

## **Plataforma de gestão de Energia para Edifícios do Exército**

**Jóni André Santo Bernardo**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Mecânica**

Orientadores: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

TCor MAT Énio Rodrigo Pereira Chambel

**Júri**

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientador: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

Vogais: Dr. Ricardo Manuel Anacleto Gomes

Prof. Ana Sofia Oliveira Henriques Moita

**março 2021**



## Agradecimentos

O termo de um capítulo da minha vida, a elaboração deste trabalho, marca a transição para o próximo, no entanto, para atingir os obstáculos estipulados desde o início há que agradecer aos principais intervenientes que tornaram tudo isto possível.

Em primeiro lugar, aos meus orientadores, Professor Carlos Augusto Santos Silva e Tenente-Coronel Énio Rodrigo Pereira Chambel, agradecer pela ajuda prestada, pelos seus ensinamentos e sua disponibilidade que possibilitaram o atingir das metas estipuladas.

Aos oficiais e formadores que auxiliaram na aquisição e disponibilização de dados essenciais ao estudo e desenvolvimento do trabalho.

Aos meus camaradas de curso da AM, principalmente aos engenheiros, que através da camaradagem me incentivavam e motivavam a colocar e sobrepor metas cada vez mais “altas”.

A todos os meus amigos, principalmente ao grupo da Trancada, um muito obrigado pelo apoio e amizade ao longo destes anos todos, que contribuiu a chegar onde estou hoje.

E por fim, mas não o menos importante, agradecer à minha família e a uma pessoa em especial, pelo imenso apoio e paciência que demonstraram ao longo da realização deste trabalho, e até mesmo antes, um muito obrigado.

## Abstract

The year 2020 has been marked by the global impact that the COVID-19 pandemic had on the way we managed and lived our day-to-day lives. This pandemic has caused a huge health and economic shock that is going to have global repercussions at an economic, social and political level. This catastrophe has the potential to accelerate the process to change the world on a sustainable path, as well as having the opposite impact and delaying all the processes and efforts that have been carried out so far in pursuit of that goal.

The scope of this work consists of a study-project to manage consumption and increase the energy efficiency of the buildings of the Portuguese Army, by studying the campus of Academia Militar-Amadora. This study is divided into 2 phases: The first phase consists of the construction of an energy model in DesignBuilder, using EnergyPlus as one of the buildings on the campus as a dynamic simulator to analyse electricity consumption, propose energy efficiency measures and simulate the potential for reducing electrical costs of a building that represents about 12.5% of campus needs. The second phase consists of building an urban energy model in the City Energy Analyst on the campus and performing a dynamic simulation through EnergyPlus to verify its consumption and verify measures to increase the campus energy efficiency.

To improve the energy efficiency of the building, an audit and a design study of several systems, equipment and measures were carried out simultaneously to reduce the costs arising from the building and the economic viability of implementing these changes.

**Keywords:** Military Installations, Electricity Consumption, Energy Efficiency, *City Energy Analyst*, Dynamic Simulation, *UBEM*, *Design Builder*.

# Resumo

O ano 2020 tem sido marcado pelo impacto mundial que a pandemia do COVID-19 teve no modo em como geríamos e vivíamos o nosso dia-a-dia. Esta pandemia provocou um enorme choque na saúde e economia que terá repercussões mundiais a nível económico, social e político. Esta catástrofe, possui o potencial para acelerar o processo de mudança para um mundo mais sustentável, bem como o impacto contrário e retardar todos os processos e esforços que até agora se fizeram em busca desse objetivo.

O âmbito deste trabalho consiste num estudo-projeto para gerir os consumos e aumentar a eficiência energética dos edifícios do Exército Português, tendo como objeto de estudo o *campus* da Academia Militar-Amadora. Este estudo está dividido em 2 fases, sendo que a primeira consiste na construção de um modelo energético no *DesignBuilder*, utilizando como simulador dinâmico o *EnergyPlus*, de um dos edifícios do *campus* de forma a analisar os consumos de eletricidade, propor medidas de eficiência energética e simular o potencial de redução de custos elétricos e térmicos de um edifício que representa cerca de 12,5% das necessidades do *campus*. A segunda fase consiste na construção de um modelo energético urbano no *City Energy Analyst* do *campus*, e efetuar uma simulação dinâmica através do *EnergyPlus* de forma a verificar os consumos do mesmo e verificar medidas para aumentar a eficiência energética do *campus*.

Com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício foi realizado em simultâneo, uma auditoria e um estudo de dimensionamento de diversos sistemas, equipamentos e medidas de forma a reduzir os custos provenientes do edifício e a viabilidade económica da implementação dessas mudanças.

**Palavras-chave:** Instalações Militares, Consumo de Eletricidade, Eficiência Energética, *City Energy Analyst*, Simulação Dinâmica, UBEM, *Design Builder*.

# Índice

Agradecimentos.....	i
Abstract.....	ii
Resumo .....	iii
Índice .....	iv
Lista de figuras .....	vii
Lista de Tabelas .....	ix
Lista de Acrónimos e Siglas .....	x
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação .....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Contribuições.....	6
1.5 Estrutura da dissertação.....	7
2 Revisão Bibliográfica .....	8
2.1 Enquadramento Legal .....	8
2.2 Programa ECO.AP .....	10
2.3 City Energy Analyst – CEA.....	10
2.3.1 Metodologia <i>UBEM</i> .....	10
2.3.2 City Energy Analyst .....	13
2.3.2.1 Intuito do CEA.....	13
2.3.2.2 Funcionalidade e Estrutura do CEA .....	13
2.3.2.3 Base de dados de Medidas Reais.....	14
2.3.2.4 Base de dados dos dados Meteorológicos .....	15
2.3.2.5 Base de dados dos Dados Urbanos.....	15
2.3.2.6 Arquétipos e Distribuições.....	15
2.3.2.7 Análise do Modelo Estatístico .....	16
2.3.2.8 Análise do Modelo Analítico .....	16
2.3.2.9 Modelo Analítico para consumos elétricos.....	18
2.3.2.10 Modelo Analítico para consumos térmicos.....	18
2.3.2.11 Agregação de Resultados .....	19
2.4 Auditoria Energética .....	21
2.4.1 Contexto da Auditoria Energética.....	21
2.4.2 Medidas, Equipamentos e Software de apoio à elaboração da Auditoria Energética ..	21
2.5 Certificação Energética e o <i>SRI</i> .....	24
3 Caso de Estudo .....	25
3.1 Caracterização da AMA.....	25
3.1.1 Consumo de energia .....	27
3.1.2 Tarifas.....	29
3.1.3 Perfis Horários e Caracterização dos Edifícios .....	31

3.2	Caracterização das Casernas dos Alunos .....	33
3.2.1	Caracterização do espaço .....	34
3.2.2	Infraestrutura Energética .....	35
3.2.3	Caracterização da envolvente e geometria .....	35
3.2.4.	Equipamentos e Iluminação .....	38
3.2.5.	Ocupação .....	39
3.2.6.	Sistemas AVAC e AQS .....	40
3.2.7.	Consumos Energéticos .....	41
4	Modelação Energética das Casernas .....	43
4.1	Metodologia .....	43
4.2	Construção do Modelo Computacional .....	43
4.2.1	Atividade .....	45
4.2.1.1	Atividades e Funções .....	45
4.2.1.2	Temperaturas de controlo .....	45
4.2.1.3	Perfis horários.....	46
4.2.1.4	Equipamentos Instalados .....	46
4.2.1.5	Perfil de consumo de AQS .....	47
4.2.2	Construção da Envolvente .....	47
4.2.3	Janelas e Portas .....	48
4.2.4	AVAC .....	48
4.2.5	Simulação de Consumos.....	50
4.2.5.1	Balço Energético e Consumos Específicos.....	50
4.2.5.2	Consumos Mensais .....	50
4.3	Calibração e Validação do Modelo Computacional.....	51
4.4	Simulações de Otimização Energética.....	52
4.4.1	Medidas de Otimização Energética.....	53
4.4.1.1	Sistema de aquecimento simples com radiadores.....	53
4.4.1.2	Sistema com painéis solares térmicos e radiadores .....	54
4.4.1.3	Sistema com bomba de calor e painéis fotovoltaicos .....	56
5	Modelação Energética da AMA no CEA .....	58
5.1	Criação da planta 2D da AMA .....	58
5.2	Modelação no CEA.....	59
5.2.1	Definição Padrão dos Edifícios.....	60
5.2.2	Definição da Envolvente .....	60
5.2.3	Definição de medidas consoante o tipo de edifício .....	60
5.2.4	Sistema AVAC .....	61
5.2.5	Sistema de fornecimento.....	61
6	Resultados e Discussão .....	62
6.1	Consumos e Custos das simulações de otimização energética das Casernas.....	63
6.1.1	Sistema de aquecimento simples.....	63

6.1.2	Sistema com painéis solares térmicos e radiadores .....	64
6.1.3	Sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos.....	66
6.2	Viabilidade económica das simulações de otimização energética .....	69
6.2.1	Viabilidade económica da simulação do sistema de aquecimento simples.....	69
6.2.2	Viabilidade económica da simulação do sistema de painéis solares térmicos e radiadores.....	70
6.2.3	Viabilidade económica da simulação do sistema de painéis solares térmicos e radiadores.....	70
6.3	Análise dos resultados no <i>CEA</i> .....	71
6.3.1	Validação dos consumos das Casernas no <i>CEA</i> .....	71
6.4	Potencialidade energética da AMA .....	74
7	Conclusões e Trabalho Futuro .....	76
7.1	Conclusões .....	76
7.2	Trabalho futuro .....	78
8	Bibliografia.....	79
	Apêndice A – Legislação da Eficiência Energética .....	I
	Apêndice B – Arquétipos no <i>CEA</i> e variáveis a inserir .....	II
	Apêndice C – Definição padrão e da envolvente .....	V
	Apêndice D – Definição de medidas consoante o tipo de edifício .....	VIII
	Apêndice E – Sistema AVAC .....	XI
	Apêndice F – Sistema de fornecimento .....	XIII
	Apêndice G – Componentes principais na construção de um UBEM.....	XV
	Anexo A – Impacto do Covid-19 nos consumos em Portugal no ano 2020.....	XVI
	Anexo B – Arquétipos do <i>CEA</i> .....	XVI
	Anexo C – Ganhos internos e consumos específicos.....	XX



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> - Evolução anual do consumo energético primário mundial .....	1
<b>Figura 2</b> - Contributo da Energia Renovável no Consumo Final em 2018 em Portugal .....	3
<b>Figura 3</b> - Metas de Portugal em Matéria de Energia e Clima .....	4
<b>Figura 4</b> - Monetização dos benefícios referentes ao investimento na renovação energética .....	5
<b>Figura 5</b> – Estrutura do aproximada do modelo do CEA.....	14
<b>Figura 6</b> – Esquema simplificado das transferências de energia analisadas no modelo analítico .....	17
<b>Figura 7</b> - Infraestruturas do AMA .....	26
<b>Figura 8</b> – Consumos elétricos na AMA .....	28
<b>Figura 9</b> – Consumos de Gás Natural mensais na AMA.....	28
<b>Figura 10</b> – Consumos percentuais da AMA num dia .....	30
<b>Figura 11</b> – Tarifas mensais elétricas, não considerando o peso do IVA .....	30
<b>Figura 12</b> – Tarifas mensais de gás natural .....	31
<b>Figura 13</b> – Casernas dos Alunos .....	34
<b>Figura 14</b> – Sistema AQS e AVAC das Casernas.....	41
<b>Figura 15</b> – Consumos da AMA e das Casernas com uma tendência de registo de 15 min.....	41
<b>Figura 16</b> – Consumo semanal das Casernas .....	42
<b>Figura 17</b> – Registador de energia <i>Fluke 1742</i> .....	42
<b>Figura 18</b> – Modelo tridimensional das Casernas .....	43
<b>Figura 19</b> – <i>Layout</i> do modelo tridimensional do edifício no <i>DesignBuilder</i> .....	44
<b>Figura 20</b> - Períodos de férias e feriados na AMA .....	44
<b>Figura 21</b> - Taxa Metabólica e Resistência da Roupas .....	45
<b>Figura 22</b> - Temperatura de ajuste do Sistema AVAC das casernas .....	45
<b>Figura 23</b> - Perfis de ocupação dos quartos.....	46
<b>Figura 24</b> – Potência instalada de equipamentos nos quartos .....	47
<b>Figura 25</b> - Perfil de consumo de AQS.....	47
<b>Figura 26</b> - Especificações das janelas dos quartos .....	48
<b>Figura 27</b> - Perfil horário dos termoventiladores .....	49
<b>Figura 28</b> - Circuito do sistema AQS .....	49
<b>Figura 29</b> - Consumos mensais simulados no <i>DesignBuilder</i> .....	51
<b>Figura 30</b> - Comparação entre consumos elétricos reais e simulados .....	52
<b>Figura 31</b> - Sistema de aquecimento simples com radiadores .....	54
<b>Figura 32</b> – Local da instalação dos painéis solares térmicos .....	55
<b>Figura 33</b> – Sistema com painéis solares térmicos e radiadores.....	55
<b>Figura 34</b> - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos e sistema de aquecimento com bomba de calor .....	56
<b>Figura 35</b> – Alojamento dos alunos do 4º ano no <i>Open Street Map</i> .....	58

<b>Figura 36</b> – Representação da AMA em 3D e 2D na <i>Dashboard</i> do CEA.....	59
<b>Figura 37</b> - Consumos da simulação atual VS Consumos da Simulação do sistema de aquecimento simples.....	63
<b>Figura 38</b> – Consumos da simulação atual VS Consumos da Simulação do sistema com painéis solares térmicos e radiadores .....	65
<b>Figura 39</b> - Consumos da simulação atual VS simulação do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos .....	67
<b>Figura 40</b> - Simulação no CEA dos consumos anuais dos edifícios com maior consumo na AMA ....	72
<b>Figura 41</b> – Validação dos consumos energéticos da AMA.....	73
<b>Figura 42</b> – Produção média mensal de kWh por m <sup>2</sup> de área útil do telhado das casernas.....	75
<b>Figura 43</b> – Produção média mensal de kWh por m <sup>2</sup> de área útil dos telhados da AMA .....	75

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Área dos Envidraçados.....	37
<b>Tabela 2</b> – Equipamentos no Edifício das Casernas.....	38
<b>Tabela 3</b> - Iluminação do Edifício das Casernas .....	39
<b>Tabela 4</b> - Dados de ocupação dos quartos.....	40
<b>Tabela 5</b> - Cálculo da eficiência dos painéis fotovoltaicos .....	57
<b>Tabela 6</b> – Identificação das Geometrias no <i>CEA</i> .....	59
<b>Tabela 7</b> - Custos e Poupança do sistema de aquecimento simples.....	64
<b>Tabela 8</b> -Custos e Poupança do sistema com painéis solares térmicos e radiadores .....	66
<b>Tabela 9</b> – Custos e poupança do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (57 kWp) .....	68
<b>Tabela 10</b> - Custos e poupança do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (171 kWp) .....	68
<b>Tabela 11</b> - Viabilidade Económica do sistema de aquecimento simples.....	69
<b>Tabela 12</b> - Viabilidade Económica do sistema de painéis solares térmicos e radiadores .....	70
<b>Tabela 13</b> - Viabilidade Económica do sistema de bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (57 KWp).....	71
<b>Tabela 14</b> - Viabilidade Económica do sistema de bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (114 kWp) .....	71
<b>Tabela 15</b> - Tipo de Construção no <i>CEA</i> .....	XVI
<b>Tabela 16</b> - Nível de Infiltração no Edifício .....	XVII
<b>Tabela 17</b> - Tipos de janela.....	XVII
<b>Tabela 18</b> - tipo de construção dos tetos.....	XVII
<b>Tabela 19</b> - Tipo de construção das paredes .....	XVII
<b>Tabela 20</b> – Tipo de sombreamento .....	XVII
<b>Tabela 21</b> - Tipo de construção do chão .....	XVII
<b>Tabela 22</b> - Tipo de sistema de AQS.....	XVIII
<b>Tabela 23</b> - Tipo de sistema de aquecimento.....	XVIII
<b>Tabela 24</b> - Tipo de sistema de arrefecimento .....	XVIII
<b>Tabela 25</b> - Tipo de sistema de ventilação .....	XVIII
<b>Tabela 26</b> - Tipo de sistema de controlo de AVAC.....	XVIII
<b>Tabela 27</b> - Tipo de sistema de fornecimento de calor.....	XVIII
<b>Tabela 28</b> - Tipo de sistema de fornecimento de água quente .....	XVIII
<b>Tabela 29</b> - Tipo de sistema de fornecimento de arrefecimento .....	XIX
<b>Tabela 30</b> - Tipo de sistema de fornecimento de eletricidade .....	XIX

## Lista de Acrónimos e Siglas

<b>3ª e 4ª CompAI</b>	3ª e 4ª Companhia de Alunos
<b>ACE</b>	Atividade Circum-Escolar
<b>AM</b>	Academia Militar
<b>AMA</b>	Academia Militar da Amadora
<b>AQS</b>	Águas Quentes Sanitárias
<b>ASCII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<b>ASHRAE</b>	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers</i>
<b>AVAC</b>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<b>BEM</b>	<i>Building Energy Modeling</i>
<b>BP</b>	<i>British Petroleum</i>
<b>CCS</b>	Companhia de Comando e Serviços
<b>CCS</b>	Companhia de Comando e Serviços
<b>CDD</b>	Cooling degree day
<b>CE</b>	Comissão Europeia
<b>CEA</b>	City Energy Analyst
<b>CEO</b>	<i>Chief Executive Officer</i>
<b>CIEG</b>	Custos de Interesse Económico Geral
<b>COVID-19</b>	Doença provocada pela infeção do coronavírus SARS-CoV-2
<b>CVRMSE</b>	<i>Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error</i>
<b>DGEG</b>	Direção-Geral de Energia e Geologia
<b>DL</b>	Decreto Lei
<b>ECO.AP</b>	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
<b>ECS</b>	<i>Environment Control System</i>
<b>ELPRE</b>	Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios
<b>EPBD</b>	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
<b>ETHZ</b>	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
<b>EU</b>	<i>European Union</i>
<b>GEE</b>	Gases com Efeito de Estufa
<b>HDD</b>	<i>Heating degree day</i>
<b>I&amp;D&amp;I</b>	Investigação, Desenvolvimento e Inovação
<b>indef</b>	indefinido
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatística
<b>Isc</b>	Corrente de curto-circuito
<b>IVA</b>	Imposto sobre o valor acrescentado
<b>kVA<sub>rh</sub></b>	Quilovolt-ampere hora reativa
<b>kWh</b>	Quilowatt-hora
<b>kWp</b>	Quilowatt-pico
<b>LED</b>	<i>Light-emitting diode</i>

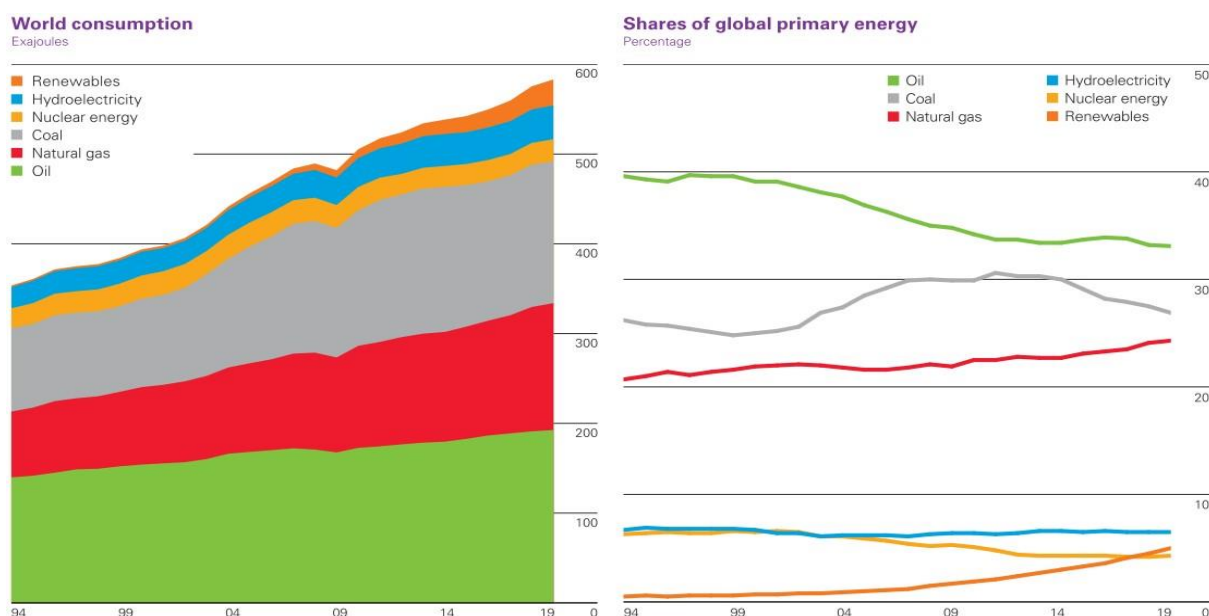
<b>OSM</b>	<i>Open Street Map</i>
<b>p.e.</b>	por exemplo
<b>Pmax</b>	Potência Máxima
<b>PNAC</b>	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
<b>PNAEE</b>	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
<b>PNAER</b>	Plano Nacional de Ação para as Energia Renováveis
<b>PNEC 2030</b>	Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030
<b>QGBT</b>	Quadro Geral de Baixa Tensão
<b>QGIS</b>	<i>Quantum Geographic Information System</i>
<b>RECS</b>	Regulamento dos Edifícios de Comércio e Serviços
<b>RED</b>	<i>Renewable Energy Directive</i>
<b>REH</b>	Regulamento dos Edifícios de Habitação
<b>RNC2050</b>	Roteiro para a Neutralidade Carbônica 2050
<b>Rph</b>	Rotações por hora/ taxa de infiltração
<b>SAI</b>	<i>Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein</i>
<b>SCE</b>	Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade de Ar Interior nos Edifícios
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SIGOp</b>	Sistema de Informação Geográfica para Apoio às Operações
<b>SRI</b>	<i>Smart Readiness Indicator</i>
<b>Temp</b>	Temperatura
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Retorno
<b>UBEM</b>	<i>Urban Building Energy Modeling</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UPAC</b>	Unidade de Produção para Autoconsumo
<b>UTA</b>	Unidade de tratamento de ar
<b>VAL</b>	Valor Atual Líquido
<b>Voc</b>	Tensão de circuito aberto
<b>VRV</b>	Volume de Refrigerante Variável

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O ano 2020 tem sido marcado pelo impacto mundial que a pandemia do COVID-19 teve no modo em como geríamos e vivíamos o nosso dia-a-dia. De acordo com o CEO da BP, *Bernard Looney*, a pandemia do coronavírus poderá ser a maior tragédia que muitos de nós irão experienciar ao longo da sua vida. Esta pandemia provocou um enorme choque em termos de saúde e económicos que terá repercussões mundiais a nível económico, social e político. Esta catástrofe possui o potencial para acelerar o processo para mudar o mundo num caminho sustentável, bem como poderá ter o impacto contrário e retardar todos os processos e esforços que até agora se fizeram em busca desse objetivo.

Um dos setores que tem sofrido uma grande reviravolta com o impacto da pandemia é o setor da energia, mais especificamente, o seu consumo. Como era expectável, ao longo dos últimos anos, o consumo de energia tem vindo a aumentar, sendo que 2019 teve um crescimento de 1.3% comparativamente a 2018 no consumo global de energia primária, observável na Figura 1[1].



**Figura 1** - Evolução anual do consumo energético primário mundial (em Exajoules,  $10^{18}$  J)

Fonte: BP Statistical Review of World Energy [1]

A figura demonstra que os combustíveis fósseis têm uma grande contribuição na energia fornecida para consumo energético primário. No entanto é de realçar que houve um decréscimo no consumo de óleos e carvão comparativamente a 2018, 0.2% e 0.5% respetivamente, e que, pela primeira vez, as energias renováveis (excluindo a hidroelétrica), passaram a energia nuclear em termos de contribuição, sendo as suas percentagens de contribuição de 5% e 4.3% respetivamente [1].

Como seria expectável, 2020 teria um crescimento de consumo energético primário proporcional aos anos anteriores, enfatizando e priorizando cada vez mais no crescimento no setor das energias renováveis. No entanto, devido ao COVID-19, este crescimento sofreu uma grande mudança na qual os resultados, até à data de julho de 2020, ainda não são totalmente conhecidos e são incertos quanto ao impacto na escala global. Relativamente a Portugal, com base na DGE, é possível verificar que em termos de consumo final de energia, o 1º semestre de 2020 teve um decréscimo de 11%,

sendo 5% na eletricidade, 11% no gás natural e 18 % nos derivados de petróleo, como se pode verificar no Anexo A [2].

É evidente que a pandemia do COVID-19 tem tido um grande impacto nas nossas vidas, bem como no meio em que nos rodeia, especialmente porque contribuiu para uma redução de emissões de gases, como o dióxido de carbono. No entanto, esta redução, tendo em conta o imenso impacto que a pandemia teve, foi uma redução pequena. De acordo com a AIE, Agência Internacional de Energia, esta redução consistiu em 8% das emissões totais que se previa emitir caso não houvesse pandemia no ano 2020, ou seja, para 2020 prevê-se uma emissão de 47 mil milhões de toneladas de carbono em vez de 51 mil milhões[3].

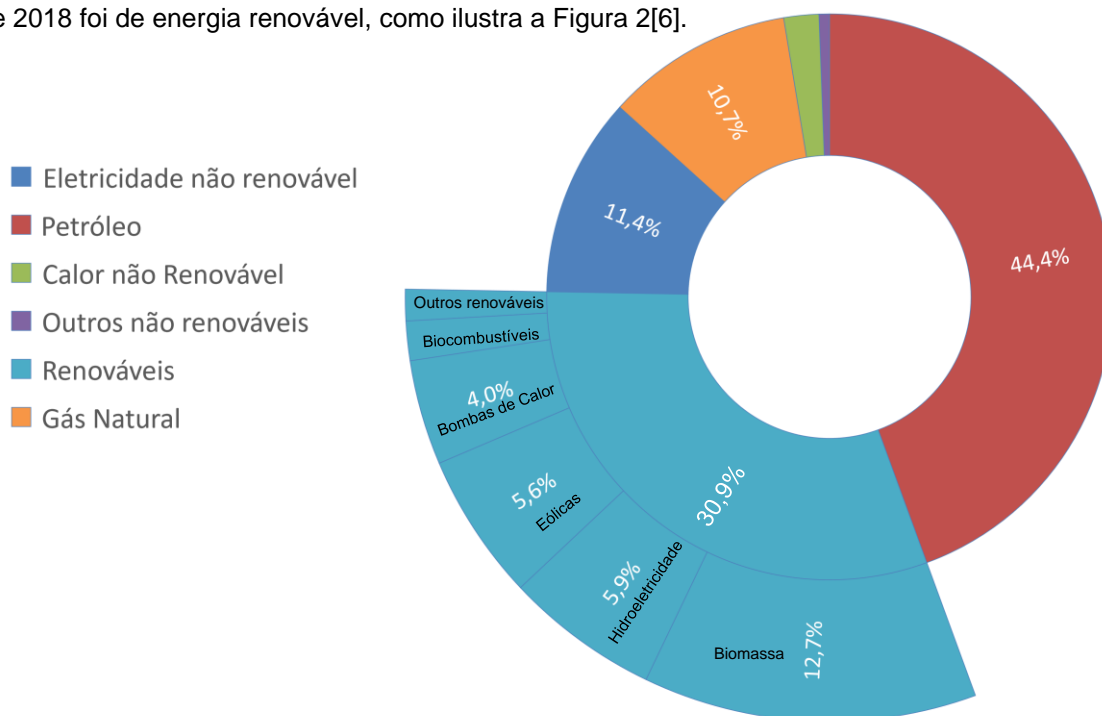
Bill Gates, criador da *Microsoft*, no seu livro "*How to Avoid a Climate Disaster: The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need*"(2020), afirma que, para entender o dano e o impacto que as mudanças climáticas irão provocar no mundo, basta ter como exemplo os danos que a pandemia do COVID-19 teve, mas num intervalo de tempo muito maior, sendo que os setores que serão mais atingidos serão o da saúde e o setor económico. No entanto, se aprendermos com os erros cometidos antes e durante a pandemia do COVID-19, poderemos abordar de uma forma mais ciente o problema da inação na resolução e prevenção das mudanças climáticas.

As mudanças climáticas, resultantes da poluição do meio ambiente, não são nenhuma novidade do século XXI, sendo que a tentativa das reduções das emissões de carbono começou por volta da década de 80 e oficializada em termos globais através do Protocolo de Quioto em 1997. Foi com base neste protocolo que a Comissão Europeia (CE) publicou em 2018, retificando a diretiva de 2010/31/EU e 2012/27/EU, a diretiva 2018/844, também denominada como EPBD, *Energy Performance of Buildings Directive*, que visa reverter este paradigma, focando-se na eficiência energética e na *performance* da energia dos edifícios. Com esta diretiva surge uma série de pacotes estratégicos que visam reduzir pelo menos 40% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 2030, em comparação com 1990, aumentar a porção de energia renovável consumida, poupar energia de acordo com as ambições da UE e melhorar a segurança, a competitividade e sustentabilidade energética da UE. Com base nesses objetivos foram criados passos intermédios divididos no curto-prazo (2030), no meio-prazo (2040) e no longo-prazo (2050)[4].

No seguimento do EPBD, surge a necessidade de criar uma panóplia de medidas e objetivos a implementar de forma a alcançar o estipulado, e é com esse pensamento que surge a diretiva 2018/2001, também denominada como RED II, *Renewable Energy Directive II*. O seu principal foco é promover o uso de energia renovável a nível europeu, sendo que o aumento do consumo de energia proveniente de fontes de energia renovável é uma peça vital de forma a ser possível reduzir as emissões dos gases de efeito de estufa. Esta diretiva consiste numa reformulação da diretiva 2009/28/EC, RED, onde foram essencialmente redefinidos os objetivos a atingir no peso de percentagem da energia renovável no consumo final de energia. Portanto, a nova diretiva, RED II, define um objetivo de atingir uma quota de 32 % de fontes renováveis no consumo final de energia de 2030[5].

Tende como base as diretivas anteriormente referidas, foi atribuído a Portugal a meta de atingir até 2020 uma quota de 31% de energia renovável no consumo final de energia, sendo a 5ª maior quota

atribuída no RED a um país pertencente à União Europeia. Esta quota é alta, em comparação com a quota de 20% do país vizinho, Espanha, uma vez que Portugal possui uma localização geográfica e fatores favoráveis à produção de energia renovável. Assim sendo, com base no relatório estatístico da DGE sobre as energias renováveis, de junho de 2020, cerca de 30.9% do consumo de energia final de 2018 foi de energia renovável, como ilustra a Figura 2[6].



**Figura 2** - Contributo da Energia Renovável no Consumo Final em 2018 em Portugal  
 Fonte: Dados adotados do Relatório DGE – renováveis: estatísticas rápidas – nº187 – junho de 2020 [6]

Verifica-se pela figura anterior que a contribuição da energia renovável no consumo final, já em 2018, está a 0.1% de se atingir o valor estipulado para 2020 para Portugal, sendo notório o papel exemplar que Portugal tem demonstrado perante os outros países da UE.

Face ao cumprimento, ou expectável cumprimento, do objetivo definido para 2020, para Portugal no *RED II*, e com base no EPBD, em 1 de julho de 2019, foi publicado a Resolução do Conselho de Ministros nº107/2019, que aprova o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050). Esta Resolução prevê a redução da emissão de GEE para Portugal entre 85% e 90% até 2050, comparativamente com 2005, sendo que o objetivo de curto prazo consiste na redução entre 45% e 55% até 2030[7][8].






Tendo como base as conclusões do Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas sobre Aquecimento Global de 1,5 °C, concluiu-se que é na década 2021-2030 que se devem concentrar os maiores esforços de redução de emissões de GEE, equivalendo este ao período essencial para o alinhamento da economia nacional com uma trajetória de neutralidade carbónica. Neste âmbito, e com o intuito de atingir os objetivos estipulados no RNC2050, foi desenvolvido o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), oficializado com o Decreto-Lei nº64/2020, cujo principal função é ser um instrumento de política energética e climática nacional para a década 2021-2030, com a intenção de atingir um futuro neutro em carbono. O PNEC 2030 garante coerência entre políticas nas áreas de energia e clima para a concretização das metas no



horizonte 2030, em articulação com o RNC2050, e como tal, substitui os planos nacionais anteriormente estipulados, nomeadamente o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC). De forma a cumprir com a sua principal missão, foram criados 8 objetivos no PNEC 2030:[7]

- i. **descarbonizar a economia nacional;**
- ii. **dar prioridade à eficiência energética;**
- iii. **reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do País;**
- iv. **garantir a segurança de abastecimento;**
- v. **promover a mobilidade sustentável;**
- vi. **promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potenciar o sequestro de carbono;**
- vii. **desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;**
- viii. **garantir uma transição justa, democrática e coesa.**

Estes 8 objetivos, que são destinados a todos os setores, reforçam a importância e visam em atingir as metas que estão ilustradas na Figura 3[7][9][8].

METAS DE PORTUGAL EM MATÉRIA DE ENERGIA E CLIMA			
	RESULTADOS 2016	META 2020	META 2030
 EMISSÕES GEE 2030 <sup>1</sup>	-22%	-18% a -23%	-45% a -55%
 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA <sup>2</sup>	23%	25%	35%
 RENOVÁVEIS	28,5%	31%	47%
 RENOVÁVEIS NOS TRANSPORTES	7,5%	10%	20%
 INTERLIGAÇÕES ELÉTRICAS	8%	10%	15%

**Figura 3 - Metas de Portugal em Matéria de Energia e Clima**

Fonte: Sessão de Apresentação – PNEC 2030 – Ministério do Ambiente – janeiro de 2019 [9]

Portanto a estratégia de Portugal para o horizonte 2030 consiste numa junção de diversas opções de políticas e medidas, bem como de opções tecnológicas, procurando encontrar sinergias entre as várias opções, tendo em conta que, a transição energética passará, indiscutivelmente, pelo setor da eletricidade. É sabido que Portugal possui um enorme potencial para o desenvolvimento de um setor electroprodutor fortemente descarbonizado devido à disponibilidade de recursos endógenos renováveis, focando-se mais no setor electroprodutor da energia solar e de seguida pela energia eólica[7].

Uma vez que a transição energética trará uma grande mudança no setor da eletricidade e de acordo com EPBD sabemos que 50% da energia final consumida é utilizada em aquecimento e

arrefecimento, da qual 80% é utilizada em edifícios, sendo que, em Portugal, mais do que 30% da energia final consumida é devido aos edifícios dos setores doméstico e de serviços[10][4].

Com base no parágrafo anterior, foi elaborado em Portugal uma Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE), que no final do 1º semestre de 2020 se encontra em fase final para posterior aprovação, visando alcançar os seguintes objetivos[10]:

- redução da fatura e dependência energética do país;
- melhoria ao nível do conforto e qualidade do ar interior;
- benefícios para a saúde;
- produtividade laboral;
- redução da pobreza energética;
- aumento da eficiência energética;
- promoção do uso de energias de fontes renováveis.

De forma a atingir os objetivos de acordo com o PNEC 2030 e o ELPRE, é expectável que terá que haver uma grande intervenção na eficiência da energia em termos globais, mas mais precisamente no setor dos edifícios, pois é o que apresenta um maior potencial de economia de energia, sendo possível uma redução de 50% do consumo energético através de medidas de eficiência energética.[10]

## 1.2 Motivação

Nos últimos anos implementaram-se medidas que possuem como objetivo tentar reduzir a pegada de carbono, assim sendo, uma das áreas a ter medidas implementadas para atingir esse objetivo é o setor dos edifícios. De acordo com o EPBD, o setor dos edifícios na UE consome cerca de 40% das necessidades energéticas(maioritariamente em aquecimento e arrefecimento), que corresponde à maior fatia entre todos os setores, sendo 27% do setor residencial e 13% do setor de serviços[4][11]. No entanto, em Portugal, o setor dos transportes é aquele que apresenta uma maior percentagem relativamente à utilização final de energia, 32%, e o setor dos edifícios consome 30%, sendo 16,7% (setor residencial e 13,3% no setor de serviços[11]).

Para alcançar os objetivos estabelecidos a nível europeu e nacional, foram estabelecidas e estudadas diversas medidas a implementar enumeradas na EPBD, no PNEC 2030 e na ELPRE, respetivamente a nível europeu e nacional. No entanto, estas medidas não visam apenas a melhoria da eficiência energética, mas pretendem trazer benefícios a nível da saúde dos ocupantes, na produtividade laboral e na valorização patrimonial no qual, todas juntas, acabam por cobrir o investimento na infraestrutura.



**Figura 4** - Monetização dos benefícios referentes ao investimento na renovação energética  
Fonte: ELPRE [10]

A Figura 4 expressa os benefícios não energéticos esperados com a renovação energética e é de total interesse e dever das entidades possuidoras de infraestruturas com uma fraca eficiência energética promoverem a renovação energética dos seus edifícios, nomeadamente o Exército Português. Os edifícios do Exército Português são infraestruturas que foram construídas na década de 80 e outras no início do século XX e carecem de uma renovação energética planeada a cada infraestrutura.

Dentro deste âmbito, foi criado um projeto de investigação militar que visa prever os consumos e otimizar a eficiência energética dos edifícios do Exército Português através do uso de uma plataforma de gestão, no entanto, surgiu a necessidade de analisar as metodologias a utilizar para atingir os objetivos pretendidos, e nesse âmbito, este trabalho, visa responder a essa necessidade.

### 1.3 Objetivos

A presente dissertação, intitulada como “Plataforma de gestão de Energia para Edifícios do Exército”, possui como objetivo apresentar medidas e métodos a aplicar de forma a atingir uma boa eficiência energética e redução dos custos de energia dos edifícios do Exército Português tendo em conta as legislações atuais portuguesas, europeias e medidas de incentivo europeias de defesa.

Como tal, para esta dissertação, foram atribuídas as tarefas de uma análise intensiva e complexa dos consumos energéticos de uma das unidades do Exército Português, a Academia Militar na Amadora (AMA), no qual se estuda e observa os consumos energéticos no campus, é feita a implementação de medidas de poupança e é representado em 3D numa plataforma de gestão de energia por forma a facilitar a compreensão e alteração de medidas.

Após o estudo geral do campus, é elaborado um estudo intensivo sobre um dos edifícios do campus, o edifício da 3ª e 4ª Companhia de Alunos, sendo este edifício o alojamento dos alunos. Neste estudo, são elaboradas *templates* que exprimam os consumos do edifício em estudo e é feita uma abordagem ao edifício de forma a perceber as perdas de energia do mesmo. Por fim são estudadas diversas medidas que possam ser implementadas, de modo a reduzir os custos no consumo energético, bem como aumentar a eficiência energética do edifício.

### 1.4 Contribuições

Esta dissertação apresenta as seguintes contribuições:

- Análise do consumo energético, balanço energético e representação 2D e 3D da Academia Militar da Amadora e do edifício da 3ª e 4ª Companhia;
- Estudo e implementação de uma ferramenta de medição energética no Exército Português e de possíveis medidas de eficiência energética;
- Análise do sistema de AVAC implementado no edifício da 3ª e 4ª Companhia e estudo de implementação de medidas no mesmo sistema de modo a aumentar a eficiência energética e redução de custos;
- Avaliação da viabilidade económica da mudança/instalação de diferentes sistemas no edifício da 3ª e 4ª Companhia e de uma forma geral no AMA;

- Análise do potencial das ferramentas mencionadas no aumento da eficiência energética e redução de custos dos edifícios do Exército Português.

## 1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em 7 Capítulos, tendo sido elaborada de forma que permita, em primeiro lugar, a compreensão teórica dos conceitos que serão abordados na parte do estado da arte e dos resultados finais obtidos. Consequentemente, a estrutura do trabalho é a seguinte:

- **Capítulo 1:** Enquadramento da dissertação e definição dos objetivos e da motivação que levou a este trabalho, como também a sua estrutura;
- **Capítulo 2:** Descrição da legislação presente em Portugal no âmbito da Eficiência Energética nos Edifícios e contextualização dos conceitos, metodologias e plataformas utilizadas na eficiência energética de edifícios e de centros urbanos;
- **Capítulo 3:** Caracterização do espaço alvo do estudo deste trabalho, onde se especifica os seus edifícios, funções, ocupantes e sistemas presentes em cada edifício.
- **Capítulo 4:** Apresentação dos procedimentos efetuados e os dados inseridos no *software DesignBuilder* de forma a analisar a sua eficiência energética e medidas de otimização energética;
- **Capítulo 5:** Descrição dos procedimentos efetuados para analisar os consumos e eficiência da AMA na plataforma do *City Energy Analyst* sendo, por fim, elaborado a modelação energética urbana da mesma;
- **Capítulo 6:** Análise da viabilidade económica das medidas de otimização energética propostas e a potencialidade e benefícios de utilizar plataformas de registo e simulação energética;
- **Capítulo 7:** Apresentação das conclusões adquiridas na elaboração desta dissertação, bem como propostas de trabalhos futuros para que o trabalho seja aprimorado e, talvez, aplicado na instituição.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Enquadramento Legal

No âmbito do Roteiro de Neutralidade Carbónica 2050, RNC2050, e como país membro da União Europeia, cabe a Portugal a missão de reduzir a sua pegada carbónica, e chegar mesmo à sua neutralidade. É um objetivo há muito tempo falado e debatido, sendo que tudo começou a partir do Protocolo de Quioto de 1997, sendo este definido como o primeiro acordo jurídico internacional com medidas/tarefas rígidas para contrariar o aquecimento global através da redução e limitação da emissão de GEE dos países desenvolvidos[12]. Com base neste tratado, a Europa, que utiliza 40% da sua energia no setor dos edifícios, 27% nos residenciais e 13% no de serviços, definiu que uma boa parte das medidas a tomar para a redução da emissão dos GEE é o aumento da eficiência energética no setor do edificado. Perante este facto, a CE promulgou a Diretiva 2002/91/CE, também conhecida como EPBD, *Energy Performance of Buildings Directive*, que mais tarde foi retificada pela Diretiva 2010/31/EU e, posteriormente, pela Diretiva 2018/844, sendo esta, até à data, a atual em vigor. A EPBD possui as seguintes diretrizes:[13]

- Estratégia a Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (RNC2050<sup>1</sup>);
- Requisitos ao nível da infraestrutura de carregamento para a mobilidade elétrica;
- Requisitos para a automação e controlo nos edifícios e de dispositivos autorregulados para a temperatura interior;
- Indicador de aptidão para tecnologias inteligentes dos edifícios (SRI<sup>2</sup>);
- Inspeção dos sistemas de AVAC;
- Registo e documentação de instalação, substituição ou atualização dos sistemas técnicos dos edifícios;
- Medidas financeiras para melhoria da eficiência energética aquando da renovação dos edifícios, medidas essas dependentes das poupanças de energia planeadas ou conseguidas;
- Maior transparência nas metodologias de cálculo do desempenho energético dos edifícios.

