

OPORTUNIDADES DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMOS NUM EDIFÍCIO ESCOLAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

André Filipe Bártolo Vieira

Leiria, julho de 2022

Página deixada propositalmente em branco

OPORTUNIDADES DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMOS NUM EDIFÍCIO ESCOLAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

André Filipe Bártolo Vieira

Dissertação realizada sob:

Orientação do Professor Doutor Luís Miguel Pires Neves

Coorientação do Professor Mestre Hermano Joaquim dos Santos Bernardo

Leiria, julho de 2022

Página deixada propositalmente em branco

ORIGINALIDADE E DIREITOS DE AUTOR

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a sua elaboração.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a mesma foi realizada, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Página deixada propositadamente em branco

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação teve fases um pouco mais difíceis de ultrapassar, nomeadamente o início da pandemia, em que se teve que reestruturar o plano de trabalho. Contudo, procurou-se dar resposta às adversidades que foram surgindo com ajuda de várias pessoas.

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Luís Neves, pela motivação, orientação e capacidade de encontrar estratégias para ultrapassar as dificuldades que surgiram ao longo do trabalho.

Agradeço ao meu coorientador, Professor Hermano Bernardo, pela orientação e conhecimento transmitido na vertente da simulação dinâmica de edifícios.

Um agradecimento também ao Professor Pedro Marques pela disponibilização dos dados da monitorização do Edifício D.

Relativamente à Direção dos Serviços Técnicos o meu agradecimento, na pessoa do Engenheiro Felisbelo Lisboa, pela disponibilidade para me esclarecer sobre os sistemas principais existentes no Edifício D.

Ao meu colega Paulo Clemente agradeço a ajuda com o fornecimento de alguns dados sobre o tipo de utilização das salas de aula do Edifício D.

Quero agradecer também à minha família pelo apoio e compreensão, que foi fundamental, ao longo deste percurso.

Agradeço também aos meus colegas pela interajuda que também é importante para ultrapassar algumas dificuldades que surgem neste percurso.

Por fim, resta-me agradecer à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, pelas condições proporcionadas para que eu pudesse fazer esta dissertação.

Página deixada propositadamente em branco

RESUMO

A preocupação em aumentar a eficiência energética tem provocado uma evolução tecnológica significativa, induzida em parte por imposição legislativa. No entanto, subsiste um grande potencial de melhoria por alteração dos comportamentos dos consumidores, que pode ser parcialmente satisfeito atuando ativamente na educação, nomeadamente junto das camadas mais jovens da população, nas escolas, de maneira a promover a conservação da energia nos edifícios.

O trabalho descrito nesta dissertação pretendeu assim conhecer melhor a possível influência das decisões individuais dos utilizadores sobre o consumo energético de um edifício, e os seus efeitos no edifício escolar em estudo.

Para este efeito, foi feita uma simulação dinâmica de um edifício escolar, procurando caracterizar condições de conforto e outras condicionantes dos comportamentos, assim como efetuar recomendações e propostas de melhoria.

Como síntese, é de destacar que o alívio de 1°C nos *Set-Points* de temperatura (19°C para aquecimento e 26°C para arrefecimento), na climatização, faz com que se possa reduzir os consumos energéticos de forma bastante significativa, podendo atingir uma redução dos encargos anuais em cerca de 7%. Por outro lado, o agravamento de 1°C nos *Set-Points* de climatização (21°C para aquecimento e 24°C para arrefecimento) faz com que os consumos de energia aumentem, provocando um aumento de cerca de 11% nos encargos anuais. A diminuição da utilização dos equipamentos pode atingir uma redução na ordem de 8%, relativamente aos encargos anuais com energia, o que é uma elevada percentagem. Com comportamentos mais eficientes é possível reduzir os gastos anuais com a iluminação, não de maneira tão significativa economicamente, mas ainda assim com valores consideráveis, em cerca de 1%. Relativamente ao sombreamento verifica-se que com um correto acionamento dos estores exteriores, os ocupantes não têm tanta necessidade de recorrer às cortinas interiores, para manter as condições de conforto e os encargos anuais são menores.

Palavras-chave: eficiência energética; consumos energéticos; simulação dinâmica; caracterização de comportamentos.

Página deixada propositadamente em branco

ABSTRACT

The concern to increase energy efficiency has led to significant technological developments, induced in part by legislative imposition. However, there remains a great potential for improvement by changing consumer behaviour, which can be partially satisfied by actively acting in education, particularly among the younger layers of the population, in schools, in order to promote energy conservation in buildings.

The work described in this dissertation thus wanted to better understand the possible influence of individual user decisions on the energy consumption of a building, and its effects on the school building under study.

For this purpose, a dynamic simulation of a school building was made, seeking to characterize comfort conditions and other behavior conditions, as well as make recommendations and proposals for improvement.

As a summary, it should be noted that the relief of 1°C in the Temperature Set-Points (19°C for heating and 26°C for cooling), in air conditioning, reduce energy consumption in a significant way and can achieve a reduction in annual costs by around 7%. On the other hand, the 1°C worsening in the Air Conditioning Set-Points (21°C for heating and 24°C for cooling) causes energy consumption to increase, causing an increase of about 11% in annual costs. The decrease in the use of equipment can achieve savings of around 8%, which is a high percentage in relation to annual energy costs. With more efficient behavior, it is possible to reduce annual spending on lighting, not as economically significant, but still with considerable values, at about 1%. With regard to shading, it can be seen that with the correct activation of the external blinds, the occupants have less need to use the internal blinds to maintain comfort conditions, and the annual costs are lower.

Keywords: energy efficiency; energy consumption; dynamic simulation; behavior characterization.

Página deixada propositadamente em branco

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Interface gráfica do Open Studio.	25
Figura 3.2: Interface Sketchup.....	26
Figura 3.3: Esquema síntese dos utilizadores e graus de liberdade.	31
Figura 3.4: Perfil horário <i>Set-Point</i> de arrefecimento.	33
Figura 4.1: Localização do Edifício D do campus 2 [□]	35
Figura 4.2: Bloco de teste modelado no Sketchup.	36
Figura 4.3: Temperaturas mensais de Leiria [□]	37
Figura 4.4: Bloco de teste ilustrado por zonas térmicas.	40
Figura 4.5: Perfil de ocupação sala de aula e corredores.....	43
Figura 4.6: Perfil de ocupação de gabinetes de docentes.	43
Figura 4.7: Perfil de iluminação.	44
Figura 4.8: Perfil de equipamentos.....	44
Figura 4.9: Ciclo de água quente.....	46
Figura 4.10: Ciclo de água fria.	46
Figura 5.1: Distribuição de consumos por utilização final – Cenário Base.	50
Figura 5.2: Distribuição de ganhos térmicos internos – Cenário Base.....	51
Figura 5.3: Distribuição de perdas térmicas internas – Cenário Base.	52
Figura 5.4: Diagrama de carga anual [kW] – Cenário Base.....	52
Figura 5.5: Diagrama anual de gás natural [kW] – Cenário Base.	53
Figura 5.6: Temperatura outubro – P-1_Corredores.	54
Figura 5.7: Temperatura julho – P-1_Corredores.....	55
Figura 5.8: Temperatura dezembro – P-1_Corredores.	56

Página deixada propositadamente em branco

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Áreas pisos bloco de teste.....	36
Tabela 4.2: Características construtivas detalhadas.	38
Tabela 4.3: Zonas térmicas definidas.	41
Tabela 4.4: Cargas térmicas.	42
Tabela 5.1: Consumos anuais e custos – Cenário Base.....	50
Tabela 5.2: Redução anual – Alteração dos <i>Set-Points</i> da climatização (19°C e 26°C).	57
Tabela 5.3: Redução anual – Alteração dos <i>Set-Points</i> da climatização (21°C e 24°C).	58
Tabela 5.4: Redução anual – Alteração da utilização da iluminação (0,9 para 1).....	59
Tabela 5.5: Redução anual – Alteração da utilização da iluminação (0,9 para 0,8).....	59
Tabela 5.6: Redução anual – Alteração da utilização dos equipamentos (0,8 para 1).	60
Tabela 5.7: Redução anual – Alteração da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6).	61
Tabela 5.8: Redução anual – Com sombreamento exterior.....	61
Tabela 5.9: Redução anual – Com sombreamento interior.	62
Tabela 5.10: Redução anual – Conjugação dos comportamentos mais eficientes.	63

Página deixada propositadamente em branco

LISTA DE SIGLAS

3D – Três dimensões;

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

ASHRAE – Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado;

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;

BPS – Building Performance Simulation;

CFL – Lâmpada fluorescente compacta;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

EE – Eficiência Energética;

EUA – Estados Unidos da América

g – Fator solar;

IPL – Instituto Politécnico de Leiria;

ITE – Informação Técnica de Edifícios;

IVA – Imposto sobre o valor acrescentado;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

PT – Posto de Transformação;

QGE – Quadro Geral do Edifício;

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

U – Coeficiente de Transmissão Térmica;

UPS – Unidade de alimentação elétrica ininterrupta;

UTA – Unidade de Tratamento de Ar.

Página deixada propositadamente em branco

Índice

ORIGINALIDADE E DIREITOS DE AUTOR	i
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Guia de leitura.....	2
2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....	5
2.1. Modelos de consumos.....	5
2.2. Caracterização de consumos	6
2.3. Caracterização de comportamentos	7
2.4. Estratégias para alterar comportamentos	11
2.4.1. Educação.....	11
2.4.2. Mecanismos de <i>feedback</i>	11
2.4.3. Gamificação.....	14
2.5. Estudos sobre influência de comportamentos em edifícios de serviços	15
3. PROPOSTA DE METODOLOGIA	23
3.1. Simulação dinâmica.....	24
3.1.1. Open Studio	24
3.1.2. Sketchup – Modelação 3D.....	25
3.1.3. Dados climáticos	26
3.1.4. Características construtivas	27
3.1.5. Zonas térmicas.....	28
3.1.6. Cargas térmicas.....	28

3.1.7.	Perfis horários.....	28
3.1.8.	Sistemas AVAC.....	29
3.1.9.	Validação do modelo de simulação.....	29
3.2.	Análise de comportamentos.....	30
4.	ESTUDO DE CASO.....	35
4.1.	Caracterização geral do edifício em estudo.....	35
4.2.	Dados Climáticos.....	37
4.3.	Características construtivas.....	38
4.4.	Zonas térmicas.....	40
4.5.	Cargas térmicas.....	42
4.6.	Perfis horários de utilização.....	43
4.6.1.	Perfis de ocupação.....	43
4.6.2.	Perfis de iluminação.....	44
4.6.3.	Perfis de equipamentos.....	44
4.7.	Sistemas AVAC.....	45
4.8.	Validação do modelo de simulação.....	46
5.	ANÁLISE DE DADOS.....	49
5.1.	Cenário base em simulação.....	49
5.2.	Comportamentos simulados.....	57
5.2.1.	Alteração dos <i>Set-points</i> da climatização (19°C e 26°C).....	57
5.2.2.	Alteração dos <i>Set-points</i> da climatização (21°C e 24°C).....	58
5.2.3.	Aumento da utilização da iluminação (0,9 para 1).....	58
5.2.4.	Diminuição da utilização da iluminação (0,9 para 0,8).....	59
5.2.5.	Aumento da utilização dos equipamentos (0,8 para 1).....	60
5.2.6.	Diminuição da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6).....	60
5.2.7.	Ativação de estores de sombreamento exterior.....	61
5.2.8.	Ativação de cortinas de sombreamento interior.....	61
5.2.9.	Conjugação dos comportamentos mais eficientes.....	62
5.3.	Análise geral dos resultados.....	63
6.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	65
6.1.	Conclusões.....	65

6.2. Trabalho futuro	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	73
Anexo A – Especificações Técnicas.....	73
Anexo B – Resultados da Simulação.....	74

Página deixada propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Esta dissertação insere-se dentro do tema da eficiência energética em edifícios de serviços, numa perspetiva de analisar os comportamentos e a sua influência nos consumos energéticos. É pretendido conhecer melhor a possível influência das decisões individuais dos utilizadores sobre o consumo energético de um edifício, e os graus de liberdade e os seus efeitos no edifício escolar em estudo.

Atualmente existe muita preocupação com as questões ambientais, nomeadamente sobre as emissões de CO₂. Emissões essas que também são responsáveis pelas alterações climáticas. Sabe-se que na produção termoelétrica, as emissões de CO₂ têm um grande peso e como tal há interesse em consciencializar as pessoas para reduzirem os consumos elétricos, dentro do possível.

A preocupação em aumentar a eficiência energética tem provocado uma evolução tecnológica significativa, induzida em parte por imposição legislativa. No entanto, subsiste um grande potencial de melhoria por alteração dos comportamentos dos consumidores, que pode ser parcialmente satisfeito atuando ativamente na educação, nomeadamente junto das camadas mais jovens da população, nas escolas, de maneira a promover a conservação da energia nos edifícios. O facto de haver ainda pouca informação acerca deste tema, também motiva a investigação presente nesta dissertação.

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como principais objetivos:

- Análise de comportamentos e sua influência no consumo energético do edifício estudado.
- Análise de condições de conforto e outras condicionantes dos comportamentos.
- Recomendações e propostas de atuação.

Com o trabalho descrito nesta dissertação pretendeu-se assim fazer o levantamento das cargas presentes no edifício e também compreender o modo como os ocupantes se comportam, de maneira a conseguir prever de certo modo os comportamentos praticados. Após a análise de resultados, será abordada a caracterização de condições de conforto, que é um assunto que está

lado a lado com a eficiência energética e a redução de consumos. Para se poder atuar de forma a consciencializar os ocupantes de um edifício para a eficiência energética que, de um modo geral, se vai conseguindo através da redução de consumos, é necessário ter em conta as condições de conforto. Neste sentido, interessa saber se os ocupantes estão dispostos a alterar algum tipo de condições de conforto, com vista a uma melhor eficiência energética do edifício.

1.3. Guia de leitura

No capítulo seguinte aborda-se em primeiro lugar modelos de consumos e a base teórica para as diferentes aproximações que podem ser feitas num estudo sobre os consumos energéticos dos consumidores domésticos. Em segundo lugar, apresenta-se a caracterização de consumos, onde se quantificam os consumos dos diversos setores de uma habitação. Em terceiro lugar é apresentada uma abordagem à caracterização de comportamentos. Em quarto lugar são apresentadas estratégias para alterar comportamentos, que se dividem em três secções. São abordadas estratégias relacionadas com a educação, mecanismos de *feedback*, como programas de eficiência energética e o seu efeito na alteração de comportamentos e a gamificação, que pode ser considerada como a utilização de elementos de jogos para incentivar a poupança de energia.

No capítulo 3 é descrita toda a metodologia que serviu de base para poder orientar e desenvolver o trabalho. São distinguidas duas vertentes. É explicado genericamente as etapas para a construção de uma simulação dinâmica, abordando os *softwares* e dados necessários, até à validação do modelo de simulação. Na segunda vertente procura-se explicar quais os tipos de utilizadores no edifício assim como os graus de liberdade de maneira a perceber quais os comportamentos que poderão fazer sentido simular.

No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso, em concreto, caracterizando o edifício e apresentando as particularidades que são relevantes para se configurar a simulação dinâmica.

No capítulo 5 são apresentados os dados obtidos, considerando um cenário base para, de seguida, poder fazer a comparação com as simulações dos diversos comportamentos.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais assim como recomendações e propostas de melhoria. Também são introduzidos alguns temas para um possível trabalho futuro, com vista à melhoria do conhecimento, perante o tema de estudo principal desta dissertação.

No final são apresentadas as referências bibliográficas e de seguida os anexos.

Página deixada propositadamente em branco

2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo pretende-se analisar o estado da arte relativamente à influência do comportamento dos utilizadores na utilização da energia, em edifícios de serviços, assim como algumas técnicas utilizadas no sentido de consciencializar para a redução dos consumos e para eficiência energética.

2.1. Modelos de consumos

Swan e Ugursal (2009) realizaram um estudo que consiste na revisão de técnicas de modelação relativamente ao uso final de energia no setor residencial. O objetivo deste estudo consistiu em apresentar as técnicas de modelação de consumos de uso final de energia existentes e atualizadas. Foram apresentadas duas técnicas mais gerais que são a abordagem *top-down* e a abordagem *bottom-up*.

Uma abordagem *bottom-up* tem como base o consumo estimado de um conjunto de casas individuais ao nível regional e nacional. Esta abordagem faz-se recorrendo a modelos de engenharia ou a determinações estatísticas para determinar os consumos elementares. O método estatístico baseia-se nos dados de faturação dos fornecedores de energia, cuja desagregação por uso final permite contabilizar o comportamento dos consumidores. Com o método estatístico consegue-se determinar a procura de energia por usos finais, de acordo com os dados de faturação de energia. Relativamente ao método da engenharia, este tem como ponto de partida informações detalhadas sobre as habitações e não depende de valores históricos, mas podem ser utilizados para calibração. Com esta técnica consegue-se calcular explicitamente o consumo de energia de usos finais, com base em informações detalhadas de um conjunto representativo de habitações. Existe também a capacidade de determinar o impacto de novas tecnologias.

A abordagem *top-down* identifica o setor residencial como um todo, não especificando os usos finais dos utilizadores. Esta técnica tem como base indicadores macroeconómicos como o preço da energia, o rendimento dos utilizadores, o ritmo de desenvolvimento da tecnologia e o clima. Em suma, esta técnica consegue obter considerações relevantes ao nível do fornecimento de energia, porque tem em conta o histórico do consumo de energia. Cada uma das técnicas apresentadas tem aplicabilidades diferentes, e deve ser usada de acordo com o objetivo pretendido.

Wiesmann *et al.* (2011) fizeram um estudo relativo ao consumo residencial de energia em Portugal, com foco nos resultados dos modelos *top-down* e *bottom-up*. Este estudo teve como

objetivo analisar o consumo elétrico de energia no setor residencial português, recorrendo a uma análise de regressão multivariada. Para tal foram testadas variáveis que descrevem as características do agregado familiar e da habitação. Foram feitas duas abordagens. Uma abordagem a um nível mais agregado, por município, denominada *top-down* para o ano 2001, e outra a um nível individual de agregados familiares, *bottom-up*, com base no inquérito à despesa do consumidor português entre 2005 e 2006. Para pôr em prática os dois métodos mencionados, foi utilizada uma regressão por mínimos quadrados ordinários, em que a variável dependente é o logaritmo natural do consumo de eletricidade *per capita*. O rendimento, o número de pessoas por agregado familiar e a idade da habitação são variáveis que foram tidas em conta para as duas abordagens. Na abordagem *bottom-up* tiveram-se em conta variáveis como o número de eletrodomésticos na habitação, uma variável modelo para a presença de crianças em casa, uma variável modelo para o tipo de ocupação, a área útil, o tipo de habitação, o nível de urbanização e variáveis modelo para diferentes regiões. Pode-se constatar que as famílias com mais elementos consomem menos energia *per capita*. As habitações urbanas consomem mais energia *per capita* do que as habitações rurais. No modelo *top-down*, em regiões mais quentes os agregados familiares consomem menos eletricidade *per capita* do que em climas mais moderados. Grande parte dos parâmetros em estudo são comparáveis e estão em concordância nos dois modelos utilizados. A procura de eletricidade em Portugal é praticamente inelástica relativamente ao rendimento para as duas abordagens estudadas. Contudo, à medida que se acrescentam mais variáveis de controlo existe uma descida mais acentuada da elasticidade no modelo *top-down*.

