0	2.6	2.6	0	2.6	0

Figura A.30 - Esquemática do campo do EnergyPlus associado à definição das condições fronteira das superfícies para o Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Name		domo_g1	domo_g2	domo_g3	Cook_KIT	people_KIT	people_g1	people_g2	people_g3	people_hall	people_sala	people_wc1	people_vc	people_office	people_mes	people_garagem
Zone or ZoneList Name		Domos	Domos	Domos	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha	Cozinha
Zone or ZoneList Schedule Name		Domos Q1 SCH	Domos Q2 SCH	Domos Q3 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH	Domos Q1 SCH
Number of People Calculation Method		Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person	Person
Number of People		2	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
People per Zone Floor Area	person/m2															
Zone Floor Area per Person	m2/person															
Fraction Radiant		0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome	Activity Dome
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/h	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382	0.000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Settings		No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation 1		ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage
Surface Name/Fraction Factor List Name		ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage	ZoneAverage
Work Efficiency Schedule Name																
Climate Insulation Calculation Method		DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation	DefaultInsulation

Figura A.31 - Campo do EnergyPlus associado à definição da ocupação das pessoas no Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		Light_KIT	Light_sala	Light_wc	Light_vc	Light_wc1	Light_office	Light_hall	Light_garagem	Light_g2	Light_g3	Light_mes
Zone or ZoneList Name		Cozinha	Sala	WC	WC	WC	Office	Hall	Garagem	Quarto2	Quarto3	Quarto1
Schedule Name		Lights KIT	Lights Sala	Lights Q1	Lights WC	Lights wc1	Lights Office	Lights Hall	Lights Garagem	Lights Q2_Q3	Lights Q2_Q3	Lights Maquinas
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W											
Watts per Zone Floor Area	W/m2	3.48	4.35	2.17	2.17	2.17	4.35	2.17	2.17	4.35	4.35	2.61
Watts per Person	W/person											
Return Air Fraction		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Fraction Rescavable		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Figura A.32 - Campo do EnergyPlus associado à definição da iluminação no Projeto 1.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Name		Process_eqa_KIT	Process_eqa_sala	Equipment_sala	Equipment_wc1	Equipment_g2	Equipment_g3	Equipment_office	Equipment_mes	Equipment_garagem	Equipment_hall	Equipment_mes	Equipment_mes	Equipment_mes	Equipment_mes	Equipment_mes
Zone or ZoneList Name		Cozinha	Cozinha	Sala	Sala	WC	WC	Office	Maquinas	Garagem	Hall	Garagem	Quarto2	Quarto3	Quarto1	Quarto1
Schedule Name		Equipam_KIT	Equipam_sala	Equipam_sala	Equipam_wc1	Domos Q1 SCH	Equipam_g2_g3	Equipam_office	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes	Equipam_mes
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	150	1	1	1	1	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Watts per Zone Floor Area	W/m2															
Watts per Person	W/person															
Fraction Latent		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0.4	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Fraction Lost		0.1	0.7	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1	0.7	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General	General

Figura A.33 - Campo do EnergyPlus associado à definição dos equipamentos no Projeto 1.

Field	Units	Obj1
Name		DHW
Zone or ZoneList Name		Maquinas
Schedule Name		DHW SCH
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	3500
Power per Zone Floor Area	W/m2	
Power per Person	W/person	
Fraction Latent		0.2
Fraction Radiant		
Fraction Lost		0.7
End-Use Subcategory		General

Figura A.34 - Campo do EnergyPlus associado à definição das Águas Quentes Sanitárias (AQS) no Projeto 1.