Tendo em vista a adequação dos objetivos nacionais com os objetivos europeus relativamente à redução das emissões dos GEE, ao Protocolo de Quioto e às diretrizes do EPBD, o Conselho de Ministros elaborou 3 planos, sendo eles:

- PNAC 2004 – aprovado na Resolução do Conselho de Ministros nº 104/2006 e que depois foi revogado ao longo dos anos, sendo o atual em vigor o PNAC 2020/2030[14];
- PNAEE 2008 – aprovado na Resolução de Conselho de Ministros nº80/2008, sendo posteriormente adequado aos novos objetivos pretendidos na Resolução de Conselho de Ministros nº20/2013, denominando-se como PNAEE 2016[15];
- PNAER – aprovado na Resolução de Conselho de Ministros nº20/2013[7].

---

<sup>1</sup> RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 estabelece, de forma sustentada, a trajetória a nível nacional para alcançar a neutralidade carbónica em 2050, definindo guias de orientação e identificando as opções de custo mais eficazes de modo a atingir os objetivos estipulados, consoante os cenários socioeconómicos[8]

<sup>2</sup> SRI – *Smart Readiness Indicator*, consiste numa ferramenta que ajuda a atingir os objetivos pretendidos num edifício, nomeadamente a produção e armazenagem de energia, o diagnóstico de erros de melhorias, e, por fim, o aumento do conforto e saúde do ocupante[38]

Foi com “olho” nas metas estabelecidas nos planos mencionados anteriormente que foi publicado o Decreto Lei nº118/2013, onde se assegura a transposição nacional das medidas enumeradas na EPBD, criando como base o Regulamento de Desempenho Energético de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Por fim, é também feita a revisão da legislação nacional referente ao SCE<sup>3</sup>[16], sendo que a diferença entre a aplicação do REH e do RECS consiste que o RECS se aplica a qualquer fração<sup>4</sup> autónoma de serviços, edifício de serviços novo e projeto de construção de edifício de serviços com área superior a 1000m<sup>2</sup> ou a 500m<sup>2</sup> para centros comerciais, hiper e supermercados ou piscinas cobertas[17]. Este Decreto Lei sofreu diversas modificações ao longo dos anos, estando atualmente em vigor o Decreto-Lei nº95/2019 que estabelece as medidas a aplicar para a reabilitação de edifícios[18].

Com base no Decreto Lei nº118/2013 (e as alterações posteriores até ao DL nº95/2019), foram publicadas diversas portarias de modo a efetivar e expor as medidas adicionais para cumprir com as regras no DL nº118/2013, sendo que as portarias e despachos que se destacam são as seguintes:[11]

- Portaria nº349-A/2013 – sendo a alteração da mesma em vigor a Portaria nº39/2016, esta define as competências da entidade gestora do SCE;
- Portaria nº349-B/2013 – sendo a alteração da mesma em vigor a Portaria nº98/2019;
- Portaria nº349-D/2013 – sendo a alteração da mesma em vigor a Portaria nº42/2019;
- Despachos 15793-D/2013, 15793-F/2013, 15793-G/2013, 10346/2018, 3777/2017, 15793-J/2013, 15793-K/2013, 15793-L/2013 e a Portaria nº303/2019.

É constatável que, nos últimos anos, existiram diversas metodologias difundidas de modo a concretizar os objetivos estipulados no EPBD, no entanto, entre os Decretos Leis enumerados anteriormente, há um que se destaca entre eles, o Decreto Lei nº64/2020 de 10 de setembro. Este oficializa o PNEC 2030 como um plano estratégico nacional, servindo como apoio para o RNC2050 que pretende descarbonizar a economia nacional aumentar a eficiência energética do país, reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do País, garantir a segurança de abastecimento, promover a mobilidade sustentável, promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potenciar o sequestro de carbono, desenvolver uma indústria inovadora e competitiva e garantir uma transição justa, democrática e coesa[7]. Para o PNEC 2030 atingir os seus objetivos, foi criada uma estratégia de longo prazo para o setor de edifícios, denominado ELPRE, Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios, sendo que em Portugal, esse setor é responsável pelo consumo de 30% da energia final. O principal objetivo do ELPRE consiste em tornar os edifícios energeticamente mais eficientes atuando a nível das envolventes dos edifícios, substituição de sistemas existentes por outros mais eficientes e promover a utilização de energia de fontes renováveis[11] [10]. Para alcançar as metas pretendidas, o ELPRE estipulou 7 políticas de apoio e ações integradas para alcançar a modernização do ambiente construído, apoiada por um roteiro nacional com metas indicativas e indicadores de progresso:[10]

---

<sup>3</sup> SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, sistema que possibilita a identificação de medidas para aumentar o conforto e a eficiência energética do edifício de modo a servir como guia para uma reabilitação eficiente[16]

<sup>4</sup> Fração de edifícios, consiste na unidade mínima de um edifício, com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedade horizontal[17]

1. Renovação do Edificado;
2. Edifícios Inteligentes;
3. Certificação Energética;
4. Formação e Qualificação;
5. Combate à Pobreza Energética;
6. Informação e Consciencialização;
7. Monitorização.

De forma a esclarecer o que foi implementado desde o Protocolo de Quioto até meados de 2020, o Apêndice A mostra as medidas, estratégias e leis aplicadas a nível europeu e nacional de forma a atingir a eficiência energética dos edifícios.

## 2.2 Programa ECO.AP

O programa ECO.AP, também denominado como Programa de Eficiência Energética na Administração Pública, foi lançado na Resolução do Conselho de Ministros nº2/2011, de 12 de janeiro, cujo objetivo pretende, sem o aumento da despesa pública, alcançar um nível de eficiência energética de 30% nos organismos e serviços da Administração Pública até 2020, focando os esforços na redução dos consumos de energia nos serviços e organismos, redução da emissão dos GEE, combater o desperdício e a ineficiência dos usos de energia em todas as suas vertentes e desenvolver um enquadramento legal para a celebração dos contratos de gestão de eficiência energética que provoquem estimulação na economia[19].

Dentro do programa do ECO.AP, foi criado e disponibilizado uma ferramenta informática para a Administração Pública que tem como objetivo caracterizar, comparar e divulgar publicamente o desempenho energético dos serviços, com base na Resolução da Assembleia da República nº114/2010. Esta ferramenta, utiliza complexos algoritmos de cálculo que permitem calcular a qualidade térmica da envolvente, a eficiência energética dos edifícios com base em dados da Administração Pública e permite aos Gestores Locais de Energia, GLE, determinar de uma forma rápida e aproximada as medidas a implementar de melhoria da eficiência energética em edifícios. Estas medidas de melhoria poderão ser a nível da remodelação dos sistemas de iluminação, da substituição dos equipamentos de climatização e/ou de produção de águas quentes sanitárias, a instalação de centrais solares fotovoltaicas ou o aproveitamento da energia solar térmica[20][21].

## 2.3 City Energy Analyst – CEA

### 2.3.1 Metodologia *UBEM*

Atualmente as cidades consomem, em média, mais de 2/3 da energia primária e produzem mais de 70% dos GEE globais[22]. Face a este consumo enorme de energia, muitas cidades tomaram iniciativas de forma a ter um futuro mais sustentável, tendo Portugal adotado planos estratégicos de forma a aumentar a eficiência energética dos edifícios e a redução das emissões dos GEE, sendo o PNEC 2030 e o ELPRE os planos estratégicos em vigor. O PNEC 2030 estipula que até 2030 Portugal deve atingir uma eficiência energética de 35%, reduzir a emissão de GEE entre 45% a 55%, que 47% da energia primária seja de fontes renováveis, entre outras medidas[9]. À semelhança de países vizinhos, em Portugal, as cidades são o maior consumidor de energia. De forma a gerir onde a energia é empregue e de forma a reduzir as emissões de GEE, as cidades necessitam de compreender que

edifícios, *campus* ou frações de edifícios causam a emissão dos GEE, mas também que impacto futuro terão as medidas a ser tomadas para alcançar os objetivos estipulados. Essa análise é feita através de modelos de energia em edifícios, designados como BEM (*Building Energy Models*), estes modelos permitem a análise individual de edifícios, como o balanço energético, balanço de massa, condições atmosféricas do interior e da periferia, consumos de energia, entre outros. Os modelos BEM são modelos complexos, no qual a inserção de dados é manual e, como tal, consumidora de tempo, em que cada edifício é construído detalhadamente tendo em conta a sua geometria, corte construtivo e perfis horários de utilização[23].

Devido ao tempo e à complexidade que uma BEM precisa, torna-se impraticável a análise de modelos à escala multi-edifício ou urbano, portanto são utilizados modelos de energia UBEM (*Urban Building Energy Models*), estes modelos podem ser divididos em 2 grupos, consoante a metodologia que utilizam:[23]

- **top-down** – estima o consumo de uma certa região assumindo que todos os edifícios possuem um consumo referente a uma tipologia de edifício. Esta análise permite estimativas do que iria acontecer se mais edifícios de um certo arquétipo fossem construídos ou convertidos todos para um arquétipo. No entanto, estes modelos generalizam o que é rotina comum e são menos adequados caso se verifique diferentes tipologias de edifícios numa região a analisar;
- **bottom-up** – estima o consumo de uma certa região sendo que esses resultados são obtidos tendo como base um grupo de edifícios ou apenas um edifício e extrapolam esse resultado para a região, assumindo que essa região possui diferentes tipos de edifícios de diferentes grupos. Através desta análise, é possível obter uma estimativa próxima do consumo real da região em análise.

Em síntese, as UBEM são modelos de energia que permitem a previsão de consumos energéticos, bem como das condições ambientais internas e externas para grupos de edifícios em contexto urbano. Esta ferramenta é útil para apoiar o planeamento urbano, análise *retrofit* da envolvente, iluminação, aquecimento, arrefecimento, AQS e equipamentos, melhorar a eficiência energética dos edifícios e projetar sistemas de energia regional<sup>5</sup>[22].

Uma das principais preocupações a ter em conta na criação de um UBEM é ter um conjunto de dados de construção que se pode dividir em 2 categorias[22], [23]:

- **geometria do edifício** – forma do edifício, altura do edifício, número de andares, o zoneamento térmico, rácio da área das janelas em comparação com as paredes, altitude, edifícios na envolvente. Estes dados normalmente são adquiridos de 2 formas, ou existe em bases de dados de SIG, Sistema de Informação Geográfica (exemplo do *ArcGIS*, *QGIS* ou *SIGOp*) ou criadas de raiz;
- **sistemas do edifício** – sistema de construção e condições de operação, construção de envelope, iluminação interna e externa, equipamentos, sistemas AVAC, planta

---

<sup>5</sup> Sistemas de energia regional consiste na distribuição de energia térmica, através de redes de distribuição geralmente subterrâneas, obtida através de uma ou mais centrais de geração de energia térmica ligadas à mesma rede. Um exemplo desta rede em Portugal consiste na rede de energia do Parque das Nações.



central e sistemas distritais e energia gerada. Estes dados são inseridos através de um arquétipo já estabelecido para um grupo de edifício ou criados e inseridos da raiz;

Enquanto os dados referidos anteriormente conseguem ser medidos para um grupo restrito e pequeno de edifícios, quando se pretende analisar um grupo de edifícios de setores diferentes, com os consumos divergentes entre si, essa medição torna-se exaustiva e impraticável. Como tal, é aconselhado o agrupamento de edifícios de consumos similares e de categorias parecidas e, considerando uma média dos dados obtidos desses edifícios, criar um arquétipo de edifício que represente esses mesmos edifícios[23].

A criação de um arquétipo é feita através de 2 passos[23]:

1. *Segmentação*, os edifícios em estudo são divididos em grupos de acordo com a sua forma, idade, uso, clima e sistemas;
2. *Caracterização*, são definidas as propriedades térmicas e cortes construtivos, sistemas/equipamentos energéticos e sistemas térmicos.

Dos dados a colocar nos arquétipos, que divergem ligeiramente consoante o software de modelo de energia e simulador que escolhemos, os dados que possuem maior impacto nos consumos finais a verificar e na eficiência do edifício são[22]:

- Taxa de ventilação, natural e mecânica;
- *Setpoint* de temperatura;
- Taxa de infiltração;
- Densidade de potência dos equipamentos;
- Densidade de potência da iluminação;
- Densidade de ocupação;
- Eficiência energética dos sistemas AVAC e AQS;
- Propriedades das janelas;
- Perfis horários de operação dos dados anteriores, sendo este parâmetro o que se destaca entre todos, pois é o que define quando e percentagem da operação dos diversos parâmetros anteriores.

Após definir os arquétipos, é iniciada a simulação termodinâmica. Esta simulação é normalmente executada utilizando apenas uma zona de arquétipo em regime transiente, de modo a simplificar cálculos, podendo ser executada em regime dinâmico, obedecendo a critérios estabelecidos de acordo com o ASHRAE 90.1, ISSO 13790 e ISO 13780. De forma a corresponder com os edifícios ou as áreas correspondentes dos edifícios, o mesmo é depois multiplicado pelo rácio das áreas em estudo. [23]

As simulações em regime transiente são as preferíveis para a análise de sistemas com uma alta necessidade de aquecimento, porém, as simulações térmicas dinâmicas, como o *EnergyPlus*, *DOE2*, *TRNSYS* e o *IDA-ICE*, são os mais indicados para análises de edifícios com uma grande necessidade de arrefecimento. No entanto, as simulações dinâmicas possuem um intervalo de execução que pode ocorrer durante dias, enquanto que as em regime transiente são executadas num espaço de horas, porém, este tempo de processamento pode ser reduzido através de agregação de zona térmicas com os mesmos arquétipos ou executando o processamento em servidores paralelos[23].

Os resultados em UBEM's após simulações, em termos de consumos de energia útil, difere da realidade, pois depende substancialmente de incertezas como a taxa de infiltração ou o comportamento

dos ocupantes. Estes resultados, que muitas vezes não estão síncronos com os consumos reais, são aceites até um erro de percentual de 21% no caso do aquecimento, e até 19% no caso de energia total útil consumida[23].

Em forma de conclusão, é expresso no Apêndice G a construção de um UBEM. Na construção de um UBEM é preciso definir os arquétipos de um tipo de edifício, para tal é construído um BEM, ou recolhidos os dados necessários para fazer a simulação termodinâmica. Caso o edifício em estudo se assemelhe a arquétipos definidos *a priori*, esse edifício é então representado por esse arquétipo nas simulações termodinâmicas[22].

## 2.3.2 City Energy Analyst

### 2.3.2.1 Intuito do CEA

CEA, *City Energy Analyst*, consiste numa plataforma de simulação urbana desenvolvida na linguagem programável de fonte aberta Python V2.7, tendo sido uma das primeiras ferramentas de computação de fonte aberta para a projeção de cidades de baixa emissão de GEE e de alta eficiência energética. O CEA consiste numa simulação combinada entre planos urbanos, sistemas de energia e processos de engenharia de forma a obter os efeitos, *trade-offs*<sup>6</sup> e sinergias entre os projetos e planos de infraestruturas energéticas[24].

A sua publicação começou em 2016 no ETHZ, sendo que inicialmente a metodologia utilizada para a simulação energética consistia em que o CEA era um plug-in a adicionar ao ArcGis, de forma a permitir a construção e modelagem de modelos paramétricos de edifícios em 3D e exportá-los e executá-los no EnergyPlus, permitindo, ao mesmo tempo, a sua análise consoante a luz solar, ciclo de vida e a variação das escalas espaciais e temporais[23]. No entanto, em 2018 o CEA deixou de ser um plug-in para o ArcGis e passou a operar de uma forma mais autónoma e foi descontinuada a abordagem de servir como um plug-in para o ArcGis.

### 2.3.2.2 Funcionalidade e Estrutura do CEA

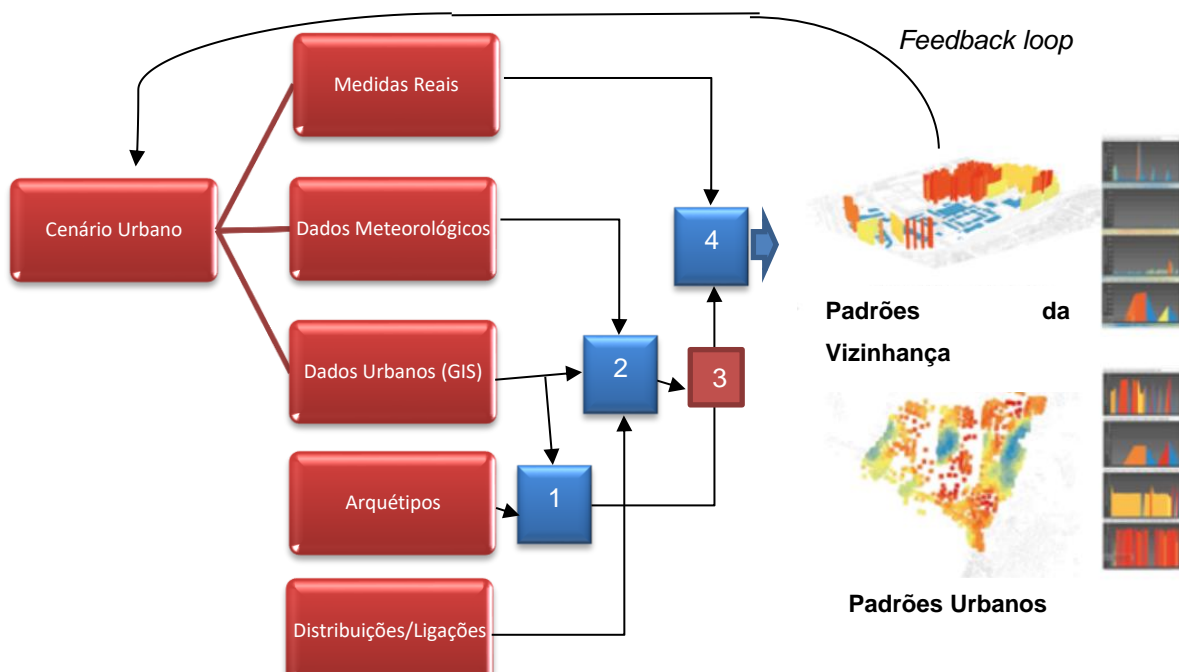
A funcionalidade genérica do CEA consiste então no armazenamento, análise e visualização da informação dos modelos urbanos energéticos em escalas temporais e espaciais, no qual em comparação com outros modelos UBEM's, analisa os serviços de energia em edifícios (aquecimento e arrefecimento do espaço, AQS e eletricidade) e as necessidades de potência dos mesmos. Porém, em contraste com outros modelos, o CEA analisa outros aspetos que têm um grande impacto no consumo e eficiência dos edifícios, nomeadamente[25]:

- radiação solar nas superfícies dos edifícios;
- fenómeno do sombreamento próprio;
- interação do edifício em estudo com a sua vizinhança;
- características próprias devido à sua geometria e envolvente;
- vários sistemas AVAC e serviços de energia.

---

<sup>6</sup> *trade-off* consiste no balaço entre a aquisição/uso/projeção/simulação entre 2 produtos diferentes que pretendem adquirir o mesmo objetivo

Em termos de estrutura de funcionamento do CEA, que está representada de uma forma ilustrativa na Figura 5, o mesmo usa cenários de projetos urbanos previsíveis como dados georreferenciados de entrada para calcular os requisitos de potência horária e a temperatura requerida nos sistemas de energia dos edifícios. Para tal, são utilizados 2 métodos *bottom-up* para os cálculos dos requisitos, sendo um o método estatístico (onde se obtém maioritariamente os consumos anuais térmicos e elétricos) e o outro o método analítico (onde se obtém o fluxo energético, temperatura e a capacidade térmica), em que as bases de dados no qual os dois se apoiam são nos arquétipos estipulados dos respetivos edifícios. Após obtenção do resultado dos 2 métodos, estes são combinados e complementados por dados reais medidos, no caso de existirem. Por fim, de forma a reduzir o tempo de processamento da simulação e a análise de padrões de consumo, são agrupados algoritmos da mesma “família”, que possam ser simplificados, de forma a obter resultados com um baixo processamento e uma boa precisão de resultados de consumos. Estas previsões de consumo e produção dos serviços de energia poderão ser visualizados de uma forma simplificada através de uma interface 4D, que facilita a interpretação espacial e temporal destes mesmos serviços[25].



**Figura 5** – Estrutura do aproximada do modelo do CEA, 1: Modelo Estatístico, 2: Modelo Analítico, 3: Agregação e 4: Visualização de Dados  
 Fonte: Adaptado de [24]

Portanto o intuito do CEA consiste na obtenção de dados fidedignos através da introdução mínima de dados necessários, para os cálculos pretendidos. Como tal o modelo é constituído por 5 bases de dados, representadas na Figura 5, tendo cada uma a sua função na aquisição de dados.

### 2.3.2.3 Base de dados de Medidas Reais

Relativamente aos dados da base de dados de “Medidas Reais”, estes dados assumem a função de complementar dados que não estão padronizados, ou seja, edifícios que não assumem o padrão comum dos edifícios da área em estudo e que necessitam de dados reais para obter os valores a utilizar nas simulações da plataforma. Estes dados costumam possuir os consumos de aquecimento

e de arrefecimento, de equipamento e de arrefecimento para formação de gelo (caso apenas atribuído a edifícios com necessidade de formação de gelo, p. e. pista de gelo)[25].

#### 2.3.2.4 *Base de dados dos dados Meteorológicos*

De seguida, temos a base de dados de “Dados Meteorológicos”, que, por norma, consiste num ficheiro adquirido no *site* da EnergyPlus que fornece os dados da temperatura ambiente, humidade relativa e transmissividade solar num determinado ano[25].

#### 2.3.2.5 *Base de dados dos Dados Urbanos*

A base de dados de “Dados Urbanos (GIS)” consiste na obtenção das georreferências dos edifícios e da sua periferia, sendo esta informação providenciada por base de dados oficiais e pelo OSM (*Open Street Map*). É através deste método que é possível obter os dados como a área de implantação do edifício, altura, rácio entre a área das janelas e das paredes, tipos de sistema de sombreamento, tipos de ocupação, sistemas de geração de energia, ano de construção e, caso possua, data da última renovação do edifício[25]. No entanto, nestes módulos, nem sempre é possível obter os dados que pretendemos, devido à confidencialidade do edifício, restrições de acesso ou inexistência de informação nas bases de dados mencionadas, como tal, é preciso inserir esses dados manualmente nas bases de dados. Numa primeira análise, o CEA possui um tutorial de como inserirmos a nossa própria geometria, bastando para tal desenhar a área de implantação do edifício num *software CAD*, por exemplo o *AutoCAD*. Após ter o desenho da área de implantação do(s) edifício(s) é necessário guardá-lo em formato *.dwg 2004* que depois, através da utilização do *ArcCatalog*, ou outro programa similar, o ficheiro deve ser convertido num ficheiro de forma/polígono (*shapefile/polygon*). Após ter o ficheiro da forma do(s) edifício(s), este deve ser conferido e inserido na região respetiva do mapa utilizando o *ArcScene*, ou outro programa similar[26]. De referir que o ArcGis é um *software* que requer licenças pagas, como tal, em alternativa, pode ser utilizado o *software* QGIS ou, a forma do(s) edifício(s) e respetivos dados como a altura e ano de construção do edifício, podem ser inseridos diretamente na base de dados do OSM, bastando criar uma conta no *site* e adicionar manualmente as áreas de implantação dos edifícios em estudo e os seus respetivos dados.

#### 2.3.2.6 *Arquétipos e Distribuições*

Os arquétipos e as bases de dados de distribuições são a base estrutural das análises estatísticas e analíticas uma vez que descrevem as propriedades padrão de um determinado tipo de edifício, sendo que para cada tipo/classe de edifício são atribuídos diferentes valores a nível da sua envolvente, sistemas AVAC e valores de consumos anuais diversificados. Estes dados, por norma, são adicionados manualmente e estão divididos consoante o Apêndice B expressa, sendo os mesmos possíveis de adquirir através de registadores de consumo reais (p.e. *Fluke 1742/1746/1748 Power Quality Logger*) ou através da assimilação dos edifícios em estudo com arquétipos já existentes.

Assim sendo, na criação de um novo arquétipo, em que assumimos que o arquétipo estipula valores padrões de construção e outros, dependentes da região onde o edifício se encontra, as bases de dados de distribuição estipulam os consumos e perfis horários de um tipo de edifício. Logo, é

necessário a aquisição *a priori* de 122 dados diversos, sendo uns relativamente a rácios, outros de consumos, outros de propriedades de materiais e outros de presença de um certo sistema ou não. Para além das 122 variáveis a ter em conta, é preciso a atribuição de perfis horários relativamente à ocupação, equipamentos, iluminação, água, aquecimento, arrefecimento, processos variados, servidores e mobilidade elétrica (carregamentos de veículos elétricos).

### 2.3.2.7 *Análise do Modelo Estatístico*

O modelo estatístico compara consumos anuais específicos dos edifícios em estudo com edifícios caracterizados nas bases de dados que se assemelham à categoria dos edifícios em estudo. Através da comparação é então possível adquirir os consumos anuais dos edifícios em estudo através das equações (1), (2) e (3)[25].

$$E_{k,i} = Ae_i * \sum_{j=1}^n (e_k)_{(C_{j,i})} * \frac{Ae_{C_{j,i}}}{Ae_i} \quad \left[ \frac{KWh}{ano} \right] \quad (1)$$

$$Q_{k,i} = Ae_i * \sum_{j=1}^n (q_k)_{(C_{j,i})} * \frac{Ae_{C_{j,i}}}{Ae_i} \quad \left[ \frac{KWh}{ano} \right] \quad (2)$$

$$q_k = \left( \frac{HDD_{edifício\ em\ estudo}}{HDD_{localização\ original}} \right) * q_{k,original} \quad \left[ \frac{KWh}{m^2} \right] \quad (3)$$

Deste modo, para um edifício *i* que esteja em estudo, é possível calcular os seus consumos anuais para diversos sistemas *k*, os quais poderão ser elétricos ou no âmbito do aquecimento e arrefecimento do edifício ou de outros processos ( $E_{k,i}$  e  $Q_{k,i}$ , respetivamente). O cálculo destes consumos começa em saber a área total condicionada do edifício,  $Ae_i$ , e saber as percentagens dessa área que estão ocupadas por determinadas classes de consumo,  $C_{j,i}$ , que se relacionam com o ano de construção do edifício e os seus perfis horários. Após estipulado a classe a estudar,  $C_{j,i}$ , a mesma possui um consumo específico,  $e_k$  e  $q_k$ , podendo este ser respetivamente elétrico ou de transmissão de calor e que os valores dos mesmos estão estipulados em arquétipos de edifícios similares[25].

O cálculo relativamente aos consumos específicos de aquecimento e arrefecimento de espaços,  $q_k$ , é feito utilizando o método HDD ou CDD, caso sejam dias de aquecimento ou de arrefecimento, respetivamente. Na equação (3) é possível verificar que o cálculo do fluxo de calor é feito utilizando o rácio entre o HDD do edifício em estudo e do HDD do edifício em base de dados, multiplicando pelo fluxo de calor do edifício na base de dados[25].

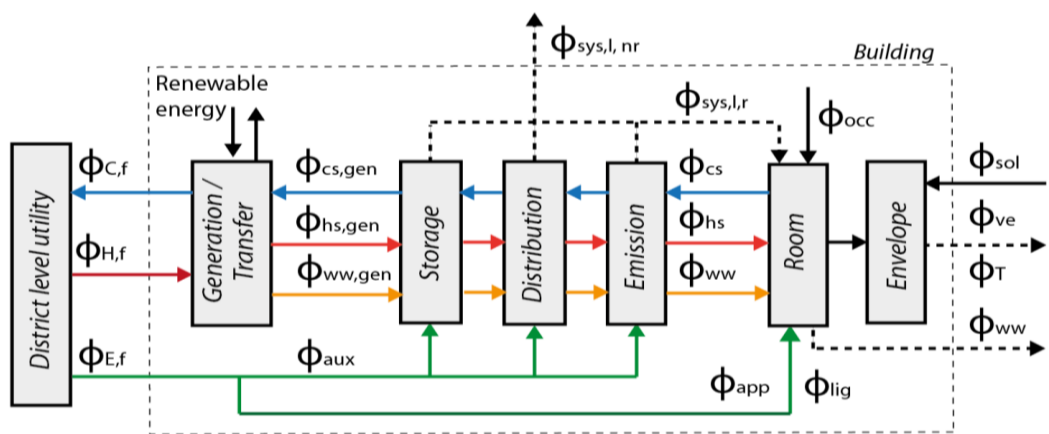
### 2.3.2.8 *Análise do Modelo Analítico*

O modelo analítico consiste numa aproximação física ao que o CEA utiliza para transcrever as demandas horárias, as temperaturas de conforto e de AQS e a demanda de eletricidade em dados computacionais. Como tal, utiliza os seguintes modelos[25]:

- Modelo do sistema de controlo do ambiente (ECS), em que se integram as demandas horárias de cada sistema;
- Modelo simplificado de sistemas de ar-condicionado de Kaempff;

- Modelo de emissão de subsistemas em estado quase estacionário de Holst (aplicado p.e. a radiadores);
- E recomendações térmicas dadas pela SIA relativamente a superfícies que emitem calor (p.e. chão aquecido).

O método analítico, de forma a ser possível analisar os consumos dos edifícios em estudo, tem de simplificar diversos cálculos térmicos, nomeadamente o modelo utiliza um edifício exemplo em que é representado por apenas uma única zona térmica com superfícies planas e ortogonais, condições de fronteira adiabáticas com edifícios adjacentes, um único espaço com climatização e uma única cave sem sistema AVAC (caso possua). Sendo assim, todas as equações para calcular estes consumos focam-se e simplificam-se apenas então numa única zona térmica que representa o edifício em estudo. No entanto, é preciso ter em conta que, dentro da zona térmica do edifício, também temos a geração, distribuição, emissão e armazenamento da energia e, como é expectável, temos de ter em conta a envolvente do edifício em estudo. Esta transferência de energia é possível ser observada de uma forma mais esclarecedora através da Figura 6.



**Figura 6** – Esquema simplificado das transferências de energia analisadas no modelo analítico  
Fonte: retirado de [25]

Na figura anterior verificamos que a linha de abastecimento do edifício consiste a nível elétrico ( $\phi_{E,f}$ ) e térmico (nomeadamente o aquecimento,  $\phi_{H,f}$ , e o arrefecimento,  $\phi_{C,f}$ ), sendo o sistema elétrico o responsável pela alimentação dos subsistemas de armazenamento, distribuição e emissão de energia,  $\phi_{aux}$ , e pela iluminação e alimentação dos equipamentos elétricos do edifício,  $\phi_{lig}$  e  $\phi_{app}$ , respetivamente. A nível do sistema térmico, a linha de abastecimento está conectada com o sistema de geração e transferência de energia do edifício, no qual existe a produção/transferência de energia para responder às necessidades energéticas do edifício, seja a nível de AQS ( $\phi_{ww,gen}$ ), aquecimento ( $\phi_{hs,gen}$ ) ou arrefecimento ( $\phi_{cs,gen}$ ), onde é tido em conta a existência de geração de energia através de fontes de energia renovável.

Relativamente ao balanço energético existente nas divisões do edifício, os ganhos são provenientes dos ocupantes ( $\phi_{occ}$ ), dos equipamentos ( $\phi_{app}$ ) e iluminação ( $\phi_{lig}$ ), da AQS ( $\phi_{ww}$ ), do sistema de aquecimento ( $\phi_{hs}$ ), da energia reutilizável proveniente dos subsistemas de armazenamento, distribuição e emissão ( $\phi_{sys,l,r}$ ) e da radiação solar incidente ( $\phi_{sol}$ ) na envolvente do edifício, enquanto as perdas são devidas ao sistema de arrefecimento ( $\phi_{cs}$ ), esgotos ( $\phi_{ww}$ ), transferências térmicas através da envolvente ( $\phi_T$ ) e ventilação ( $\phi_{ve}$ ) [25].

### 2.3.2.9 Modelo Analítico para consumos elétricos

Um dos consumos que tem sempre bastante impacto na eficiência energética do edifício é o consumo de eletricidade, devendo-se maioritariamente a equipamentos e iluminação. Para possuir uma boa estimativa do consumo do edifício pelo método analítico, este é dividido em consumos de equipamentos ( $\phi_{app} = (\phi_{dev} + \phi_{pro} + \phi_{data}) * A_e [Wh]$ ), que correspondem respetivamente ao somatório dos consumos de equipamentos eletrónicos, industriais e de servidores em  $\frac{Wh}{m^2}$ , que depois são multiplicados pela área efetiva ( $A_e$ ) do edifício onde estes consumos estão presentes), iluminação ( $\phi_{lig} = \phi_{lig} * A_e [Wh]$ ) e energia elétrica auxiliar para os 3 sistemas de fornecimento ( $\phi_{aux} = \phi_{hs,aux} + \phi_{cs,aux} + \phi_{ww,aux} + \phi_{fw,aux} + \phi_{ve,aux}$ ), que corresponde, respetivamente, ao consumo do aquecimento, arrefecimento, AQS, água fresca e, quando aplicável, ventilação mecânica ou ar-condicionado)[25].

### 2.3.2.10 Modelo Analítico para consumos térmicos

O algoritmo do CEA foi elaborado de forma que, no modelo analítico, as perdas de calor ocorram devido a processos de ventilação, natural ou mecânica, e através de transmissão. Como tal, em termos de ganhos considera-se que fazem parte o número de ocupantes do edifício, radiação solar, equipamentos e iluminação<sup>7</sup> e são estes valores que serão tidos em conta no balanço energético<sup>8</sup>.

Quando o balanço energético não está igualado entre os ganhos e as perdas, entra então em ação a necessidade de aquecimento ( $\phi_{hs}$ ) ou arrefecimento ( $\phi_{cs}$ ) da zona térmica, traduzindo-se em parâmetros essenciais no estudo do edifício e na sua eficiência.

Relativamente às necessidades de aquecimento ( $\phi_{hs,gen}$ ) ou arrefecimento ( $\phi_{cs,gen}$ ) e às necessidades de AQS ( $\phi_{ww,gen}$ ), o consumo total é calculado tendo em conta o consumo registado na zona térmica em estudo ( $\phi_{hs/cs/ww}$ ) e são tido em conta as perdas recuperáveis ( $\phi_{hs/cs/ww,l,r}$ ) e não recuperáveis ( $\phi_{hs/cs/ww,l,nr}$ )<sup>9</sup> através dos 3 sistemas de fornecimento (armazenamento, distribuição e emissão). De referir que, no consumo do aquecimento e do arrefecimento, são tidos em conta os fluxos a nível do calor sensível e latente<sup>10</sup>, uma vez que o aquecimento em termos AVAC apenas é considerado em época de aquecimento (meio de setembro a meio de março) e o arrefecimento nos mesmos termos apenas nos meses contrários ao do aquecimento e, por fim, que o cálculo dos consumos é baseado no método do ECS que é baseado numa solução implícita<sup>11</sup> que permite que a carga administrada na zona térmica seja estimada consoante uma temperatura ajustada para o interior[25].

$$\phi_{hs,gen} = \phi_{hs} + \phi_{hs,l,nr} + \phi_{hs,l,r} [Wh] \quad (4) \quad \phi_{cs,gen} = \phi_{cs} + \phi_{cs,l,nr} + \phi_{cs,l,r} [Wh] \quad (5)$$

<sup>7</sup> Assume-se que toda a energia consumida devido a equipamentos e iluminação é convertida em energia útil.

<sup>8</sup> Neste balanço energético para a zona térmica, despreza-se  $\phi_{aux}$  e  $\phi_{ww}$  que corresponde ao consumo da energia elétrica para os sistemas auxiliares e os consumos de AQS.

<sup>9</sup> Sendo o cálculo das perdas não recuperáveis e recuperáveis é possível calcular através das equações mencionadas respetivamente no capítulo III 2.4.3.3 e 2.4.3.4 de [25].

<sup>10</sup> Entrada e saída de calor latente na zona térmica só é tido em conta em edifícios com sistemas com ar-condicionado e é calculado através do modelo presente em [28].

<sup>11</sup> Solução implícita pode ser consultada em [27].

$$\phi_{ww,gen} = \phi_{ww} + \phi_{ww,l,nr} + \phi_{ww,l,r} \quad [Wh] \quad (6)$$

Sendo que,

$$\phi_{hs/cs} = \phi_{hs/cs,sen} + \phi_{hs/cs,lat} [Wh]; \quad \phi_{hs} = \begin{cases} \phi_{hs/cs}, & \phi_{hs/cs} > 0 \\ 0, & \phi_{hs/cs} = 0 \end{cases}; \quad \phi_{cs} = \begin{cases} |\phi_{hs/cs}|, & \phi_{hs/cs} < 0 \\ 0, & \phi_{hs/cs} = 0 \end{cases};$$

Tendo em conta que os fluxos de aquecimento e arrefecimento se dividem em calor sensível e latente, os mesmos são possíveis de determinar através das seguintes equações (sendo que para o calor sensível baseia-se num modelo presente em [27] e para o calor latente baseia-se num modelo presente em [28])[25].

$$f(\phi_{hs/cs,sen}) = (\phi_T + \phi_{ve}) - (\phi_{occ,sen} + \phi_{app} + \phi_{lig} + \phi_{sol}) + \phi_{hs/cs} - \phi_{m_{t-1}} \quad [Wh] \quad (7)$$

$$\phi_{hs/cs,lat} = c_{pv} * \dot{m}_a * (w_{a,in} - w_{a,sup}) \quad [Wh] \quad (8)$$

Desta forma, no cálculo do consumo do aquecimento ou arrefecimento em termos de calor sensível, sabendo que o balanço energético terá de se igualar entre as perdas, transmissão ( $\phi_T$ )<sup>12</sup> e ventilação ( $\phi_{ve}$ )<sup>13</sup>, e os ganhos<sup>14</sup>, calor emitido devido ao número de ocupantes ( $\phi_{occ,sen}$ )<sup>15</sup>, equipamentos ( $\phi_{app}$ ), iluminação ( $\phi_{lig}$ )<sup>16</sup> e ganhos solares ( $\phi_{sol}$ )<sup>17</sup>[25].

Relativamente aos consumos de AQS, estes são calculados com base nos dados administrados nos arquétipos e a seguinte equação:

$$\phi_{ww} = c_{pw} * \dot{v}_{ww} * Ae * (T_{ww,sup} - T_{fw,sup}) \quad [Wh] \quad (9)$$

$$c_{pw} = 1161 \frac{Wh}{m^3K}, \text{ consiste na capacidade calorífica volumétrica da água}$$

$$\dot{v}_{ww} = \left[ \frac{m^3}{hm^2} \right], \text{ consiste no caudal volumétrico por zona térmica}$$

$$T_{ww,sup} = \text{consiste na temperatura de fornecimento da água quente}$$

$$T_{fw,sup}^{18} = \text{consiste na temperatura da água natural}$$

Por fim, é de referir que os cálculos em termos das transferências de calor nos permutadores e outros similares é feito utilizando o método simplificado de Holst, no qual pode ser consultado no capítulo III 2.4.3.5 de [25].

### 2.3.2.11 Agregação de Resultados

Obtendo os valores calculados no modelo estatístico e no modelo analítico relativamente aos sistemas de aquecimento, arrefecimento, AQS e eletricidade, é então calculado um valor médio anual para cada um dos sistemas. Os resultados são, então, agregados à base de dados de medições, de

<sup>12</sup> Restantes cálculos de como calcular as perdas por transmissão estão presentes no capítulo III 2.4.3.1.1 de [25].

<sup>13</sup> Restantes cálculos de como calcular as perdas por ventilação estão presentes no capítulo III 2.4.3.1.2 de [25].

<sup>14</sup> No cálculo dos ganhos é ainda tido em conta o armazenamento do calor ( $\phi_{m_{t-1}}$ ), devido a passos anteriores.

<sup>15</sup> Restantes cálculos de como calcular os ganhos devido ao calor emanado pelo número de ocupantes estão presentes no capítulo 2.4.3.1.3 de [25].

<sup>16</sup> Os cálculos dos ganhos devido a equipamento e iluminação foram apresentados no início do mesmo subcapítulo.

<sup>17</sup> Restantes cálculos de como calcular os ganhos devido aos ganhos solares estão presentes no capítulo III 2.4.3.1.5 de [25] e baseiam-se no algoritmo de Rich.

<sup>18</sup> A temperatura da água natural normalmente assume-se igual a 10°C durante a época de aquecimento e 14°C durante a época de arrefecimento.



forma a comparar os resultados e obter simulações concisas e simples e, por fim, são apresentados numa plataforma que permite visualizar os dados num formato 4D[25].

