



ROSÁRIO
ANTÓNIO
PAQUETE

ESTUDO DE UMA MICRO-REDE TÉRMICA E ELÉTRICA PARA UM CONJUNTO DE MORADIAS SOCIAIS E UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS

Relatório de projeto em Engenharia e Gestão de Energia
Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na Indústria
e Edifícios

ORIENTADOR

Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Março 2023

ROSÁRIO
ANTÓNIO
PAQUETE

**ESTUDO DE UMA MICRO-REDE TÉRMICA
E ELÉTRICA PARA UM CONJUNTO DE
MORADIAS SOCIAIS E UM EDIFÍCIO DE
SERVIÇOS**

JÚRI

Presidente: Prof. Doutor Paulo Miguel Marques Fontes,
ESTSetúbal/IPS

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho,
ESTSetúbal/IPS

Arguente: Prof. Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia,
ESTSetúbal/IPS

Março 2023

Página deixada propositadamente em branco

Agradecimentos

O trabalho realizado na elaboração deste projeto teve significativo contributo de várias pessoas a quem quero agradecer. Sem o contributo delas, direto ou indireto, não teria sido possível desenvolver o trabalho aqui apresentado. No âmbito pessoal agradeço à minha companheira desta longa e exigente jornada, Sara, pelo apoio, compreensão e pelo tempo que não lhe dediquei. No campo académico quero em primeiro lugar destacar o meu orientador, o Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho. Pelos seus conhecimentos, pela excelência da orientação e pela sua vasta experiência em modelação e simulação. Em último lugar, mas não propriamente por terem tido menor contribuição na realização deste projeto, agradeço a todos os professores do Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios, por me terem dado as ferramentas necessárias para a realização deste trabalho. Graças a eles penso ter conseguido atingir um novo patamar de conhecimento. Um especial obrigado àqueles a quem recorri na busca de soluções para conclusão deste trabalho.

O sofrimento produz perseverança Rom.5:3...

Página deixada propositadamente em branco

Resumo

A União Europeia definiu a redução do consumo de energia e aumento da eficiência energética como objetivos da política energética para as próximas décadas. De todos os usos de energia num edifício, o aquecimento e o arrefecimento de espaço ocupam um lugar de destaque, por representarem uma considerável quota da energia consumida nos edifícios, e também pela importância que assumem para a saúde e bem-estar dos ocupantes. Paralelamente, a Diretiva 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, relativa ao desempenho energético dos edifícios (Diretiva EPBD) mediante, entre outras disposições, a introdução de um artigo que prevê a elaboração, pelos Estados-Membros, de uma estratégia de longo prazo para apoiar a renovação, até 2050, dos respetivos parques nacionais de edifícios (não) residenciais, públicos e privados, incluindo um roteiro com medidas e objetivos indicativos para 2030, 2040 e 2050. Em Portugal, os edifícios são atualmente responsáveis por uma parte significativa das emissões nacionais de gases com efeito de estufa, cerca de 42% em 2020. Os edifícios, que incluem os sectores residencial e de serviços, são grandes consumidores de energia sendo responsáveis por cerca de 30% do consumo de energia final e são uma das fontes mais significativas de emissão de CO₂ [RNC2050]. O baixo desempenho energético dos edifícios e um consumo de energia pouco significativo para a climatização no setor residencial, aliados a vários indicadores que apontam no sentido da ocorrência de uma taxa elevada de pobreza energética na população, levam a considerar que as condições de conforto térmico poderão não estar a ser garantidas. Embora as redes de aquecimento e arrefecimento possam constituir apenas uma solução de nicho em Portugal, redes de pequenas escalas podem vir a ser uma solução em outras situações – o que se ajusta perfeitamente aos novos conceitos de micro-redes e comunidades de energia. O presente trabalho teve como foco o estudo e dimensionamento de uma micro-rede térmica e elétrica para um conjunto de moradias sociais e um edifício de serviço visando a melhoria do seu desempenho energético pela aplicação de várias medidas de melhoria para mitigar um dos grandes desafios atuais, como, a pobreza energética nos edifícios, a necessidade do aumento da eficiência e a implementação de tecnologias com recurso a energia de baixo custo. Como ponto de partida foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar o conhecimento acerca das ferramentas modelação e simulação energética de edifícios, micro-rede térmica e elétrica, na vertente do seu dimensionamento com recurso a ferramentas de computação dinâmica.

Palavras-chave: Desempenho Energético, Geotermia, Bomba de calor, Simulação e Modelação, Pobreza energética, Micro-rede, Energia Renovável, DesignBuilder, EnergyPlus.

Abstract

The European Union has defined reducing energy consumption and increasing energy efficiency as energy policy objectives for the coming decades. Of all energy uses in a building, space heating and cooling occupy a prominent place, as they represent a considerable share of the energy consumed in buildings, and also because of the importance they assume for the health and well-being of the occupants. At the same time, Directive 2018/844 of the European Parliament and of the Council, of May 30, 2018, on the energy performance of buildings (EPBD Directive) through, among other provisions, the introduction of an article that provides for the elaboration, by Member States Members, of a long-term strategy to support the renovation, by 2050, of the respective national stocks of (non) residential, public and private buildings, including a roadmap with indicative measures and targets for 2030, 2040 and 2050. buildings are currently responsible for a significant part of national greenhouse gas emissions, around 42% in 2020. Buildings, which include the residential and service sectors, are major energy consumers accounting for around 30% of final energy consumption and are one of the most significant sources of CO₂ emissions [RNC2050]. The low energy performance of buildings and insignificant energy consumption for air conditioning in the residential sector, combined with various indicators that point towards the occurrence of a high rate of energy poverty in the population, lead to the conclusion that thermal comfort conditions may not being guaranteed. Although heating and cooling networks may only constitute a niche solution in Portugal, small-scale networks can become a solution in other situations – which fits perfectly with the new concepts of micro-grids and energy communities. The present work focused on the study and dimensioning of a thermal and electrical micro-grid for a set of social housing and a service building, aiming at improving its energy performance by applying various improvement measures to mitigate one of the great current challenges, such as energy poverty in buildings, the need to increase efficiency and the implementation of technologies using low-cost energy. As a starting point, a bibliographical review was carried out that allowed to deepen the knowledge about the tools for modeling and energy simulation of buildings, thermal and electrical micro-grid, in terms of its dimensioning using dynamic computing tools.

Keywords: Energy Performance, Geothermal, Heat Pump, Simulation and Modeling, Energy Poverty, Microgrid, Renewable Energy, Design Builder, EnergyPlus.

ÍNDICE

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
Abstract.....	vii
ÍNDICE.....	viii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xiv
Lista de Siglas e Acrónimos	xv
Capítulo 1	17
INTRODUÇÃO	17
1.1. Enquadramento e Motivação.....	17
1.2. Objetivo	19
1.3. Estrutura do Relatório.....	20
Capítulo 2	21
ESTADO da ARTE.....	21
2.1. Energia Geotérmica.....	21
<i>2.1.1. Tecnologia Bomba de Calor</i>	<i>21</i>
2.2. Energia Solar - Fotovoltaica	24
2.3. Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica.....	25
2.4. Sistema de Armazenamento de Energia Térmica.....	26
<i>2.4.1. Método de armazenamento de calor sensível (SHS)</i>	<i>27</i>
<i>2.4.2. Método de Armazenamento de Calor Latente (LHS).....</i>	<i>28</i>
<i>2.4.3. Método de Armazenamento Termoquímico (TCHS)</i>	<i>29</i>
2.5. Integração de Energias Renováveis	29
2.6. Micro – Redes híbridas	31
2.7. Bairro de Energia Positiva (PED)	33

2.7.1. Definição de PED (Positive Energy Districts)	33
2.7.2. Edifícios de Energia Positiva (PEB).....	35
2.7.3. Bairros de Energia Positiva (EPN).....	36
2.8. Modelação e Simulação Energética dos Edifícios.....	36
2.8.1. Revisão da literatura de ferramentas de modelação e simulação	36
2.9. Legislação nacional e europeia.....	39
Capítulo 3	42
Caso de Estudo e Metodologia	42
3.1. Caracterização dos Edifícios	42
3.2. Micro-rede térmica.....	45
3.3. Zona Climática	46
3.4. Cálculo das cargas Térmicas	49
3.5. Caracterização dos elementos da envolvente	50
Vãos envidraçados.....	56
3.6. Cargas térmicas interiores	58
3.6.1. Ocupação	58
3.6.2. Iluminação	60
3.7. Modelo de simulação	61
3.7.1. Ferramenta de simulação.....	61
3.7.2. Sistema Solar Fotovoltaico (PV).....	71
Capítulo 4	72
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
4.1. Necessidades Energéticas – Edifício base	72
4.2. Aquecimento – simulação para dimensionamento	72
4.3. Arrefecimento – simulação para dimensionamento.....	74
4.4. Balanço Energético dos Edifícios.....	76
4.4.1. Indicadores Energéticos.....	77
4.4.2. Consumo mensal de Energia	77
4.5. Medidas de Melhoria - Aplicação	79
4.5.1. Isolamento térmico nas paredes exteriores.....	79
4.5.2. Isolamento térmico na cobertura	79
4.5.3. Vãos envidraçados	79
4.6. Sistema Final Proposto.....	81

Capítulo 5	83
CONCLUSÕES	83
Referências	86
Anexo I.....	91
Lista de trabalhos sobre BEPS	91
Anexo II.....	92
Positive Energy Districts EBC ANNEX 83	92
Anexo III.....	94
Caraterística do painel solar.....	94
Anexo IV	95
Caraterística do vidro duplo Saint - Goban.....	95
Anexo V	96
Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico	96

Lista de Figuras

Figura 1.1 – incapacidade para o aquecimento dos edifícios na UE [7]	18
Figura 1.2 – Metas da redução das emissões de GEE [adaptado de RNC2050, 2019]	18
Figura 2.1 - Modelo conceptual da Bomba de calor (esquerda) e um ciclo pressão e entalpia [21].	23
Figura 2.2 - Aproveitamento da temperatura do solo [21].	23
Figura 2.3 - Principais tipologias de captação geotérmica [22].	24
Figura 2.4 – Diagrama SHS de aquecimento/arrefecimento sem mudança de fase [39].....	27
Figura 2.5 - Diagrama entalpia-temperatura armazenamento de calor latente [39]	28
Figura 2.6 - Esquema simplificado de um sistema TES baseado em reações químicas [41].....	29
Figura 2.7 - configuração do subsistema energia elétrico [56].....	32
Figura 2.8 - configuração do subsistema de energia térmica [56]	33
Figura 2.9 - Definição de distritos de energia positiva [57]	34
Figura 3.1 - Localização da urbanização BFM e E.E.B Galiza 1	42
Figura 3.2 – Representação da moradia de estudo, alçados e vista em planta	43
Figura 3.3 - vista em planta do piso 1	44
Figura 3.4 – vista em planta do piso 2	44
Figura 3.5 – vista dos alçados Norte e Nascente	44
Figura 3.6 – vista em Corte.....	45
Figura 3.7 – vista dos alçados Sul e Poente.....	45
Figura 3.8 – Esquema da micro-rede proposta.....	46
Figura 3.9 – Interface do programa para obtenção dos dados climáticos [LNEC]	47
Figura 3.10 – Portugal continental zona climática [extrato 15793-F]	47
Figura 3.11 – Perfil anual da temperatura em lisboa	48
Figura 3.12 – Perfil anual da velocidade do vento	48
Figura 3.13 - Perfil anual da direção do vento e pressão atmosférica	48

Figura 3.14 - Perfil anual da Radiação (direta e difusa) nas condições de projeto	49
Figura 3.15 – Influencia das cargas térmicas no espaço [fonte ME].....	50
Figura 3.16 – efeito da radiação solar [fonte ME]	52
Figura 3.17 – Tipo de parede da moradia. (vermelho: parede exterior; verde: parede sem trocas térmicas; ciano: pavimento em contacto com o solo; amarelo: parede em contacto com ENU)	53
Figura 3.18 - Tipo de parede edifício de serviço. (vermelho: parede exterior; verde: parede sem trocas térmicas)	53
Figura 3.19 – esquemático da composição da parede exterior simples	54
Figura 3.20 – Esquemático da composição da parede exterior dupla	55
Figura 3.21 – Esquemático da composição da cobertura.....	55
Figura 3.22 – Esquemático da composição do pavimento em contacto com o solo.....	56
Figura 3.23 – perfil de ocupação cozinha e sala de aulas	59
Figura 3.24 – Perfil de ocupação sala e quarto	60
Figura 3.25 – Esquema do programa EnergyPlus [EnergyPlus].....	62
Figura 3.26 – Etapas da metodologia	63
Figura 3.27 – Separador para criar o projeto [DB]	64
Figura 3.28 – Representação geométrica do modelo [DB]	64
Figura 3.29 – Separador “Activity” [DB]	65
Figura 3.30 – separador “Construction” para caracterização da envolvente [DB]	66
Figura 3.31 – Separador “Construction – Layers” [DB].....	67
Figura 3.32 - Separador “Calculated” coeficiente térmico [DB].....	67
Figura 3.33 – Separador “openings” tipo de vão envidraçado [DB]	68
Figura 3.34 – Separador da iluminação [DB]	69
Figura 3.35 – Separador “HVAC” de seleção de sistemas AVAC [DB].....	69
Figura 3.36 – representação detalhada do sistema HVAC [DB]	70
Figura 3.37 - Separador para simulação [DB].....	70
Figura 3.38 – configuração de painéis solares fotovoltaico [DB]	71
Figura 4.1 – Parâmetros de conforto do espaço sala 8 durante o aquecimento. [DB]	73

Figura 4.2 – perdas na envolvente do espaço sala 8. [DB]	74
Figura 4.3 – potencia para aquecimento do espaço sala 8 (Heating Design) [DB]	74
Figura 4.4 – parâmetros de conforto do espaço sala 8 durante o período de arrefecimento. [DB].....	75
Figura 4.5 – comportamento envolvente opaca no arrefecimento [DB]	76
Figura 4.6 – tendência da sala 8 em termos de necessidades energéticas	76
Figura 4.7 – indicadores energéticos [adaptado do DB]	77
Figura 4.8 – consumo para aquecimento e arrefecimento do edifício [DB]	78
Figura 4.9 – consumo e produção de energia desagregados [adaptado do DB]	78
Figura 4.10 – Resultados globais com aplicação das medidas	81
Figura 4.11 – Esquema da rede fotovoltaica com baterias de armazenamento [DB]	82

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Lista dos espaços da moradia de estudo	43
Tabela 3.2 - Lista dos espaços do edifício de serviço	43
Tabela 3.3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca	51
Tabela 3.4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos da envolvente envidraçada.....	51
Tabela 3.5 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados gtot,máx.....	51
Tabela 3.6 - Coeficientes globais de condução térmica dos edifícios	54
Tabela 3.7 - composição da parede exterior simples	54
Tabela 3.8 – composição da parede exterior dupla.....	54
Tabela 3.9 – composição da cobertura inclinada	55
Tabela 3.10 – Composição do pavimento em contacto com o solo.....	56
Tabela 3.11 - Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia e do vidro	57
Tabela 3.12 - Valores correntes do fator solar de vão envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar gTVC (adaptado do Despacho K).....	57
Tabela 3.13 - Fração de tempo dos dispositivos móveis (adaptado do Despacho K).....	58
Tabela 3.14 - Densidade de Ocupação por cada espaço (moradia)	59
Tabela 3.15 - Densidade de Ocupação por cada espaço (edifício de serviço).59	
Tabela 3.16 - Densidade de Iluminação dos espaços da moradia	61
Tabela 3.17 - Densidade de Iluminação dos espaços do edifício de serviços..	61
Tabela 4.3 - Variação das necessidades energéticas após aplicação do isolamento.	80
Tabela 4.4 – características técnicas dos equipamentos (adaptado do DB)	82

Lista de Siglas e Acrónimos

ANN Artificial Neural Network
AVAC Aquecimento Ventilação e Ar condicionado
BHE Borehole Heat Exchange
BEPS Building Energy Performance Simulation
CE Comunidade europeia
COP Coeficiente de Desempenho
DB Design Builder
EP Energy Plus
EPDB Energy Performance of Buildings Directive
EER Índice de Eficiência de Energia
EE Eficiência Energética
EPN Energy Positive Neighborhood
EPB Energy Positive Block
GSHP Geothermal Source Heat Pump
GEE Gases com Efeito de Estufa.
GHE Geothermal Heat Exchange
LHS Latent Heat Storage
LCC Life Cycle Cost
MPC Model Predictive Control
nZEB Nearly-Zero Energy Building
PCM Phase Change Material
PV Panels Photovoltaic
PVT Thermal Panel Photovoltaic
PED Positive Energy Districts
RES Renewable Energy Source
SHSMs Sensible Heat Storage Materials

SHS Sensible Heat storage

TES Thermal Energy Storage

UE União Europeia

WWR Window to Wall Ratio

Lista de Símbolos

Letras gregas

λ Condutividade térmica [W/ (m.K)]

ρ Massa específica [kg/m³]

η Rendimento

Letras romanas

b_{tr} Coeficiente de redução de perdas

c_p Calor específico [J/(kg.K)]

h Entalpia

$\dot{m}$ Caudal mássico [kg/s]

$\dot{Q}$ Potência térmica [W]

n Número de mol [mol]

Q Energia [KWh]

Cond Condensação

Ev Evaporação

S Entropia [Joule]

U Coeficiente global de transmissão térmica [W/ (m².°C)]

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e Motivação

A pobreza energética pode ser definida como:

«uma situação em que um agregado familiar ou um indivíduo não possui recursos para serviços básicos de energia (aquecimento, arrefecimento, iluminação, mobilidade e energia) para garantir um nível de vida decente, devido a uma combinação de baixos rendimentos, despesas de energia elevadas e baixa eficiência energética das suas casas»¹.

Na União Europeia (UE), a melhoria da eficiência energética (EE) dos edifícios tem sido uma prioridade de longa data, com objetivo de se alcançar a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e as metas de melhoria da EE até 2030, e a neutralidade carbónica em 2050 (*European Green Deal, 2019*) [1]. Da construção à demolição, o sector da construção é responsável por cerca de 40% do consumo de energia da UE e 36% das emissões de GEE, uma vez que cerca de 75% do parque imobiliário existente apresenta baixo desempenho energético (*Energy efficiency in buildings , 2020*) [2]. O sector residencial é particularmente impactante, representando dois terços do consumo final de energia no parque imobiliário da UE (*Build Up, 2017*) [3]. Várias políticas foram implementadas a nível europeu para explorar o significativo potencial inexplorado do sector, como a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), que exige que todos os novos edifícios sejam edifícios de energia quase nulo (nZEB) a partir do final de 2020 (*EPDB, 2021*) [4].

O pacote “Energia Limpa para Todos os Europeus” definiu um caminho para eliminar todas as emissões GEE dos edifícios até 2050 (*European Commission, 2020b*) [5], destacando a redução da pobreza energética como uma prioridade política. A pobreza energética é um problema grave e persistente na UE, com 6,9% das pessoas (aproximadamente 31 milhões de pessoas) ainda a afirmar que não conseguem manter as suas casas adequadamente aquecidas no Inverno (*Eurostat 2021*) [6]. A ineficiência energética é particularmente significativa no sul da Europa (ver figura 1.1), uma vez que o parque imobiliário apresenta, em média, um desempenho energético inferior ao dos países do norte e centro (*F. Anagnostopoulos, M. De Groote, 2016*) [7] (*Financing renovations, 2020c*) [8].

¹ European Commission, Citizen Energy Forum 2016

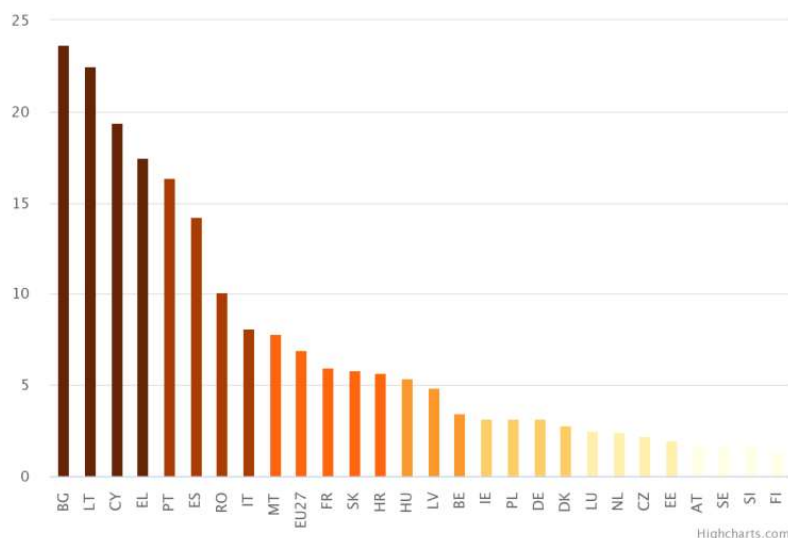


Figura 1.1 – incapacidade para o aquecimento dos edifícios na UE [7]

Apesar dos esforços em curso para aumentar a EE deste sector [9], a taxa de renovação energética do parque imobiliário da UE situa-se abaixo de 1% ao ano, com apenas 0,2% dos edifícios por ano a sofrer renovações profundas (*A renovation wave for Europe, 2020*) [10]. Existem vários constrangimentos à renovação do parque imobiliário que impedem taxas de renovação mais elevadas, como incentivos para proprietários e inquilinos, falta de consciência sobre os custos e benefícios e falta de interesse e envolvimento dos moradores (*P. Bertoldi, 2020*) [11]. Neste contexto, a UE aprovou recentemente uma nova estratégia de renovação, com o objetivo de abordar várias barreiras à renovação de edifícios e duplicar as taxas de renovação [10]. Além dos benefícios diretos, como reduções nas necessidades de energia, consumo de energia e emissões de GEE, as renovações também podem impactar positivamente a saúde, a economia e o bem-estar social (*A. Bisello, 2020*) [12].

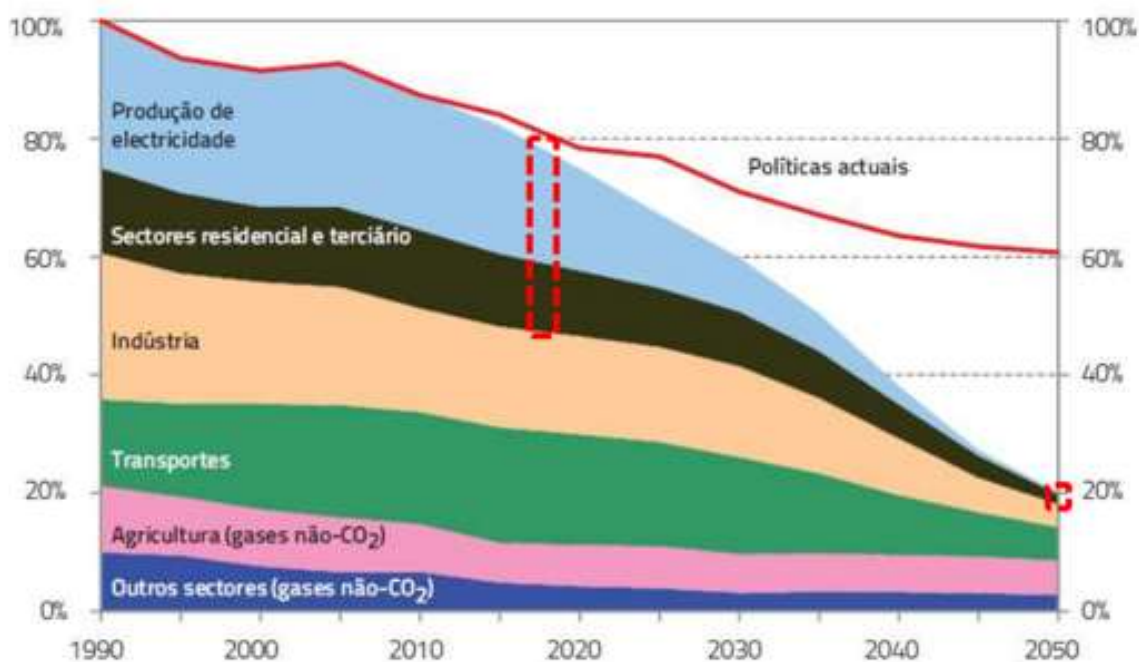


Figura 1.2 – Metas da redução das emissões de GEE [adaptado de RNC2050, 2019]

Em Portugal, (P. Palma, J.P. Gouveia, S.G. Simões, 2019) [13] estimaram o baixo desempenho energético dos edifícios residenciais para todas as regiões do país e apontaram as zonas com os menores índices de eficiência. Com base nessa obra, (J.P. Gouveia, P. Palma, 2019)[14] avaliaram o efeito das intervenções de renovação energética no baixo desempenho energético dos edifícios. As análises de custo têm se concentrado principalmente em casos de estudos particulares e pequenas áreas de edifícios. (M. Ferreira, M. Almeida, A. Rodrigues, 2014) [15] investigaram o custo efetivo de um conjunto de renovações, incluindo os equipamentos de climatização (AVAC) e sistemas de energia renovável, para um prédio em um bairro no norte de Portugal, descobrindo que as medidas de renovação a nível económico são idênticas aos necessários para alcançar o equilíbrio energético nulo. (A.B. Vasconcelos, e M.D. Pinheiro, 2016) [16] avaliaram as medidas de renovação em um prédio de referência por meio da Análise de Custos do Ciclo de Vida (LCCA). Os autores identificaram a renovação do telhado como a solução mais eficaz e observaram sinergias entre diferentes medidas de renovação em relação aos custos e ao consumo. (M. Almeida, M. Ferreira, e R. Barbosa, 2018)[17] analisaram a influência da energia incorporada no custo efetivo do conjunto de renovação para diversos casos de estudos europeus, por meio de uma LCCA, não encontrando diferenças no ranking relativo das medidas de renovação. (J. Terés-Zubiaga, R. Bolliger, M.G. Almeida 2020) [18] avaliaram o potencial de renovação a partir de uma perspectiva de custo efetivo ao nível da área urbana para apoiar a tomada de decisão, utilizando um bairro português de habitação social como caso de estudo. Os autores destacaram a importância de incluir a reforma da envolvente opaca para alcançar o consumo quase nulo (nZEB), aderindo às exigências de custo efetivo. O foco na construção de edifícios em escalas distritais ou regionais pode ser benéfico devido a eficiência de uso de recursos, ao mesmo tempo em que permite que os municípios aproveitem o potencial do sector (S. Paiho, J. Ketomäki, L. Kannari. 2019) [19].

Com base no acima exposto surgiu a motivação para realização do presente trabalho, e assim contribuir com um estudo, com vista apresentar uma solução renovável e sustentável, que ajude a inverter o paradigma atual da pobreza energética nos edifícios de serviço e residenciais tendo como referência um bairro de habitação social.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar o desempenho térmico e energético de um conjunto de moradias sociais e um edifício de serviços com recurso a uma ferramenta computacional, o *Design Builder//EnergyPlus* para modelação e simulação dos referidos edifícios de estudo. É parte do objetivo deste estudo, o dimensionamento das potências de projeto para estimar as necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem com o consumo de energia dos edifícios e do sistema de climatização proposto. Prefigura-se, assim, uma micro-rede térmica constituída por um conjunto duas bombas de calor geotérmicas (GSHP) e respetivos depósitos de inércia para o armazenamento. A

micro-rede térmica (bombas de calor) é assistido eletricamente por uma micro-rede elétrica de painéis solar-fotovoltaico (PV) com baterias de armazenamento. Também é parte dos objetivos do presente trabalho, contribuir para disseminação do conceito das micro-redes híbridas (térmicas – elétricas) a nível urbano.

1.3. Estrutura do Relatório

O trabalho desenvolvido está dividido em seis capítulos, tal como se segue:

O **Capítulo 1** enquadra o trabalho, abordando de uma forma geral os principais desafios a nível da pobreza energética e a problemática da renovação de edifícios no contexto europeu e nacional. São ainda apresentadas as principais motivações e objetivos para o desenvolvimento do trabalho, bem como a estrutura do mesmo.

O **Capítulo 2**, mostra o estado da arte, os fundamentos teóricos da tecnologia aplicada no caso de estudo, a saber tecnologia bomba de calor (GSHP) e painéis solar fotovoltaico (PV), e respetivos sistemas de armazenamento de energia térmica e fotovoltaica. Conceito de micro-redes; Distrito de Energia Positiva (PED): Modelação e Simulação Energética de Edifícios (BEPS), e o enquadramento legislativo nacional e europeu. Em relação à pesquisa pretende-se que a informação aqui apresentada possa pôr o leitor a par dos desenvolvimentos na respetiva área.

O **Capítulo 3**, descreve detalhadamente os casos de estudo. Pretendeu-se apresentar todo e qualquer elemento que tivesse influência nos resultados, não se referindo, portanto, parâmetros que não sofram qualquer alteração em relação aos valores por defeito.

No **Capítulo 4**, são apresentados os resultados obtidos de várias simulações, explicando o seu significado, apresentados de forma resumida, mas clara, com recurso a tabelas e figuras os resultados obtidos, por cada análise do estudo.

No **Capítulo 5**, apresentam-se as conclusões finais do estudo, e descritas algumas melhorias possíveis no estudo, bem com limitações do trabalho.

Capítulo 2

ESTADO da ARTE

Neste capítulo apresenta-se de forma breve, cada uma das fontes de energia da micro-rede proposta no presente estudo, e suas respectivas tecnologias e sistemas de apoio. Também é abordado a integração das mesmas em uma micro-rede.

2.1. Energia Geotérmica

“A geotermia é a energia armazenada na forma de calor sob a superfície terrestre”².

2.1.1. Tecnologia Bomba de Calor

Em termos de conceito, a tecnologia da bomba de calor é baseada em um ciclo termodinâmico reverso, acionado por um sistema elétrico, que é capaz de mover uma quantidade de energia térmica de uma fonte de baixa temperatura para um dissipador de temperatura elevada. Tais sistemas tiram proveito das propriedades termodinâmicas de diversos fluidos, denominado fluido frigorigéneo, para realizar o ciclo. Uma bomba de calor consiste basicamente em quatro componentes: um evaporador (dissipador de baixa temperatura), um compressor, um condensador (dissipador de alta temperatura) e um dispositivo de expansão (válvula) (Self, S.J. et al, 2013) [20]. No evaporador, o fluido frigorigéneo, em baixa pressão e em dois estados, absorve calor da fonte de energia de baixa temperatura. Em seguida, sua pressão é aumentada por um compressor acionado eletricamente. O nível de alta pressão é determinante para permitir que o fluido frigorigéneo aqueça o dissipador de alta temperatura (condensador). O calor trocado para o dissipador de energia condensa o fluido frigorigéneo, ocorrendo a mudança para o estado líquido. Em seguida, o fluido frigorigéneo em estado líquido passa por um dispositivo de expansão, que é projetado para baixar a pressão do nível de condensação para o nível de evaporação. O funcionamento do dispositivo de expansão é fundamental para o desempenho da bomba de calor, pois ajusta os níveis de pressão nos dois permutadores (dissipadores) de calor. A Figura 2.1 a esquerda mostra o esquema básico da bomba de calor. No caso de uma GSHP (Geothermal Source Heat Pump), o dissipador/evaporador e a fonte de energia (Ground Source Circuit) tornam-se, respetivamente, o circuito secundário e o circuito principal. A Figura 2.1 a direita mostra o funcionamento da bomba de calor num diagrama pressão-entalpia. O principal parâmetro para avaliar o desempenho da bomba de calor para aquecimento é o Coeficiente de Desempenho (COP), dado

² Diretiva europeia 2009/28/EU.

pela razão entre a potência do condensador e a potência do compressor. Tal parâmetro depende de várias variáveis: entre as mais importantes estão as propriedades termodinâmicas do fluido frigorígeno, configuração dos componentes e condições de trabalho (ou seja, níveis de pressão nos permutadores de calor, fluxo mássico, etc.). O parâmetro EER, é usado para avaliar o desempenho da bomba de calor em modo de arrefecimento e é calculado como a relação entre a potência absorvida no evaporador e a potência do compressor. A fim de fornecer um modelo matemático básico de bomba de calor, as seguintes Equações (1) – (6) são fornecidas, assumindo alguns parâmetros como o sobreaquecimento na saída do evaporador ΔT_{sh} , o sub-arrefecimento na saída do condensador ΔT_{sub} e a eficiência isentrópica de compressão η_{is} . Os símbolos p , T , h e s referem-se à pressão, temperatura, entalpia e entropia do fluido, respetivamente. Os subscritos *ev* e *cond* referem-se à evaporação e à condensação. Os subscritos numéricos referem-se ao estado termodinâmico do fluido durante a operação (Davide Menegazzo et al, 2022) **[21]**.

$$h_1 = F[h_{ev}, T_{ev} + \Delta T_{sh}] \quad (2.1)$$

$$h_3 = F[P_{cond}, T_{cond} + \Delta T_{sub}] \quad (2.2)$$

$$h_3 = h_4 \quad (2.3)$$

$$h_{2,is} = F[P_{cond}, s_1] \quad (2.4)$$

$$h_2 = \frac{h_{2,is} - h_1}{\eta_{is}} \quad (2.5)$$

$$COP = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (2.6)$$

$$EER = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.7)$$

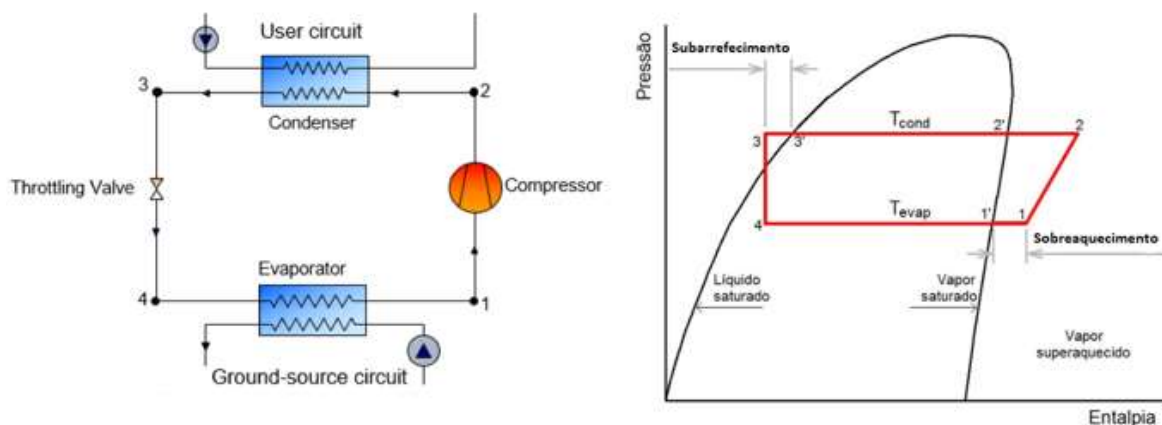


Figura 2.1 - Modelo conceptual da Bomba de calor (esquerda) e um ciclo pressão e entalpia [21].