2.2. Caracterização de consumos

Almeida *et al.* (2011) fizeram um estudo que visou caracterizar o consumo residencial de eletricidade na UE, apontando potenciais poupanças e políticas específicas de recomendação. Este estudo pretendeu quantificar a possível poupança de energia através da utilização de eletrodomésticos mais eficientes, adotando comportamentos mais adequados e reduzindo os consumos em espera (*standby*). Foi também um objetivo identificar políticas e estratégias que possibilitem a transformação de mercado, promovendo a eficiência energética nos usos finais do setor residencial. Foi feito o monitoramento de energia em 12 países da UE e pesquisas sobre o estilo de vida, incluindo auditorias a 100 domicílios e 500 questionários detalhados em cada país. Os principais tipos de cargas investigadas foram computadores e equipamentos associados, novos equipamentos de entretenimento, cargas em espera (*standby*), e cargas que

estão a mudar, como a iluminação e o ar condicionado. Para permitir a gravação dos dados do consumo de energia por cada habitação, foram utilizados analisadores de energia durante um período de duas semanas. Os analisadores gravaram amostragens com um período de integração de 10 minutos. Foram utilizados medidores de consumo específicos para as lâmpadas com maior taxa de utilização em cada habitação. Os autores constataram que a refrigeração, incluindo frigoríficos e congeladores, representa 28% do consumo de eletricidade residencial. A iluminação também representa uma grande parte do consumo de energia com 18%. Equipamentos de entretenimento representam 10% do consumo de energia. Estes valores são referentes ao total de energia por habitação, onde não está contemplado o aquecimento do espaço e da água quente sanitária. Foi estimado que o potencial de poupança com a tecnologia existente e adotando comportamentos mais adequados pode chegar a 50%, excluindo aquecimento de espaço e água. As tecnologias de informação e cargas de entretenimento são dos principais contribuintes para a procura de energia. Relativamente às políticas específicas que se poderão adotar, pode-se considerar a promoção de campanhas para a eficiência energética e incentivos financeiros para trocar equipamentos por outros mais eficientes energeticamente. A apresentação de propostas para promover a mudança comportamental na seleção e utilização de equipamentos também poderá ser vantajosa.

2.3.Caracterização de comportamentos

Lopes *et al.* (2012) fizeram um estudo de revisão sobre os comportamentos e a sua influência nos consumos energéticos como promotores de eficiência energética. Os objetivos desse estudo foram quantificar o potencial de poupança energética, caracterizar estratégias de modelação de comportamento nos consumos energéticos e identificar potenciais lacunas na investigação. Os métodos estudados foram abordagens qualitativas das ciências sociais (estruturas de comportamentos), abordagens quantitativas da engenharia e economia para quantificar o consumo energético (modelos de energia) e abordagens híbridas que integram várias dimensões relativamente à influência dos comportamentos nos consumos energéticos (modelação de comportamentos e consumos). As ciências sociais procuram obter explicações para caracterizar os comportamentos perante os consumos energéticos e utilizam maioritariamente métodos qualitativos, como por exemplo entrevistas ou inquéritos. As aproximações da engenharia procuram quantificar consumos e possíveis poupanças energéticas com o objetivo de criar políticas adequadas, e utilizam métodos quantitativos, como simulações e medições de consumos. Foi concluído que as maiores falhas são referidas como estando relacionadas com

questões metodológicas, como o enquadramento teórico de referência, a segmentação alvo e a abordagem global. Segundo estes autores, existem poucos estudos que quantificam o impacto dos comportamentos nos consumos energéticos, traduzidos na poupança potencial de energia e redução de emissões de CO₂ nos edifícios de serviços. A abordagem híbrida, que integra as abordagens qualitativas e quantitativas, é considerada a mais relevante, conseguindo conjugar o mais importante das duas áreas de estudo.

Frederiks *et al.* (2015) fizeram um trabalho de revisão da literatura sobre os fatores sociodemográficos e psicológicos determinantes relativamente ao consumo residencial de energia. O objetivo deste trabalho foi relacionar o consumo e a poupança de energia com os fatores sociodemográficos e psicológicos. Relativamente aos fatores sociodemográficos, tiveram-se em conta o rendimento do agregado familiar, tipo e tamanho da habitação, ser proprietário da habitação, composição e tamanho da família. Nos fatores psicológicos tiveram-se em consideração crenças, valores, atitudes, objetivos, motivações, intensões, normas pessoais e sociais. Os autores concluíram que existe um impacto considerável dos fatores sociodemográficos no consumo de energia e que os fatores psicológicos têm pouco impacto no consumo de energia. Famílias com um rendimento médio são as que potencialmente podem poupar mais energia. Geralmente as famílias com baixo rendimento já consomem pouca energia, por necessidade, logo não conseguem reduzir muito mais. As famílias com rendimento alto geralmente não têm motivação para reduzir os consumos.

No mesmo ano, Wilson *et al.* (2015) fizeram um estudo onde se pretendem identificar motivações dos proprietários para reabilitarem as habitações com vista à eficiência energética. Para tal foi feita uma pesquisa comportamental, de modo a caracterizar os comportamentos e decisões tomadas pelos proprietários. A pesquisa comportamental focou-se nas motivações e barreiras que contribuem para as decisões de renovação com objetivo da eficiência energética. Também foram tidos em conta fatores pessoais e contextuais, relacionados com atitudes e crenças. Os autores concluíram que as decisões de renovação estão ligadas às condições de vida quotidiana. Existem alguns incentivos e instruções que remetem para a eficiência energética, mas, no geral, os proprietários ainda são muito resistentes no que respeita a fazer alterações estruturais nos sistemas de aquecimento, janelas e portas. Os autores constataram que existem algumas limitações quanto à reabilitação das habitações que se prendem muitas vezes com o enquadramento financeiro das famílias.

Pothitou *et al.* (2017) fizeram um estudo que procurou relacionar o comportamento, atitude e hábitos energéticos com a predisposição e conhecimento ambiental. O objetivo deste estudo foi

comparar a predisposição ambiental com hábitos e comportamentos eficientes energeticamente, relacionar o nível de educação e o rendimento do agregado familiar com as restantes variáveis em estudo e comparar conservação da energia em casa e no emprego. Para tal os autores desenvolveram um questionário com cinco secções: predisposição ambiental e conhecimento; características técnicas da habitação; eletrodomésticos utilizados; práticas energéticas individuais; demografia da população. A amostra em estudo teve como base 161 funcionários de uma instituição de ensino que trabalharam em fevereiro de 2014, conseguindo-se obter 68 questionários válidos para análise. Foi utilizada a análise estatística com SPSS ^[1], *Statistical Package for the Social Sciences*, de modo a correlacionar as diferentes variáveis em estudo. Foi utilizada a classificação de Spearman para correlacionar a predisposição e o conhecimento com o comportamento, atitudes e hábitos energéticos, e testes qui-quadrado e exato de Fischer para avaliar a influência do nível de educação e do rendimento do agregado familiar nas dimensões do comportamento pró-ambiental. Segundo estes autores foram reveladas correlações entre o conhecimento/predisposição ambiental e os comportamentos energéticos, mas não se consegue associar estatisticamente o nível de educação com os comportamentos energéticos. Em investigações adicionais, descobriu-se que o rendimento do agregado familiar estava correlacionado com o conhecimento relativamente às emissões de gases de efeito estufa e ao número de computadores e chuveiros elétricos instalados por família. Os autores confirmaram que existe uma correlação inversa entre o conhecimento sobre poupança de energia e a perceção do inconveniente da redução dos consumos, que pode resultar na alteração dos níveis de conforto. Por vezes as pessoas têm conhecimento sobre algumas técnicas de poupança de energia, mas não têm consciência do impacto que pode ter a alteração nos níveis de conforto.

Tilov *et al.* (2019) realizaram um estudo relativo às interações na procura de energia nos agregados familiares da Suíça. Os objetivos deste estudo passaram por uma abordagem de equações simultâneas para estudar as trocas e inter-relações entre o consumo de energia direta e incorporada; uma análise simultânea dos efeitos do rendimento sobre a energia incorporada e direta, de modo a explicar as possíveis correlações entre fatores não observáveis nos dois domínios; uma avaliação do impacto das políticas energéticas relativamente ao uso direto de energia por parte dos agregados familiares na Suíça. Foi usada informação de 3066 agregados familiares em 2011. A energia incorporada é a energia associada aos bens e serviços não energéticos, geralmente entendida como o consumo de energia necessário para a produção de um produto. A principal variável tida em conta neste estudo foi o rendimento do agregado

¹ <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>

familiar. Tiveram-se em conta as atitudes direcionadas para a proteção do ambiente e as atitudes com vista ao investimento em bens de longa duração com eficiência energética. Os autores concluíram que o consumo direto de energia e a energia incorporada são regidas pelos mesmos determinantes. A elasticidade do rendimento relativamente à energia incorporada é muito maior do que relativamente ao consumo direto de energia, sugerindo que as respostas à procura de bens não energéticos são relevantes para as políticas energéticas globais. Numa perspetiva política, existindo uma grande parte de bens não energéticos no consumo total de energia, esse facto pode levar a intervenções específicas para a procura de energia incorporada, como impostos e rótulos de pegada de carbono.

No mesmo ano, Xu e Chen (2019) publicaram um estudo que visou analisar a justiça energética nos Estados Unidos da América (EUA) perante os agregados familiares de baixo rendimento. Pretendeu-se com este estudo explorar a justiça energética nos EUA, com base na adequação dos programas de assistência energética e no potencial de melhoria da eficiência energética, e verificar o comportamento e a flexibilidade de agregados familiares com baixo rendimento nos EUA, para a eficiência energética. Foram tidos em consideração dois inquéritos nacionais representativos, realizados pelo governo dos EUA: o inquérito sobre o Consumo de Energia Residencial (em 2015) e o inquérito sobre o Uso do Tempo na América (em 2016). Os agregados familiares foram categorizados como sendo de baixo, médio ou alto rendimento numa primeira fase do estudo. Os dados do inquérito sobre o Consumo de Energia Residencial foram obtidos através de formulários *web* e por correio. As questões associadas eram direcionadas para o aquecimento e arrefecimento da habitação, eletrodomésticos, e perfil de carga. Os dados do inquérito sobre o Uso do Tempo na América foram obtidos através de entrevistas telefónicas a um membro de cada agregado familiar. Esta pesquisa focou-se em determinar quais as atividades pessoais de cada agregado familiar ao longo do dia, como o trabalho, a educação e o entretenimento. Os autores concluíram que cerca de 40% dos agregados familiares de baixo rendimento limitavam as suas despesas apenas para pagar as contas de eletricidade. Os agregados familiares de baixo rendimento têm menores taxas de participação em programas de EE, têm mais tendência para serem inquilinos e têm um diagrama de carga relativamente inflexível. Dois quintos dos agregados familiares de baixo rendimento não possuem máquina de lavar roupa, máquina de secar roupa e máquina de lavar louça. No aquecimento e arrefecimento de espaços, o número de agregados familiares que programam os termostatos, em vez de deixarem a uma temperatura fixa, aumenta à medida que o rendimento também aumenta. Segundo os autores, a justiça energética ainda é um problema sério nos EUA

e muitos programas de assistência energética estão a deixar desfavorecidos os agregados familiares de baixo rendimento.

2.4. Estratégias para alterar comportamentos

2.4.1. Educação

Gill e Lang (2018) realizaram um estudo relativamente à conservação da energia em casa através da educação na escola. O objetivo deste estudo era verificar o impacto de um programa de educação energética numa escola privada nos Estados Unidos relativamente à conservação da energia e redução de consumos domésticos. No sentido da educação sobre energia, foram dadas três aulas na escola, entre 2015 e 2016. Analisaram-se dois grupos distintos. Um grupo de 50 agregados familiares que contêm estudantes que frequentaram aulas sobre energia e outro grupo de 1485 agregados familiares com estudantes não participantes nas referidas aulas. Foram colocados medidores de energia nas habitações a monitorizar entre julho de 2014 e outubro de 2016. Compararam-se os dados dos dois grupos para os dias das aulas e para os sete dias seguintes. Os autores concluíram que, tendencialmente, existe uma mudança de comportamento em casa, fomentada através das aulas. No entanto, embora tenha existido uma redução de cerca de 8 % do consumo no dia da aula, foi registado um aumento de aproximadamente o mesmo valor, após dois dias da aula. Os autores sugerem assim que apenas se conseguiu um adiamento no consumo de alguns equipamentos, não tendo sido produzidos resultados duradouros.

2.4.2. Mecanismos de *feedback*

Wood e Newborough (2003) fizeram um estudo focado no comportamento dos consumidores domésticos, no Reino Unido, com a utilização de dispositivos indicadores do consumo energético. O principal objetivo deste estudo foi testar o efeito dos indicadores de consumo energético perante os utilizadores de equipamentos de uso final no setor residencial. Foram selecionados 44 agregados familiares e formaram-se 4 grupos (com número semelhante de agregados familiares), que foram monitorizados durante 1 ano, usando dispositivos indicadores do consumo de energia. O grupo 1, considerado grupo de controlo, foi utilizado para quantificar o consumo de energia para cozinhar. O grupo 2 recebeu faturas bimensais, como usualmente. O grupo 3 recebeu faturas bimensais com informações e gráficos relativamente ao ano em estudo e ao ano anterior. O grupo 4 recebeu o mesmo tipo de faturas que o grupo 3, com a adição de sugestões sobre a poupança energética. Chegou-se à conclusão, relativamente ao

grupo 1 que os fatores que mais influenciam o consumo de energia na cozinha são o tamanho do agregado familiar, a utilização de micro-ondas e a preparação de grandes refeições. Os restantes grupos conseguiram reduzir os consumos na cozinha. No grupo 2, 3 em 12 agregados familiares conseguiram poupanças superiores a 10%. No grupo 3, 7 em 10 agregados familiares obtiveram poupanças superiores a 10% e metade do grupo conseguiu poupanças de pelo menos 23%. No grupo 4, 4 em 9 agregados familiares conseguiram uma poupança superior a 10% e 1 conseguiu uma poupança superior a 20%. Neste grupo, os dados sugerem que as pessoas se sentiram sobrecarregadas de informação com a adição das sugestões. No geral, 14 em 31 famílias atingiram poupanças superiores a 10%. Em média houve uma redução de 15% para as famílias que passaram a usar os indicadores de consumo energético.

Dando continuidade, os mesmos autores, Wood e Newborough (2007), fizeram um estudo onde abordaram a questão da mudança de comportamento através da introdução de dispositivos com informações do uso de energia em casas inteligentes. O objetivo deste estudo foi analisar em que medida a monitorização de consumos energéticos através de dispositivos de medição inteligentes e a sua apresentação em mostradores, influencia o comportamento dos consumidores residenciais. Para tal foi avaliada a introdução de mostradores locais (cada divisão da casa) e/ou centrais com informações relativas ao consumo energético da habitação, na sua globalidade. As informações a apresentar nos mostradores podem ser: valores de energia consumida em kWh; custo dos kWh consumidos; gráficos circulares e/ou de barras com a energia consumida por vários setores da habitação. Pode-se constatar que a informação deve estar categorizada nos mostradores de modo a motivar para a eficiência energética, para que se perceba quais as aplicações onde se gasta mais energia, por exemplo. Um fator que motiva bastante a poupança energética é a redução do encargo monetário, mas para tal deve ser apresentado nos mostradores, para que os utilizadores se apercebam efetivamente. Contudo a apresentação do valor monetário de poupança em dispositivos locais revela ser pouco útil, devido à poupança individual ser geralmente reduzida. Quando o valor monetário é apresentado nos mostradores centrais, provoca um efeito muito mais significativo. Dados com valores numéricos têm sido apresentados nos mostradores locais enquanto os gráficos de barras têm sido mais utilizados em mostradores centrais. As informações nos mostradores centrais não precisam de ser atualizadas tantas vezes como nos mostradores locais, porque o consumo global da habitação não varia tanto como cada carga individualmente.

Yue *et al.* (2016) produziram um estudo relacionado com a investigação do efeito dos resultados na conservação da energia relativamente a habitações urbanas. O objetivo deste estudo era analisar o efeito do *feedback* na conservação de energia. Para tal foi criado um modelo teórico

e foram feitos questionários em papel e em formato digital, de modo a cruzar dados e incoerências. As pesquisas foram feitas sobre residentes urbanos na região Este da China. O modelo teórico criado divide-se em quatro tipos: A – Ajuste de hábitos de comportamento, com vista à redução do consumo de energia; B – Comportamento no limiar da qualidade, que consiste em sacrificar ligeiramente a qualidade de vida ou o conforto; C – Comportamento de investimento na eficiência, que está relacionado com a compra de algum equipamento mais eficiente energeticamente; D – Comportamento de facilitação interpessoal, que consiste em promover a poupança de energia em outros. Chegou-se à conclusão de que a maior parte dos consumidores identifica-se mais com tipo A. O tipo D é o menos praticado pelos consumidores, talvez por ser o mais exigente. De acordo com os resultados de uma análise de regressão linear, o nível de consciencialização da poupança económica produz um reforço positivo na intenção de comportamento de conservação de energia, para o tipo A, B e C. A política de fatores situacionais (norma social de conservação de energia, preço da energia, popularização da política de conservação da energia) tem significado na intenção da alteração dos comportamentos. Existe ainda espaço para promover indiretamente o efeito de *feedback* dos resultados da perceção pela política de fatores situacionais.

Drivas *et al.* (2019) fizeram um estudo sobre o efeito dos programas de eficiência energética na Grécia nos agregados familiares de baixo rendimento. Este estudo teve como objetivo verificar as melhorias comportamentais resultantes do programa de apoio à eficiência energética na Grécia entre 2011 e 2015, onde participaram 50000 agregados familiares. Foi feita uma abordagem extensiva, que consiste na verificação do aumento da participação dos agregados familiares de baixo rendimento nos programas de eficiência energética, fomentado através de incentivos como subsídios. Foi também feita uma abordagem intensiva, que consiste na verificação do aumento do investimento em eficiência energética por parte dos agregados familiares de baixo rendimento após esta mudança, a partir da qual começou a haver incentivos. Para tal, foi analisado o comportamento de cada agregado familiar antes e depois da obtenção de subsídios dos programas de eficiência energética. Os dados individuais dos participantes foram obtidos do fundo helénico de empreendedorismo e desenvolvimento. Os dados sobre as residências em estudo foram fornecidos pela secretaria geral de sistemas de informação. O código postal da habitação e o rendimento do agregado familiar foram variáveis a ter em conta nesta análise. Os autores chegaram à conclusão de que todos os agregados familiares aumentaram a participação nos programas de eficiência energética após a mudança. Houve um aumento mais significativo da participação por parte dos agregados familiares de baixo rendimento, quando comparado com os agregados familiares de alto rendimento, o que leva a

constatar que os incentivos tiveram o efeito previsto. Pode-se concluir também, de acordo com os autores, que os agregados familiares de baixo rendimento começaram a investir mais dinheiro em eficiência energética, principalmente em janelas e isolamento térmico.