Porém, é de referir que, como dito anteriormente, o CEA não calcula apenas os consumos do edifício, mas sim estima o potencial da adoção de módulos para o aumento da eficiência energética do edifício e a redução das emissões de GEE, sendo eles[25]:

- Potencial para instalação de painéis solares (fotovoltaicos, térmicos e híbridos);
- Potencial para uso de aquecimento de fonte geotérmica;
- Potencial para uso de aquecimento de fonte hídrica, nomeadamente lagos;
- Potencial para uso de aquecimento de unidades de refrigeração por água de servidores;
- Potencial para uso de aquecimento de processos industriais, nomeadamente a produção de nitrogénio, onde se aproveita o ar comprimido para a geração de calor;
- Potencial para utilização de regeneração de esgotos;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de bombas de calor;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de caldeiras de condensação.
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de painéis fotovoltaicos;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de painéis solares térmicos;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de sistemas híbridos fotovoltaicos/térmicos;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de *chillers* e torres de arrefecimento;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de armazenamento térmico, mais concretamente reservatórios de água;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de permutadores de calor;
- Comparação e análise de viabilidade tecnológica e económica na adoção/reposição de bombas de circulação de fluídos;
- Otimização de operação de sistemas de forma a reduzir ao mínimo os consumos totais, emissão de GEE e necessidades de energia primária;
- Análise de fiabilidade de medidas pareto ótimas, de forma que nenhum sistema esteja pior que antes e que exista, pelo menos, uma melhoria;
- Análise de configurações que aumentem o valor da área em termos sociais (utilização de renováveis e exportação de eletricidade), económicos (custo dos consumos e operação anuais) e ambientais (emissões e utilização de energia não renovável);
- Análise do ciclo de vida do edifício com base na esquematização energética dos edifícios helvéticos;

- Comparação da utilização de energia útil em configurações pareto ótimas com resultados reais de edifícios;
- Análise espaço-temporal dos dados simulados relativamente aos edifícios.

## 2.4 Auditoria Energética

### 2.4.1 Contexto da Auditoria Energética

Um edifício possui uma diversidade de formas de energia e a sua estrutura e alterações é bastante complexa para ser representada ou apresentada numa primeira análise simples do consumo em geral. É com base nesta dificuldade de perceber os consumos de um edifício e tentar gerir esses mesmos consumos que surge a auditoria energética.

A auditoria energética expressa-se numa análise detalhada de todos os consumos e utilizações de energia no que concerne ao aquecimento, arrefecimento, AQS, iluminação, ventilação, equipamentos, entre outros. Portanto, a auditoria energética pretende adquirir as informações relativas ao consumo de energia, contabilizar os consumos de energia, dispor de dados para decidir, agir para otimizar e controlar as situações[29] com o fim de alcançar benefícios a nível económico, ambiental e social[30].

No entanto, esta análise, não consiste num exame geral e igual que se extrapole a todo e qualquer tipo de edifício, mas é antes adaptado consoante o edifício a ser analisado. Como tal, de acordo com [29], é proposto uma metodologia de execução da auditoria energética que é dividida em quatro passos:

1. Preparação da auditoria;
2. Intervenção no local da instalação a auditar;
3. Tratamento da informação recolhida nas duas primeiras fases;
4. Elaboração do relatório da auditoria energética.

### 2.4.2 Medidas, Equipamentos e Software de apoio à elaboração da Auditoria Energética

Como referido anteriormente, a auditoria energética pretende adquirir as informações relativas ao consumo de energia, contabilizar os consumos de energia, dispor de dados para decidir, agir para otimizar e controlar as situações[29], com o fim de alcançar benefícios a nível económico, ambiental e social[30].

Para atingir os objetivos estipulados, a auditoria poderá auxiliar-se do uso de equipamentos de registo de consumos (p.e. *Fluke 1742*, registadores de qualidade de energia trifásicos que permite o acesso rápido e fácil aos dados necessários sobre a qualidade, potência e consumo energético[31]) ou de simuladores dinâmicos que adquirem valores de consumo muito próximos da realidade e são admissíveis e de confiança desde que o coeficiente de variação da raiz quadrada média do erro (CVRSME)[32][33] seja inferior a 25% para o consumo elétrico relativamente a um mês e inferior a 35% se for relativamente a um ano ou mais[34].

$$CVRMSE = \frac{1}{Y} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}} \quad [\%]$$

Portanto, o CVRMSE consiste na raiz quadrada da diferença ao quadrado entre o valor simulado ( $Y_i$ ) e o atual consumo ( $\hat{Y}_i$ ) do edifício ou secção num dado período, vezes N medições/registos efetuados, tudo dividido pelo consumo médio registado de modo a dar uma percentagem.

Sendo o propósito da simulação dinâmica a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos, é fundamental que analise a evolução de todas as medidas e definições com a devida precisão. A linha de tempo de análise é definida por ser pelo menos horária ou superior, no qual permite a avaliação dos parâmetros para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência[17]. Neste tipo de simulação, é essencial possuir uma informação detalhada dos diversos sistemas e respetivos elementos que constituem o edifício, nomeadamente a nível da envolvente, ocupação, sistemas de climatização, iluminação e perfis horários[35].

Um exemplo de um simulador dinâmico de edifícios é o software de simulação energética *EnergyPlus*. Este permite calcular os consumos diversificados de um ou vários edifícios, de forma a estudar a eficiência energética do mesmo e como a aumentar, bem como reduzir as emissões anuais dos GEE provenientes da construção e uso do mesmo. Este software é utilizado como simulador no *DesignBuilder*, que será abordado mais à frente[36].

O *EnergyPlus* possui como finalidade a geração de um modelo energético de um edifício baseando-se nas informações relativamente à sua envolvente, sistemas energéticos integrados no edifício que fornecem, armazenam, distribuem e consomem energia, perfis horários dos diversos sistemas e os dados climáticos da zona geográfica do edifício[35], que depois compila e organiza a informação de forma a conseguir calcular e prever as seguintes características[36]:

- Solução integrada e simultânea dos sistemas primários e secundários do edifício;
- Cálculo das trocas térmicas entre as zonas térmicas e a envolvente num intervalo de tempo abaixo do horário;
- Dados inseridos e de saída de acordo com as normas ASCII, possibilitando uma leitura padrão e fácil de analisar;
- Solução do balanço térmico efetuado nas superfícies interiores e exteriores, incluindo os efeitos convectivos e radiantes;
- Cálculos respeitantes a condução em regime transiente;
- Transferências térmicas efetuadas com o solo;
- Balanço térmico e balanço de massa incluindo a absorção e libertação gasosa;
- Modelos térmicos de conforto assumem as atividades dos ocupantes e a respetiva humidade presente na zona térmica;
- Irradiação solar difusa e direta incidente nas superfícies assumindo um modelo com um céu anisotrópico;
- Balanço energético presente nas janelas, assumindo que as mesmas possuem diversos sistemas de reflexão de luz solar ou de redução da absorção de luz solar;
- Consumos energéticos relativos à iluminação controlada por sistemas inteligentes;

- Impacto dos consumos energéticos relativos à configuração do sistema AVAC;
- Cálculo das emissões dos GEE;
- Comunicação e fácil transmissão de dados para outros sistemas de simulação de energia focados numa vertente das componentes de um edifício.

Porém, a interface do *EnergyPlus* apresenta uma certa complexidade e não permite uma fácil inserção e visualização dos dados a inserir para as simulações, contudo, é neste âmbito que surge então o *DesignBuilder*, sendo este possuidor de uma interface de fácil compreensão e visualização dos dados inseridos e calculados.

O *DesignBuilder* define-se então por ser um software desenvolvido com base no *EnergyPlus*, que permite definir modelos de construção de uma forma simples e intuitiva e que no final utiliza à mesma o *EnergyPlus* como simulador. O *DesignBuilder* permite construir o modelo do edifício, caracterizá-lo a si e aos respetivos sistemas energéticos e realizar as simulações devidas para obter os consumos energéticos respetivos a cada setor e permite ainda simular as medidas de otimização a implementar a cada edifício de forma a reduzir os seus consumos e a torná-lo mais eficiente[35].

A inserção dos dados do edifício no *DesignBuilder* é dividida em 5 grupos:

- **Atividades**, estabelece os perfis horários em termos de ocupação e dos sistemas energéticos, bem como os pontos de ajustes de temperatura dos sistemas de AVAC e o consumo de AQS;
- **Construção**, neste grupo é descrito a constituição da envolvente do edifício, bem como o seu interior e a infiltração do mesmo;
- **Aberturas**, define a estrutura e as medidas das janelas exteriores e interiores, bem como o seu sombreamento e a sua abertura e também permite a atribuição das características das existências de exaustores e portas;
- **Iluminação**, registo dos  $W/m^2$  presentes em cada divisão ou de uma forma geral no edifício e os seus perfis horários;
- **AVAC**, definição e esquematização do esquema de aquecimento, arrefecimento, ventilação e AQS do edifício.

Aquando do registo dos dados no *DesignBuilder*, o mesmo obedece a uma hierarquia no preenchimento dos dados, sendo o do topo o aplicado a todo o edifício e a todos os seus sistemas (localização do edifício) e o de baixo o aplicável a um parâmetro ou algo em pormenor como uma porta ou janela ou sistema de aquecimento(radiador). Como tal, o software obedece à seguinte hierarquia[35]:

1	<b>Localização do edifício</b>	4	<b>Zonas Térmicas<sup>19</sup></b>
2	<b>Construção do Edifício em Geral</b>	5	<b>Superfícies das Zonas Térmicas</b>
3	<b>Blocos de Construção (Estrutura definida como edifício)</b>	6	<b>Aberturas (p.e. portas e janelas)</b>

<sup>19</sup> Zonas térmicas são definidas pela divisão de blocos e são caracterizadas como zonas que poderão ser de zonas diferentes de climatização, AVAC ou uso (escritório e sala).

## 2.5 Certificação Energética e o *SRI*

A Certificação Energética poderá surgir, após uma auditoria energética, a qual permite ao(s) consumidor(es) saberem o consumo energético e eficiência energética do edifício estudado.

A atribuição da Certificação Energética é regida pela legislação do SCE, no qual os seus principais objetivos é garantir a aplicação da legislação na eficiência energética, na qualidade do ar interior e na utilização de sistemas de energias renováveis. Tendo em conta as divisões no sistema de Infraestruturas, residenciais e comerciais, também existe a divisão na legislação dos certificados energéticos, sendo eles o REH e o RECS, aplicados respetivamente ao setor residencial e ao setor de comércio e serviços.

O Certificado Energético é classificado em função do desempenho do edifício numa escala predefinida de 8 classes, A+ a F, cuja atribuição da classe do edifício é dependente do valor do rácio de classe energética definido no Despacho 15793-J/2013[37].

Relativamente ao *SRI*, *Smart Readiness Indicator*, a nova versão da *EPBD* declara que deve haver um esquema geral europeu que define as capacidades de um edifício em usar os seus sistemas energéticos e, com vista a concretizar essa meta, foi definido no mesmo que o *SRI* consiste numa “avaliação das capacidades do edifício ou unidade de construção para adaptar o seu funcionamento às necessidades dos ocupantes e da rede para melhorar sua eficiência energética e desempenho geral”[38], no qual as suas principais funções serão leitura dos consumos e adaptá-los consoante as necessidades, melhorar e facilitar a manutenção e operação do edifício e adaptar consoante a situação da energia da rede. De referir que as medidas a implementar e a sugerir relativamente ao *SRI* irão começar a surgir no início de 2021 com o objetivo de alcançar os objetivos estabelecidos no *EPBD* para 2030.

### 3 Caso de Estudo

O objetivo desta dissertação consiste na promoção do aumento da eficiência energética dos edifícios do Exército Português tendo como base de estudo os edifícios na AMA.

A AM é um Estabelecimento de Ensino Superior Público Universitário Militar que tem como missão a formação de Oficiais destinados aos quadros permanentes do Exército e da Guarda Nacional Republicana, habilitando-os ao exercício das funções que estatutariamente lhes são cometidas, conferir as competências adequadas ao cumprimento das missões do Exército e da GNR e promover o desenvolvimento individual para o exercício de funções de comando, direção e chefia[39].

A AM está dividida em dois *campus*, Academia Militar-Sede situada em Arroios, Lisboa e Academia Militar-Amadora situada na Amadora e é onde está presente o grosso da força dos alunos e onde se inserirá o estudo da eficiência energética.

Como tal, a análise dos consumos e de modulação energética dos edifícios da AMA foi dividida em 2 partes.

Em primeiro lugar, serão abordados os consumos e os dados energéticos do *campus* da AMA como um todo, tendo em consideração os edifícios todos da AMA bem como o seu consumo em geral e após a aquisição dos dados serão processados no CEA.

Em segundo lugar, serão abordados os consumos e os dados energéticos em específico do edifício da 3ª e 4ª Companhia de Alunos, sendo este edifício o responsável por alojar os alunos do 3º e 4º ano da Academia Militar, excluindo os alunos de Medicina, e onde está concentrado um consumo significativo elétrico noturno e de AQS, pois na AM os alunos vivem num regime de internato e, conseqüentemente, isso contribui para uma maior despesa em geral, mas sobretudo em termos elétricos.

#### 3.1 Caracterização da AMA

A AMA consiste, no *campus* responsável, por albergar a maior parte dos alunos da AM e onde decorre toda a atividade educativa e formativa dos alunos da Academia Militar, onde se situam os gabinetes dos docentes e formadores dos cadetes e outros órgãos essenciais à gestão e administração deste mesmo espaço. Devido à diversidade de funções e missões existentes na AMA, existem, como tal, as infraestruturas onde se situam determinados órgãos ou que possuem uma determinada função.

De forma a perceber e ilustrar os diferentes tipos de edifícios existentes na AMA, na Figura 7 é ilustrada uma fotografia aérea do AMA, onde é identificável os seguintes edifícios com as suas respetivas funções:



**Figura 7 - Infraestruturas do AMA**  
 Fonte: Retirado de OSM (Maxar Premium Imagery (Beta))

- 1 – Edifício B, edifício destinado à administração das aulas aos cadetes e onde se situam alguns gabinetes de docentes;
- 2 – Edifício A, edifício que possui os laboratórios, salas de aulas, biblioteca, servidores e gabinetes de docentes;
- 3 – Refeitório, local destinado à alimentação dos utilizadores da AMA;
- 4 – Edifício de Alunos, edifício caracterizado por ser um espaço para os alunos conviverem entre si;
- 5 – Edifício de Comando, infraestrutura onde se situam as altas entidades de comando da unidade, bem como os gabinetes que são responsáveis pela formação física, militar e comportamental;
- 6 – Edifício da Direção de Ensino, edifício onde se coordena e se planeia a formação académica, técnica e científica a administrar aos alunos da AM;
- 7 – Auditórios, infraestrutura caracterizada por possuir 2 auditórios;
- 8 – 1ª e 2ª Companhia, infraestrutura que acomoda os alunos da 1ª e 2ª Companhia (1º e 2º ano);
- 9 – 3ª e 4ª Companhia, infraestrutura que acomoda os alunos da 3ª e 4ª Companhia e mais alguns militares;
- 10 – Cavalariças e Ginásios, conjunto de edifícios que incorporam o Picadeiro Coberto, Cavalariças e diversos pavilhões;
- 11 – Ginásio, infraestrutura que possui um ginásio para os utilizadores da AMA e 2 pavilhões gimnodesportivos;
- 12 – Pavilhão Koboyashi, pavilhão para a prática de futsal com uma sala dedicada para a formação de boxe;
- 13 – CCS, órgão responsável de assegurar o normal funcionamento das atividades logísticas e administrativas da AM;

14 – Caserna dos Sargentos, dormitório para os Sargentos da AMA e alguns gabinetes.

Face aos diversos órgãos e respetivos edifícios que a AMA possui, são identificados os diferentes tipos e consumos que o AMA possui, sendo eles de dormitórios, ensino, cozinha, bar, ginásio, auditório, biblioteca. Estes tipos de edifícios, devido à divergência de funções e utilização dos mesmos, apresentam diferentes consumos, consoante o ano e a hora do dia. No entanto, a sua utilização é necessária e indispensável à formação dos futuros Oficiais do Exército e da Guarda Nacional Republicana e, portanto, é importante que estes espaços garantam as condições necessárias de conforto e bem-estar para o processo de formação dos alunos. Apesar disso, é possível utilizar esses mesmos espaços com uma redução significativa dos custos, sem retirar as condições mencionadas anteriormente, e é nesse âmbito que se foca este estudo.

De forma a ter uma noção dos edifícios na AMA, a mesma ocupa uma área útil aproximadamente de 366 780 m<sup>2</sup>, sendo que 32 802 m<sup>2</sup> correspondem à área útil de pavimento ocupada pelos seus edifícios, a qual corresponde a 8,9% da área total do AMA. Esta área útil de pavimento engloba a área ocupada pelo edifício de comando, casa da guarda, gabinetes, auditórios, laboratórios, salas de aula, casernas dos alunos, oficiais, sargentos e praças, bares, espaços de convívio, espaços desportivos cobertos, picadeiro, cavalariças, arrecadação de material de guerra, arrecadações, salas de máquinas, refeitório, entre outros.

Relativamente à sua altitude, os edifícios principais de consumo energético situam-se a aproximadamente 134 m, e de acordo com o Despacho 15793-F/2013, a zona climática de inverno é classificada como I<sub>1</sub>, um inverno ameno, onde a temperatura média exterior é aproximadamente 10,8°C. A zona climática de verão é classificada como V<sub>2</sub>, verão moderado, ou seja, a sua temperatura média exterior durante o verão é 21,44°C.

Face à situação da pandemia e à complexidade da aquisição de dados de uma unidade com diversos tipos de edifícios e com diferentes funções, ocupações e sistemas, foi classificado o tipo de edifício com base nos arquétipos do CEA para cada edifício de forma a proporcionar uma simulação coerente e próxima da realidade dos consumos reais da AMA. Como tal, os perfis horários são baseados em arquétipos do CEA, com ligeiras modificações nas suas bases de modo a assemelhar-se a perfis horários típicos de edifícios militares portugueses e em especial os que representam a dinâmica na AMA.

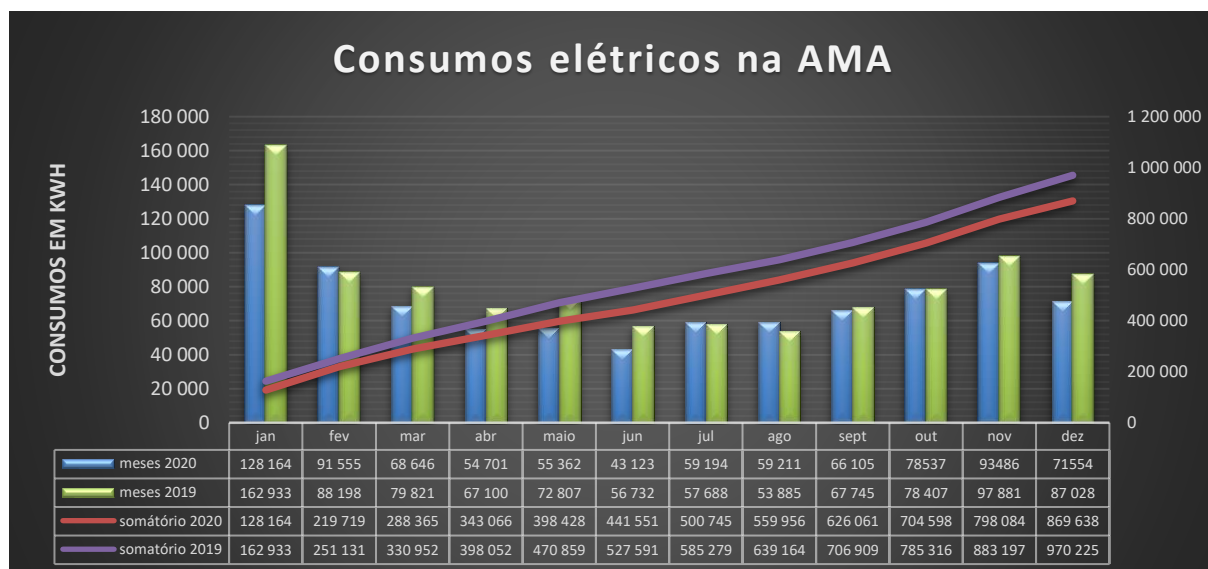
### **3.1.1 Consumo de energia**

Relativamente aos consumos de energia existentes na AMA, estes são a nível elétrico e de gás natural.

Para determinar os consumos elétricos no *campus* da AMA, recorreu-se à plataforma da *Iberdrola*, na qual foi possível obter os consumos mensais do ano 2020, sendo que estes consumos estão expressos na Figura 8 e representam os consumos da energia ativa, como também está expresso o consumo energético acumulado ao longo dos meses do ano 2020 e 2019, totalizando um consumo



anual de aproximadamente<sup>20</sup> 869 639 kWh no ano de 2020 e de 970 225 kWh no ano de 2019, o que equivale a um custo<sup>21</sup> anual de 103 234,85€ e de 115 175,41€ respetivamente, sendo visível o impacto que a pandemia teve no consumo de energia elétrica nos meses de março, abril, maio e junho, que correspondem aos meses de confinamento e de adoção de medidas de forma a reduzir os casos ativos de covid-19.

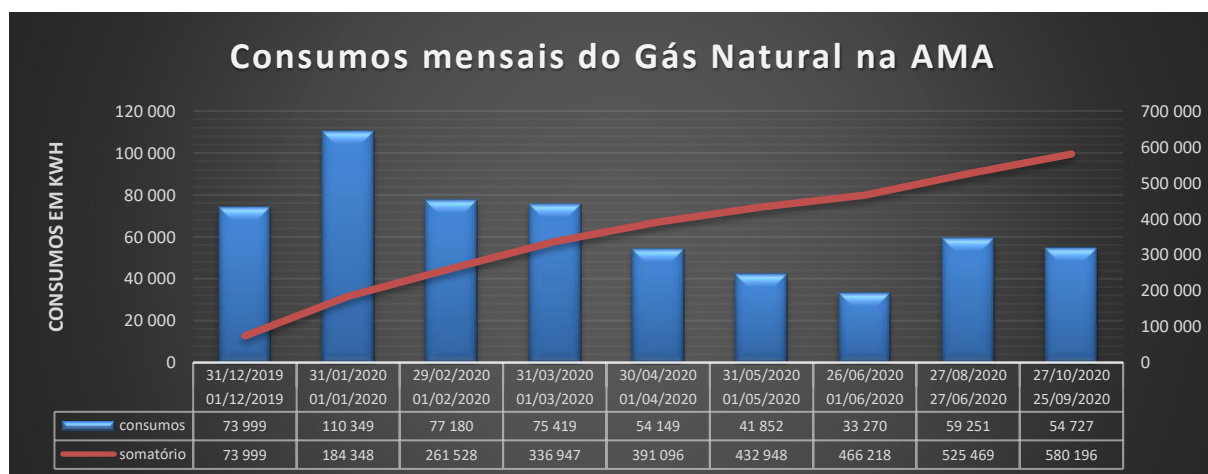


**Figura 8 – Consumos elétricos na AMA**

Fonte: Adaptado das faturas energéticas do Iberdrola

O mês de janeiro nos 2 anos apresenta uma diferença considerável pois no ano de 2019 o intervalo de registo foi desde o dia 31/12/2018 a 7/2/2019, enquanto no ano de 2020 o intervalo de registo foi desde o dia 7/1/2020 a 7/2/2020.

Relativamente ao consumo de gás natural, este está expresso na Figura 9 e, ao contrário dos consumos elétricos, este possui os consumos relativamente ao intervalo desde 1/12/2019 até 27/10/2020, que corresponde aos valores retirados através das respetivas faturas mensais.



**Figura 9 – Consumos de Gás Natural mensais na AMA**

Fonte: Adaptado das faturas do Gás Natural

<sup>20</sup> O valor do consumo anual é dito como aproximado pois o registo de consumo pela Iberdrola é feito no dia 7 de cada mês, portanto o consumo de cada mês corresponde ao consumo registado entre o dia 7 desse mês e o dia 7 do mês seguinte, excluindo o mês de dezembro (devido à mudança de ano e das leis que regem os registos foi registado o consumo até dia 31 de dezembro)

<sup>21</sup> Custos sem IVA

Através da análise dos dois gráficos anteriores, é perceptível que os meses com maior consumo correspondem aos meses de inverno, dado que a AMA se situa numa zona climática de inverno ameno, e, como é expectável, os meses de menor consumo correspondem aos meses de verão, tendo em conta que é nesse período em que ocorrem os exercícios militares, nos quais a AMA fica inocuada, é neste período que ocorrem as férias escolares, bem como há uma menor necessidade de iluminação e aquecimento, dado que as horas de radiação solar e a temperatura média são maiores. Também é perceptível que nestes 10 meses de análise de consumos a AMA consumiu 580 196 kWh, o que equivale a um custo sem IVA de 20 451,48€, no qual, se seguirmos a mesma tendência de consumo registado nestes 10 meses, perfaz um custo anual de 24 541,78€.

### 3.1.2 Tarifas

Saber o quanto pagamos por kWh é algo fundamental a qualquer organização, sendo ela uma empresa ou até mesmo uma família, uma vez que no final do mês o que um gestor vai ter em conta é quanto será o pagamento do consumo da energia elétrica.

Relativamente ao custo do consumo elétrico este é dependente dos custos de produção (energia ativa<sup>22</sup> e energia reativa<sup>23</sup> consumida), das tarifas de acesso às redes (potência contratada, transporte da energia e CIEG) e das taxas e impostos.

Como vimos anteriormente, a AMA necessita anualmente de centenas de milhares de kWh e, como tal, é pertinente saber o custo destes consumos de forma a avaliar a rentabilidade económica da escolha do fornecedor, bem como na aquisição de novos equipamentos e na implementação de fontes de energia renovável para auxiliar nas necessidades do *campus*.

De forma a avaliar e adquirir o preço médio que a AMA paga por kWh, foi avaliado as tarifas mensais desde 31 de dezembro de 2018 até 7 de outubro de 2020. Para calcular as tarifas mensais foi tido em conta o custo da energia ativa consumida, considerando as 4 tarifas que possui (Ponta, Cheia, Vazio e Super Vazio), o transporte da energia, a potência contratada e a energia reativa consumida e não sendo considerado o valor das taxas e impostos<sup>24</sup>.

Como referido no parágrafo anterior, a AMA possui uma tarifa tri-horária, sendo que o período de Vazio contempla o período horário de Vazio normal e Super vazio. De forma a estudar o consumo percentual e saber o período em que a academia consome mais e, por consequência, paga mais em custo de energia ativa, foi escolhido o dia 14 de outubro de 2020 para verificar esses mesmos valores, uma vez que foi um dia em que os impactos da pandemia não eram tão visíveis e a AMA estava a operar de acordo com as normas e ocupação habitual, antes da ocorrência da pandemia. A Figura 10 apresenta os valores percentuais de maior consumo no dia 14 de outubro, bem como o custo por kWh de cada tarifa.

---

<sup>22</sup> Energia ativa consiste na energia necessária para o equipamento trabalhar e executar as tarefas para que foi projetado. É medida em kWh.

<sup>23</sup> Energia reativa consiste na energia consumida que não executa trabalho/ação, no entanto, é necessária para o equipamento operar, sendo que normalmente essa energia é utilizada para a produção de campos eletromagnéticos. É medida em kVAh.

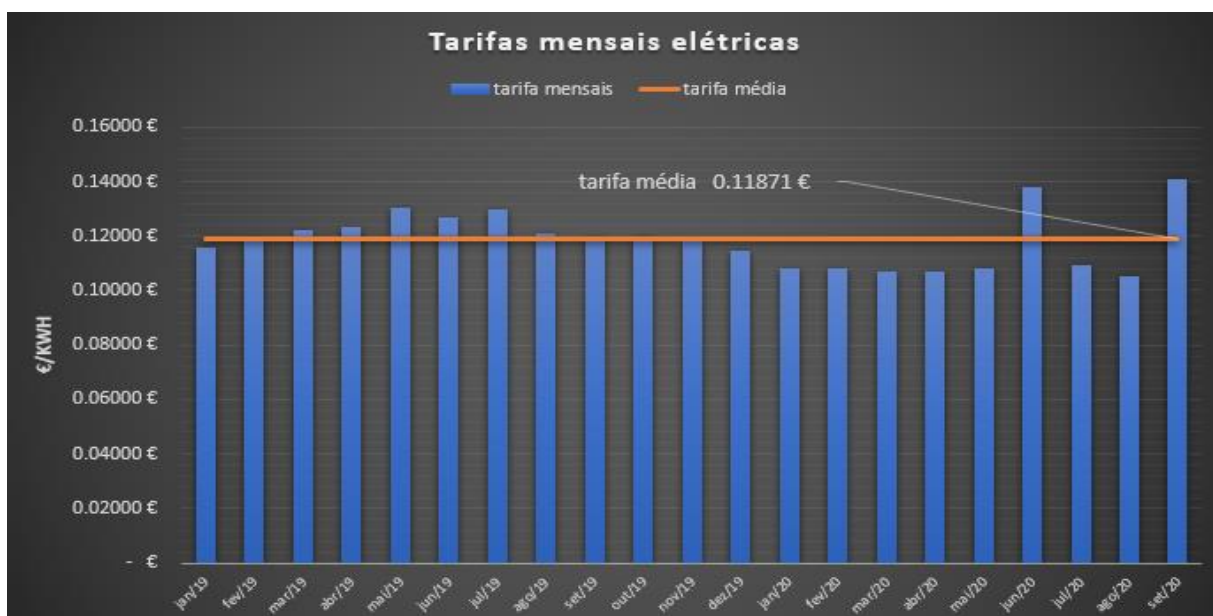
<sup>24</sup> Imposto que não foi tido em conta foi o IVA.

	P1-Ponta	P2-Cheia	P3-Vazio	P4-Super Vazio
horario inverno	(9h_10h30 + 18h_20h30)	(8h_9h + 10h30_18h + 20h30_22h)	(0h_2h + 6h_8h + 22h_0h)	(2h_6h)
EA(c€/kWh)	6.85	6.12	5.37	4.85
termo de redes energia(c€/kWh)	5.64	4.04	1.45	1.4
% total	15.80%	48.10%	24.25%	11.85%

**Figura 10** – Consumos percentuais da AMA num dia  
 Fonte: Adaptado das faturas energéticas do Iberdrola

É possível identificar, através da figura anterior, que o período com maior consumo é o período horário da Cheia, fundamentalmente devido a ser uma instituição de ensino que opera durante o dia, no entanto, possui também consumos não negligenciáveis nos outros períodos devido ao facto de ser também um local de alojamento dos alunos da AM, de ser uma unidade militar e de possuir servidores.

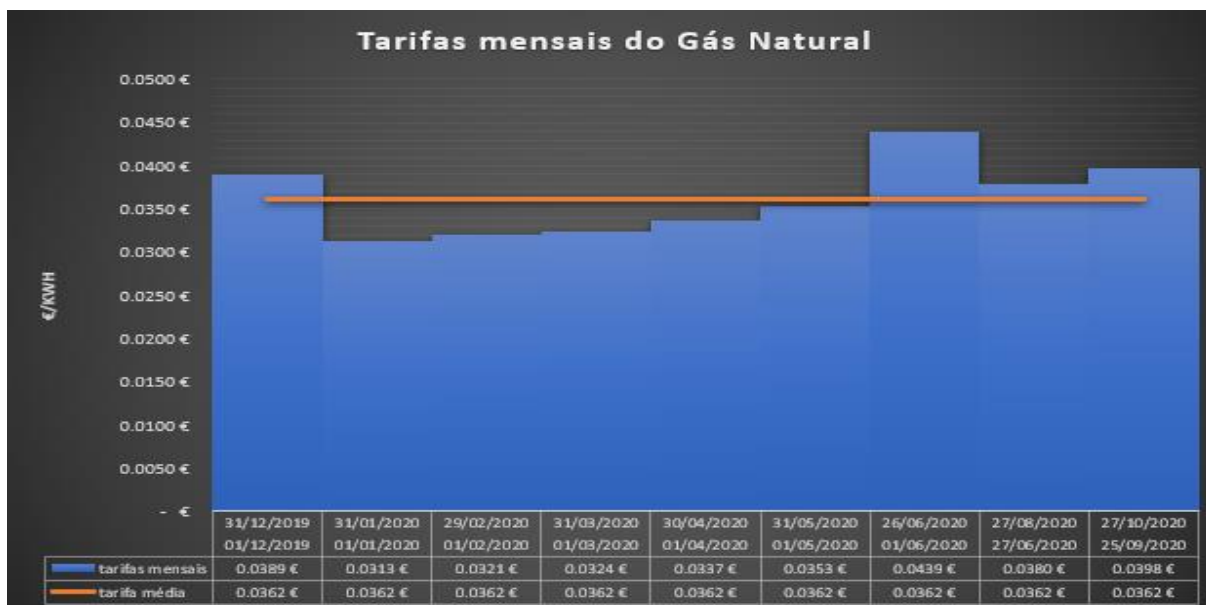
Na Figura 11 é possível verificar as tarifas mensais relativas a cada período estipulado e obtêm-se a tarifa média da AMA, que consiste em 0,11871 €/kWh, o que, em comparação com o custo da eletricidade residencial, é aproximadamente metade.



**Figura 11** – Tarifas mensais elétricas, não considerando o peso do IVA  
 Fonte: Adaptado das faturas energéticas do Iberdrola

Relativamente à tarifa do Gás Natural, esta foi calculada tendo em conta as faturas do consumo do mesmo a partir do período de 1 de dezembro de 2019 até 27 de outubro de 2020, sendo que este período contempla o período de confinamento obrigatório em casa devido à pandemia do covid-19. Para calcular a tarifa média do consumo do gás natural, foi analisado o custo diário de usufruir gás natural (termo fixo), os custos da capacidade de entrada mensal, o custo de consumo do mesmo por kWh, o imposto sobre produtos petrolíferos e o custo da taxa de ocupação do subsolo do município da Amadora, desprezando-se, à semelhança da tarifa elétrica, o IVA.

Na Figura 12 é observável as tarifas mensais relativas ao período estipulado no parágrafo anterior e, tendo em conta os custos desprezados para calcular a tarifa, obteve-se uma tarifa média de 0,0362 €/kWh.



**Figura 12 – Tarifas mensais de gás natural**

Fonte: Adaptado das faturas de consumo do gás natural proveniente da Galp

Sabendo as tarifas médias, é possível obter os valores anuais do custo do consumo, caso este seja alterado devido a melhorias ou alterações de equipamentos, horários de ocupação ou utilização ou previsão de consumos com base em simulações, sendo este abordado mais à frente.

### 3.1.3 Perfis Horários e Caracterização dos Edifícios

Como referido anteriormente, a AMA possui uma panóplia de edifícios de forma a melhorar e fornecer a formação necessária aos futuros oficiais do Exército Português e da Guarda Nacional Republicana e, como tal, cada edifício possui uma função na qual é atribuído um perfil horário de ocupação, de aquecimento, de consumo de água, de arrefecimento, de iluminação e de utilização de equipamentos. De forma a esclarecer as variáveis a ter em conta na construção e exposição desses mesmos perfis horários, surge a necessidade deste subcapítulo.

Começando pelo edifício identificado com o número 1 na Figura 7, o Edifício B, é definido principalmente como sendo o edifício onde os alunos têm a maior parte das aulas académicas, sendo que estas decorrem das 8h até às 17h nos dias úteis, excluindo à quarta, no qual as aulas decorrem das 8h às 12h. As aulas decorrem, normalmente, com o docente a auxiliar-se de um computador (320W) e de um projetor(260W). De referenciar que este edifício possui um bar que os alunos e os docentes ocupam e usufruem durante os intervalos das aulas. Em termos de iluminação, a maior parte do edifício está equipado com lâmpadas fluorescente compacta de 13W e fluorescentes tubulares de 58W. Relativamente ao sistema de arrefecimento e aquecimento, possui um sistema VRV.

De seguida temos o edifício 2, denominado como Edifício A, representando um edifício onde ocorrem algumas aulas, pois é neste edifício que se situam os laboratórios. Relativamente às aulas, ocorrem no mesmo horário do Edifício B. No entanto, para além das aulas, neste edifício estão instalados os servidores da AMA, bem como a biblioteca. Relativamente à iluminação, possui a mesma que o Edifício B e relativamente ao sistema de arrefecimento e aquecimento está equipado com um sistema de 2 caldeiras de condensação, 2 UTAs e um *Chiller*.

O edifício 3 trata-se do Refeitório, este opera apenas durante as refeições, sendo elas das 7h15 às 8h, das 12h30 às 13h30 e das 19h às 20h durante os dias úteis e das 8h às 8h30, das 12h30 às 13h30 e das 19h às 20h aos fins de semana, feriados e durante épocas de atividade reduzida. Relativamente à alimentação, esta não é confeccionada neste espaço, logo não tem os custos inerentes à produção da mesma. Relativamente à iluminação possui a mesma que os edifícios de aulas. Em termos de sistema de arrefecimento e aquecimento possui 7 sistemas de Ar-Condicionado Split (AVAC Split) e uma área de congelados.

O edifício 4 é denominado de Edifício de Alunos, sendo este o espaço de confraternização entre os alunos e é ocupado normalmente após o almoço e o jantar, ou seja, entre as 13h30 às 14h e das 19h30 às 21h nos dias úteis. Este edifício possui um bar, 7 salas de convívio e uma sala de jogos. Em termos de iluminação está maioritariamente equipada com 2 lâmpadas fluorescentes compactas eficientes (MASTER PL-T de 2 pinos) de 26W (cada) por cada 4 m<sup>2</sup> (portanto são 52W por cada 4 m<sup>2</sup>). Relativamente ao sistema de aquecimento e arrefecimento possui um sistema VRV.

O próximo edifício consiste no Edifício de Comando, edifício 5 da Figura 7, local dos gabinetes das entidades de comando da AMA, bem como onde estão gabinetes de formadores da área militar e de educação física, a secretaria de comando, e outros gabinetes essenciais à administração da AMA. Este edifício possui ainda um estúdio TV, 3 salas de aula e o gabinete do Oficial Dia. Em termos de perfis de ocupação, sendo um edifício projetado para servir a cadeia de comando da AMA e o seu apoio logístico e administrativo, a sua ocupação é das 9h às 17h dos dias úteis, excluindo o gabinete do Oficial Dia, pois esse é ocupado todos os dias, 24 horas, e o seu perfil de ocupação muda consoante as necessidades do Oficial Dia. Relativamente a sistemas de aquecimento e arrefecimento possui 12 sistemas de Ar-Condicionado Split (AVAC Split).

De seguida temos o edifício 6, que corresponde ao Edifício da Direção de Ensino, no qual estão instalados os órgãos necessários à administração da componente académica da AM. Neste local estão situadas as secretarias de apoio escolar e de administração académica, bem como os gabinetes e salas necessárias para coordenar e controlar o processo académico que decorre nesta instituição centenária. Relativamente a perfis de ocupação são conforme as horas habituais de trabalho deste *campus*, ou seja, das 9h às 12h e das 13h às 17h. O sistema de aquecimento e arrefecimento consiste num sistema de *Rooftop*.

Anexado ao edifício 6 está o edifício 7, este edifício é constituído por 2 auditórios, um grande e um pequeno, e um hall de entrada que faz a ligação entre os 2 auditórios. Os auditórios normalmente são ocupados aquando da ocorrência de uma palestra, uma reunião para os docentes/formadores/comandantes da AM falarem a todos os alunos durante uma conferência ou para modalidades parecidas às descritas. Relativamente ao sistema de aquecimento e arrefecimento possui um sistema *Rooftop*.

De seguida, temos os edifícios 8 e 9, ambos possuem a mesma função que é alojar os alunos da AM desde o primeiro ano até ao quarto ano. Estes 2 edifícios possuem as mesmas características e praticamente os mesmos perfis de ocupação, havendo apenas algumas pequenas divergências mas que são desprezáveis(horários de aulas e de troca de fardamento diferentes para cada turma e ano, benesses de saída do *campus* diferente para cada ano o que altera alguns valores a ter em conta nos

perfis horários e necessidades energéticas). Relativamente a estes 2 edifícios serão caracterizados mais ao detalhe mais à frente, sendo que o edifício 9 será tido como a infraestrutura em estudo.

O próximo edifício é o edifício 10, este constituído por um conjunto de pavilhões gimnodesportivos, 1 ginásio, 1 picadeiro coberto e as cavalariças. Os pavilhões gimnodesportivos e o ginásio são maioritariamente ocupados nos dias úteis durante as aulas de treino físico (considera-se das 8h às 12h) ou após o período de aulas (considera-se das 17h às 20h), no entanto também são ocupados aos fim-de-semana e feriados, mas por um número reduzido de pessoas. Relativamente ao picadeiro coberto, este é ocupado durante as aulas de equitação dos alunos ou durante o período de atividades circum-escolar (ACE) ou por outras entidades que possuem acesso à instalação. No que toca às cavalariças, estas são utilizadas durante o ano todo, sendo que alojam os cavalos necessários para dar a formação aos alunos e ainda outros cavalos pertencentes a outras entidades. De referenciar que este edifício foi remodelado em 2020 e durante a fase da elaboração deste estudo ainda não estava definido como se iriam processar os horários e as tipologias de cada setor do edifício e as alterações que se iriam fazer relativamente aos perfis de ocupação dos edifícios 11 e 12.

Posteriormente temos os edifícios 11 e 12, que consoante a necessidade dos formadores ou dos alunos são ocupados para as aulas, sendo que o edifício 11 é utilizado para administrar aulas de artes marciais e de treino multifuncional e o edifício 12 é maioritariamente utilizado para atividades circum-escolar. Como tal, estes 2 edifícios possuem perfis horários muito similares aos perfis dos pavilhões gimnodesportivo do edifício 10.

O edifício 13, atribuído à CCS, Companhia de Comando e Serviços, esta é responsável a fornecer o apoio logístico necessário à operação da AMA, estando dividido em 2 setores. Um dos setores integra os gabinetes que são ocupados nos dias úteis das 9h às 17h e depois temos os alojamentos dos praças, que não possui um sistema de ar-condicionado, no entanto, possui um sistema de AQS que está equipado com 2 caldeiras de condensação. Relativamente ao perfil de ocupação dos alojamentos de praças, este é ocupado das 20h às 8h do dia seguinte nos dias úteis.