A tecnologia Bomba de Calor Geotérmica oferece boas perspectivas devido à sua eficiência, compatibilidade ambiental e seu potencial na modernização de edifícios sem necessidade de substituir os equipamentos terminais de existentes. Uma redução de 20-40% e 30-50%, respectivamente para aquecimento e arrefecimento, da necessidade de energia em edifícios poderia ser potencialmente alcançada com GSHPs, juntamente com uma redução de emissões de CO₂ de 15% para 77%, considerando tanto residencial quanto edifícios de serviços (Davide Menegazzo et al, 2022) [21]. As Bomba de Calor Geotérmica rejeitam (na estação de arrefecimento) ou extraem (na estação de aquecimento) calor através de um permutador de calor instalado no solo, denominado sistema de malha/furo (GHE – Geothermal Heat Exchange ou BHE – Borehol Heat Exchange). Assim, os sistemas exploram a capacidade de armazenamento de calor do solo para satisfazer as necessidades energéticas dos edifícios nos períodos de arrefecimento e aquecimento (ver Figura 2.2).

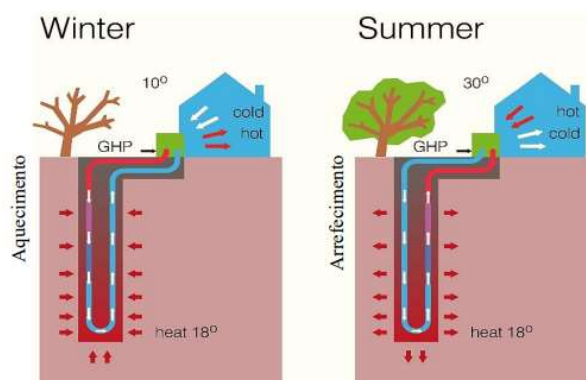


Figura 2.2 - Aproveitamento da temperatura do solo [21].

As Bombas de Calor Geotérmicas podem ser agrupadas principalmente em três subconjuntos: bombas de calor de águas superficiais (SWHP), bombas de calor de águas subterrâneas (GWHP) e bombas de calor acopladas ao solo (GCHP), cada uma caracterizada por três componentes principais, ou seja, sistema de distribuição para aquecimento ou arrefecimento, o permutador (malha) de calor no subsolo e a própria bomba de calor (Sarbu, I.; Sebarchievici, C.; 2013) [22]. Um esquema para essas configurações é apresentado na Figura 2.3. Um sistema geotérmico, consiste em um ciclo de

compressão onde o calor é trocado com o solo através de um circuito de malha (GHE – Geothermal Heat Exchange), um circuito fechado ou aberto com um fluido de trabalho circulante, que podem ser instalados em furos (verticais) ou em lençol de água (horizontais), segundo o potencial da instalação. Tanto os furos verticais ou horizontais apresentam vantagens e desvantagens, e muitos estudos têm se dedicado a analisar seu desempenho (Capozza, A. et al, 2013) [23]. No entanto, os furos verticais são geralmente preferidos devido à sua maior eficiência, e menor oscilação sazonal na temperatura média do solo, bem como a menor área do solo exigida para a instalação (Capozza, A. et al, 2013) [23]. As geometrias básicas para o furo vertical são o coaxial, o tubo em U simples ou duplo e as configurações helicoidais.

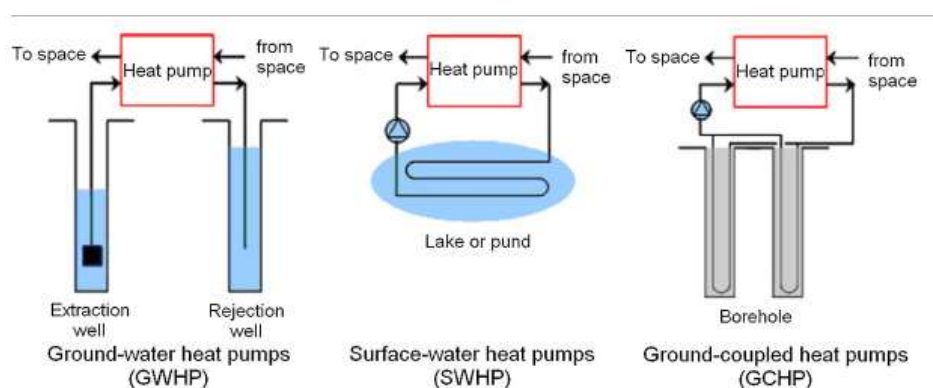


Figura 2.3 - Principais tipologias de captação geotérmica [22].

2.2. Energia Solar - Fotovoltaica

A energia solar é outra energia limpa bem conhecida. Como a maioria das partes do mundo tem irradiação solar suficiente, a tecnologia de geração de energia solar tem atraído um grande número de pesquisadores. A tecnologia fotovoltaica (PV) pode ser categorizada em três gerações. Tecnologia de primeira geração é baseado em silício, como monocristalino, policristalino. A segunda geração da tecnologia é baseada em filmes finos como silício amorfo, telureto de cádmio (CdTe), cobre disseleneto de índio e gálio (CIGS) e células multijunção. A tecnologia de terceira geração é emergente e usa perovskita, emissor passivo e células (PERCs) e filmes Nano cristalinos. De acordo com um estudo feito em 2014 por (Ramanujam, J. et al, 2014) [24], a participação de mercado do policristalino foi de 56%, e 36% para o solar de base célula monocristalina. O restante distribuído como 5% para CdTe e 2% para CIGS, e menos de 1% para silício amorfo. O painel fotovoltaico (PV) é um dispositivo que usa o efeito fotoelétrico para converter diretamente e convenientemente energia solar em eletricidade (Ramanujam, J. et al, 2016) [24]. Nos últimos anos, com o desenvolvimento da tecnologia e o rápido declínio dos custos com os painéis, permitiu a construção de centrais solares fotovoltaicas em larga escala (Mandal, P. et al, 2012) [25]. Prever a produção de energia dos painéis é uma tarefa desafiadora,

no entanto, o cálculo da potência máxima pode ser determinado a partir da expressão abaixo (Tao, C., Shanxu, D., 2010) [26].

$$P_{pv}(h) = \eta_{pv} \times A_{pv} \times s_T \times [1 - 0.005 \times (T_{AIR} - 25)] \quad (2.8)$$

Onde η_{pv} é a eficiência de conversão fotoelétrica, A_{pv} é a área total da matriz, s_T é a radiação solar incidente no painel, e T_{ar} é a temperatura do ar do ambiente em grau Celsius. A produção de energia depende principalmente da quantidade de radiação solar e da temperatura de operação do local de instalação. Além disso, à medida que o equipamento envelhece, a eficiência de conversão fotoelétrica e a eficiência de conversão de energia reduz gradualmente. Portanto, desde que a radiação solar e a temperatura do painel sejam conhecidas, a saída de energia do sistema fotovoltaico pode ser prevista (Si Chen; Daniel Friedrich; Zhibin Yu, 2021) [27].

2.3. Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica

Como principais fontes de energias renováveis, a energia solar e eólica são recursos climáticos intermitentes e flutuantes. Uma das soluções possíveis é a integração em um sistema híbrido, permitindo assim uma maior flexibilidade no mix energético (Yang, Y et al, 2018) [28]. Um bom exemplo é a complementaridade da energia solar e eólica (Prasad, A. et al 2017) [29]. No entanto, essa abordagem ainda tem grandes incertezas. Se as fontes renováveis não puderem fornecer flexibilidade suficiente na geração de energia, os operadores de rede terão de limitar a taxa de penetração de energia renovável a um determinado nível, o que afetar negativamente o uso de sistemas de energia renovável [30]. É o caso do sistema fotovoltaico, que na generalidade consegue cumprir e até exceder a produção, e com isso atender as necessidades durante o dia, mas não consegue atender à procura no final da tarde e à noite, quando a carga tende a aumentar. Portanto, a fim de integrar a energia eólica e solar variável e reduzir o impacto das mudanças climáticas na geração de energia renovável, os sistemas de armazenamento de energia têm sido amplamente aceites como uma das potenciais soluções (Jamal, T. et al 2019) [30]. A principal função do sistema de armazenamento de energia é compensar o desequilíbrio entre geração de energia e consumo, transferir energia de períodos de alta geração de energia para períodos de baixa geração de energia, para que o sistema possa manter a funcionalidade completa sob várias condições operacionais (Dragicevic, T., et al 2014) [31]. Portanto, o sistema de armazenamento de baterias (BSS – Battery System Storage) é o sistema de armazenamento mais adequado para armazenar a energia elétrica para instalações de pequena escala devido à sua vantagem em termos de taxa de carregamento, maior densidade energética e menor tempo de resposta. O tempo de resposta da BSS é entre milissegundos e segundos (Castillo, A., e Gayme, D. F., 2014) [32]. Em relação a carga e descarga de uma bateria, o estado de carga (SOC) é frequentemente usado para refletir a relação entre a capacidade restante da bateria e sua capacidade

nominal. Para proteger o ciclo de vida da bateria, é necessário limitar o SOC dentro de um determinado intervalo. Durante o carregamento da bateria, o SOC pode ser dado como:

$$SOC_{BSS(t)} = SOC_{BSS}(t - 1) * (1 - \sigma) + \frac{P_{BSS}(t) * \Delta h}{E_{BSS, cap}} \times \eta_{ch} \quad (2.9)$$

e durante a descarga da bateria, o SOC pode ser dado como:

$$SOC_{BSS(t)} = SOC_{BSS}(t - 1) * (1 - \sigma) + \frac{P_{BSS}(t) * \Delta t}{E_{BSS, cap}} \times \eta_{dch} \quad (2.10)$$

onde σ representa a taxa de descarga, P_{BSS} a potência do BSS gerada ou absorvida, $E_{BSS, cap}$ a capacidade de energia do BSS (Baterly System Storege), η_{ch} e η_{dch} representam a eficiência de carga e descarga da bateria, respetivamente. Δt representa o tempo em horas (Zhang, W. et al 2018) [33].

2.4. Sistema de Armazenamento de Energia Térmica

A variação da temperatura do ar entre o Verão e o Inverno durante o ano podem produzir grandes mudanças na necessidade de calor. Neste caso, muito calor será desperdiçado no Verão quando a necessidade em termos de aquecimento for mínima, e haverá calor insuficiente no Inverno. Por outro lado, observasse o desequilíbrio entre a procura energética e a oferta. Entre várias tecnologias de armazenamento, o armazenamento de energia térmica (TES – Thermal Energy Storage) parece ser uma das tecnologias mais promissoras que podem compensar a geração de calor intermitente de novas fontes de energia. As vantagens do armazenamento da energia térmica, está refletida na eficiência, confiabilidade do sistema, economia, redução do investimento e custos operacionais, e menos poluição e emissão de CO₂ (Sarbu, I., and Sebarchievici, C. 2018) [34]. Entre vários métodos ES (Energy Storage), a TES (Thermal Energy Storage) aparece como uma das tecnologias emergentes que podem preencher a lacuna de intermitência em renováveis, como energia solar, economia de energia e promoção do respeito ambiental. O sistema de armazenamento de térmico consiste em armazenar (calor *e/ou frio*) por um período definido para usá-lo quando e onde for necessário. As aplicações desses sistemas encontram-se no sector da construção (ar condicionado, conforto térmico, água quente sanitária, etc.) (Stutz, B.; et al 2017) [35].

Considerando as características do período de armazenamento, existem dois conceitos de sistemas de armazenamento de energia térmica, os de curto prazo e os de longo prazo. O primeiro conceito é um ciclo de armazenamento de algumas horas conhecido como armazenamento de calor diurno (Dahash, A.; et al 2019) [36], enquanto o segundo é conhecido como armazenamento de calor sazonal. Neste contexto e a título de exemplo, o armazenamento sazonal, permite armazenar o calor recolhido no Verão durante mais de três meses (período *de carregamento*) utilizando centrais solares térmicas para ser utilizado no Inverno (período *de descarga*) (Guo, F.; et al 2017) [37]. Vale a pena notar que o processo inverso pode obviamente ser aplicado. Portanto, esta segunda categoria de

sistemas TES (STES) tem uma contribuição significativa para o uso eficiente de energia renovável em aplicações prediais, como descarbonização e aquecimento urbano. Além disso, dependendo do método de armazenamento de energia considerado, podem ser classificadas em três categorias, a saber, armazenamento de calor sensível (SHS), armazenamento de calor latente (LHS) usando PCMs (Phase Change Materials) e armazenamento de calor Termoquímico (TCHS) (Reed, A.L.; et al 2018) [38].

2.4.1. Método de armazenamento de calor sensível (SHS)

O armazenamento de calor sensível (SHS – Sensible Heat Storage) é a solução mais tradicional, e amplamente aplicada devido à sua operação simples e custo razoável. No entanto, sofre com a baixa capacidade de armazenamento, em comparação com as outras duas opções, o armazenamento de forma latente e termoquímico (Riheb Mabrouk; et al 2022) [39]. Nesta abordagem, a transferência de energia (na forma de calor) de e para o meio de armazenamento que pode ser líquido (água, óleo, etc.) diminuição da temperatura do meio. Na Figura 2.4 representa o diagrama típico SHS durante aquecimento ou arrefecimento sensível sem mudança de fase durante o processo. Uma das vantagens é que o armazenamento e a libertação do calor acumulado (ciclos de carga e descarga) podem ser repetidos, envolvendo um grande volume para atender às necessidades. Além disso, esse método geralmente aproveita certas propriedades do material de armazenamento, como seu alto calor específico.

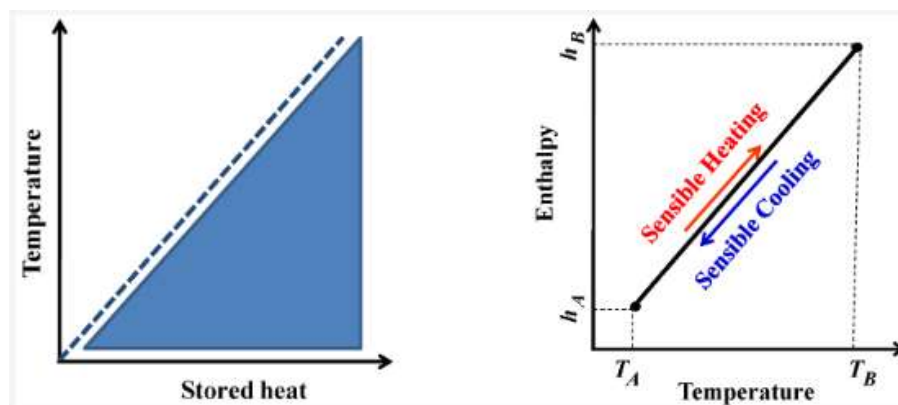


Figura 2.4 – Diagrama SHS de aquecimento/arrefecimento sem mudança de fase [39]

Como a quantidade de calor sensível armazenado (Q) depende da massa (m), a capacidade de calor (C_p), duas características principais dos materiais SHS (SHSMs) devem ser consideradas para aumentar a capacidade de armazenamento ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$) como o alto calor específico e a densidade. Entre os materiais disponíveis em abundância, a água tem calor específico e densidade comparativamente altos, por isso é frequentemente usada como material de armazenamento em muitas aplicações práticas. Por exemplo, a capacidade de armazenamento de calor sensível foi estimada em $250 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ para um gradiente térmico de 60°C no caso da água (Riheb Mabrouk; et al 2022) [39].

2.4.2. Método de Armazenamento de Calor Latente (LHS)

O armazenamento de calor latente é baseado na quantidade de energia absorvida ou libertada durante a mudança estrutura de fase de um material PCM (Phase Change Material) de um estado físico para outro durante os fenómenos de fusão, solidificação, gaseificação e liquefação. Devido à sua alta capacidade de armazenamento de energia térmica e temperaturas de trabalho quase constantes, a tecnologia de armazenamento de calor latente (LHS – Latent Heat Storage) tornou-se uma boa solução para corrigir a incompatibilidade entre o fornecimento e a procura de energia. No início do processo de carregamento, a temperatura do material de armazenamento de calor latente evolui à medida que absorve energia térmica e, quando atinge uma faixa específica, o material começa a mudar de fase enquanto armazena calor. No entanto, durante o período de descarga, o PCM volta ao seu estado inicial liberando energia térmica. Ao contrário do armazenamento do calor sensível, o processo de transição de fase se desenvolve a uma temperatura quase constante, característica da mudança de estado físico do material (Riheb Mabrouk; et al 2022) [39].

A capacidade de armazenamento de calor (Q) de um sistema LHS consiste tipicamente em duas partes de calor sensível (antes e depois da mudança de fase) e uma parte de calor latente (durante a mudança de fase):

$$Q = \int_{T_1}^{T_m} m c_p dT + m\Delta h + \int_{T_m}^{T_2} m c_p dT \quad (2.11)$$

onde a massa (m), calor específico (Cp) e temperatura (T) são as propriedades do PCM. $m \cdot \Delta h$ é o seu calor latente. Os índices 1, 2 e *m* indicam a temperatura inicial, final e de fusão, respetivamente. Durante a operação de mudança de fase, a temperatura permanece aproximadamente constante com pequenas mudanças de volume, tornando o fenómeno simples e seguro. O diagrama típico do LHS é ilustrado na figura 2.5.

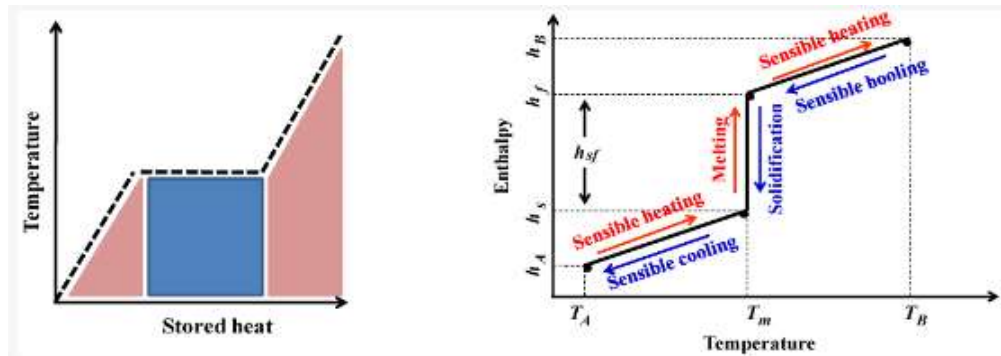


Figura 2.5 - Diagrama entalpia-temperatura armazenamento de calor latente [39]

O processo de mudança de fase ocorre em uma faixa de temperatura entre uma temperatura sólida, T_s (o primeiro sólido derrete (processo de fusão) /o primeiro sólido se forma (inicia o processo de solidificação)) e uma temperatura líquida, T_l (o último sólido se funde (fim da fusão) /o último sólido se forma (fim da solidificação)). Nesse contexto (Saffari, M. et al, 2017) [40] definiu duas faixas de temperatura PCM de arrefecimento/aquecimento para minimizar o consumo anual de energia. Durante o arrefecimento, a temperatura máxima de fusão do PCM é de cerca de 26 °C (faixa de fusão de 24 a

28 °C), enquanto durante o aquecimento, a temperatura mínima de fusão do PCM é de cerca de 20 °C (faixa de fusão de 18 a 22 °C).

2.4.3. Método de Armazenamento Termoquímico (TCHS)

Segundo (P.Pardo et al, 2014) [41] as reações envolvidas no sistema termoquímico de armazenamento de calor são reversíveis:



O calor é armazenado durante a etapa de reação endotérmica e liberado durante a exotérmica. O calor termoquímico armazenado está ligado à entalpia de reação. Durante a etapa de carregamento, a energia térmica é usada para dissociar um reagente químico (A) em produtos (B) e (C). Essa reação é endotérmica. Durante a etapa de liberação, os produtos da reação endotérmica (B e C) são misturados e reagem para formar o reagente inicial (A). Essa reação é exotérmica e libera calor. Os produtos de ambas as reações podem ser armazenadas à temperatura ambiente ou à temperatura de trabalho. A energia térmica armazenada em material termoquímico pode ser expressa como:

$$Q = n * A * \Delta H_r \quad (2.13)$$

Onde n é o número mol do reagente A(mol) e ΔH_r é a entalpia de reação (kW/mol⁻¹). O esquema simplificado de um sistema TES (Thermochemical Energy Storage) baseado em reações químicas é apresentado na Figura 2.6

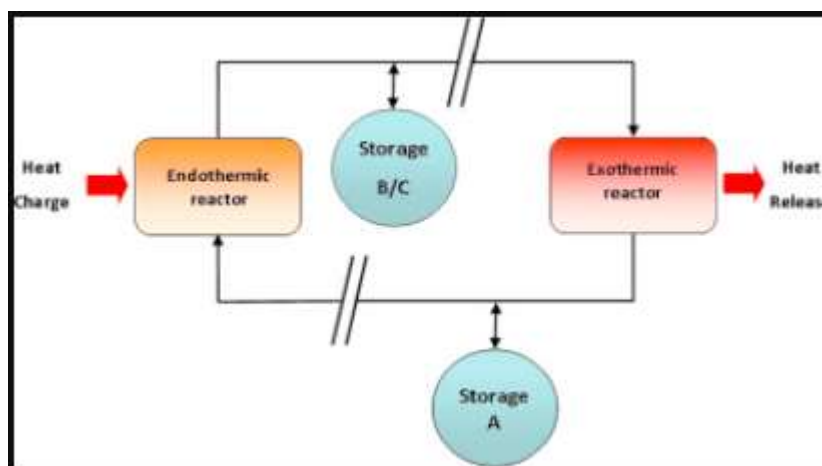


Figura 2.6 - Esquema simplificado de um sistema TES baseado em reações químicas [41]

2.5. Integração de Energias Renováveis

Das várias fontes de energias renováveis, a solar e a geotérmica têm atraído cada vez mais atenção devido à sua acessibilidade e confiabilidade. A bomba de calor geotérmica apresenta-se como uma tecnologia altamente confiável para o aquecimento e arrefecimento ambiente. Devido à temperatura relativamente constante do solo ao longo do ano, os sistemas operam de forma mais eficiente do que os sistemas convencionais de aquecimento e arrefecimento. Por outro lado, a

tecnologia solar fotovoltaica para produção de energia elétrica tem sido amplamente desenvolvida. Recentemente, foram introduzidos no mercado painéis solares fotovoltaicos com uma eficiência nominal de cerca de 20% e preços competitivos. Com relação às vantagens mencionadas, uma combinação dessas tecnologias pode oferecer uma melhor solução em termos de desempenho energético e viabilidade econômica. Nos últimos anos, vários estudos foram realizados sobre os sistemas com bombas de calor geotérmicas. Os estudos estão focados principalmente na viabilidade de implantação do sistema em diferentes regiões e na análise de várias combinações para melhorar o seu desempenho.

(*M. Habibi, A. Hakkaki-Fard, 2019*) [42] relatou que um sistema geotérmico com a configuração do furo vertical, tem um melhor coeficiente de desempenho (COP) em comparação com um configuração horizontal, e em alguns casos superior a uma bomba de calor aerotérmica (ASHP).

(*Smith et al. 2021*) [43] realizaram uma análise de ciclo de vida em bombas de calor geotérmica em residências na cidade Nova Jersey. Suas descobertas provaram que o sistema é uma tecnologia promissora para mitigar as emissões de CO₂ no sector de construção em comparação com outros métodos de aquecimento/arrefecimento. Por outro lado, a melhoria a nível ambiental pode ser mais significativa se a participação de fontes de energias renováveis fosse incrementada no mix energético.

(*Z. Han et al. 2008*) [44] estudaram um GSHP acoplado a um armazenamento de energia térmica sazonal. Os resultados mostraram que a temperatura do solo aumenta em 0,21 °C, o COP do sistema em 3,4% e o COP da bomba de calor em 2,4% após o uso do armazenamento solar sazonal.

(*G. Emmi, A. Zarrella, M. De Carli 2017*) [45] investigaram um sistema com múltiplas fontes, incluindo coletores solar térmicos, depósitos de armazenamento de energia térmica e bombas de calor para aquecimento ambiente e produção de água quente sanitária no nordeste de Itália. Eles simularam bombas de calor aerotérmicas, coletores solar e bombas de calor geotérmicas usando o TRNSYS. Os resultados mostraram que o sistema proposto melhora o desempenho em 16%–25% em comparação com o sistema aerotérmico convencional. (*G. Nouri, Y. Noorollahi, H. Yousefi, 2019*) [46] investigaram um SAGSHP (Solar Assisted Geothermal Heat Pump) para fornecer aquecimento/arrefecimento e necessidades de água quente sanitária de um edifício no norte do Irão. Três configurações diferentes foram simuladas pelo TRNSYS, incluindo expansão direta, expansão indireta com uma configuração em modo série e em modo paralelo. Os resultados mostraram que a expansão indireta em modo paralelo é a configuração ótima com um COP de 3,96. (*N. Sommerfeldt, H. Madani, 2019*) [47]

simularam um sistema geotérmico integrado com coletores solares térmicos para residências multifamiliares utilizando TRNSYS. Verificou-se aplicação de coletores solar térmicos resultou em uma redução de 18% no comprimento do poço. Além disso, o sistema híbrido pode reduzir a necessidade de área de terra em até 89% em comparação com o sistema simples com bombas de calor.

(*R. Thygesen e B. Karlsson; 2013*) [48] simularam e compararam um sistema geotérmico híbrido em três casos diferentes, incluindo (1) painel fotovoltaico, (2) coletor solar térmico e (3) combinação de ambos painel fotovoltaico e coletores solares térmicos usando TRNSYS. Os resultados das simulações concluíram que uma combinação entre painel fotovoltaico e o sistema geotérmico é a ideal, considerando o desempenho energético e os custos. (*D. Carli et al, 2013*) [49] projetou um sistema de

múltiplas fontes composto por uma rede de painéis fotovoltaicos e baterias para armazenamento para fornecer a energia necessária a um sistema geotérmico, operando em diferentes modos. Os resultados mostraram que a eficiência do sistema depende em grande parte do clima da região; o sistema geotérmico consome grande parte da eletricidade produzida pelos painéis fotovoltaicos em climas quentes, resultando em uma menor dependência da eletricidade da rede. (A. Franco, F. Fantozzi , 2016) [50] realizaram um estudo experimental em um sistema combinado bomba de calor e painel solar fotovoltaico para uma casa residencial em Pisa, Itália. Eles concluíram que a interação com a rede é significativa e, portanto, alcançar um alto índice de autoconsumo de energia fotovoltaica é desafiador.

2.6. Micro – Redes híbridas

Micro-redes são arranjos de redes de energias que podem permitir o fornecimento de um mix de energia renovável adequado para atender as necessidades energéticas – inclusive para bombas de calor geotérmicas. Uma micro-rede agrega um conjunto de carga e fontes de energia de pequena escala (<100 kW) operando como um único sistema de controlo (EMS – Energy Management System) capaz de fornecer energia e calor em contexto local (Mikulčić, H. et al, 2019) [51].

(Seyam, S. et al 2019) [52] projetaram um sistema de energia híbrida composto por painéis solares fotovoltaicos, um sistema geotérmico, com 300 m de comprimento e armazenamento de energia térmica com 9,463.53 kg de água para aquecimento e arrefecimento de edifícios residenciais no Canadá. O estudo mostrou que 9 KW de carga de aquecimento podem ser fornecidos com armazenamento de energia térmica por um permutador que aumenta a temperatura da água em 10°C. As tecnologias de armazenamento de energia têm um papel fundamental por várias razões. Em primeiro lugar, representam os meios para combinar a produção de energia a partir de fontes renováveis e a procura de energia (M. Rodriguez-Hidalgo, et al 2011) [53]. Ainda mais em cenários residenciais, já que o perfil de carga muitas vezes descreve as necessidades típica do perfil de ocupação, que precisa de água quente principalmente no início da manhã e no final da tarde, com um fator mínimo de produção solar. O armazenamento de energia térmica permite reservar energia durante o dia e usá-la em outro período. Por outro lado, os equipamentos de armazenamento de energia aumentam o nível de autoconsumo de energia para consumo. Os armazenamentos de energia térmica, em particular, ajudam a reduzir a carga sobre as entidades de serviços (gás natural ou eletricidade). Os armazenamentos de energia elétrica duplicam o benefício. Por um lado, reduz a carga na rede elétrica. Por outro lado, reduz, ou impede completamente, dependendo das circunstâncias, o fluxo bidirecional de energia, de e para a rede. Compensa o principal obstáculo contra fontes de energia renováveis generalizadas, que é a natureza aleatória da disponibilidade de fontes de energia renovável (J. Li, Y. Guo, G. Platt, J.K. 2013) [54]. A terceira razão, que está relacionada ao armazenamento térmico, se adaptado ao propósito, é a capacidade de aumentar o rendimento energético dos sistemas de energia solar (A. Chesi et al, 2013) [55].

Segundo (Gabriele Comodi, et al 2013) [56] desenvolveram uma ferramenta que visa simular o comportamento de um subsistema de gestão de energia. O objetivo está focado nos fluxos de energia e seu equilíbrio, para que o subsistema de gestão de energia possa ser adaptado e avaliado antecipadamente, durante o processo de projeto. Além disso, como uma ferramenta de projeto focada nos fluxos de energia, não requer a simulação do sistema do ponto de vista físico. Em outras palavras, não há necessidade de levar em conta a evolução, ao longo do tempo, de parâmetros de baixo nível, como as tensões dos dispositivos de armazenamento elétrico ou as temperaturas dentro dos dispositivos de armazenamento térmico. Uma vez selecionada a configuração mais adequada da estrutura, a abordagem proposta pode ser concluída com uma modelação mais precisa do sistema. Um exemplo da configuração dos subsistemas elétrico e térmico mostram-se na Figura 2.7 e Figura 2.8, o conjunto dos subsistemas é considerado o sistema (micro-rede).