2.4.3. Gamificação

Peham *et al.* (2014) estudaram o impacto da aplicação para dispositivos móvel, “ecoGator”, para a melhoria da eficiência energética na Europa. O objetivo deste estudo foi testar o impacto da aplicação na consciencialização para a eficiência energética no setor residencial. Os objetivos da aplicação (*App*) foram: auxiliar os consumidores na escolha de equipamentos energeticamente eficientes; aumentar a consciencialização para as compras sustentáveis e energeticamente eficientes e uso dos equipamentos; amplificar o sucesso de outras iniciativas reconhecidas que promovam a aquisição de produtos de alta qualidade, energeticamente eficientes e ecológicos perante a UE, levando a informação ao ponto de venda. A estratégia de gamificação passa pela introdução de várias funcionalidades na *App*, como moedas virtuais, pontos, níveis, quadros de registo de classificação no jogo, conquistas, distintivos, desafios e competições, impulso comportamental, entre outros. O público alvo são os consumidores domésticos. A estrutura utilizada divide-se em três partes. Em primeiro lugar um teste diagnóstico onde se verifica como é que a eficiência energética é entendida no agregado familiar. Em segundo lugar as tarefas desempenhadas, onde se responde a perguntas sobre diversas atividades. Em terceiro lugar um questionário posterior, onde as questões são de opinião pessoal e de aspetos de motivação relativamente à gamificação. Os autores concluíram que os utilizadores demonstraram interesse em ter uma *App* que os ajuda na escolha do equipamento mais adequado. Mesmo os utilizadores que não têm por hábito jogar nos *smartphones* aderiram ao “modo dia-a-dia” da aplicação. A *App* “ecoGator” foi avaliada positivamente pelos utilizadores, como sendo útil na aprendizagem sobre a poupança de energia, e de fácil utilização. Contudo, a representação do “ecoGator” como uma ferramenta para promover a consciência do consumidor sobre estilos de vida sustentáveis foi considerada menos conseguida.

Morganti *et al.* (2017) realizaram uma investigação acerca do efeito dos jogos sérios e da gamificação no envolvimento em comportamentos pró-ambientais para a eficiência energética. O objetivo desta investigação foi verificar a importância da gamificação para os comportamentos pró-ambientais e a eficiência energética. Para isso foi feita uma pesquisa de publicações relevantes em diversas bases de dados. Foram identificadas as seguintes áreas de

interesse: educação ambiental; consciencialização do consumo; comportamentos de eficiência energética. Os autores concluíram que alguns estudos revelaram melhorias do comportamento a curto prazo, mas não se mantêm a longo prazo, considerando que a maioria dos estudos testou apenas a usabilidade do jogo, sem fazer uma avaliação. Consideraram ainda importante que os futuros estudos nesta área fossem mais fortes metodologicamente. É ainda sugerido que o *design* do jogo deve ser adaptado de acordo com o tipo de público alvo, de modo a aumentar a taxa de eficácia, e que deve fazer parte da aplicação um funcionamento com recompensas e penalizações de acordo com as respostas do utilizador, de modo a fomentar o interesse. Os jogos sérios têm sido usados em: educação ambiental, consciência de consumo e comportamentos pró-ambientais. Tanto a gamificação como os jogos sérios podem promover a poupança de energia.

No mesmo ano, Johnson *et al.* (2017) fizeram um estudo de revisão sobre o impacto da gamificação e dos jogos sérios na conservação de energia no setor residencial. O objetivo deste estudo foi analisar a literatura existente e verificar o impacto que tem a gamificação e os jogos sérios na redução de consumos energéticos no setor residencial. Foi feita uma análise a 25 estudos, publicados em 26 artigos, relacionados com o tema gamificação e jogos sérios, servindo de base a este estudo. Todos os artigos que se tiveram em consideração são referentes a investigações empíricas. Não foram considerados artigos apenas teóricos, sem dados empíricos. As pesquisas foram feitas em bases de dados eletrónicas relevantes ao nível científico. Os resultados indicam que a gamificação tem importância na redução de consumos e na eficiência energética. Relativamente à experiência do utilizador, foram detetadas evidências empíricas em como houve efeitos positivos relatados em todos os 25 estudos e efeitos negativos em apenas 6. As evidências detetadas, de que a gamificação tem um efeito positivo na redução de consumos, servem também de base para estudos futuros, e não como conclusões definitivas.

2.5. Estudos sobre influência de comportamentos em edifícios de serviços

Neste subcapítulo, serão referenciados e apresentados dois estudos que foram feitos no âmbito da influência de comportamentos em edifícios de serviços.

Hong *et al.*, (2017) desenvolveram um estudo relativamente ao comportamento dos ocupantes nos edifícios e sintetizaram o mesmo em dez questões, que serão descritas de seguida.

Pergunta 1: Quais são os comportamentos específicos dos ocupantes que influenciam o desempenho energético do edifício?

De acordo com os autores, pode-se fazer uma separação entre comportamentos adaptativos e não adaptativos. Os comportamentos adaptativos baseiam-se em ações de resposta dos ocupantes, para ajustar os níveis de conforto no ambiente interior do edifício, como por exemplo, abrir/fechar janelas e persianas, ligar/desligar luzes, ajustar o tipo de roupa. Por outro lado, os comportamentos não adaptativos podem ser considerados como a falta de ação dos ocupantes que se sentem desconfortáveis e a utilização de equipamento externo para melhorar as condições de conforto no interior do edifício.

Pergunta 2: Como é que o comportamento dos ocupantes influencia o desempenho energético de um edifício?

Por exemplo, quando se abre uma janela para renovação do ar interior pode haver um aumento do consumo de energia do sistema de aquecimento, se a temperatura exterior for mais baixa.

Pergunta 3: Como podemos medir o comportamento dos ocupantes para quantificar o seu impacto no desempenho energético do edifício?

Os autores avançam também que se podem implementar técnicas de medição da ocupação, recorrendo a sensores de presença ou de movimento. Também se podem colocar sensores nas janelas e portas que têm em conta a abertura ou fecho das mesmas. O conjunto de sensores utilizados poderá servir de base a uma monitorização dos comportamentos dos ocupantes. Por vezes existe dificuldade em integrar novos sensores com os sistemas existentes nos edifícios e como tal, pode não ser possível utilizar uma técnica direta. Para ultrapassar esta dificuldade podem-se fazer inquéritos diretamente aos ocupantes, de modo a perceber o tipo de comportamentos adotados. Uma limitação dos inquéritos é o facto de as respostas tenderem a ser um pouco mais otimistas do que acontece na realidade, devido a um efeito denominado *Hawthorne effect*, em que as pessoas ficam com a ideia de que estão a ser observadas.

Pergunta 4: Como desenvolvemos modelos de comportamento dos ocupantes para usar na simulação de desempenho do edifício?

Análise estatística de dados e aprendizagem automática podem ser utilizadas.

Pergunta 5: Como é que os modelos de comportamento e as entradas relacionadas geralmente são implementados nos programas BPS (*Building Performance Simulation*)?

Os autores referem que, por exemplo, a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (*ASHRAE*) consegue fornecer horários de ocupação e consumos de energia para diferentes tipos de edifícios. Nestes horários é estabelecida a diferença entre a ocupação nos dias de semana e nos fins de semana. Estes resultados baseiam-se em estudos empíricos.

Pergunta 6: Quais são as principais aplicações dos modelos de comportamento dos ocupantes na investigação de BPS?

Apoio a programas comportamentais e investigação de políticas comportamentais adequadas. Apoio a decisões de construção de edifícios para projetistas, gestores, de modo que o edifício tenha o mínimo de variações de consumos perante as diversas situações de ocupação.

Pergunta 7: Como é que os métodos quantitativos de pesquisa em ciências sociais, como as metodologias de pesquisa, fornecem informações sobre o comportamento dos ocupantes?

Hong *et al.*, (2017) referem que, na construção de inquéritos devem ser usadas palavras simples, de fácil entendimento, evitando que o entrevistado tenha de fazer cálculos para responder.

Pergunta 8: Como é que os fatores sócio-psicológicos podem ajudar os investigadores do comportamento e os formuladores de políticas a entender a eficácia da promoção de estratégias de eficiência energética e contribuir para a investigação interdisciplinar do comportamento?

Os autores avançam que atitudes, crenças e valores podem afetar os comportamentos e é de todo o interesse que se tenha em consideração na análise para obter resultados mais fiáveis.

A consciencialização coletiva de grupos de trabalho demonstrou ser eficaz, obtendo reduções de consumo energético a longo prazo. Para tal os gestores são os elementos-chave para conduzir nesse sentido.

Pergunta 9: Quais são os resultados credíveis da pesquisa realizada até o momento?

De acordo com os autores, o investimento em equipamentos energeticamente eficientes, os programas de consciencialização comportamental e o investimento em sistemas de monitorização e controlo de edifícios.

Pergunta 10: Quais são os principais desafios da investigação do comportamento dos ocupantes no futuro?

Hong *et al.*, (2017) enumeraram os desafios da seguinte maneira:

- Um desafio ou dificuldade é a generalização de comportamentos;
- Ter atenção ao contexto social dos ocupantes;
- Diversidade dos ocupantes (cultura, localização, idade);
- Modelação de comportamentos coletivos em edifícios;
- Integrar a previsão do comportamento dos ocupantes na fase de projeto do edifício.

Recentemente, Bernardo e Martins, (2020) investigaram sobre os aspetos mais relevantes que influenciam os comportamentos em edifícios de serviços. De seguida são apresentados e clarificados os pontos mais relevantes que foram alvos nessa investigação.

Existem vários fatores que afetam o desempenho energético dos edifícios de serviços quando o foco está nos problemas de comportamento dos ocupantes. Por vezes, as estimativas do desempenho energético de um edifício diferem da realidade, porque o comportamento dos ocupantes é difícil de prever. Isto porque existem diversos fatores onde os ocupantes podem intervir, nomeadamente janelas, persianas e algum tipo de controlo de temperatura.

Os autores apresentaram várias maneiras de diagnosticar a influência do comportamento no desempenho energético de edifícios. Foram feitas aproximações para monitorização e aquisição de dados sobre o comportamento dos ocupantes de edifícios, dividindo-se em quatro categorias:

- *In situ monitoring studies*: Monitorização das ações dos ocupantes, como a presença e a qualidade ambiental interior, com recurso a sensores por exemplo.
- *Laboratory experiments*: Construção de um ambiente artificial com vista a ser utilizado por pessoas segundo determinado critério, para que possam ser medidos diferentes níveis de conforto.
- Pesquisas, entrevistas: Os ocupantes respondem a questionários ou entrevistas de modo que se obtenha informação relevante. Este método pode ser conjugado com a aquisição de dados de sensores.
- Experiências de realidade virtual: Expor os participantes a um ambiente virtual e verificar quais as reações para estudar os comportamentos. Ainda só é possível analisar ao nível visual e acústico, não sendo possível verificar o conforto na qualidade do ar interior.

Relativamente à função das decisões de gestão e agentes intermediários no desempenho de edifícios, os autores fazem algumas considerações que se apresentam em seguida. Os gestores dos edifícios analisam as hipóteses de investimento em eficiência energética de modo a reduzir os custos com a energia. É necessário haver uma ponte entre os gestores dos edifícios e os ocupantes, de maneira a verificar as condições de conforto de uma maneira eficiente. Para tal é fundamental a função dos operadores dos edifícios, que têm controlo sobre diversos setores que

consomem grande parte da energia do edifício. Através do trabalho e observação dos operadores dos edifícios, é mais fácil fazer chegar aos gestores as informações das condições de conforto dos ocupantes dos edifícios.

Outro ponto relevante que Bernardo e Martins, (2020) consideram é a função da automação e dos sistemas de controlo existentes nos edifícios, assim como a sua importância. Existem edifícios que podem ter ao mesmo tempo necessidades de aquecimento e arrefecimento devido a fatores como a orientação do edifício o que leva a consumos mais elevados de energia. Um sistema centralizado de automação pode auxiliar, integrando os diversos sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação. Deste modo consegue-se programar atuações automáticas, de acordo com informações adquiridas do ambiente do edifício, através de sensores, evitando uma grande parte das operações de ajustes manual.

São destacados vários desafios relativamente à interação humano-tecnologia, de acordo com os autores.

Os projetistas, por vezes, preocupam-se mais com as exigências dos fabricantes do que com a usabilidade dos utilizadores. Contudo a usabilidade dos sistemas por parte dos ocupantes e operadores dos edifícios é importante, uma vez que se não for de fácil utilização, corre-se o risco de os sistemas não serem utilizados.

Os sistemas centralizados geralmente vêm com um grande número de funcionalidades, sendo que apenas uma pequena parte é utilizada, muitas vezes por falta de formação dos operadores. Outro fator poderá ser a inexistência de um período de comissionamento dos sistemas, de modo a testar todas as funcionalidades durante algum tempo e transmitir informação aos operadores que irão ficar encarregues de lidar com os sistemas.

Futuramente, com as redes inteligentes, os sistemas devem ter a capacidade de fazer ajustes para ir de encontro ao nível de ocupação, a fim de evitar desperdício de energia, por exemplo nos sistemas de aquecimento, arrefecimento e iluminação.

Um assunto que os autores também analisaram foi a interação humano-edifício. Os ocupantes de um edifício tendem a agir de acordo com as condições de conforto desejadas, o que pode não ir de encontro às melhores condições de eficiência energética, por exemplo a abertura das janelas. É de todo o interesse consciencializar os ocupantes para as melhores práticas, contudo

se houver muita pressão e bastantes restrições, por vezes pode gerar um efeito contrário ao desejado.

- Interação humano-edifício e edifícios altamente eficientes.

Quando o projeto destes edifícios não prevê adequadamente a facilidade de interação entre os ocupantes e as tecnologias e/ou sistemas implementados, pode haver uma certa rejeição da utilização do edifício pelos ocupantes.

- Interação humano-edifício centrada no utilizador.

Para haver uma interação proveitosa entre os utilizadores e o edifício, os sistemas devem ser de fácil utilização. Podem adotar-se estratégias para influenciar os ocupantes a realizar determinadas ações tendo em consideração que a motivação e a capacidade dos ocupantes são aspetos fundamentais para a mudança de comportamento.

- Sistema de automação e controlo de um edifício.

Os sistemas de automação e controlo de edifícios, quando são bem operados trazem benefícios, uma vez que eliminam alguns ajustes que poderiam ser manuais, passando a ser automáticos. Existem cargas que não são possíveis de automatizar, as quais devem ser analisadas tendo em consideração o comportamento dos utilizadores. Para que haja um bom controlo do edifício, devem ser analisados estes dois tipos de cargas.

- Operação e manutenção, administração de instalações.

A manutenção dos sistemas de automação e controlo dos edifícios é muito importante até para que os ocupantes dos edifícios se apercebam de alguns procedimentos e possam receber alguns conselhos de consciencialização para a eficiência energética. Quando a manutenção não é feita corretamente, geralmente resulta em falta de condições de conforto que poderão levar a um aumento dos consumos energéticos.

Bernardo e Martins, (2020) concluem que um edifício de serviços deve ser projetado utilizando uma abordagem centrada nos ocupantes, porque a produtividade é maior quando se garantem

as condições de conforto adequadas, tendo sempre em consideração a eficiência energética. A quantificação dos efeitos do comportamento no consumo energético do edifício continua a ser um caso de estudo, uma vez que os valores previstos através de simulações computacionais, ainda não se aproximam dos valores reais medidos, em grande parte das situações.

3. PROPOSTA DE METODOLOGIA

Inicialmente a abordagem planeada passava por uma proximidade maior às pessoas que utilizam o edifício, com a criação de inquéritos e o seu levantamento presencialmente. Tendo algum conhecimento de projetos anteriores, os inquéritos *online*, normalmente não conseguem ter uma aceitação tão elevada como os presenciais. Foi nesse sentido que se planeou, preferencialmente os inquéritos presenciais, de modo a maximizar os dados obtidos.

Devido à pandemia, houve necessidade de reformular alguns aspetos na execução desta dissertação. Com o distanciamento físico exigido entre as pessoas optou-se por não avançar com os inquéritos presenciais.

De modo a encontrar uma solução alternativa, surgiu a hipótese de fazer uma simulação dinâmica de um edifício escolar.

Houve necessidade de proceder ao levantamento da geometria do edifício, características construtivas, sistemas de climatização, dados meteorológicos, perfis de consumos e equipamentos utilizados.

Relativamente aos equipamentos utilizados em sala de aula, foi feita uma visita às salas de aula em estudo, de maneira a registar os equipamentos existentes assim como as respetivas potências. Para implementação da geometria do edifício recorreu-se ao *software Sketchup*, onde o edifício foi desenhado em 3D. Foram definidos os diferentes tipos de espaços e zonas térmicas, o que foi necessário para as análises com o *Open Studio*. De modo a prosseguir com a simulação dinâmica foi utilizado o *software Open Studio* baseado no *Energy Plus*. Com o *Open Studio* configuraram-se as características do edifício, para posteriormente fazer simulações com diferentes cenários e retirar conclusões de acordo com os diferentes resultados.

Foram definidos diversos tipos de comportamentos que podem afetar os consumos energéticos do edifício, procurando analisar-se o impacto de possíveis alterações de comportamentos nos consumos energéticos, através de simulações. Deste modo, pretende-se, com os resultados obtidos, estudar o potencial de poupança energética no edifício, com o foco nas alterações comportamentais.

3.1. Simulação dinâmica

A denominada “simulação dinâmica de edifícios” começou por ser feita com uma primeira geração de *software*, que adotava métodos simplificados, com bastantes limitações, onde se configuravam muitos setores como estando em regime estacionário (Luísa e Reis, 2013). Depois evoluiu-se para os *softwares* de segunda geração, em que já havia a introdução de alguns aspetos representativos da dinâmica dos edifícios, nomeadamente alguns elementos estruturais, sendo ainda os sistemas de AVAC considerados em regime estacionário (Clarke, 2001). Atualmente pode-se considerar que o que se encontra em desenvolvimento são os *softwares* de terceira geração, que já têm introduzidas bastantes particularidades que representam os métodos dinâmicos. Estes *softwares* têm em conta os fluxos de calor do edifício e os sistemas de AVAC conseguem ser interpretados de forma dinâmica, ou seja, consoante as necessidades ao longo do dia e não em regime estacionário. Também já se tem em conta os efeitos inerciais da energia térmica, que pode ser absorvida pelos elementos estruturais do edifício e ser libertada com um determinado desfasamento temporal (Luísa e Reis, 2013).