Annual DHW Energy Use	flowrate	time	volume/use	use/year	number of uses in the multiplier	%hot water	volume/year/zone	Annual energy use
	L/m	minutes	L	#	#		L	Wh
Shower	10	5	50	350	3.5	73%	44695.94595	2 884 736.8
Bath							0	-
Laundry			90	150	1	50%	6750	435 654.1
Cooking			12	122	1	80%	1171.2	75 590.8
Hand Washing	5	0.25	1.25	350	4	80%	1400	90 357.9
Dish Cleaning			40	183	1	80%	5840	376 921.5
Other cleaning			50	52	1	30%	780	50 342.3
Total volume/year							60637.14595	3 913 603.5

Percentage of hot water

Water temperature for	40 °C
	0.73
%hot water	73 %

Average Power	3540.35
Energy Use	3 913 148.28

WeekDay Schedule		
Hour	Fraction	Resultant Power
1	0.05	177.02
2	0.05	177.02
3	0.05	177.02
4	0.05	177.02
5	0.05	177.02
6	0.05	177.02
7	0.4	1416.14
8	0.9	3186.31
9	0.05	177.02
10	0.05	177.02
11	0.05	177.02
12	0.05	177.02
13	0.05	177.02
14	0.05	177.02
15	0.05	177.02
16	0.05	177.02
17	0.05	177.02
18	0.05	177.02
19	0.2	708.07
20	0.4	1416.14
21	0.05	177.02
22	0.05	177.02
23	0.05	177.02
24	0.05	177.02
Average	0.121	427.792

WeekendDay Schedule		
Hour	Fraction	Resultant Power
1	0.05	177.02
2	0.05	177.02
3	0.05	177.02
4	0.05	177.02
5	0.05	177.02
6	0.05	177.02
7	0.05	177.02
8	0.3	1062.10
9	0.8	2832.28
10	0.05	177.02
11	0.05	177.02
12	0.05	177.02
13	0.05	177.02
14	0.05	177.02
15	0.05	177.02
16	0.05	177.02
17	0.2	708.07
18	0.4	1416.14
19	0.4	1416.14
20	0.2	708.07
21	0.2	708.07
22	0.05	177.02
23	0.05	177.02
24	0.05	177.02
Average	0.140	494.174

Figura A.35 - Metodologia para obtenção da potência a definir no EnergyPlus para as AQS no Projeto 2.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		NightCooling_sala	NightCooling_q1	naVent_office	naVent_sala
Zone or ZoneList Name		Sala	Quarto1	Office	Sala
Schedule Name		NightCooling SCH	NightCooling SCH	NatVent Office	NatVent sala
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s				
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2				
Flow Rate per Person	m3/s-person				
Air Changes per Hour	1/hr	0.5	0.3	1	0.5
Ventilation Type		Natural	Natural	Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa				
Fan Total Efficiency		1	1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1	1
Temperature Term Coefficient					
Velocity Term Coefficient					
Velocity Squared Term Coefficient					
Minimum Indoor Temperature	C	10	10	10	10
Minimum Indoor Temperature Schedule Name					
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name					
Delta Temperature	deltaC	-100	-100	-100	-100
Delta Temperature Schedule Name					
Minimum Outdoor Temperature	C	0	0	0	0
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name					
Maximum Outdoor Temperature	C	100	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name					
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40	40

Figura A.36 - Campo do EnergyPlus associado à definição da ventilação natural no Projeto 2.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Zone Name		Cozinha	Sala	Office	Quarto3	Quarto2	Quarto1	wc1	Hall
Total Daylighting Reference Points		1	1	1	1	1	1	1	1
X-Coordinate of First Reference Point	m	0	2	-3	-3	0	0	-8.5	-10
Y-Coordinate of First Reference Point	m	1.5	7	0	6.5	5.5	5.6	1.2	3.5
Z-Coordinate of First Reference Point	m	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
X-Coordinate of Second Reference Point	m								
Y-Coordinate of Second Reference Point	m								
Z-Coordinate of Second Reference Point	m								
Fraction of Zone Controlled by First Reference Point		1	1	1	1	1	1	1	1
Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point									
Illuminance Setpoint at First Reference Point	lux	500	500	500	500	500	500	500	500
Illuminance Setpoint at Second Reference Point	lux	500	500	500	500	500	500	500	500
Lighting Control Type		1	1	1	1	1	1	1	1
Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock	deg	0	180	0	0	90	180	180	180
Maximum Allowable Discomfort Glare Index		22	22	22	22	22	22	22	22
Minimum Input Power Fraction for Continuous Dimming		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Minimum Light Output Fraction for Continuous Dimming		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Number of Stepped Control Steps		1	1	1	1	1	1	1	1
Probability Lighting will be Reset When Needed in Mani		1	1	1	1	1	1	1	1

Figura A.37 - Campo do EnergyPlus associado à definição do sensor de luz (daylight sensor) no Projeto 2.