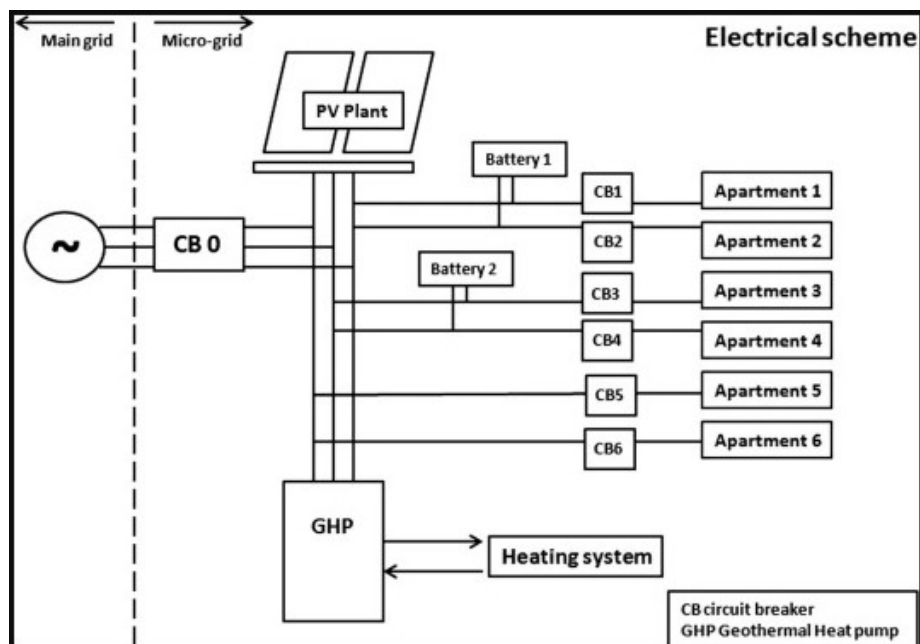


Figura 2.7 - configuração do subsistema energia elétrico [56]

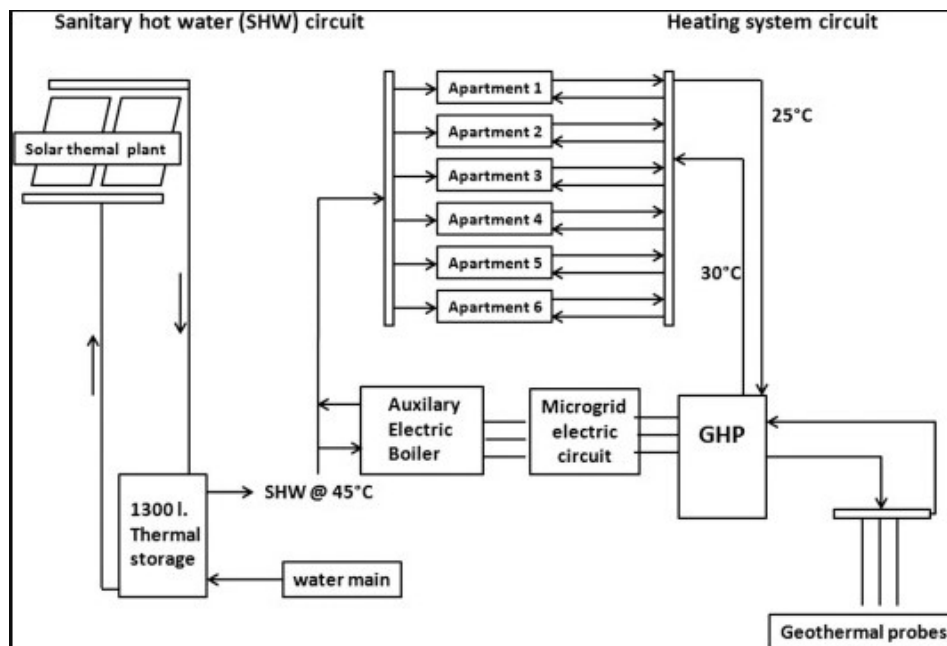


Figura 2.8 - configuração do subsistema de energia térmica [56]

2.7. Bairro de Energia Positiva (PED)

Como referido nos objetivos deste trabalho, é intenção do autor contribuir para disseminação e divulgação do conceito de micro-redes híbridas (térmica – elétrica), não apenas a nível de um conjunto reduzido de edifícios como é o caso de estudo, mas também a uma escala maior (bairro, zona urbana). No presente subcapítulo é efetuada uma breve revisão bibliográfica a respeito dos conceitos PEB (Positive Energy Buildings); PEN (Positive Energy Neighborhood); (PED – Positive Energy Districts), com objetivo de esclarecer o leitor visto que os termos aparecem de forma alternada em diferentes trabalhos. A revisão bibliográfica é, por definição, uma análise crítica, meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento. Devido a abrangência do tema, e por um melhor esclarecimento e entendimento do leitor, no presente trabalho optou-se por uma breve exposição dos seguintes aspetos relevantes do conceito PEB/EPN/PED:

- Áreas urbanas de energia positiva (PED).
- Edifícios de energia positiva (PEB).
- Bairros de energia positiva (EPN).

2.7.1. Definição de PED (Positive Energy Districts)

O conceito de Distritos de Energia Positiva (PEDs) surgiu para facilitar a transição energética e contribuir para a neutralidade climática por meio da eficiência energética e do balanço energético nulo. Existem vários conceitos semelhantes com o objetivo comum de que um edifício, bairro ou distrito possa atender às suas necessidades de energia a partir de fontes renováveis de baixo custo, disponíveis localmente e ecologicamente viáveis. O PED (Positive Energy District) é um objetivo

comum em muitos projetos de pesquisa em curso na UE, como, por exemplo, *SPARCS*, *POCITYF*, *ATELIER*, *+CityxChange* e *Making City*. É definido no *Plano Europeu SET Ação 3.2 Plano de Implementação de Cidades e Comunidades Inteligentes* como “uma zona urbana com necessidade nula de consumo de energia da rede, e emissão zero de CO₂, produzindo localmente um excedente anual de energia renovável” (Johannes Brozovsky et al, 2021) [57]. Os distritos de energia positiva fazem parte de um sistema energético urbano e regional para garantir segurança e flexibilidade de abastecimento e armazenamento. A chave é manter o consumo anual de energia local abaixo da quantidade de energia renovável produzida localmente. Promovem as fontes locais de energia renovável, armazenamento local, redes inteligentes de energia, resposta à procura, gestão de energia, interação e envolvimento dos utilizadores da rede (ver Figura 2.9).

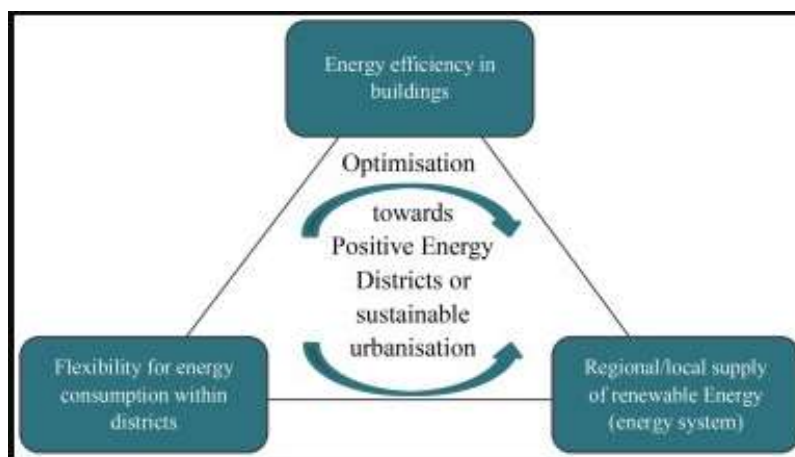


Figura 2.9 - Definição de distritos de energia positiva [57]

Segundo (R. Hinterberger et al, 2020) [58], os conceitos podem ser definidos de diferentes maneiras. No entanto, no seu trabalho, distritos e bairros de energia positiva são usados às vezes de forma intercalada.

“Os Distritos de Energia Positiva são áreas urbanas energeticamente eficientes e flexíveis ou grupos de edifícios interligados energeticamente que produzem emissões nulas de gases de efeito estufa, produzem e gerem um excedente de energia renovável. Exigem a integração de diferentes sistemas e infraestruturas e a interação entre os edifícios, os utilizadores e os sistemas regionais de energia, mobilidade, garantindo o abastecimento de energia e boas condições para todos, em linha com a sustentabilidade social, económica e ambiental”.

Quanto à dimensão de um distrito de energia positiva, não existe nenhuma definição clara, estando dependente das condições nacionais. (R. Hinterberger et al; 2020) [58] escreveram que uma definição a nível nacional pode ser apropriada e acrescentam que distritos e bairros de energia positiva compreendem um “grupo de edifícios conectados (respetivamente, mais de um edifício)”.

Embora coincidir amplamente com as definições mencionadas anteriormente, no documento *Anexo 83 da IEA EBC*³, a descrição de um distrito de energia positiva não refere de forma clara as emissões nulas de gases com efeito de estufa. Afirma-se apenas que os mesmos “destinam-se a transformar as cidades em comunidades neutras em carbono em um futuro próximo” e usam a produção de energia com baixo teor de carbono (*R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq; 2015*) [59]. No entanto, em termos gerais é definido como:

“A área dentro dos limites da zona urbana, capaz de produzir mais energia do que é consumida e ágil/flexível o suficiente para responder às variações do mercado de energia. Em vez de simplesmente atingir um excedente anual de energia, também deve apoiar e minimizar os impactos nas redes de energia centralizadas interligadas, oferecendo opções para responder ao aumento de solicitação de carga no local e o consumo próprio de energia, tecnologias para armazenamento de energia de curto e longo prazo e fornecendo flexibilidade de energia com controlo inteligente. Podem incluir todos os tipos de edifícios presentes no ambiente urbano e não estão isolados da rede elétrica. Dentro da comunidade de pesquisa, é um conceito emergente destinado a transformar as cidades em comunidades neutras em carbono em um futuro próximo. Atingir o objetivo de um distrito de energia positiva requer, em primeiro lugar, melhorar a eficiência energética, em segundo lugar, fluxos de energia local em cascata, fazendo uso de quaisquer excedentes e, em terceiro lugar, usando a produção de energia de baixo carbono para cobrir o uso restante de energia. O controlo inteligente e a flexibilidade de energia são necessários para atender as necessidades com a produção local, tanto quanto possível, e também para minimizar os encargos e maximizar a utilidade na rede em geral.”

2.7.2. Edifícios de Energia Positiva (PEB)

A (*V.S.K.V. Harish, A. Kumar; 2015*) [60] definiram um Bloco (edifícios) de Energia Positiva (PEB) como um “grupo de pelo menos três edifícios vizinhos interligados que produzem anualmente mais energia primária do que consomem”. Para aproveitar as vantagens da produção, consumo e armazenamento local de energia renovável, esse conjunto de edificações devem ser de tipologia mista. Um aspecto importante é o foco na energia. As emissões incorporadas não estão incluídas em sua definição.

A Comissão Europeia usou PEB e PED de forma alternada em sua definição para o “Programa de Trabalho Horizonte 2020” e não menciona o mínimo de três edifícios, mas usa o termo “vários edifícios” que podem ser novos, renovados ou ambos. Semelhante à definição da Ação 3.2 do Plano SET de um PED, produção e armazenamento local de energia renovável, bem como materiais avançados, redes de energia inteligentes, resposta à procura, gestão de energia e interação/envolvimento dos utilizadores são a base do PEB/PED/EPN. A definição do *projeto de pesquisa Nearly Zero Energy*

³ Ver anexo II

Neighborhood (ZenN) para Nearly Zero Energy Neighborhood (NZEN) está focada em conjuntos de edifícios residenciais (J.M. Santos-Herrero, et al; 2016) [61].

2.7.3. Bairros de Energia Positiva (EPN)

A definição do *projeto de pesquisa Nearly Zero Energy Neighborhood (ZenN)* para Nearly Zero Energy Neighborhood (NZEN) está focada em conjuntos de edifícios residenciais. A necessidade de energia em tal aglomerado deve ser baixa e parcialmente atendida por energia renovável produzida localmente. O limite de equilíbrio para NZENs inclui aquecimento, arrefecimento, ventilação e água quente sanitária. A iluminação está incluída apenas em dois edifícios de demonstração não residenciais no projeto. Os eletrodomésticos foram a priori excluídos. O limite físico inclui os locais de produção de energia renovável além dos próprios edifícios (J.M. Santos-Herrero, et al; 2016) [61].

2.8. Modelação e Simulação Energética dos Edifícios

O quadro regulamentar europeu sobre a EPBD - Diretivas representam uma verdadeira mudança da forma atual de projetar (dentro da disciplina de Arquitetura) e construir (ao nível da Engenharia), através de sistemas técnicos: do AVAC à iluminação. Além disso, foi definida uma metodologia sobre os níveis ideias de rentabilidade para os padrões de eficiência energética (tanto para os edifícios existentes como para os novos), que orienta os Estados-Membros sobre a forma atual de projetar (dentro da disciplina de Arquitetura) e construir (ao nível da Engenharia), através de sistemas técnicos: do AVAC à iluminação. Além disso, foi definida uma metodologia sobre os níveis ideias de rentabilidade para os padrões de eficiência energética (tanto para os edifícios existentes como para os novos), que orienta os Estados-Membros sobre a forma de estabelecer padrões mínimos e mantê-los afastados de elevados custos de investimento (J.M.Santos-Herrero, et al; 2012) [62].

No presente trabalho, a abordagem sobre a ferramenta BEPS (Building Energy Performance Simulation) será feita através de uma revisão bibliográfica.

2.8.1. Revisão da literatura de ferramentas de modelação e simulação

A energia consumida pelos sistemas de climatização em edifícios é muito elevada e, portanto, é a origem de grande parte do total de emissão de GEE, conforme indicado em diferentes estudos e relatórios estatísticos como “*Por que edifícios*”⁴ pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, “*Energia da UE em Números*”⁵ pela União Europeia e “*Revisão Mensal de Energia*”⁶

⁴ <http://staging.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>

⁵ <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-statistical-pocketbook>

⁶ <https://www.cia.gov/consumption/commercial/reports.php/>

pelos Estados Unidos. Estes números validam a importância de aumentar a eficácia, tanto a nível económico como técnico, da gestão do aquecimento e arrefecimento nos edifícios. Além disso, é de notar que várias pesquisas realizadas nos últimos anos, desenvolvimentos tecnológicos em aplicações de modelação de edifícios e as bases de dados existentes nos permitem ter confiança (*J.M.Santos-Herrero, et al; 2012*) [62].

(*R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq; 2015*) [63] passaram por distintas iniciativas para melhorar o desempenho energético dos edifícios, e definiu diferentes iniciativas para melhorar o desempenho energético dos edifícios públicos e de comércio. (*V.S.K.V. Harish, A. Kumar; 2015*) [64] revisaram a modelação e controlo de sistemas de energia em edifícios. (*S.S. Chandel, A. Sharma, B.M. Marwaha; 2016*) [65] apresentaram normas, estatutos, códigos e métricas de desempenho energético. (*J. Kneifel ;2010*) [66] calculou o LCC para fazer diferentes melhorias de eficiência energética em novos edifícios comerciais.

Cada edifício é singular, não só pela sua localização, orientação ou condições envolventes, mas também pelas suas dimensões, geometria, materiais de construção utilizados na sua envolvente, distribuição de cada área, utilização de cada espaço e identificação. dependendo do seu tipo de construção. É claro que a envolvente de um edifício é um dos fatores mais significativos, pois leva em consideração as características da rugosidade, infiltrações de ar ou estanqueidade da envolvente, configuração do edifício, forma e altura do edifício, orientação, fachada exposta, áreas iluminadas, ventilação natural, características dos materiais da envolvente opaca vertical e horizontal, conforme explicado por (*I. Susorova, et al; 2013*) [67]. Muitos pesquisadores propuseram ações para aumentar a eficiência térmica dos edifícios. Dentre elas, uma possibilidade é substituir as janelas por melhor isolamento como em ou usar PCM (Phase Change Material) no telhado, como desenvolvido por (*M.H. Chung, J.C. Park; 2016*) [68].

Qualquer melhoria na envolvente opaca de um edifício em termos de isolamento térmico é muito importante porque pode alterar a sua inércia térmica e reduzir significativamente as suas perdas de energia. Para isso, a modelação prévia do edifício ajuda a fazer uma correta análise e desenvolvimento. Ao mesmo tempo, permite avaliar diferentes alternativas para obter o resultado desejado, reduzindo o tempo e o investimento necessários para isso.

São várias as ferramentas Building Energy Performance Simulation (BEPS) que permitem modelar, e simular energeticamente os edifícios, como o *IDA-ICE*, *Energyplus*, *CPLEX* ou *TRNSYS*. Em Anexo I, apresenta-se uma lista de vários exemplos de casos de estudos, o seu foco e a respetiva ferramenta de modelação e simulação (BEPS) para cada caso de estudo. Essas investigações mostraram como o uso de ferramentas BEPS é aplicado com sucesso para otimizar a climatização de edifícios e, portanto, também podem ser aplicados em nZEBs. As ferramentas BEPS podem ser utilizadas durante a fase de projeto, mas também são muito úteis em outras fases do ciclo de vida dos edifícios, pois permitem otimizar o consumo de energia, principalmente nos processos de renovação de edifícios. Tradicionalmente, o conceito BEPS consiste em determinar o desempenho do edifício usando modelos matemáticos criados com base em princípios físicos fundamentais por meio de uma

ferramenta baseada em computação. (H. Sha et al; 2019) [69] sugeriu um processo de trabalho para uma ferramenta de projeto de melhoria integrada de AVAC e explicou os seguintes conceitos:

- **“Caixa branca”** ou modelação baseada em física: um método onde uma série de modelos matemáticos são criados com base em princípios físicos de equações de conservação de massa, momento e energia, transferência de calor, etc. propriedades termodinâmicas para modelação e análise em profundidade, que usam conceitos físicos para resolver cálculos que representam os fenómenos físicos de transferência de calor. É frequentemente usado na indústria de AVAC.

- **“Caixa preta”** ou modelação baseada em dados: um método criado a partir de uma grande quantidade de dados empíricos obtidos do mundo real. O raciocínio de modelos matemáticos e técnicas estatísticas são aplicados para prever valores futuros por meio de um método algorítmico que é utilizado um grande número de cálculos. Esses métodos não requerem o conhecimento da natureza intrínseca do fenómeno que está a ocorrer no mundo real, porque eles são enquadrados em uma função derivada apenas de registos de amostras físicas que explicam o comportamento de um determinado sistema. Entre os modelos de caixa preta utilizados na previsão de energia em edifícios estão relacionados com Regressão Linear Múltipla (MLR) ou modelo de regressão estatística, Máquina de Vetor de Suporte (MVS) e Redes Neurais Artificiais (ANN). Um dos modelos mais utilizados desse tipo é o ANN, uma abordagem de aprendizado de máquina que faz a inter-relação entre as variáveis de saída e de entrada. Seu princípio é inspirado no cérebro humano.

- **“Caixa cinza”** ou modelo híbrido: usa os métodos caixa preta e caixa branca. Essa abordagem se baseia em leis físicas, embora alguns parâmetros do processo sejam estimados usando modelos baseados em dados. Dentro deste método, as redes resistencia-capacitor (um símile com um circuito elétrico representando a transferência de calor através da envolvente do edifício) são muito utilizadas para estimar as cargas de climatização. Após o processo de determinar o modelo, o passo seguinte é a tomada de decisão e análise de incertezas onde os métodos indicados como algoritmos genéticos, programação dinâmica, sistemas especialistas e simulação de Monte Carlo.

(R. Escandon et al; 2019) [70] desenvolveram um modelo substituto para avaliar o comportamento térmico de um conjunto de habitação social na Espanha.

Os avanços tecnológicos realizados nos últimos anos proporcionaram ferramentas de modelação e simulação com um nível de resultado aceitável. Depois de analisar todas as pesquisas anteriores, considera-se que os sistemas de controlo convencionais baseados em controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) ou estratégias semelhantes não são uma solução ideal para avaliar o controlo climático nos edifícios, onde há situações de mudança e alto risco de incerteza. Não muitos anos atrás, seus requisitos computacionais eram uma desvantagem significativa para seu uso. No entanto, o desenvolvimento alcançado até agora em ferramentas de hardware e software superou essa desvantagem. Então, todos os elementos para sua aplicação bem-sucedida estão disponíveis. Além disso, é possível fornecer previsões meteorológicas e de ocupação relativamente boas. Os ganhos internos podem ser calculados através de ferramentas BEPS e as especificações de conforto necessárias são conhecidas.

2.9. Legislação nacional e europeia

A certificação energética nos edifícios veio impor maior rigor na engenharia e conceção dos edifícios quer na parte da construção, arquitetura e sistemas de energia nomeadamente os sistemas de climatização e sistemas de água quente sanitária (AQS) através de regulamentos.

Em 1990 surgiu o primeiro regulamento em Portugal, o Decreto – Lei 40/90 Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Sendo esse regulamento de iniciativa nacional.

Em 1998, e relativo aos sistemas de climatização, o Decreto – Lei 118/98, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

O RCCTE, permitiu resolver uma lacuna em termos da envolvente térmica dos edifícios com a inclusão de isolamento adequado, sendo essa alteração vantajosa em comparação com o tipo de construção no período da década de 70 e 80.

Em 2002, a União Europeia publicou a Diretiva 2002/91/CE (Desempenho Energético dos Edifícios EPDB) com objetivo de aproveitar o potencial dos edifícios para reduzir o consumo energético, a dependência energética e por outro lado combater as alterações climáticas. A finalidade dessa Diretiva consistia na aplicação normas quer por parte do comportamento térmico dos edifícios, quer na parte dos sistemas energéticos, nomeadamente a climatização, obrigando os estados-membros a transporem os requisitos para a legislação nacional de cada estado.

Em 2006, surgiu pela primeira vez a legislação relacionada com o sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior dos edifícios (SCE), Decreto – Lei 78/2006 com o objetivo de se implementar o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) Decreto – Lei 79/2006, e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto – Lei 80/2006 uma transposição da Diretiva Europeia.

O Decreto – Lei 80/2006 (RCCTE) é dirigido aos edifícios de habitação e os pequenos edifícios de comércio e serviços. O Decreto – Lei 79/2006 (RSECE) é dirigido aos grandes edifícios de comércio e serviços.

Em 2010, surgiu a revisão da Diretiva Europeia 2002/91/CE. A Diretiva 2010/31/EU Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) com base na atualização das Diretivas no período de oito anos, por razões do desenvolvimento da tecnologia, dos materiais e equipamentos.

Em dezembro de 2013, o Decreto – Lei 118/2013, Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), onde constavam o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Em 2018, surgiu uma nova revisão da Diretiva EPDB, a Diretiva 2018/844/EU, orientando os estados-membros para a atualização dos regulamentos.

Na figura 2.7 é apresentado o percurso histórico da legislação em Portugal, e a respetiva transposição da Diretiva Europeia.



Figura 2.7 – Percurso histórico da legislação [ADENE]

Em julho de 2021 entrou vigor o Decreto – Lei 101 – D/2020.

Decreto-Lei n.º 101-D/2020 Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944

Portaria n.º 138-G/2021 Estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas.

Portaria n.º 138-I/2021 Regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas.

Despacho n.º 6476-A/2021 Determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos, nos termos do disposto no n.º 4 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

Despacho n.º 9017/2021 Alteração ao Despacho n.º 6476-A/2021, que determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos, nos termos do disposto no n.º 4 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

Despacho n.º 6476-C/2021 Aprova as condições referentes à manutenção dos sistemas técnicos instalados em edifícios, a periodicidade e as condições de realização da inspeção periódica dos sistemas técnicos e o modelo do relatório.

Declaração de Retificação n.º 611/2021 Retificação ao Despacho n.º 6476-C/2021, de 29 de junho, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 126, de 1 de julho de 2021

Despacho n.º 6476-D/2021 Aprova os requisitos para a elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE).

Despacho n.º 6476-E/2021 Aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios.

Despacho n.º 6476-H/2021 Aprova o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).

Despacho n.º 9216/2021 Alteração do Despacho n.º 6476-H/2021, que aprova o Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).

Despacho n.º 1618/2022 Qualidade do ar no interior dos edifícios – Procedimentos de registo das obrigações previstas nos pontos 3 a 6 do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, na sua atual redação, e o regime de avaliação simplificada anual de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior.

Portaria n.º 310/2021 Fixa o valor médio de construção por metro quadrado, para efeitos do artigo 39.º do Código do Imposto Municipal sobre Imóveis, a vigorar no ano de 2022

Na figura 2.8 são apresentadas as Diretivas Europeia e a sua transposição para os diplomas legais em Portugal.

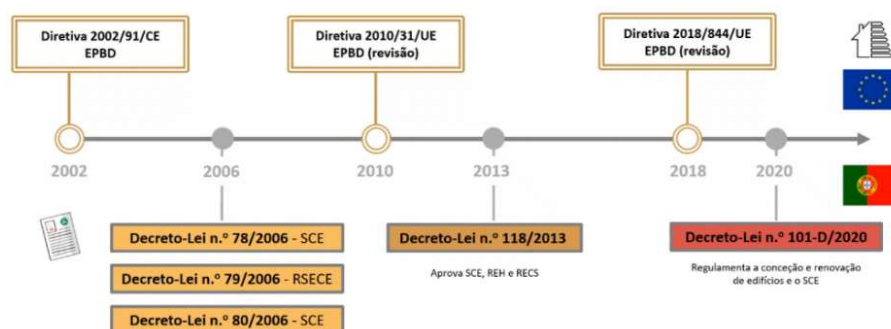


Figura 2.8 – Diretivas EPBD e correspondentes diplomas legais [ADENE]

Capítulo 3

Caso de Estudo e Metodologia

3.1. Caracterização dos Edifícios

Os edifícios habitacionais em estudo fazem parte do bairro Novo do Pinhal, mais conhecido como “Bairro do Fim do Mundo”, (ver Figura 3.1 a esquerda) localizado na freguesia do Estoril, surgiram de um projeto de intervenção comunitária (Projeto Nova Esperança da Galiza), entre o Centro Regional de Segurança Social e a Câmara Municipal de Cascais, com a finalidade de realojar a população recenseada em 1988. O realojamento, dos 162 Agregados Familiares, efetuou-se em 3 fases distintas:

A primeira fase no ano de 1992, com o realojamento de 72 Agregados Familiares; a segunda fase no ano de 1996, com o realojamento de 28 Agregados Familiares; a terceira fase no ano de 1997, com o realojamento de 62 Agregados Familiares. Em agosto de 2013 residiam 499 pessoas no bairro Novo Pinhal.

Para a tipologia de habitação, o conjunto de edifícios em estudo consiste em 16 moradias unifamiliares construídas em um piso. Tem uma tipologia T4 composta por 3 quartos, uma sala de jantar, uma cozinha, uma instalação sanitária, dois halls de entrada, perfazendo um total de 93 m² de área útil (ver Tabela 3.1). As fachadas principais do edifício encontram-se orientadas a Norte e Sul e são moradias geminadas (ver figura 3.2).

Para a tipologia de serviço, trata-se da Escola do Ensino Básico do 1º ciclo Galiza 1, integrada na mesma zona residencial dos edifícios de habitação na freguesia do Estoril (ver figura 3.1 a direita). O edifício é constituído por um conjunto de salas, instalações sanitárias, cantina, halls de entrada, com uma área útil total de 757 m² (ver Tabela 3.2). As fachadas principais do edifício encontram-se orientadas a Norte e Sul (ver Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6)



Figura 3.1- Localização da urbanização BFM e E.E.B Galiza 1

Tabela 3.1 - Lista dos espaços da moradia de estudo

Piso	Espaço	Área útil m ²	Pé Direito m	Volume m ³
0	Hall de Entrada	8.78	2.4	21
0	Cozinha	17.74	2.4	43
0	Sala	18.67	2.4	45
1	Instalações Sanitárias	5.1	2.55	13
1	Quarto - 1	12.11	2.55	31
1	Quarto - 2	15.1	2.55	39
1	Quarto - 3	8.2	2.55	21
1	Hall de Entrada	7.22	2.55	18
Área útil Total (m ²)		93		

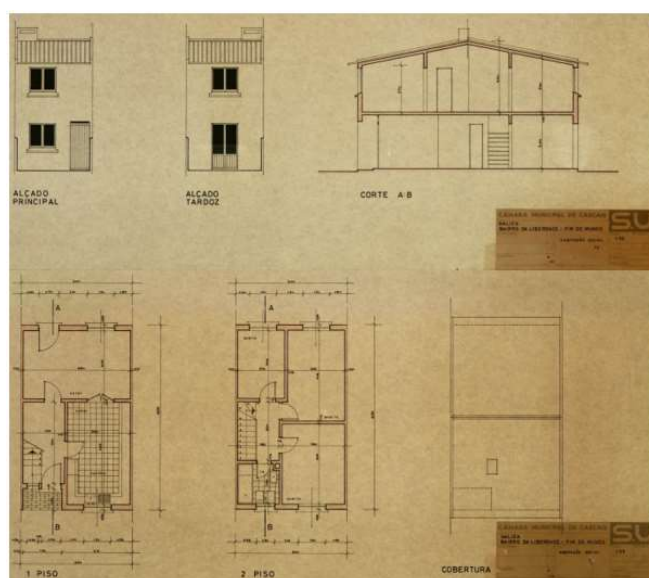


Figura 3.2 – Representação da moradia de estudo, alçados e vista em planta

Tabela 3.2 - Lista dos espaços do edifício de serviço

Piso	Espaço	Área útil m ²	Pé Direito m	Volume m ³
0	Sala - 1	57.2	3.5	200
0	Sala - 2	57.5	3.5	201
0	Sala - 3	56.8	3.5	199
0	Sala - 4	57.1	3.5	200
0	Hall - 1	30.6	3.5	107
0	Hall - 2	30.6	3.5	107
0	Inst. Sanitárias	50	3.5	175
0	Sala Exterior	38	3.5	132
0	Cantina	63	3.5	201
0	Copa	22	3.5	78
1	Sala - 5	59	3.6	213
1	Sala - 6	57	3.6	205
1	Sala - 7	58	3.6	209
1	Sala - 8	59	3.6	212
1	Hall - 1	30.6	3.6	112
1	Hall - 2	30.6	3.6	110
Área útil Total m ²		757.2		

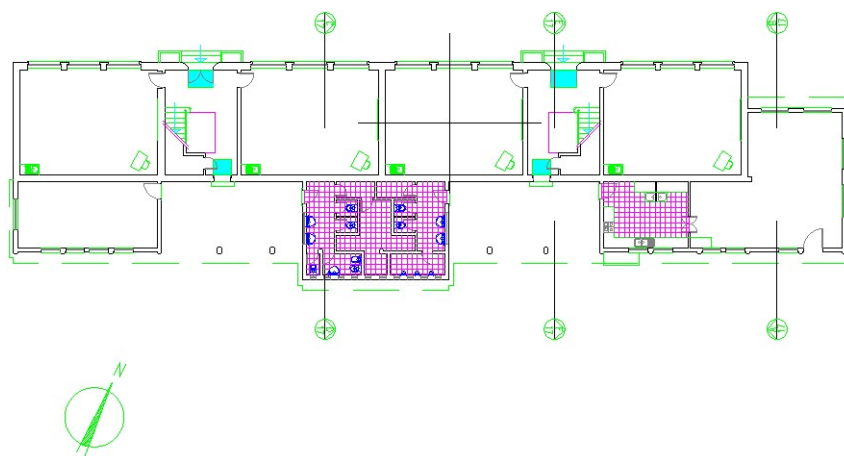


Figura 3.3 - vista em planta do piso 1

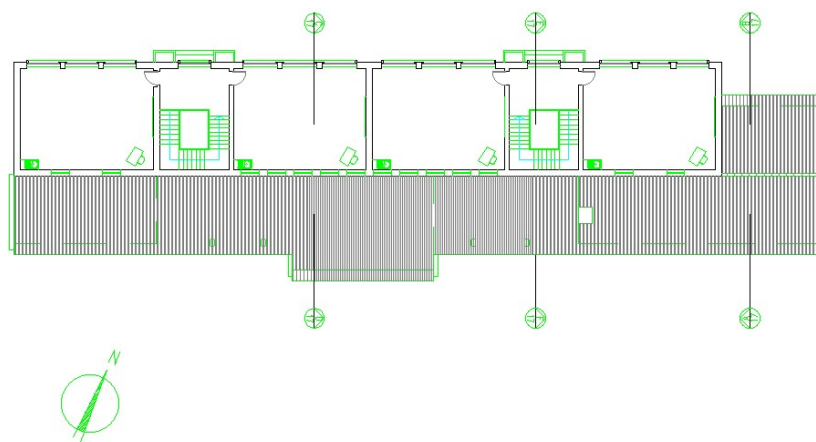


Figura 3.4 – vista em planta do piso 2



Figura 3.5 – vista dos alçados Norte e Nascente

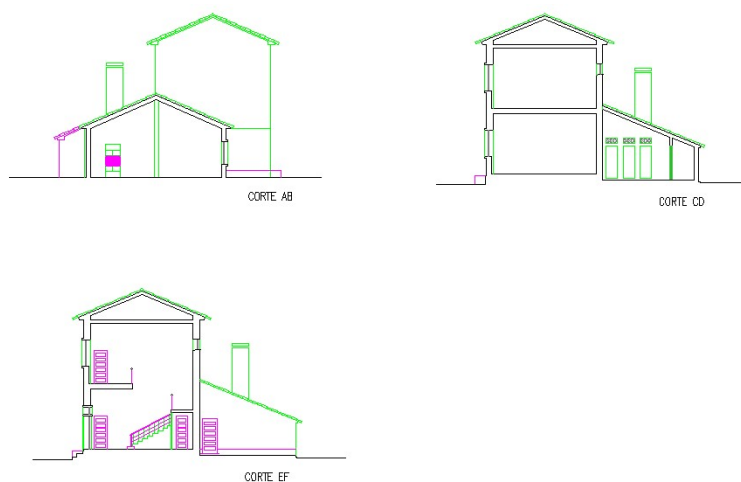


Figura 3.6 – vista em Corte

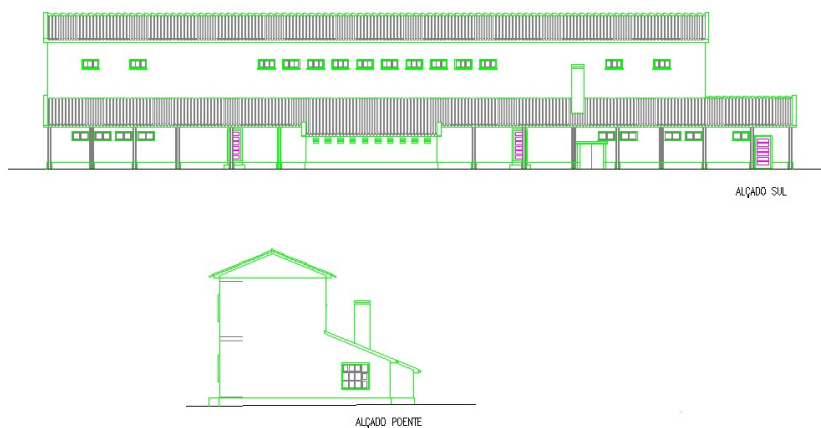


Figura 3.7 – vista dos alçados Sul e Poente

3.2. Micro-rede térmica

No presente trabalho, apresenta-se uma micro-rede composta por subsistema térmico e um subsistema elétrico (ver figura 3.8). O subsistema térmico é conjunto de quatro bombas de calor geotérmica (GSHP), duas para aquecimento e duas para arrefecimento, ligadas em paralelo entre si, e em série com o respetivo depósito para armazenamento, o subsistema elétrico integra um conjunto de painéis solar fotovoltaicos (PV), com a opção de instalação de baterias para armazenamento, para fornecimento de energia aos edifícios e o subsistema térmico (bombas de calor). O funcionamento da micro-rede leva em conta o perfil de ocupação das duas tipologias de edifícios.