Um dos *softwares* de referência, quando se trata de simulação dinâmica é o *Energy Plus*, sendo considerado uma ferramenta poderosa e computacionalmente bastante desenvolvido (Al-Zubaydi, 2013). Contudo, o *Energy Plus* é apenas um motor de cálculo que lê e interpreta ficheiros de texto com dados, produzindo ficheiros com resultados. Para facilitar a sua utilização foi desenvolvido o *Open Studio* que proporciona uma interface gráfica mais amigável para o utilizador, recorrendo ao *Energy Plus* para efetuar os cálculos. O facto de já existir *software* como o *Open Studio* que facilita a acessibilidade na utilização, devido à interface gráfica, fez com que o *Energy Plus* ainda fosse mais utilizado nos últimos anos (Al-janabi et al., 2019).

Seguidamente será descrito, de forma genérica, o procedimento para a obtenção de uma simulação dinâmica, com vista à análise dos consumos energéticos de um edifício.

3.1.1. Open Studio

O *software* utilizado para fazer a simulação dinâmica foi o *Open Studio*. Na Figura 3.1 está ilustrado um exemplo da interface gráfica do *Open Studio*. Este *software* é de utilização gratuita e é desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos, sendo uma ferramenta reconhecida no estudo de simulação dinâmica de edifícios. Neste *software* é possível configurar os dados meteorológicos, perfis horários, características construtivas, cargas utilizadas, tipo de espaço, zonas térmicas, sistemas AVAC, variáveis de saída, controlos

de simulação e tipo de resultados de saída. Para efetuar estas configurações são utilizados os separadores presentes na barra vertical à esquerda, na Figura 3.1. Após fazer a simulação, o *Open Studio* permite visualizar os resultados de saída do *Energy Plus*, apresentando os dados na forma de tabelas e permitindo a visualização de gráficos, o que facilita numa primeira fase a análise de um modo geral.

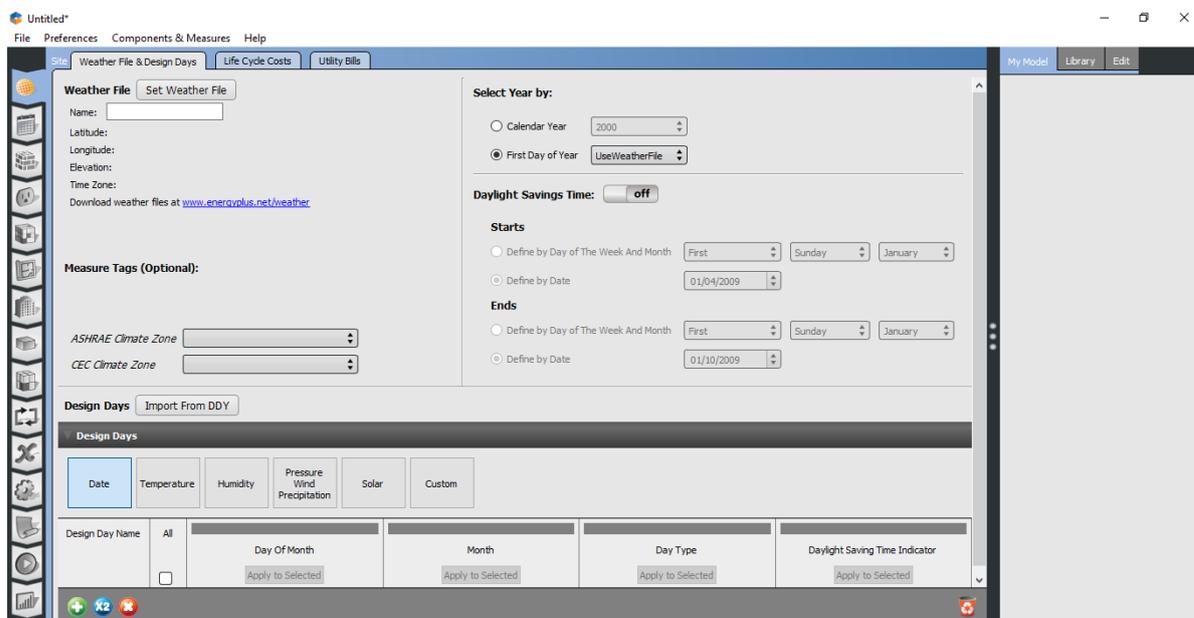


Figura 3.1: Interface gráfica do Open Studio.

3.1.2. Sketchup – Modelação 3D

O *software* utilizado para a modelação 3D do bloco de teste foi o *Sketchup*. Embora o *Openstudio* facilite a interação com o *EnergyPlus*, tem ainda algumas limitações em termos da definição do modelo 3D do edifício, nomeadamente em lidar com múltiplos pisos. Contudo, dado que o desenvolvimento original deste *software* foi como um plugin para o *software* de modelação 3D *Sketchup*, existe ainda uma versão disponível desse plugin que foi assim usada para facilitar o desenvolvimento. Na Figura 3.2 está representado o ambiente de trabalho no *software Sketchup*.

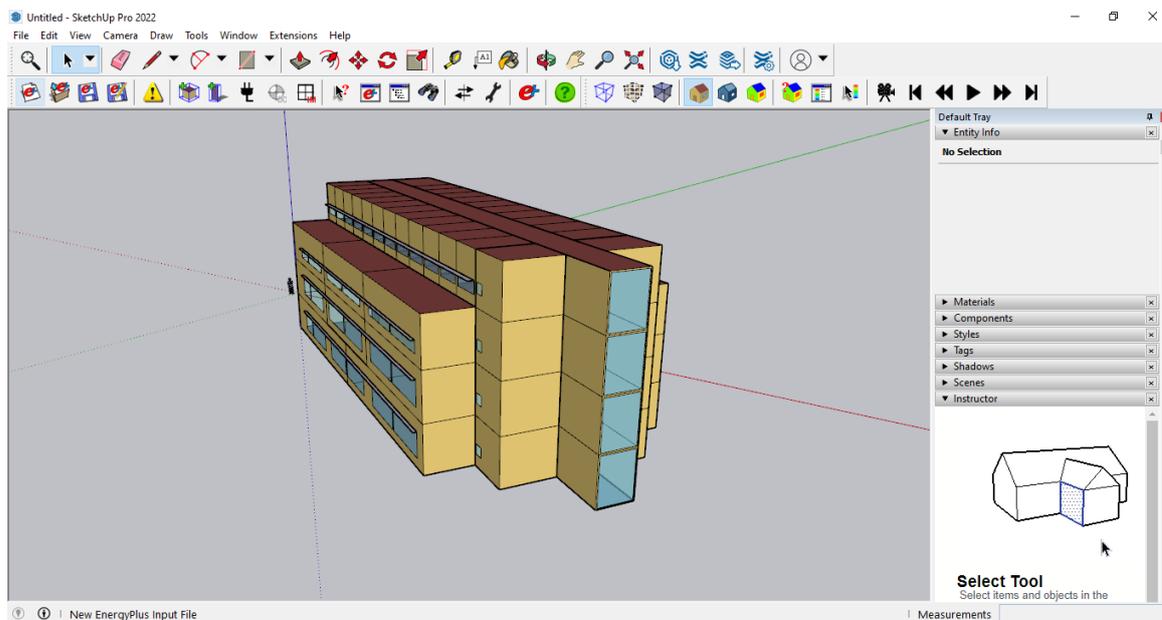


Figura 3.2: Interface Sketchup.

De acordo com a bibliografia consultada, o *Sketchup* é destacado como sendo uma escolha que se traduz numa solução mais prática e adequada ao desenvolvimento de um modelo 3D (Al-Zubaydi, 2013).

De modo a conseguir interligar a modelação 3D no *Sketchup* com o *Open Studio*, utilizou-se um *plug-in* que permite gravar o projeto no *Sketchup*, de maneira a ser carregado no *Open Studio*. Desta forma as características construtivas do edifício já vêm preparadas, podendo ser posteriormente configuradas no *Open Studio* conforme as características reais do edifício em estudo.

Com as funcionalidades deste *plug-in* consegue-se inserir por exemplo, janelas e portas, que já têm as características dos materiais que se utilizam na realidade, e um aspeto visual também próximo da realidade, principalmente os envidraçados.

3.1.3. Dados climáticos

De acordo com a localização do edifício a simular, é necessário introduzir, no *software*, os dados climáticos da zona em estudo. Deste modo, o *software* tem em conta os valores de temperatura, humidade incidência solar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, para os diversos dias ao longo do ano. São também introduzidos dados relativamente aos dias com as condições climáticas mais extremas, que são denominados “Design Days” no *Open*

Studio. Deste modo será possível prever se os sistemas de AVAC respondem de forma adequada, mesmo nos dias mais desfavoráveis, em termos de condições climatéricas.

Os dados climáticos da zona onde se localiza o edifício têm muita importância, uma vez que os cálculos que o *software* faz para estimar os consumos energéticos são baseados nesses dados. Caso os dados climáticos não sejam os mais adequados, a resposta dos sistemas de AVAC, por exemplo, já não corresponderá à realidade e, como tal, os consumos estimados não corresponderão à realidade.

3.1.4. Características construtivas

Para uma correta modelação dinâmica de um edifício, é fundamental definir os materiais e as respetivas características. Como tal, o tipo de paredes, os envidraçados, os pavimentos e as coberturas, têm que ser configurados de acordo com as características reais. Estas definições terão relação com os coeficientes de transmissão térmica destas superfícies. Os coeficientes de transmissão térmica são indicadores que refletem a menor ou maior capacidade de transferência de energia térmica através dos materiais que delimitam o edifício.

A inércia térmica é um conceito que pode ser entendido como a capacidade de um edifício não variar a sua energia térmica de maneira muito repentina. Em termos práticos, quando a temperatura exterior está muito elevada, se o edifício tiver uma boa inércia térmica, não irá aquecer o seu interior muito rapidamente, portanto há um desfasamento entre mudanças bruscas na temperatura exterior e a temperatura interior. Um raciocínio análogo pode ser feito quando a temperatura exterior desce muito. Neste caso o edifício também não irá arrefecer o seu interior tão rapidamente, havendo também um desfasamento quanto à resposta natural do edifício à descida da temperatura exterior (Gomes, 2019).

O isolamento térmico das paredes exteriores, que hoje em dia é vulgarmente utilizado, é um fator de elevada importância para que um edifício tenha uma boa inércia térmica. É de referir que a localização do isolamento faz toda a diferença quanto à sua eficácia e deve ser aplicado pelo exterior.

Um bom conhecimento das características construtivas e suas propriedades é fundamental para poder antecipar alguns fenómenos no comportamento térmico dos edifícios, que podem não ter diretamente que ver com os comportamentos dos utilizadores.

3.1.5. Zonas térmicas

Uma zona térmica pode ser constituída por um espaço ou um conjunto de espaços, no interior de um edifício. Se for um conjunto de espaços, estes devem partilhar necessidades idênticas de climatização. Quando se agrupam vários espaços, estes devem ser termicamente semelhantes, tanto na transferência de calor através das paredes exteriores, como nos ganhos térmicos internos (U.S. Department of Energy, 2021).

A definição adequada das zonas térmicas é necessária, para que se possa distinguir que existem espaços com diferentes necessidades de climatização. Estas necessidades podem ser influenciadas por diversos fatores tais como o tipo de utilização do espaço e a exposição solar.

Os equipamentos de climatização são assim definidos para cada uma das zonas térmicas, assim como os *Set-Points* de temperatura.

3.1.6. Cargas térmicas

Como em todos os edifícios de serviços, é necessário proceder ao levantamento das cargas térmicas existentes. A intensidade de ocupação, os equipamentos elétricos e a iluminação são as principais cargas que se devem ter em conta para a correta modelação dinâmica de um edifício. Após a recolha de dados, é necessário introduzir as informações no *Open Studio*, especificando as densidades de iluminação, equipamentos e ocupação.

É ainda relevante compreender que para além do consumo nominal das potências associadas aos equipamentos elétricos e iluminação, existe também libertação de calor. O nível de ocupação é outro fator que contribui também para a libertação de calor no interior do edifício.

3.1.7. Perfis horários

Um fator que influencia bastante os consumos energéticos de um edifício é a taxa de utilização dos espaços, que é definida através dos perfis horários de utilização. Os perfis horários são definidos entre 0 e 1 (0 e 100%), para cada hora do dia.

Os perfis horários definem um fator de utilização (hora a hora), de acordo com a maior ou menor utilização ao longo do dia. Estando definidas todas as potências associadas às cargas do edifício, o *software* de simulação apenas multiplica o fator de utilização pelas potências pré-estabelecidas, para chegar aos consumos finais. Existem sempre algumas diferenças entre os consumos simulados e os consumos reais, uma vez que não se consegue prever exatamente os

comportamentos adotados pelos ocupantes do edifício. Essa é uma dificuldade atual, mas também é um desafio para a presente dissertação. À medida que se vai conseguindo compreender as variantes dos comportamentos, melhor se conseguirá definir os perfis horários e mais próximos da realidade serão os consumos simulados.

Relativamente aos perfis horários definidos, são de destacar os perfis de ocupação, perfis de iluminação e perfis de equipamentos.

Os perfis de ocupação refletem a taxa de ocupação dos espaços ao longo do dia o que terá grande influência ao nível dos ganhos internos, devido ao calor libertado pelos ocupantes do edifício.

Os perfis de iluminação definem a taxa de utilização da potência de iluminação ao longo do dia.

Os perfis de equipamentos representam a taxa de utilização dos equipamentos elétricos que estão disponíveis para os utilizadores do edifício, ao longo do dia.

3.1.8. Sistemas AVAC

Todas as fontes de energia do edifício em estudo têm que ser conhecidas, para posteriormente configurar no *Open Studio* os sistemas AVAC.

É necessário configurar os sistemas de produção térmica centralizada para posteriormente serem definidos os elementos terminais, individualmente para cada zona térmica. Deste modo é preciso configurar no *Open Studio* um ciclo de água quente e um ciclo de água gelada com os respetivos equipamentos associados, de acordo com o edifício em estudo. Estando definidos os ciclos principais de aquecimento e arrefecimento, podem ser definidos os elementos terminais.

Para o correto dimensionamento dos sistemas no *software*, é necessário introduzir no campo “Design Days” as informações presentes no ficheiro dos dados climáticos. Estes dados contêm informações sobre as condições atmosféricas extremas. Desse modo o *software* consegue calcular se os sistemas de AVAC respondem corretamente mesmo nas condições mais adversas.

3.1.9. Validação do modelo de simulação

A validação do modelo de simulação é um ponto chave, com elevada importância, sem o qual não se conseguem fazer análises e retirar conclusões credíveis.

Estando os procedimentos principais efetuados, conforme apresentado ao longo do subcapítulo 3.1 (Simulação dinâmica), é necessário fazer alguns ajustes com mais detalhe, de maneira a validar o modelo de simulação. Esta validação é uma garantia de confiança de que os consumos energéticos do bloco de teste se aproximam dos valores reais do edifício em estudo.

Para se fazerem estimativas de consumos de eletricidade e gás natural, é conveniente que se consigam obter dados provenientes de monitorização e/ou informações relativas a faturas, de modo a poder sustentar as estimativas. Pode ser útil comparar com outras análises já feitas para edifícios do mesmo tipo, portanto com necessidades idênticas. Com este tipo de analogia consegue-se mais facilmente despistar eventuais erros que possam ocorrer, por exemplo, a ordem de grandeza dos consumos tendo em consideração a área útil dos edifícios.

Poderá ser necessário fazer alguns ajustes ao nível dos valores da renovação de ar novo e também da infiltração de ar, tendo em consideração as normas existentes.

Os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos devem ser revistos com mais detalhe, fazendo distinção entre dias úteis, fins de semana e outras épocas como as férias.

As condições de sombreamento interior e exterior podem ser reajustadas, aumentando a aproximação às condições reais, o que contribuirá para uma maior confiança no modelo de simulação.

É importante distinguir que quando se trata de fazer uma simulação dinâmica para um edifício já existente, que é o caso, poderá haver a possibilidade de recorrer a dados de faturação e eventualmente a dados de monitorização de consumos energéticos, o que representa uma base de trabalho na previsão dos consumos. Por outro lado, quando se pretende fazer uma simulação dinâmica para um edifício novo, não existem dados e a previsão dos perfis horários de funcionamento do edifício tem geralmente uma grande incerteza associada. Deste modo poderá ser mais difícil aproximar os resultados da simulação com os consumos reais que o edifício irá ter.

3.2. Análise de comportamentos

Antes da definição dos comportamentos a simular, foi necessário estudar os sistemas existentes e o ambiente envolvente no interior do edifício. Deste modo começou-se a perceber como é que os ocupantes podem interagir com os diversos sistemas no espaço interior. Com este levantamento de informações, percebe-se que podem haver sistemas que estão ao alcance do ocupante do edifício, mas há outros sistemas em que apenas os operadores do sistema de gestão

técnica podem atuar. Esta distinção é relevante, para que não se confundam estes dois tipos de situações, o que poderia dar origem a análises com menor grau de fiabilidade. Para sintetizar o tipo de utilizadores e os graus de liberdade respetivos, apresenta-se a Figura 3.3.

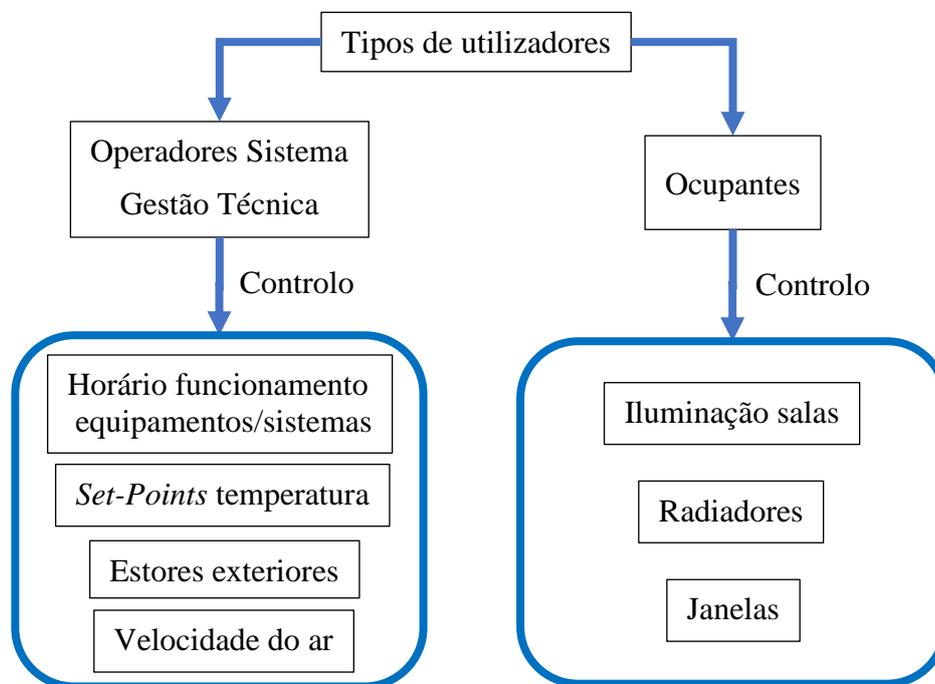


Figura 3.3: Esquema síntese dos utilizadores e graus de liberdade.