O edifício 14, consiste no alojamento de sargentos e possui 2 gabinetes destinados à chefia das cavalariças, sendo que o alojamento possui o mesmo perfil de ocupação que o alojamento de praças do edifício 13 e os gabinetes são ocupados nos dias úteis das 9h às 17h.

## 3.2 Caracterização das Casernas dos Alunos

Como referido anteriormente, as Casernas dos Alunos são definidas por 2 edifícios, identificados a amarelo e vermelho na Figura 13, cuja principal função é alojar os alunos da AM desde o 1º ao 4º ano e providenciar as condições necessárias para a sua formação, incluindo conforto e instalações para o aluno conseguir tirar o maior proveito académico, físico e de aptidão militar.



**Figura 13** – Casernas dos Alunos  
Fonte: *Google Earth*

A caserna identificada a verde corresponde ao edifício em estudo, pois ambas as casernas, amarela e vermelha, possuem as mesmas características e aproximadamente o mesmo perfil e número de ocupação.

### 3.2.1 Caracterização do espaço

O edifício em estudo possui 8 733 m<sup>2</sup> e está dividido em dois setores, sendo que a parte do edifício identificada a branco na Figura 13 corresponde ao alojamento dos alunos do 3º ano, a 3ª Companhia de Alunos, e a parte do edifício identificada a azul corresponde ao alojamento dos alunos do 4º ano, a 4ª Companhia de Alunos, e ao alojamento dos oficiais formadores (situada no rés-do-chão da parte norte do edifício). Entre estes 2 setores do edifício em estudo, situa-se o *atrium* da 3ª e 4ª Companhia de Alunos, bem como os gabinetes dos comandantes das companhias e as respetivas secretarias e arrecadações de material de guerra de cada companhia. Ambas as companhias possuem também, cada uma, uma casa das botas, onde normalmente é o local onde se lava e seca a roupa e calçado e onde se engraxa as botas.

Como referido anteriormente, o edifício em estudo é essencialmente o local de alojamento dos alunos, sendo que cada companhia de alunos possui ao seu dispor 3 pisos, cada piso possui 2 alas, e cada ala possui 7 quartos e 4 casas de banho. Dos 7 quartos, 6 quartos possuem a capacidade de alojar 4 alunos e possuem uma casa de banho equipada com 2 duches para cada 2 quartos. Cada quarto de 4 possui, anexado, uma sala de estudo para os 4 alunos. O quarto que sobra possui a capacidade de alojar uma pessoa e tem uma casa de banho própria.

Os gabinetes dos comandantes de companhia possuem ainda um quarto e uma casa de banho anexada aos seus gabinetes. Relativamente às secretarias e aos gabinetes dos segundos comandantes de companhia, possuem uma casa de banho que se situa junta à casa das botas da respetiva companhia.

O *atrium* consiste na parte do edifício que interliga os dois alojamentos e é utilizado para formaturas militares esporádicas das companhias, não tendo um horário e época estipulada.

Relativamente a entradas, a entrada principal do edifício em estudo está situada no *atrium*, estando a mesma situada a noroeste do mesmo (esta entrada normalmente está sempre aberta) e a secundária a sudeste (normalmente está fechada). Ainda existe uma outra entrada para cada companhia, estando esta situada na casa das botas de cada companhia.

### 3.2.2 Infraestrutura Energética

O edifício consome 2 tipos de energia para alimentar e operar os seus sistemas energéticos:

- Energia elétrica – fornecida pela *Iberdrola* que chega ao edifício através de um dos postos de transformação do *campus*, é utilizada na iluminação, equipamentos, aquecimento e nos equipamentos das AQS;
- Gás Natural – fornecido pela *Galp* que é utilizado no aquecimento das águas do sistema AQS.

Relativamente à energia elétrica, sabe-se que a potência contratada do *campus* consiste em 329 kW, no entanto, não se sabe a potência máxima que o edifício em estudo tem proveniente do seu posto de transformação. Apesar disso, sabe-se que a distribuição da energia é efetuada por ligação direta ao QGBT a baixa tensão de 240V ao longo do edifício.

No que diz respeito ao Gás Natural, possui uma tarifa BP mensal em que o gás natural consumido se encontra dentro dos intervalos de 10 000 a 100 000 m<sup>3</sup>/ano.

### 3.2.3 Caracterização da envolvente e geometria

De forma a saber as perdas térmicas do edifício, é essencial saber o seu corte construtivo e as dimensões das zonas mais utilizadas.

Para o estudo deste edifício foram fornecidas as plantas do mesmo, assim sendo, relativamente ao corte construtivo este será estipulado e as dimensões consoantes as plantas.

O edifício em estudo possui 3 pisos, tendo cada piso um pé direito de 3 m, com exceção do *atrium*, que possui uma altura entre os 5,05 m e os 6,45 m. No setor do edifício que fica acima dos quartos temos um telhado com um sótão com uma altura que varia entre 1 m e 1,62m. Sabendo que os pisos entre si possuem 0,22 m de betão, concluímos que o edifício, no seu ponto mais alto (que é o local dos quartos) tem 11,48 m.

Em termos de dimensões das divisões, tendo uma ala de alojamento de alunos como exemplo, temos que 4 dos 6 quartos de 4 pessoas tem uma área 33,42 m<sup>2</sup>, sendo que as casas de banho desses quartos possuem 28,97 m<sup>2</sup>. Os 2 quartos restantes possuem, cada um, 44,03 m<sup>2</sup> e a casa de banho partilhada entre os 2 possui 18,4 m<sup>2</sup>. A sala de estudo anexada ao quarto de 4 tem 14,84 m<sup>2</sup>, enquanto o quarto singular, que fica na ala dos quartos dos alunos, possui 19,2 m<sup>2</sup> e a casa de banho deste quarto possui 6,43 m<sup>2</sup>. De referir que a ala que permite a circulação para estes 7 quartos possui uma área de 72,84 m<sup>2</sup>, excluindo a área das escadas a utilizar em caso de emergência, sendo que essa divisão ocupa 30,86 m<sup>2</sup>.

A ligar as 2 alas de um piso temos um corredor que possui 100,31 m<sup>2</sup>, tendo em conta que no piso do meio existe, para cada corredor, uma sala de estudo geral de 49,69 m<sup>2</sup> e uma sala de arrumação com 15,55 m<sup>2</sup>. Este corredor possui ligação à zona das escadas principais que permite a circulação



entre os diversos pisos, apresentando uma área de 59,71 m<sup>2</sup>, possuindo ainda um local de arrumação ao seu lado com 13,82 m<sup>2</sup>.

Relativamente ao piso 3, as medidas são todas iguais ao piso 2, o do meio, no entanto não tem sala de estudo geral nem sala de arrumação acoplado a esta.

Por fim, é no piso 1, o rés-do-chão, que se situa os gabinetes dos comandantes de companhia, cada um com uma área de 20,5 m<sup>2</sup> e com um quarto e casa de banho anexado de 13,84m<sup>2</sup> e de 4,13 m<sup>2</sup> respetivamente; os gabinetes dos segundos comandantes de companhia com uma área de 14,64 m<sup>2</sup> cada um; as secretarias com uma área de 28,8 m<sup>2</sup> cada uma, as casas de botas com uma área de 66,6 m<sup>2</sup>; a casa de banho anexada à casa das botas com uma área de 16,05 m<sup>2</sup>; a zona das escadas principais com uma área de 73,5 m<sup>2</sup>; as arrecadações de material de guerra com uma área de 204,62 m<sup>2</sup> cada uma, valor este que inclui as áreas da casa de banho, do quarto e da arrecadação do material de guerra e aquartelamento; e por último temos o *atrium*, com uma área de 296,38 m<sup>2</sup>.

Relativamente ao corte construtivo, foi assumido que:

- Parede exterior é composta por, do exterior para o interior:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. Azulejo klinker Litocer Vidrado de 1 cm; | 3. Caixa de ar com 1 cm; |
| 2. Betão com 15 cm de espessura;            | 4. Tijolo 12 com 12 cm;  |
|   | 5. Gesso de 2 cm;        |

Perfazendo no total uma espessura de 31 cm e um coeficiente de transmissão térmica de 1,08 W/m<sup>2</sup>K.

- Parede interior é composta por:

- |                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. Gesso de 2,5 cm;             | 3. Gesso de 2,5 cm; |
| 2. Blocos de Betão 15 de 15 cm; |                     |

Perfazendo no total uma espessura de 20 cm e um coeficiente de transmissão térmica de 1,613 W/m<sup>2</sup>K.

- Teto interior é composto por:

- |                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. Azulejo ou pavimento de 1 cm; | 3. Betão de 15 cm; |
| 2. Cimento de 5 cm;              | 4. Gesso de 1 cm;  |

Perfazendo no total uma espessura de 22 cm

- Telhado é composto por:

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Chapa de alumínio de 2,5 cm; | 2. Espuma Polisocianato de 2 cm; |
|---------------------------------|----------------------------------|

Perfazendo no total uma espessura de 4,5 cm e um coeficiente de transmissão térmica de 1,239 W/m<sup>2</sup>K.

- O rés-do-chão é composto por:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1 Espuma de ureia-formaldeído de 13,27 cm; | 3 Betonilha de 7 cm;         |
| 2 Betão armado de 12 cm;                   | 4 Azulejo/pavimento de 1 cm; |

Perfazendo no total uma espessura de 33,27 cm e um coeficiente de transmissão térmica de 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

- Outras subsuperfícies que devem ser tidas em conta são as que possuem bloco de vidro, que podem ser encontradas no *atrium* e nas paredes interiores da secretaria e das escadas principais, cujo coeficiente térmico corresponde a 3,535 W/m<sup>2</sup>K e possui 10 cm de espessura.

Ainda dentro da caracterização da envolvente, temos os envidraçados, mais propriamente as janelas, sendo que estas são de vidro duplo com as medidas de 3+13+3, obtendo um coeficiente térmico de 1,96 W/m<sup>2</sup>K. Em termos de áreas de envidraçados, a Tabela 1 expõe a respetiva área para cada tipo de divisão.

**Tabela 1 - Área dos Envidraçados**  
**Identificação da divisão**

<b>Identificação da divisão</b>	<b>Área<sup>25</sup> (m<sup>2</sup>)</b>
Quarto para 4 pessoas comum	3,6
Quarto para 4 pessoas grande	3,6
Quarto singular	1,8
Secretaria	3,6
Casa das botas	1,8
Corredor de ligação de alas 2º Piso e 3º Piso	24,12
Corredor de ligação de alas 1º Piso	17,04
Sala de Estudo dos Quartos	1,8
Sala de Estudo Geral	4,63
Arrumação anexada à Sala de Estudo Geral	1,8
Arrumação anexada às Escadas Principais	0,96
Gabinete do Comandante de Companhia	1,168 (6,1) <sup>26</sup>
Gabinete do 2º Comandante de Companhia	0 (7,46) <sup>27</sup>
<i>Atrium</i>	31,98
Escadas de Emergência (em cada divisão)	3,6
Casa de Banho dos Quartos dos Alunos (Grande/Pequena)	1,08/1,76
Arrecadação de Material de Guerra (total)	6,54
Quarto do Comandante de Companhia	1,16

De referir ainda que as janelas existentes nos quartos com capacidade para 4 alunos e os gabinetes dos comandantes de companhia estão equipadas com persianas que são fechadas durante a noite e em dias de época de verão em que se verifique uma grande exposição solar.

<sup>25</sup> Área ocupada pela caixilharia e pelo vidro

<sup>26</sup> Envidraçado interior

<sup>27</sup> Envidraçado interior

### 3.2.4. Equipamentos e Iluminação

Os equipamentos e a iluminação existentes no edifício, mais especificamente, nos quartos dos alunos, são os principais consumidores de energia elétrica, mas também de produção de energia térmica. É fundamental ter conhecimento dos equipamentos e a iluminação existentes neste edifício de forma a saber que medidas estão em vigor, de modo a ser possível uma redução do consumo elétrico, mas também compreender se é muito ou pouco eficiente.

Começando pelos equipamentos, a Tabela 2 identifica os equipamentos existentes por divisão, potência de cada equipamento e respetivos ganhos por m<sup>2</sup> da divisão.

**Tabela 2** – Equipamentos no Edifício das Casernas

Zona térmica	Equipamentos	Potência <sup>28</sup> [W]	Ganhos [W/m <sup>2</sup> ]
<b>Quartos para 4 pessoas + Sala de Estudo dos Quartos</b>	4 computador portáteis + 4 carregadores de telemóvel + 2 monitores	$55 \cdot 4 + 15 \cdot 4 + 2 \cdot 55$	8,96
<b>Secretaria</b>	2 computador + 2 monitor	$55 \cdot 2 + 55 \cdot 2$	7,3
<b>Casa das Botas</b>	–	–	–
<b>Sala de Arrumação (2º Piso, anexada às escadas principais)</b>	1 frigorífico	180	13,6
<b>Gabinete do Comandante de Companhia</b>	1 computador + 1 monitor + 1 carregador de telemóvel	$55 + 55 + 15$	7,9
<b>Gabinete do 2º Comandante de Companhia</b>	1 computador + 1 monitor + 1 carregador de telemóvel	$55 + 55 + 15$	8,53
<b>Atrium + zona das escadas principais</b>	2 máquinas de venda automática de refrigerantes + 2 máquinas de venda automática de comida + 2 máquinas de café <sup>29</sup>	$2 \cdot 960 + 2 \cdot 575 + 2 \cdot 1050$	5,92 <sup>30</sup>
<b>Atrium + zona das escadas principais</b>	1 impressora	1650	1,89

Na tabela anterior estão expostos os equipamentos que possuem impacto nos consumos do edifício, no qual a zona térmica da casa das botas possui um tracejado nas suas propriedades, sendo que esta divisão é destinada à lavagem e secagem da roupa dos alunos. Esta divisão, possui uma máquina industrial de lavar e uma de secar a roupa, no entanto, não foi possível ter uma estimativa das suas potências médias ou dos seus perfis de utilização e, como tal, foram desprezados os seus impactos nos consumos do edifício.

<sup>28</sup> Potência baseadas no Capítulo 29 do ASHRAE.

<sup>29</sup> Equipamentos para conservação e fornecimento de alimentos.

<sup>30</sup> Área tido em conta para a área do atrium e de todos os corredores do edifício, já que é assumida uma agregação de todos os corredores e do atrium numa só zona térmica devido ao facto de não haver uma separação térmica entre estas zonas.

Relativamente à iluminação, a Tabela 3 expõe os ganhos de cada zona térmica devido à sua iluminação, sendo que a iluminação deste edifício foi atualizada de lâmpadas fluorescentes para lâmpadas LED a meio do ano de 2020.

**Tabela 3** - Iluminação do Edifício das Casernas

<b>Zona térmica</b>	<b>Iluminação</b>	<b>Potência [W]</b>	<b>Ganhos [W/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Quartos para 4 pessoas + Sala de Estudo dos Quartos</b>	10 lâmpadas T8 LED 1200mm + 4 lâmpadas E27	18*10 + 5*4	4,6
<b>Secretaria</b>	8 lâmpadas T8 LED 600mm	8*8	2,2
<b>Casa das Botas</b>	17 lâmpadas T8 LED 1200mm	18*17	4,6
<b>Gabinete do Comandante de Companhia</b>	4 lâmpadas T8 LED 1200mm	18*4	4,5
<b>Gabinete do 2º Comandante de Companhia</b>	4 lâmpadas T8 LED 1200mm	18*4	4,9
<b>Atrium + zona das escadas principais</b>	4 lâmpadas LED	15*4	0,21
<b>Corredores/Alas</b>	2 lâmpadas LED	15*2	0,4
<b>Casas de banho</b>	6 lâmpadas T8 LED	6*18	4,1

Relativamente à tabela anterior, que exhibe os ganhos térmicos devido à iluminação, o equipamento referenciado que está instalado em cada zona térmica foi o considerado na altura de elaborar as modelações e simulações energéticas, uma vez que, como a iluminação do edifício todo foi mudada em 2020, não foi possível efetuar um levantamento detalhado e exato da iluminação instalada em cada divisão devido à situação pandémica com que nos encontrávamos na altura.

### **3.2.5. Ocupação**

O edifício de alojamento para os alunos está maioritariamente ocupado durante os dias úteis, mais precisamente durante a noite. No entanto, alguns alunos também ficam alojados no edifício durante o fim de semana ou feriados, dependendo da época escolar em que estão (época de exames, véspera de cerimónia, entre outras).

Como referido no parágrafo anterior, a função principal deste edifício é alojar os alunos do 3º e 4º ano da AM, no entanto, durante o dia, enquanto os alunos estão nas suas atividades académicas e militares, existe uma componente de comando e logística a operar neste edifício, nomeadamente nos gabinetes dos comandantes de companhia e nas secretarias.

De forma a perceber o número de ocupantes e o perfil de ocupação deste mesmo edifício, foi tido em conta a atribuição de quartos do ano letivo 2019/2020 para a 4ª e 3ª Companhia de Alunos que é possível averiguar através da Tabela 4 o número de quartos ocupados por alas e o número de

ocupantes, bem como o seu perfil de ocupação. De referir que cada Companhia possui 6 alas, ordenadas de A a F, sendo que cada ala possui 6 quartos, numerados de 1 a 6.

**Tabela 4 - Dados de ocupação dos quartos**

Companhia	Piso	Ala	Quartos Ocupados	Nº Ocupantes	Função	Perfil Ocupação
3	0	A	indef	indef	indef	indef
		F	6	3	Alojamento	Dados 1 <sup>31</sup>
	1	B	1	0	Arrecadação	indef
			4/5/6	4/3/3	Alojamento	Dados 1
	2	E	1/2/3/4/5/6	3/3/3/4/4/4	Alojamento	Dados 1
		C	1/2/3/4/5	4/4/4/4/4	Alojamento	Dados 1
		D	1/2/3/4/6	4/3/3/3/3	Alojamento	Dados 1
4	0	A	1 a 6	Indef	Mudança de Roupa para Oficiais	Dias úteis das 8h às 17h
		F	1 a 6			
	1	B	1/2/3/4/5	4/3/4/3/3	Alojamento	Dados 1
		E	1/2/3/4/5/6	4/4/4/4/3/3	Alojamento	Dados 1
	2	C	1/2	4/4	Alojamento	Dados 1
		D	1/2/3/4/5/6	4/3/4/4/4/4	Alojamento	Dados 1

Obtendo os perfis de ocupação dos quartos definidos através da Tabela 4, temos ainda os perfis de ocupação dos gabinetes e das secretarias, considerando que os gabinetes dos comandantes de companhia e dos segundos comandantes de companhia possuem 1 ocupante em dias úteis desde as 9h às 17h e as secretarias possuem 2 ocupantes em dias úteis desde as 9h às 17h. Relativamente aos corredores, às salas de estudo, às casas de botas e às casas de banho irá se desprezar a sua ocupação dado que esta é variável ao longo dos dias ou desprezável, dado o tempo de ocupação.

### 3.2.6. Sistemas AVAC e AQS

O edifício de alojamento dos alunos, nomeadamente o que aloja os alunos da 3ª e 4ª Companhia de Alunos, está equipado com 2 caldeiras de condensação, cada uma com uma potência nominal de 380 kW, identificadas na Figura 14 (de referir que perto da data de entrega deste documento, estas caldeiras foram substituídas por outras com uma potência diferente, no entanto a mudança das caldeiras não tira veracidade ao documento e nem inviabiliza os resultados finais), 2 depósitos de 2000 litros de água cada, tendo em conta que o sistema AQS é constituído por 2 circuitos, um fechado e um aberto. O fechado corresponde ao aquecimento das águas nas caldeiras e a circulação no permutador, enquanto o circuito aberto é o sistema que possui os depósitos de água e as saídas para os alojamentos.

<sup>31</sup> Dados 1 - Ocupado nos dias úteis das 17h às 7h e aos fins de semana e feriado durante 24h, sendo que a ocupação nestes dias é bastante reduzida

Relativamente ao sistema AVAC, o sistema de aquecimento instalado nas casernas consiste num sistema de radiadores alimentado pelas caldeiras que aquecem as águas sanitárias. No entanto este sistema atualmente não é utilizado e é substituído por um sistema individual de aquecimento por quartos utilizando termoventiladores, sendo este o único sistema a atuar neste edifício, pois a ventilação é natural e não existe nem sistema de ar-condicionado, nem de arrefecimento.

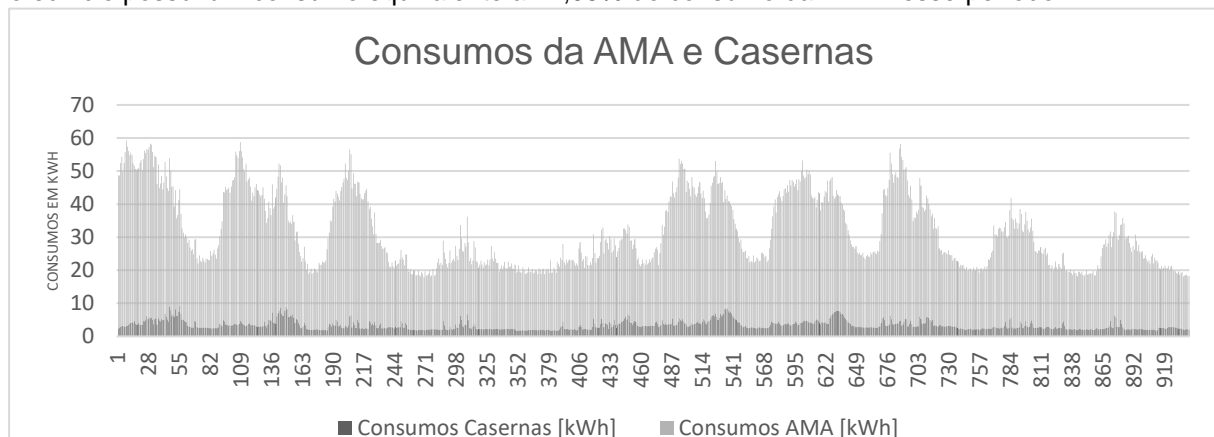


**Figura 14** – Sistema AQS e AVAC das Casernas

### 3.2.7. Consumos Energéticos

Os custos energéticos possuem um enorme peso na despesa administrativa da AMA, tornando-se essencial monitorizar este mesmo consumo e promover atualizações de forma a reduzir este consumo sem alterar o conforto e trabalho dos utilizadores das infraestruturas da AMA.

Analisando os consumos elétricos entre os dias 21 de outubro de 2020 e 5 de novembro de 2020, utilizando o Registador de Energia Fluke 1742, verifica-se que o edifício que aloja os alunos do 3º e 4º ano possui um impacto considerável na AMA, que corresponde a 12,47% do consumo da AMA nesse período. No entanto, se tivermos em conta que a maior parte dos consumos energéticos deste edifício são nos dias úteis, excluindo à sexta, durante o período das 16h30 e da 01h00 do dia seguinte, o edifício possui um consumo equivalente a 14,95% do consumo da AMA nesse período.



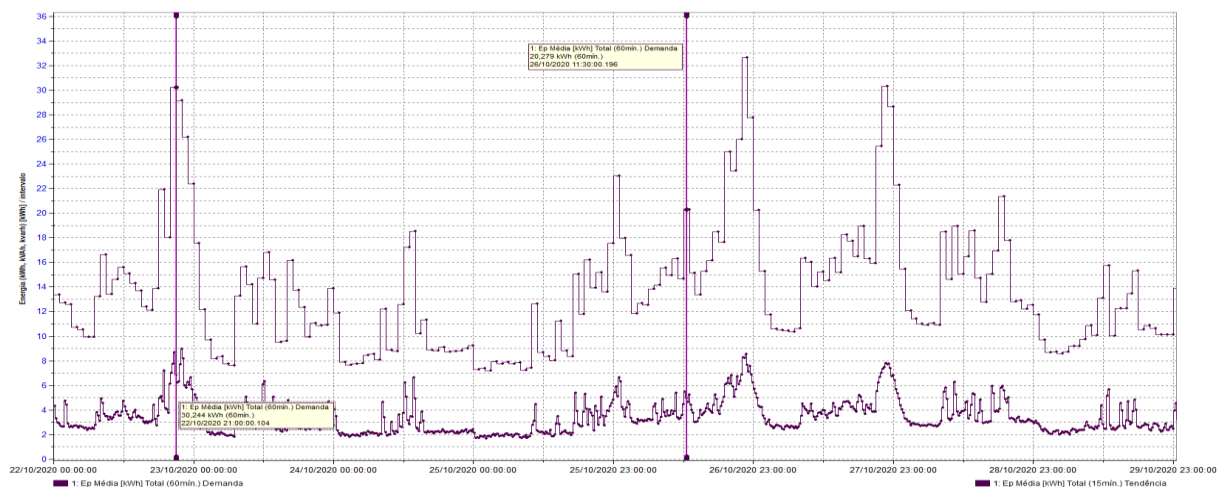
**Figura 15** – Consumos da AMA e das Casernas com uma tendência de registo de 15 min

Fonte: Plataforma Iberdrola e plataforma *Power Log* da *Fluke*

A Figura 15 ilustra os consumos das casernas comparativamente aos consumos da AMA entre 21 de outubro de 2020 e 5 de novembro de 2020, sendo este período considerado um período no qual os consumos estão aproximados aos consumos esperados caso não houvesse uma pandemia Covid-19. Os consumos ilustrados na figura anterior estão representados através de um registo de consumos de 15 em 15 minutos, portanto quando se tem um registo de 50 kWh, quer dizer que em 15 minutos foi

consumido o equivalente a 50 kWh. De referir que o eixo da Figura 21 representa o número de intervalos de 15 min.

Relativamente ao consumo diário, ilustrado na Figura 16, dada a tipologia e os horários das aulas e das refeições, é expectável que os maiores consumos se registem ao final da tarde e no início da noite, uma vez que é quando os alunos acabam as aulas e regressam para os seus quartos e iniciam o seu período de estudo nos quartos. O segundo período de maior consumo corresponde ao período antes do almoço pois é quando os alunos regressam das aulas académicas ou de treino físico. Por fim, o período em que se regista um menor consumo trata-se do período do fim de semana ou no período das 2h às 7h, sendo este o período em que os alunos estão a dormir e não existe nenhuma atividade a decorrer nas casernas nem no *campus*.



**Figura 16** – Consumo semanal das Casernas  
Fonte: Registador de energia *Fluke 1742*

Na figura anterior é possível visualizar 2 tipos de gráficos, o gráfico com maior registo de consumos (kWh) consiste na medição de consumos considerando um intervalo de registo de 60 minutos, enquanto o gráfico com menor registo de consumos consiste na medição de consumos considerando um intervalo de registo de 15 minutos.

Através da Figura 16 é possível, também, identificar os consumos dos fins de semana ou feriados e dos dias úteis, uma vez que sendo este período considerado um período no qual não houve um grande impacto das medidas implementadas devido à pandemia Covid-19.

Os períodos em que se registam picos menos agrestes correspondem aos consumos em dias de atividade reduzida, enquanto os períodos onde se verifica uma grande discrepância entre os valores mínimos e máximos representa aos consumos verificados nos dias úteis, nomeadamente às segundas-feiras, terças-feiras, quartas-feiras e quintas-feiras. As sextas-feiras são os dias em que os alunos vão para casa, portanto, os consumos não são iguais aos restantes dias úteis.



**Figura 17** – Registador de energia *Fluke 1742*

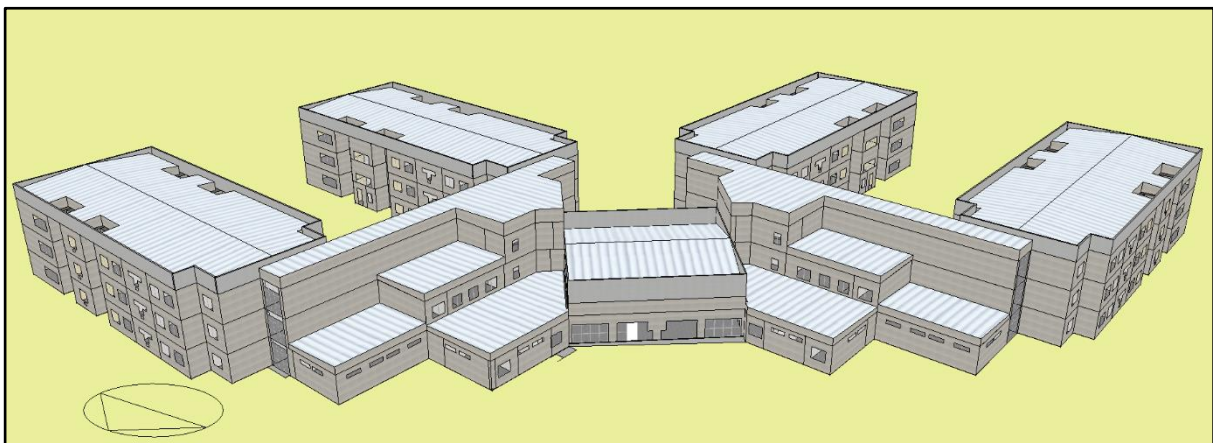
## 4 Modelação Energética das Casernas

### 4.1 Metodologia

De forma a obter um consumo médio de cada edifício do *campus*, e com o intuito de analisar os consumos e as medidas de eficiência energética a implementar, é necessário fazer um modelo de simulação dinâmica dos edifícios de modo a obter simulações admissíveis dentro das normas da ASHRAE. Este modelo energético permite facilitar o processo de inserção de dados no *software CEA*, consequentemente o resultado das simulações apresenta um resumo dos consumos e potências instaladas no edifício modelado.

De forma a alcançar os objetivos referidos no parágrafo anterior, é feito um estudo do edifício das casernas dos alunos do 3º e 4º ano da AMA e, como tal, o presente capítulo irá abordar, em primeiro lugar, a construção computacional do modelo do edifício, a calibração do modelo computacional tendo em conta os seus perfis horários, as necessidades de aquecimento e de arrefecimento do mesmo, o balanço energético e, por fim, os seus consumos mensais e validação das simulações.

A Figura 18 ilustra o modelo construído do edifício que aloja os alunos que tem por base as plantas fornecidas pela Direção de Infraestruturas da AM e possui a referência da orientação norte.



**Figura 18** – Modelo tridimensional das Casernas  
Fontes: *DesignBuilder*

A respeito da descrição da figura, a meio encontra-se representado o *atrium*, à esquerda do *atrium* temos os alojamentos dos alunos do 4º ano e à direita do *atrium* temos os alojamentos dos alunos do 3º ano.

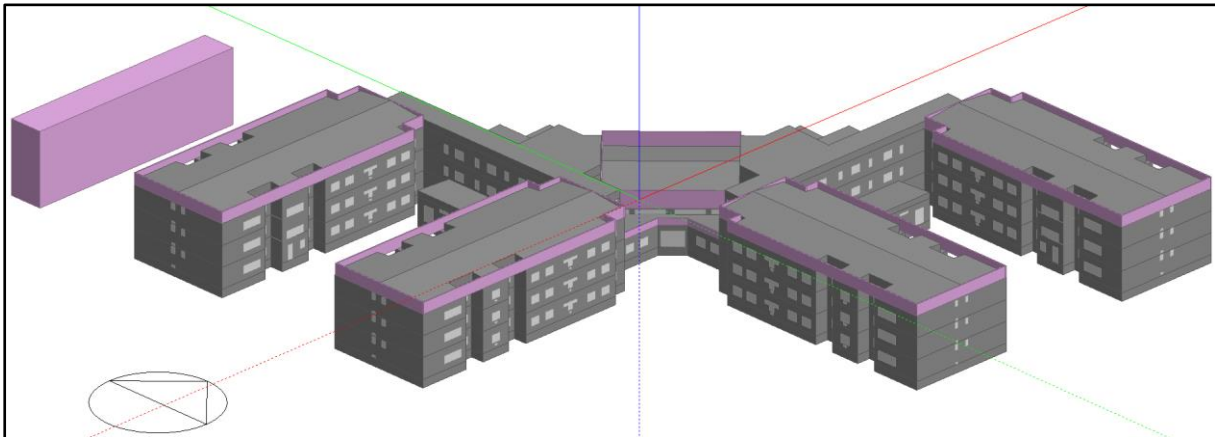
### 4.2 Construção do Modelo Computacional

De forma a ser possível construir o modelo tridimensional das Casernas, foram requeridas à Direção de Infraestruturas da AM as plantas do edifício em estudo, possibilitando a inserção das dimensões corretas para a construção da geometria no *DesignBuilder*. A elaboração da geometria tridimensional do edifício foi efetuada utilizando *Building Block*, blocos que representam os elementos de construção do edifício e que são necessários para calcular os ganhos e consumos do edifício sendo primeiramente construído o 1º piso, depois o 2º piso, de seguida o 3º piso e, para concluir, foi construído o telhado, tendo sido ainda adicionados *Component Blocks*, estes representam partes da estrutura do edifício que não são diretamente responsáveis pelos ganhos ou consumos do edifício mas possuem



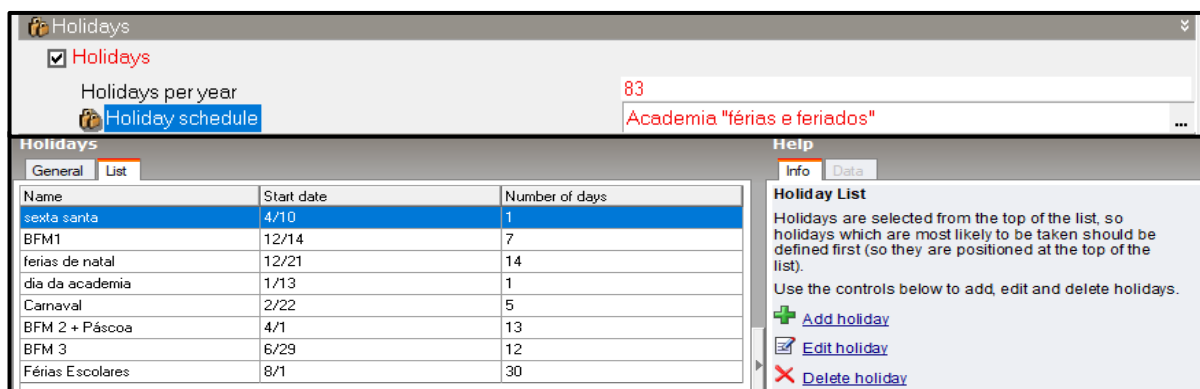
uma ligação indireta com as perdas ou ganhos e consumos do edifícios devido ao sombreamento que a estrutura provoca, ou por representar o solo, ou por representar edifícios vizinhos.

Na Figura 19 está ilustrado o modelo tridimensional construído no *DesignBuilder* que permite estudar o edifício referido, sendo que as geometrias com uma cor cinzenta correspondem aos *Building Blocks* e as geometrias com uma cor lilás correspondem aos *Component Blocks*, neste caso geometrias que possuem impacto no sombreamento do edifício em estudo.



**Figura 19** – Layout do modelo tridimensional do edifício no *DesignBuilder*  
Fonte: *DesignBuilder*

No processo de modelação do edifício de alojamentos dos alunos, foram consideradas 2 situações para efetuar uma ligação de zonas térmicas. O primeiro caso, considerou-se que a porta da sala de estudo dos quartos dos alunos encontra-se grande parte das vezes aberta e, portanto, foi identificada como um buraco e foi feito uma ligação de zonas térmicas, denominado de *merge zone*, entre a sala de estudo e o quarto dos alunos, tendo executado este processo para todos os quartos dos alunos (quartos para 4 pessoas). O segundo caso consiste na ligação das zonas térmicas que estão sempre em contacto e não possuem separações térmicas, nomeadamente a zona do *atrium* com os corredores e escadas principais e secundárias e, como tal, foi também executada uma *merge zone* entre essas divisões todas de forma a serem consideradas uma zona térmica única.



**Figura 20** - Períodos de férias e feriados na AMA  
Fonte: *DesignBuilder*

De referir que, na elaboração do edifício, foi ainda tido em conta a sua localização geográfica, Lisboa, com as coordenadas de latitude igual a 38,72° e longitude igual a -9,15° e uma altitude igual a

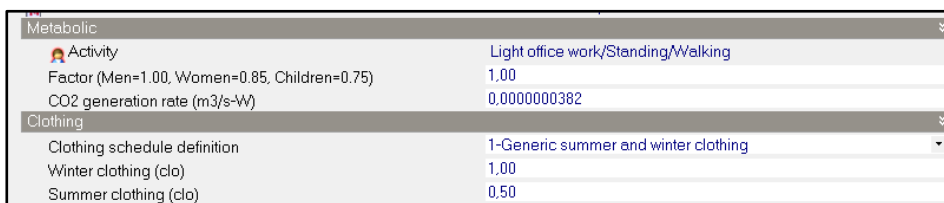
134 metros. Considerou-se ainda que a AMA possui 83 dias definidos como férias ou feriados, ou seja, períodos de pouca ou nenhuma atividade no *campus*, estando os dias representados na Figura 20.

## 4.2.1 Atividade

Após a construção do modelo geométrico na aba do *Layout*, onde foram definidos os elementos de construção das paredes, janelas, portas, telhados, ventilação, sombreamento e as divisões, procede-se à inserção dos dados relativamente às atividades e funções desempenhadas em cada divisão do edifício (inserindo o ganho metabólico e a resistência térmica da roupa, dependendo da época do ano), as temperaturas de ajuste estipulada para cada divisão, a panóplia de perfis horários, os equipamentos instalados em cada divisão e o consumo de AQS.

### 4.2.1.1 Atividades e Funções

No que concerne às atividades e funções desempenhadas, foram adicionados os dados estipulados nos capítulos anteriores, tendo sido assumido uma atividade geral para todas as divisões de leve trabalho no escritório, que corresponde a 123 W/pessoa e uma resistência de roupa de verão equivalente a 0,5 clo e no inverno de 1 clo.

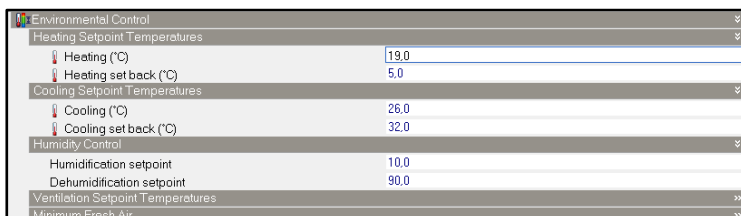


Metabolic	
Activity	Light office work/Standing/Walking
Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75)	1.00
CO2 generation rate (m3/s-W)	0.000000382
Clothing	
Clothing schedule definition	1-Generic summer and winter clothing
Winter clothing (clo)	1.00
Summer clothing (clo)	0.50

**Figura 21** - Taxa Metabólica e Resistência da Roupa  
Fonte: *DesignBuilder*

### 4.2.1.2 Temperaturas de controlo

De acordo com as normas padrão 55 do ASHRAE, as temperaturas de conforto de uma pessoa variam entre 20°C e os 24°C, assumindo uma temperatura média do ar exterior de 15°C. Como tal, para um controlo ambiente produtivo para os alunos e funcionários, assumiu-se uma temperatura de ajuste para o aquecimento de 19°C e uma temperatura de ajuste para o arrefecimento de 26°C.



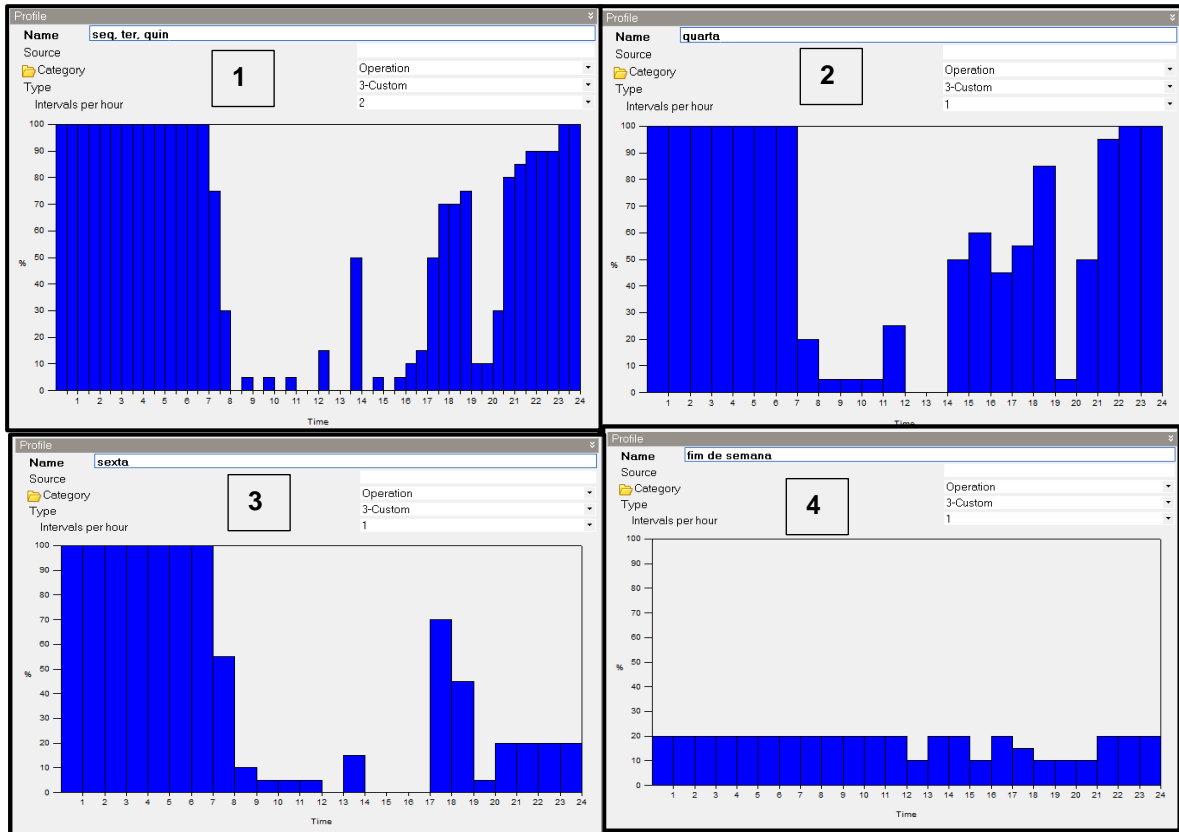
Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	19.0
Heating set back (°C)	5.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	26.0
Cooling set back (°C)	32.0
Humidity Control	
Humidification setpoint	10.0
Dehumidification setpoint	90.0
Ventilation Setpoint Temperatures	
Minimum Fresh Air	

**Figura 22** - Temperatura de ajuste do Sistema AVAC das casernas  
Fonte: *DesignBuilder*

Os valores representados na Figura 22 tiveram em conta que, no edifício das casernas, não existe um sistema de arrefecimento e o sistema de aquecimento do edifício atualmente em uso consiste na utilização de termoventiladores privados em cada quarto, não sendo possível averiguar o valor médio de temperatura em que os termostatos se desligam ou ligam.