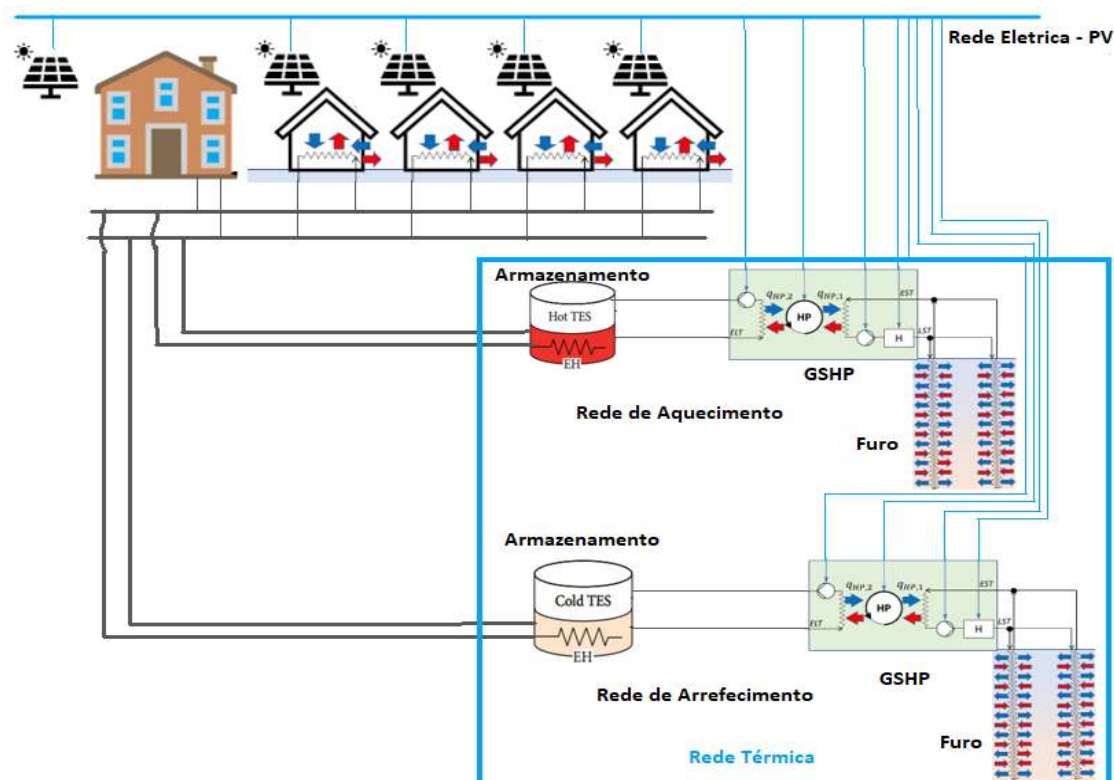


Figura 3.8 – Esquema da micro-rede proposta

3.3. Zona Climática

Para a definição da localização dos edifícios, foi utilizada a folha de cálculo (Climas-SCE) desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG) para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, de modo a obter-se os valores de latitude, da longitude e da altitude para a cidade de Lisboa. A Portaria n.º 138-I/2021 apresenta os dados climáticos para cada concelho de Portugal através de três zonas climáticas, sendo que na estação de aquecimento são as zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e na estação de arrefecimento são as zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), tendo por base a temperatura interior de referência de 20 °C para a estação de Inverno e de 25°C para a estação de Verão. As zonas climáticas são definidas em função da altitude, distância à costa e pelos dados climáticos médios. Assim, para o edifício em questão estamos perante uma zona climática I1 e V3, conforme se pode verificar na Figura 3.9, onde são apresentadas as características geográficas de Lisboa.

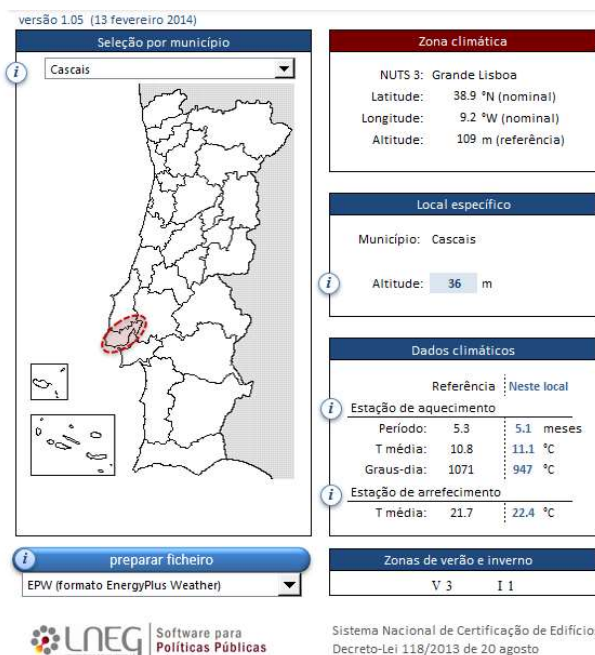


Figura 3.9 – Interface do programa para obtenção dos dados climáticos [LNEC]

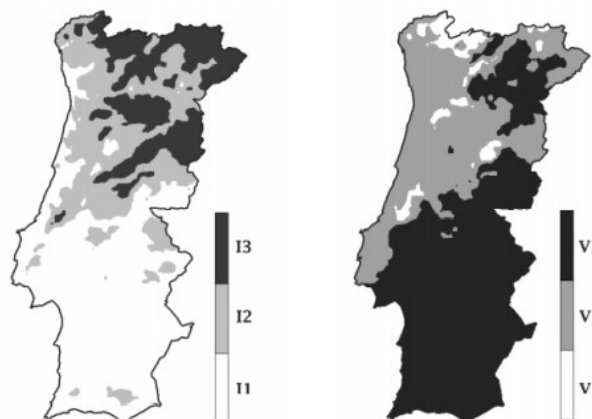


Figura 3.10 – Portugal continental zona climática [extrato 15793-F]

Segundo a brochura “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal” do Instituto Nacional de Engenharia (INETI), a sugestão de estratégia bioclimática para os edifícios situados nestas regiões climáticas (V3, I1) é de “restringir condução e promover os ganhos solares” no Inverno e “restringir condução e restringir ganhos solares dotando os envidraçados de sombreamentos eficazes” no Verão. Como se pode ver pelos perfis anuais de temperaturas do ar e ponto de orvalho em Lisboa em condições de projeto, apresentados na Figura 3.9, na localização assumida para os edifícios, a temperatura média mensal máxima ocorre em agosto e é de cerca de 23.4°C, sendo que a média mensal mínima ocorre em janeiro e é cerca de 11.3°C. Em termos de extremos do perfil de temperatura, o máximo ocorre em agosto e é cerca de 33°C, enquanto a temperatura mínima é cerca de 0°C e ocorre em janeiro.

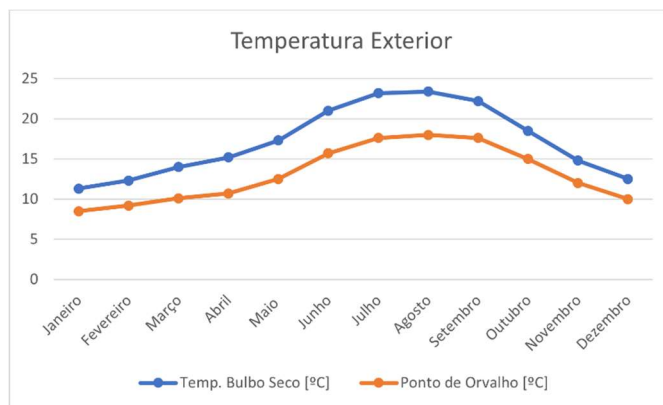


Figura 3.11 – Perfil anual da temperatura em lisboa

Relativamente à velocidade e direção do vento, os perfis anuais destas quantidades encontram-se apresentados na Figuras 3.10 e 3.11. A direção predominante é de Norte/Noroeste com uma velocidade média mensal a variar entre os 2,5 e os 4 m/s. Estas velocidades são medidas fora da camada limite.

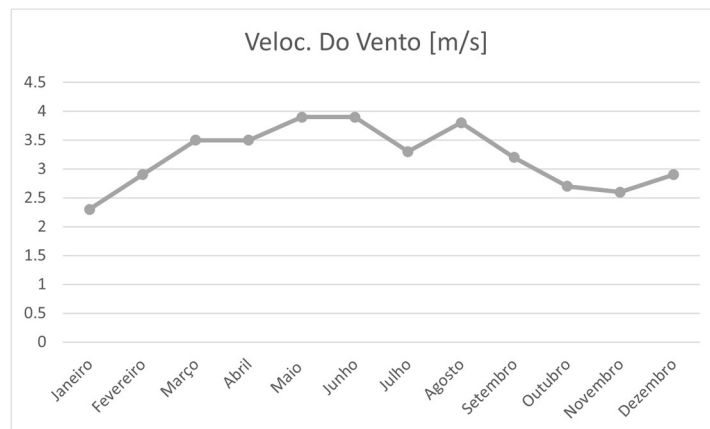


Figura 3.12 – Perfil anual da velocidade do vento

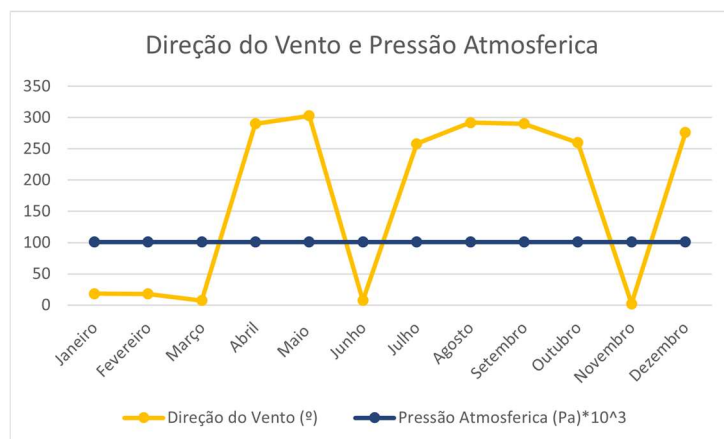


Figura 3.13 - Perfil anual da direção do vento e pressão atmosférica

Os perfis de radiação solar direta e difusa (média mensal) ao longo do ano encontram-se apresentados na figura 3.12. O pico de radiação direta ocorre em julho, ao ponto que o máximo (mensal médio) de radiação difusa ocorre em maio.

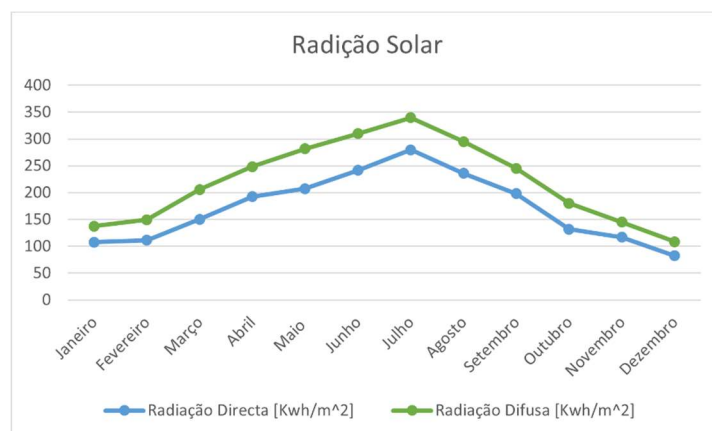


Figura 3.14 - Perfil anual da Radiação (direta e difusa) nas condições de projeto

Para além das condições de temperatura é importante ter em conta outros parâmetros, tais como a nitidez atmosférica, denominado no software Design Builder//EnergyPlus como sky clearness foi considerado um valor de 0.98, que significa que estamos perante um clima com boa exposição solar, o coeficiente de “surface solar and visible reflectance”, ou seja, o reflexo médio do solo, adotou-se o valor de 0.20, proveniente do software.

3.4. Cálculo das cargas Térmicas

A finalidade de um sistema de AVAC é assegurar o conforto térmico dos ocupantes de um determinado edifício, garantindo para isso as condições interiores de temperatura e humidade relativa, consoante o tipo de atividade do edifício e dos espaços que o compõem. Para isso, tem de se ter em conta no dimensionamento do sistema vários fatores, que são determinantes para a correta caracterização dos espaços, ou seja, as cargas térmicas. Conforme referido na ASHRAE Handbook-Fundamentals, os diversos fenómenos de transferência de calor, quer seja por convecção, condução ou radiação, mas também os ganhos térmicos internos nas zonas a climatizar, provocam cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento consideráveis. As cargas térmicas podem assim ser classificadas por:

Cargas térmicas exteriores: este tipo de cargas depende de fontes externas, tais como temperatura, humidade relativa e radiação e resultam da transferência de calor através das envolventes. Assim, os princípios construtivos e materiais aplicados nas envolventes (paredes exteriores, coberturas, pavimentos, envidraçados, sombreamentos, etc.), bem como as infiltrações através das envolventes, a incidência solar através de vãos exteriores e as cargas devidas ao ar novo são os fatores que caracterizam este tipo de cargas;

Cargas térmicas interiores: este tipo de cargas depende das condições de funcionamento dos edifícios, ou seja, da energia libertada através da iluminação, da taxa de ocupação, do tipo e frequência de atividade e do calor proveniente de aparelhos elétricos;

Outras: a localização e orientação do edifício.

A Figura 3.15 representa a influência das cargas térmicas num espaço:

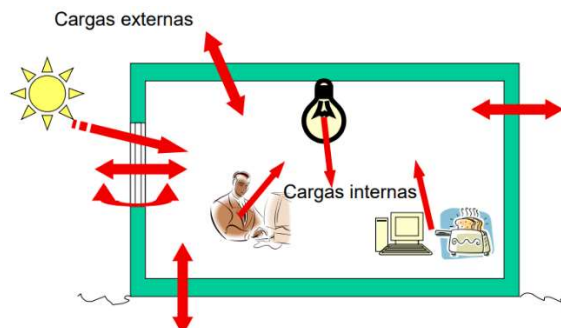


Figura 3.15 – Influência das cargas térmicas no espaço [fonte ME]

O cálculo das cargas térmicas tem uma direta influência nos custos de implementação do sistema de AVAC, do conforto dos ocupantes e do custo energético do edifício. Assim o dimensionamento dos sistemas de climatização para além de ter de garantir a remoção das cargas térmicas dos espaços e de garantir o correto funcionamento nos vários períodos de utilização, tem de ter em consideração o conforto térmico, a qualidade do ar, os problemas associados com a envolvente dos edifícios o impacto ambiental. Os cálculos das cargas térmicas para os edifícios em estudo foram realizados com recurso ao software Design Builder //EnergyPlus (version 7.0.2.004). A escolha do software Design Builder//EnergyPlus deve-se ao facto de cumprir com os regulamentos e ter como referência a norma ASHRAE. Este software possui duas ferramentas muito importantes, uma vez que tem recursos versáteis para projetar sistemas de AVAC e é possível efetuar uma análise de energia para comparar o consumo de energia e os custos de energia alternativas de projeto.

3.5. Caracterização dos elementos da envolvente

Pretende-se neste subcapítulo caracterizar os principais elementos que constituem as paredes exteriores e interiores, a cobertura, o pavimento e os vãos envidraçados. É também apresentado o coeficiente global de transmissão térmica para cada um destes elementos, tendo em consideração os valores apresentados para os edifícios de comércio e serviços, que segundo a legislação em vigor, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de Dezembro (Portaria 138 – I), estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação, e regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. O coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação e de comércio e serviços, novos ou renovados, não pode ser superior aos valores indicados nas Tabelas 3.3 e 3.4.

O coeficiente de transmissão térmica é dado como sendo a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente que se está a caracterizar, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa, sendo quantificado por $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Tabela 3.3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca

Portugal Continental		Zona Climática		
Tipo de elemento		I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	0.5	0.4	0.35
		2	2	1.9
	Horizontais	0.4	0.35	0.3
		1.65	1.3	1.2

Tabela 3.4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos da envolvente envidraçada

Portugal Continental	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Edifícios de Habitação	2.8	2.4	2.2
Edifícios de Serviços	3.3	3.3	3.3

A Tabela 3.5 indica o valor máximo admissível para o fator solar dos envidraçados tendo em consideração a zona climática do edifício.

Tabela 3.5 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados $g_{tot,máx}$

Tipo de Edifício	Inercia do Espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de Habitação	Fraca	0.15	0.1	0.1
	Média ou Forte	0.56	0.56	0.50
Edifícios de Serviços	Fraca, Média ou Forte	0.56	0.56	0.5

O fator solar máximo representa o valor de fator solar máximo admissível para os vãos envidraçados e serve para caracterizar o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente, sendo um valor adimensional. O fator solar indica assim a energia solar incidente no vidro (ver Figura 3.16), ou seja, a quantidade de radiação que atravessa o vidro e que chega ao interior, direta e indiretamente através do vidro. O ganho direto é a transmitância da energia solar e o indireto é a energia solar incidente no vidro que é absorvida e transmitida por convecção dentro de um espaço. Assim, um valor baixo de fator solar significa que se mantém o calor no exterior e reduz-se o sobreaquecimento no interior, no entanto no Inverno um baixo valor de fator solar, irá diminuir os ganhos térmicos pelo vidro. Quanto mais baixo for o valor do fator solar, temos o inconveniente de o vidro começar a ter uma coloração e não ser totalmente transparente. É também contabilizado o efeito das proteções solar.

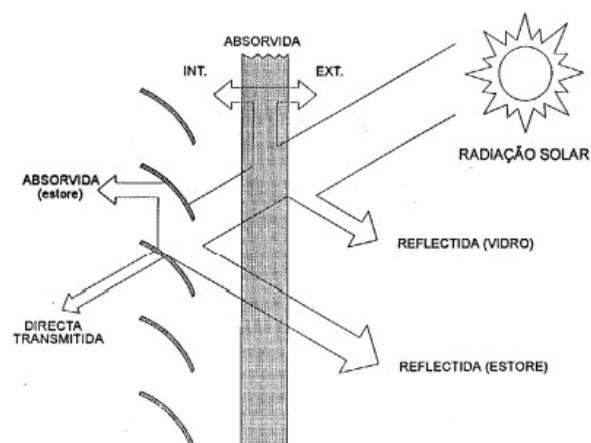


Figura 3.16 – efeito da radiação solar [fonte ME]

Nos edifícios em estudo, as escolhas das soluções construtivas obedeceram a um critério arbitral, tendo como referência o ano de construção com referido na descrição dos edifícios. Assim, o valor do coeficiente de transmissão térmica é diferente em cada uma das paredes, uma vez que cada material possui o seu valor de condutibilidade térmica e/ou resistência térmica e a espessura influencia no valor de condutibilidade térmica obtido, conforme indicado na Equação. (3.2).

O coeficiente de transmissão térmica de uma envolvente opaca é dado pela equação:

$$U = \frac{1}{R_{s_i} + \sum R_j + R_{s_e}} \quad (3.1)$$

Em que,

U (coeficiente global de transmissão térmica) – representa o fluxo de calor que atravessa uma unidade de área com uma diferença de temperatura de 1°C [W/ (m².°C)];

Rj (resistência térmica do elemento j) – representa a capacidade do material se opor ao fluxo de calor, sendo o inverso do coeficiente de transmissão térmica [W/m² .C];

Rsi – resistência térmica superficial interior [W/m² .C]; Rse – resistência térmica superficial exterior [W/m² .C].

Para o cálculo da resistência térmica da envolvente opaca é aplicada a equação:

$$R = \frac{ESPESSURA}{\lambda} \quad (3.2)$$

Em que,

λ (condutibilidade térmica) – representa o calor que atravessa uma unidade de espessura de material com uma diferença de temperatura de 1°C [W/(m².°C)].

A envolvente de um edifício é extremamente importante no que diz respeito às trocas de energia sob a forma de calor entre este e o exterior. São então apresentadas as composições das várias envolventes consideradas para o edifício em estudo. Toda a informação acerca da condutibilidade

térmica, resistências térmicas e densidade do material, foram obtidas do ITE-50 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Nas Figuras 3.17 e 3.18 encontram-se apresentadas as plantas do edifício com a distinção dos diferentes tipos de envoltantes verticais. Considerou-se que o edifício é adjacente a outro (casa geminada) em apenas um dos seus lados (parede Norte). Na vertente Sul da casa foi considerado que a parede é exposta.

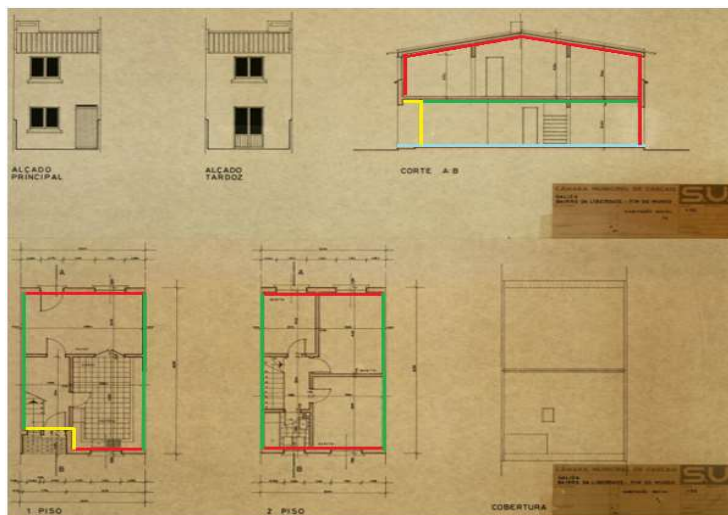


Figura 3.17 – Tipo de parede da moradia. (vermelho: parede exterior; verde: parede sem trocas térmicas; ciano: pavimento em contacto com o solo; amarelo: parede em contacto com ENU)

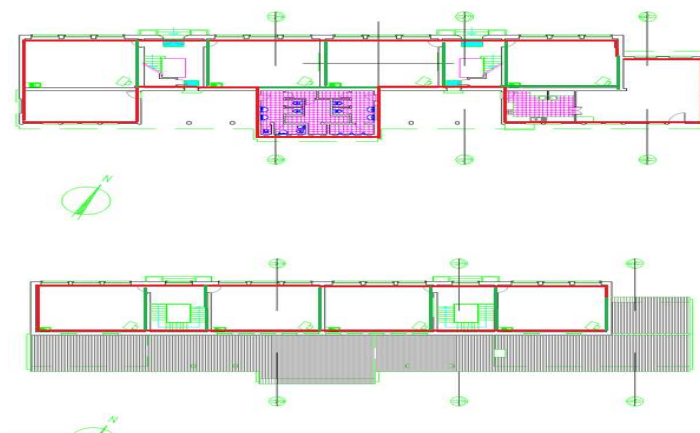


Figura 3.18 - Tipo de parede edifício de serviço. (vermelho: parede exterior; verde: parede sem trocas térmicas)

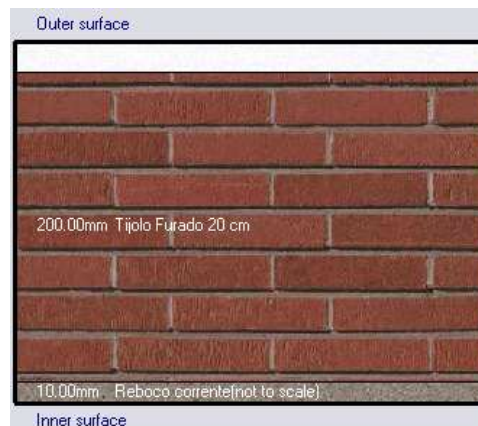
A Tabela 3.6 apresenta um resumo dos coeficientes globais de transmissão térmica das várias envoltantes do edifício, assim como uma referência para as tabelas com as respetivas descrições detalhadas da sua composição.

Tabela 3.6 - Coeficientes globais de condução térmica dos edifícios

Descrição	U [W/m ² .°C] ITE50	Tabela com a composição
Parede Exterior (moradia)	1.4	Tabela 3.7
Parede Exterior (escola)	1.4	Tabela 3.8
Cobertura Inclínada	1.7	Tabela 3.9
Pavimento e contacto com o solo	0.3	Tabela 3.10

Tabela 3.7 - composição da parede exterior simples

Parede Exterior Simples - Moradia				
Constituição - do Interior para Exterior	di (m)	l (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Referência
Reboco Corrente	0.02	1.3	0.02	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Tijolo Furado 20 cm	0.2	-	0.52	ITE50 LNEC Q I.5 Pag. I.12
Reboco Corrente	0.02	1.3	0.02	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Rsi			0.13	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Rse			0.04	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Resistencia Total			0.72	
U[W/m ² .°C]			1.4	

**Figura 3.19** – esquemático da composição da parede exterior simples**Tabela 3.8** – composição da parede exterior dupla

Parede Exterior - Edifício de Serviço				
Constituição - do Interior para Exterior	di (m)	l (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Referência
Reboco Corrente	0.02	1.3	0.02	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Tijolo Furado 22 cm	0.22	-	0.52	ITE50 LNEC Q I.6 Pag. I.13
Reboco Corrente	0.02	1.3	0.02	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Rsi			0.13	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Rse			0.04	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Resistencia Total			0.72	
U[W/m ² .°C]			1.4	

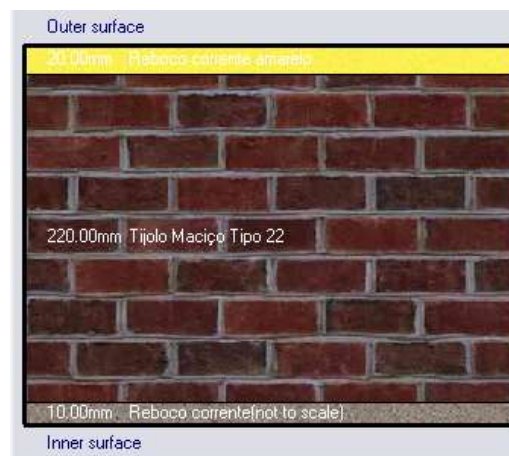


Figura 3.20 – Esquemático da composição da parede exterior dupla

Tabela 3.9 – composição da cobertura inclinada

Cobertura Inclinada				
Constituição - do Interior para Exterior	di (m)	l (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Referência
Reboco Corrente	0.01	1.3	0.01	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Betão Armado	0.02	2.3	0.01	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.5
Betomilha Leve	0.1	1.3	0.08	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Membrana Flexível (Betume)	0.01	0.23	0.04	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.9
Telha Cerâmica	0.025	0.41	0.06	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.4
Rsi			0.13	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Rse			0.04	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Resistencia Total			0.23	
U[W/m2.°C]			4.4	

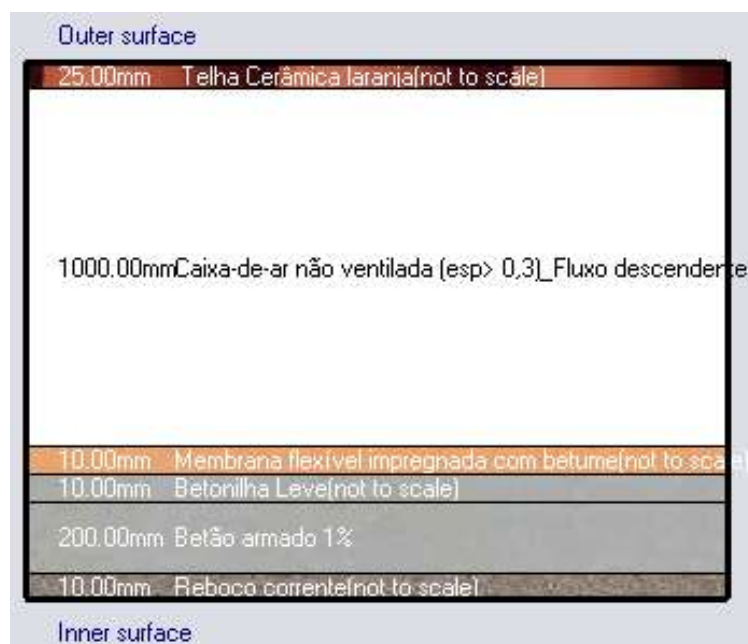
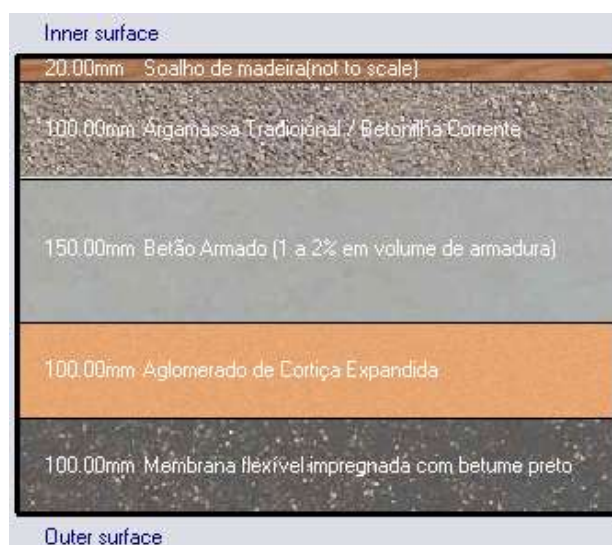


Figura 3.21 – Esquemático da composição da cobertura

Tabela 3.10 – Composição do pavimento em contacto com o solo

Pavimento em contacto com solo				
Constituição - do Interior para Exterior	d_i (m)	l (W/m.°C)	R_i (m ² .°C/W)	Referência
Membrana Flexível (Betume)	0.01	0.23	0.04	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.9
Aglomerado de cortiça (ICB)	0.01	0.045	0.22	ITE50 LNEC Q I.1 Pag. I.3
Betão Armado	0.15	2.3	0.07	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Betomilha Leve	0.08	1.3	0.06	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Soalho de Madeira	0.15	0.41	0.37	ITE50 LNEC Q I.2 Pag. I.7
Rsi			0.13	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Rse			0.04	ITE50 LNEC Q I.3 Pag. I.11
Resistência Total			0.50	
U [W/m ² .°C]			2.0	

**Figura 3.22** – Esquemático da composição do pavimento em contacto com o solo

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados possuem grande importância nos ganhos térmicos de um edifício. O comportamento de um vão envidraçado (conjunto vidro e caixilho) é distinto de uma envolvente opaca, uma vez que a capacidade de ganhos por radiação é muito superior, sendo também considerados os efeitos de condução e convecção. Os ganhos são determinados segundo o fator solar do vidro e o coeficiente de transmissão térmica. O valor de condutibilidade térmica das superfícies envidraçadas e o coeficiente de sombreamento, são os valores que servem para caracterizar os envidraçados e que são introduzidos no software de cálculo, sendo que a sua metodologia de cálculo será objeto de explicação mais adiante. Na Tabela 3.11 especificam-se os espaços que têm janelas para o exterior, a orientação da fachada onde se localizam, a quantidade e a dimensão.