É de salientar que os comportamentos dos ocupantes têm associada uma grande incerteza, porque as pessoas podem reagir de diferentes maneiras quando se deparam com determinadas condições nos espaços interiores (Luísa e Reis, 2013). Nesse sentido existe também distinção entre comportamentos adaptativos e não adaptativos. Quando os ocupantes respondem às necessidades de conforto, por exemplo, com abertura ou fecho de janelas ou ajustando o tipo de roupa, é considerado um comportamento adaptativo. Por outro lado, se os ocupantes procuram introduzir equipamento externo para melhorar as condições de conforto, já é considerado um comportamento não adaptativo (Hong *et al.*, 2017).

Relativamente aos comportamentos associados aos ocupantes do edifício serão feitas estimativas em diversos setores, tentando perceber onde é que existem as maiores variações e o impacto económico que resulta das mesmas.

Uma particularidade do estudo da influência dos comportamentos nos consumos é que, quando se pretendem fazer propostas de atuação, com vista à melhoria da eficiência energética, não existem custos significativos associados por parte da gestão do edifício. Quer isto dizer que

detetar comportamentos energeticamente pouco eficientes e procurar consciencializar para a mudança de atitude não terá custos significativos. A questão que se pode colocar é: até que ponto a consciencialização é eficaz? Ou seja, até que ponto a consciencialização produz resultados proveitosos, que levem a uma diminuição efetiva dos consumos.

Um controlo que está ao alcance dos ocupantes do edifício, relativamente ao aquecimento, é o acionamento manual dos radiadores, que estão presentes em quase todos os espaços. Este acionamento manual permite regular a energia térmica radiada por estes equipamentos terminais. Seria interessante compreender qual a influência direta do comportamento dos ocupantes, no consumo dos radiadores, provocado por eventuais regulações feitas nos equipamentos. Contudo não é possível chegar a este nível de detalhe, sendo necessários dados que neste momento não estão disponíveis.

Há diversos comportamentos que podem ser tidos em conta para analisar na simulação. Desde já podem ser divididos em dois tipos: comportamentos individuais e decisões tomadas ao nível da gestão técnica.

Os comportamentos individuais podem ser considerados como as ações individuais dos ocupantes do bloco de teste.

As decisões tomadas ao nível da gestão técnica poderão ser ações que condicionem, por exemplo, as temperaturas interiores dos espaços, mas onde os ocupantes não têm liberdade para controlar.

Um comportamento a ser simulado pode ser a alteração dos *Set-points* de temperatura, em determinados espaços, que poderá ser feito ao nível da gestão técnica.

A variação da utilização da iluminação poderá também ser simulada, de modo a compreender o impacto que tem nos consumos elétricos e de gás natural. Nos corredores existem sensores de presença que fazem com que a iluminação apenas ligue por setor e à medida que as pessoas se movimentam. Contudo existem várias situações práticas que podem ser melhoradas, reduzindo os consumos. Por exemplo, quando não existem aulas durante algumas horas em determinadas salas, as luzes por vezes ficam ligadas, o que é um ponto a ter em consideração para reduzir consumos. Outra situação frequente em sala de aula é o facto de ter a iluminação toda ligada, no seu interior, quando existem condições adequadas de luminosidade natural, proveniente do exterior. Estes pontos referidos podem ser levados em conta quando se pretende fazer uma simulação que reflète uma diminuição da utilização da iluminação.

A alteração da utilização dos equipamentos é também possível de ser simulada. Relativamente aos equipamentos, nomeadamente os computadores, também existe um potencial de poupança, por exemplo durante os intervalos entre aulas, em que muitas vezes ficam ligados, o que não é o mais adequado do ponto de vista energético.

Para a alteração dos *Set-Points* de temperatura, utilização da iluminação e utilização de equipamentos, é necessário proceder à alteração dos perfis horários, no *Open Studio*, ajustando de acordo com o que é pretendido para cada um dos casos referidos. Como exemplo da definição de um perfil horário de *Set-Point* de arrefecimento, pode-se observar a Figura 3.4, onde está definida a 25°C a temperatura de arrefecimento, entre as 7h e as 24h.

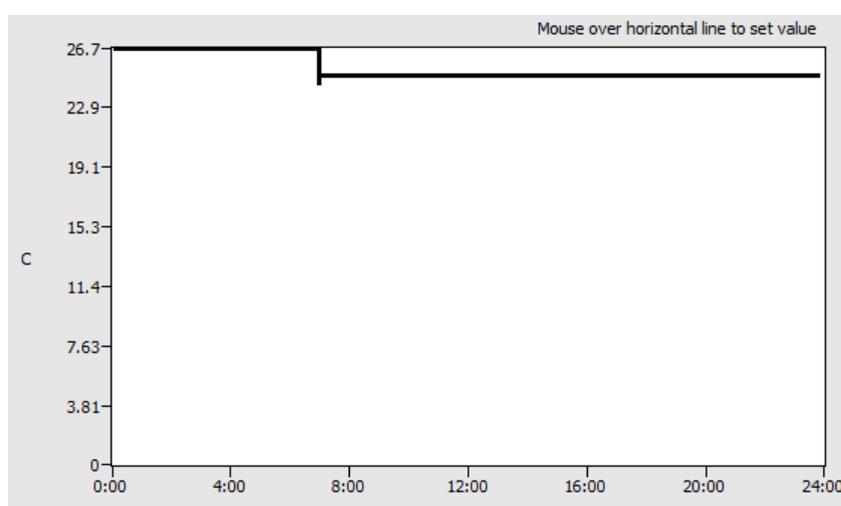


Figura 3.4: Perfil horário Set-Point de arrefecimento.

A ativação de cortinas de sombreamento interior é um comportamento individual que pode ser simulado, assim como a ativação de estores exteriores de sombreamento que é da competência dos operadores do sistema de gestão técnica. A ativação de sombreamento exterior ou interior tem implicações diretas nas condições de conforto dos ocupantes, no interior do edifício.

Todos estes comportamentos serão analisados por comparação com um cenário base, que é considerado o padrão. A partir desse cenário base poderão ser observadas diferenças relativamente aos consumos de energia, em gás natural e eletricidade. As diferenças nos consumos de energia serão analisadas, de modo a quantificar as poupanças ou os aumentos, consoante os comportamentos adotados.

As diferenças nos consumos de energia serão sempre observadas em termos relativos ao cenário base, procurando compreender, por exemplo, qual a percentagem de poupança associada a

determinado comportamento. Deste modo será dada mais ênfase aos valores relativos das poupanças do que aos valores absolutos. Prevê-se que tenha mais significado prático a observação por valores relativos, até para se poderem retirar indicadores para outros edifícios do mesmo tipo.

Os resultados e conclusões que decorrerem desta análise são com certeza informações úteis para quem gere este tipo de edifícios, com vista à otimização do funcionamento e redução de custos inerentes ao funcionamento do mesmo, atuando no sentido da eficiência energética.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Caracterização geral do edifício em estudo

O alvo de estudo foi o Edifício D da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, localizado no Campus 2, Morro do Lena, Alto Vieiro. As principais áreas de ensino ministradas neste instituto incidem na Tecnologia, Ciência, Engenharia e Gestão.

Pode-se observar na Figura 4.1 uma fotografia ilustrativa da localização do Edifício D do campus 2.



Figura 4.1: Localização do Edifício D do campus 2 ^[2].

A construção do edifício foi feita em 2003, tendo uma área útil de 8851 m². O edifício é composto por 5 pisos.

Para efeitos do estudo realizado e respetivo desenvolvimento de um modelo de simulação dinâmica, foi criado um bloco de teste representativo do edifício, com 3060 m². Seguidamente serão descritos e apresentados os principais dados sobre este bloco de teste que foram incorporados no modelo desenvolvido.

Com base nas peças desenhadas do Edifício D, construiu-se o bloco de teste (Figura 4.2), que é representativo de uma ala do edifício D. Sendo o Edifício D construído com a forma de “L”, pode-se considerar que existem duas alas. Para este efeito de simulação, considerou-se apenas

²<https://earth.google.com/web/@39.73444736,-8.82137355,58.84231885a,218.26512196d,35y,89.78204063h,43.49938675t,0r>

uma ala, simplificando a modelação 3D. Estando o foco nos comportamentos, esta simplificação não põe em causa os resultados das análises efetuadas posteriormente. Tanto numa ala como na outra, a diversidade de salas de aulas, laboratórios e gabinetes é idêntica. Neste sentido é apenas uma questão de escala, uma vez que o bloco de teste tem um pouco menos de metade da área útil do Edifício D.

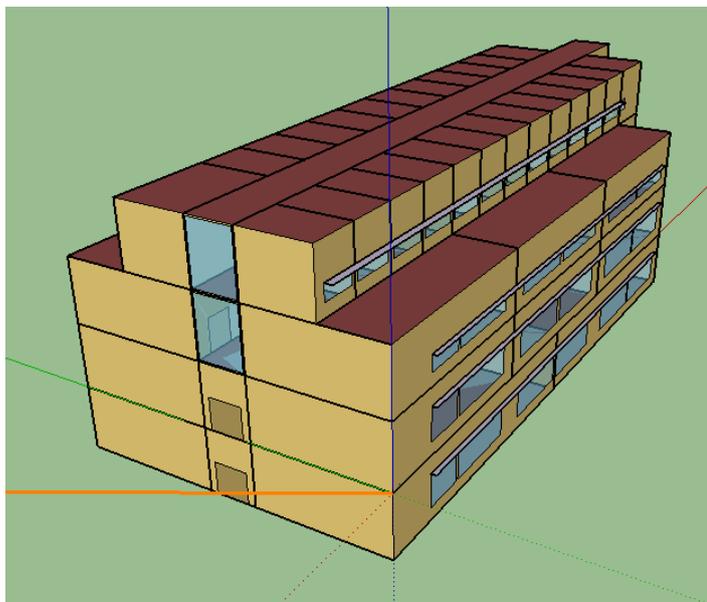


Figura 4.2: Bloco de teste modelado no Sketchup.

Foram considerados 4 pisos na construção deste bloco de teste como se pode visualizar na Figura 4.2. A área de cada piso, assim como o total pode ser observado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Áreas pisos bloco de teste.

Área do bloco de teste	
Piso	Área [m ²]
Piso -1	843
Piso 0	843
Piso 1	843
Piso 2	531
Total	3060

4.2.Dados Climáticos

Portugal é dividido em três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3). Leiria está inserida na zona climática I2, V1, Pinhal Litoral (Governo de Portugal, 2013).

Através da Figura 4.3 podem ser observadas as temperaturas mensais de Leiria, sendo apresentado a média, o mínimo e máximo absolutos, na parte superior. Na parte inferior da Figura 4.3 ainda se apresentam os valores médios mensais da humidade e velocidade do vento.

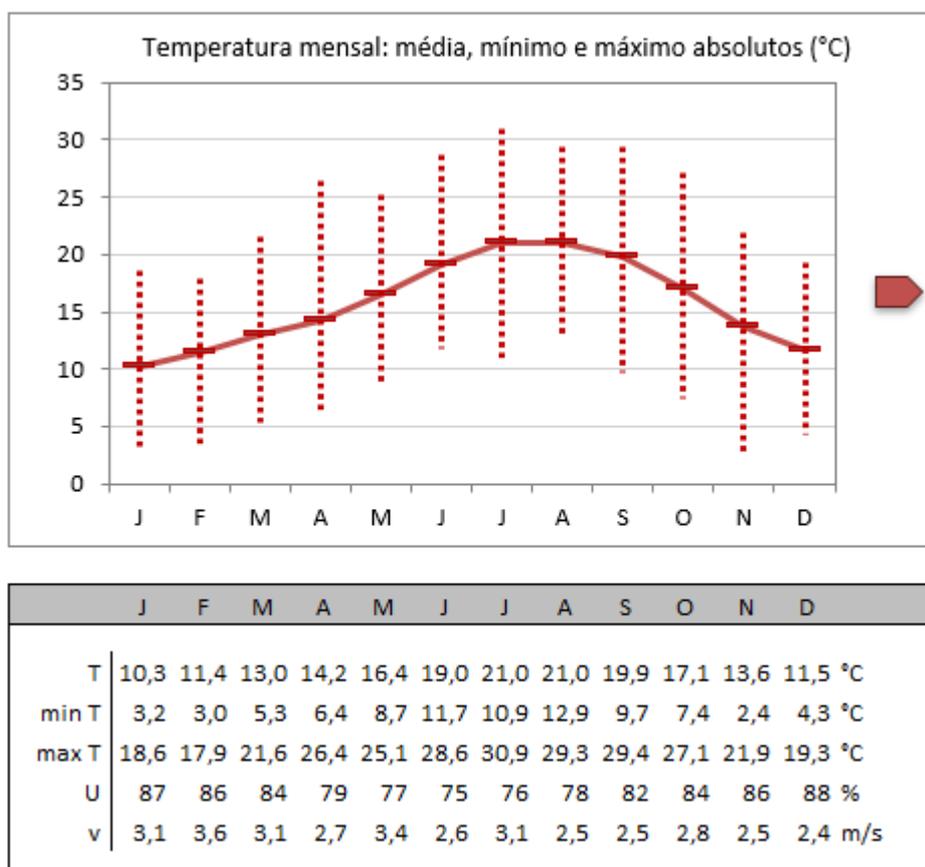


Figura 4.3: Temperaturas mensais de Leiria^[3].

Os dados climáticos utilizados foram de Monte Real, que é a localização da estação meteorológica mais próxima de Leiria, para a qual existem dados prontos a ser importados para o *software* de simulação dinâmica. Os dados foram descarregados de um site internacional^[4] e a designação do ficheiro utilizado é “PRT_CN_Monte.Real.AB.085400_TMYx.2004-2018”.

³ <https://www.dgeg.gov.pt/>

⁴ https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/PRT_Portugal/index.html#IDCN_Centro-

4.3. Características construtivas

Neste ponto serão descritas as principais características construtivas consideradas para o bloco de teste. Para a definição das características construtivas teve-se em consideração um relatório de uma auditoria energética realizada ao edifício D em 2010 (INESC Coimbra, 2010).

Na Tabela 4.2 pode-se observar o tipo de estrutura, a espessura, a constituição, o coeficiente de transmissão térmica (U) e o fator solar (g). Importa referir que o fator solar apenas está definido para o vão envidraçado e o seu valor está de acordo com as informações presentes no Anexo A – Especificações Técnicas.

Tabela 4.2: Características construtivas detalhadas.

Tipo de estrutura	Espessura [m]	Constituição	U [W/m ² .°C]	g
Parede exterior	0,33	Parede dupla tijolo (11+11); Caixa de ar; Isolamento térmico do tipo <i>wallmate</i> ; Interior e exterior revestido com reboco tradicional; Face exterior branca.	0,58	n.d.
Parede interior	0,18	Parede simples em alvenaria tijolo 15; Revestimento interior e exterior com reboco tradicional.	1,49	n.d.
Cobertura	1,41	Laje maciça de betão; Revestimento interior com teto falso tipo luxalon; Camada de betão leve, betonilha, impermeabilizante, tela dupla tipo Moply, isolamento térmico roofmate, manta geotêxtil e revestimento em mosaico.	0,53	n.d.

Pavimento / laje	0,59	Laje maciça de betão regularizada por uma camada de betonilha e revestido a mosaico. A laje encontra-se assente sobre uma camada de brita, manta geotêxtil, tela impermeabilizadora e isolamento térmico tipo floormate.	0,53	n.d.
Vão envidraçado	0,19	Caixilharia metálica com corte térmico; Janela giratória/fixa; Vidro duplo incolor com espessura de 5mm interior, 10mm entre vidros e 4 mm exterior; Com proteção interior e exterior.	2,98	0,42

Envolvente opaca

A envolvente exterior dos pisos à superfície é composta principalmente por paredes em tijolo, com caixa-de-ar e isolamento térmico. É efetuado o revestimento a reboco tradicional.

Para os pisos -1 e -2 as características são outras, uma vez que as paredes estão enterradas. Neste caso, as paredes são construídas em betão, tela impermeabilizadora e isolamento térmico.

Vãos envidraçados

No bloco de teste existem vários tipos de vãos envidraçados, consoante a função pretendida. Existem vários vãos com vidro duplo incolor, com janela fixa ou giratória.

Sombreamentos

Relativamente ao sombreamento, existem palas opacas colocadas por cima das janelas, para proteger contra a entrada direta do sol. Existem também cortinas interiores e estores exteriores, que podem ser utilizados.

4.4.Zonas térmicas

As zonas térmicas foram definidas tendo em conta o tipo de espaço, o número do piso e também a sua orientação no edifício, como se pode observar na Figura 4.4. Relativamente à orientação, separaram-se as zonas expostas a Sudoeste das zonas expostas a Nordeste. As zonas térmicas definidas com a respetiva área e tipo de AVAC podem ser observadas na Tabela 4.3. O tipo de AVAC utilizado em todas as zonas é o ventiloconvector de 4 tubos, que permite fazer o aquecimento e o arrefecimento dos espaços. Foram definidas 16 zonas térmicas no total.

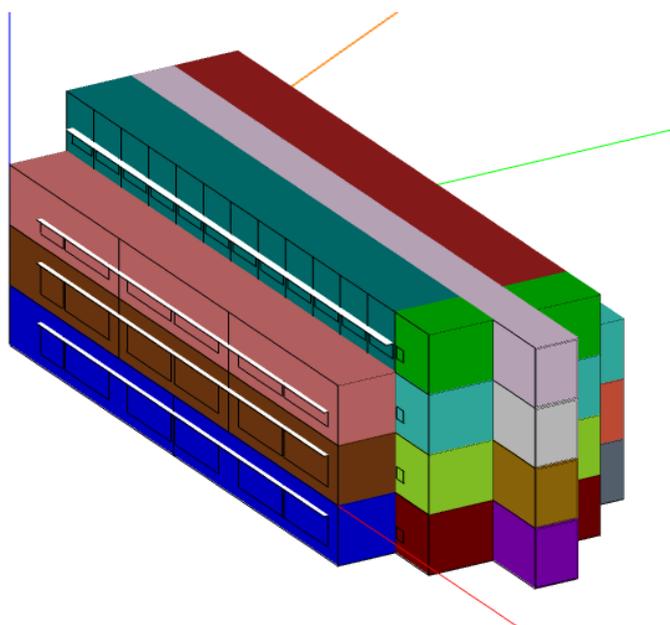


Figura 4.4: Bloco de teste ilustrado por zonas térmicas.