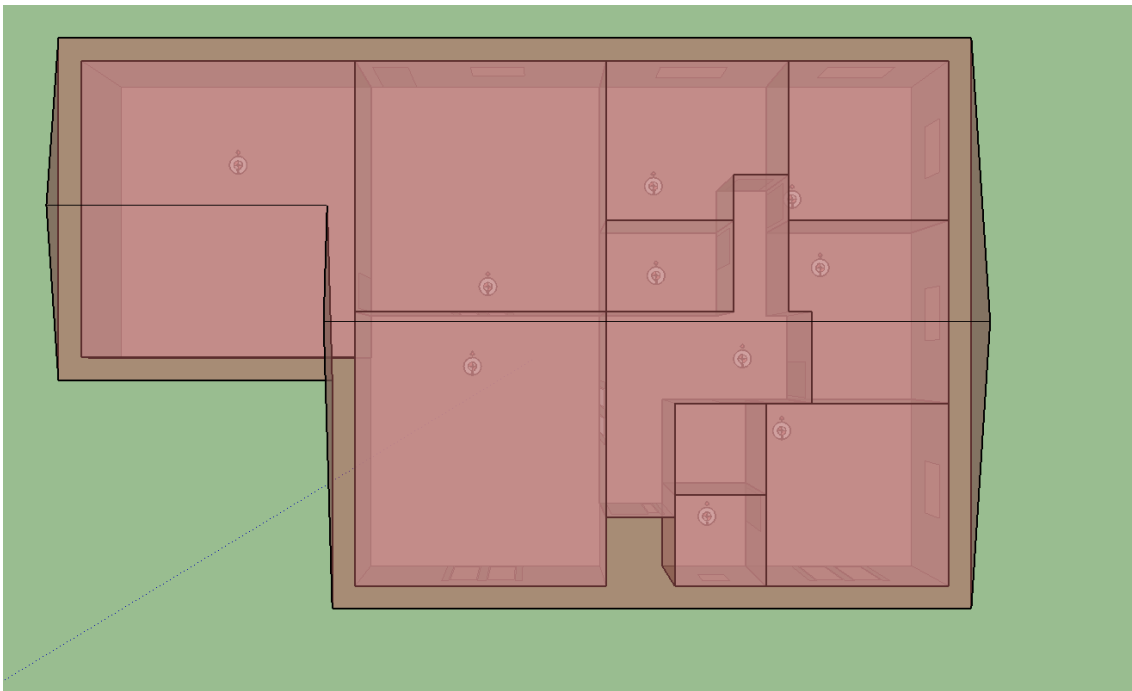


Figura A.38 - Esquemática da localização dos sensores de medição de radiação solar no Projeto 2.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Window Fosco
Soil	stucco - 1cm	stucco - 1cm	stucco - 1cm	telha	stucco - 1cm	Clear 3mm	Clear 3mm	madeira_2cm	madeira_2cm	Fosco 3mm
Riprap	placa_telhadolnteric	Brickwork - 15cm	Brickwork - 11cm	TYVEK_membran	placa_telhadolnteric	Air 13mm				Air 13mm
HW Concrete - 15cm	stucco - 1cm	F04 Wall air space	stucco - 1cm	estrutura_telhado	stucco - 1cm	Clear 3mm				Fosco 3mm
		Brickwork - 11cm								
		stucco - 1cm								
Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Window Fosco
Soil	stucco - 1cm	stucco - 1cm	stucco - 1cm	telha	LA Rocha 8cm	Clear 3mm	Clear 3mm	madeira_2cm	madeira_2cm	Fosco 3mm
Riprap	placa_telhadolnteric	Brickwork - 15cm	Brickwork - 11cm	TYVEK_membran	placa_telhadolnteric	Air 13mm				Air 13mm
HW Concrete - 15cm	stucco - 1cm	LA Rocha 8cm	stucco - 1cm	estrutura_telhado	stucco - 1cm	Clear 3mm				Fosco 3mm
TYVEK_membran		Brickwork - 11cm								
Plywood 1cm		stucco - 1cm								
Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Window Fosco
Soil	MDF 2CM	stucco - 1cm	MDF 2CM	telha	LA Rocha 8cm	Clear 3mm	Clear 3mm	madeira_2cm	madeira_2cm	Fosco 3mm
Riprap	stucco - 1cm	Brickwork - 15cm	stucco - 1cm	TYVEK_membran	placa_telhadolnteric	Air 13mm				Fosco 3mm
HW Concrete - 15cm	placa_telhadolnteric	LA Rocha 8cm	Brickwork - 11cm	estrutura_telhado	stucco - 1cm	Clear 3mm				Fosco 3mm
TYVEK_membran	LA Rocha 8cm	Brickwork - 11cm	stucco - 1cm							
Plywood 1cm		stucco - 1cm	MDF 2CM							
		MDF 2CM								