### 4.2.1.3 Perfis horários

Foram definidos uma panóplia de perfis horários necessários para alcançar uma simulação próxima da realidade. Dentro destes perfis, destacam-se os de ocupação, de utilização dos equipamentos, de iluminação e os de AQS. Para elaborar os perfis mencionados anteriormente foram considerados os perfis mencionados nos capítulos anteriores.



**Figura 23** - Perfis de ocupação dos quartos  
Fonte: *DesignBuilder*

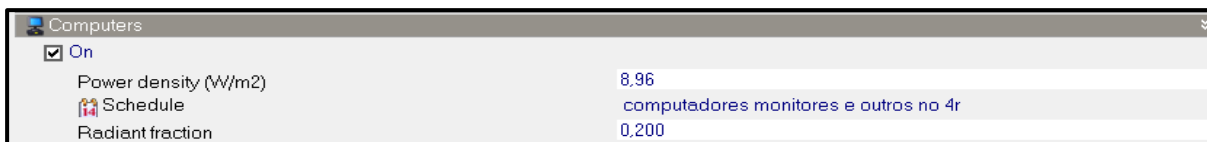
Na Figura 23 estão ilustrados os perfis de ocupação dos quartos dos alunos, sendo que o perfil 1 corresponde às segundas-feiras, terças-feiras e quintas-feiras, o perfil 2 à quarta-feira, o perfil 3 à sexta-feira e, por fim, o perfil 4 aos fins de semana e feriados.

Os restantes perfis mencionados seguem o mesmo padrão relativamente aos perfis ilustrados na Figura 31 e consoante a informação nos capítulos anteriores, uma vez que o perfil de AQS baseia-se consoante os consumos de água quente nas casas de banho, adjacentes aos quartos dos alunos, e o perfil de utilização de equipamentos depende dos equipamentos utilizados, e no tempo, e a hora, em que são utilizados.

### 4.2.1.4 Equipamentos Instalados

Conforme a informação referida nos capítulos anteriores, foi estipulado e inserido a potência instalada em cada zona térmica referida na Tabela 2.

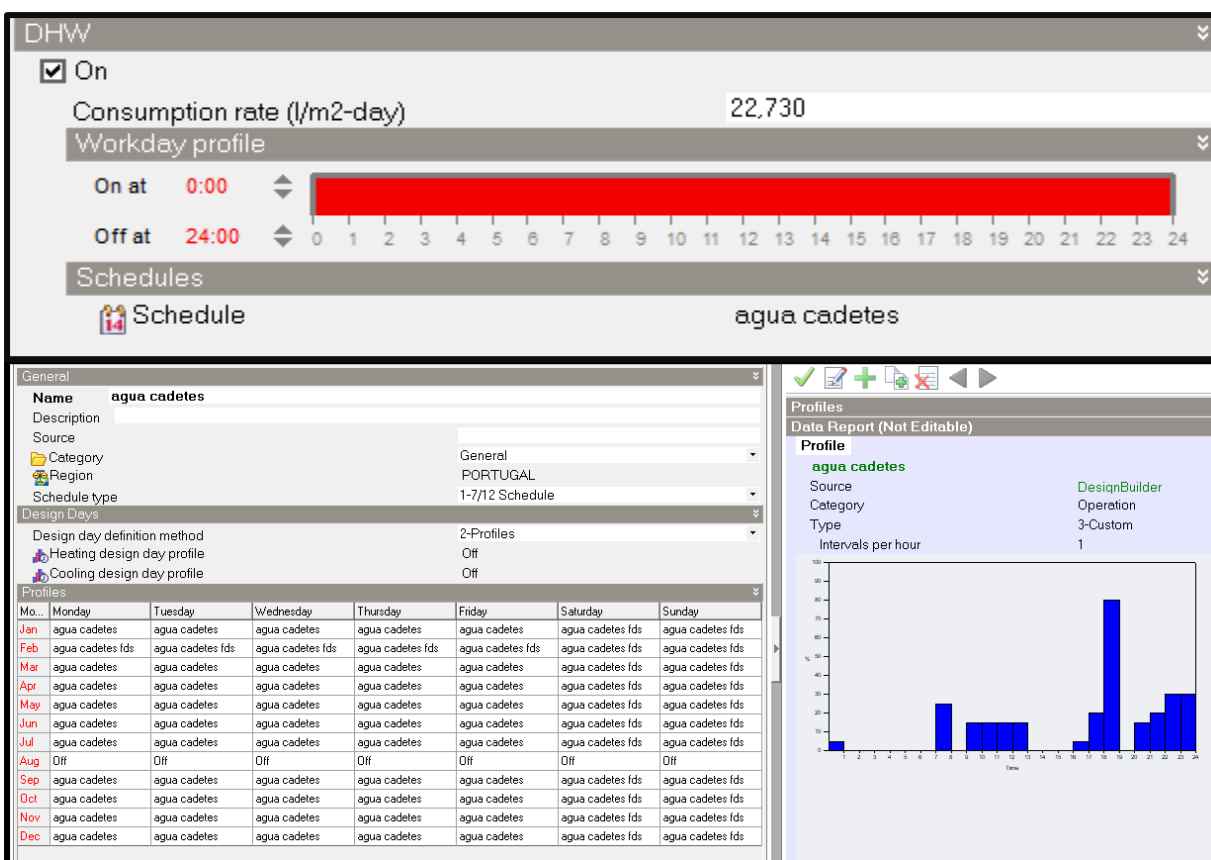
De referir que é nesta aba que também são inseridos os perfis de utilização de cada equipamento.



**Figura 24** – Potência instalada de equipamentos nos quartos  
 Fonte: *DesignBuilder*

#### 4.2.1.5 Perfil de consumo de AQS

Relativamente aos consumos de AQS, assumiu-se que cada chuveiro possui um caudal médio de 0,25 L/s de água quente e que cada aluno demora em média 5 minutos a tomar banho. Sabendo que em média temos 8 alunos por cada casa de banho a tomar uma vez banho, obtemos que a taxa de consumo de água quente equivalente a 22,73 L/m<sup>2</sup>dia. Podendo estes banhos ser tomados a qualquer altura do dia mas com maior probabilidade entre as 18h e as 21h dos dias úteis, excluindo a sexta-feira.



**Figura 25** - Perfil de consumo de AQS  
 Fonte: *DesignBuilder*

### 4.2.2 Construção da Envolvente

Os dados construtivos inseridos no modelo tridimensional foram de acordo com as informações referenciadas nos capítulos anteriores. Sendo que no *DesignBuilder* foram criados *templates* específicas que representam cada divisão térmica o mais próximo possível com a realidade, seja ela uma parede exterior, parede interior, um teto, um telhado, um chão, uma porta, uma subsuperfície<sup>32</sup>. É

<sup>32</sup> Uma superfície dentro de uma outra superfície. p.e. blocos de vidro a numa secção de uma parede interior

nesta secção que também especificamos a infiltração natural do edifício em estudo, onde por definição padrão do *DesignBuilder* é assumida como 0,7 Rph.

### 4.2.3 Janelas e Portas

As janelas foram definidas com vidro duplos, sendo que a sua caixilharia é assumida como sendo de alumínio sem corte térmico. Dependendo das janelas e do seu local, estas poderão ter uma, duas ou três divisórias verticais, e algumas ainda possuem divisórias horizontais. Relativamente às portas, as exteriores são assumidas serem de alumínio sem corte térmico e as portas interiores são assumidas serem de madeira, nomeadamente as que separam as zonas térmicas da casa de banho e dos quartos.

Foi também assumido que em cada casa de banho existe um respiradouro que permite a desumidificação da mesma e a circulação natural do ar, como está estipulado nas plantas e na realidade.

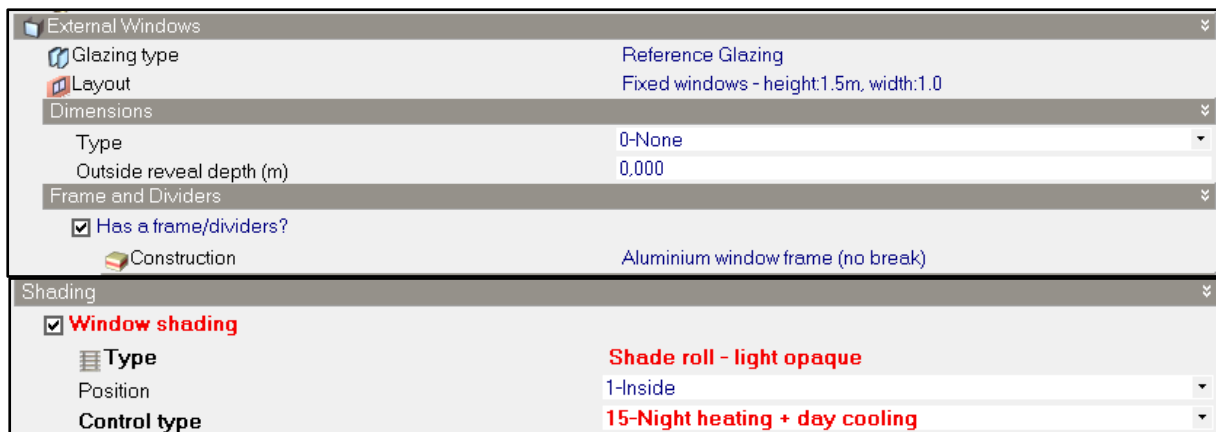
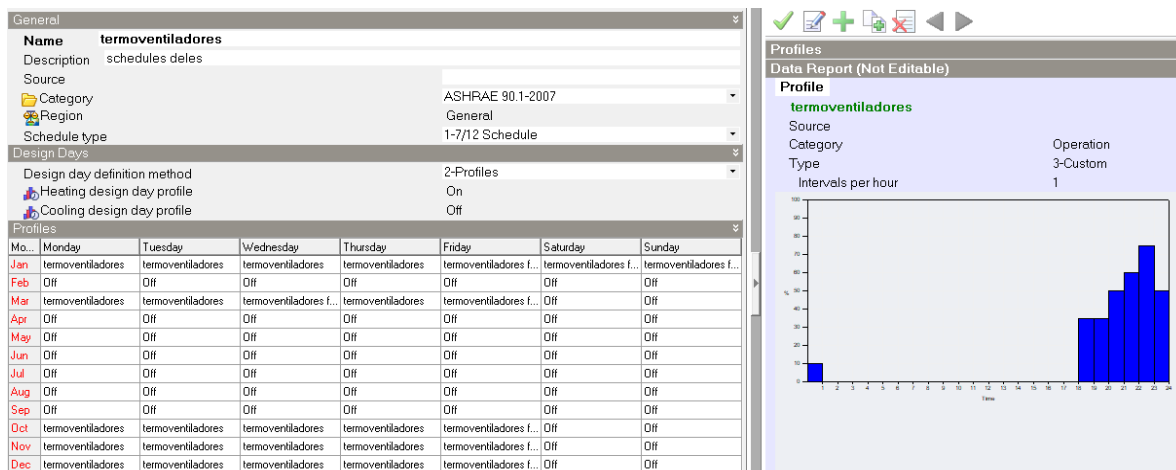


Figura 26 - Especificações das janelas dos quartos  
Fonte: *DesignBuilder*

### 4.2.4 AVAC

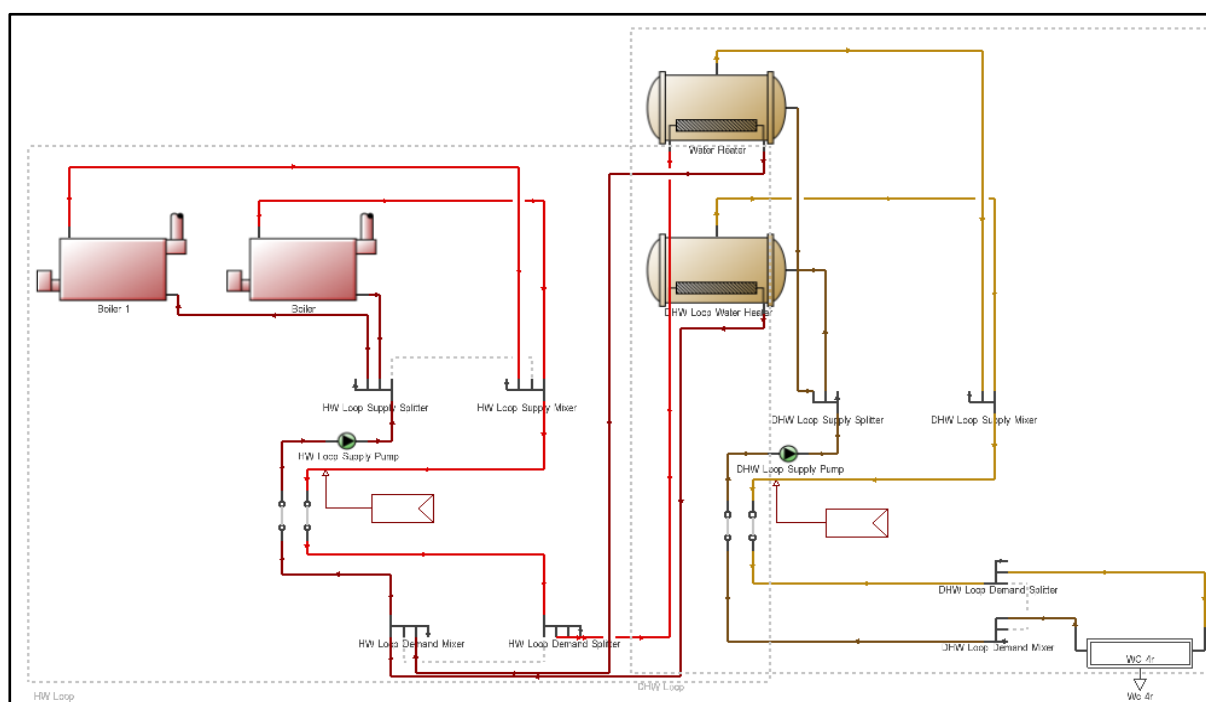
Como referido nos capítulos anteriores, o sistema AVAC das casernas consiste em que cada quarto possui em média um termoventilador, com uma potência de 2000 W, para aquecer o quarto aquando se regista uma temperatura abaixo do ideal para o conforto e bem-estar dos alunos. Em termos de sistemas de arrefecimento não existe nenhum no edifício em estudo. Portanto, em termos de AVAC, foi assumido no *DesignBuilder* que as casernas possuem como meio de aquecimento um radiador elétrico equipado com uma ventilação mecânica que é utilizado desde o mês de outubro até ao mês de março do próximo ano, sendo que o seu período diário de maior atividade consiste entre as 18h00 e as 24h00 dos dias úteis, excluindo a sexta-feira.



**Figura 27** - Perfil horário dos termoventiladores  
Fonte: *DesignBuilder*

Na Figura 27 é possível visualizar que os termoventiladores apenas são acionados nos dias úteis, excluindo à sexta-feira, sendo que nos fins de semana de janeiro e às sextas-feiras são assumidos consumos menos acentuados em comparação com os dias úteis. O mês de fevereiro, sendo um mês dedicado à época de exames, visitas de estudo e férias, é desprezado o uso de termoventiladores nestes meses.

Relativamente ao sistema de AQS, como referido nos capítulos anteriores e representando na Figura 28, possui 2 caldeiras e 2 depósitos de água, com um permutador a fazer a conexão térmica entre os dois, nomeadamente devido a que o circuito das caldeiras ser um circuito fechado.



**Figura 28** - Circuito do sistema AQS  
Fonte: *DesignBuilder*

De referir que foi considerado um caudal máximo de 6 L/s para o sistema de AQS, o que equivale a 24 duchas ligados ao mesmo tempo.

Por último, a ventilação natural no edifício, mais presente nas zonas térmicas com maior área, nomeadamente no atrium, escadas e corredores, assumiu-se igual a 3 Rph e com um perfil de maior atividade entre os meses de março e novembro que é quando existe, em circunstâncias normais<sup>33</sup>, maior número de portas e janelas abertas, permitindo o fluxo livre do ar.

#### **4.2.5 Simulação de Consumos**

Estando os dados todos inseridos e conferidos, procedeu-se à simulação energética do edifício de modo a obter dos consumos do edifício, as necessidades de aquecimento e arrefecimento, tendo em conta o seu sistema AVAC, o balanço energético do edifício que depende do perfil de ocupação, equipamentos e iluminação, dos ganhos internos devido à radiação solar e das perdas de calor, tendo em conta as paredes, janelas, teto e infiltração de ar.

##### *4.2.5.1 Balanço Energético e Consumos Específicos*

Através da simulação efetuada no *DesignBuilder*, verificou-se que as maiores perdas no edifício se devem às infiltrações provenientes do exterior enquanto o segundo fator de maiores perdas energéticas consiste nas paredes, onde também estão incluídas as perdas devido às janelas, perdas como convecção forçada e condução. Em termos de ganhos, verifica-se que os fatores que mais contribuem para aumentos energéticos são a ocupação e a radiação solar através das janelas.

Em termos de consumos específicos, o sistema que consome mais energia elétrica são de facto, nos termoventiladores, nos meses com temperaturas exteriores mais baixas, e os equipamentos eletrónicos, nomeadamente computadores, telemóveis, máquinas de venda de comida, entre outros, que consomem mais energia nos meses com temperaturas exteriores mais altas.

As observações descritas nos parágrafos anteriores podem ser consultadas no Anexo C.

##### *4.2.5.2 Consumos Mensais*

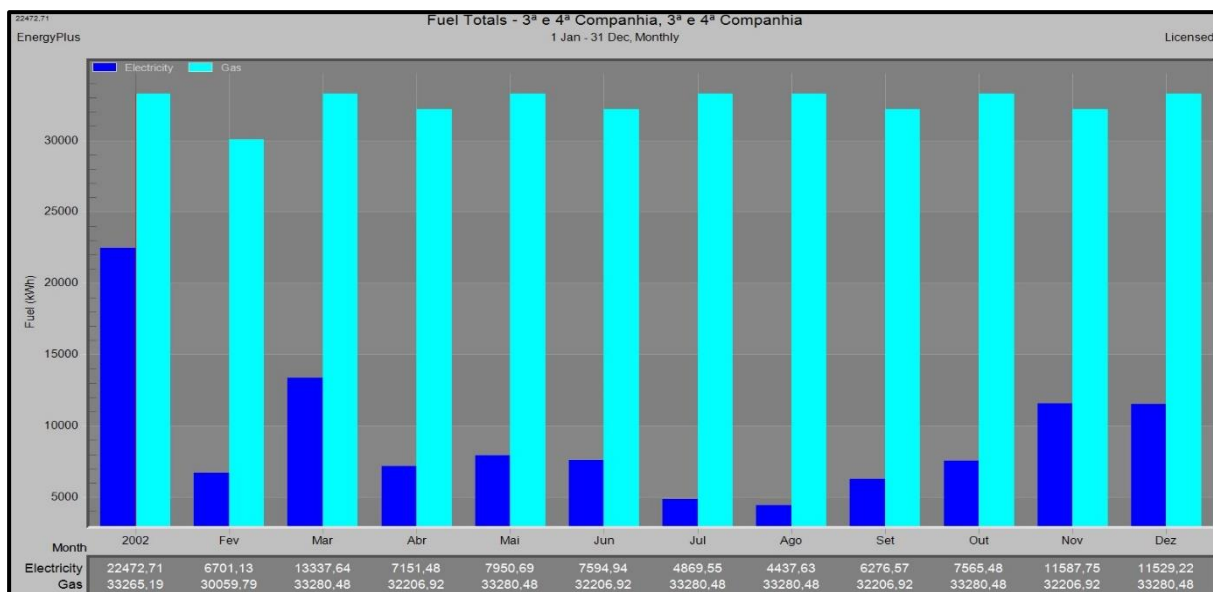
Após a simulação efetuada verifica-se que existe uma predominância no consumo do gás natural em todos os meses, pois este é utilizado para o aquecimento das águas sanitárias, AQS. No entanto também se verifica que nos meses de inverno, nomeadamente em janeiro, que é um dos meses mais frios do ano e quando os alunos mais utilizam os termoventiladores e os seus equipamentos para estudar, é quando se verifica um pico do consumo da energia elétrica.

Através da Figura 29, verifica-se que o consumo do gás é constante ao longo dos meses, pois foi assumido que as caldeiras trabalham 24/7 ao longo do ano num ciclo fechado de modo a manter a água dos depósitos a uma temperatura constante, aproximadamente 60°C. Esta suposição foi tomada por não haver informação de critérios de consumo e de ativação das caldeiras para o aquecimento da água sanitária.

É também na Figura 29 que se verifica que os consumos elétricos são mais baixos nos períodos de férias e de atividade reduzida dos alunos e da unidade, respetivamente, como é exetável.

---

<sup>33</sup> define-se como situações normais em que as atividades que ocorrem com as rotinas registadas num período mínimo de 5 anos. Situações como o caso da pandemia provocada pelo covid-19 não se considera uma situação normal.



**Figura 29** - Consumos mensais simulados no *DesignBuilder*  
 Fonte: *DesignBuilder*

### 4.3 Calibração e Validação do Modelo Computacional

Dado que o modelo tridimensional foi elaborado com base nos dados enumerados nos capítulos anteriores e tendo em conta as restrições implementadas no *DesignBuilder* enumeradas no subcapítulo anterior, procedeu-se à simulação dinâmica do edifício em estudo de modo a averiguar se os dados obtidos correspondem com a realidade. É importante averiguar se os dados obtidos através da simulação se aproximam com a realidade pois, por muito detalhado e preciso que se seja na inserção dos dados é muito difícil obter dados exatos e iguais aos da realidade.

De modo a calibrar a utilização dos equipamentos e do aquecimento na simulação, foi utilizado o registo do consumo elétrico do período entre 21 de outubro de 2020 e 7 de novembro de 2020 para adaptar os perfis estipulados no *DesignBuilder* com os da realidade, uma vez que no curto período identificado não houve tanto impacto da pandemia devido ao covid-19, como houve nos dias anteriores e nos dias que se avizinharam. No início deste estudo, foi planeado elaborar um questionário e um levantamento individual aquando da utilização de cada equipamento e registo de consumos detalhados de cada sistema energético. No entanto esta análise não foi possível ser realizada devido às restrições que advieram do confinamento e às medidas de segurança elaboradas para reduzir a probabilidade de contágio entre as pessoas.

Como enumerado nos capítulos anteriores, um modelo energético é considerado válido se o consumo mensal tiver um CVRMSE até 25%, proveniente do consumo real e o consumo simulado ou se o consumo anual tiver um CVRMSE até 35%, proveniente do consumo real e o consumo simulado.

Comparando os consumos reais medidos através do *Fluke 1742* e os consumos reais das faturas elétricas, foi possível calcular a fração do consumo mensal que o edifício tem comparativamente ao consumo da AMA, sendo este valor aproximadamente 12,5%. Admitindo que 12,5% do consumo mensal da AMA é proveniente do consumo do edifício em estudo, foi possível calcular os consumos mensais das casernas num ano com o intuito de validar as simulações.



Após estipulados os consumos mensais reais da caserna durante 1 ano, procedeu-se à análise das simulações efetuadas no *DesignBuilder* e conclui-se que, nos meses como outubro, novembro e dezembro, a diferença entre os consumos elétricos reais e os simulados é de 22,6%, 5,1% e 6,24% respetivamente. Estes dados validam teoricamente as simulações nestes meses, visto que nos meses restantes a percentagem atinge valores superiores a 25%, com exceção dos meses referidos e os meses abril, maio e junho, como representando na Figura 30. Os meses com valores de validação acima dos 25% ocorrem devido a não ser possível e não haver dados que indicam os equipamentos e comportamentos presentes em cada mês que influenciam o consumo do *campus*, como também não é possível averiguar se se mantém a análise que 12,5% do consumo elétrico do *campus* corresponde ao consumo do edifício das casernas do 3º e 4º ano de alunos da AM. No entanto, as diferenças entre os consumos anuais reais e simulados é de apenas 4%, o que valida as simulações em termos de consumos elétricos anuais de acordo com a norma ASHRAE.



**Figura 30** - Comparação entre consumos elétricos reais e simulados  
 Fonte: Adaptado do *DesignBuilder* e das faturas mensais elétricas

Relativamente à validação dos consumos do gás natural, tendo em conta as situações adversas ao estudo do edifício em questão, não foi possível medir ou estimar com precisão o consumo de gás natural do edifício que aloja apenas os alunos do 3º e 4º ano da AM, uma vez que o contador de gás natural efetua a contagem do consumo do *campus* inteiro. No entanto, assumiu-se que o edifício em questão consome em média, por mês, aproximadamente 30 000 kWh, que se aproxima do valor médio obtido através das simulações e que valida a simulação.

#### 4.4 Simulações de Otimização Energética

Ao investir em tecnologia que permita o aumento da eficiência energética e a redução das necessidades energéticas, permite que, a longo prazo, a AM obtenha o retorno do investimento inicial na tecnologia, bem como permite a redução da fatura mensal dos custos energéticos do *campus* mas, mais importante que isso, torna-se que numa organização que prima pelo aumento da eficiência

energética e a redução dos consumos energéticos não renováveis contribuindo para a redução dos GEE.

Com o objetivo de apresentar formas de reduzir o consumo energético e aumentar a eficiência energética do *campus*, mas mais em específico as casernas, foi elaborado o estudo de 3 tipos de casos/investimentos/melhorias que se podem adotar de modo a diminuir os consumos energéticos e por consequência, os seus gastos energéticos. Algumas destas medidas consistem na mudança de metodologia de aquecimento das casernas e outras consiste na aquisição de novos equipamentos e também a utilização de fontes de energias renováveis, pois são medidas que necessitam de pouca intervenção na envolvente do edifício e, comparando em termos de custos de intervenção, são de orçamentos menores.

#### 4.4.1 Medidas de Otimização Energética

Com o objetivo de reduzir os consumos energéticos, aumentar a eficiência energética e reduzir os custos energéticos do edifício que aloja os alunos do 4º e 3º ano da AM, foram executados 3 estudos que possibilitam atingir esses objetivos sem ter de se alterar os serviços, a função do edifício e que não implicam grandes intervenções na infraestrutura em si. Os 3 estudos assentam em aquisições ou alterações de medidas no qual o *campus* beneficie como um todo e não apenas o edifício em questão, podendo as medidas sugeridas no edifício possam ser estudadas e implementadas noutros edifícios que possuam necessidades similares e que beneficiariam de uma redução nos seus custos energéticos.

As medidas/aquisições sugeridas para o edifício em questão que aumentam a sua eficiência energética, são:

- Sistema de aquecimento com radiadores a água, alimentados pelas caldeiras condensadoras a gás natural, denominado como **sistema de aquecimento simples com radiadores**;
- Sistema de aquecimento com radiadores a água, alimentados pelas caldeiras condensadoras a gás natural e um sistema de aquecimento de AQS alimentado por painéis solares térmicos que apoiam o sistema principal de aquecimento de AQS, denominado como **sistema com painéis solares térmicos e radiadores**;
- Sistema de aquecimento alimentado por uma Bomba de Calor, que possui como fonte de alimentação de apoio um sistema de painéis fotovoltaicos, denominado como **sistema com bomba de calor e painéis fotovoltaicos**.

##### 4.4.1.1 *Sistema de aquecimento simples com radiadores*

O sistema de aquecimento com radiadores a água, alimentados pelas caldeiras de condensação a gás natural, traduz-se na utilização do sistema que atualmente está instalado nas casernas na sua total amplitude, pois o sistema de AQS, como descrito anteriormente, é constituído por 2 circuitos, um fechado e outro aberto. Este ciclo fechado consiste em 2 caldeiras condensadoras, alimentadas a gás natural, a alimentar água a 70°C até um permutador de calor. Por sua vez, o permutador em questão consiste no equipamento térmico que permite aquecer as águas quentes

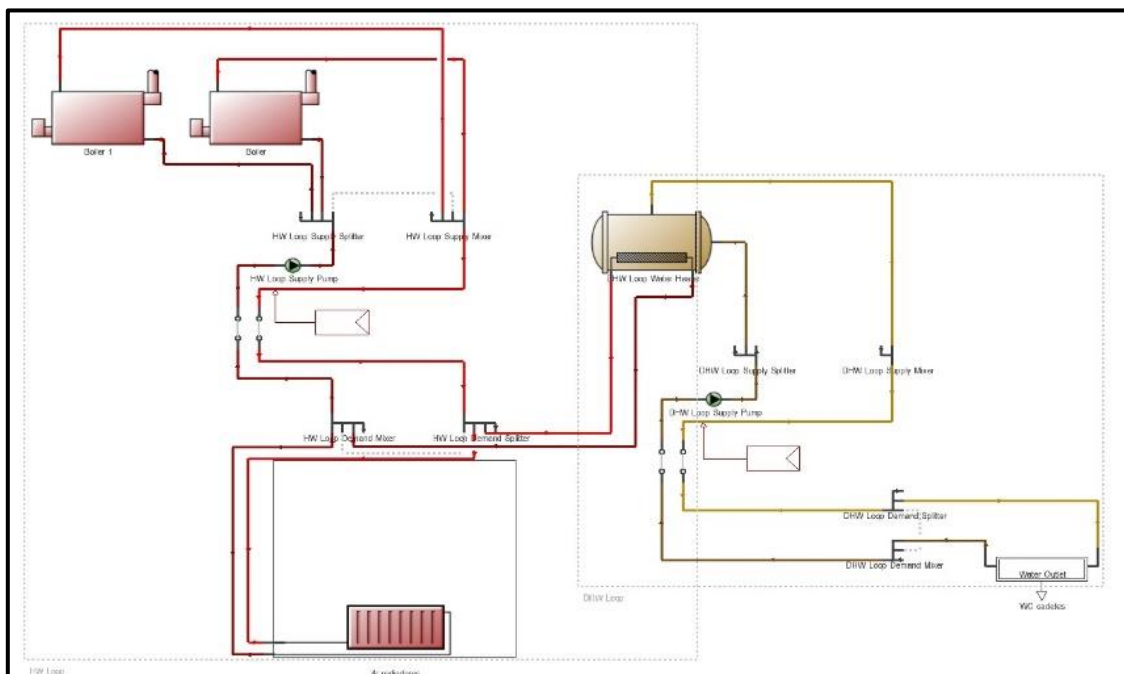
sanitárias que são armazenadas nos 2 depósitos de água referenciados nos capítulos anteriores, em que cada depósito possui um volume de 2 m<sup>3</sup>.

Assim sendo, o sistema em estudo pretende analisar a viabilidade económica de aquecer os quartos dos alunos através dos radiadores já instalados nos quartos, em vez de cada quarto possuir um termoventilador, e proporcionar o ambiente necessário de conforto para os alunos estudarem e ao mesmo tempo, reduzir os custos energéticos devido à utilização excessiva de termoventiladores.

Em termos de modelação do sistema AVAC, este foi modelado em 3 ciclos, 2 fechados e 1 aberto. Relativamente ao ciclo das caldeiras e das AQS, mantém-se a configuração descrita nos parágrafos anteriores e é adicionado o ciclo fechado dos radiadores a água, onde as águas que circulam pelos radiadores existentes nos quartos estão interconectados entre si a um permutador que permite a troca de calor entre as águas dos radiadores e as águas das caldeiras.

A potência estipulada para cada caldeira foi a mesma potência das caldeiras referidas nos capítulos anteriores, sendo desprezadas as perdas de calor derivado do comprimento das tubagens. Nesta simulação, apenas os quartos e gabinetes identificados nos capítulos anteriores como ocupados durante o dia e durante a noite é que possuem radiadores ativos, tendo sido considerados 25 módulos de aquecimento nos quartos, 10 módulos no radiador da sala de estudo e 15 módulos no radiador do quarto, cada módulo possui uma potência de aquecimento de 110 W, o que perfaz um total de 2750 W de potência instalada em cada quarto, sendo que nos gabinetes temos uma potência de 1650 W, 15 módulos.

Em termos de caudal máximo para o sistema AQS, foi assumido o mesmo que se assumiu na simulação do edifício sem melhorias, ou seja, 6 dm<sup>3</sup>/s.



**Figura 31** - Sistema de aquecimento simples com radiadores  
Fonte: *DesignBuilder*

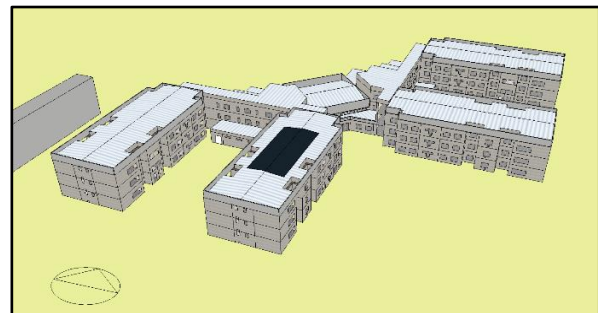
#### 4.4.1.2 Sistema com painéis solares térmicos e radiadores

O sistema com painéis solares térmicos e radiadores representa um sistema em que as águas quentes sanitárias são aquecidas através de um sistema principal constituído por painéis solares

térmicos e é apoiado por um sistema de caldeiras condensadoras a gás natural. Estas aquecem a água quando não existe energia solar e também são responsáveis por aquecer as águas que circulam nos radiadores responsáveis por aquecer os quartos e os gabinetes do edifício das casernas, tendo em conta que este sistema de aquecer os quartos funciona da mesma forma que o sistema de aquecimento simples com radiadores.

Relativamente ao sistema de painéis solares térmicos dimensionados para esta simulação, considerou-se que este sistema será constituído por 39 painéis solares EM 2V/2.0 Al-Cu da Ensol, cada painel possui uma área bruta de 2 m<sup>2</sup>, uma área de superfície de abertura igual à superfície absorvora de 1,87 m<sup>2</sup>, coeficiente de perdas de primeiro e segundo grau de 3,778 e 0,016 [W/ m<sup>2</sup>K] respetivamente e possui um caudal recomendado de 0,06 a 0,09 m<sup>3</sup>/s.

O sistema dimensionado de painéis solares térmicos possui, no total, uma área absorvora de 73 m<sup>2</sup>, tendo sido considerado que os painéis foram instalados no telhado sul dos alojamentos que se situam mais próximo da casa das máquinas, onde estão as 2 caldeiras e os 2 depósitos. Relativamente à orientação dos painéis solares térmicos assumiu-se que metade dos painéis estão voltados para este e a outra metade para oeste, isto porque as necessidades de água quente verificam-se ser mais necessários durante os períodos de manhã e os períodos do final da tarde.



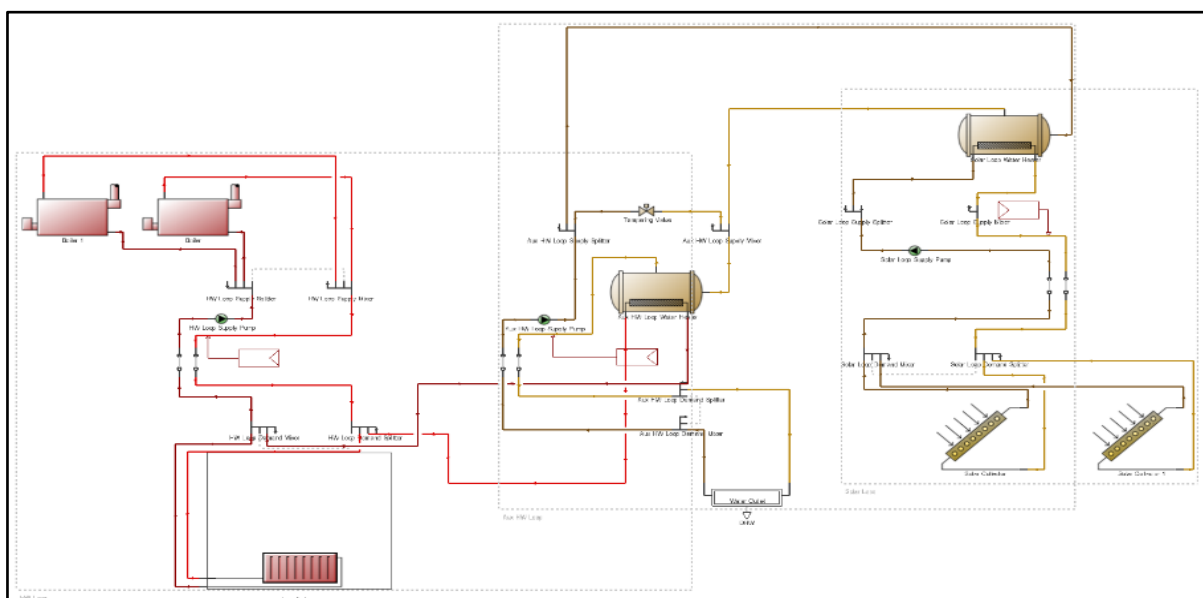
**Figura 32** – Local da instalação dos painéis solares térmicos

Fonte: *DesignBuilder*

para oeste, isto porque as necessidades de água quente verificam-se ser mais necessários durante os períodos de manhã e os períodos do final da tarde.

O sistema das caldeiras e radiadores dos quartos são os mesmos estipulados para o sistema de aquecimento simples com radiadores. O caudal máximo para o sistema AQS foi assumido o mesmo que se assumiu nas simulações anteriores, 6 dm<sup>3</sup>/s.

Por fim, em termos do sistema dos painéis solares térmicos, assumiu-se água como o fluido de transferência térmica.



**Figura 33** – Sistema com painéis solares térmicos e radiadores

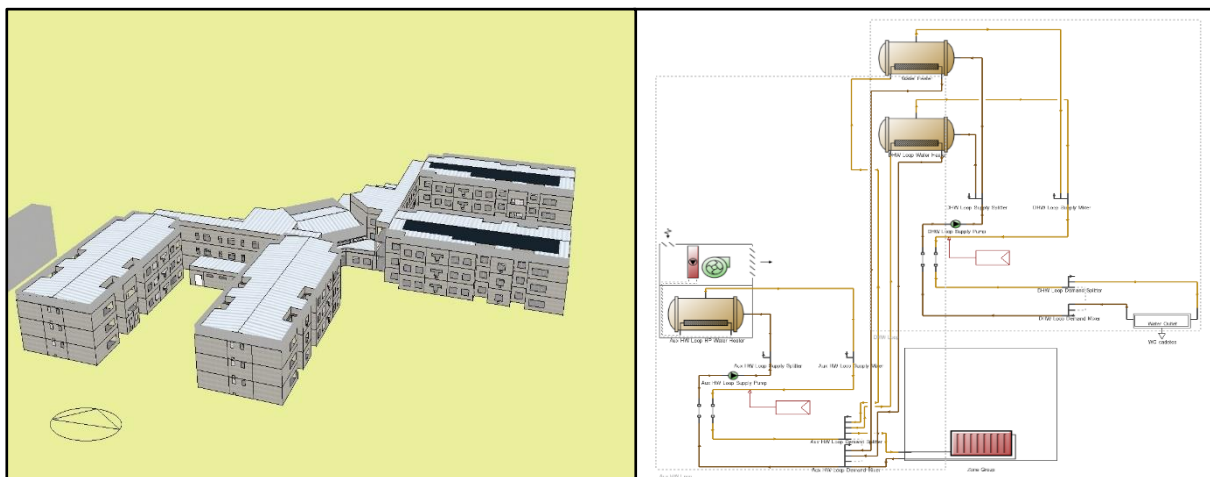
Fonte: *DesignBuilder*

#### 4.4.1.3 Sistema com bomba de calor e painéis fotovoltaicos

O sistema com bomba de calor e painéis fotovoltaicos consiste num sistema em que as águas quentes sanitárias são aquecidas através de um sistema principal constituído por 2 bombas de calor que são apoiadas por um sistema de painéis fotovoltaicos de modo a reduzir a energia elétrica consumida proveniente da rede.

Relativamente às bombas de calor, assumiu-se que a bomba de calor seria uma Bomba de calor ar-água LCP da Galletti, cada uma possuindo uma potência de aquecimento mínima de 50 kW e uma máxima de 370 kW que são concebidas para funcionar 24 horas por dia e são unidades de produção de ar condicionado e AQS. Para esta simulação foram assumidas duas LCP MS 214, em que as duas somadas possuem uma potência de aquecimento de 496 kW e consomem em média 74,6 kW, ou seja, possuem um COP de 3,31.

Adotou-se um sistema de painéis fotovoltaicos de modo que o consumo diário das bombas de calor seja apoiado e reduzido com a introdução de painéis fotovoltaicos. Apesar da eficiência que uma bomba de calor possua e existência de um sistema de painéis fotovoltaicos a servir como fonte de energia elétrica. Para tal, é essencial que as bombas possam operar sem restrições horárias e a única forma de obter energia elétrica sem recorrer à rede, seria possuir baterias, o que se torna insustentável para a energia necessária, ou um aerogerador, que possui melhores capacidades para responder às necessidades energéticas, mas que se torna impraticável na zona do *campus*. O sistema de painéis fotovoltaicos assumido possui uma potência instalada de 56,7 kW de painéis fotovoltaicos monocristalinos LR4-60HPH, cada um de 350 W, em que cada um possui uma eficiência de 19,2%. De forma a obter a potência requerida foram instalados 162 painéis (equivalente a 295,1 m<sup>2</sup>) nos telhados por cima dos quartos dos alunos do 4º ano, virados para sul, e com uma inclinação de 5,2º relativamente ao solo, pois 5,2º consiste na inclinação média do telhado onde os painéis estão instalados, uma vez que o custo de colocar suporte para obter a inclinação recomendada, 35º, não compensa face à perda devido à inclinação sem suporte e à sombra que se irá criar sobre os outros painéis.