Tabela 4.3: Zonas térmicas definidas.

Zonas Térmicas	Área [m ²]	Tipo de AVAC
P-1_WC	36,00	<i>four pipe fan coil</i>
P-1_CORREDORES	173,75	<i>four pipe fan coil</i>
P-1_SALAS_SO	331,50	<i>four pipe fan coil</i>
P-1_SALAS_NE	301,75	<i>four pipe fan coil</i>
P0_WC	36,00	<i>four pipe fan coil</i>
P0_CORREDORES	144,00	<i>four pipe fan coil</i>
P0_SALAS_SO	331,50	<i>four pipe fan coil</i>
P0_SALAS_NE	331,50	<i>four pipe fan coil</i>
P1_WC	36,00	<i>four pipe fan coil</i>
P1_CORREDORES	144,00	<i>four pipe fan coil</i>
P1_SALAS_SO	331,50	<i>four pipe fan coil</i>
P1_SALAS_NE	331,50	<i>four pipe fan coil</i>
P2_WC	36,00	<i>four pipe fan coil</i>
P2_CORREDORES	144,00	<i>four pipe fan coil</i>
P2_GABINETES_SO	175,50	<i>four pipe fan coil</i>
P2_GABINETES_NE	175,50	<i>four pipe fan coil</i>

4.5.Cargas térmicas

Relativamente às cargas térmicas, foram definidas as densidades de ocupação, iluminação e equipamentos para todas as zonas térmicas, como se pode visualizar na Tabela 4.4. Com vista à recolha de dados atuais do edifício foi realizada uma visita ao Edifício D, onde foi feito um levantamento dos equipamentos e respetivas potências, assim como dos níveis de ocupação das salas de aula. Os tipos de equipamentos considerados foram computadores fixos, projetores de vídeo e monitores cujas potências foram obtidas maioritariamente através das fichas técnicas dos fabricantes. Para a potência média de um computador fixo teve-se como referência a dissertação de mestrado de Oliveira (2014). Relativamente à densidade de ocupação das salas de aula considerou-se uma sala com 58 m² que permite 16 ocupantes, o que resulta numa densidade de ocupação de 0,28 Ocup/m². Para os corredores e WC considerou-se aproximadamente metade da densidade de ocupação de sala de aula. Relativamente à densidade de iluminação recorreu-se aos dados obtidos por Clemente e Domingos (2020) no âmbito do desenvolvimento do Projeto Final de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

Tabela 4.4: Cargas térmicas.

Zonas Térmicas	Área [m ²]	Densidade Iluminação [W/m ²]	Densidade Equipamentos [W/m ²]	Densidade Ocupação [Ocup/m ²]
P-1_WC	36,00	5,7	0,00	0,13
P-1_CORREDORES	173,75	3,0	0,00	0,13
P-1_SALAS_SO	331,50	5,7	68,36	0,28
P-1_SALAS_NE	301,75	3,9	10,51	0,28
P0_WC	36,00	5,5	0,00	0,13
P0_CORREDORES	144,00	3,2	0,00	0,13
P0_SALAS_SO	331,50	5,4	1,40	0,28
P0_SALAS_NE	331,50	5,4	1,40	0,28
P1_WC	36,00	5,7	0,00	0,13
P1_CORREDORES	144,00	2,9	0,00	0,13
P1_SALAS_SO	331,50	5,3	1,56	0,28
P1_SALAS_NE	331,50	4,8	19,62	0,28
P2_WC	36,00	5,7	0,00	0,13
P2_CORREDORES	144,00	2,8	0,00	0,13
P2_GABINETES_SO	175,50	6,0	2,39	0,13
P2_GABINETES_NE	175,50	6,0	2,39	0,13

4.6. Perfis horários de utilização

4.6.1. Perfis de ocupação

Os perfis de ocupação foram ajustados de acordo com o perfil das diversas salas, criando-se um perfil médio que se aplica a todas as salas. Foi definido também um perfil para os gabinetes dos docentes. Assumiu-se o mesmo perfil para sala de aula e corredores (Figura 4.5), definindo 100% de ocupação entre as 8h e as 18h, 80% das 18h às 20h e 50% das 20h às 24h. Para os gabinetes dos docentes, conforme se pode visualizar na Figura 4.6, estabeleceu-se 50% de ocupação entre as 8h e as 20h.

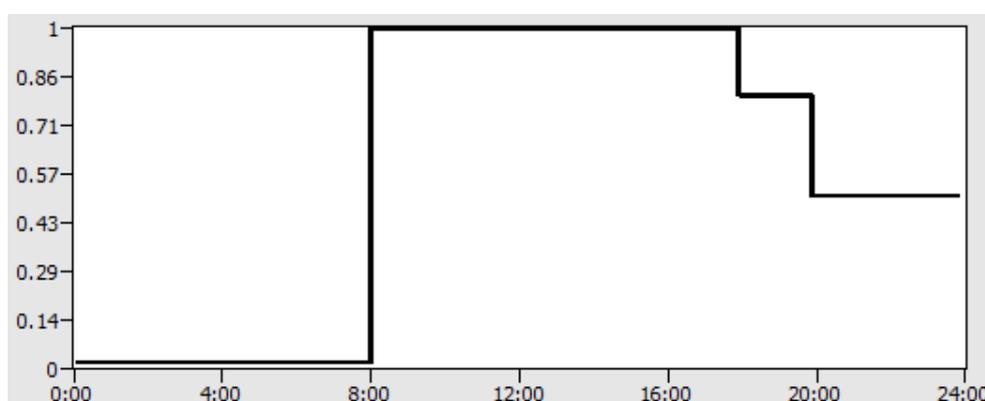


Figura 4.5: Perfil de ocupação sala de aula e corredores.

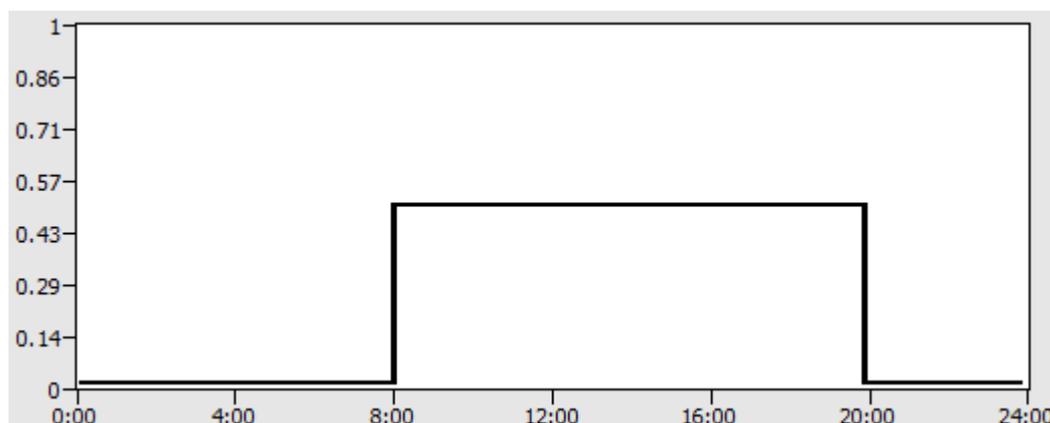


Figura 4.6: Perfil de ocupação de gabinetes de docentes.

4.6.2. Perfis de iluminação

Utilizou-se um perfil de iluminação único para todos os tipos de espaços, considerando uma utilização de 90% entre a 7h e as 24h, o qual se pode visualizar na Figura 4.7. Pode haver alguma incerteza quanto à percentagem real de utilização, contudo considerou-se que 90% seria um valor próximo da realidade uma vez que está um pouco abaixo dos 100%, assumindo que a utilização real está sempre abaixo de 100%.

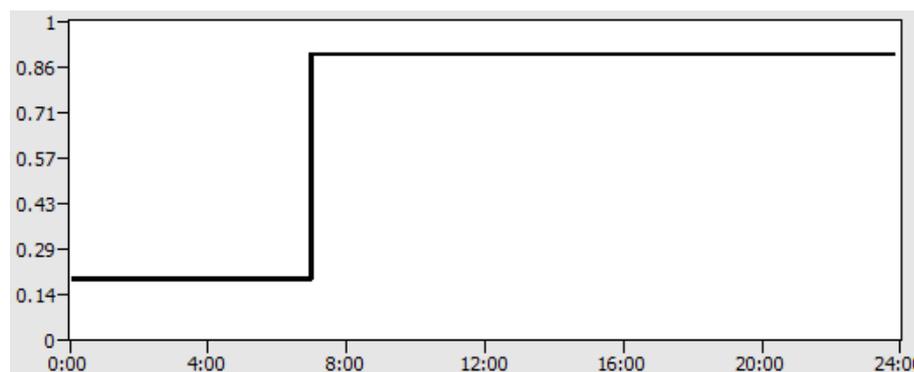


Figura 4.7: Perfil de iluminação.

4.6.3. Perfis de equipamentos

Relativamente aos equipamentos, também se utilizou um perfil único para todos os tipos de espaços, tendo uma utilização de 80% das 8h às 24h, conforme ilustrado na Figura 4.8. Novamente, poderá haver alguma incerteza quanto à utilização real dos equipamentos, contudo considerou-se que 80% seria um valor razoável. Este perfil é referente aos equipamentos elétricos como por exemplo computadores, monitores e projetores.

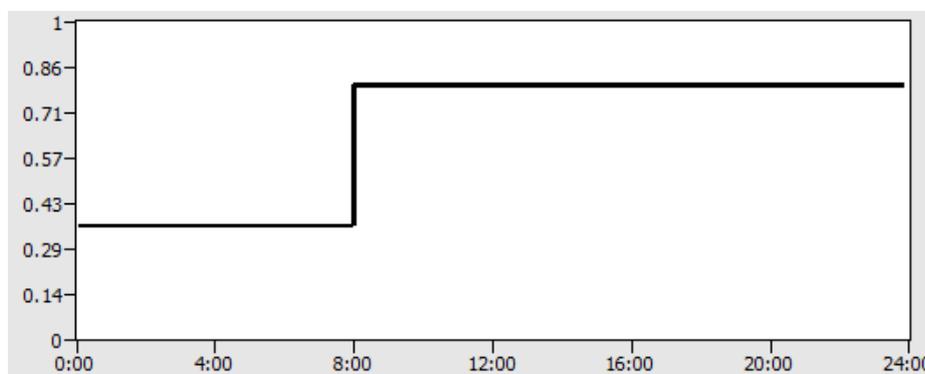


Figura 4.8: Perfil de equipamentos.

4.7.Sistemas AVAC

Para a configuração do sistema de AVAC, importa-se um ficheiro com dados meteorológicos para o *Open Studio* e introduz-se no campo “Design Days”, onde se introduzem as informações de localização e meteorologia. Este ficheiro fornece dados de condições climáticas extremas. Deste modo consegue-se perceber se os sistemas de AVAC respondem corretamente em condições extremas de aquecimento, arrefecimento, humedificação e desumidificação.

Existem dois equipamentos principais que são responsáveis por proporcionar as condições para o aquecimento e o arrefecimento dos espaços, através dos equipamentos terminais. Existe um *Chiller* elétrico, para proporcionar água gelada, que percorre os equipamentos terminais de climatização, arrefecendo assim os espaços. Relativamente ao aquecimento, existe uma caldeira a gás natural que é responsável pelo aquecimento de água que circula pelos equipamentos terminais, fazendo o aquecimento dos espaços. Existe um circuito de água fechado para o aquecimento e outro para o arrefecimento.

Configura-se um ciclo de água quente que alimenta os equipamentos terminais para aquecimento. Para tal considera-se uma caldeira a gás natural como fonte de calor. Na Figura 4.9 está ilustrado o ciclo de água quente, com a caldeira na parte superior e um elemento terminal de aquecimento na parte inferior.

Para o sistema de arrefecimento configura-se um ciclo de água fria recorrendo a um *Chiller* elétrico. Na Figura 4.10 está representado o ciclo de água fria, com o *Chiller* na parte superior e um elemento terminal na parte inferior.

Os elementos terminais utilizados foram ventiloconvectores de 4 tubos, o que permite fazer o aquecimento e o arrefecimento dos espaços.

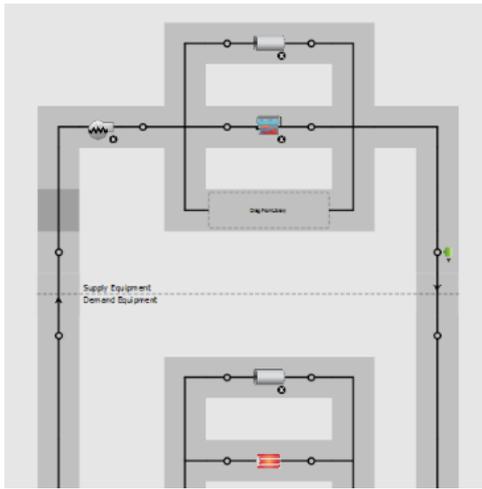


Figura 4.9: Ciclo de água quente.

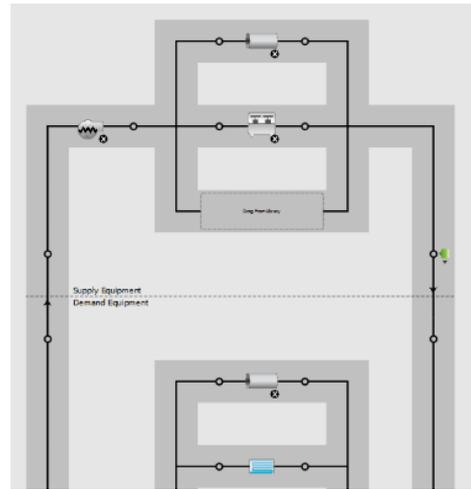


Figura 4.10: Ciclo de água fria.

4.8. Validação do modelo de simulação

Após estarem configuradas as principais características do bloco de teste, é necessário fazer um ajuste mais minucioso em determinadas características, para que a simulação se aproxime dos valores estimados para o edifício na realidade.

Os perfis horários de ocupação, iluminação e equipamentos foram ajustados de maneira mais detalhada, fazendo distinção entre uso por defeito, Domingos, Sábados normais, férias fim de semana, férias semana. As férias foram definidas de 15 de julho a 15 de setembro.

A taxa de renovação de ar novo por área foi definida em $15 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$, o que está acima do mínimo tabelado (DGEG e ADENE, 2021), que é de $3 \text{ [m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)\text{]}$, mas com um valor aceitável e até recomendado pela ASHRAE (Robertson, 2022).

A taxa de infiltração de ar assumida foi de 2 renovações por hora, tendo como base, por exemplo uma dissertação também relacionada com a análise de um edifício universitário em Lisboa (Carvalho, 2015).

As estimativas de consumo de eletricidade anual foram baseadas em medições efetuadas em 2014 e 2015, e também numa auditoria ao Edifício D em 2010. Fez-se uma média entre estes 3 valores e aplicou-se uma proporção por área, considerando o bloco de teste, tendo chegado ao valor de 207883 kWh de consumo elétrico anual estimado.

Relativamente à estimativa de consumo anual de gás natural, teve-se em conta não só a auditoria ao Edifício D em 2010, como também uma auditoria à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viana do Castelo em 2014 (Araújo, 2015). Foi feita ainda uma estimativa onde cada metro quadrado de área correspondia a um consumo de 4 m^3 de gás natural. Tendo o bloco de teste

uma área climatizada de 3060 m², o que permitiu obter uma estimativa alternativa para o consumo anual de gás natural de 113832 kWh ^[5].

Todas as estimativas de consumo anual de gás natural foram feitas de acordo com um cálculo proporcional por área, tendo concluído que o consumo de gás natural deverá estar compreendido entre 113000 e 122000 kWh.

Foi testado um exemplo mais simples com configurações semelhantes, especialmente na componente de AVAC, para verificar se os consumos de gás natural estavam em concordância com as estimativas do bloco de teste. Tendo por base uma análise proporcional por área pode-se verificar que os valores estavam em concordância, permitindo validar o modelo de simulação.

Ao contrário da estimativa de consumo de energia elétrica que pôde ser desagregada pela existência de contagem específica ao edifício e pela medição direta efetuada em 2010, a estimativa de consumo de gás para climatização é suscetível a ter um erro significativo devido ao sistema ser comum à biblioteca, daí o ter-se sentido a necessidade de confrontar outras hipóteses pelo facto dos primeiros resultados de simulação serem significativamente diferentes.

Foi configurado o sombreamento interior (cortinas) e exterior (estores) o que permite simular com uma maior aproximação à realidade do funcionamento do bloco de teste.

Os coeficientes de simultaneidade de iluminação e equipamentos foram ajustados para 0,7, uma vez que 1 seria um pouco exagerado, porque os equipamentos e as luzes não estão todos ligados ao mesmo tempo.

Consegue-se extrair dos resultados da simulação alguns gráficos com os ganhos térmicos, o que ajuda para uma melhor compreensão da dinâmica do bloco de teste.

⁵ <https://myhouse-pt.desigusxpro.com/>

Página deixada propositadamente em branco

5. ANÁLISE DE DADOS

Numa simulação dinâmica de um edifício, é necessário construir um cenário base, que é considerado o funcionamento padrão do edifício. Este cenário base será então descrito, e todos os comportamentos simulados que se apresentam de seguida, serão analisados sempre em comparação com este cenário base.

5.1. Cenário base em simulação

O cenário base está definido de acordo com os perfis horários já descritos no capítulo 4. Relativamente à climatização, os *Set-Points* de aquecimento e arrefecimento são respetivamente 20°C e 25°C.

Após a simulação foram obtidos os consumos de energia anual que se apresentam na Tabela 5.1, sendo os valores de referência para o bloco de teste.

Para efeitos de análise de encargos com energia foi considerado o custo unitário médio de 0,1062 €/kWh para a eletricidade e 0,0464 €/kWh para o gás natural. Para a obtenção destes valores teve-se em consideração o período de faturação de 2018, para o Campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria, apresentado na dissertação de mestrado de Marques (2020). É de referir também que o valor do custo unitário para a eletricidade teve em consideração os períodos de horas de ponta, cheias, vazio normal e super vazio. Estão incluídos também os encargos com as tarifas de acesso às redes, taxas e impostos associados à comercialização e encargos com energia reativa.

Na Tabela 5.1 estão apresentados os valores dos encargos anuais estimados para a eletricidade e gás natural, assim como o total. Esta estimativa de encargo anual contempla os custos unitários médios de aquisição de energia à rede, multiplicados pelos respetivos consumos em kWh. São estes encargos que podem variar consoante os comportamentos adotados pelos ocupantes e pela gestão técnica do bloco de teste. O foco desta dissertação são os comportamentos e o seu impacto nos consumos energéticos do bloco de teste.