Figura A.39 - Exemplos de casos testados no cenário Construção no Projeto 2.

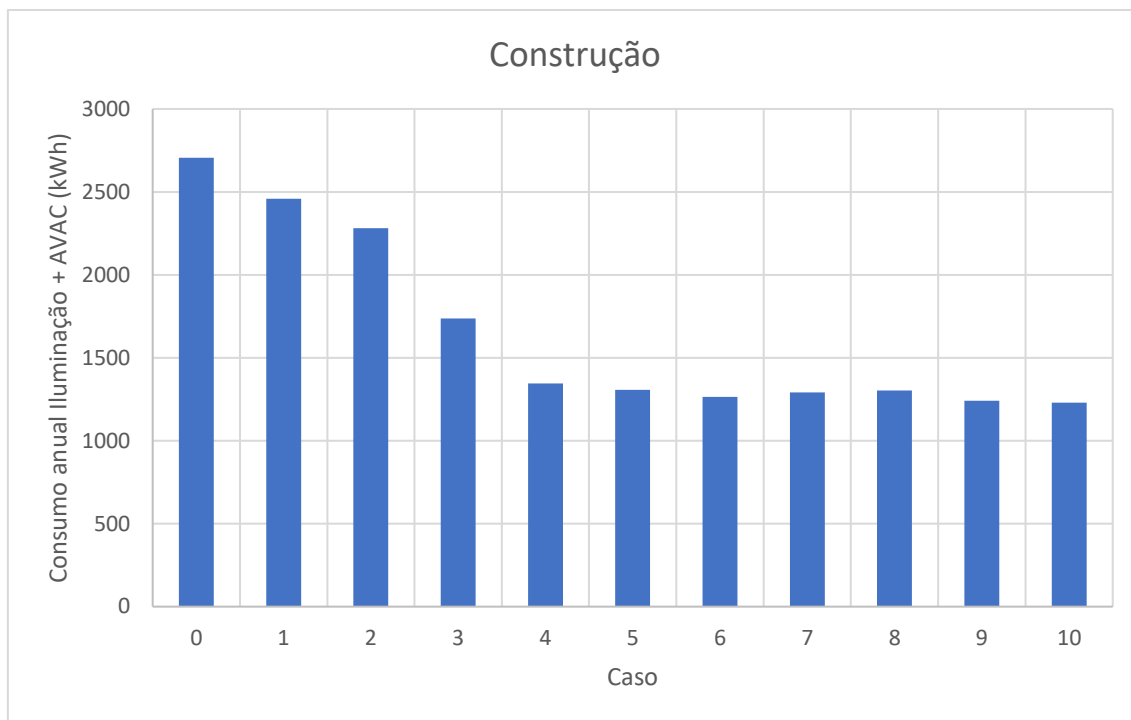


Figura A.40 - Consumo anual de Iluminação e AVAC para os casos do cenário Construção no Projeto 2.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Window Fosco
Soil	stucco - 1cm	stucco - 1cm	Plasterboard 2CM	telha	LA Rocha 8cm	Clear 3mm	Clear 3mm	madeira_2cm	madeira_2cm	Fosco 3mm
Riprap	placa_telhadoInteric	Brickwork - 15cm	Equival Tecto	TYVEK_membran	placa_telhadoInteric	Air 13mm				Air 13mm
HW/ Concrete - 15cm	LA Rocha 8cm	LA Rocha 3cm	Plasterboard 2CM	estrutura_telhado	stucco - 1cm	Clear 3mm				Fosco 3mm
TYVEK_membran		Equival Tecto								
Plywood 1cm		Plasterboard 2CM								

Figura A.41 - Esquematização da construção que representa o melhor caso desse cenário para o Projeto 2.