**Figura 34** - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos e sistema de aquecimento com bomba de calor  
Fonte: *DesignBuilder*

Para a potência instalada foi assumido 56,7 kW pois o pretendido era obter uma potência máxima de 50 kW após as perdas devido ao ângulo a que o painel foi instalado e devido às diferenças de temperatura anuais. Pretende-se uma potência de 50 kW, tendo sido efetuada uma simulação a

*priori* de forma a verificar os requisitos sub-horários das duas bombas de calor, e assumiu-se que ter uma potência de 50 kW colmatava 50% da energia necessária a fornecer ao sistema nos seus picos máximos e quando fosse os horários de consumo baixo não haveria muita energia remanescente, tendo em conta o consumo do edifício em estudo. Estas perdas foram calculadas através do coeficiente de temperatura e o modificador de ângulo de incidência (IAM), como representado na Tabela 6.

**Tabela 5** - Cálculo da eficiência dos painéis fotovoltaicos

<b>Cálculo do IAM (<math>F_{IAM} = 1 - 0,05 * (\frac{1}{\cos i} - 1)</math>)</b>	
<b>Latitude</b>	38,7528°
<b>Longitude</b>	-9,236
<b>Ângulo de incidência no Inverno (i)</b>	57°
<b>F<sub>IAM</sub></b>	<b>95,819%</b>
<b>Cálculo do coeficiente de temperatura (<math>C_{temp} = T_{inst} * (C_{Isc} + C_{Voc} + C_{Pmax})</math>)</b>	
<b>T<sub>amb</sub></b>	19,44 °C
<b>T<sub>ref</sub></b>	25 °C
<b>T<sub>inst</sub></b>	13,88 °C
<b>Coeficiente Temp Isc</b>	0,0480 % / °C
<b>Coeficiente Temp Voc</b>	-0,27 % / °C
<b>Coeficiente Temp P<sub>max</sub></b>	-0,35 % / °C
<b>C<sub>temp</sub></b>	<b>-7,94% -&gt; corresponde a 92,06% eficiência</b>
<b>Eficiência do painel devido à inclinação e temperatura</b>	<b>88,2%</b>

Por fim, o sistema de aquecimento, consiste no sistema das bombas de calor e dos radiadores a água nos quartos, como se pode observar na Figura 34. O caudal máximo para o sistema AQS foi assumido o mesmo que se assumiu nas simulações anteriores, 6 dm<sup>3</sup>/s.

## 5 Modelação Energética da AMA no CEA

### 5.1 Criação da planta 2D da AMA

Em vez da criação da pegada urbana de cada edifício pertencente à área urbana da AMA através de um *software CAD*, como por exemplo o *AutoCAD*, e posteriormente convertê-lo num formato .dwg 2004 para que seja possível transformá-lo num ficheiro polígono usando o *ArcCatalog*<sup>34</sup>, proveniente do *ArcGis*. Deste modo, é possível inserir uma(s) nova(s) geometria(s) não existente(s) em bancos de dados GIS que suportem o *CEA*, foi optado pela criação de uma nova geometria através da inserção da geometria diretamente no banco de dados do *OSM* através do seu site oficial, sendo este *open source*.

Numa primeira abordagem, é verificada a base de dados do *OSM* de forma a verificar o seu conteúdo relativamente à representação dos edifícios pretendidos. Após verificar os conteúdos e as geometrias em falta, procede-se à inserção dos mesmos através da opção de introdução de áreas disponível na barra de tarefas de edição no *site* da *OSM* e escolhendo a imagem de satélite apropriada, neste caso optou-se pela “*Maxar Premium Imagery (Beta)*”, começa-se a adicionar a área útil de cada edifício, o tipo de elemento que a área representa e a altura, sendo que o nome do edifício não foi estipulado por ser uma unidade militar e não expor informações confidenciais da mesma em plataformas de fácil acesso.



**Figura 35** – Alojamento dos alunos do 4º ano no *Open Street Map*  
Fonte: *Retirado do Open Street Map*

Na figura anterior está representado o local dos alojamentos dos alunos do 4º ano, sendo que este edifício possui 9 metros de altura. Também na figura, é possível verificar que os edifícios foram representados consoante a altura dos mesmos, ou seja, o edifício da 4ª Companhia de Alunos foi representado através de 6 áreas, sendo que uma das áreas representa um setor do edifício com 3 metros de altura, outra área representa um setor do edifício com 6 metros e outra área representa uma área com 9 metros. Esta abordagem, da divisão da área útil dos edifícios, vem de forma a facilitar a

<sup>34</sup> Outro *software* que se pode utilizar consiste no *QGIS*

visualização e definição das diferentes divisões do edifício, dado que umas destinam-se ao alojamento dos alunos, outras a processos administrativos, e outras a processos de armazenagem.

Após desenhar no *OSM* as áreas úteis de todos os edifícios e adicionar parques de estacionamento, paradas, passeios, picadeiros e vegetação, é possível proceder à construção 2D e 3D da AMA no *CEA*, sendo que a área delimitada para análise de edifício é a área que possui os edifícios da AMA, ignorando assim a área de vegetação que existe a sudoeste da mesma. A Figura 36 ilustra a AMA na *Dashboard* do *CEA*, local onde se irá proceder a restante discretização dos parâmetros de cada edifício do *campus*.



**Figura 36** – Representação da AMA em 3D e 2D na *Dashboard* do *CEA*  
Fonte: Retirado do *CEA*

Na figura anterior, verifica-se que os edifícios em si estão divididos em vários setores, de modo a facilitar a descrição da sua geometria e envolvente e, como tal, obteve-se um total de 77 estruturas de edifícios na *Dashboard* do *CEA*.

## 5.2 Modelação no *CEA*

De modo a representar de uma forma realista o *campus* da AMA, foram adicionadas 77 geometrias, visando que cada geometria representa um setor de um edifício com uma determinada altura.

De forma a simplificar a verificação das propriedades inseridas em cada edifício, a Tabela 5 apresenta a correspondência entre as geometrias e os edifícios representados pelas mesmas, uma vez que as geometrias no *CEA* estão identificadas através da letra B (*Building*) e depois cada uma tem um número individual que vai desde o 1001 a 1077, sendo que esta característica do programa não foi possível alterar devido a erros de código.

**Tabela 6** – Identificação das Geometrias no *CEA*

Edifício	Setor do Edifício	Número da Geometria (BXXXX)
Edifício B	norte / este / sul / sudoeste / oeste(bar) / oeste atrium / noroeste	1015 / 1014 / 1013 / 1012 / 1010 / 1011 / 1009
Edifício A	este / centro / oeste / atrium / biblioteca	1016 / 1017 / 1018 / 1077 / 1019
Refeitório	Refeitório / arrecadação / loja	1003 / 1027 / 1028
Edifício dos Alunos	Atrium / bares + salas	1030 / 1031
Edifício de Comando	norte / centro / sul	1020 / 1021 / 1022
Edifício da Direção de Ensino	Gabinetes	1005
Auditórios	Grande / atrium / pequeno	1075+1007 / 1006 / 1008



1ª e 2ª Companhia	Quartos / gabinetes / arrecadações / salas de estudo / casa das botas / atrium / secretarias	1046+1050 / 1048+1051 / 1049+1052 / 1053+1058 / 1059+1047 / 1054 / 1055+1056
3ª e 4ª Companhia	Quartos / gabinetes / arrecadações / salas de estudo / casa das botas / atrium / secretarias	1039+1043 / 1033+1036 / 1032+1035 / 1034+1037 / 1040+1044 / 1038 / 1041+1042
Cavaliariças e Ginásios	Ginásios norte a sul / corredor de acesso	1060+1061+1062+1063+1064+1065+1066+1067/1068
Ginásio	Ginásios	1004
Pavilhão Koboyashi	Pavilhão central / boxer	1070 / 1069
CCS	Alojamentos / gabinetes	1001 / 1029
Caserna dos Sargentos	Alojamentos	1026
Outros alojamentos desprezáveis para o estudo	Casa da guarda / antigas lavandarias / ruínas do antigo laboratório / casa das máquinas AQS / edifício da carreira de tiro de 25 m / laboratório balístico do CINAMIL	1024 + 1025 / 1072+ 1073 / 1071 / 1045 + 1057 / 1076 / 1074

### 5.2.1 Definição Padrão dos Edifícios

A primeira característica a adicionar nas propriedades de um edifício reside no número de pisos e alturas que o mesmo possui abaixo e acima do solo. Normalmente estas propriedades podem ser retiradas diretamente da base de dados GIS caso o CEA tenha compatibilidade com a base de dados. No entanto, devido à área em estudo ser uma zona restrita, uma unidade militar, os valores das 77 geometrias foram adicionados manualmente e podem ser consultados no Apêndice C, estando a descrição e unidades das variáveis descritas no Apêndice B.

### 5.2.2 Definição da Envolvente

Após a inserção dos dados padrões de cada edifício, são inseridos os dados que definem o corte construtivo da envolvente e da geometria de cada edifício, sendo que para este processo foram inseridos valores manuais que podem ser consultados no Apêndice C. E, assim sendo, as descrições dos valores inseridos estão no Apêndice B e foram utilizadas bibliotecas pré-existentes e melhoradas do CEA, que podem ser consultadas desde a Tabela 6 à Tabela 10 do Anexo B.

Os valores inseridos das geometrias que representam os edifícios em estudo estão com base nas bibliotecas já existentes do CEA ou de acordo com valores padrões admitidos nas construções descritas.

### 5.2.3 Definição de medidas consoante o tipo de edifício

Esta etapa está dividida em 3 fases, caracterizando-se a primeira fase a inserção dos ganhos internos devido à ocupação, equipamentos, iluminação, sistema AVAC, servidores e consumos de água quente e fria. De forma a inserir dados que representam os diferentes tipos de edifícios e de forma a obter resultados próximos da realidade, foram consideradas as bibliotecas do CEA para o

preenchimento dos dados dependentes do tipo de edifício. O tipo de edifício de cada geometria está identificado no Apêndice C na coluna da função principal e secundária, uma vez que, como existe edifícios com diferentes funções, por exemplo de aulas ou de alojamento, há necessidade de identificar o rácio da área com uma diferente função em cada geometria.

A segunda fase, seguindo a premissa da primeira fase, consiste na estipulação dos pontos de controlo da temperatura e humidade dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, encontrando-se este estipulado de acordo com a norma ASHRAE, pois definem a temperatura de conforto de uma pessoa.

No Apêndice D é possível verificar individualmente os dados inseridos relativamente à primeira e segunda fase, sendo que as unidades de cada variável são possível de consultar no Apêndice B.

Por fim, a terceira fase, consiste na estipulação individual em cada geometria dos perfis horários relativamente à ocupação, equipamentos, iluminação, água, aquecimento, arrefecimento, processos, servidores e mobilidade elétrica, no caso de existir posto de carregamento elétrico. Os dados desta fase, foram baseados nas funções primárias e nos perfis de utilização de cada categoria referenciados no Capítulo do Caso de Estudo.

#### **5.2.4 Sistema AVAC**

Tendo estipulado e inserido todos os dados relativamente à descrição construtiva das infraestruturas e inserido os ganhos devidos aos equipamentos e atividades em cada edifício, falta definir as propriedades dos sistemas AVAC e AQS, pois estes possuem um grande impacto nos consumos finais do *campus*. Os dados relativos a cada geometria que identifica os sistemas AVAC encontra-se no Apêndice E, sendo possível consultar as unidades de cada variável no Apêndice B.

Para identificar os diferentes tipos de sistemas AVAC e AQS presentes em cada geometria, foram utilizadas e melhoradas as bibliotecas do *CEA*, estando os dados inseridos descritos desde a Tabela 13 à Tabela 17 do Anexo B. Os dados das tabelas referenciadas anteriormente descrevem as características principais de cada sistema adotado de forma a ser possível calcular o consumo de cada sistema, bem como os ganhos que advém dos mesmos.

#### **5.2.5 Sistema de fornecimento**

Por fim, neste sistema, é inserido os dados da existência dos sistemas de fornecimento energético seja de origem interna, dentro do *campus*, ou externa, ou seja, se existem fontes de energia externa como a de eletricidade, gás natural, biogás, solar, óleo, carvão, madeira, biomassa seca ou húmida, redes de águas quentes ou frias (também conhecidas como redes urbanas de energia térmica) para aquecimento ou arrefecimento, respetivamente, entre outros e quais são as suas características.

No Apêndice B é possível verificar os dados necessários para identificar e estudar as fontes energéticas a abastecer o *campus* e qual o seu consumo e custo. O Apêndice F possui os dados da fonte energética de cada geometria para diferentes necessidades e, para completar, desde a Tabela 18 à Tabela 21 do Anexo B é possível observar os diferentes tipos de sistemas para cada necessidade energética.

## 6 Resultados e Discussão

Como referido no capítulo anterior, foram elaboradas e analisadas diferentes medidas de modo a alcançar o objetivo de aumentar a eficiência energética do edifício das casernas dos alunos do 3º e 4º ano da AM e reduzir os seus custos energéticos. Para alcançar o objetivo pretendido, foram simuladas 3 medidas no *DesignBuilder*, sendo elas:

- *Sistema de aquecimento simples*, que consiste em utilizar as instalações energéticas já existentes no seu máximo potencial, sendo o sistema definido por 2 caldeiras que são responsáveis pelo aquecimento dos quartos, através de radiadores de água, e pelo aquecimento das AQS;
- *Sistema com painéis solares térmicos e radiadores*, cujo sistema, em comparação com o anterior, possui painéis solares planos da *Ensol* instalados que auxiliam no aquecimento das AQS, sendo o sistema fornecedor de aquecimento dos quartos apenas as caldeiras;
- *Sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos*, tendo em conta que a adoção deste sistema consiste na substituição das 2 caldeiras por 2 bombas de calor com uma potência de aquecimento equivalente. Para reduzir os custos elétricos aumentados devido à instalação das 2 bombas de calor, este sistema possui um sistema de painéis fotovoltaicos, com uma potência total de 56,7 kW, que corresponde a 162 painéis monocristalinos da LR4-60HPH.

Em termos do consumo de gás natural, como referido nos capítulos anteriores, o consumo mensal específico do edifício em estudo não foi possível obter visto que não existe medidor único para o consumo das caldeiras respetivas, e sim, existe apenas um contador geral de consumo do *campus*. Devido a este pormenor e com o intuito de comparar consumos entre diversos sistemas, os consumos do sistema adotado nesta simulação serão comparados com a simulação dos consumos do sistema atual em vigor (2020), dado que a simulação do sistema atual foi validada para os consumos elétricos anualmente e para alguns meses, de acordo com a norma ASHRAE. De referir que na simulação do sistema atual foram considerados que os valores dos consumos correspondem aproximadamente entre 35% a 45% do consumo mensal do Gás Natural do *campus*.

Com o intuito de complementar o estudo da eficiência energética de um edifício e de agilizar a análise da eficiência energética de um conjunto de edifícios, seja um *campus* ou um centro urbano, foi utilizado o *CEA* de modo a averiguar a sua eficácia na aquisição de consumos, custos e medidas de otimização energética, mas a uma escala maior que o *DesignBuilder* permite e com uma maior rapidez e facilidade. Com o propósito de atingir o objetivo mencionado anteriormente, procedeu-se à validação do *CEA* equiparando-o com os resultados dos consumos do *DesignBuilder* e com os resultados dos consumos reais do *campus* de modo a validar os seus resultados de acordo com as normas ASHRAE.

Ainda dentro das medidas de otimização energética, foi feita a análise dos edifícios com maior potencialidade de instalação de sistemas com fontes de energia renovável, como a solar e a energia geotérmica, que são as duas energias com maior potencialidade e viabilidade a instalar no *campus* da AMA.

## 6.1 Consumos e Custos das simulações de otimização energética das Casernas

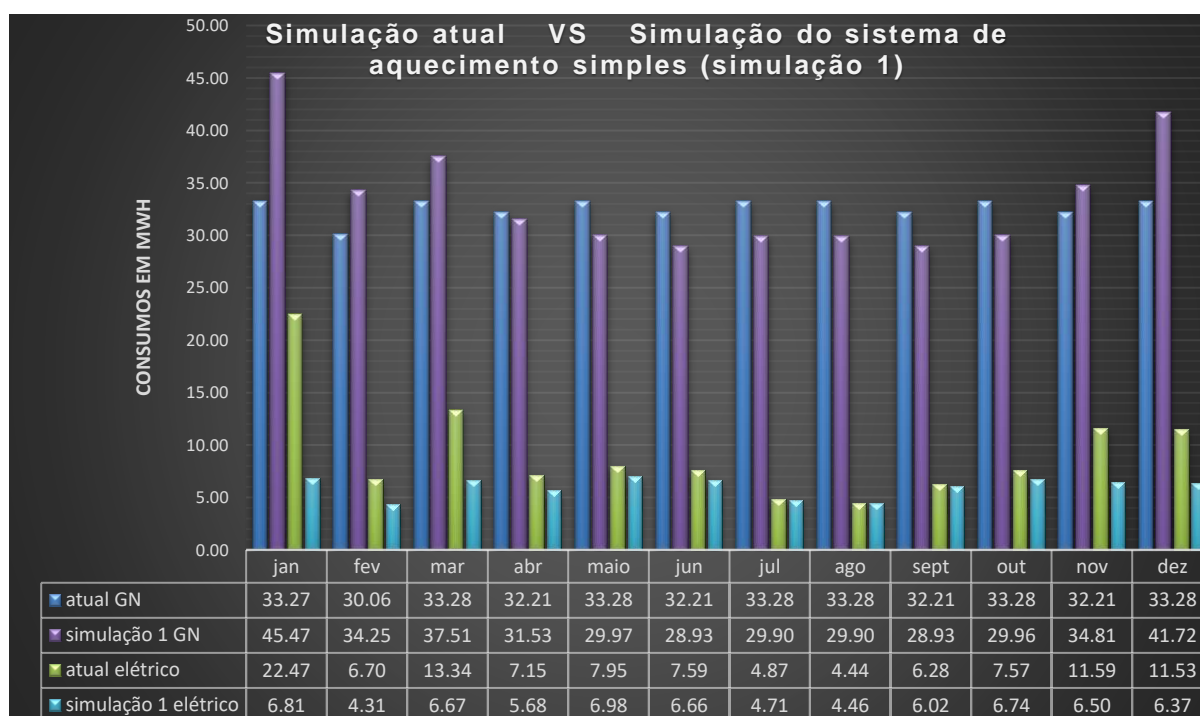
### 6.1.1 Sistema de aquecimento simples

Nesta medida de eficiência energética, foi realizada uma simulação no qual o sistema adotado para o aquecimento das divisões corresponde ao sistema já existente, só que não em uso, em vez de se considerar que o aquecimento das divisões térmicas é providenciado por termoventiladores.

Teve-se em conta que a medida proposta não pretende alterar os perfis horários das necessidades energéticas e dos ganhos energéticos do edifício em estudo, mas antes aumentar a eficiência do uso da mesma com a maior rentabilidade possível.

Adotando este sistema, iremos ter mais bombas de água a funcionar, o que contribui para o aumento do consumo elétrico. No entanto, comparando os consumos das bombas a funcionar com o consumo dos termoventiladores, o consumo das bombas é muitíssimo mais baixo.

Relativamente ao consumo de AQS, foram assumidas as mesmas necessidades que o do sistema atual, e como tal o seu consumo não irá alterar muito relativamente entre um sistema e o outro, dado que foi assumido um consumo anual de 7 884 m<sup>3</sup> de AQS.



**Figura 37** - Consumos da simulação atual VS Consumos da Simulação do sistema de aquecimento simples

Fonte: Adotado do *DesignBuilder*

Na Figura 37 estão representados os consumos a nível do sistema atual em vigor, no ano 2020, e o sistema sugerido para a primeira medida de otimização energética. Através da figura anterior, verifica-se que os consumos do Gás Natural na simulação 1 são superiores aos da simulação atual nos meses de Inverno, nomeadamente novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, uma vez que o sistema de aquecimento dos quartos, na simulação 1, possui como fonte de aquecimento as caldeiras, que funcionam a Gás Natural, e alimentam os radiadores de cada zona térmica do edifício. Como o sistema de aquecimento passou a ser somente através dos radiadores, verifica-se um decréscimo

substancial no consumo elétrico nos meses de inverno, que é quando existe a necessidade de aquecimento dos quartos e dos gabinetes.

Com base nos consumos mensais demonstrados na Figura 38 e tendo em conta as tarifas elétricas e do Gás Natural que a AM possui contratadas, é possível calcular os custos energéticos das duas situações e saber o quanto a AMA poupava anualmente se adotasse o sistema de aquecimento simples. A Tabela 7 apresenta os custos anuais de cada sistema em termos de consumos elétricos, consumos do Gás Natural e consumos no total.

**Tabela 7** - Custos e Poupança do sistema de aquecimento simples

<b>Fonte Energética</b>	<b>Custos da Simulação atual (s/ IVA)</b>	<b>Custos da Simulação 1 (s/ IVA)</b>	<b>Poupança (atual - simulação 1)</b>
<b>Eletricidade</b>	13 397,98€	8640,81 €	+ 4757,17 €
<b>Gás Natural</b>	14 169,47 €	14 568,45€	- 398,98 €
<b>Total</b>	<b>27 567,45 €</b>	<b>23 209,26€</b>	<b>+ 4358,19 €</b>

Sendo assim, na tabela anterior é possível verificar que se adotarmos o sistema de aquecimento simples, onde utilizamos os equipamentos na potencialidade máxima, é possível poupar, em média, 4 358,19 € anuais nos consumos energéticos deste edifício. Esta poupança, com base nos consumos, deve-se ao facto que a tarifa contratada para o Gás Natural é aproximadamente um terço da tarifa (€/kWh) contratada para a eletricidade.

### 6.1.2 Sistema com painéis solares térmicos e radiadores

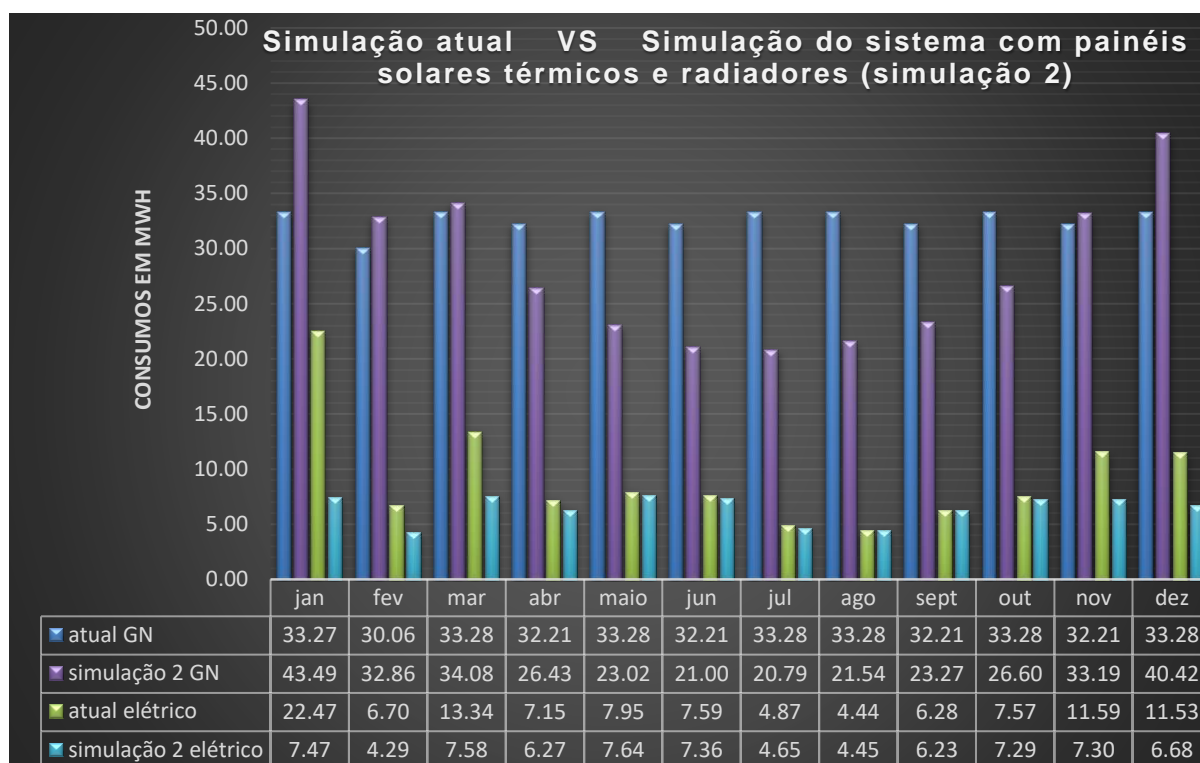
Relativamente ao sistema proposta nesta medida de otimização energética, o sistema adotado para o aquecimento das divisões térmicas corresponde ao sistema atual, à semelhança da simulação 1, o sistema de aquecimento simples, cujo sistema para aquecer os quartos é definido pela utilização das caldeiras condensadoras a Gás Natural para aquecer as águas que irão circular nos radiadores do edifício em estudo.

Da mesma forma que a simulação anterior, esta não pretende alterar os perfis horários das necessidades energéticas e dos ganhos energéticos do edifício em estudo, mas sim aumentar a eficiência do uso da mesma com a maior rentabilidade possível.

A diferença entre esta medida e a medida do sistema de aquecimento simples é que, para o sistema de aquecimento das AQS, foi desenvolvido uma rede de painéis solares térmicos planos que apoiam no aquecimento das águas, tornando-se este o principal fornecedor de energia durante o dia. À noite, ou aquando da ausência de luz solar, o sistema de caldeiras condensadoras entra como principal fonte de energia de aquecimento das AQS. Em resumo, para esta medida, é então proposto a instalação de uma rede de 39 painéis solares EM 2V/2.0 Al-Cu da Ensol, com a possibilidade de adição de um depósito intermédio, caso seja necessário (para reduzir as perdas de calor entre as tubagens dos painéis solares).

À semelhança do sistema de aquecimento simples, com este sistema verifica-se a necessidade de mais bombas de circulação de água, o que contribui para o aumento do consumo elétrico.

Relativamente ao consumo de AQS, foram tidos em conta as mesmas necessidades que a medida do sistema de aquecimento simples, 7884 m<sup>3</sup> de AQS.



**Figura 38** – Consumos da simulação atual VS Consumos da Simulação do sistema com painéis solares térmicos e radiadores

Fonte: Adotado do *DesignBuilder*

Na Figura 38 estão representados os consumos a nível do sistema atual em vigor, no ano 2020, e o sistema sugerido para a segunda medida de otimização energética. Através da figura anterior, verifica-se que os consumos do Gás Natural na simulação 2 são superiores aos da simulação atual nos meses de Inverno, sendo que os meses onde essa diferença é mais visível são nos meses de dezembro e janeiro que são os meses mais frios do ano e onde existe uma maior necessidade de ligar o aquecimento dos quartos e dos gabinetes. Por outro lado, nos meses de verão e primavera, os meses que possuem maior radiação solar, existe um menor consumo de Gás Natural que se deve à utilização dos painéis solares térmicos planos para aquecer as AQS, uma vez que nestes meses não se utiliza o aquecimento, como é expectável.

À semelhança da simulação 1, na simulação 2 também se verifica uma diminuição dos consumos elétricos em comparação com a simulação atual. Este facto deve-se ao facto do aquecimento das zonas térmicas nos meses frios ser da responsabilidade das caldeiras de condensação a Gás Natural e não dos termoventiladores, que funcionam a eletricidade.

Com base nos consumos mensais demonstrados na Figura 38, e considerando as tarifas elétricas e do Gás Natural que a AM possui contratadas, é possível calcular os custos energéticos das duas situações e saber o quanto a AMA poupava anualmente se adotasse o sistema com painéis solares térmicos e radiadores. A Tabela 8 apresenta os custos anuais de cada sistema em termos de consumos elétricos, consumos do Gás Natural e consumos no total.

**Tabela 8** -Custos e Poupança do sistema com painéis solares térmicos e radiadores

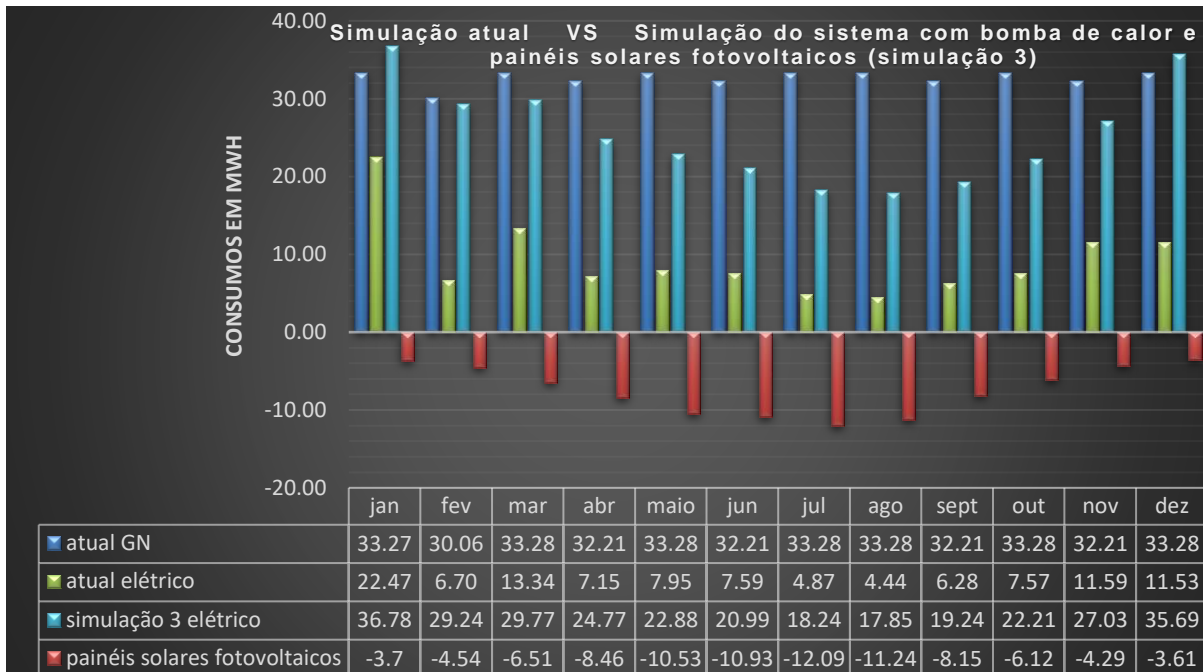
<b>Fonte Energética</b>	<b>Custos da Simulação atual (s/ IVA)</b>	<b>Custos da Simulação 2 (s/ IVA)</b>	<b>Poupança (atual - simulação 2)</b>
<b>Eletricidade</b>	13 397,98 €	9 279,49 €	+ 4 118,49 €
<b>Gás Natural</b>	14 169,47 €	12 537,32 €	+ 1 632,15 €
<b>Total</b>	<b>27 567,45 €</b>	<b>21 816,81 €</b>	<b>+ 5 750,64 €</b>

Na tabela anterior, verifica-se que, se adotarmos o sistema com painéis solares térmicos e radiadores, onde utilizamos os equipamentos já existentes na AMA e instalamos uma rede de painéis solares térmicos, é possível poupar, em média, 5 750, 64 € anuais nos consumos energéticos deste edifício. Esta poupança, com base nos consumos, deve-se ao mesmo facto enunciado para a poupança do sistema de aquecimento simples e por, nos meses de maior radiação solar, aproveitarmos uma fonte de energia renovável para aquecer as AQS.

### **6.1.3 Sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos**

O sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos consiste num sistema em que as caldeiras condensadoras a Gás Natural são substituídas por bombas de calor de ar-água para aquecer tanto as AQS, como também as águas que circulam nos radiadores do edifício que são responsáveis pelo aquecimento das zonas térmicas, ou seja, esta medida de otimização energética promove o uso de apenas energia elétrica para dar resposta às diversas necessidades energéticas do edifício em estudo. Ao adotar um sistema que apenas necessite de energia elétrica, é expectável que o consumo da mesma irá aumentar em comparação com os restantes sistemas até agora adotados e estudados, mesmo sabendo que o COP de uma bomba de calor é aproximadamente entre 3 e 5 enquanto o de uma caldeira condensadora é aproximadamente 1. Como a tarifa elétrica é aproximadamente 3 vezes maior que a tarifa do Gás Natural, o custo anual da adoção deste sistema é inviável pois para corresponder às necessidades energéticas do edifício ter-se-ia um custo mensal mais alto que o do sistema atual adotado com os termoventiladores. Para colmatar esta inviabilidade, foi assumida a instalação de painéis solares fotovoltaicos cujo propósito é produzir eletricidade reduzindo a necessidade de recorrer à rede elétrica para dar resposta às necessidades energéticas do edifício em estudo com o seu novo sistema de aquecimento e de AQS.

Da mesma forma que as outras simulações estudadas, o sistema com bomba de calor e painéis fotovoltaicos não pretende alterar os perfis horários das necessidades energéticas e dos ganhos energéticos do edifício em estudo, mas antes aumentar a eficiência do uso da mesma com a maior rentabilidade possível.



**Figura 39** - Consumos da simulação atual VS simulação do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos

Fonte: Adotado do *DesignBuilder*

Na Figura 39 estão representados os consumos a nível do sistema atual em vigor, no ano 2020, e o sistema sugerido para a terceira possível medida a adotar para o aumento da eficiência energética do edifício em estudo e do *campus*. Através da figura anterior, verifica-se que os consumos relativamente à simulação atual são praticamente os mesmos que nas outras duas simulações anteriores, no entanto, na simulação 3, verificamos que existe o consumo elétrico proveniente da rede e a energia elétrica e autoconsumida proveniente dos painéis. Devido a este sistema adotado, os consumos elétricos aumentaram em todos os meses, sendo que o consumo total anual de energia elétrica proveniente da rede 304 696,48 kWh, a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, após conversão, corresponde a 90 347, 73 kWh, enquanto o do sistema atual era de 111 474,79 kWh. Em suma, houve um aumento do consumo energético proveniente da rede, que corresponde a 3 vezes mais o consumo na simulação atual. Em contrapartida, temos a simulação 3 com a inexistência de consumo de Gás Natural e, como tal, há uma redução total do custo relativamente ao Gás Natural.

Na figura anterior verifica-se que os consumos energéticos da simulação 3 são maiores nos meses de inverno e menores nos meses de verão, isto deve-se ao facto dos painéis fotovoltaicos produzirem mais energia nos meses de maior radiação solar, que são os meses de verão. Como produzem mais energia nos meses com maior radiação solar, também é nestes meses que conseguem produzir mais energia para dar resposta às necessidades energéticas do edifício em estudo e do *campus*.

Com base nos consumos mensais demonstrados na Figura 39, e tendo em conta as tarifas elétricas e do Gás Natural que a AM possui contratadas, é possível calcular os custos energéticos das duas situações e saber o quanto a AMA poupava anualmente se adotasse o sistema com bombas de calor e painéis solares fotovoltaicos. A Tabela 9 vai ao encontro do pretendido, onde demonstra os custos anuais de cada sistema em termos de consumos elétricos, consumos do Gás Natural e consumos no total.



**Tabela 9** – Custos e poupança do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (57 kWp)

<b>Fonte Energética</b>	<b>Custos da Simulação atual (s/ IVA)</b>	<b>Custos da Simulação 3 (s/ IVA)</b>	<b>Poupança (atual - simulação 3)</b>
<b>Eletricidade</b>	13 397,98 €	25 330,68 €	- 11 932,70 €
<b>Gás Natural</b>	14 169,47 €	-	+ 14 169,47 €
<b>Total</b>	<b>27 567,45 €</b>	<b>25 330,68 €</b>	<b>2 236,77 €</b>

Na tabela anterior constata-se que, se adotarmos o sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos, onde implicando a instalação de 2 bombas de calor e um sistema de painéis solares fotovoltaicos de 57 kWp, possuímos uma poupança anual, em comparação com o sistema atual, de 2 236,77 €. Estes resultados, com base nos consumos, e mesmo tendo em conta a eficiência energética da bomba de calor ar-água, demonstram que, para colmatar as necessidades energéticas das bombas de calor e do edifício em estudo, é necessário adotar um sistema de painéis solares fotovoltaicos para responder às necessidades energéticas das bombas de calor, visto que o consumo elétrico aumenta devido às mesmas.

Ao contrário das outras 2 simulações, este sistema requer a aquisição de um sistema por inteiro, bombas de calor e painéis fotovoltaicos. Para viabilizar este sistema face ao investimento inicial, é substancial obter uma maior poupança anual face às outras simulações e, como tal, é necessário instalar mais painéis fotovoltaicos para responder às necessidades energéticas.

Assumindo o mesmo sistema e tendo em conta que a energia produzida pelos painéis é toda autoconsumida, sendo um sistema UPAC, assumiu-se que o sistema de painéis solares fotovoltaicos possui o dobro da potência instalada, 114 kWp. Com este valor, verifica-se que a poupança anual é substancialmente maior em comparação com a simulação inicial, como demonstrado na Tabela 10, dado que a produção anual de eletricidade é o dobro da instalação anterior, 180 695,46 kWh.

**Tabela 10** - Custos e poupança do sistema com bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (171 kWp)

<b>Fonte Energética</b>	<b>Custos da Simulação atual (s/ IVA)</b>	<b>Custos da Simulação 3 alterada (s/ IVA)</b>	<b>Poupança (atual - simulação 3 alterada)</b>
<b>Eletricidade</b>	13 397,98 €	14 040,45 €	- 642,47 €
<b>Gás Natural</b>	14 169,47 €	-	+ 14 169,47 €
<b>Total</b>	<b>27 567,45 €</b>	<b>14 040,45 €</b>	<b>+ 13 527 €</b>

Na tabela anterior verifica-se que, ao adotarmos um sistema com uma instalação de painéis solares fotovoltaicos com uma potência de 114 kWp, obtemos uma poupança anual de 13 527 € em comparação com o sistema atual em vigor. No entanto, mesmo a poupança sendo maior em comparação com as simulações anteriores, simulação 1 e simulação 2, este sistema exige a aquisição de novos sistemas e, como tal, é necessário analisar a viabilidade económica das diversas medidas de otimização energética sugeridas.

## 6.2 Viabilidade económica das simulações de otimização energética

Sem possuir um investimento inicial para cada simulação, em que este difere de empresa/organização e com base nas poupanças anuais calculadas no 6.1, pretende-se calcular a viabilidade de implementação de cada medida de otimização energética.

A análise da viabilidade económica pretende, através das poupanças e da estipulação de orçamentos de manutenção, determinar o valor máximo que deve ou pode ser investido no sistema, de forma que não se obtenha prejuízo no tempo de vida útil estipulado, tendo em conta que o valor máximo de investimento é obtido quando o VAL, Valor Atual Líquido, iguala 0, obtendo-se a Taxa Interna de Retorno.

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1 + TIR)^i}$$

Para calcular o investimento máximo inicial foi assumido, para cada sistema, os seguintes valores e medidas:

- orçamento de manutenção,  $M1 = 1\% * Investimento\ Inicial$ ,  $M2 = 2\% * Investimento\ Inicial$ ;
- $n$  = assumido para todos os sistemas uma vida útil de 15 anos;
- $TA$  = taxa de atualização de 1,5%;
- $TI = 0\%$ , taxa de inflação para o ano de 2019 e 2020 (com base nas estatísticas do INE);
- $Til$  = taxa de iliquidez é igual a 1%;
- $TIR = TI + Til$ , taxa de desconto de 1%;
- $CF_i = \frac{poupança_i + M_i}{(1+TA)^i}$ , que corresponde ao fluxo da caixa por ano.

### 6.2.1 Viabilidade económica da simulação do sistema de aquecimento simples

Para este sistema, para além das medidas e valores assumidos anteriormente, foram estipuladas manutenções anuais e trienais. A manutenção anual, que corresponde a 1% do investimento inicial, destina-se a uma manutenção preventiva a efetuar às bombas de água e às caldeiras, enquanto a manutenção trienal destina-se a uma abordagem de manutenção corretiva, onde haja necessidade de reparar algo inesperado, a uma manutenção preventiva de maior intervenção, correspondendo esta a 2% do investimento inicial.

O cálculo, para obter o TIR, foi feito com recurso à ferramenta de “Atingir Objetivos” do Excel, em que, assumindo todas as considerações anteriores, foi procurado qual o investimento inicial quando o VAL iguala 0, estando o resultado expresso na Tabela 11.

**Tabela 11** - Viabilidade Económica do sistema de aquecimento simples

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	...	Ano 15
Poupanças		4 358,19 €	4 358,19 €	4 358,19 €	4 358,19 €	...	4 358,19 €
NPV	0						
Obtemos que							
Investimento	<b>- 46 311,26 €</b>						
Manutenção		- 463,11 €	- 463,11 €	- 926,23 €	- 463,11 €	...	- 926,23 €
Cashflow	-46 311,26 €	3 837,51 €	3 780,80 €	3 282,05 €	3 669,88 €	...	2 745,06 €
TIR	<b>1%</b>						

Através da Tabela 11, verificamos que, para o sistema de aquecimento simples, tendo em conta o orçamento da sua manutenção e o tempo de vida útil, o seu valor máximo de investimento inicial corresponde a 46 311,26 €, este valor é, de facto, tangível e facilmente exequível, tendo em conta que o sistema já existe no seu todo e podendo apenas ocorrer algumas reparações ou mudanças no sistema.

### 6.2.2 Viabilidade económica da simulação do sistema de painéis solares térmicos e radiadores

À semelhança do sistema anterior, este sistema possui as mesmas premissas, com exceção na manutenção, visto esta ser definida por 2 manutenções, uma anual e outra bienal. Por um lado a anual corresponde a uma manutenção preventiva e possui um orçamento até 1% do valor de investimento inicial, enquanto a manutenção bienal destina-se a grandes intervenções e possui um orçamento de 2% do investimento inicial.