Tabela 5.1: Consumos anuais e custos – Cenário Base.

Forma de energia	Consumo anual [kWh]	Encargo anual [€]
Eletricidade	190168	20196
Gás Natural	102972	4778
Total	293140	24974

Relativamente à distribuição dos consumos de energia por utilização final, na Figura 5.1 pode-se observar que a maior percentagem de consumo é referente ao equipamento interior, com 41%. O aquecimento tem também um grande contributo, com 35%, e a iluminação interior é responsável por 15% do consumo de energia.

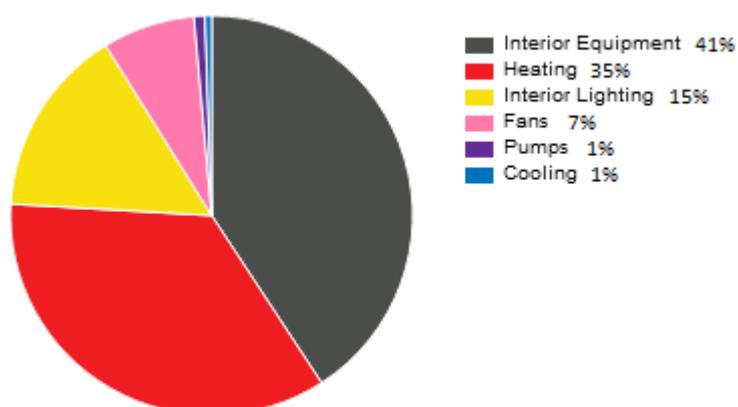


Figura 5.1: Distribuição de consumos por utilização final – Cenário Base.

Para uma melhor compreensão da dinâmica do bloco de teste, os ganhos internos de energia podem ser visualizados através da Figura 5.2. Esta distribuição de ganhos internos de energia pode ser compreendida como sendo a discriminação das fontes ou meios pelos quais a carga térmica do bloco de teste aumenta. Após a observação pode-se retirar que os maiores contributos de ganhos internos são proporcionados pelas pessoas, paredes exteriores, equipamento elétrico e janelas. A iluminação e as coberturas têm uma contribuição mais baixa, mas ainda assim significativa.

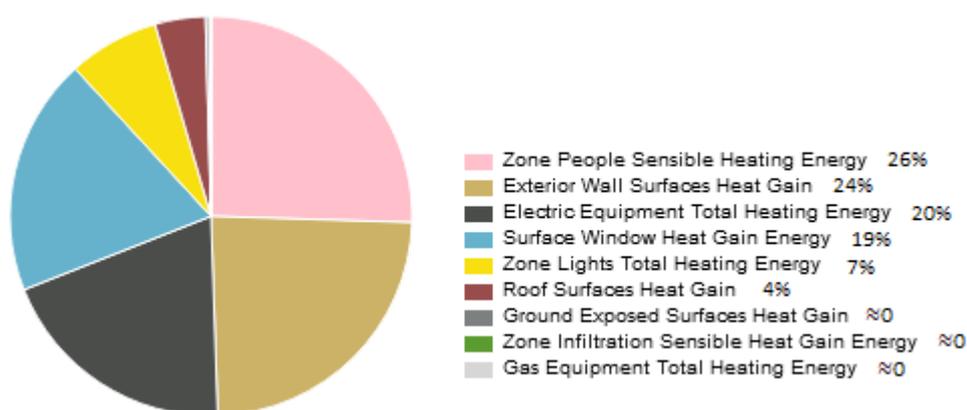


Figura 5.2: Distribuição de ganhos térmicos internos – Cenário Base.

Como complemento aos ganhos internos também é relevante estudar as perdas internas, que poderão ser entendidas como os sorvedouros ou meios pelos quais a carga térmica diminui. Nesse sentido, através da observação da Figura 5.3, é de realçar que a infiltração de ar do exterior é responsável pela maior percentagem de perdas térmicas, com 55%. Este valor poderá ser tão elevado devido ao facto de estarem quase sempre portas abertas no decorrer das aulas, e também devido à grande utilização das portas de entrada do bloco de teste. Estes fatores conjugados podem fazer com que a infiltração de ar exterior seja superior ao que era esperado. Com percentagens bastante inferiores, mas significativas, estão as paredes exteriores, as superfícies em contacto com a terra, as janelas e as coberturas.

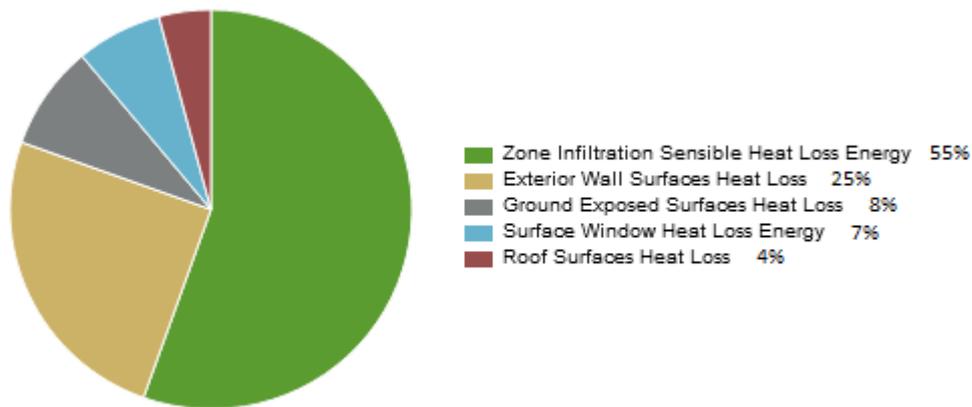


Figura 5.3: Distribuição de perdas térmicas internas – Cenário Base.

De modo a documentar com mais detalhe os consumos elétricos anuais, apresenta-se a Figura 5.4 com o diagrama de carga anual em kW. Pode-se observar que os consumos estão maioritariamente entre os 30 e os 60 kW. Na época correspondente às férias de verão (15 de julho a 15 de setembro), nota-se que os consumos são mais baixos, estando maioritariamente compreendidos entre 15 e 40 kW, o que se deve à muito reduzida ocupação do bloco de teste, estando a maior parte das pessoas em férias escolares. No Anexo B – Resultados da Simulação pode ser visualizado o consumo mensal de energia elétrica em kWh através de um gráfico de barras.

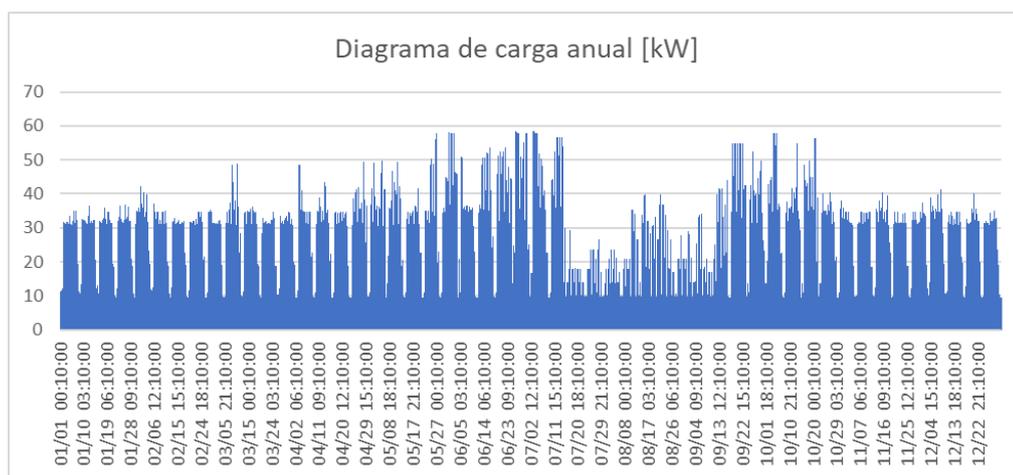


Figura 5.4: Diagrama de carga anual [kW] – Cenário Base.

A outra fonte de energia utilizada é o gás natural, que é utilizado apenas para efeitos de aquecimento na climatização. Deste modo é relevante compreender quais os consumos ao longo do ano, consoante as necessidades de aquecimento. Para tal, pode-se observar na Figura 5.5,

que existe um consumo muito reduzido nos meses mais quentes (junho, julho, agosto e setembro), o que é natural devido às temperaturas mais elevadas próprias dessa época. Entre dezembro e fevereiro, observa-se um consumo muito mais elevado, justificado pelas baixas temperaturas no inverno, que exigem naturalmente uma maior atividade dos sistemas de climatização. No Anexo B – Resultados da Simulação pode ser visualizado o consumo mensal de gás natural em kWh, num gráfico de barras.

A simulação estima consumos para climatização de uma forma rígida, em função dos *set-points* que na prática podem não existir, já que normalmente os sistemas são ativados/desativados em função da estação do ano.

É importante, numa primeira fase, perceber quais os consumos ao longo do ano, tanto ao nível da eletricidade como do gás natural, para ter uma visão mais ampla do funcionamento do bloco de teste. Só após estas observações se poderá estar em condições de estudar outros aspetos mais particulares do comportamento térmico, entrando em mais detalhe.

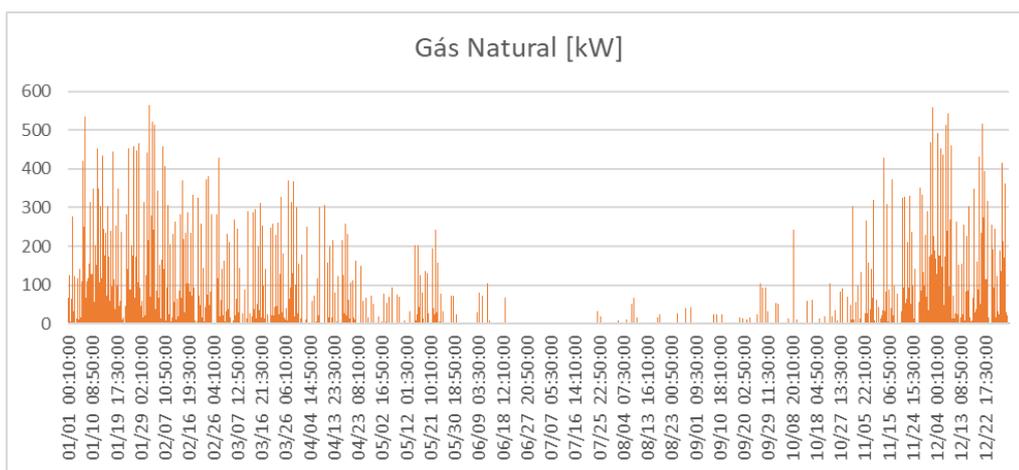


Figura 5.5: Diagrama anual de gás natural [kW] – Cenário Base.

A Figura 5.6 permite analisar a evolução da temperatura interna nos corredores do piso -1 (gráfico cor de laranja) com base na temperatura exterior (gráfico azul). O consumo de gás natural (gráfico cinzento) do bloco de teste permite igualmente observar quando é que há maior consumo, de acordo com as necessidades de aquecimento. Esta análise foi feita para alguns dias de outubro. Pode-se visualizar um pico de consumo de gás natural na madrugada do dia 9, devido às temperaturas internas terem baixado dos 20°C, o *Set-Point* de aquecimento. É necessário ter em conta que o consumo de gás natural apresentado neste gráfico é o consumo de todo o bloco de teste, por isso, na madrugada do dia 8 as temperaturas internas também

desceram dos 20°C, mas, no edifício como um todo tal não foi suficiente para que se verificasse um pico no consumo de gás natural, existindo possivelmente outras zonas que não vieram abaixo dos 20°C. A partir do dia 9 observa-se que as temperaturas internas oscilam entre os 20 e os 25°C, sendo as temperaturas exteriores mais elevadas do que nos dias anteriores, não havendo necessidades notórias de gás natural.

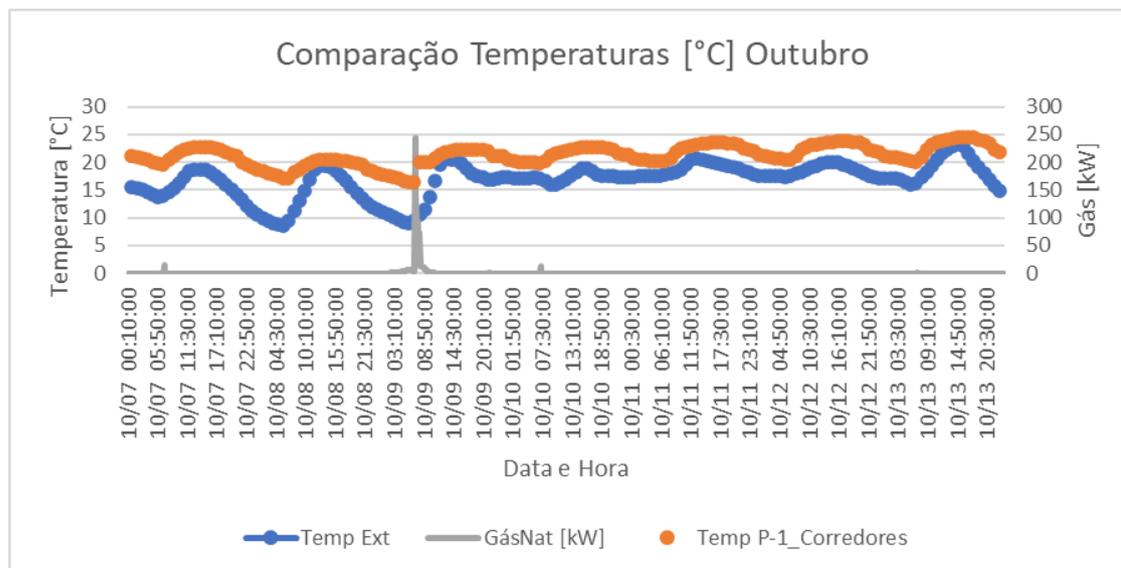


Figura 5.6: Temperatura outubro – P-1_Corredores.

Procurando analisar as épocas mais quentes do ano, apresenta-se a Figura 5.7, com dados entre os dias 2 a 4 de julho, com temperaturas elevadas. Em concordância com o gráfico anterior, na Figura 5.7 as temperaturas exteriores (°C) estão representadas também em azul, as temperaturas interiores (°C) dos corredores do piso -1 a cor de laranja, o consumo de gás natural (kW) a cinzento e introduziu-se o consumo de energia elétrica (kW) com a cor amarela. Pode-se observar que neste período do ano não existe consumo de gás natural (o gráfico cinzento está praticamente sempre com o valor 0), devido ao facto de não haver necessidades de aquecimento. É de realçar que no dia 3 as temperaturas exteriores ultrapassam os 35°C e as temperaturas interiores são superiores a 25°C, chegando aos 30°C, o que significa que o sistema de arrefecimento não conseguiu garantir totalmente que as temperaturas não subissem acima dos 25°C, estabelecidos como *Set-Point*. Enquanto as temperaturas interiores estão acima dos 25°C acontece que o consumo de energia elétrica atinge um planalto. Este planalto poderá ser mais elevado devido ao consumo do sistema de arrefecimento, que contém um *Chiller* elétrico. Nesta época do ano podem, deste modo, ocorrer períodos em que não se consigam manter as condições de conforto, no que respeita a temperatura, estando o *Set-Point* de arrefecimento nos

25°C. Dentro do mesmo período temporal encontra-se, no Anexo B – Resultados da Simulação, mais um gráfico exemplo para a zona das salas da fachada Nordeste do piso -1.

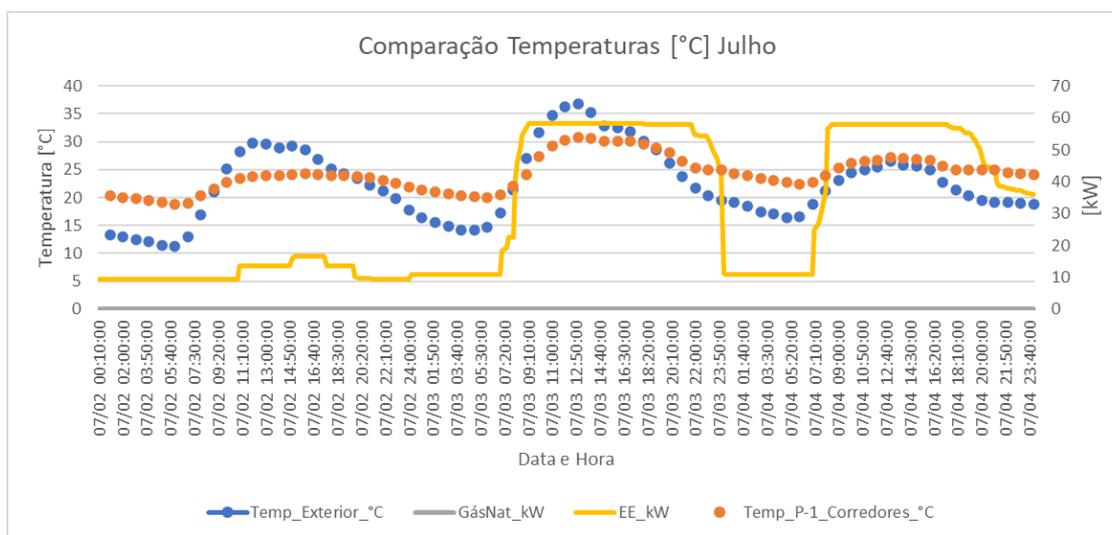


Figura 5.7: Temperatura julho – P-1_Corredores.

Mantendo exatamente as mesmas cores associadas a cada uma das grandezas já apresentadas na Figura 5.7, pode-se fazer algumas comparações, agora para uma das épocas mais frias do ano. Para tal é apresentada a Figura 5.8, com dados compreendidos entre os dias 26 e 31 do mês de dezembro. Pode-se observar que quase sempre que as temperaturas internas estão abaixo dos 20°C, existe um pico no consumo de gás natural, o que vai de encontro às necessidades de aquecimento típicas desta época, uma vez que o *Set-Point* de aquecimento está definido nos 20°C. Conforme foi explicado no comentário à Figura 5.6, não é estritamente necessário que exista um pico de consumo de gás natural, porque apenas se está a analisar as temperaturas para uma zona do bloco de teste, contudo, se existir um pico é um indicador muito forte de que possivelmente as temperaturas estão abaixo do *Set-Point* de aquecimento. Verifica-se que nas horas úteis as temperaturas internas são mantidas em torno dos 20°C, o que significa que as necessidades de conforto, neste aspeto, estão a ser asseguradas pelo sistema de aquecimento, do qual faz parte a caldeira a gás natural. Outra consideração relevante é o facto dos consumos de energia elétrica (gráfico amarelo) nas horas úteis rondarem os 30 kW, enquanto que em julho (Figura 5.7) se aproximam dos 60 kW. Este facto indicia um elevado aumento no consumo de energia elétrica em julho, devido ao sistema de arrefecimento. Para o período temporal de dezembro está apresentado, no Anexo B – Resultados da Simulação, mais um gráfico exemplo para a zona das salas da fachada Nordeste do piso -1.