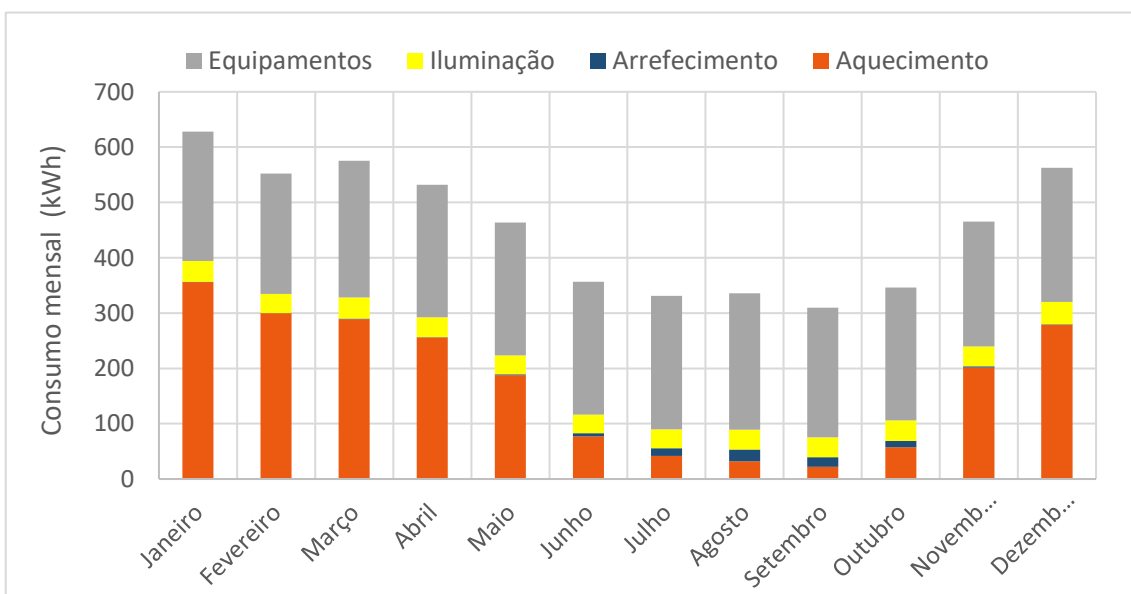


Figura A.42 - Representação gráfica do consumo mensal do Projeto 2.