O cálculo para obter o TIR foi efetuado da mesma forma que a simulação anterior, estando o seu resultado expresso na Tabela 12.

**Tabela 12** - Viabilidade Económica do sistema de painéis solares térmicos e radiadores

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	...	Ano 15
Poupanças		5 750,64 €	5 750,64 €	5 750,64 €	5 750,64 €	...	5 750,64 €
NPV	0						
Obtemos que							
Investimento	<b>- 59 507,22 €</b>						
Manutenção		- 640,50 €	- 1 280,99 €	- 640,50 €	- 1 280,99 €	...	- 640,50 €
Cashflow	-59 507,22 €	5 034,63 €	4 338,52 €	4 886,92 €	4 211,23 €	...	4 087,36 €
TIR	<b>1%</b>						

Através da Tabela 12, verificamos que para o sistema de painéis solares térmicos e radiadores, tendo em conta o orçamento da sua manutenção e o tempo de vida útil, o seu valor máximo de investimento inicial corresponde a 59 507,22 €. Este valor é referente a eventuais reparações que se tenha de fazer às caldeiras para adotar este sistema, bem como a aquisição e instalação dos painéis solares térmicos.

### 6.2.3 Viabilidade económica da simulação do sistema de painéis solares térmicos e radiadores

À semelhança dos sistemas anteriores, este sistema possui as mesmas premissas, sendo que o orçamento e estrutura da manutenção iguala, em percentagens, as do sistema de painéis solares térmicos e radiadores.

Para a análise da viabilidade deste sistema, são analisados os 2 casos de potências instaladas, diferentes de painéis solares fotovoltaicos, dado que o primeiro sistema possui 57 kWp e o segundo sistema possui 114 kWp. A aquisição de uma bomba de calor é normalmente mais dispendioso que a aquisição de uma caldeira de condensação e, deste modo, para este sistema ser viável, a produção de energia elétrica através de fontes renováveis tem de balancear o investimento inicial alto.

O cálculo, para obter o TIR, foi realizado da mesma forma que as simulações anteriores, estando o seu resultado expresso na Tabela 13.

**Tabela 13** - Viabilidade Económica do sistema de bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (57 kWp)

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	...	Ano 15
Poupanças		2 236,77 €	2 236,77 €	2 236,77 €	2 236,77 €	...	2 236,77 €
NPV	0						
Obtemos que							
Investimento	<b>- 23 417,19 €</b>						
Manutenção		- 234,17 €	- 468,34 €	- 234,17 €	- 468,34 €	...	- 234,17 €
Cashflow	--23 417,19 €	1 973,01 €	1 716,55 €	1 915,12 €	1 666,19 €	...	1 601,78 €
TIR	<b>1%</b>						

Através da Tabela 13, verifica-se que para o sistema em questão o seu valor máximo de investimento inicial corresponde a 23 417,19 €. Este valor torna-se impraticável, pois não é possível adquirir 2 bombas de calor e um sistema de painéis solares fotovoltaicos com 23 417,19 € e que se comporte de acordo com as expectativas simuladas e estipuladas. Devido ao orçamento obtido para a instalação de 57 kWp ser impraticável, surge a necessidade de averiguar para o sistema de painéis solares fotovoltaicos com uma potência de 114 kWp se é possível obter um valor de investimento inicial palpável e viável.

Para o sistema de bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (114 kWp), foi assumido que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos é totalmente autoconsumida, seja pelo edifício em questão ou seja pelo *campus*, não utilizando quaisquer meios de armazenamento de energia durante o dia para depois se utilizar à noite.

**Tabela 14** - Viabilidade Económica do sistema de bomba de calor e painéis solares fotovoltaicos (114 kWp)

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	...	Ano 15
Poupanças		13 527 €	13 527 €	13 527 €	13 527 €	...	13 527 €
NPV	0						
Obtemos que							
Investimento	<b>- 141 616,63 €</b>						
Manutenção		- 1 416,17 €	- 2 832,33 €	- 1 416,17 €	- 2 832,33 €	...	- 1 416,17 €
Cashflow	--141 616,63 €	11 931,86 €	10 380,90 €	11 581,80 €	10 076,35 €	...	9 686,87 €
TIR	<b>1%</b>						

Através da Tabela 14, verifica-se com o aumento da potência de instalação dos painéis fotovoltaicos, aumentamos as poupanças anuais, que porventura acaba por aumentar o custo inicial máximo para o projeto ser viável, sendo que o custo inicial máximo corresponde a 141 616,63 €, assumindo que a energia total produzida pelos painéis é autoconsumida pelo edifício em estudo ou pelo *campus*.

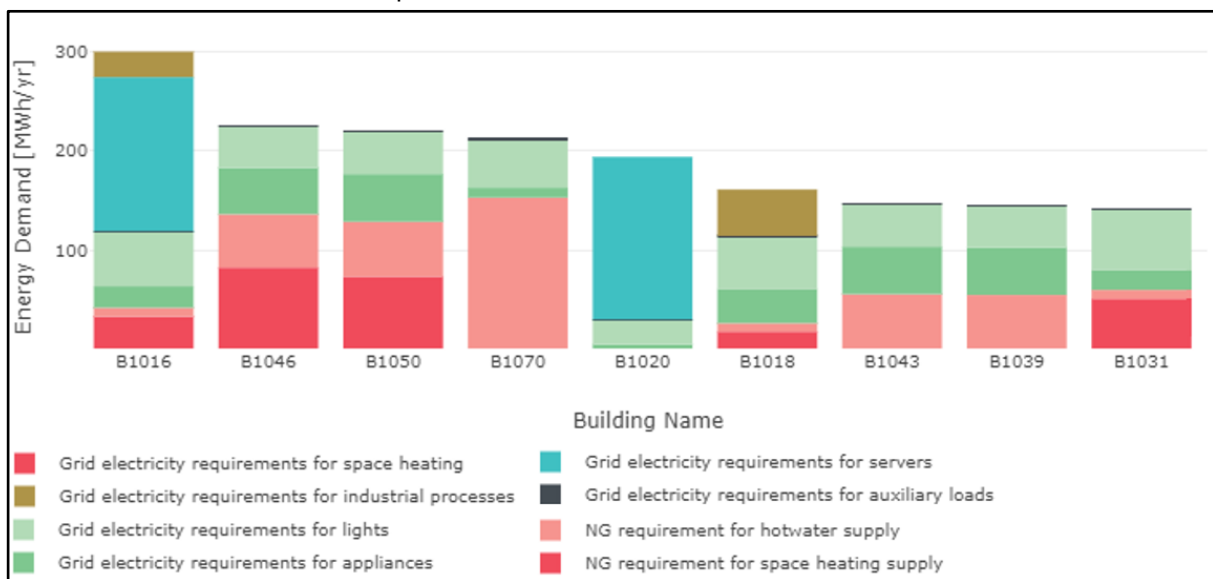
## 6.3 Análise dos resultados no CEA

### 6.3.1 Validação dos consumos das Casernas no CEA

Após obter os resultados das medidas de otimização energética para as casernas através do *DesignBuilder*, verifica-se que os resultados e as propostas são viáveis e detalhadas. No entanto, para obter os resultados pretendidos e estudar diferentes medidas a implementar num conjunto de edifícios,

como uma universidade, uma unidade militar, um *campus* de uma empresa, torna-se complexo e exaustivo trabalhar cada edifício individualmente e possui ainda o problema de não relacionar as necessidades energéticas e a partilha de fontes energéticas entre diferentes edifícios. Para corrigir as dificuldades encontradas pelo *DesignBuilder* na abordagem simultânea de edifícios, surge então o *CEA*.

Nos capítulos anteriores, verifica-se que foram dimensionados os edifícios todos da AMA na *dashboard* do *CEA*, de forma a estudar o consumo e as potencialidades de eficiência energética do *campus* como um todo, mas também de cada edifício individualmente. A Figura 40 representa então os consumos anuais dos setores dos edifícios com maior consumo da AMA, onde é possível averiguar, com base nos dados inseridos, quais os edifícios com maior consumo da AMA.

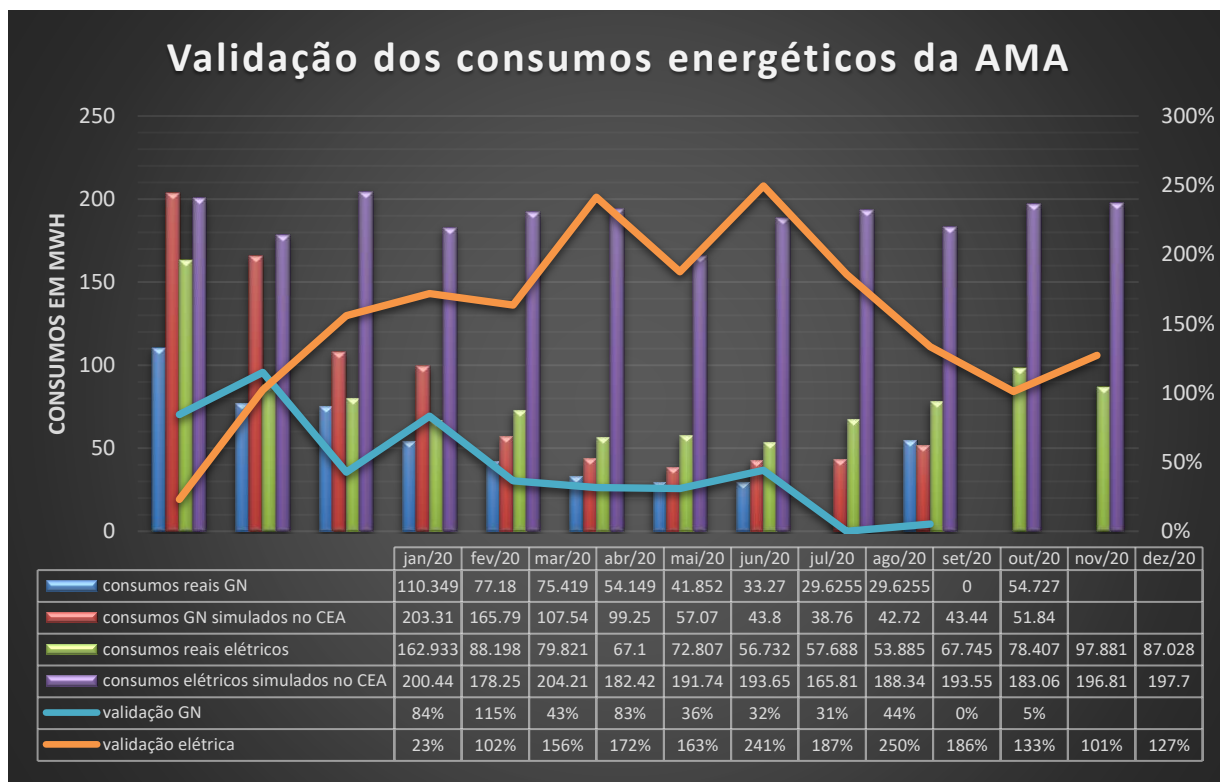


**Figura 40** - Simulação no *CEA* dos consumos anuais dos edifícios com maior consumo na AMA  
 Fonte: Retirado do *CEA*

Na figura anterior, observa-se que os edifícios com maior consumo energético são os edifícios onde ocorrem as aulas e nos alojamentos dos alunos, como é expectável, pois são os edifícios mais requisitados tanto a nível ocupacional, como a nível energético.

Porém, mesmo obtendo os consumos dos edifícios através do *CEA*, a sua validação, dos consumos e da simulação, apenas ocorre quando são cumpridos os critérios definidos na norma ASHRAE, da mesma forma que foi feito o processo de validação das simulações do *DesignBuilder*.

Para validar os consumos simulados, foi elaborada uma comparação entre os consumos reais anuais do *campus*, consumos de eletricidade e de Gás Natural, e os simulados no *CEA*, representados na Figura 41, sendo que se obteve uma diferença entre os consumos simulados anuais elétricos e de Gás Natural de 135% e 69% respetivamente, comparativamente aos consumos reais.



**Figura 41** – Validação dos consumos energéticos da AMA  
 Fonte: Adotado das faturas mensais e das simulações do CEA

A figura anterior demonstra que, em termos de validação mensal, no setor de consumos elétricos, apenas o mês de janeiro se situa dentro dos parâmetros de validação, menor que 25%. Enquanto no setor de consumos de Gás Natural apenas o mês de outubro se encontra válido por cumprir com os parâmetros de validação.

Esta diferença entre o consumo real e o simulado deve-se a diversos factos pois, apesar do sistema de modelação energética urbana facilitar a descrição de cada edifício, atribuindo um arquétipo para cada tipo de edifício dependendo da sua função, é relevante destacar que os arquétipos de origem do CEA, bem como alguns *shorts* do código de transmissão de calor do *software* que vêm com a base de dados do *software*, são arquétipos baseados em edifícios suecos, e que ao aplicar nos edifícios portugueses existem certos detalhes que não são analisados da forma correta. Estes detalhes são por exemplo:

- a contínua adoção do programa na construção de uma rede térmica de aquecimento, quando nos dados inseridos de cada edifício foi identificado que não existe nenhuma rede térmica;
- a mudança de perfis horários consoante a época do ano e o sistema energético não é calculado corretamente, visto que os consumos energéticos muitas vezes são constantes ao longo dos 12 meses do ano quando foi estipulado que, por exemplo, os meses de inverno são os que requerem maior necessidades energéticas, enquanto os meses de verão são os que requerem menor necessidade energética, no entanto, não se verifica esse facto;
- as criações de novas fontes energéticas não são lidas pelo código após a inserção manualmente dos dados na base de dados do *software*;

Pode-se concluir que o potencial para a aplicação do *CEA* é enorme, no entanto, para aplicar a edifícios que não possuem características similares para o qual o código foi criado, tem de se alterar o código fonte do programa para ter em conta cálculos feitos que dependem da zona geográfica.

Em contrapartida, a existência de certos erros ou *bugs* no decorrer das simulações também se deve à desatualização do programa, dado que desde que se iniciou o estudo da AMA através do *CEA*, a versão do software progrediu desde a versão 3.0.2, versão utilizada neste estudo, até à versão atual, 3.18.0.

Contudo, o *CEA* apresenta resultados fidedignos na simulação de potencialidade energéticas, pois não dependem tanto das bases de dados, mas sim do ficheiro sobre os dados meteorológicos e radiação solar e da geometria dos edifícios, sendo que este assunto será abordado mais à frente.

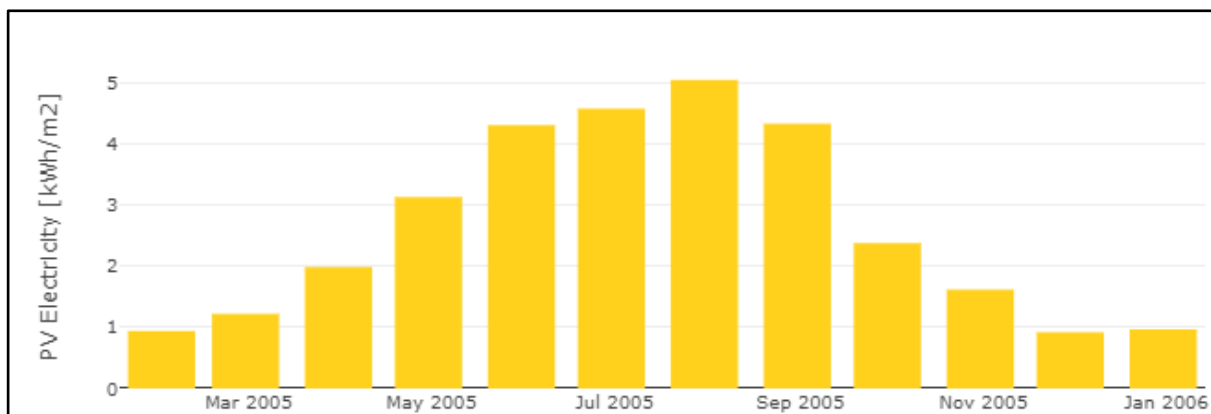
## 6.4 Potencialidade energética da AMA

Como referido anteriormente, foi elaborado um estudo das medidas de otimização energéticas a implementar na AMA de forma a reduzir os consumos e gastos financeiros tendo em conta as necessidades energéticas do *campus*.

Para elaborar o estudo das medidas a implementar e a capacidade de instalação que o *campus* possui, para a adoção de sistemas que promovam o aumento da eficiência energética, recorreu-se a uma das ferramentas que o *CEA* possui. Esta ferramenta tem em conta a área geográfica em que o *campus* se situa e a área disponível para implementação de sistemas e calcula a produção de energia aquando a adoção de sistemas energéticos de fontes renováveis, como a energia solar e a energia geotérmica, bem como analisa medidas para aumentar a eficiência energética dos equipamentos, como por exemplo a regeneração de esgotos e a extração de calor de águas armazenadas em poços ou similar.

Com base nas simulações efetuadas no *DesignBuilder*, conclui-se que a adoção de sistemas de fontes renováveis torna o projeto mais viável economicamente pois, como a AMA possui altas necessidades energéticas, a produção energética dos sistemas de fontes renováveis reverte diretamente para o autoconsumo da mesma, reduzindo os consumos e respetivos custos provenientes do uso da energia da rede, seja elétrica como de Gás Natural.

Calculando a produção máxima de energia, seja térmica ou elétrica, que um dado edifício ou *campus* consegue produzir, é possível avaliar as poupanças anuais que a AMA pode obter ao aderir a mecanismos de aumento de eficiência energética, sendo que uma das medidas mais utilizadas para o aumento da eficiência energética detém-se na adoção de sistemas que produzem energia, térmica ou elétrica, através da energia solar. Este método, ao contrário de outros, é de fácil implementação, já que aproveita muitas vezes uma estrutura já existente para servir como apoio para a instalação de um painel, ou similar, que produz energia ao converter a energia solar. Utilizando o *CEA*, é possível calcular a produção média de kWh por m<sup>2</sup> de área de telhado, para cada edifício em específico ou em geral, sendo as Figuras 42 e 43 a representação dessa mesma produção, um para as casernas e a outra para o *campus* em geral, respetivamente.

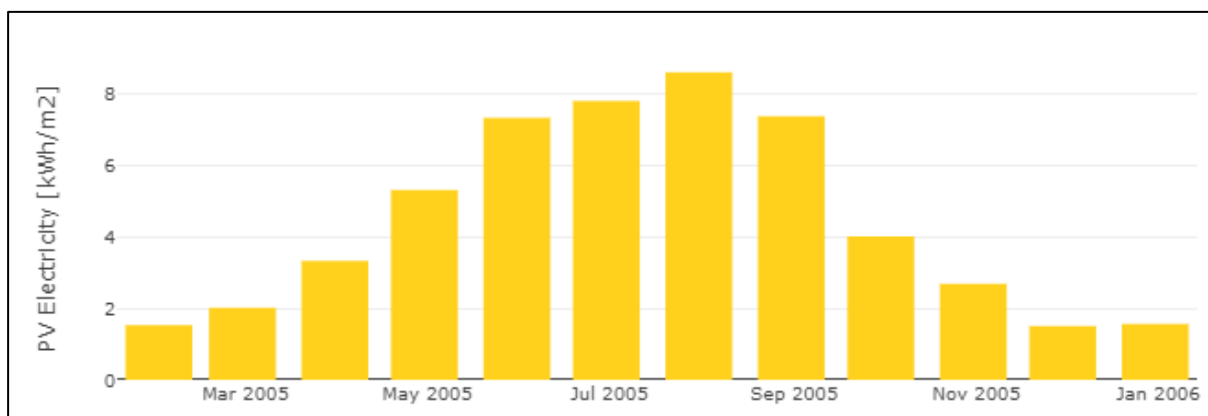


**Figura 42** – Produção média mensal de kWh por m<sup>2</sup> de área útil do telhado das casernas  
 Fonte: Retirado do CEA

A Figura 42 representa a produção média obtida nos telhados dos alojamentos dos alunos no caso da existência de um sistema de painéis solares fotovoltaicos, tendo em consideração que nesta simulação apenas se considerou o telhado que se situa diretamente por cima dos telhados dos quartos, visto este ser o telhado com maior altitude e não possui quase nenhuma sombra proveniente das infraestruturas adjacentes.

Com base na informação da figura anterior, é observável que a existência de painéis fotovoltaicos nos telhados dos edifícios que alojam os alunos permite uma produção média anual de 31,49 kWh/m<sup>2</sup>.

Por fim, foi realizada a simulação da produção da energia elétrica utilizando todos os telhados do *campus* sendo que os resultados estão expressos na Figura 43.



**Figura 43** – Produção média mensal de kWh por m<sup>2</sup> de área útil dos telhados da AMA  
 Fonte: Retirado do CEA



## 7 Conclusões e Trabalho Futuro

### 7.1 Conclusões

Com base no cenário em que atualmente vivemos, em que as alterações climáticas cada vez são mais visíveis e irreversíveis, verifica-se a importância de promover o aumento da eficiência energética a nível global, a redução do consumo de combustíveis fósseis, a instalação de mais fontes de energia renovável e a promoção da autossustentação, tudo com o intuito de reduzir as emissões de GEE. De modo a atingir este objetivo internacional, cabe às Forças Armadas, nomeadamente ao Exército, liderar pelo exemplo e promover a autossustentação e aumento da eficiência energética das infraestruturas do Estado Português, pois, ao adotar modalidades do aumento da eficiência do consumo de recursos, promove a redução de custos de sustentação das unidades, a gestão racionalizada dos recursos, o conforto e bem-estar dos seus homens e a redução das emissões de GEE.

Tendo em conta os benefícios e as metas estipuladas anteriormente, este trabalho visa dar uma resposta à necessidade de tornar os consumos energéticos eficientes, bem como reduzir a necessidade de recorrer a meios externos, rede energética (eletricidade e Gás Natural), e combustíveis fósseis para responder às necessidades energéticas das infraestruturas militares.

Numa tentativa de procura de metodologias a implementar para analisar as eficiências energéticas e os respetivos consumos dos edifícios militares, foram utilizadas plataformas de modelação energética de edifícios e urbanizações, tendo-se verificado que a melhor metodologia a adotar consiste, numa primeira fase, em fazer o levantamento das características de cada edifício, sendo que os dados levantados devem ser de acordo com os dados a inserir no *City Energy Analyst*, incluindo os perfis horários. Após o levantamento dos dados, deve ser feita uma simulação energética a partir do *CEA*, de forma a obter os consumos energéticos simulados dos modelos de modo a averiguar se os resultados são válidos de acordo com as normas ASHRAE. Esta fase de validação, neste trabalho, não foi de acordo com as expectativas, uma vez que a diferença percentual mensal entre os consumos reais e simulados atingia em média 100%, sendo que para ser válido devia estar abaixo dos 25%. Esta diferença deve-se a diversos fatores, no qual se destacam o caso de o *CEA* ainda estar em desenvolvimento e possuir erros de simulações, o *CEA* consistir num programa em desenvolvimento e como tal o seu código fonte das simulações baseiam-se nouro tipo de edifícios, em que as características da sua envolvente são diferentes dos edifícios portugueses, bem como as suas fontes energéticas. Outro fator que inibiu a recolha de resultados válidos foi o processo de análise de uma unidade militar, um *campus*, que requiere o levantamento de diversos dados específicos de cada edifício, no entanto, este levantamento de dados não foi possível efetuar dado a situação de confinamento que se presenciou em 2020 devido à pandemia do Covid-19, sendo este levantamento de dados substituído pelas bibliotecas/arquétipos já existentes no *CEA*.

Após a validação dos resultados, deve-se proceder ao estudo das medidas de otimização energética do *campus*, dado que o *CEA* possui uma vasta panóplia de ferramentas para analisar diversos sistemas a implementar consoante o local, número de edifícios, condições climáticas, ocupação e função que o *campus* possui. Neste trabalho foi analisado a potencialidade de produção de energia elétrica e térmica através da radiação solar, consistindo num sistema compacto, simples e

adquirível, e verificou-se que a média de produção de energia elétrica nos meses do verão consiste em 8 KWh/m<sup>2</sup> de área útil dos telhados.

No entanto, nas fases todas a efetuar para ser possível a realização das análises energéticas, nem sempre é fácil adquirir os dados pretendidos ou nem sempre utilizar o *CEA* é a forma mais correta de analisar um edifício. Pois o *CEA* permite agilizar o processo de análise de um conjunto de edifícios e a interação energética entre os mesmos, no entanto, consiste num processo demoroso de inserção de dados, que nem sempre pode ser a metodologia mais correta e eficiente a adotar, pois depende dos edifícios que se pretende estudar. Com o intuito de apresentar uma metodologia que permita a análise individual de cada edifício, surge o *DesignBuilder*.

O *DesignBuilder*, sendo um *software* de modelação energética de um edifício, possui uma interface mais simples e fácil de interagir com o usuário sendo que permite uma análise mais exaustiva ao edifício em comparação com o *CEA*. Desta forma, o *DesignBuilder* surge como uma plataforma para usar aquando se exige mais simulações e medidas de otimização energéticas precisas numa determinada zona e torna-se a ferramenta ideal para efetuar estudos de viabilidade económicas de modificações a efetuar no edifício sejam elas a nível da envolvente, equipamentos, iluminação ou sistemas, com o intuito de aumentar a eficiência energética, razões de segurança ou de estética. Tendo presente em que circunstâncias se melhor encaixa o uso do *DesignBuilder*, foram realizadas 3 simulações de medidas de otimização energética no edifício que aloja os alunos do 3º e 4º da AM com o objetivo de reduzir os custos energéticos devido às necessidades que o mesmo tem, e promover a eficiência energética do mesmo, de modo a reduzir a dependência em fontes externas e promover a redução de emissões de GEE.

Com base nas 3 simulações efetuadas no *DesignBuilder* do edifício das casernas dos alunos do 3º e 4º ano, verificou-se que o sistema atual de aquecimento das casernas, o uso de termoventiladores, é inviável face ao sistema de aquecimento já instalado, aquecimento com radiadores a água, porque, em média, a AM gasta aproximadamente 4 400 €/ano ao continuar com o sistema de termoventiladores em vez do de radiadores.

Outra medida de otimização energética estudada para o mesmo edifício, consistiu na instalação de painéis solares térmicos para apoiar no aquecimento das AQS, em que se poupava anualmente, em comparação com o sistema atual, aproximadamente 5 750 €. Isto considerando que, para uma vida útil de 15 anos, o investimento máximo inicial para o projeto continuar viável é de, aproximadamente, 59 507 €.

A terceira medida de otimização energética trata-se da instalação de 2 sistemas, um sistema de painéis solares fotovoltaicos e a instalação de bombas de calor ar-água, em vez de ter as caldeiras condensadoras. A adoção deste sistema, nomeadamente das bombas de calor, implica que a única fonte energética necessária para responder às necessidades energéticas do edifício é a eletricidade o que provoca um aumento do consumo e custo relativamente à mesma. No entanto, a instalação de painéis fotovoltaicos vem em resposta ao aumento do consumo de eletricidade e promove à autossustentação do edifício, visto que, com esta medida, é possível poupar, em média, 13 527 € anuais nos custos energéticos do edifício. Porém, esta medida, ao contrário das outras, é a que exige a aquisição de um maior número de novos equipamentos, sendo o seu investimento máximo inicial,

tendo em conta uma vida útil de 15 anos, de 141 616 € para o projeto ser considerado viável. Este sistema é o que apresenta maiores mudanças na infraestrutura em si, mas também é o que possui maior potencialidade de aumentar a eficiência energética do edifício, bem como do *campus*, uma vez que a energia remanescente produzida pelos painéis fotovoltaicos acabaria por ser consumida pelas restantes infraestruturas, estimulando a redução dos custos elétricos dos restantes edifícios da AMA.

Através deste trabalho é observável que o investimento na AMA em tecnologias de fonte renováveis e de eficiência energética, tanto como em unidades de necessidades energéticas similares, é de uma viabilidade económica alta pois como são infraestruturas que possuem um enorme consumo diário é justificável o investimento na redução dos consumos, pois esse investimento acaba, ao fim de uns anos, compensar e permitir poupar ao longo dos anos seguintes.

Concluindo, esta dissertação estabelece ferramentas a implementar na análise energética dos edifícios, bem como demonstra os benefícios que as unidades militares terão na adoção de medidas de otimização energética, tanto a nível financeiro, como ambiental. Assim sendo, é essencial que liderem pelo exemplo e demonstrem que o aumento da eficiência energética é economicamente viável, é benéfico para todas as partes, a nível ambiental, financeiro e social, e que os militares portugueses são uma força moderna, atrativa, de elevada competência, eficiente e que se preocupam com o meio-ambiente.

## 7.2 Trabalho futuro

Com este trabalho é demonstrado a importância e os aspetos positivos na redução dos consumos energéticos das infraestruturas militares, assim como no aumento da eficiência energética do mesmo. Portanto, revela-se o interesse de que estes estudos, da modelação energética urbana e de edifícios, continue para a frente e que se obtenha os resultados pretendidos, de modo a aumentar a eficiência energética dos edifícios do Exército Português e gestão de consumos energéticos das unidades.

Como proposta de trabalhos futuros sugere-se os seguintes tópicos:

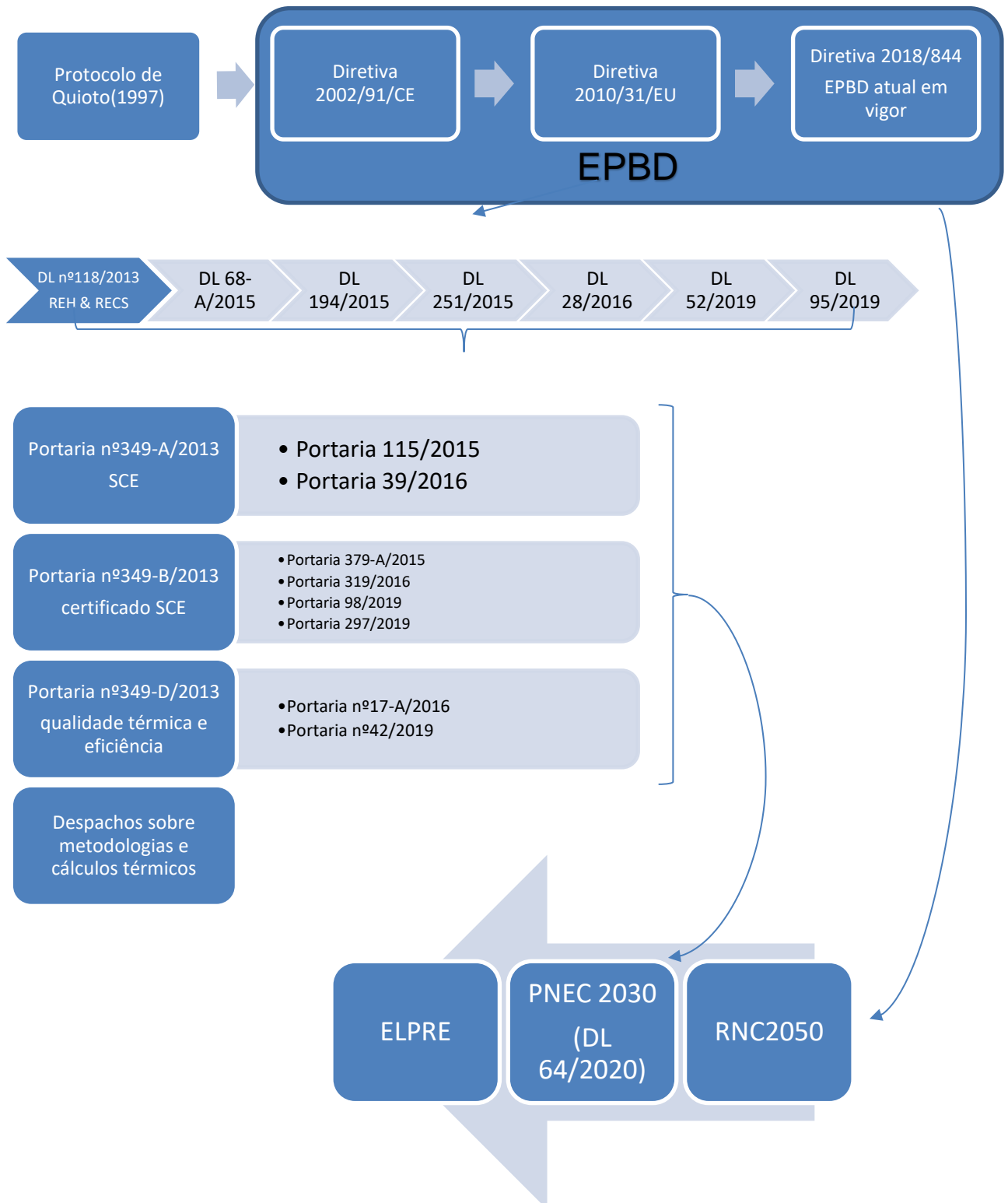
- Aplicar a metodologia utilizada nesta dissertação nas restantes unidades militares;
- Criação de arquétipos para o *CEA*, que definem a maior parte dos edifícios que o Exército Português possui;
- Expandir os estudos técnicos para determinados edifícios da AMA que possuem uma grande necessidade energética e beneficiariam da adoção de sistemas de fontes de energia renováveis;
- Efetuar auditoria energética a diferentes tipos de edifícios do Exército de modo que se crie um padrão de análise de consumos entre os mesmos, de forma a tornar mais fácil a sua modelação e simulação energética.

## 8 Bibliografia

- [1] BP, “Statistical Review of World Energy, 2020 | 69th Edition,” *Bp*, vol. 69, p. 66, 2020.
- [2] DGEg, “Estimativas rápidas de consumo energético - junho de 2020,” 2020.
- [3] IEA, “Energy-related CO<sub>2</sub> Emissions,” *Global*, 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1900-2020>.
- [4] European Parliament and Council of the European Union, “DIRECTIVE (EU) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 May 2018,” vol. 2018, no. May, pp. 75–91, 2018.
- [5] European Parliament and Council of the European Union, “Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council,” *Off. J. Eur. Union*, 2018.
- [6] DGEg, “Relatório Estatístico sobre as Energias Renováveis - estatísticas rápidas - nº 187 - junho de 2020,” 2020.
- [7] Conselho de Ministros, “PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS. Resolução do Conselho de Ministros 59/2001,” *Diário da República - I Série-B*, pp. 3179–3182, 2020.
- [8] Governo Português, “Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050,” *Estratégia longo prazo para a neutralidade carbónica da Econ. Port. em 2050*, 2019.
- [9] J. Bernardo, “Plano Nacional Integrado Energia-Clima: Linhas de Atuação para o Horizonte 2021-2030,” *Sessão Apresentação do Plano Nac. Energ. e Clima 2030*, 2018.
- [10] Parlamento Europeu, “ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS (ELPRE).” 2020.
- [11] DGEg, “Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios.” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>.
- [12] Agência Portuguesa do Ambiente, “Protocolo Quioto,” 1997. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>.
- [13] DGEg, “Diretiva dos Edifícios.” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>.
- [14] APA, “PNAC 2020/2030.” [Online]. Available: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117&sub3ref=1376>.
- [15] DGEg, “Eficiência Energética.” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/plano-nacional-de-acao-para-a-eficiencia-energetica-pnaee/>.
- [16] DGEg, “Sistema de Certificação Energética de Edifícios.” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/auditorias-energeticas/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios-sce/>.
- [17] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 118/2013, DE 20 DE agosto (desempenho energético dos edifícios),” *Diário da República*, vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.
- [18] ADENE, “Legislatura de CE.” [Online]. Available: <https://www.sce.pt/legislacao/>.
- [19] ECO.AP, “Enquadramento ECO.AP.” [Online]. Available: <https://ecoap.pnaee.pt/ambito/>.
- [20] ECO.AP, “Enquadramento ECO.AP 2030.” [Online]. Available: <https://ecoap.pnaee.pt/ecoap-2030/>.

- [21] Edifícios e Energia, “Novidades no Programa ECO.AP: Calculadoras e Simulador de Desempenho Energético,” *Edifícios e Energia*, 2019. [Online]. Available: <https://edificioseenergia.pt/noticias/eco-ap2511/>.
- [22] Y. Chen and T. Hong, “Impacts of building geometry modeling methods on the simulation results of urban building energy models,” *Appl. Energy*, vol. 215, pp. 717–735, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.073.
- [23] C. F. Reinhart and C. Cerezo Davila, “Urban building energy modeling - A review of a nascent field,” *Build. Environ.*, vol. 97, pp. 196–202, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.12.001.
- [24] CEA, “The City Energy Analyst,” 2020. [Online]. Available: <https://cityenergyanalyst.com/what-is>.
- [25] J. A. Fonseca, “Energy efficiency strategies in urban communities: modeling, analysis and assessment,” p. 89, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-010639933>.
- [26] CEA, “Creating a new geometry.” [Online]. Available: <https://cityenergyanalyst.com/creating-multiple-scenarios#create-new-geometry>.
- [27] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, “SIA 384/3 Heizungsanlagen in Gebäuden - Energiebedarf,” 384/3, 2013.
- [28] J. H. KÄMPF, “On the Modelling and Optimisation of Urban Energy Fluxes,” *PhD Thesis*, vol. 4548, p. 171, 2009.
- [29] P. Reis, “A importância e as fases de uma auditoria energética,” *Portal Energia*, 2012. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>.
- [30] C. Afonso, “Auditorias energéticas,” in *CLME’2014 - 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, 2014, vol. 1, p. n.º 32.
- [31] Fluke, “Fluke Registadores de Qualidade de Energia Trifásicos 1742, 1746 e 1748.” [Online]. Available: <https://www.fluke.com/pt-pt/produto/testes-eletricos/qualidade-de-energia/1742-1746-1748>.
- [32] A. S. Ancrossed D Signelković, I. Mujan, and S. Dakić, “Experimental validation of a EnergyPlus model: Application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade,” *Energy Build.*, vol. 118, pp. 27–36, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.02.045.
- [33] M. Sharma, “How to assess a regression’s predictive power for energy use,” *Energy Management, M&V*, 2020. [Online]. Available: <https://www.kw-engineering.com/how-to-assess-a-regressions-predictive-power-energy-use/>.
- [34] J. Haberl, C. Culp, and D. Claridge, “ASHRAE’s GUIDELINE 14-2002 FOR MEASUREMENT OF ENERGY AND DEMAND SAVINGS: HOW TO DETERMINE WHAT WAS REALLY SAVED BY THE RETROFIT,” Texas A&M University, 2005.
- [35] T. P. Barbosa, “Auditoria energética e simulação dinâmica de um edifício público: o caso do Teatro Municipal de Bragança,” Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [36] EnergyPlus Documentation, “EnergyPlus TM Documentation Getting Started with EnergyPlus Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running,” 2018.
- [37] ADENE, “Certificação Energética de Edifícios e Qualidade do Ar Interior,” 2020. [Online]. Available: <https://www.certificacaoenergetica.com>.
- [38] B. Ramezani, “Application of Smart Readiness Indicator for Mediterranean buildings in retrofitting actions,” Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, 2020.
- [39] Academia Militar, “Missão da Academia Militar.” [Online]. Available: <https://academiamilitar.pt/sobre-a-am/missao-e-valores.html>.