Tabela 3.11 - Orientação/Quantidade/Dimensão de janelas por espaço

Edifício de Serviço - Envidraçado				
[m]	Designação	Orientação	Quantidade	Dimensão [m]
3.5	Sala de Aula -1	Norte	3	1.7*2.00
3.5	Sala de Aula -2	Norte	3	1.7*2.00
3.5	Sala de Aula -3	Norte	3	1.7*2.00
3.5	Sala de Aula -4	Norte	3	1.7*2.00
3.5	Sala Exterior	Oeste	1	1.7*2.00
3.5	Cantina	Norte	2	1.7*2.00
3.5		Este	2	1.7*2.00
3.6	Sala de Aula -5	Norte	3	1.7*2.00
3.6	Sala de Aula -6	Norte	3	1.7*2.00
3.6	Sala de Aula -7	Norte	3	1.7*2.00
3.6	Sala de Aula -8	Norte	3	1.7*2.00
3.6	Hall - 1	Norte	1	1.7*2.00
3.6	Hall - 2	Norte	1	1.7*2.00

De acordo com a Norma EN ISO 10077-1, a ponderação para a determinação do coeficiente global de transmissão térmica para os vãos envidraçados, U_w , pode ser apresentada pela equação abaixo.

$$U_w = [U_g \times 70\%] + [U_f \times 30\%] \quad (3.3)$$

Em que,

U_w – coeficiente global de transmissão térmica do vão envidraçado (vidro + caixilharia) [W/m² .C];

U_g – coeficiente global de transmissão térmica do vidro [W/m² .C];

U_f – coeficiente global de transmissão térmica da caixilharia [W/m² .C].

Tabela 3.11 - Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia e do vidro

U_g - Coeficiente Global de Transmissão Térmica do Vidro [W/m ² .°C]	2.7
U_f - Coeficiente Global de Transmissão Térmica da caixilharia [W/m ² .°C]	0.9
U_f - Coeficiente Global de Transmissão Térmica do Envidraçado (vidro+caixilharia) [W/m ² .°C]	2.6

Para definição do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar (gTVC) recorremos ao Diário de República, 2.^a série-N.º 234-3 de dezembro de 2013 (Despacho K), sendo o valor considerado para o edifício em estudo apresentado na Tabela 3.12. Os vidros do edifício serão duplos de cor média e o tipo de proteção é interior através de cortinas ligeiramente transparentes. Com estes dados obtemos que o valor do fator solar é de 0,47.

Tabela 3.12 - Valores correntes do fator solar de vão envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar gTVC (adaptado do Despacho K)

Tipo de Proteção	gtvc
	Vidro Duplo
	Média
Proteção Interior cortinas ligeiramente transparente	0.47

Após a obtenção dos valores do fator solar do vidro e do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar podemos calcular o fator solar global através da equação abaixo.

$$g_T = g_{\perp vi} \times \frac{g_{TVC}}{0.75} \quad (3.4)$$

Em que,

$g_{\perp,vi}$ – fator solar do vidro;

g_{TVC} – fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar. Considerando os valores já obtidos para os dois fatores foi obtido um valor de fator solar global de 0,488.

Na Tabela 3.13 resumem-se os valores obtidos para o período de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, f_{mv} , sendo o coeficiente adimensional.

Tabela 3.13 - Fração de tempo dos dispositivos móveis (adaptado do Despacho K)

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	O
f_{mv}	0	0.4	0.6	0.7	0.6	0.9

Uma vez que a maior parte dos vãos se encontram orientados a Norte e Sul, então considerou-se o valor de 0,6. Este valor é necessário obter para se conseguir calcular o fator solar do vão para a estação de arrefecimento.

Os edifícios em estudo não possuem sombreamento, pelo que, não está incluída nenhuma análise a este respeito.

3.6. Cargas térmicas interiores

3.6.1. Ocupação

A densidade de ocupação foi definida tendo em consideração a informação da planta de Arquitetura do edifício, resultando a quantificação das ocupações por espaço correspondentes à capacidade das divisões com necessidades de aquecimento e arrefecimento e que são apresentadas na Tabela 3.14 e Tabela 3.15.

Tabela 3.14 - Densidade de Ocupação por cada espaço (moradia)

Espaço	Área útil [m ²]	Pé direito [m]	Volume [m ³]	Ocupação
Cozinha	18	2.4	43	4
Sala	19	2.4	45	4
Quarto - 1	12	2.5	31	1
Quarto - 2	15	2.5	39	2
Quarto - 3	8	2.5	21	1

Tabela 3.15 - Densidade de Ocupação por cada espaço (edifício de serviço)

Espaço	Área útil [m ²]	Pé direito [m]	Volume [m ³]	Ocupação
Sala - 1	57.2	3.5	200	16
Sala - 2	57.5	3.5	201	16
Sala - 3	56.8	3.5	199	16
Sala - 4	57.1	3.5	200	16
Sala Exterior	38	3.5	132	16
Cantina	63	3.5	201	30
Sala - 5	59	3.6	213	16
Sala - 6	57	3.6	205	16
Sala - 7	58	3.6	209	16
Sala - 8	59	3.6	212	16

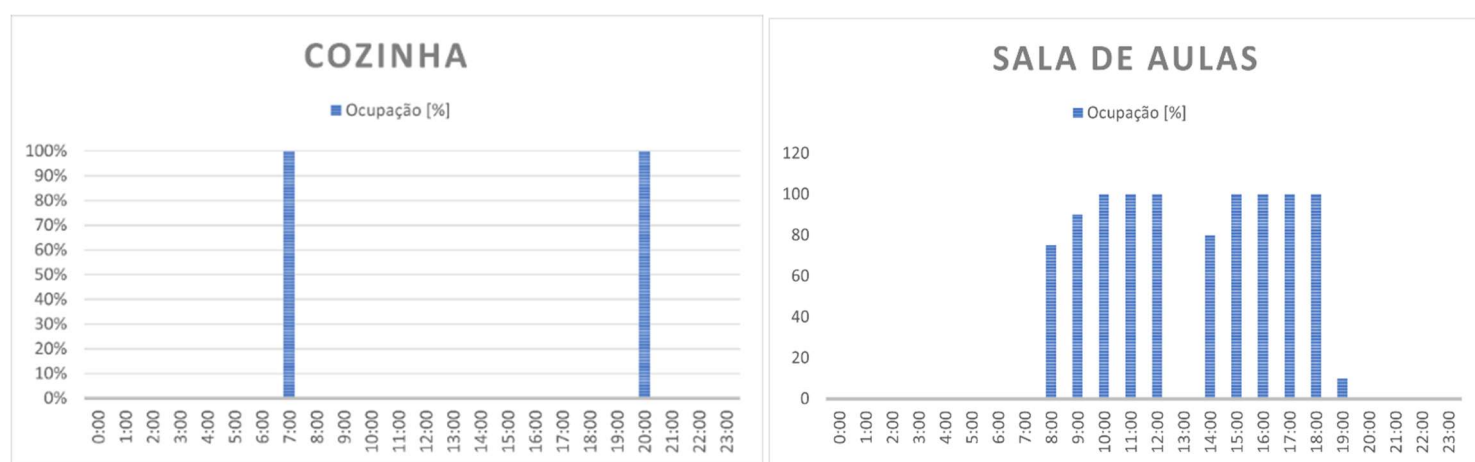


Figura 3.23 – perfil de ocupação cozinha e sala de aulas

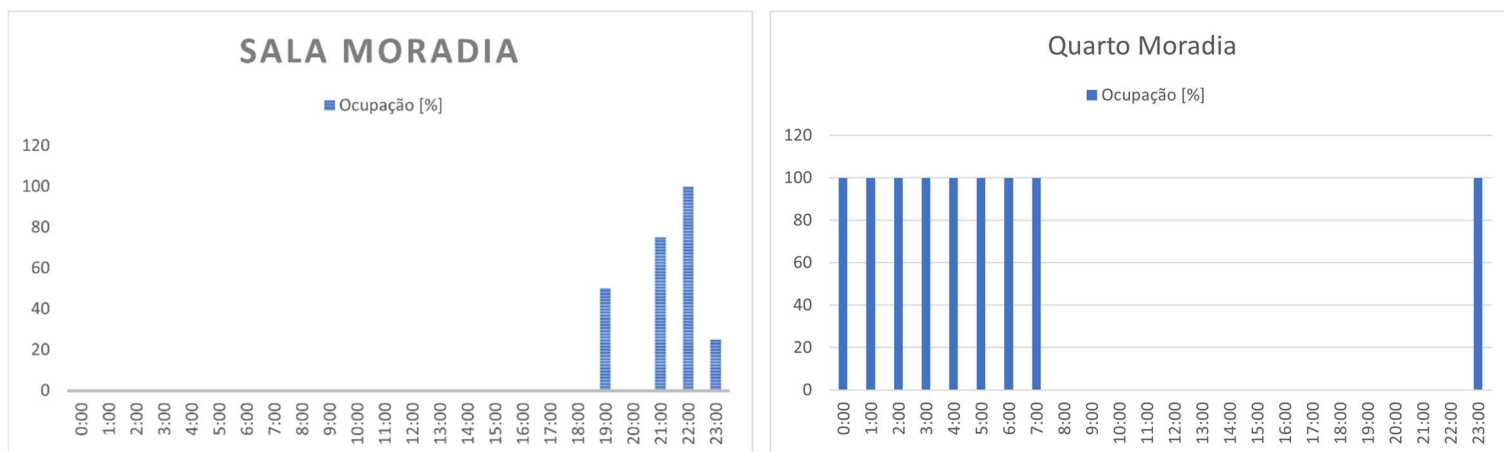


Figura 3.24 – Perfil de ocupação sala e quarto

3.6.2. Iluminação

Na determinação da densidade de iluminação seguiu-se as recomendações da tabela 25 da *Portaria 138 – I, do Decreto – Lei nº 101 – D/2020*. No seu ponto 4, linhas e, f, g essa Portaria recomenda que:

e) *Os sistemas de iluminação fixa devem dispor de uma densidade de potência instalada em cada espaço, por 100 lux, DPI100lx, inferior ao seu valor máximo conforme a Tabela 25, DPI100lx, máx, calculando-se o primeiro de acordo com a metodologia prevista no Manual SCE.*

f) *Para a determinação do valor de DPI devem apenas ser considerados os espaços cujo nível de iluminância mínimo se encontre definido nas Normas EN 12464 -1 ou EN 12193;*

g) *Em caso de renovação do sistema de iluminação fixa, a determinação do valor de DPI deve apenas ter em consideração os espaços abrangidos pela renovação;*

Dessa tabela considerou-se os valores de densidade de iluminação indicados para escritórios, salas de aula, Hall de entrada, cozinha, e adaptados ao caso de estudo. Importa referir que tendo em conta os edifícios e os espaços associados apenas foram considerados iluminação de teto para os cálculos. Considerou-se que as armaduras serão embutidas não ventiladas. Com base nos valores sugeridos na publicação supramencionada, considerou-se para cada um dos espaços a intensidade de iluminação apresentada na Tabela 3.16 e Tabela 3.17.

Tabela 3.16 - Densidade de Iluminação dos espaços da moradia

Espaço	Pé direito [m]	DPI Ref [W/m²]
Hall - 1	2.4	2.3
Cozinha	2.4	5
Sala	2.4	2.3
Instalações Sanitárias	2.5	4.6
Quarto - 1	2.5	2.1
Quarto - 2	2.5	2.1
Quarto - 3	2.5	2.1
Hall - 2	2.5	2.3

Tabela 3.17 - Densidade de Iluminação dos espaços do edifício de serviços

Espaço	Pé direito [m]	DPI Ref [W/m²]
Sala - 1	3.5	2.3
Sala - 2	3.5	2.3
Sala - 3	3.5	2.3
Sala - 4	3.5	2.3
Hall - 1	3.5	2.3
Hall - 2	3.5	2.3
Inst. Sanitárias	3.5	4.6
Sala Exterior	3.5	2.3
Cantina	3.5	2.6
Copa	3.5	5
Sala - 5	3.6	2.3
Sala - 6	3.6	2.3
Sala - 7	3.6	2.3
Sala - 8	3.6	2.3
Hall - 1	3.6	2.3
Hall - 2	3.6	2.3

3.7. Modelo de simulação

3.7.1. Ferramenta de simulação

Segundo o documento “Engineering Reference version 9.6.0” o programa EnergyPlus é um conjunto de módulos que funcionam juntos para calcular a energia necessária para aquecer e arrefecer um edifício (espaço) usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Faz isso simulando o edifício (espaço) e os sistemas de energia associados quando eles são expostos a diferentes condições ambientais e operacionais. O núcleo da simulação é um modelo do edifício baseado em princípios fundamentais de equilíbrio térmico. Todo processo é “baseado nos princípios fundamentais do balanço térmico”.

A gestão da simulação do EnergyPlus está contida em um único módulo. A configuração principal é apresentada na figura 3.26. O fluxo em todo o programa é gerido usando uma série de indicadores.

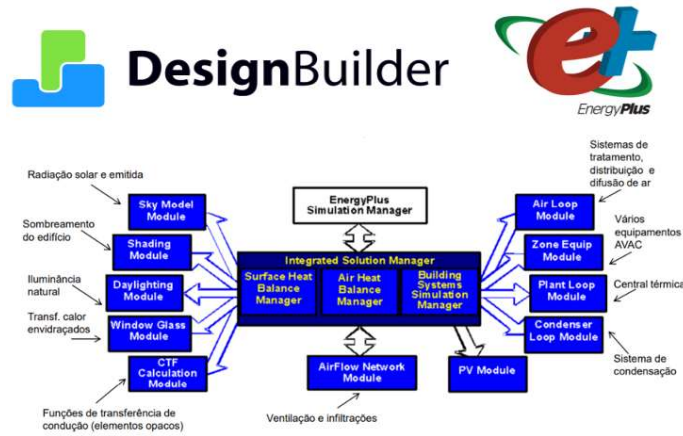


Figura 3.25 – Esquema do programa EnergyPlus [EnergyPlus]

A base para a integração do espaço e o ar é formular balanços de energia e humidade para o espaço e resolver as equações diferenciais ordinárias resultantes usando um algoritmo preditor-corretor (previsão-correção) como abordagem. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor do espaço, como indica a Equação 1.

$$C_z \frac{dT}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_1 A_1 \times (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} c_p (T_{infini} - T_z) + Q_{sys} \quad (3.5)$$

Onde:

$$C_z \frac{dT}{dt} = \text{Taxa de armazenamento de energia no ar}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i = \text{soma das cargas internas de convecção de pessoas, computadores, etc.}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_1 A_1 \times (T_{si} - T_z) = \text{Transferência de calor convectiva das superfícies da zona}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p (T_{zi} - T_z) = \text{Transferência de calor devido à mistura de ar interzonal}$$

$$m_{inf} c_p (T_{inf} - T_z) = \text{Transferência de calor devido a infiltração}$$

$$C_z = \rho C_p C_T$$

$$\rho = \text{Densidade do ar}$$

$$C_p = \text{calor específico do ar}$$

$$C_T = \text{calor sensível do ar}$$

A equação para determinar a saída do sistema de estado estável é a seguinte:

$$-Q_{sys} = \sum_{i=1}^N Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_1 A_1 \times (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} c_p (T_{\infty} - T_z) \quad (3.6)$$

Os sistemas de ar fornecem ar quente ou frio aos espaços para remover às cargas térmicas. A energia fornecida ao espaço, Q_{sys} , pode assim ser formulada a partir da diferença entre o entalpia do ar fornecido ao espaço e a entalpia do ar removido conforme mostrado na Equação 3.

$$Q_{sys} = m_{sys} c_p (T_{sup} - T_z) \quad (3.7)$$

Esta equação assume que a taxa de ar de fornecida ao espaço é igual à soma da taxa de ar removida do espaço. Substituindo a Equação 3 por Q_{sys} no balanço de calor A Equação 1 resulta na Equação 4.

$$C_z \frac{dT}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_1 A_1 \times (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} c_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys} + m_{inf} c_p (T_{\infty} - T_z) + m_{sys} c_p (T_{\infty} - T_z) \quad (3.8)$$

O programa *Design Builder* funciona como interface gráfica do EnergyPlus, permitindo assim a modelação e visualização, bem como a obtenção do resultado da simulação. Para o presente trabalho usou-se o *Design Builder versão 7.0.2.004*.

De forma simplificada, um conjunto de seis etapas, foram estabelecidas, permitindo assim perceber as etapas da metodologia. (ver Figura 3.26).

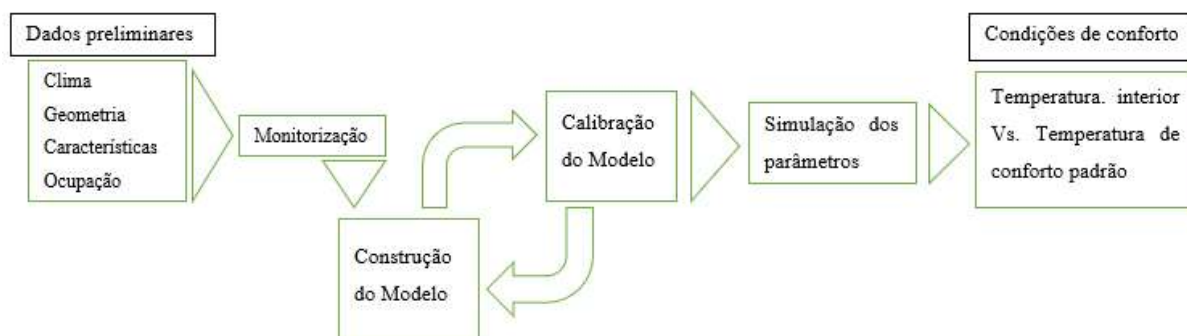


Figura 3.26 – Etapas da metodologia

1. Na primeira etapa, são determinados dados preliminares referentes às características climáticas, geométricas e construtivas (características físicas) e dados de ocupação. Esta etapa requer a aquisição e estudo de medições geométricas de campo e desenhos de arquivo, bem como observações de ocupação típica e funcionamento de dispositivos de janelas e sombreamentos.
2. A segunda etapa diz respeito à monitorização do espaço com foco no registo das temperaturas internas, a fim de entender o desempenho sobre o comportamento dos ocupantes.
3. A terceira etapa da metodologia diz respeito à construção de um modelo geométrico.
4. A quarta etapa, o modelo é então calibrado usando os dados meteorológicos registados durante o período de monitorização.
5. por meio de uma simulação, o modelo calibrado é usado para prever temperaturas internas para dados climáticos típicos projetados e condições extremas, além de ser submetido a variações físicas e comportamentais em relação a mudanças para avaliar seu efeito nas temperaturas internas.
6. Na etapa final do processo – Avaliação de Conforto – as temperaturas internas previstas são comparadas com o padrão de conforto térmico adequado para avaliar a extensão da vulnerabilidade do conforto térmico.

Em primeiro lugar, é necessário criar um projeto definindo desde logo os dados relativos à localização do edifício figura 3.28. O Design Builder//EnergyPlus dispõe de uma variada lista de templates

correspondentes a diversas localizações de vários países, de onde podemos selecionar o template referente a Portugal. Desta forma o software assume automaticamente as características típicas da localização escolhida, nomeadamente temperaturas, condições climáticas, período de duração das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras.

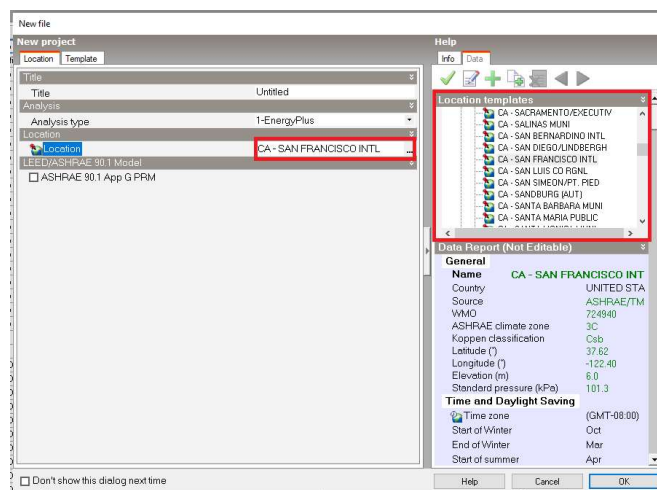


Figura 3.27 – Separador para criar o projeto [DB]

Após a definição das condições, é criado o modelo geométrico do edifício, recorrendo a ferramenta de desenho assistido por computador. A Figura 3.28 apresenta um modelo geométrico concluído, o qual representa toda a geometria do edifício, incluindo todas as divisões interiores e orientação.

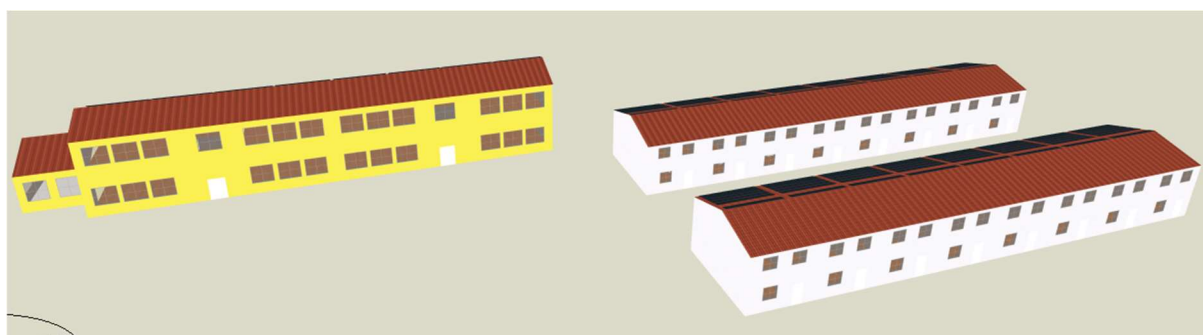


Figura 3.28 – Representação geométrica do modelo [DB]

Com o modelo geométrico concluído, é necessário identificar cada espaço e as atividades associadas. A identificação da atividade associada a cada espaço é relevante pois tem grande influência na maior parte dos ganhos térmicos internos, influenciando deste modo os requisitos de aquecimento, arrefecimento e/ou ventilação. O Design Builder//EnergyPlus apresenta um separador destinado à seleção da atividade, onde é possível escolher e/ou definir os requisitos pretendidos para cada espaço do edifício. Para este parâmetro o Design Builder//EnergyPlus dispõe também de uma variada lista de soluções pré-definidas que estão relacionadas as características uma dada atividade para um determinado espaço. Ao selecionar uma determinada atividade, o Design Builder//EnergyPlus associa automaticamente fatores como a ocupação, requisitos de temperatura, renovação de ar,

iluminação e equipamentos. Estes valores podem ainda ser editados e alterados quando necessário, de modo a adequá-los ao espaço. A Figura 3.29 apresenta o separador “atividade” para o exemplo de um espaço destinado a sala.

Os dados de entrada e os resultados dos cálculos de projeto do sistema de AVAC podem ser utilizados diretamente em estudos de energia. O software possui diversos separadores onde são inseridos os dados dos edifícios em estudo, nomeadamente:

- **Activity:** Neste separador é feita a caracterização do tipo de atividade no espaço, os parâmetros metabólicos dos ocupantes e o controlo da temperatura ambiente para as condições de aquecimento e arrefecimento (setpoint);
- **Construction:** Neste separador é feita caracterização da envolvente opaca vertical e horizontal;
- **Openings:** Caracterização da envolvente envidraçada, bem como as características do vidro;
- **Lighting:** Neste separador, e com recursos a softwares de simulação, Normas e Regulamentos são caracterizados os sistemas de iluminação;
- **HVAC:** Com recurso a sistemas pré-definidos na base de dados do Design Builder são definidos os sistemas de climatização.

Para além do referido, é possível efetuar um balanço térmico dos sistemas para um ano típico, emitindo relatórios onde são discriminadas as potências térmicas, bem como os caudais necessários para cada espaço a climatizar.

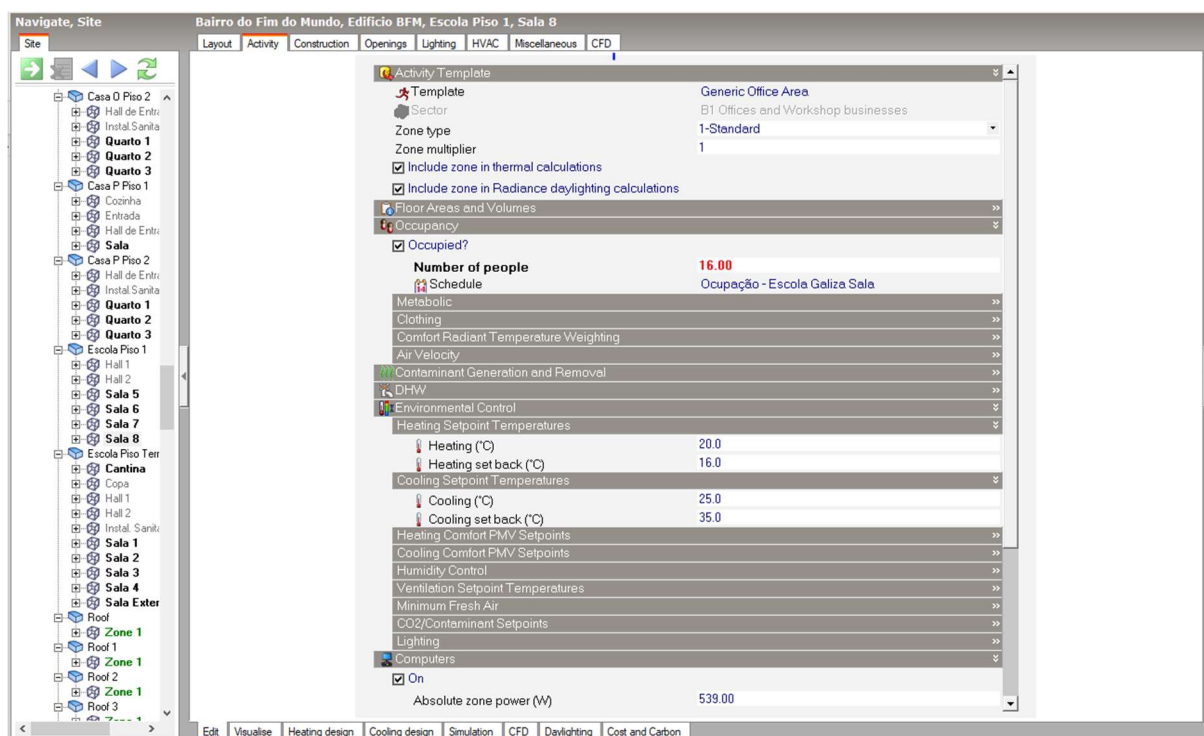


Figura 3.29 – Separador “Activity” [DB]

A fase seguinte consiste em definir o modelo geométrico com base nas características da solução construtiva da envolvente. O Design Builder/EnergyPlus apresenta o separador “construction” destinado à caracterização dos materiais da envolvente opaca (exterior e interior) do espaço. A

especificação das características construtivas determina o desempenho energético da envolvente opaca, tendo grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como nas condições de conforto dos ocupantes. Para definir as características construtivas de um determinado elemento é possível utilizar modelos pré-definidos disponíveis na base de dados do Design Builder//EnergyPlus, ou criar uma caracterização específica. Os diferentes tipos de materiais de construção são também disponibilizados pelo Design Builder//EnergyPlus, sendo possível definir novos materiais e soluções construtivas. A Figura 3.30 representa o separador destinado à caracterização construtiva do modelo do geométrico no Design Builder//EnergyPlus.

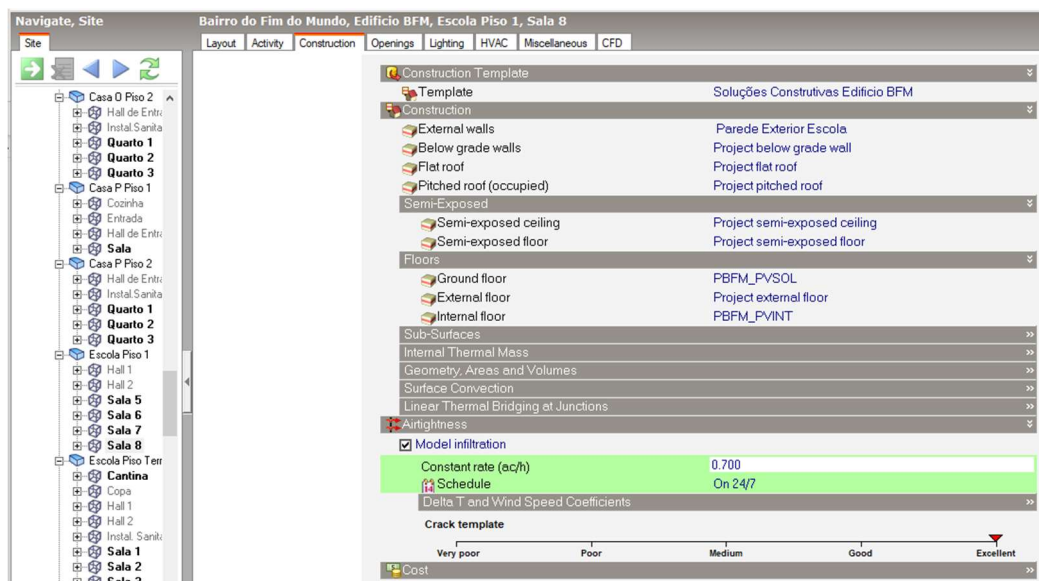


Figura 3.30 – separador “Construction” para caracterização da envolvente [DB]

A Figura 3.31 apresenta o separador de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior. Nesta figura é possível observar a definição das diferentes camadas do elemento e os respetivos materiais constituintes.

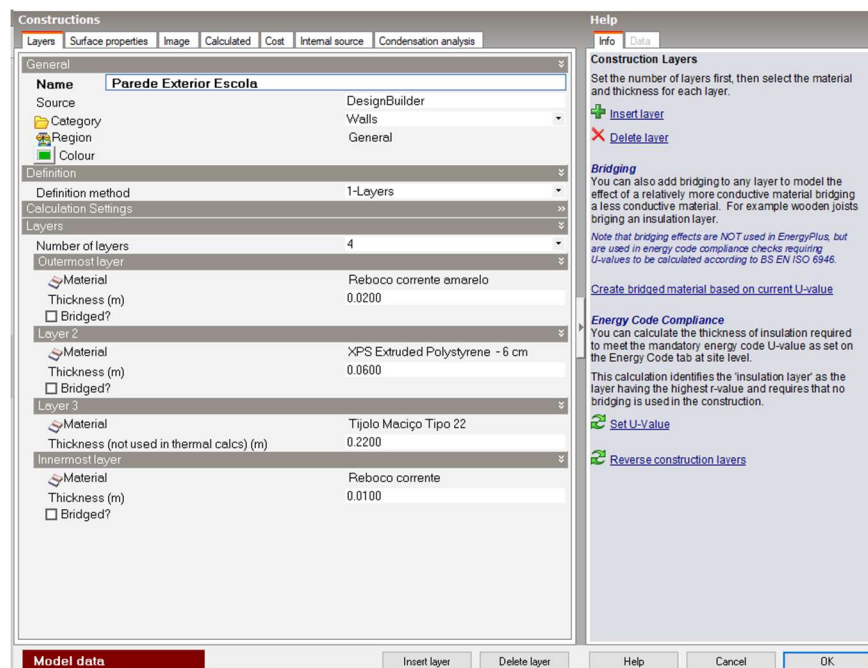


Figura 3.31 – Separador “Construction – Layers” [DB]

O Design Builder//EnergyPlus apresenta as propriedades de cada material bem como as propriedades globais da parede, por exemplo, o coeficiente de transmissão térmica, densidade, resistência térmica, entre outros (ver figura 3.32).