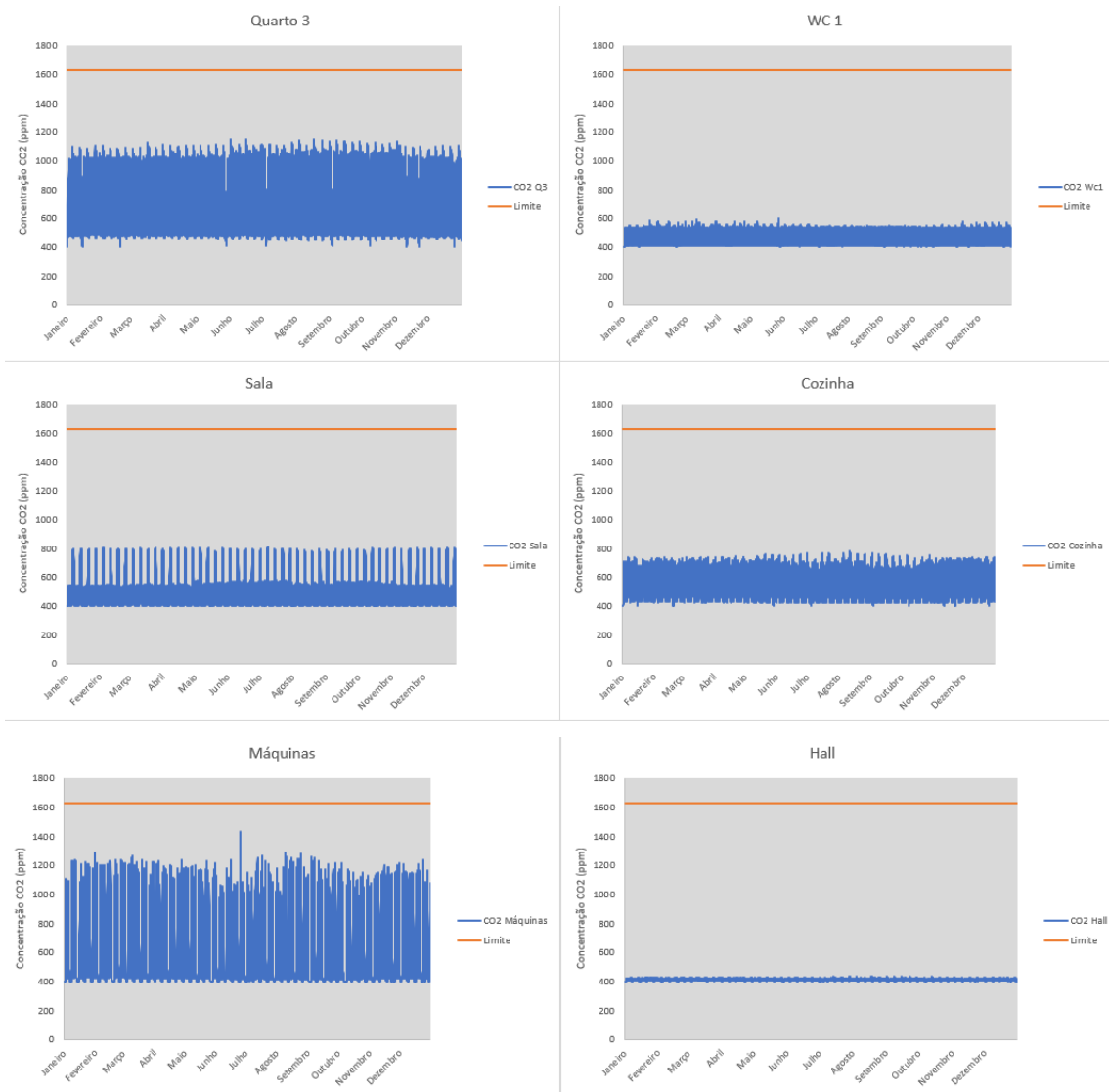


Figura A.43 - Concentração de CO₂ no interior das zonas do Projeto 2.



Figura A.44 - Perspetiva realista Sul do Projeto 2.



Figura A.45 - Perspetiva realista Topo do Projeto 2.

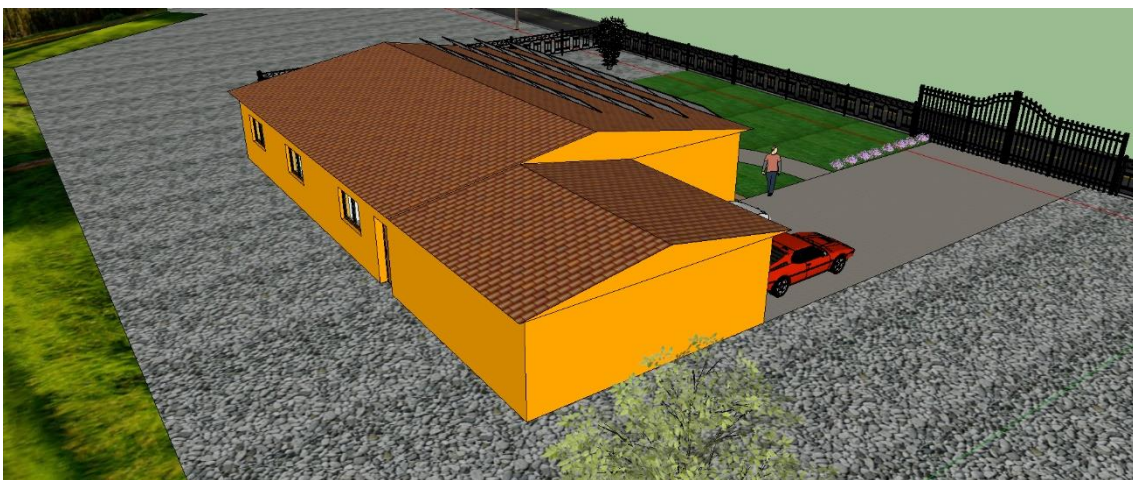


Figura A.46 - Perspetiva NW do Projeto 2.