# Apêndice A – Legislação da Eficiência Energética



## Apêndice B – Arquétipos no CEA e variáveis a inserir

Área	Subárea	Estipulação de variável	Variável [Unidades]	Norma que obedece
Definição Padrão	ano de construção	ano	YEAR_START & YEAR_END	
	número de andares	acima e abaixo do chão	floors_ag & floors_bg	
	altura do edifício	acima e abaixo do chão	height_ag & height_bg [m]	
Definição da envolvente	tipo de construção da envolvente	capacidade interna de calor por área ventilada	Cm_Af [J/Km2]	ISO 13790
	infiltração	Rph numa pressão de 50 Pa	n50 [1/h]	
	dados do tipo de janelas	coeficiente global de transferência de calor	U_win [W/m2K]	ISO 13790
		absorção da radiação solar	G_win [%]	ISO 13790
		emissividade das superfícies exteriores	e_win [%]	ISO 13790
		rácio entre a armação e o vidro	F_F [%]	ISO 13790
	emissões de CO2 por m2 de janela	emissões de CO2 por m2 de janela	GHG_WIN_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]	
		coeficiente global de transferência de calor	U_roof [W/m2K]	ISO 13790
		absorção da radiação solar	a_roof [%]	ISO 13790
		emissividade das superfícies exteriores	e_roof [%]	ISO 13790
	corte construtivo do teto	reflexão dentro do espectro vermelho	r_roof [%]	
		emissões de CO2 por m2 de teto	GHG_ROOF_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]	
		coeficiente global de transferência de calor	U_wall [W/m2K]	ISO 13790
		absorção da radiação solar	a_wall [%]	ISO 13790
	corte construtivo das partições(paredes interiores)	emissividade das superfícies exteriores	e_wall [%]	ISO 13790
		reflexão dentro do espectro vermelho	r_wall [%]	
		emissões de CO2 por m2 de parede	GHG_WALL_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]	
		coeficiente global de transferência de calor	U_wall [W/m2K]	ISO 13790
	corte construtivo das paredes exteriores	absorção da radiação solar	a_wall [%]	ISO 13790
		emissividade das superfícies exteriores	e_wall [%]	ISO 13790
		reflexão dentro do espectro vermelho	r_wall [%]	
		emissões de CO2 por m2 de parede	GHG_WALL_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]	
	corte construtivo do chão interno, excluindo o do rés-do-chão	coeficiente global de transferência de calor	U_wall [W/m2K]	ISO 13790
emissões de CO2 por m2 do chão		GHG_FLOOR_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]		
corte construtivo do rés-do-chão	coeficiente global de transferência de calor	U_wall [W/m2K]	ISO 13790	
	emissões de CO2 por m2 do chão	GHG_FLOOR_kgCO2m2 [Kg CO2/m2]		
tipo de sombreamento	coeficiente de sombra	rf_sh [%]	ISO 13790	
outros	fração da area bruta do piso com demandas elétricas	Es [m2/m2]		
	fração da área bruta do chão(pois paredes ocupam área)	Ns [m2/m2]		
	fração da área acima do chão com sistema AVAC	Hs_ag [m2/m2]		
	fração da área abaixo do chão com sistema AVAC	Hs_bg [m2/m2]		
	número de andares com uma fachada aberta	void_deck		
	racio entre área de janelas e área de parede virado para norte	wwr_north [m2/m2]		
	racio entre área de janelas e área de parede virado para sul	wwr_south [m2/m2]		
	racio entre área de janelas e área de parede virado para este	wwr_east [m2/m2]		
racio entre área de janelas e área de parede virado para oeste	wwr_west [m2/m2]			

<b>Arquétipo</b>	<b>Definição de medidas consoante o tipo de edifício</b>		<b>ganhos internos</b>	pico de ocupação de número de pessoas por m2	Occ_m2pax [m2/pessoa]	
				pico de calor sensível libertado por pessoa	Qs_Wpax [W/pessoa]	
				pico de humidade libertada por ocupação	X_ghpax [gh/kg/pessoa]	
				pico de potência elétrica devido a computadores e outros equipamentos	Ea_Wm2 [W/m2]	
				pico de potência elétrica devido a iluminação	EI_Wm2 [W/m2]	
				pico de potência elétrica devido a processos industriais	Epro_Wm2 [W/m2]	
				pico de potência elétrica devido a servidores	Ed_Wm2 [W/m2]	
				pico de potência de arrefecimento devido a refrigeração de salas	Qcre_Wm2 [W/m2]	
				pico de potência elétrica devido a carregamento de veículos	Ev_kWveh [W/m2]	
				pico de consumo de água quente	Vww_lpdpx [L/dia]	
				pico de consumo de água(fria + quente)	Vw_lpdpx [L/dia]	
				pico de potência de aquecimento	Qhpro_Wm2 [W/m2]	
			pico de potência de arrefecimento	Qcpro_Wm2 [W/m2]		
			<b>conforto interno</b>	ponto de ajuste da temperatura para sistemas de aquecimento	Ths_set_C [°C]	
				limite da oscilação da temperatura para sistemas de aquecimento	Ths_setb_C [°C]	
				ponto de ajuste da temperatura para sistemas de arrefecimento	Tcs_set_C [°C]	
				limite da oscilação da temperatura para sistemas de arrefecimento	Tcs_setb_C [°C]	
				limite inferior da humidade relativa admitida	RH_min_pc [%]	
				limite superior da humidade relativa admitida	RH_max_pc [%]	
				ventilação interior adequada por pessoa	Ve_ips [L/s]	
			<b>perfis horários</b>	ocupação		
	equipamentos					
	iluminação					
	água					
	aquecimento					
	arrefecimento					
	processos					
	servidores					
		mobilidade elétrica				
	<b>tipo de aquecimento</b>	<b>geral</b>	percentagem convectiva do sistema de aquecimento em relação à potência total	convection_hs [%]		
			máximo fluxo permitido por m2 de área bruta do piso por cada sistema de aquecimento	Qhsmax_Wm2 [W/m2]		
			temperatura de correção de emissões perdidas devido ao sistema de aquecimento	dThs_C [°C]		
		<b>sistema de ar-condicionado</b>	temperatura nominal da água fornecida nas unidades de ar-condicionado	Tshs0_ahu_C [°C]		
aumento da temperatura nominal da água nas unidades de ar-condicionado			dTshs0_ahu_C [°C]			
temperatura de entrada do ar de retorno nas unidades de recirculação do ar			Th_sup_air_ahu_C [°C]			
temperatura nominal da água fornecida nas unidades de recirculação do ar			Tshs0_aru_C [°C]			
aumento da temperatura nominal da água nas unidades de recirculação do ar			dTshs0_aru_C [°C]			
temperatura de saída do ar proveniente das unidades de recirculação do ar			Th_sup_air_aru_C [°C]			
<b>radiador e outros</b>		temperatura nominal da água fornecida na unidade de aquecimento	Tshs0_shu_C [°C]			
		diminuição da temperatura nominal da água nas unidades de aquecimento	dTshs0_shu_C [°C]			



Sistema AVAC	tipo de arrefecimento	geral	percentagem convectiva do sistema de arrefecimento em relação à potência total	convection_cs [%]	
			máximo fluxo permitido por m2 de área bruta do piso por cada sistema de arrefecimento	Qcsmax_Wm2 [W/m2]	
			temperatura de correção de emissões perdidas devido ao sistema de arrefecimento	dTcs_C [°C]	
		sistema de ar-condicionado	temperatura nominal da água fornecida nas unidades de ar-condicionado	Tscs0_ahu_C [°C]	
			aumento da temperatura nominal da água nas unidades de ar-condicionado	dTscs0_ahu_C [°C]	
			temperatura de entrada do ar de retorno nas unidades de recirculação do ar	Tc_sup_air_ahu_C [°C]	
			temperatura nominal da água fornecida nas unidades de recirculação do ar	Tscs0_aru_C [°C]	
			aumento da temperatura nominal da água nas unidades de recirculação do ar	dTscs0_aru_C [°C]	
			temperatura de saída do ar proveniente das unidades de recirculação do ar	Tc_sup_air_aru_C [°C]	
		híbridos e outros	temperatura nominal da água fornecida na unidade de arrefecimento	Tshs0_shu_C [°C]	
	aumento da temperatura nominal da água nas unidades de arrefecimento		dTshs0_shu_C [°C]		
	tipo de AQS		temperatura de saída da água	Tsww0_C [°C]	
			máximo fluxo permitido por m2 de área bruta do piso por cada sistema AQS	Qwwmax_Wm2[W/m2]	
	tipo de controlo nos sistemas AVAC	aquecimento	temperatura de correção do sistema de aquecimento devido a perdas	dT_Qhs [°C]	
		arrefecimento	temperatura de correção do sistema de arrefecimento devido a perdas	dT_Qcs [°C]	
	tipo de ventilação		ventilação mecânica	MECH_VENT	
			ventilação natural	WIN_VENT	
			recuperador de calor	HEAT_REC	
			existência de descarga noturna/arrefecimento noturno	NIGHT_FLASH	
			existência de economizador	ECONOMIZER	
	outros dados		dia e mês em que começa o aquecimento	heat_starts	
dia e mês em que acaba o aquecimento			heat_ends		
dia e mês em que começa o arrefecimento			cool_starts		
dia e mês em que começa o arrefecimento			cool_ends		
Sistema de fornecimento	sistema de fornecimento do aquecimento		matéria prima	feedstock	
	ou		escala a que é utilizado	scale	
	sistema de fornecimento do arrefecimento		eficiência	efficiency [%]	
	ou		custo capital por KW em USD2015	CAPEX_USD2015kW [USD2015]	
	sistema de fornecimento de AQS		tempo do ciclo de vida	LT_yr [anos]	
	ou		percentagem do custo de operação e manutenção face ao investimento	O&M_% [%]	
	eletricidade		taxa de interesse	IR_% [%]	

## Apêndice C – Definição padrão e da envolvente

Definição Padrão					Definição da Envolvente											
Geometria	floors_bg	floors_ag	height_bg	height_ag	Ano	Função principal	%	Função secundária	%	void_deck	Es	Hs_ag	Hs_bg	Ns	wvr_north	wvr_south
B1001	0	2	0	6	2003	MULTI_RES	0.8	OFFICE	0.2	0	0.6	0	0	0.5	0	0.15
B1002	0	2	0	6	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.7	0.72	0	0.8	0.1	0.02
B1003	0	1	0	4	1970	RESTAURANT	0.95	FOODSTORE	0.05	0	0.82	0.82	0	0.82	0.3	0.35
B1004	0	1	0	4	1970	GYM	1	NONE	0	0	0.7	0	0	0.7	0.15	0.15
B1005	0	2	0	7.76	2006	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0.9	0	0.8	0	0.75
B1006	1	1	2	4.5	2006	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.82	0.7	0	0.5	0.6	0.8
B1007	1	1	2	9.7	2006	AUDITORIUM	1	NONE	0	0	0.82	0.82	0	0.82	0	0
B1008	0	1	0	7.25	2006	AUDITORIUM	1	NONE	0	0	0.82	0.82	0	0.82	0	0
B1009	0	2	0	9.74	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.7	0.65	0	0.6	0.2	0.1
B1010	0	2	0	9.74	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	1	0.5	0.4	0	0.6	0	0.8
B1011	0	1	0	10.74	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.3	0.82	0	0.82	0.45	0
B1012	0	2	0	9.74	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	1	0.7	0.65	0	0.6	0	0.1
B1013	0	3	0	13.94	2003	UNIVERSITY	0.9	OFFICE	0.1	0	0.9	0.8	0	0.82	0.2	0.25
B1014	0	3	0	13.94	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.9	0.8	0	0.82	0	0.33
B1015	0	3	0	13.94	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.9	0.8	0	0.82	0.15	0.25
B1016	0	3	0	13.05	2002	UNIVERSITY	0.8	LAB	0.1	0	0.9	0.8	0	0.82	0	0.25
B1017	0	3	0	13.05	2002	OFFICE	1	NONE	0	1	0.9	0.8	0	0.82	0.7	0
B1018	0	3	0	13.05	2002	OFFICE	0.5	LAB	0.2	0	0.9	0.8	0	0.82	0	0.3
B1019	0	1	0	4.73	2002	LIBRARY	1	NONE	0	0	0.95	1	0	0.7	0.2	0.2
B1020	0	1	0	5.76	1970	UNIVERSITY	0.2	OFFICE	0.5	0	0.8	0.3	0	0.5	0	0.2
B1021	0	2	0	9.76	1970	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0.75	0	0.7	0	0.3
B1022	0	1	0	5.76	1970	AUDITORIUM	0.5	OFFICE	0.5	0	0.8	0.3	0	0.5	0	0.2
B1023	0	1	0	4	1970	SINGLE_RES	1	NONE	0	0	0.7	0.4	0	0.4	0.2	0.2
B1024	0	1	0	3	1970	OFFICE	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.5	0.4	0.65
B1025	0	1	0	3	1970	OFFICE	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.2	0.15	0.4
B1026	0	1	0	3.63	1970	MULTI_RES	0.9	OFFICE	0.1	0	0.8	0.2	0	0.7	0.2	0.35
B1027	0	1	0	4	1998	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.4	0	0	0	0	0.5
B1028	0	1	0	4	1998	RETAIL	1	NONE	0	0	0.1	0	0	0.1	0.2	0.3
B1029	0	1	0	3	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.8	0.4	0	0.7	0.3	0.2
B1030	1	2	2.22	11.99	2004	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.8	0.82	0	0.82	0.43	0.03
B1031	1	2	2.22	11.49	2004	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.8	0.82	0	0.82	0.22	0.24
B1032	0	1	0	3	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.2	0	0	0.2	0.1	0
B1033	0	1	0	3	2003	SINGLE_RES	0.5	OFFICE	0.5	0	0.5	0	0	0.82	0.1	0
B1034	0	2	0	6.89	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.15	0	0
B1035	0	1	0	3	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.2	0	0	0.2	0.12	0
B1036	0	1	0	3	2003	SINGLE_RES	0.5	OFFICE	0.5	0	0.5	0	0	0.82	0.2	0.65
B1037	0	2	0	6.89	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.15	0.3	0
B1038	0	1	0	6.45	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.1	0	0	0.1	0.55	0.2
B1039	0	3	0	10.33	2003	MULTI_RES	0.7	OFFICE	0.3	0	0.82	0	0	0.8	0	0.35
B1040	0	1	0	3	2003	MULTI_RES	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.2	0	0
B1041	0	1	0	3	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0	0	0.5	0.3	0.2
B1042	0	1	0	3	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0	0	0.5	0	0
B1043	0	3	0	10.33	2003	MULTI_RES	0.7	OFFICE	0.3	0	0.82	0	0	0.8	0.35	0.15
B1044	0	1	0	3	2003	MULTI_RES	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.2	0	0.15
B1045	0	1	0	3.63	2003	INDUSTRIAL	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.8	0.2	0.15
B1046	0	3	0	10.33	2003	MULTI_RES	0.7	OFFICE	0.3	0	0.82	0	0	0.8	0.35	0
B1047	0	1	0	3	2003	MULTI_RES	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.2	0	0
B1048	0	1	0	3	2003	SINGLE_RES	0.5	OFFICE	0.5	0	0.5	0	0	0.82	0.2	0.1
B1049	0	1	0	3	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.2	0	0	0.2	0.12	0.15
B1050	0	3	0	10.33	2003	MULTI_RES	0.7	OFFICE	0.3	0	0.82	0	0	0.82	0	0.35

B1051	0	1	0	3	2003	SINGLE_RES	0.5	OFFICE	0.5	0	0.5	0	0	0.82	0.1	0.2
B1052	0	1	0	3	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.2	0	0	0.2	0.1	0.12
B1053	0	2	0	6.89	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.15	0	0.3
B1054	0	1	0	6.45	2003	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.1	0	0	0.1	0.55	0.55
B1055	0	1	0	3	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0	0	0.5	0.3	0
B1056	0	1	0	3	2003	OFFICE	1	NONE	0	0	0.82	0	0	0.5	0	0.3
B1057	0	1	0	3.63	2003	INDUSTRIAL	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.8	0.2	0.15
B1058	0	2	0	6.89	2003	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.15	0.3	0
B1059	0	1	0	3	2003	MULTI_RES	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.2	0	0
B1060	0	1	0	7	2020	PARKING	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1061	0	1	0	5	2020	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1062	0	1	0	7	2020	PARKING	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1063	0	1	0	5	2020	PARKING	1	NONE	0	1	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1064	0	1	0	7	2020	GYM	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1065	0	1	0	5	2020	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1066	0	1	0	7	2020	GYM	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1067	0	1	0	6	2020	FOODSTORE	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.4	0.3	0.15
B1068	0	1	0	3	2020	PARKING	1	NONE	0	1	0.1	0	0	0.1	0.8	0
B1069	0	1	0	4	1995	GYM	1	NONE	0	0	0.5	0	0	0.4	0.2	0.1
B1070	0	1	0	7.07	1995	GYM	1	NONE	0	0	0.6	0	0	0.5	0.15	0.2
B1071	0	1	0	3.63	1970	PARKING	1	NONE	0	0	0	0	0	0.2	0.15	
B1072	0	1	0	3.63	1970	PARKING	1	NONE	0	0	0	0	0	0.2	0.15	
B1073	0	1	0	3.63	1970	PARKING	1	NONE	0	0	0.3	0	0	0.1	0.1	0.2
B1074	0	1	1	4	2020	LAB	1	NONE	0	0	0.5	0.8	0	0.4	0.2	0.1
B1075	1	1	2	16.6	2006	AUDITORIUM	1	NONE	0	0	0.82	0.82	0	0.82	0	0
B1076	0	1	0	3	1970	PARKING	1	NONE	0	1	0	0	0	0	0.05	0
B1077	0	1	0	8.85	2002	UNIVERSITY	1	NONE	0	0	0.7	0.82	0	0.82	1	0

Definição da Envolvente										
	wwr_east	wwr_west	type_cons	type_leak	type_roof	type_shade	type_wall	type_floor	type_base	type_win
B1001	0	0.15	CONSTRUCTION_AS1	TIGHTNESS_A S4	ROOF_ASS	SHADING_AS 1	WALL_AS3	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1002	0.15	0.2	CONSTRUCTION_AS1	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 1	WALL_AS3	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1003	0.05	0.3	CONSTRUCTION_AS1	TIGHTNESS_A S6	ROOF_ASS	SHADING_AS 1	WALL_AS3	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1004	0.2	0.15	CONSTRUCTION_AS1	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS3	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS1
B1005	0	0.7	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 1	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1006	0.8	0.6	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1007	0	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1008	0	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1009	0	0.2	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S4	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1010	0	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1011	0.15	0.9	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S4	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1012	0.2	0.2	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S4	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1013	0.15	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1014	0	0.6	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1015	0.2	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1016	0.15	0.3	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1017	0.3	0	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1018	0.15	0.25	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 2	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1019	0.3	0.2	CONSTRUCTION_AS3	TIGHTNESS_A S2	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS9	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2
B1020	0	0.2	CONSTRUCTION_AS2	TIGHTNESS_A S3	ROOF_ASS	SHADING_AS 0	WALL_AS3	FLOOR_AS1	FLOOR_AS2	WINDOW_AS2



## Apêndice D – Definição de medidas consoante o tipo de edifício

	Definição de medidas consoante o tipo de edifício										
	Occ_m2pax	Qs_Wpax	X_ghpax	Ea_Wm2	El_Wm2	Epro_Wm2	Qcre_Wm2	Ed_Wm2	Ev_kWveh	Qcpro_Wm2	Vw_Ipdpa <sub>x</sub>
B1001	75	70	80	7.8	1.8	0	0	0	0	0	112.1
B1002	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1003	2.3	70	80	2	7.62	0	0.5	0	0	0	44.8
B1004	10	120	280	2	9.9	0	0	0	0	0	180.0
B1005	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1006	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1007	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1008	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1009	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1010	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1011	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1012	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1013	10.4	70	80	4.3	12.84	0	0	0	0	0	32.2
B1014	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1015	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1016	16	70	80	5.8	12.17	2.48	0	15	0	0	33.8
B1017	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1018	13	70	80	8.7	14.94	3.3	0	0	0	0	48.6
B1019	5	70	80	2	6.9	0	0	0	0	0	0.0
B1020	9	70	80	4.3	12.43	0	0	30	0	0	49.2
B1021	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1022	12	70	80	5.5	14.2	0	0	0	0	0	42.5
B1023	50	70	80	8	2.7	0	0	0	0	0	160.0
B1024	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1025	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1026	28.4	70	80	7.9	4.02	0	0	0	0	0	124.6
B1027	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1028	8	70	80	2	33.3	0	0	0	0	0	30.0
B1029	14	70	80	260	6.4	0	0	0	0	0	60.0
B1030	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1031	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1032	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1033	32	70	80	7.5	9.3	0	0	0	0	0	81.9
B1034	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1035	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1036	32	70	80	7.5	9.3	0	0	0	0	0	81.9
B1037	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1038	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1039	25.2	70	80	7.7	6.66	0	0	0	0	0	101.7
B1040	30	70	80	8	2.7	0	0	0	0	0	140.0

B1041	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1042	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1043	25.2	70	80	7.7	6.66	0	0	0	0	0	101.7
B1044	30	70	80	8	2.7	0	0	0	0	0	140.0
B1045	15	90	170	10	10.8	16.5	0	0	0	0	60.0
B1046	25.2	70	80	7.7	6.66	0	0	0	0	0	101.7
B1047	30	70	80	8	2.7	0	0	0	0	0	140.0
B1048	32	70	80	7.5	9.3	0	0	0	0	0	81.9
B1049	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1050	25.2	70	80	7.7	6.66	0	0	0	0	0	101.7
B1051	32	70	80	7.5	9.3	0	0	0	0	0	81.9
B1052	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1053	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1054	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1055	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1056	14	70	80	7	15.9	0	0	0	0	0	60.0
B1057	15	90	170	10	10.8	16.5	0	0	0	0	60.0
B1058	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1059	30	70	80	8	2.7	0	0	0	0	0	140.0
B1060	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1061	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1062	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1063	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1064	10	120	280	2	9.9	0	0	0	0	0	180.0
B1065	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1066	10	120	280	2	9.9	0	0	0	0	0	180.0
B1067	8	70	80	2	21.3	0	10	0	0	0	30.0
B1068	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1069	10	120	280	2	9.9	0	0	0	0	0	180.0
B1070	10	120	280	2	9.9	0	0	0	0	0	180.0
B1071	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1072	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1073	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1074	15	70	80	20	16.2	16.5	0	0	0	0	60.0
B1075	10	70	80	4	12.5	0	0	0	0	0	30.0
B1076	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0
B1077	0	0	0	1	2.9	0	0	0	0	0	0.0

Definição de medidas consoante o tipo de edifício							
	Ths_set_C	Ths_set_b_C	Tcs_set_C	Tcs_setb_C	RH_min_pc	RH_max_pc	Ve_lpspx
B1001	21	18	26	28	30	60	8.91
B1002	21	12	26	28	30	60	10.00
B1003	21	12	26	28	30	70	9.98
B1004	18	12	26	28	30	70	25.00
B1005	21	12	26	28	30	60	10.00
B1006	21	12	26	28	30	60	8.33
B1007	21	12	26	28	30	60	8.33
B1008	21	12	26	28	30	60	8.33
B1009	21	12	26	28	30	60	8.33
B1010	21	12	26	28	30	60	8.33
B1011	21	12	26	28	30	60	8.33
B1012	21	12	26	28	30	60	8.33
B1013	21	12	26	28	30	60	8.46
B1014	21	12	26	28	30	60	8.33
B1015	21	12	26	28	30	60	8.33
B1016	21	12	26	28	30	60	17.71
B1017	21	12	26	28	30	60	10.00
B1018	21	12	26	28	30	60	21.74
B1019	21	12	26	28	40	60	10.00
B1020	21	12	26	28	30	60	9.40
B1021	21	12	26	28	30	60	10.00
B1022	21	12	26	28	30	60	9.03
B1023	21	18	26	28	30	60	8.33
B1024	21	12	26	28	30	60	10.00
B1025	21	12	26	28	30	60	10.00
B1026	21	18	26	28	30	60	8.65
B1027	21	12	26	28	30	60	8.33
B1028	20	12	26	28	30	60	8.33
B1029	21	12	26	28	30	60	10.00
B1030	21	12	26	28	30	60	8.33
B1031	21	12	26	28	30	60	8.33
B1032	20	12	26	28	30	60	8.33
B1033	21	18	26	28	30	60	9.64
B1034	20	12	26	28	30	60	8.33
B1035	20	12	26	28	30	60	8.33
B1036	21	18	26	28	30	60	9.64
B1037	20	12	26	28	30	60	8.33
B1038	21	12	26	28	30	60	8.33
B1039	21	18	26	28	30	60	9.13
B1040	21	18	26	28	30	60	8.33
B1041	21	12	26	28	30	60	10.00
B1042	21	12	26	28	30	60	10.00
B1043	21	18	26	28	30	60	9.13
B1044	21	18	26	28	30	60	8.33
B1045	18	12	30	32	30	70	41.67
B1046	21	18	26	28	30	60	9.13
B1047	21	18	26	28	30	60	8.33
B1048	21	18	26	28	30	60	9.64
B1049	20	12	26	28	30	60	8.33
B1050	21	18	26	28	30	60	9.13
B1051	21	18	26	28	30	60	9.64
B1052	20	12	26	28	30	60	8.33
B1053	20	12	26	28	30	60	8.33
B1054	21	12	26	28	30	60	8.33
B1055	21	12	26	28	30	60	10.00
B1056	21	12	26	28	30	60	10.00
B1057	18	12	30	32	30	70	41.67
B1058	20	12	26	28	30	60	8.33
B1059	21	18	26	28	30	60	8.33
B1060	18	12	28	28	30	70	0.00
B1061	20	12	26	28	30	60	8.33
B1062	18	12	28	28	30	70	0.00
B1063	18	12	28	28	30	70	0.00
B1064	18	12	26	28	30	70	25.00
B1065	20	12	26	28	30	60	8.33
B1066	18	12	26	28	30	70	25.00
B1067	20	12	26	28	30	60	8.33
B1068	18	12	28	28	30	70	0.00
B1069	18	12	26	28	30	70	25.00
B1070	18	12	26	28	30	70	25.00
B1071	18	12	28	28	30	70	0.00
B1072	18	12	28	28	30	70	0.00
B1073	18	12	28	28	30	70	0.00
B1074	21	12	26	28	30	60	83.33
B1075	21	12	26	28	30	60	8.33
B1076	18	12	28	28	30	70	0.00
B1077	18	12	28	28	30	70	0.00



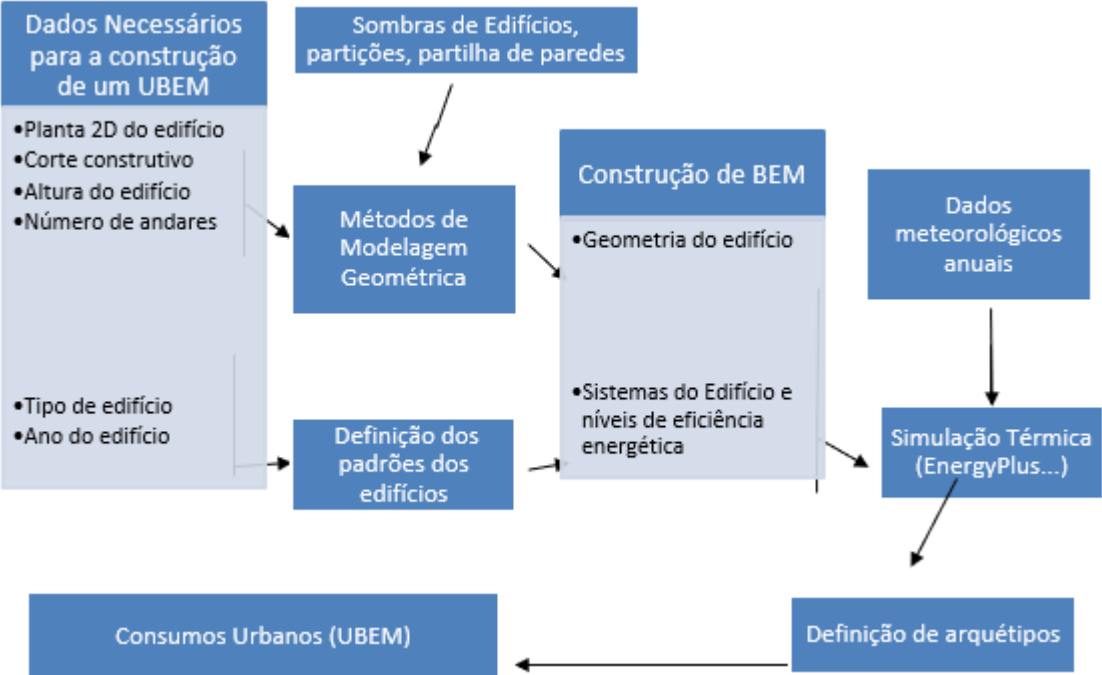








# Apêndice G – Componentes principais na construção de um UBEM



## Anexo A – Impacto do Covid-19 nos consumos em

Produtos do Petróleo						
10 <sup>3</sup> ton	Junho 2020	Junho 2019	Δ % Jun_20 / Jun_19	Jan - Jun 2020	Jan - Jun 2019	Δ % Jan-Jun_20 / Jan-Jun_19
GPL <sup>1</sup>	32,5	33,6	-3,3%	240,2	261,4	-8,1%
Gasolina	72,9	88,9	-18,0%	396,8	509,0	-22,1%
Gasóleo rodoviário	320,1	376,8	-15,0%	1 838,1	2 241,8	-18,0%
Gasóleo agrícola <sup>2</sup>	30,0	28,0	7,1%	168,5	165,5	1,8%
Fuelóleo <sup>3</sup>	9,6	9,2	4,8%	54,6	60,4	-9,5%
Aviação (Jet)	15,8	150,3	-89,5%	324,5	738,2	-56,0%
Transportes marítimos <sup>4</sup>	60,5	99,4	-39,1%	467,0	593,3	-21,3%

<sup>1</sup> Exclui o consumo de GPL como matéria prima. <sup>2</sup> Inclui o consumo de gasóleo colorido e marcado no setor das pescas.

<sup>3</sup> Exclui o consumo de fuelóleo para a produção de eletricidade. <sup>4</sup> Inclui o gasóleo e fuelóleo marítimos.

### Portugal no ano 2020

## Anexo B – Arquétipos do CEA

Tabela 15 - Tipo de Construção no CEA

	Description	code	Cm_Af
1	Light construction	CONSTRUCTION_AS1	110000
2	Medium construction	CONSTRUCTION_AS2	165000
3	Heavy construction	CONSTRUCTION_AS3	300000

Gás Natural						
10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup>	Junho 2020	Junho 2019	Δ % Jun_20 / Jun_19	Jan - Jun 2020	Jan - Jun 2019	Δ % Jan-Jun_20 / Jan-Jun_19
<b>Total</b>	<b>258,3</b>	<b>300,8</b>	<b>-14,1%</b>	<b>1 714,4</b>	<b>1 916,4</b>	<b>-10,5%</b>
Agricultura e Pescas	1,1	1,1	0,0%	6,7	6,9	-2,9%
Indústria	191,5	230,9	-17,1%	1 283,1	1 471,2	-12,8%
Transportes	1,3	1,4	-7,1%	8,0	8,7	-8,0%
Serviços	25,0	35,0	-28,6%	176,8	223,1	-20,8%
Doméstico	39,4	32,4	21,6%	239,8	206,5	16,1%

**Tabela 16 - Nível de Infiltração no Edifício**

	Description	code	n50
1	Highly tight	TIGHTNESS_AS1	1
2	Tight	TIGHTNESS_AS2	2
3	Medium	TIGHTNESS_AS3	3
4	Medium Leaky	TIGHTNESS_AS4	4
5	Leaky	TIGHTNESS_AS5	5
6	Very Leaky	TIGHTNESS_AS6	6

**Tabela 17 - Tipos de janela**

	Description	code	U_win	G_win	e_win	F_F	GHG_WIN_kgCO2m2
1	single glazing	WINDOW_AS1	4.8	0.85	0.89	0.2	47
2	double glazing	WINDOW_AS2	3.1	0.75	0.89	0.2	62
3	double glazing - with argon filling	WINDOW_AS3	1.3	0.75	0.89	0.2	69
4	double glazing with low-emissivity coating	WINDOW_AS4	1.1	0.67	0.02	0.2	123
5	triple glazing	WINDOW_AS5	0.99	0.7	0.89	0.2	123
6	triple glazing with two selective low-emissivity coatings	WINDOW_AS6	0.6	0.5	0.02	0.2	123
7	double window	WINDOW_AS7	1.2	0.75	0.89	0.2	70
8	single glazing - HDB	WINDOW_AS8	5.4	0.85	0.89	0.2	47
9	window - NTU	WINDOW_AS9	1.8	0.29	0.89	0.2	62
10	window - SinBERBest Office	WINDOW_AS10	2.2	0.2	0.89	0.2	62

**Tabela 18 - tipo de construção dos tetos**

	Description	code	U_roof	a_roof	e_roof	r_roof	GHG_ROOF_kgCO2m2
1	concrete or rock pebbles finishing - new construction	ROOF_AS1	0.2	0.6	0.94	0.4	112
2	clay tiles - old construction	ROOF_AS2	0.3	0.55	0.91	0.44999999999999996	112
3	aluminum tiles - old construction	ROOF_AS3	0.3	0.3	0.09	0.7	112
4	greenery - new roof	ROOF_AS4	0.15	0.5	0.95	0.5	112
5	white paint over plaster over concrete - new roof	ROOF_AS5	0.15	0.3	0.84	0.7	113
6	dark paint over plaster over concrete - new roof	ROOF_AS6	0.15	0.85	0.94	0.15000000000000002	113
7	concrete or rock pebbles finishing - Singapore	ROOF_AS7	0.6	0.6	0.94	0.4	112
8	red sandwich roof with 6 cm thick	ROOF_AS8	0.3424	0.54	0.91	0.45999999999999996	112
9	white sandwich roof with 3 cm thick	ROOF_AS9	0.5	0.34	0.91	0.65999999999999999	112

**Tabela 19 - Tipo de construção das paredes**

	Description	code	U_wall	a_wall	e_wall	r_wall	GHG_WALL_kgCO2m2
1	clay brick common red exposed- new building	WALL_AS1	0.2	0.68	0.92	0.31999999999999995	57
2	concrete block exposed- old building	WALL_AS2	0.75	0.6	0.95	0.4	112
3	white paint over plaster over clay brick- old building	WALL_AS3	0.8	0.3	0.84	0.7	112
4	dark blue over plaster over clay brick - new building	WALL_AS4	0.15	0.65	0.9	0.35	112
5	dark paint over plaster over clay brick - new building	WALL_AS5	0.15	0.85	0.94	0.15000000000000002	112
6	concrete block exposed- NTU	WALL_AS6	3.2	0.6	0.95	0.4	112
7	Internal partition in brick	WALL_AS7	3.2	0.6	0.95	0.4	34
8	Internal partition in drywall	WALL_AS8	3.2	0.6	0.95	0.4	73
9	white paint over plaster over concrete - new rwall	WALL_AS9	0.3	0.3	0.84	0.7	112
10	red paint over plaster over clay brick - old building	WALL_AS10	0.8	0.75	0.88	0.25	112
11	white sandwich poli - Store	WALL_AS11	0.16	0.3	0.84	0.7	112

**Tabela 20 – Tipo de sombreamento**

	Description	code	rf_sh
1	none	SHADING_AS0	1
2	rollo	SHADING_AS1	0.08
3	venetian blinds	SHADING_AS2	0.15

**Tabela 21 - Tipo de construção do chão**

	Description	code	U_base	GHG_FLOOR_kgCO2m2
1	concrete floor	FLOOR_AS1	2.9	112
2	concrete floor -basement (includes excavation)	FLOOR_AS2	2.9	247

**Tabela 22 - Tipo de sistema de AQS**

	Description	code	Tsww0_C	Qwwmax_Wm2
1	None	HVAC_HOTWATER_AS0	0	0
2	High temperature water (60/10)	HVAC_HOTWATER_AS1	60	500
3	Medium temperature water (45/10)	HVAC_HOTWATER_AS2	45	500
4	Low temperature water + sanitation (35/10)	HVAC_HOTWATER_AS3	35	500
5	High temperature in the tropics (60/25)	HVAC_HOTWATER_AS4	60	500

**Tabela 23 - Tipo de sistema de aquecimento**

	Description	code	class_hs	convection_hs	Qhsmax_Wm2	dThs_C	Tshs0_ahu_C	dTsh0_ahu_C	Th_sup_air_ahu_C	Tshs0_aru_C	dTsh0_aru_C	Th_sup_air_aru_C	Tshs0_shu_C	dTsh0_shu_C
1	None	HVAC_HEATING_AS0	NONE	0	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	Radiator (90/70)	HVAC_HEATING_AS1	RADIATOR	1	500	0.15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	90	20
3	Radiator (70/55)	HVAC_HEATING_AS2	RADIATOR	1	500	-0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	70	15
4	central AC (40/20)	HVAC_HEATING_AS3	CENTRAL_AC	1	500	-1.1	40	20	36	40	20	36	NA	NA
5	Floor heating (40/35)	HVAC_HEATING_AS4	FLOOR_HEATING	0.5	150	-0.9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	5
6	termoventilator	HVAC_HEATING_AS5	CENTRAL_AC	1	50	-0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	21	NA

**Tabela 24 - Tipo de sistema de arrefecimento**

	Description	code	class_cs	convection_cs	Qcsmax_Wm2	dTcs_C	Tscs0_ahu_C	dTcs0_ahu_C	Tc_sup_air_ahu_C	Tscs0_aru_C	dTcs0_aru_C	Tc_sup_air_aru_C	Tscs0_scu_C	dTcs0_scu_C
1	none	HVAC_COOLING_AS0	NONE	0	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	ceiling cooling (18/21)	HVAC_COOLING_AS1	CEILING_COOLING	0.5	500	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	18	3
3	mini-split AC (6/15)	HVAC_COOLING_AS2	DECENTRALIZED_AC	1	150	0.7	NA	NA	NA	7.5	7	16	NA	NA
4	central AC (6/15)	HVAC_COOLING_AS3	CENTRAL_AC	1	500	0.5	7.5	7	16	7.5	7	16	NA	NA
5	3for2	HVAC_COOLING_AS4	HYBRID_AC	1	500	0.5	7.5	7	18	7.5	4	13	18	3
6	floor cooling (18/21)	HVAC_COOLING_AS5	FLOOR_COOLING	0.1	100	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	18	3

**Tabela 25 - Tipo de sistema de ventilação**

	Description	code	MECH_VENT	WIN_VENT	HEAT_REC	NIGHT_FLSH	ECONOMIZER
1	Window ventilation	HVAC_VENTILATION_AS0	false	true	false	true	false
2	Mechanical ventilation with demand control	HVAC_VENTILATION_AS1	true	false	true	true	false
3	Mechanical ventilation with demand control and economizer	HVAC_VENTILATION_AS2	true	false	true	true	true
4	Window ventilation - no night flushing	HVAC_VENTILATION_AS3	false	true	false	false	false

**Tabela 26 - Tipo de sistema de controlo de AVAC**

	Description	code	dT_Qhs	dT_Qcs
1	None	HVAC_CONTROLLER_AS0	2.5	-2.5
2	None	HVAC_CONTROLLER_AS1	2.5	-2.5
3	PI controller	HVAC_CONTROLLER_AS2	1.2	-1.2
4	PI controller with optimum tuning	HVAC_CONTROLLER_AS3	0.9	-0.9
5	room temperature control (electromagnetically/electronically).	HVAC_CONTROLLER_AS4	1.8	1.8

**Tabela 27 - Tipo de sistema de fornecimento de calor**

	Description	code	feedstock	scale	efficiency	CAPEX_USD2015kW	LT_yr	O&M_%	IR_%	reference
1	none	SUPPLY_HEATING_AS0	NONE	NONE	0	0	20	1	5	educated guess
2	oil-fired boiler	SUPPLY_HEATING_AS1	OIL	BUILDING	0.8	493	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
3	coal-fired furnace	SUPPLY_HEATING_AS2	COAL	BUILDING	0.6	367	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
4	natural gas-fired boiler	SUPPLY_HEATING_AS3	NATURALGAS	BUILDING	0.8	645	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
5	electrical boiler	SUPPLY_HEATING_AS4	GRID	BUILDING	0.9	200	20	1	5	educated guess
6	wood-furnace	SUPPLY_HEATING_AS5	WOOD	BUILDING	0.6	200	20	1	5	educated guess
7	heatpump - soil/water	SUPPLY_HEATING_AS6	GRID	BUILDING	4	200	20	1	5	educated guess
8	heatpump - air/air	SUPPLY_HEATING_AS7	GRID	BUILDING	2.7	200	20	1	5	educated guess
9	heatpump - water/water	SUPPLY_HEATING_AS8	GRID	BUILDING	3	200	20	1	5	educated guess
10	district heating - natural gas-fired boiler	SUPPLY_HEATING_AS9	NATURALGAS	DISTRICT	0.6	100	20	1	5	educated guess
11	district heating - heatpump - soil/water	SUPPLY_HEATING_AS10	GRID	DISTRICT	0.6	100	20	1	5	educated guess
12	district heating - heat pump - water/water	SUPPLY_HEATING_AS11	GRID	DISTRICT	2.7	100	20	1	5	educated guess

**Tabela 28 - Tipo de sistema de fornecimento de água quente**

	Description	code	feedstock	scale	efficiency	CAPEX_USD2015kW	LT_yr	O&M_%	IR_%	reference
1	none	SUPPLY_HOTWATER_AS0	NONE	NONE	0	0	20	1	5	educated guess
2	oil-fired boiler	SUPPLY_HOTWATER_AS1	OIL	BUILDING	0.8	493	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
3	coal-fired furnace	SUPPLY_HOTWATER_AS2	COAL	BUILDING	0.6	367	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
4	natural gas-fired boiler	SUPPLY_HOTWATER_AS3	NATURALGAS	BUILDING	0.8	645	20	1	5	Connolly et al. (2013). Costs in the EU boiler <25 kW)
5	electrical boiler	SUPPLY_HOTWATER_AS4	GRID	BUILDING	0.9	200	20	1	5	educated guess
6	wood-furnace	SUPPLY_HOTWATER_AS5	WOOD	BUILDING	0.6	200	20	1	5	educated guess
7	heatpump - soil/water	SUPPLY_HOTWATER_AS6	GRID	BUILDING	4	200	20	1	5	educated guess
8	heatpump - air/air	SUPPLY_HOTWATER_AS7	GRID	BUILDING	2.7	200	20	1	5	educated guess
9	heatpump - water/water	SUPPLY_HOTWATER_AS8	GRID	BUILDING	3	200	20	1	5	educated guess
10	district heating - natural gas-fired boiler	SUPPLY_HOTWATER_AS9	NATURALGAS	DISTRICT	0.6	100	20	1	5	educated guess
11	district heating - heatpump - soil/water	SUPPLY_HOTWATER_AS10	GRID	DISTRICT	0.6	100	20	1	5	educated guess
12	district heating - heat pump - water/water	SUPPLY_HOTWATER_AS11	GRID	DISTRICT	2.7	100	20	1	5	educated guess

**Tabela 29 - Tipo de sistema de fornecimento de arrefecimento**

	Description	code	feedstock	scale	efficiency	CAPEX_USD2015kW	LT_yr	O&M_%	IR_%	reference
1	none	SUPPLY_COOLING_AS0	NONE ▾	NONE ▾	0	0	20	1	5	educated guess
2	heatpump - air/air	SUPPLY_COOLING_AS1	GRID ▾	BUILDING ▾	2.7	200	20	1	5	educated guess
3	heatpump - water/water	SUPPLY_COOLING_AS2	GRID ▾	BUILDING ▾	3	200	20	1	5	educated guess
4	district cooling - Lakewater/water	SUPPLY_COOLING_AS3	GRID ▾	DISTRICT ▾	3.2	200	20	1	5	educated guess
5	district cooling - air/air	SUPPLY_COOLING_AS4	GRID ▾	DISTRICT ▾	2.8	200	20	1	5	educated guess

**Tabela 30 - Tipo de sistema de fornecimento de eletricidade**

	Description	code	feedstock	scale	efficiency	CAPEX_USD2015kW	LT_yr	O&M_%	IR_%	reference
1	none	SUPPLY_ELECTRICITY_AS0	NONE ▾	NONE ▾	0	0	20	1	5	educated guess
2	consumer energy mix	SUPPLY_ELECTRICITY_AS1	GRID ▾	CITY ▾	0.99	1	20	1	5	educated guess



# Anexo C – Ganhos internos e consumos específicos