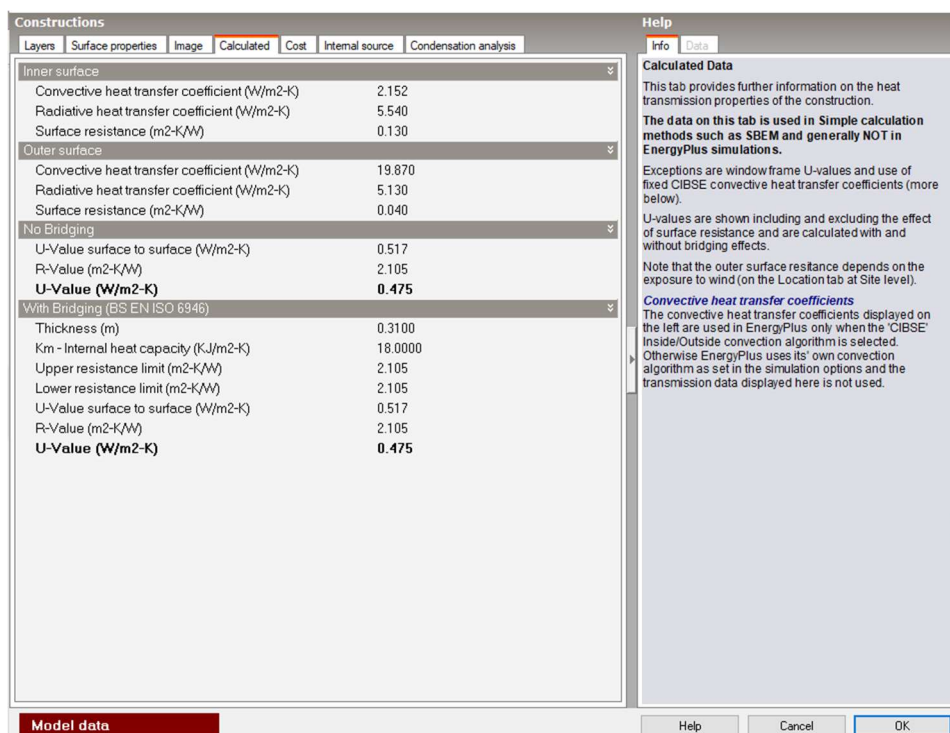


Figura 3.32 - Separador “Calculated” coeficiente térmico [DB]

A caracterização de outros elementos construtivos, como pavimentos e coberturas, é realizada de forma idêntica à apresentada na figura 3.29.

A seleção do tipo de vãos envidraçados, tal como nos parâmetros de atividade e das soluções da envolvente, o Design Builder//EnergyPlus apresenta um separador destinado à caracterização dos vãos envidraçados. Neste separador é possível escolher o tipo de envidraçado a partir de uma lista disponibilizada pelo software que inclui diversos modelos pré-definidos, ou ainda criar um modelo de envidraçado consoante os requisitos pretendidos. Ainda dentro deste parâmetro é possível seleccionar o tipo de sistema de sombreamento e um horário de utilização (caso este não seja um sistema fixo).

A Figura 3.33 apresenta o separador destinado à seleção do tipo de vão envidraçado.

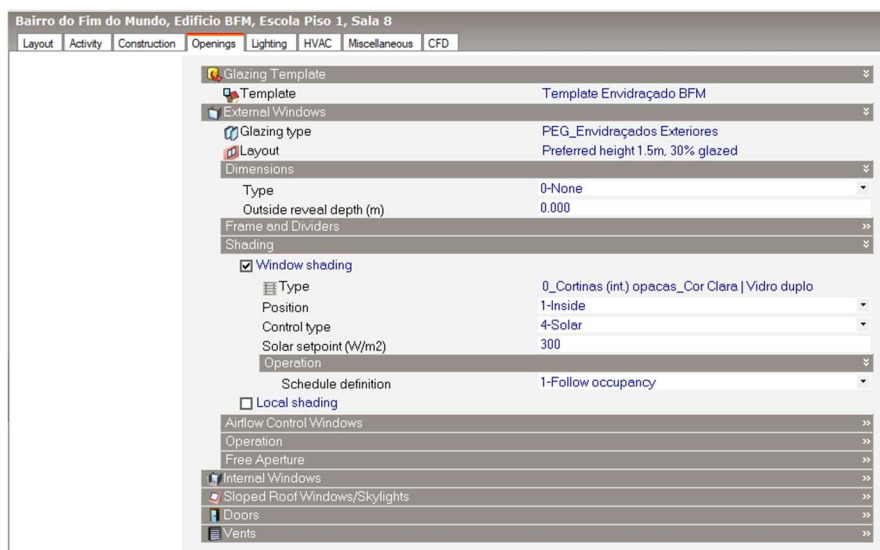


Figura 3.33 – Separador “openings” tipo de vão envidraçado [DB]

Para concluir a conceção do modelo do edifício no Design Builder//EnergyPlus é necessário definir os parâmetros de iluminação e sistemas AVAC. Quanto à iluminação, o Design Builder//EnergyPlus dispõe de configurações pré-definidas que, tal como o parâmetro da atividade, podem ser seleccionados consoante o espaço a que se destinam. Desta forma o programa associa automaticamente o desempenho da iluminação e os respetivos consumos de energia dependendo do espaço.

A Figura 3.34 mostra o separador do programa para a seleção dos parâmetros iluminação para um determinado.

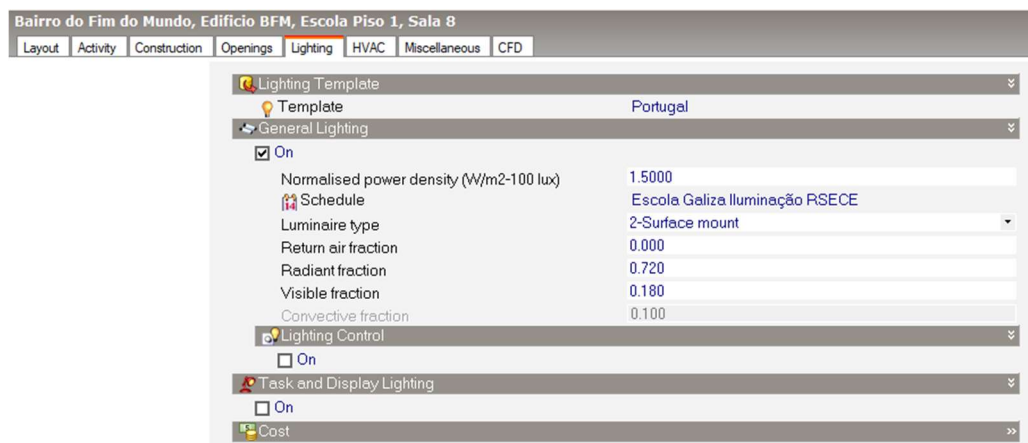


Figura 3.34 – Separador da iluminação [DB]

De seguida é definido o tipo de sistema AVAC instalado no edifício. Para isso, o Design Builder apresenta um separador reservado aos sistemas AVAC onde são definidos os principais parâmetros de ventilação, aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS). Mais uma vez o software dispõe de uma lista de templates de onde pode ser selecionado o modelo para Portugal por exemplo. Caso seja necessário, é possível selecionar e/ou alterar parâmetros como a utilização de ventilação mecânica e/ou natural, o tipo de fonte de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (eletricidade, gás natural, etc), entre outros. A Figura 3.35 representa o separador “HVAC” que diz respeito aos sistemas AVAC.

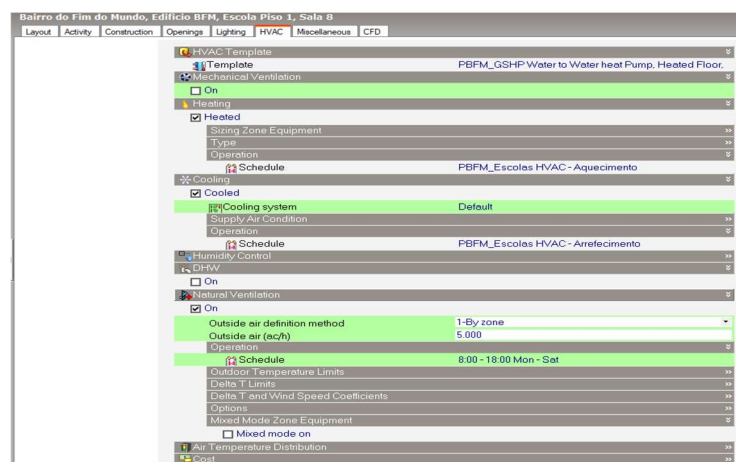


Figura 3.35 – Separador “HVAC” de seleção de sistemas AVAC [DB]

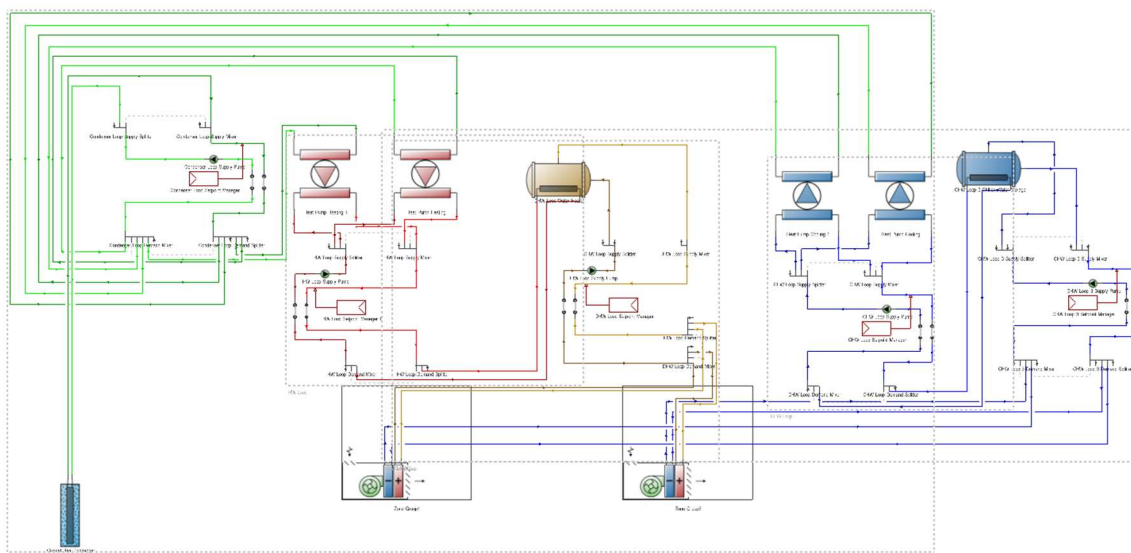


Figura 3.36 – representação detalhada do sistema HVAC [DB]

Por fim, após a conceção do modelo, o desempenho energético do edifício pode ser determinado através de simulações dinâmicas para o período pretendido. A figura 3.37 apresenta a janela de seleção para uma simulação dinâmica.

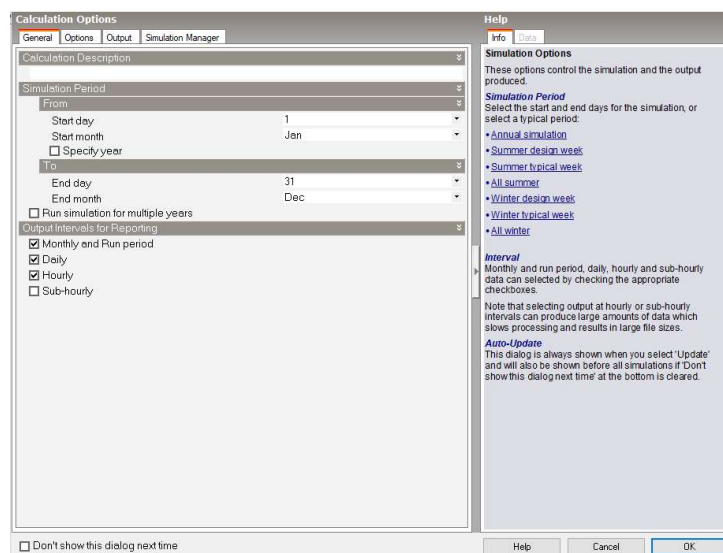


Figura 3.37 - Separador para simulação [DB]

No final de cada simulação o Design Builder//EnergyPlus apresenta uma análise detalhada do desempenho do edifício em relação a diversos parâmetros, apresentando todos os resultados em forma de gráficos e tabelas

3.7.2. Sistema Solar Fotovoltaico (PV)

O DesignBuilder//EnergyPlus, permite modelar e simular o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico, a partir de um conjunto de procedimentos que podem ser definidos em Anexo V.

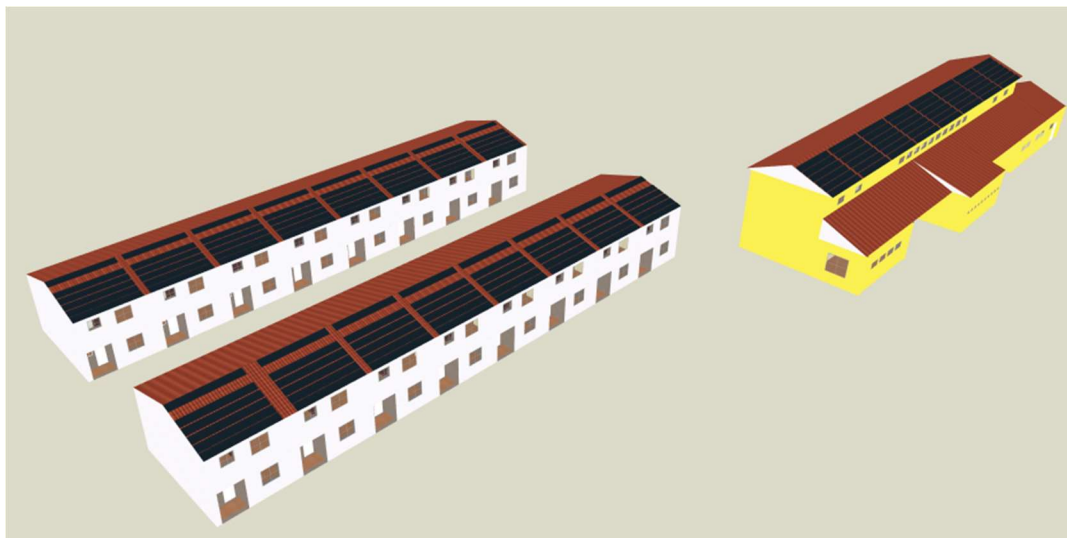


Figura 3.38 – configuração de painéis solares fotovoltaico [DB]

Capítulo 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados do trabalho de simulação desenvolvido e apresentado no capítulo anterior. Como resultados entende-se valores finais com significativa importância para o estudo. Esses resultados são apresentados de uma forma compacta, sendo acompanhados apenas por uma breve introdução e um breve comentário. Para melhor esclarecimento do leitor, embora o caso de estudo apresente duas tipologias de edifícios, são estudados apenas como edifício, por apresentarem a mesma solução construtiva.

4.1. Necessidades Energéticas – Edifício base

O DesignBuilder//EnergyPlus permite dimensionar a potência ideal a instalar no edifício, de modo a suprir as necessidades de aquecimento e arrefecimento existentes de acordo com os set-points estabelecidos para as condições de funcionamento normal do edifício.

4.2. Aquecimento – simulação para dimensionamento

A carga térmica de Inverno (estação de aquecimento), é a potência mínima que o sistema de AVAC tem de possuir para garantir o conforto térmico de todas as zonas de área útil. Esta potência é calculada somando todas as perdas por condução através da envolvente do edifício e as perdas por renovação de ar. A simulação para determinar a potência de projeto para o aquecimento (Heating Design) com base nos cálculos do EnergyPlus tem como base os seguintes parâmetros:

- Temperatura externa em estado estacionário;
- Velocidade e direção do vento definidas nas configurações iniciais;
- Ganhos solares nulos.
- Ganhos internos nulos (iluminação, equipamentos, ocupação, etc.);
- As zonas são aquecidas constantemente para alcançar o set-point pré-definido utilizando um sistema simples de aquecimento convectivo;
- Consideração de condução e convecção de calor entre zonas a diferentes temperaturas.

A simulação das necessidades de aquecimento permite obter os resultados relativos à temperatura e energia. Usando como referência o espaço sala 8 do edifício de serviço, verifica-se que a temperatura

interna do ar é cerca de 20 °C enquanto a temperatura radiante é de 17,50 °C, a temperatura operativa é resultante da média da temperatura do ar interno com a temperatura radiante, neste caso é de 18,75 °C, de acordo com a figura 4.1. Por último a temperatura exterior é de 5,20°C.

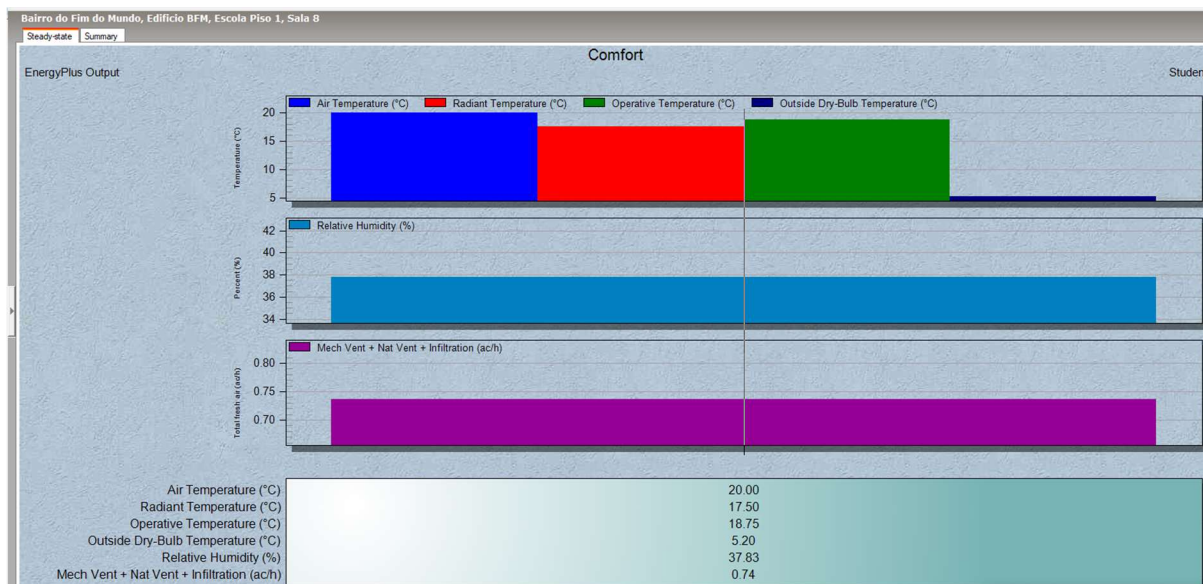


Figura 4.1 – Parâmetros de conforto do espaço sala 8 durante o aquecimento. [DB]

A temperatura interna do ar consiste na temperatura registada no interior do edifício, enquanto a temperatura radiante consiste na temperatura de uma superfície uniforme de um ambiente imaginário, onde a troca de calor por radiação é igual à que se verifica num ambiente real não uniforme. Por sua vez, a temperatura operativa consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual o ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como em ambiente real não uniforme. A temperatura externa de bolbo seco representa a temperatura exterior sem influência da humidade. A simulação no estado estacionário é efetuada de modo interrupto até se verificar a convergência dos fluxos de temperatura de cada zona, obtendo-se assim o aquecimento necessário para garantir a manutenção dos pontos de ajuste de temperatura. É possível também, devido à simulação em estado estacionário, verificar quais as perdas associadas aos vãos envidraçados, paredes exteriores, divisórias, telhado, infiltração externa e ventilação natural (calor perdido pelas janelas, portas e aberturas).

Na Figura 4.2, apresenta-se o balanço das perdas e ganhos de calor do edifício.

A esquerda na figura 4.2, verificamos as perdas de calor resultante das características térmicas, ou seja, dos elementos construtivos. O envidraçado -0,37 kW, a envolvente opaca -2,01 kW, o teto -0.18 KW. A direita, as perdas por infiltrações -0,69 kW, paredes interiores -0.1 KW e o pavimento 0.16 KW.

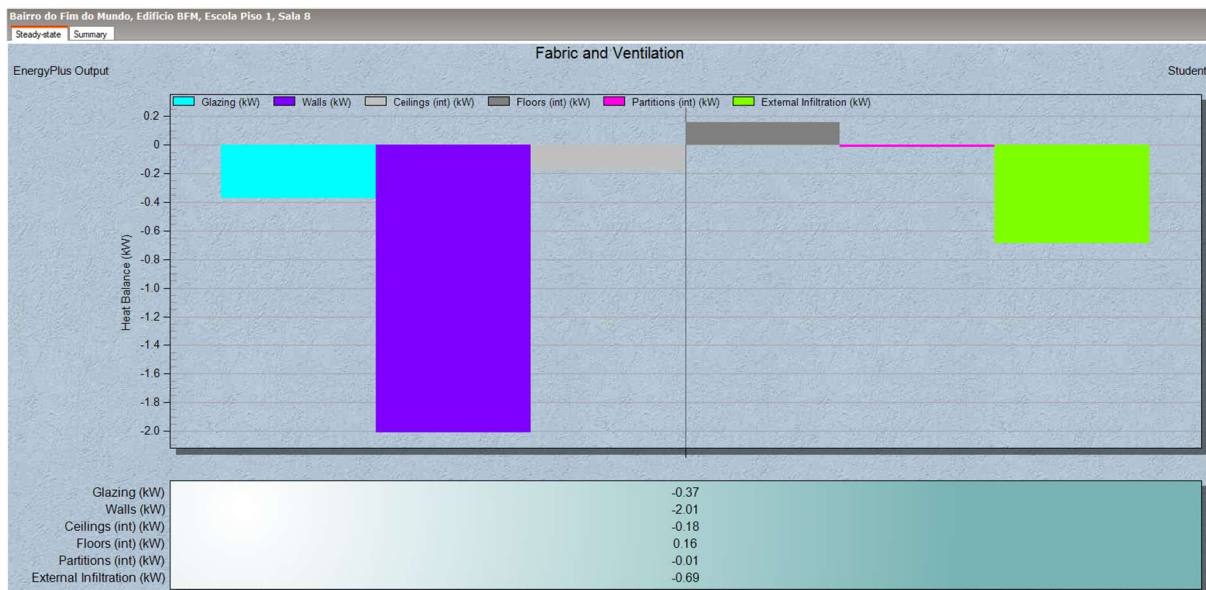


Figura 4.2 – perdas na envolvente do espaço sala 8. [DB]

O calor sensível a remover do espaço (sala 8) de acordo com a simulação para dimensionamento da potência de aquecimento (Heating Design) é de 3.23 KW (ver figura 4.3).

Importa referir que para efeito de dimensionamento, o EnergyPlus adiciona uma margem de 15% sobre o valor calculado, ou seja, o valor real da potencia de projeto é 3.71 KW.

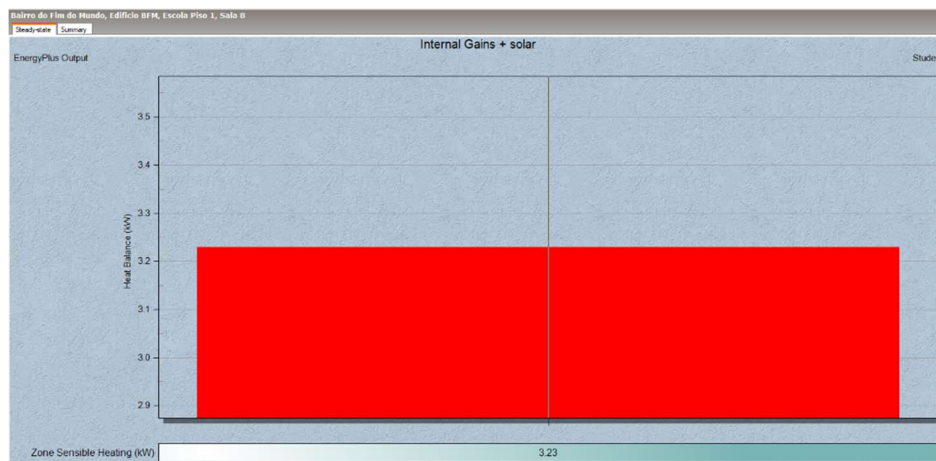


Figura 4.3 – potencia para aquecimento do espaço sala 8 (Heating Design) [DB]

4.3. Arrefecimento – simulação para dimensionamento

O cálculo da carga térmica de arrefecimento, à semelhança do que acontece para a estação de Inverno, tem como objetivo determinar a capacidade do equipamento de refrigeração necessária para manter as condições de conforto térmico de todas as zonas de área útil. Tem em conta todos os ganhos de calor do edifício (externos e internos), assumindo condições dinâmicas. Variação de temperatura dinâmica significa que o armazenamento de calor que ocorre na envolvente do edifício e elementos interiores são contabilizados.

A simulação para determinar a potência de projeto para o aquecimento (Cooling Design) com base nos cálculos do EnergyPlus tem como base os seguintes parâmetros:

- Condições dinâmicas de temperatura externa. Temperatura máxima que ocorre durante o dia e temperatura mínima durante a noite. O perfil de temperatura diária é representado por valores máximos e mínimos usando uma curva sinusoidal;
- Sem vento;
- Inclui ganhos solares através dos envidraçados;
- Inclui ventilação mecânica + ventilação natural + infiltrações;
- Inclui ganhos internos por ocupantes, iluminação e equipamentos;
- Considera a condução e convecção de calor entre espaços a diferentes temperaturas.

Foi usado o espaço sala 8, como exemplo para a análise das condições de projeto para o arrefecimento. Na figura 4.4 são apresentados os parâmetros de conforto do referido espaço, tendo em consideração o dia mais extremo apresentado pelo DesignBuilder//EnergyPlus, o dia 15 de julho.

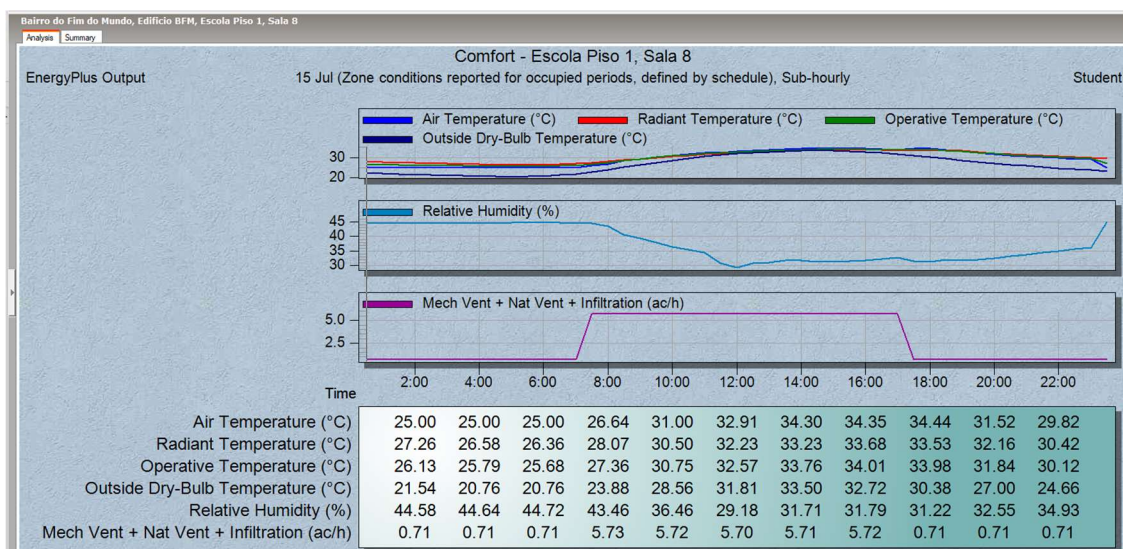


Figura 4.4 – parâmetros de conforto do espaço sala 8 durante o período de arrefecimento. [DB]

Analisando o comportamento da envolvente térmica, é possível observar a contribuição da envolvente opaca e envidraçada (parede + envidraçado) no aquecimento do espaço no período de pico, e consequentemente para as cargas térmicas (ver figura 4.5). Na figura 4.5, é possível observar a contribuição dos ganhos solares através dos envidraçados para o aquecimento do espaço durante grande parte do dia, contribuindo para o aumento das cargas térmicas a remover. Na figura 4.6, a envolvente opaca horizontal (teto) liberta calor para o espaço até ao meio da manhã aumentando assim os ganhos internos. A envolvente opaca vertical (parede exterior) tem um comportamento inverso ao teto, ou seja, liberta calor para o espaço durante grande período do dia.

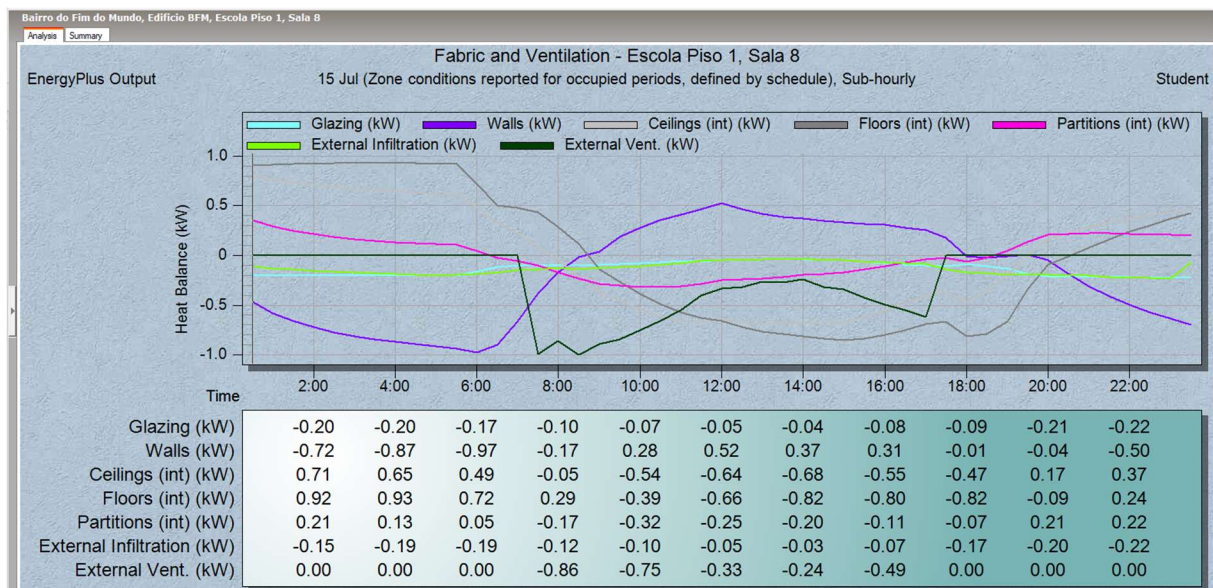


Figura 4.5 – comportamento envoltura opaca no arrefecimento [DB]

O calor sensível e latente, a remover do espaço (sala 8) de acordo com a simulação para dimensionamento da potência de aquecimento (Cooling Design) a potência de projeto (dimensionamento do equipamento a instalar) é de 2,27 KW.

A análise dos resultados do espaço de referência, permite observar a tendência das necessidades energéticas do edifício base, como indica a figura 4.6.