	Total Heating Energy [kWh]	Total Cooling Energy [kWh]	Total Lights Electric Energy [kWh]	Total Electric Equipment Electric Energy [kWh]	Whole Building Total Produced Electric Energy [kWh]
Janeiro	356.18	0.17	37.78	234.12	793.13
Fevereiro	299.72	0.16	34.86	217.20	778.86
Março	289.10	0.67	38.46	247.43	1268.70
Abril	255.84	0.74	35.92	239.73	1467.32
Maio	187.39	1.96	34.13	240.28	1548.31
Junho	76.83	5.78	33.98	239.73	1685.21
Julho	41.82	13.72	34.48	241.27	1805.98
Agosto	32.09	21.21	36.06	246.44	1762.83
Setembro	22.31	16.88	36.17	234.56	1382.12
Outubro	57.40	11.27	37.37	240.28	1097.76
Novembro	201.78	2.15	36.02	225.44	675.08
Dezembro	278.62	0.87	40.69	242.25	611.62
Total	2099.07	75.58	435.92	2848.75	14876.91

Figura A.47 - Consumo mensal por carga para o caso D (LC-ZEB) do Projeto 2.

	Total Heating Energy [kWh](Hourly)	Total Cooling Energy [kWh](Hourly)	Total Lights Electric Energy [kWh](Hourly)	Total Electric Equipment Electric Energy [kWh](Hourly)	Whole Building:Facility Total Produced Electric Energy [J](Hourly)
Janeiro	809.09	0.01	36.60	234.12	947.06
Fevereiro	680.87	0.01	33.20	217.20	928.98
Março	621.97	0.03	36.20	247.43	1513.61
Abril	555.89	0.04	32.81	239.73	1750.75
Mai	373.40	0.14	30.52	240.28	1847.79
Junho	131.30	1.44	29.68	239.73	2011.26
Julho	66.93	17.80	30.37	241.27	2155.34
Agosto	64.46	25.68	32.74	246.44	2103.74
Setembro	54.12	6.68	33.96	234.56	1649.05
Outubro	210.61	0.82	35.77	240.28	1309.59
Novembro	557.61	0.10	34.80	225.44	805.90
Dezembro	709.26	0.02	39.17	242.25	731.45
Total	4835.49	52.76	405.81	2848.75	17754.51

Figura A.48 - Consumo mensal por carga para o caso C (Convencional) do Projeto 2.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Exterior Floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Window Fosco
Soil	stucco - 1cm	stucco - 1cm	stucco - 1cm	telha	stucco - 1cm	Clear 3mm	Clear 3mm	madeira_2cm	madeira_2cm	Fosco 3mm
Riprap	placa_telhadolinteric	Brickwork - 15cm	Brickwork - 11cm	TYVEK_membran	placa_telhadolinteric	Air 13mm				Air 13mm
HW Concrete - 15cm	stucco - 1cm	stucco - 1cm	stucco - 1cm	estrutura_telhado	stucco - 1cm	Clear 3mm				Fosco 3mm

Figura A.49 - Esquemática da construção "tradicional" para o Projeto 2.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Exterior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Wall Menor
Stainless Steel 10.8	Stainless Steel 4.4c	MDF 2CM	Stainless Steel 10.8	Clear 3mm	madeira 2cm	madeira 2cm	Stainless Steel 8cm
Plywood 1cm	LA Rocha 8cm		TYVEK_membran	Air 13mm			LA Rocha 8cm
	Equiv Parede Maior		LA Rocha 8cm	Clear 3mm			Equiv Parede Maior
	MDF 2CM		Equiv Parede Maior				MDF 2CM
			MDF 2CM				

Figura A.50 - A Esquemática do melhor caso para o cenário da construção para o Projeto 1.