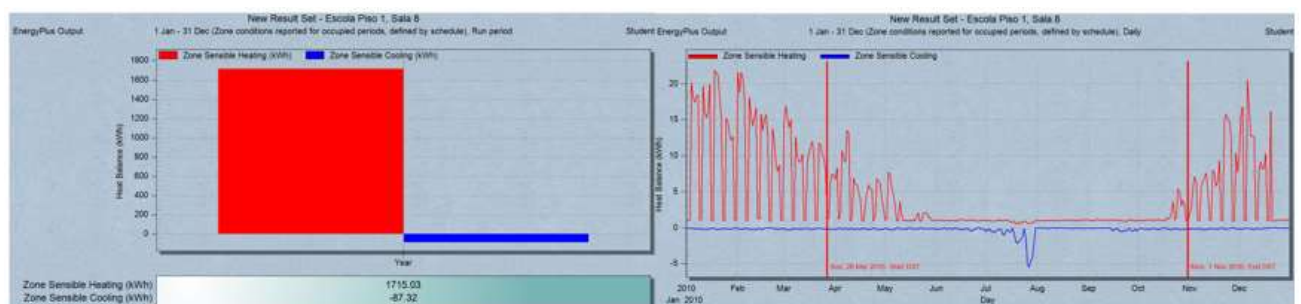


Figura 4.6 – tendência da sala 8 em termos de necessidades energéticas

4.4. Balanço Energético dos Edifícios

Como acima referido, a simulação incidiu apenas aos espaços uteis, ou seja, com necessidades de aquecimento e arrefecimento, significa com ocupação permanente. Não foram incluídos na simulação os espaços não uteis. Para obtenção do balanço energético, que inclui o consumo de energia, foi efetuada uma simulação do período anual. O DesignBuilder//EnergyPlus permite realizar simulação detalhada, ou seja, faz uma análise multizona do desempenho energético do edifício. A simulação anual irá permitir a obtenção de dados que viabiliza o estudo de novas soluções na gestão energética do edifício, caso seja necessário.

4.4.1. Indicadores Energéticos

Os indicadores para as necessidades de aquecimento, arrefecimento, e as emissões GEE da simulação do edifício base, são apresentados em KWh na figura 4.7. Os resultados da simulação do modelo do edifício base (entende-se como edifício base, o conjunto dos espaços com necessidades de aquecimento e arrefecimento nas duas tipologias) apresenta uma necessidade energética de 81410,05 KWh/ano na estação de aquecimento (inverno); e uma necessidade energética de 89,79 KWh/ano para a estação de arrefecimento (verão). Com respeito as emissões de CO₂ o edifício apresenta um valor de 18331 Kg/ano. É possível observar a tendência do edifício base em termos de necessidades, pois apresenta maiores necessidades de aquecimento.

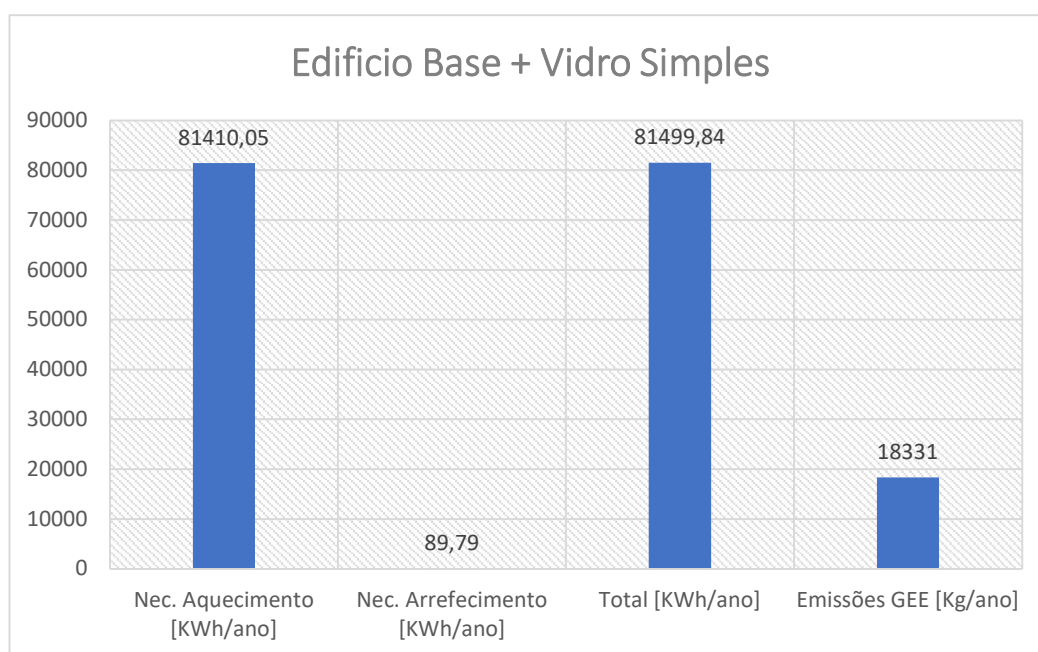


Figura 4.7 – indicadores energéticos [adaptado do DB]

4.4.2. Consumo mensal de Energia

Uma análise mais detalhada permite perceber melhor as reais lacunas do edifício em termos de eficiência energética. Para este fim é necessário observar o comportamento do edifício no que se refere ao consumo de energia ao longo do ano. Com base na simulação do edifício base, observa-se que o maior consumo ocorre durante o período de aquecimento (Inverno), como indica a figura 4.8.

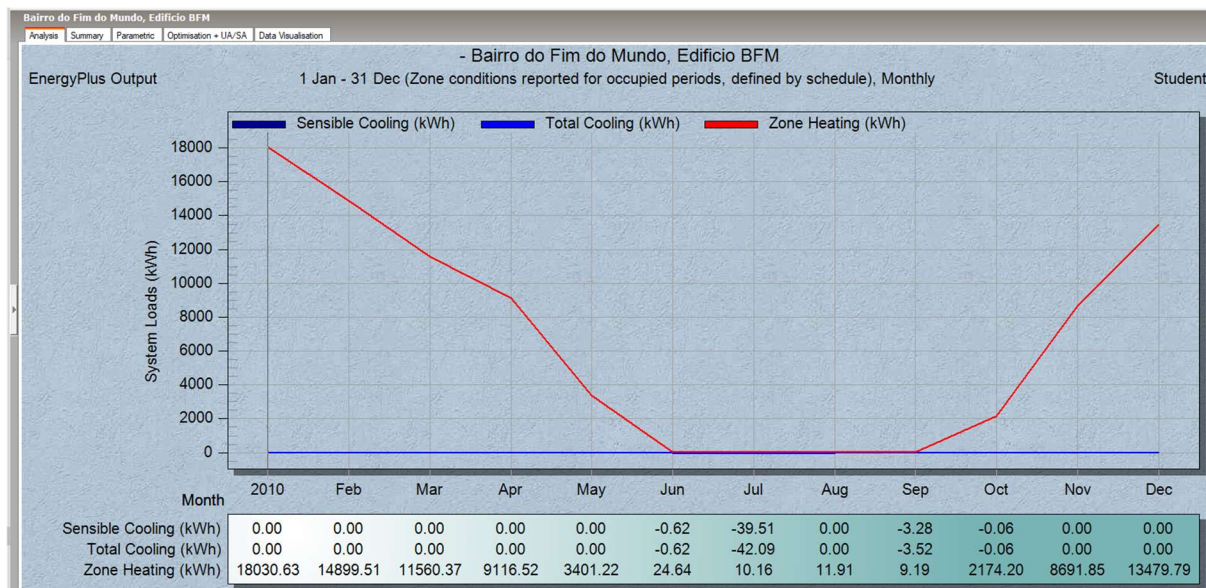


Figura 4.8 – consumo para aquecimento e arrefecimento do edifício [DB]

Faz parte deste estudo dimensionar a sub-rede elétrica (PV). O DesignBuilder//Energyplus, permite dimensionar a produção de energia e compara-la com o consumo durante o período. A figura 4.9 apresenta o consumo de energia elétrica ao longo do ano em comparação com a produção de energia a partir dos painéis solares fotovoltaico. A figura 4.9 permite concluir que para período de aquecimento(inverno) o consumo de energia é superior a produção, ou seja, existe um “défice”. Para o período de arrefecimento (verão), a produção de energia é superior ao consumo, ou seja, existe um “excedente”. Para os dois períodos (aquecimento e arrefecimento) a produção de energia para assistir a micro-rede térmica está garantida.

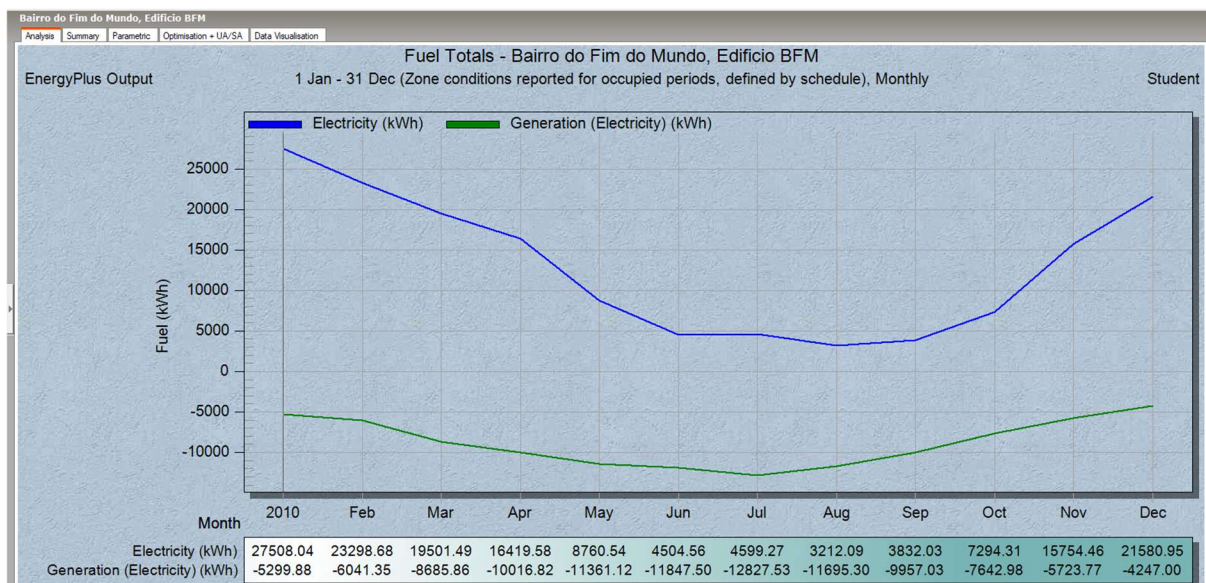


Figura 4.9 – consumo e produção de energia desagregados [adaptado do DB]

4.5. Medidas de Melhoria - Aplicação

Para o presente estudo, as medidas de melhoria aplicadas, tem como pressuposto as características dos edifícios em estudo. Como indicado na secção 3.1, os edifícios em estudo são das décadas de 70/80. Por esta razão foram seleccionadas as medidas que são consideradas indicadas a aplicar e a sua caracterização, tendo em conta os elementos construtivos dos edifícios, neste caso a reabilitação dos mesmos.

4.5.1. Isolamento térmico nas paredes exteriores

Este tipo de estratégia de intervenção pode ser concebido atendendo a três diferentes tipos de aplicação, nomeadamente o reforço do isolamento térmico pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar de paredes duplas. Para a reabilitação deste caso de estudo, foi seleccionado o reforço do isolamento térmico pelo exterior por este apresentar uma maior facilidade de aplicação e ser considerado mais eficaz. Dentro deste tipo de reforço foi considerada a solução que consiste em sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos como. A escolha desta solução deve-se ao facto de esta ser considerada mais eficiente em comparação com outros tipos de solução de reforço de isolamento pelo exterior.

Assim, para a análise desta medida de melhoria, foram alteradas as características construtivas das paredes exteriores conforme os requisitos desta solução. No intuito de avaliar o impacto desta medida atendendo a diferentes espessuras de isolamento térmico, a análise desta foi realizada em três situações, correspondendo cada uma delas a uma espessura de isolamento térmico diferente.

4.5.2. Isolamento térmico na cobertura

A cobertura presente no edifício em estudo é uma cobertura do tipo inclinada, pelo que, a aplicação do isolamento térmico pode ser realizada através de dois procedimentos: isolamento da esteira horizontal e isolamento das vertentes. Considerando que o desvão existente não é destinado a habitação ou lazer (desvão não-habitável), revela-se mais apropriado aplicar o isolamento térmico na esteira horizontal. No entanto, apos análise dos resultados da simulação do edifício base, conclui-se que a cobertura contribui de forma reduzida para as perdas na envolvente, pelo que não foi realizado nenhum estudo sobre o impacto dessa perda para o edifício. Caso necessário, a análise desta medida de melhoria passa pela alteração da tipologia construtiva da cobertura, inserindo o isolamento térmico de acordo com os requisitos da solução.

4.5.3. Vãos envidraçados

Atendendo o ano de construção dos edifícios, as janelas existentes são antigas e apresentam já alguma degradação. Deste modo, para o caso de intervenção a nível dos vãos envidraçados, foi considerada

a substituição da janela existente por outra de maior eficiência, no intuito de melhorar o seu desempenho energético face às exigências atuais. Para o estudo desta medida de melhoria foi selecionado um vidro duplo, de modo a comparar o impacto da aplicação com cada uma das espessuras de isolamento. O vão envidraçado escolhido para este estudo foi o Saint Goban Planiclear⁷. Esta solução consiste num envidraçado duplo com dois vidros de características diferentes e uma maior camada de ar.

Após a modelação e simulação do edifício base, e para otimização do modelo geométrico, foram aplicadas algumas medidas de melhorias, que consistiram na colocação de três diferentes espessuras de isolamento, 0,02 m, 0,04 m e 0,06 m respetivamente e uma substituição dos vãos envidraçados para vidros duplos. Os resultados da simulação nas condições acima referida e indicada na tabela 4.3 e no gráfico 4.10 permite observar uma redução das necessidades energéticas em termos globais 13%, 22% e 25% para as espessuras de isolamento de 0,02 m, 0,04 m, 0,06 m respetivamente. Em termos da redução dos GEE, os valores são mais significativos na ordem dos 24%, 49% e 55%. a colocação do isolamento térmico na parede exterior conduz a tendências contrárias relativamente às necessidades de aquecimento e arrefecimento. No entanto, a tendência para a diminuição das necessidades de aquecimento é mais acentuada do que a tendência para o aumento da energia necessária para arrefecimento, o que resulta numa redução das necessidades energéticas globais.

Tabela 4.1 - Variação das necessidades energéticas após aplicação do isolamento.

Simulação	Isolamento espessura [m]	Nec. Aquecimento [KWh/ano]	Nec. Arrefecimento [KWh/ano]	Total [KWh/ano]	Variação [%]	Consumo [KWh/ano]	Produção [KWh/ano]	Emissões GEE [Kg/ano]	Emissões GEE Variação [%]
Edifício Base + Vidro Simples	-	81410,05	89,79	81499,84	-	156,27	105,35	18331	-
Com Isolamento + Vidro Duplo	0,02	71841,84	187,8	72029,64	13	143,45		13718	25
Com Isolamento + Vidro Duplo	0,04	62984,89	307,27	63292,16	22	131,54		9431	49
Com Isolamento + Vidro Duplo	0,06	60765,41	374,62	61140,03	25	128,45		8318	55

⁷ ver as características do vidro no Anexo IV

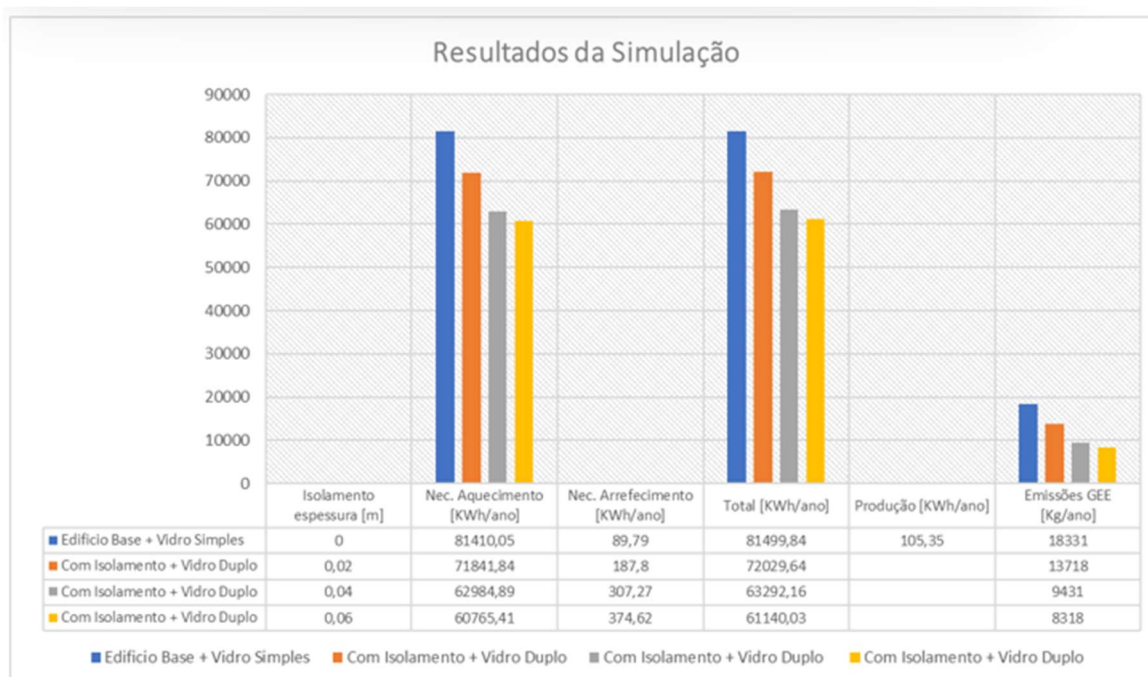


Figura 4.10 – Resultados globais com aplicação das medidas

4.6. Sistema Final Proposto

Após analisadas individualmente cada uma das medidas de melhoria indicadas neste trabalho, foi realizada a análise de diferentes combinações de medidas, no intuito de avaliar o impacto da sua aplicação simultânea e o dimensionamento dos equipamentos do sistema de climatização para o aquecimento e arrefecimento. Para esta análise foi considerada a solução de isolamento da envolvente opaca que apresentou maior impacto no desempenho energético do edifício, ou seja, a aplicação de 6 cm de isolamento, juntamente com a alteração dos vãos envidraçados, considerando para estes a solução mais eficiente (“Saint - Gobain”).

A Tabela 4.4 apresenta algumas das características técnicas dos equipamentos principais do sistema final proposto com base na simulação para micro-rede térmica.

Tabela 4.2 – características técnicas dos equipamentos (adaptado do DB)

Equipamento	Característica		Marca
Bomba de Calor - Aquecimento	Potencia Nominal [W]	40000	"Generico" DB
	Eficiencia (COP)	4	
Bomba de Calor - Arrefecimento	Potencia Nominal [W]	10800	"Generico" DB
	Eficiencia (EER)	3.72	
Bomba de Circulação de velocidade variavel			
Rede de Aquecimento B1	Caudal [m³/s]	0.000196	"Generico" DB
	Potenci Nominal [W]	5.58	
Rede de Aquecimento B2	Caudal [m³/s]	0.0172	"Generico" DB
	Potencia Nominal [W]	489.16	
Rede de Arrefecimento B1	Caudal [m³/s]	0.0038	"Generico" DB
	Potenci Nominal [W]	109.15	
Rede de Arrefecimento B2	Caudal [m³/s]	0.0188	"Generico" DB
	Potenci Nominal [W]	537.06	
Deposito de Inércia			
Aquecimento	Capacidade do deposito [m³]	37.09	"Generico" DB
	Max. Cap. Aquecimento [W]	3050892	
Arrefecimento	Caudal [m³/s]	0.0188	"Generico" DB
	Capacidade do deposito [m³]	20	

Os equipamentos descritos na tabela acima serão instalados de acordo a figura 3.36.

A micro-rede elétrica é formada por um conjunto de painéis solar fotovoltaica, foi dimensionada através de uma simulação a partir do DesignBuilder//EnergyPlus. Para esta simulação foi utilizado os dados característicos do painel “Sunmodule (100 Poly RGP)”⁸ apresentados no Anexo III.

A figura 4.12 apresenta um esquema dos principais equipamentos de uma rede fotovoltaica, com a configuração com armazenamento de energia, e um inversor.

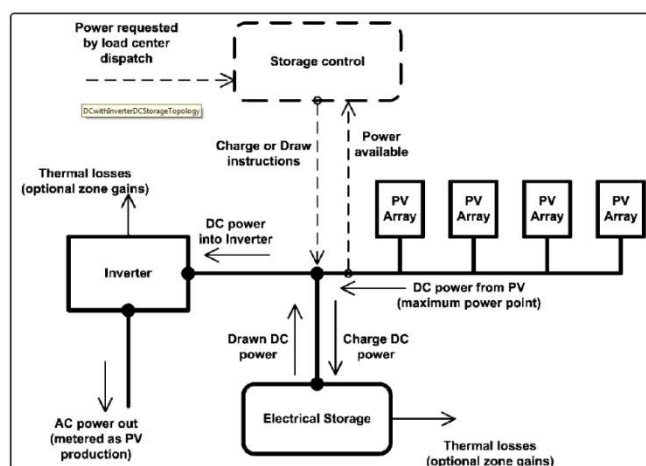


Figura 4.11 – Esquema da rede fotovoltaica com baterias de armazenamento [DB]

⁸ ver as características do painel solar fotovoltaico no Anexo III.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como foco o estudo e dimensionamento de uma micro-rede térmica e elétrica para um conjunto de moradias sociais e um edifício de serviço visando a melhoria do seu desempenho energético pela aplicação de várias medidas de melhoria para mitigar um dos grandes desafios atuais, a saber, a pobreza energética nos edifícios, a necessidade do aumento da eficiência e a implementação de tecnologias com recurso a energia de baixo custo. Como ponto de partida foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar o conhecimento acerca das ferramentas de modelação e simulação energética de edifícios, micro-rede térmica e elétrica, na vertente do seu dimensionamento com recurso a ferramentas de computação dinâmica. Foi oportuno desenvolver sensibilidade sobre a problemática da pobreza energética, e a necessidade de a combater com recurso a estratégias de eficiência energética. A análise da problemática da pobreza energética nos edifícios existentes permitiu conhecer as necessidades energéticas, e entender que o consumo de energia pode, em muitos casos, ser demasiado elevado. Esta análise ajudou a promover a ideia de que a intervenção no campo da renovação do edificado pode resultar em melhorias no comportamento térmico e energético dos edifícios de forma a contribuir para a redução dos consumos de energia deste setor contribuindo assim para uma maior e melhor eficiência dos equipamentos a instalar.

Para atingir o objetivo de avaliar o impacto de diferentes medidas de melhoria na eficiência energética de um edifício foi usado como caso de estudo um conjunto de edifícios de habitação social e um edifício de serviço (escola) construído na década de 70 e 80, selecionado por apresentar um possível potencial para renovação. Com a solução construtiva inicial, a simulação do edifício base apresentou o total de necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento de 81449 KWh/ano, e uma emissão de CO₂ de 18331 Kg/ano. A metodologia utilizada baseou-se em simulação dinâmica através do programa DesignBuilder//EnergyPlus, onde foi concebido o modelo do edifício, realizadas as alterações convenientes mediante os requisitos das medidas de melhoria e executadas as respetivas simulações obtendo o diagnóstico energético do edifício antes e após intervenção. Para esta análise foram considerados dois tipos de medidas de melhoria, que se mostraram razoáveis para as tipologias em estudo, nomeadamente a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores, e a alteração de vãos envidraçados, estabelecendo para cada medida diferentes espessuras e/ou tipos de material.

Após a modelação e simulação do edifício base, e para otimização do modelo geométrico, foram aplicadas algumas medidas de melhorias, que consistiram na colocação de três diferentes espessuras de isolamento, 0,02 m, 0,04 m e 0,06 m respetivamente e uma substituição dos vãos envidraçados para vidros duplos. A aplicação das medidas permitiu obter uma redução das necessidades energéticas em termos globais 13%, 22% e 25% para as espessuras de isolamento de 0,02 m, 0,04 m, 0,06 m respetivamente. Em termos da redução dos GEE, os valores são mais significativos na ordem dos 24%, 49% e 55%. A colocação do isolamento térmico na parede exterior conduz a tendências contrárias

relativamente às necessidades de aquecimento e arrefecimento. O diagnóstico energético atual do edifício resultou em redução para cerca de 61140 KWh/ano, correspondendo a uma redução de 25% nas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Verifica-se também que as emissões reduzem para 8318,27 Kg/m².ano, na ordem dos 55%.

A partir dos resultados obtidos de cada simulação concluiu-se o seguinte:

- A aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores conduz a uma maior redução das necessidades energéticas do que a aplicação de isolamento térmico na cobertura. Daqui pode concluir-se que a relação entre superfície intervencionada e superfície total da envolvente influencia o consumo energético;
- A renovação baseada apenas na alteração dos vãos envidraçados não produz reduções significativas no consumo energético. No entanto, optar por envidraçados duplos ou triplos pode revelar-se mais eficaz quando considerada uma maior espessura do espaço de ar entre os vidros;
- A combinação de medidas de melhoria é energeticamente mais eficaz quando aplicadas simultaneamente, ou seja, intervenção na envolvente opaca exterior e a alteração dos vãos envidraçados. Contudo, no caso de se optar pela intervenção apenas a nível da envolvente opaca exterior, a redução do consumo energético é tanto maior quanto maior for a espessura de isolamento aplicado.
- A produção de energia da micro-rede fotovoltaica é de 105,35 KWh, sendo que o edifício apresenta um consumo anual de energia, nas condições em que foram aplicadas as medidas de melhoria de 128.45 KWh, correspondendo 80% das necessidades satisfeitas pela micro-rede. Para a estação de arrefecimento (verão) a micro-rede apresenta um excedente a produção.

Um trabalho efetuado a este nível de detalhe e para um âmbito tão alargado tem naturalmente várias fontes de incerteza associadas, relacionadas quer com os métodos empregues, quer com os dados utilizados. Para a estimativa das necessidades e dos consumos, foi necessário adotar critérios que introduzem naturalmente um erro nos resultados. É exemplo disso, o processo de definição das soluções construtivas dos edifícios, onde foi necessário assumir que não possuíam caixa de ar nem isolamento e estimar a sua espessura. Foi estimado o mesmo número de ocupantes para todas as moradias, pelo que implica um grau de imprecisão mais substancial. Todos estes procedimentos e pressupostos adotados deveram-se a limitações ao nível da disponibilidade de dados com o grau de detalhe pretendido. Esta foi, aliás, a principal dificuldade associada à realização deste trabalho. De notar que o caso prático deste trabalho foi realizado com utilizando o programa de simulação dinâmica DesignBuilder//EnergyPlus, e que todos os resultados apresentados correspondem a um determinado edifício. Desta forma, estes dados não devem ser considerados como uma generalidade, sendo que cada caso é um caso e a renovação de edifícios deve ser estudada rigorosamente para cada um deles. Contudo conclui-se que o parque habitacional poderá ter um grande potencial de poupança energética, particularmente para edifícios sociais e de serviços, aproveitando o potencial de sistemas de climatização que possam servir um conjunto de edifícios de tipologias diferentes, podendo contribuir

significativamente para o alcance dos objetivos definidos pela União Europeia a fim de contribuir para o desenvolvimento sustentável. O presente trabalho permitiu explorar o potencial da redução do consumo de energia nos edifícios, e o impacto das ferramentas de simulação dinâmica no processo de avaliação da necessidade energética dos edifícios.

Como desenvolvimento futuro nesta área de estudo, apresentamos como proposta trabalhos futuros que visam o aperfeiçoamento e a continuidade deste trabalho. No âmbito do estudo da renovação de edifícios, torna-se cada vez mais fundamental tirar proveito do potencial da aplicação de ferramentas de simulação dinâmica na modelação e simulação de edifício com vista a sua eficiência e melhoria energética, por esta razão e com objetivo de mo, seria apropriado considerar:

- O estudo de um maior número de casos práticos, de modo a permitir compreender onde incidem as melhores soluções de melhoria tendo em conta diferentes características e tipologias dos edifícios;
- Estudo pormenorizado do potencial do armazenamento de energia, com objetivo da sua aplicação para um ambiente de maior escala, com bairros e zonas urbanas.
- Fazer a comparação entre diferentes casos de estudo;
- A implementação de outras medidas de reabilitação, nomeadamente a aplicação de coletores solares;
- Apresentar mais propostas considerando diferentes perspetivas, como o caso de micro-redes para servir diferentes tipologias de edifícios tirando proveito do seu perfil de utilização

Referências

- [1] European Commission Communication from the Commission - The European Green Deal Brussel COM (2019) 640 final (2019)
- [2] European Commission Energy efficiency in buildings focus: Energy efficiency in buildings (2020) https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_en
- [3] Build Up. (2017). OVERVIEW | EU support for (deep) energy renovation of buildings. <https://www.buildup.eu/fr/node/55397>
- [4] European Commission. (2021). Energy performance of buildings directive. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [5] European Commission. (2020b). New energy performance of buildings directive kicks in. https://ec.europa.eu/info/news/new-energy-performance-buildings-directive-kicks-2020-mar-09_en
- [6] Eurostat Inability to keep home adequately warm - EU-SILC survey Database (2021) https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc_mdes01&lang=en
- [7] F. Anagnostopoulos, M. De Groote Energy performance of the housing stock Buildings Performance Institute, Europe. Energy Poverty Handbook (2016)
- [8] European Commission. (2020c). Financing renovations. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/financing-renovations_en
- [9] Inspire Project iNSPiRe - Development of systemic packages for deep energy renovation of residential and tertiary buildings including envelope and systems Deliverable. Survey on the Energy Needs and Architectural Features of the EU Building Stock (2014)
- [10] European Commission Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions - A renovation wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives Brussels. COM (2020), p. 662 (2020)
- [11] P. Bertoldi, M. Economidou, V. Palermo, B. Boza-Kiss, V. & odeschi How to finance energy renovation of residential buildings: Review of current and emerging financing instruments in the EU Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment (May) (2020) <https://doi.org/10.1002/wene.384>
- [12] A. Bisello Assessing multiple benefits of housing regeneration and smart city development: The European project SINFONIA Sustainability, 12 (19) (2020), p. 8038,2020 <https://doi.org/10.3390/su12198038>
- [13] P. Palma, J.P. Gouveia, S.G. Simoes Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households Energy and Buildings, 190 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.002>
- [14] J.P. Gouveia, P. Palma Harvesting big data from residential buildings energy performance certificates: Retrofitting and climate change mitigation insights at a regional scale *Environ. Res. Lett.*, 14 (09) (2019), p. 5007, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3781>
- [15] M. Ferreira, M. Almeida, A. Rodrigues Cost optimality and net-zero energy in the renovation of Portuguese residential building stock – Rainha Dona Leonor neighbourhood case-study International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 5 (4) (2014), pp. 306-317 <https://doi.org/10.1080/2093761X.2014.979268>

- [16] A.B. Vasconcelos, M.D. Pinheiro, A. Manso, A. Cabaço EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building *Energy and Buildings*, 111 (2016), pp. 12-25
- [17] M. Almeida, M. Ferreira, R. Barbosa Relevance of embodied energy and carbon emissions on assessing cost effectiveness in building renovation—Contribution from the analysis of case studies in six European countries *Buildings*, 8 (8) (2018), p. 103 <https://doi.org/10.3390/buildings8080103>
- [18] J. Terés-Zubiaga, R. Bolliger, M.G. Almeida, R. Barbosa, J. Rose, K.E. Thomsen, *et al.*
Cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables – Methodology assessment proposed in IEA EBC Annex 75 and a demonstration case study
Energy & Buildings, 224 (2020), Article 110280, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110280>
- [19] S. Paiho, J. Ketomäki, L. Kannari, T. Häkkinen, J. Shemeikka A new procedure for assessing the energy-efficient refurbishment of buildings on district scale *Sustainable Cities and Society*, 46 (February) (2019), Article 101454 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101454>
- [20] Self, S.J.; Reddy, B.V.; Rosen, M.A. Geothermal Heat Pump Systems: Status Review and Comparison with Other Heating Options. *Appl. Energy* 2013, 101, 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.048>
- [21] State of the Art, Perspective and Obstacles of Ground-Source Heat Pump Technology in the European Building Sector: A Review by Davide Menegazzo <https://doi.org/10.3390/en15072685>
- [22] Sarbu, I.; Sebarchievici, C. General Review of Ground-Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling of Buildings. *Energy Build.* 2014, 70, 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.068>
- [23] Capozza, A.; de Carli, M.; Zarrella, A. Design of Borehole Heat Exchangers for Ground-Source Heat Pumps: A Literature Review, Methodology Comparison and Analysis on the Penalty Temperature. *Energy Build.* 2012, 55, 369–379. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.041>
- [24] Ramanujam, J. et al., “Inorganic photovoltaics—Planar and nanostructured devices,” *Prog. Mater. Sci.* 82, 294–404 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.03.005>
- [25] Mandal, P., Madhira, S. T. S., haque, A. U., Meng, J., and Pineda, R. L. (2012). Forecasting Power Output of Solar Photovoltaic System Using Wavelet Transform and Artificial Intelligence Techniques. *Proced. Comp. Sci.* 12, 332–337. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.09.080>
- [26] Tao, C., Shanxu, D., and Changsong, C. (2010). “Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without Using Solar Radiation Measurement,” in *The 2nd International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (IEEE)*. <https://doi.org/10.1109/pedg.2010.5545754>
- [27] Optimal Sizing of a Grid Independent Renewable Heating System for Building Decarbonisation
By Si Chen; Daniel Friedrich; Zhibin Yu <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.746268>
- [28] Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., and Kay, M. (2018). Battery Energy Storage System Size Determination in Renewable Energy Systems: A Review. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 91, 109–125.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047>
- [29] Prasad, A. A., Taylor, R. A., and Kay, M. (2017). Assessment of Solar and Wind Resource Synergy in Australia. *Appl. Energ.* 190, 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.135>
- [30] Jamal, T., Carter, C., Schmidt, T., Shafiullah, G. M., Calais, M., and Urmee, T. (2019). An Energy Flow Simulation Tool for Incorporating Short-Term PV Forecasting in a Diesel-PV-Battery Off-Grid Power Supply System. *Appl. Energ.* 254, 113718. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113718>
- [31] Dragicevic, T., Pandzic, H., Skrllec, D., Kuzle, I., Guerrero, J. M., and Kirschen, D. S. (2014). Capacity Optimization of Renewable Energy Sources and Battery Storage in an Autonomous Telecommunication Facility. *IEEE Trans. Sustain. Energ.* 5 (4), 1367–1378. <https://doi.org/10.1109/tste.2014.2316480>

- [32] Castillo, A., and Gayme, D. F. (2014). Grid-scale Energy Storage Applications in Renewable Energy Integration: A Survey. *Energy Convers. Manag.* 87, 885–894. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.063>
- [33] Zhang, W., Maleki, A., Rosen, M. A., and Liu, J. (2018). Optimization with a Simulated Annealing Algorithm of a Hybrid System for Renewable Energy Including Battery and Hydrogen Storage. *Energy* 163, 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.112>
- [34] Sarbu, I., and Sebarchievici, C. (2018). A Comprehensive Review of thermal Energy Storage. *Sustainability* 10 (1), 191. <https://doi.org/10.3390/su10010191>
- [35] Stutz, B.; Le Pierres, N.; Kuznik, F.; Johannes, K.; Del Barrio, E.P.; Bédécarrats, J.-P.; Gibout, S.; Marty, P.; Zalewski, L.; Soto, J.; et al. Storage of thermal solar energy. *Comptes Rendus Phys.* 2017, 18, 401–414 <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.09.008>
- [36] Dahash, A.; Ochs, F.; Janetti, M.B.; Streicher, W. Advances in seasonal thermal energy storage for solar district heating applications: A critical review on large-scale hot-water tank and pit thermal energy storage systems. *Appl. Energy* 2019, 239, 296–315 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.189>
- [37] Guo, F.; Yang, X.; Xu, L.; Torrens, I.; Hensen, J. A central solar-industrial waste heat heating system with large scale borehole thermal storage. *Procedia Eng.* 2017, 205, 1584–1591. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.274>
- [38] Reed, A.L.; Novelli, A.P.; Doran, K.L.; Ge, S.; Lu, N.; McCartney, J.S. Solar district heating with underground thermal energy storage: Pathways to commercial viability in North America. *Renew. Energy* 2018, 126, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.019>
- [39] A State-of-the-Art Review on Sensible and Latent Heat Thermal Energy Storage Processes in Porous Media: Mesoscopic Simulation by Riheb Mabrouk; Hassane Naji; Ali Cemal Benim *Appl. Sci.* 2022, 12(14), 6995; <https://doi.org/10.3390/app12146995>
- [40] Saffari, M.; De Gracia, A.; Fernández, C.; Cabeza, L.F. Simulation-based optimization of PCM melting temperature to improve the energy performance in buildings. *Appl. Energy* 2017, 202, 420–434.
- [41] P.Pardo; A.Deydier; Z.Anxionnaz-Minvielle review on high temperature thermochemical heat energy storage *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 32*, April 2014, Pages 591-610 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.014>
- [42] M. Habibi, A. Hakkaki-Fard Long-term energy and exergy analysis of heat pumps with different types of ground and air heat exchangers *Int J Refrig*, 100 (2019), pp. 414-433 <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.02.021>
- [43] M. Smith, A. Bevacqua, S. Tembe, P. Lal Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: a comparative analysis of energy efficiency in New Jersey Sustain Energy Technol Assessments, 47 (2021), p. 101364 <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101364>
- [44] Z. Han, M. Zheng, F. Kong, F. Wang, Z. Li, T. Bai Numerical simulation of solar assisted ground-source heat pump heating system with latent heat energy storage in severely cold area *Appl Therm Eng*, 28 (2008), pp. 1427-1436 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.09.013>
- [45] G. Emmi, A. Zarrella, M. De Carli A heat pump coupled with photovoltaic thermal hybrid solar collectors: a case study of a multi-source energy system *Energy Convers Manag*, 151 (2017), pp. 386-399 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114218>
- [46] G. Nouri, Y. Noorollahi, H. Yousefi Designing and optimization of solar assisted ground source heat pump system to supply heating, cooling and hot water demands *Geothermics*, 82 (2019), pp. 212-231 <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.06.011>

- [47] N. Sommerfeldt, H. Madani In-depth techno-economic analysis of PV/Thermal plus ground source heat pump systems for multi-family houses in a heating dominated climate *Sol Energy*, 190 (2019), pp. 44-62
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.080>
- [48] R. Thygesen, B. Karlsson Economic and energy analysis of three solar assisted heat pump systems in near zero energy buildings *Energy Build*, 66 (2013), pp. 77-87 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.042>
- [49] D. Carli, M. Ruggeri, M. Bottarelli, M. Mazzer Grid-assisted photovoltaic power supply to improve self-sustainability of ground-source heat pump systems 2013 IEEE international conference on industrial technology (ICIT) (2013), pp. 1579-1584 <https://doi.org/10.1109/ICIT.2013.6505908>
- [50] A. Franco, F. Fantozzi Experimental analysis of a self-consumption strategy for residential building: the integration of PV system and geothermal heat pump *Renew Energy*, 86 (2016), pp. 1075-1085
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.030>
- [51] Mikulčić, H.; Ridjan Skov, I.; Dominković, D.F.; Wan Alwi, S.R.; Manan, Z.A.; Tan, R.; Duić, N.; Hidayah Mohamad, S.N.; Wang, X. Flexible Carbon Capture and Utilisation technologies in future energy systems and the utilisation pathways of captured CO₂. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 114, 109338.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109338>
- [52] Seyam, S.; Dincer, I.; Agelin-Chaab, M. Thermodynamic analysis of a hybrid energy system using geothermal and solar energy sources with thermal storage in a residential building. *Energy Storage* 2019.
<https://doi.org/10.1002/est2.103>
- [53] M. Rodriguez-Hidalgo, P. Rodriguez-Aumente, A. Lecuona, M. Legrand, R. Ventas Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: the optimum size of the storage tank *Appl Energy*, 97 (0) (2012), pp. 897-906 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.088>
- [54] J. Li, Y. Guo, G. Platt, J.K. Ward Renewable energy aggregation with intelligent battery controller *Renew Energy*, 59 (0) (2013), pp. 220-228 <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.03.027>
- [55] A. Chesi, G. Ferrara, L. Ferrari, S. Magnani, F. Tarani Influence of the heat storage size on the plant performance in a smart user case study *Appl Energy*, 112 (0) (2013), pp. 1454-1465
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.089>
- [56] Gabriele Comodi^a Andrea Giantomassi^b Marco Severini^b Multi-apartment residential microgrid with electrical and thermal storage devices: Experimental analysis and simulation of energy management strategies *Volume 137*, 1 January 2015, Pages 854-866 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.068>
- [57] Zero emission neighbourhoods and positive energy districts – A state-of-the-art review
Author Johannes Brozovsky; Arild Gustavsen; Niki Gaitani *Volume 72*, September 2021, 103013
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103013>
- [58] R. Hinterberger, C. Gollner, M. Noll, S. Meyer, H.-G. Schwarz
White paper on PED reference framework for positive energy districts and neighbourhoods (2020) <https://ipi-urbaneurope.eu/ped/>
- [59] R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq Improving the energy efficiency of the existing building stock: a critical review of commercial and institutional buildings *Renew Sustain Energy Rev*, 53 (2015), pp. 1032-1045
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.084>
- [60] V.S.K.V. Harish, A. Kumar A review on modeling and simulation of building energy systems *Renew Sustain Energy Rev*, 56 (2015), pp. 1272-1292 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>
- [61] J.M. Santos-Herrero, J.M. Lopez-Guede, I. Flores, J.M. Sala An ongoing review on building energy efficiency improvement systems IV European Conference on Renewable Energy Systems, Istanbul (2016)

- [62] Modeling, simulation and control tools for nZEB: A state-of-the-art review Author J.M.Santos-Herrero ; J.M.Lopez-Guede; I.Flores-Abascal <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110851>
- [63] R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq Improving the energy efficiency of the existing building stock: a critical review of commercial and institutional buildings Renew Sustain Energy Rev, 53 (2015), pp. 1032-1045 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.084>
- [64] V.S.K.V. Harish, A. Kumar A review on modeling and simulation of building energy systems Renew Sustain Energy Rev, 56 (2015), pp. 1272-1292 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>
- [65] S.S. Chandel, A. Sharma, B.M. Marwaha Review of energy efficiency initiatives and regulations for residential buildings in India Renew Sustain Energy Rev, 54 (2016), pp. 1443-1458, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.060>
- [66] J. Kneifel Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings Energy Build, 42 (2010), pp. 333-340, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.011>
- [67] I. Susorova, M. Tabibzadeh, A. Rahman, H.L. Clack, M. Elnimeiri
The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings Energy Build, 57 (2013), pp. 6-13, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.035>
- [68] M.H. Chung, J.C. Park Development of PCM cool roof system to control urban heat island considering temperate climatic conditions Energy Build, 116 (2016), pp. 341-348, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.056>
- [69] H. Sha, P. Xu, Z. Yang, Y. Chen, J. Tang Overview of computational intelligence for building energy system design Renew Sustain Energy Rev, 108 (2019), pp. 76-90, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.018>
- [70] R. Escandón, F. Ascione, N. Bianco, G.M. Mauro, R. Suárez, J.J. Sendra
Thermal comfort prediction in a building category: artificial neural network generation from calibrated models for a social housing stock in southern Europe Appl Therm Eng, 150 (2019), pp. 492-505 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.013>

Anexo I

Lista de trabalhos sobre BEPS

List of the reviewed papers about BEPS.

Ref.	Authors	Focus of the article	BEPS Tool
[37]	Magnier et al. (2010)	"Optimization of building design using TRNSYS simulations and algorithms"	<i>TRNSYS</i>
[11]	Kurnitski et al. (2011)	"Cost optimal and nZEB energy performance calculations for residential buildings"	<i>IDA-ICE</i>
[20]	Adhikari et al. (2012)	"nZEBs: Expense or Investment?"	<i>EnergyPlus</i>
[7]	Barthelmes et al. (2014)	"The influence of energy targets and economic concerns in design strategies for a residential nZEB"	<i>EnergyPlus</i>
[19]	Becchio et al. (2015)	"Cost optimality assessment of a single-family house for the nZEB target"	<i>EnergyPlus</i>
[28]	Harish et al. (2015)	"A review on modeling and simulation of building energy systems"	<i>TRNSYS</i>
[38]	De Boeck et al. (2015)	"A literature review about improving the energy performance of residential buildings"	<i>TRNSYS</i>
[39]	Valdiserri et al. (2015)	"Retrofit strategies applied to a tertiary building assisted by TRNSYS"	<i>TRNSYS</i>
[40]	Vocale et al. (2015)	"Space heating load estimation procedure for CHP systems sizing"	<i>TRNSYS</i>
[41]	Carrascal et al. (2016)	"Heating System use in aged buildings via MPC"	<i>TRNSYS</i>
[42]	Sarbu et al. (2016)	"Evaluation of radiator and radiant floor heating systems"	<i>TRNSYS</i>
[43]	Sarbu et al. (2016)	"Advances in geothermal energy, using ground-source heat pump systems"	<i>TRNSYS</i>
[44]	Harish et al. (2016)	"Reduced order modeling of a building energy system model through an optimization routine"	<i>TRNSYS</i>
[12]	Kang et al. (2017)	"Development of an nZEB life cycle cost assessment tool for fast decision making in the early design phase"	<i>EnergyPlus</i>
[6]	Aste et al. (2017)	"Multi-functional integrated system for energy retrofit of existing buildings: a solution towards nZEB standards"	<i>TRNSYS</i>
[45]	Ogando et al. (2017)	"Energy modeling and automated calibrations of ancient building simulations: a school"	<i>TRNSYS</i>
[46]	Baglivo et al. (2017)	"Envelope design optimization by thermal modeling of a building in a warm climate"	<i>TRNSYS</i>
[14]	Péan et al. (2017)	"Impact of management on thermal comfort vs energy costs in a residential nZEB"	<i>TRNSYS</i>
[15]	Guillén et al. (2017)	"Comfort settings and energy demand for residential nZEB in warm climates"	<i>TRNSYS</i>
[17]	Cellura et al. (2017)	"Redesign of a rural building in a Heritage site in Italy: towards the nZEB target"	<i>TRNSYS</i>
[8]	Murano et al. (2017)	"The significant imbalance of nZEB energy needs for heating and cooling in Italian climatic zones"	<i>EnergyPlus</i>
[9]	Cornaro et al. (2017)	"Energy saving assessment of STPV modules Integrated into nZEB"	<i>IDA-ICE</i>
[10]	Cornaro et al. (2017)	"Outdoor characterization of PCM and assessment of their energy saving potential to reach nZEB"	<i>IDA-ICE</i>
[5]	Loukaidou et al. (2017)	"nZEBs: Cost-optimal analysis of building envelope characteristics"	<i>EnergyPlus</i>
[47]	González et al. (2018)	"Optimization model for evaluating on-site renewable technologies with storage in nZEBs"	<i>CPLEX</i>
[48]	Bozkaya et al. (2018)	"A dynamic building and aquifer co-simulation method for thermal imbalance investigation"	<i>TRNSYS</i>
[49]	Palme et al. (2018)	"UWG-TRNSYS Simulation coupling for urban building energy modeling"	<i>TRNSYS</i>
[50]	Iturriaga et al. (2018)	"Optimal renovation of buildings towards the nZEB standard"	<i>TRNSYS</i>
[51]	Yoon et al. (2018)	"Strategies for virtual in-situ sensor calibration in building energy systems"	<i>TRNSYS</i>

Anexo II

Positive Energy Districts EBC ANNEX 83

Factsheet

Positive Energy Districts

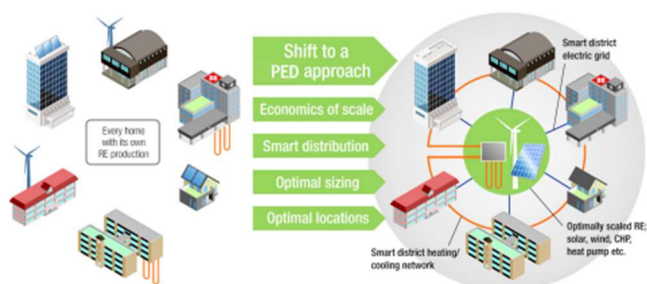
EBC ANNEX 83

This project is enhancing international co-operation on a positive energy district (PED) development. The basic principle of a PED is to create an area within the city boundaries, capable of generating more energy than is used, and agile / flexible enough to respond to energy market variations. Rather than simply achieving an annual net energy surplus, it should also support minimizing impacts on the connected centralized energy networks by offering options for increasing onsite load-matching and self-use of energy, technologies for short- and long-term energy storage, and providing energy flexibility with smart control.

PEDs can include all types of buildings present in the urban environment and they are not isolated from the energy grid. Within the research community, the PED is an emerging concept intended to shape cities into carbon neutral communities in the near future. Reaching the goal of a PED requires firstly improving energy efficiency, secondly cascading local energy flows by making use of any surpluses, and thirdly using low-carbon energy

PROJECT OBJECTIVES

- 1 create a shared in-depth definition of a positive energy district by means of a multi-stakeholder governance model
- 2 develop the required information and guidance for implementing the necessary technical solutions that can be replicated and ultimately scaled up to the city level
- 3 explore novel technical and service opportunities related to monitoring solutions, big data, data management, smart control and digitalisation technologies as enablers of PEDs
- 4 develop the required information and guidance for the planning and implementation of PEDs



Positive energy districts offer opportunities for improved optimization and higher cost-efficiency in providing urban energy solutions.
Source: VTT Technical Research Centre of Finland

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The International Energy Agency (IEA) was established as an autonomous body within the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) in 1974, with the purpose of strengthening co-operation in the vital area of energy policy. As one element of this programme, member countries take part in various energy research, development and demonstration activities. The Energy in Buildings and Communities Programme has co-ordinated various research projects associated with energy prediction, monitoring and energy efficiency measures in both new and existing buildings. The results have provided much valuable information about the state of the art of building analysis and have led to further IEA co-ordinated research.

EBC VISION

By 2030, near-zero primary energy use and carbon dioxide emissions solutions have been adopted in new buildings and communities, and a wide range of reliable technical solutions have been made available for the existing building stock.

EBC MISSION

To accelerate the transformation of the built environment towards more energy efficient and sustainable buildings and communities, by the development and dissemination of knowledge and technologies through international collaborative research and innovation.

production to cover the remaining energy use. Smart control and energy flexibility are needed to match demand with production locally as far as practical, and also to minimize the burdens and maximize the usefulness of PEDs on the grid at large.

The planned deliverables from this project are:

- definitions and key concepts for positive energy districts,
- methods, tools and technologies for realizing positive energy districts,
- governance principles and impact assessment for positive energy districts, and
- case studies on positive energy districts and related technologies.

Project duration

Ongoing (2019 - 2024)

Operating Agents

Dr Pekka Tuominen and Dr Francesco Reda
Pekka.Tuominen@vtt.fi
Francesco.Red@vtt.fi
VTT Technical Research Centre of Finland
Vuorimiehentie 3, Espoo
PO Box 1000
FI-02044 VTT
FINLAND

Participating countries (provisional)

Austria, Belgium, Canada, P.R. China,
Denmark, Finland, France, Germany, Ireland, the Netherlands,
Portugal, Spain, Switzerland, UK, USA

Further information

www.iea-ebc.org

Published by: EBC Executive Committee Support Services Unit
© 2020 AECOM Ltd on behalf of the
IEA Energy in Buildings and Communities
Technology Collaboration Programme
www.iea-ebc.org

Anexo III

Caraterística do painel solar

Sunmodule[®] SW 100 POLY RGP



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

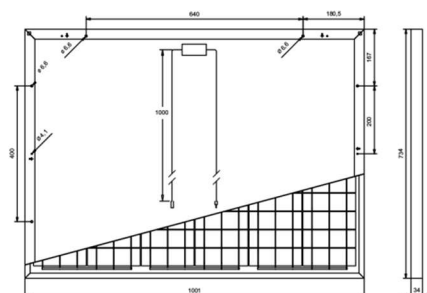
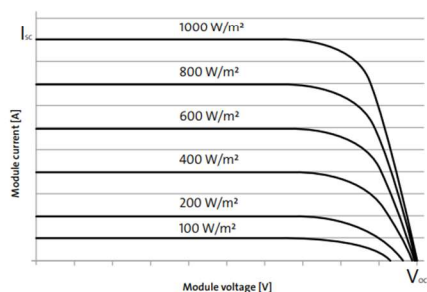
Maximum power	P_{max}	100 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	44.2 V
Maximum power point voltage	V_{mp}	37.6 V
Short circuit current	I_{sc}	3.02 A
Maximum power point current	I_{mp}	2.75 A
Module efficiency	η_m	13.61 %

*STC: 1000 W/m², 25 °C, AM 1.5

1) Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power Controlled).

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.051 % / °C
TC V_{oc}	-0.31 % / °C
TC P_{mp}	-0.41 % / °C
Operating temperature	-40 to +85 °C



PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

Maximum power	P_{max}	72.7 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	38.9 V
Maximum power point voltage	V_{mp}	33.1 V
Short circuit current	I_{sc}	2.46 A
Maximum power point current	I_{mp}	2.20 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25 °C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	72
Cell type	Polycrystalline
Cell dimensions	2.04 in x 6.14 in (52 mm x 156 mm)
Front	Tempered glass (EN 12150)
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	17.6 lbs (8.0 kg)

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum system voltage NEC	600 V
Maximum reverse current	15 A
Number of bypass diodes	2
Design Loads*	Two rail system 113 psf downward 50 psf upward

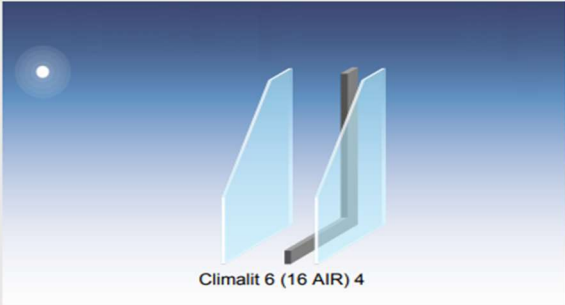
* Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.

ADDITIONAL DATA

Power sorting	+/- 10 %
J-Box	IP65
Module type (UL 1703)	1

Anexo IV

Caraterística do vidro duplo Saint - Goban



Cimalit 6 (16 AIR) 4

Vidro 1	PLANICLEAR 6 mm
Câmara 1	AIR 16 mm
Vidro 2	PLANICLEAR 4 mm

Apelido: Rosario Paquete
País: Portugal

Notas: envidraçado

FACTORES LUMINOSOS EN410 (2011-04)

Transmissão Luminosa 82 %
Reflexão Exterior (RLe) 15 %
Reflexão Interior (RLi) 15 %

TRANSMISSÃO TÉRMICA EN673-2011

Ug 2.7 W/(m².K)
em Relação à Vertical 0 °

DIMENSÕES DE FABRICO

Espessura Nominal 26.00 mm
Peso 25.0 kg/m²

ACÚSTICA EN 12758

Valores acústicos de acordo com a EN 12758 e provenientes de um Organismo

Rw (C;Ctr) 35 (-1; -5) dB
STC (ASTM E413) N/A
OITC (ASTM E1332) N/A

FATOR UV EN410 (2011-04)

TUV 54 %

CLASSE DE SEGURANÇA EN 12600

Resistência ao Ensaio do Pêndulo NPD

FACTORES ENERGÉTICOS EN410 (2011-04)

Transmissão Directa (TE) 75 %
Reflexão Exterior (Ree) 13 %
Reflexão Interior (Rei) 14 %
Absorção A1 8 %
Absorção A2 4 %

FACTORES SOLARES EN410 (2011-04)

Factores Solares (g) 0.78
Coef. Sombreamento 0.90

RESTITUIÇÃO DE COR

Transmissão Luminosa (Ra) 98
Reflexão Exterior (Ra) 98

RESISTÊNCIA ATAQUE MANUAL EN 356

Resistência Ataque Manual NPD

Calumen determina as características fotométricas e a transmissão térmica do vidro utilizando algoritmos de cálculo conformes com as seguintes normas: as normas europeias EN 410 e EN 673, a norma internacional ISO9050, a norma japonesa JIS R 3106/3107 e a norma coreana KS L 2514/2525. As regras de cálculo e os resultados do Calumen III foram validados para as normas europeias EN 410 e EN 673 pelo Relatório de Qualidade TUV Rheinland Quality 11923R-11-33705. Os valores de desempenho obtidos de acordo com estas normas são fornecidos a título indicativo e podem estar sujeitos a alterações. Apenas os valores que constam das declarações de desempenho, disponíveis no site de marcação CE da Saint-Gobain são oficiais. Os índices de atenuação acústica são medidos em condições laboratoriais conformes com as normas EN ISO 10140 e EN 12758. Os índices simulados são fornecidos apenas a título indicativo e a sua precisão está dentro de uma gama de +1-2dB. O cálculo das espessuras dos vidros está conforme com o descritivo da versão de 2012 da norma francesa DTU 39. O utilizador é responsável por assegurar que as hipóteses correctas de cálculo são introduzidas e que a DTU 39 é aplicada apropriadamente para o projecto em causa.





Anexo V

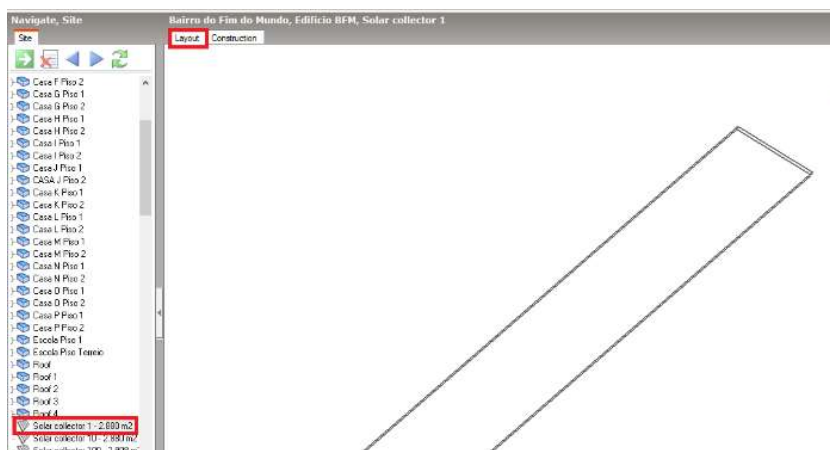
Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico

Passo 1 - Desenvolver o modelo geométrico do painel solar fotovoltaico.

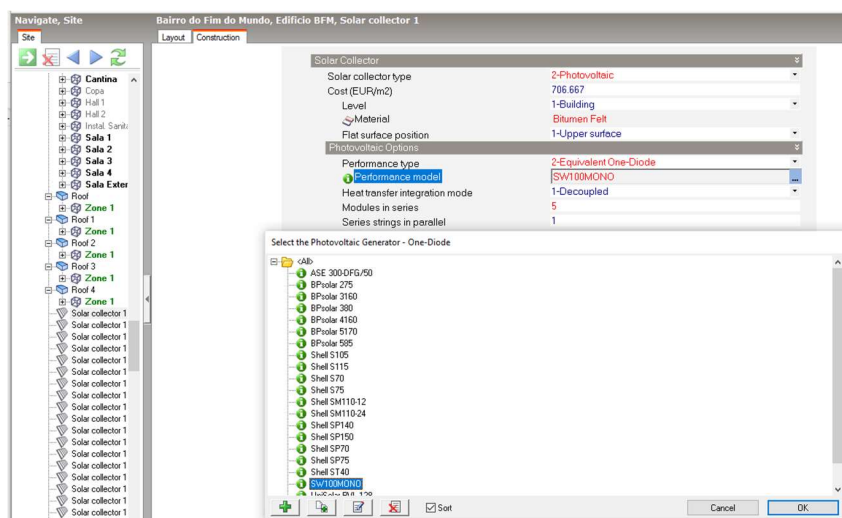
A partir do separador Layout, é possível construir a geometria, com base nas dimensões da ficha técnica do equipamento.



Passo 2 – Para aceder as propriedades do painel fotovoltaico, primeiro navegue até o objeto do coletor solar clicando duas vezes no objeto gráfico ao nível do edifício ou clique uma vez no item do coletor solar no Navegador.



Passo 3 - Uma vez no objeto Coletor solar, defina o desempenho e outras propriedades do painel no separador “construction”. Neste separador é possível definir o parâmetro de funcionamento do painel, entre Simples ou Equivalent One-diode, em função do detalhe dos resultados



No separador “**performance model**” é possível parametrizar o modelo (painel) de acordo com o manual técnico do fabricante.

Photovoltaic Generator - One-Diode

Performance Model

General

Name: SW100MONO

Cell type: 1-Crystalline Silicon

Cells in series: 72

Active area (m²): 0.58

Transmittance absorptance product: 0.9000

Semiconductor bandgap (eV): 1.12

Shunt resistance (ohms): 1000000.00

Reference temperature (°C): 25.00

Reference insolation (W/m²): 1000.00

Module heat loss coefficient (W/m²-K): 30.00

Total heat capacity (J/m²-K): 50000.00

Rated electric power output per module (W): 100.00

Availability schedule: On 24/7

Current

Short circuit current (A): 3.02

Module current at max power (A): 2.75

Temperature coefficient of short circuit current (A/K): 0.00150

Voltage

Open circuit voltage (V): 44.2

Module voltage at max power (V): 37.6

Temperature coefficient of open circuit voltage (V/K): -0.137

Nominal Operating Cell Temperature

NOCT ambient temperature (°C): 20.00

NOCT cell temperature (°C): 45.00

NOCT insolation (W/m²): 800

Model data

Help Cancel OK

Passo 4 - Defina a parte elétrica do sistema fotovoltaico no nível do edifício no separador “Generation” sob “On site electricity Generation”:

- Marque a caixa de seleção incluir centros de carga elétrica.
- Adicione um centro de carga elétrico e edite os detalhes do sistema.

Bairro do fim do Mundo, Edifício B1-H

Layout Activity Construction Coverings Lighting HVAC Generation Economics Miscellaneous CFD

On Site Electricity Generation

Include electric load centres

Number of electric load centres: 5

Load centre 1: AC Busload 1

Load centre 2: AC Busload 2

Load centre 3: AC Busload 3

Load centre 4: AC Busload 4

Load centre 5: AC Busload 5

Select the Electric load centre

AC Busload

AC Demand Load

AC Follow Thermal

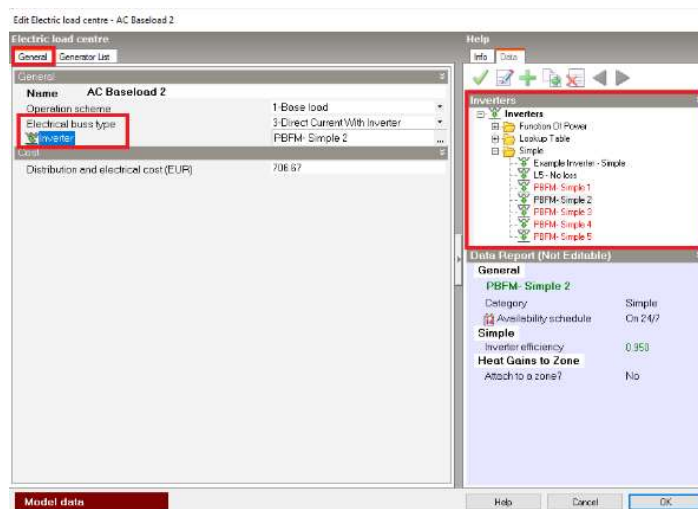
DC with inverter

DC with inverter + DC storage

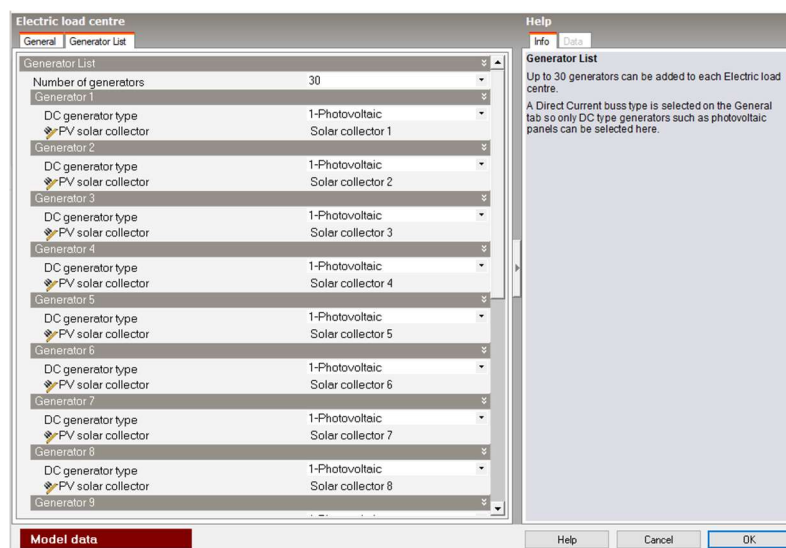
DC with inverter 2

Cancel OK

- Selecione um dos tipos de barramentos DC.
- Selecione o tipo inversor.



- Se estiver usando armazenamento elétrico, defina o tipo de armazenamento.
- Selecione o coletor solar do edifício na guia Lista de geradores.



- Certifique-se de que, tendo definido um novo centro de carga elétrica, o correto esteja selecionado no separador "Generation".

Passo 5 - simulação do desempenho anual e obtenção dos resultados.