Tabela A.1 - Descrição dos casos de ventilação natural testados no Projeto 1.

Cenário	Descrição
Base	Sem infiltrações ou ventilação
1	Infiltrações 0.3RPH
2	Infiltrações 1RPH
3	Infiltrações 0.3RPH e Ventilação Noturna no Quarto 0.3RPH
4	Infiltrações 0.3RPH e Ventilação Natural no Quarto 5RPH
5	Infiltrações 0.3RPH, Ventilação Natural no Quarto 5RPH e Ventilação Noturna no Quarto 1RPH
6	Infiltrações 0.3RPH, Ventilação Natural no Quarto 8RPH e Ventilação Noturna no Quarto 1RPH
7	Igual ao caso 7 mas com Temperatura Interior Mínima de 0°
8	Igual ao caso 7 mas com Temperatura Interior Mínima de 3°
9	Igual ao caso 5 mas com Temperatura Interior Mínima de 4° para Ventilação Noturna e 0° para Ventilação Natural
10	Igual ao caso 9 mas com Temperatura Exterior Mínima de -3° para Ventilação Noturna e 0° para Ventilação Natural
11	Infiltrações 0.3RPH, Ventilação Natural no Quarto 3RPH e Ventilação Noturna no Quarto 1RPH, Temperatura Interior Mínima de 5° para Ventilação Noturna e 10° para Ventilação Natural

Tabela A.2 - Descrição dos casos de sombreamento/janelas testados no Projeto 1.

Cenário	Descrição
1	Alpendre de 2m na fachada frontal
2	Redução do alpendre para 1.5m
3	Redução do sombreamento, resultando em 1.5m na frente e apenas 0.5m nas outras faces.
4	Redução para 20cm das restantes laterais, deixando 1.5m na frente
5	Definição do sombreamento interior para períodos de verão
6	Definição do sombreamento interior apenas nas janelas norte, nos períodos de verão
7	Aumento das dimensões das janelas a sul
8	Aumento das dimensões das janelas a norte
9	Redução das dimensões das janelas a norte
10	Inexistência de alpendre frontal (cenário teste)
11	Redução do sombreamento frontal para 1.2m de extensão
12	Utilização do cenário 11 com sombreamento interior, definido para horário de verão e apenas para as janelas sul.

Tabela A.3 - Descrição dos casos de ventilação natural testados no Projeto 2.

Cenário	Descrição
0	Sem infiltrações ou ventilação
1	Infiltrações 0.3RPH
2	Infiltrações 0.3RPH e ventilação noturna na Sala e Escritório 2RPH e 0.5RPH para o Quarto1
3	Igual ao caso 2 mais ventilação natural no escritório 1RPH
4	Infiltrações 0.3RPH, ventilação noturna de 2RPH para Sala e 0.5RPH para o Quarto1 e ventilação natural no Escritório de 1RPH
5	Infiltrações 0.3RPH, ventilação noturna de 2RPH para Sala e 0.3RPH para o Quarto1 e ventilação natural no Escritório de 1RPH
6	Igual ao caso 5 mais ventilação natural na sala de 0.5RPH
7	Infiltrações 0.3RPH, ventilação noturna de 0.5RPH para Sala e 0.3RPH para o Quarto1, ventilação natural no Escritório de 1RPH e na sala com 0.5RPH

Tabela A.4 - Descrição dos casos de sombreamento/janelas testados no Projeto 2.

Cenário	Descrição
0	quartos 1 e 3 apresentam 2 janelas cada, a sala apenas uma sacada, a cozinha uma janela e o escritório também. A janela do wc apresenta um acabamento fosco
1	colocação de uma janela na sala orientada a este, com vidro fosco.
2	alteração na sala, adicionando uma janela a oeste
3	aumento das dimensões da janela da cozinha (1.5x1m).
4	alteração das janelas do quarto a este também para 1.5x1m
5	redução do beirado para 20cm
6	beirado com 30cm
7	adição de um sombreamento interior que só funciona no verão, caso a temperatura seja demasiado elevada. Definiu-se apenas para as janelas sul.
8	adição de um sombreamento interior que só funciona no verão, caso a temperatura seja demasiado elevada. Definiu-se apenas para todas as janelas.