Importa referir que as amostragens de temperatura interior do gráfico cor de laranja são de hora a hora, o que pode causar algum impacto visual, podendo parecer que há uma descontinuidade injustificada sempre que o sistema de aquecimento entra em funcionamento. Os 5°C de variação que ocorrem em algumas situações podem corresponder a uma hora de funcionamento do sistema de aquecimento.

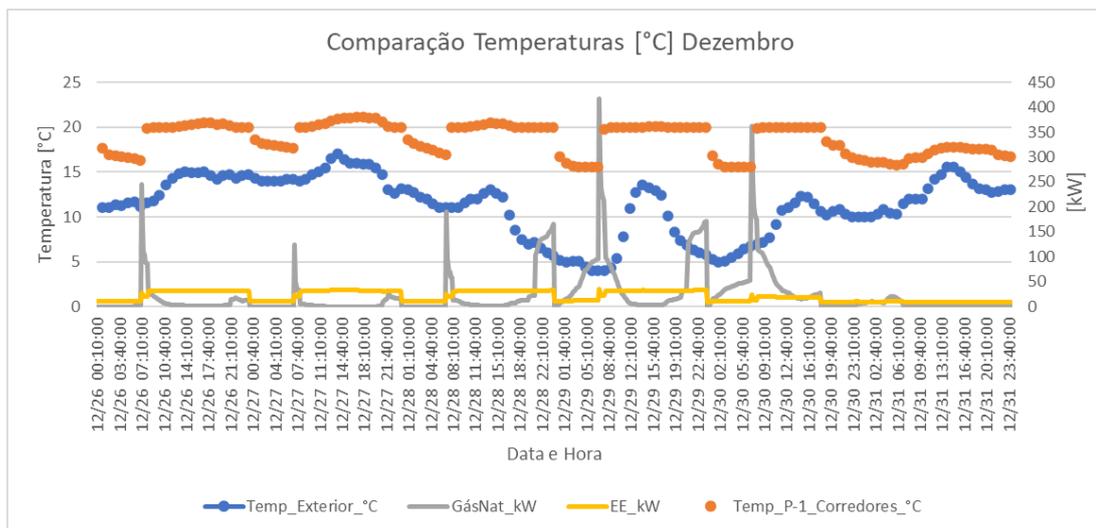


Figura 5.8: Temperatura dezembro – P-1_Corredores.

5.2. Comportamentos simulados

Foram simulados vários comportamentos, com vista à estimativa de poupança que se poderá obter em termos energéticos, os quais se apresentam em seguida.

5.2.1. Alteração dos *Set-points* da climatização (19°C e 26°C)

Nesta simulação pretende-se analisar os resultados decorrentes do alívio de 1°C nos *Set-Points* de aquecimento e arrefecimento, os quais foram alterados para respetivamente 19°C e 26°C, permitindo uma maior amplitude de temperatura interior de funcionamento, no bloco de teste. A poupança de energia anual pode ser visualizada na Tabela 5.2, através da qual se observa uma redução de aproximadamente 20,3% no gás natural e 4,1% na eletricidade, o que é bastante significativo. Com esta redução nos consumos estima-se uma poupança de 1792€ nos encargos totais de eletricidade e gás natural. Pode-se observar também que existe uma poupança total de 9,8% relativamente à energia consumida, o que se traduz numa redução dos encargos anuais em 7,2%.

Tabela 5.2: Redução anual – Alteração dos *Set-Points* da climatização (19°C e 26°C).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	7721	4,1	820	4,1
Gás Natural	20945	20,3	972	20,3
Total	28666	9,8	1792	7,2

5.2.2. Alteração dos *Set-points* da climatização (21°C e 24°C)

Com esta simulação é suposto compreender qual o impacto provocado pelo agravamento de 1°C nos *Set-Points* de aquecimento e arrefecimento, os quais foram alterados respetivamente para 21°C e 24°C. Na Tabela 5.3 estão os resultados da poupança anual relativa ao cenário base. Importa referir que os valores presentes na Tabela 5.3 têm todos sinal negativo, o que significa que neste caso apenas houve aumentos e não reduções nos consumos. Uma vez que se reduziu a amplitude de funcionamento da temperatura, é esperado que se exija mais do sistema de climatização. Como tal, houve um aumento de 5,9% no consumo de eletricidade e de 31% no consumo de gás natural. Estes aumentos traduziram-se também num aumento global de 2673€ nos encargos anuais. Pode-se retirar que esta alteração causa um elevado impacto económico, com um aumento de 10,7% nos encargos anuais com energia.

Tabela 5.3: Redução anual – Alteração dos *Set-Points* da climatização (21°C e 24°C).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	-11222	-5,9	-1192	-5,9
Gás Natural	-31914	-31,0	-1481	-31,0
Total	-43137	-14,7	-2673	-10,7

5.2.3. Aumento da utilização da iluminação (0,9 para 1)

Relativamente à iluminação aumentou-se a sua utilização nas horas úteis de 0,9 para 1. Deste modo consegue-se analisar as diferenças entre a utilização padrão e a máxima utilização, de modo a compreender esse impacto. Esta utilização máxima, pode ser justificada pelas luzes ligadas por esquecimento, por parte dos utilizadores das salas de aula, por exemplo.

Os valores obtidos para a redução anual de consumos de energia podem ser visualizados na Tabela 5.4. Destes valores retira-se que houve um aumento de 2,1% do consumo em eletricidade e uma redução de 1,7% em gás natural. Em termos globais houve um aumento de 344€ nos encargos com a energia, o que representa um aumento de 1,4%. A redução do consumo de gás natural, poderá ter a ver com o facto da redução das necessidades de aquecimento, devido ao aumento das potências envolvidas nos sistemas de iluminação.

Tabela 5.4: Redução anual – Alteração da utilização da iluminação (0,9 para 1).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	-4021	-2,1	-427	-2,1
Gás Natural	1797	1,7	83	1,7
Total	-2224	-0,8	-344	-1,4

5.2.4. Diminuição da utilização da iluminação (0,9 para 0,8)

Nesta simulação reduziu-se a utilização da iluminação de 0,9 para 0,8, procurando refletir um comportamento mais moderado, tendo em conta alguma preocupação com a eficiência energética. Após observação da Tabela 5.5 pode-se avançar que houve uma redução de 2,1% no consumo de eletricidade e um aumento de 1,8% no gás natural. Em termos de encargos verificou-se uma diminuição global de 340€ (1,4%). O aumento do consumo de gás natural poderá ser um efeito direto da redução de carga elétrica que teria algum ganho térmico, devido à natureza dos sistemas de iluminação, que dissipam sempre algum calor. Para manter os níveis de temperatura programados, o sistema de aquecimento poderá ter que consumir mais energia, daí o aumento do consumo de gás natural.

Tabela 5.5: Redução anual – Alteração da utilização da iluminação (0,9 para 0,8).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	4005	2,1	425	2,1
Gás Natural	-1847	-1,8	-86	-1,8
Total	2158	0,7	340	1,4

5.2.5. Aumento da utilização dos equipamentos (0,8 para 1)

Estando a utilização padrão dos equipamentos fixada em 0,8, procedeu-se à alteração do seu valor, nas horas úteis, para 1, de maneira a simular a utilização máxima. Um aspeto prático que contribui para este aumento da utilização de equipamentos, é o facto de os computadores poderem ficar ligados por esquecimento, por exemplo, entre aulas, quando poderiam estar desligados. Desta simulação resultou um aumento de 10,6% do consumo em eletricidade e uma redução de 3% em gás natural, de acordo com os dados apresentados na Tabela 5.6. De modo global houve um aumento de 1991€ nos encargos anuais, o que é bastante significativo, correspondendo a 8,0%.

Tabela 5.6: Redução anual – Alteração da utilização dos equipamentos (0,8 para 1).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	-20120	-10,6	-2137	-10,6
Gás Natural	3135	3,0	145	3,0
Total	-16985	-5,8	-1991	-8,0

5.2.6. Diminuição da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6)

Com uma diminuição da utilização dos equipamentos de 0,8 para 0,6 pretende-se simular um comportamento mais eficiente energeticamente. Neste caso pode-se verificar na Tabela 5.7 uma redução muito significativa no consumo elétrico de 10,6% e um aumento no consumo de gás natural de 3,3%. Uma possível explicação para estes resultados poderá ser análoga ao caso em que se diminuiu a utilização da iluminação. Diminuindo significativamente a utilização de equipamentos, poderá haver uma redução de ganhos térmicos, o que poderá fazer com que o consumo de gás natural, associado ao sistema de aquecimento, aumente. De um modo global verificou-se uma redução de 7,9% nos encargos anuais, correspondendo ao valor de 1976€, o que é significativo.

Tabela 5.7: Redução anual – Alteração da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6).

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	20095	10,6	2134	10,6
Gás Natural	-3408	-3,3	-158	-3,3
Total	16688	5,7	1976	7,9

5.2.7. Ativação de estores de sombreamento exterior

De maneira a simular o sombreamento através de estores exteriores, definiram-se controlos distintos para a fachada Sudoeste e para a fachada Nordeste. Optou-se por ativar o sombreamento apenas na fachada Sudoeste, nos meses de junho, julho e agosto, das 12h às 16h. Uma vez que a fachada Sudoeste tem uma maior exposição solar considerou-se mais adequado apresentar a simulação apenas com o sombreamento ativo nesta fachada. Este tipo de ação, na prática, pode ser efetuado pelos operadores do sistema de gestão técnica e não pelos ocupantes do bloco de teste. Após a observação da Tabela 5.8, pode-se verificar que os consumos de eletricidade reduziram 0,5% e os de gás natural aumentaram, mas num valor pouco significativo. Em termos globais os encargos anuais diminuíram 107€, correspondendo a 0,4%.

Tabela 5.8: Redução anual – Com sombreamento exterior.

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	1025	0,5	109	0,5
Gás Natural	-36	-0,0	-2	-0,0
Total	989	0,3	107	0,4

5.2.8. Ativação de cortinas de sombreamento interior

De modo a simular o sombreamento das cortinas interiores, foi definido exatamente o mesmo controlo que foi descrito na secção anterior, para a simulação de estores de sombreamento

exterior. Este poderá ser um comportamento dos ocupantes, quando se sentem desconfortáveis com a elevada incidência solar nas janelas, visto que se está a simular a época mais quente. Com este comportamento resultou uma ligeira diminuição, inferior a 0,1%, em eletricidade e um ligeiro aumento, inferior a 0,1%, em gás natural, conforme se pode observar nos valores da Tabela 5.9, o que é muito pouco significativo. De modo global verificou-se que os encargos anuais com a energia permaneceram quase inalterados.

Deste modo, pode-se avançar que a simulação de sombreamento de estores exteriores demonstra ter muito mais benefício, em termos de poupança anual, do que a ativação de cortinas interiores.

Tabela 5.9: Redução anual – Com sombreamento interior.

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	47	0,0	5	0,0
Gás Natural	-14	-0,0	-1	-0,0
Total	33	0,0	4	0,0

5.2.9. Conjugação dos comportamentos mais eficientes

De maneira a incluir os comportamentos mais eficientes fez-se uma simulação que contém as 4 melhores medidas apresentadas anteriormente, que são:

- Alteração dos *Set-Points* de climatização (19°C e 26°C);
- Diminuição da utilização da iluminação (0,9 para 0,8);
- Diminuição da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6);
- Ativação de estores de sombreamento exterior.

Com esta conjugação de comportamentos eficientes obtiveram-se os valores mais elevados de poupança, tanto em energia como nos encargos, conforme apresentado na Tabela 5.10. Houve uma redução de 16,8% no consumo de energia total e uma redução de encargos de 16,9%, o que é muito significativo.

Importa referir que, na prática, poderá não ser fácil implementar alterações comportamentais em todas as vertentes que foram aqui consideradas. Contudo, esta simulação apresenta um cenário que tende para o ideal, mas que pode ser considerado como uma referência.

Tabela 5.10: Redução anual – Conjugação dos comportamentos mais eficientes.

	Poupança anual		Redução anual de encargos	
	[kWh]	[%]	[€]	[%]
Eletricidade	32498	17,1	3451	17,1
Gás Natural	16779	16,3	779	16,3
Total	49277	16,8	4230	16,9

5.3. Análise geral dos resultados

Perante as diversas simulações apresentadas no subcapítulo 5.2, as que apresentaram maior relevância ao nível da eficiência energética foram as selecionadas para fazer a simulação do cenário ideal no subcapítulo 5.2.9. Deste modo procurou-se ter uma referência para o máximo de poupança que é possível atingir para o bloco de teste.

Relativamente às medidas aplicadas individualmente, pode-se referir que com o alívio de 1°C nos *Set-Points* de climatização (19°C para aquecimento e 26°C para arrefecimento) conseguiu-se atingir uma poupança total de 9,8% relativamente à energia consumida, o que representou uma redução dos encargos anuais em 7,2%. Com o agravamento de 1°C nos *Set-Points* de climatização (21°C para aquecimento e 24°C para arrefecimento) os consumos de energia aumentaram 14,7%, representando um aumento de 10,7% nos encargos anuais. Através da “Diminuição da utilização da iluminação (0,9 para 0,8)” foi possível reduzir os consumos energéticos em 0,7% e os encargos em 1,4%. Com a “Diminuição da utilização dos equipamentos (0,8 para 0,6)” verificaram-se poupanças de 5,7% nos consumos energéticos e uma redução de 7,9% nos encargos. A “Ativação de estores de sombreamento exterior” resultou em 0,3% de redução dos consumos de energia e 0,4% de diminuição dos encargos.

Página deixada propositadamente em branco

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

6.1. Conclusões

Nesta dissertação, o primeiro objetivo foi a caracterização de comportamentos e a sua influência no consumo energético do edifício estudado. Pode-se constatar, após observação do capítulo 5, que este objetivo foi cumprido, estando discriminados diversos comportamentos assim como a sua influência no consumo energético do edifício estudado. Para tal foram quantificados os valores das poupanças associadas aos diferentes comportamentos, com base nas simulações efetuadas.

O segundo objetivo inicialmente planeado foi a caracterização de condições de conforto e outras condicionantes dos comportamentos. Relativamente a este ponto, não houve possibilidade de o desenvolver tanto como seria desejável, uma vez que a pandemia fez com que se reestruturasse o plano inicialmente traçado para esta dissertação. Seria necessário fazer inquéritos presenciais para conseguir estudar com mais detalhe este assunto, o que não foi possível, devido ao distanciamento físico exigido mediante as condições de segurança sanitária. Contudo pode-se retirar, relativamente às análises feitas, que no que respeita à temperatura interior, na maior parte do ano, as condições de conforto são asseguradas pelos sistemas de climatização. Analisando também as épocas mais frias do ano pode-se constatar que o sistema de aquecimento consegue responder de maneira adequada, mantendo as temperaturas em torno dos 20°C, que é o *Set-Point* de aquecimento. Nas épocas mais quentes do ano observa-se que podem haver determinados períodos em que a temperatura interna chega aos 30°C, o que afeta as condições de conforto, uma vez que o *Set-Point* de arrefecimento está definido nos 25°C.

O último objetivo refere-se a recomendações e propostas de atuação. Neste sentido procurou-se dar resposta a este assunto com base nos resultados obtidos, que permitiram compreender diversas variações nos consumos, em diversas áreas.

Relativamente à simulação dinâmica, o *software Open Studio* foi muito importante devido às suas potencialidades que permitiram extrair os dados, depois de estar o bloco de teste configurado, de maneira a poder analisar os diversos aspetos apresentados nesta dissertação.

Da análise de dados é possível observar que o alívio de 1°C nos *Set-Points* de temperatura (19°C para aquecimento e 26°C para arrefecimento) é um dos comportamentos que mais impacto económico tem nos consumos energéticos do edifício, traduzindo-se numa poupança anual de 1792€. Sendo os encargos anuais, no cenário base, de 24974€, significa que esta variação corresponde a 7,2% desse valor, o que é muito significativo. Por outro lado, o

agravamento de 1°C nos *Set-Points* de climatização (21°C para aquecimento e 24°C para arrefecimento) faz com que os consumos de energia aumentem 14,7%, o que representa um aumento de 2673€ nos encargos anuais.

Outro comportamento que também tem um elevado impacto económico é a diminuição da utilização dos equipamentos. Esta diminuição da utilização tem a ver com os períodos em que os equipamentos não estão a ser utilizados e como tal podem ser desligados. Pode-se verificar que a diminuição da utilização dos equipamentos representa uma poupança de 1976€ enquanto o aumento da utilização se traduz num aumento de 1991€.

Relativamente à alteração da utilização da iluminação, as variações dos encargos anuais são notáveis, mas não tão expressivas como na alteração dos *Set-Points* de temperatura ou na alteração de utilização dos equipamentos. Importa referir que tanto na iluminação como nos equipamentos, quando se aumenta a utilização, existe um aumento no consumo de eletricidade e uma diminuição no consumo de gás natural. Este facto é explicado como sendo uma consequência do acréscimo de calor produzido, devido ao aumento das potências elétricas envolvidas. Uma vez que existem mais ganhos térmicos, faz sentido que o consumo de gás natural para aquecimento diminua. Com um raciocínio idêntico, também se pode explicar que quando se diminui a utilização da iluminação e equipamentos, as potências envolvidas são menores, logo é libertado menos calor e, como tal, o sistema de aquecimento tem de consumir mais, aumentando então o consumo de gás natural.

Quanto às simulações de ativação de sombreamento para os meses mais quentes, é de realçar que a ativação de estores exteriores poderá representar uma poupança anual de 107€. Para tal apenas é necessário que se fechem os estores nos meses de junho, julho e agosto entre as 12h e as 16h, na fachada Sudoeste do edifício. A ativação de cortinas interiores não demonstrou benefícios económicos, e como tal não deverá ser utilizada como sistema principal de sombreamento, podendo ser um complemento ao sombreamento exterior. Deve-se ter em consideração que estes acionamentos proporcionam melhores condições de conforto aos ocupantes do bloco de teste. Em termos económicos e energéticos é mais adequado o acionamento de estores exteriores, considerando que tanto o acionamento de estores exteriores como o acionamento de cortinas interiores têm o objetivo de proporcionar melhores condições de conforto no interior do bloco de teste.

A conjugação dos comportamentos mais eficientes foi um cenário simulado, tendo em consideração todos os melhores comportamentos, de modo a ter um cenário ideal. Após a análise pode-se verificar uma redução de 16,8% no consumo de energia e uma redução de

16,9% nos encargos com a energia, o que é bastante significativo. Contudo este cenário é apenas uma referência a ter em consideração, não sendo fácil de o atingir na prática.

Existe alguma incerteza quanto ao valor da infiltração de ar no bloco de teste. Este valor tem uma elevada influência, especialmente nos consumos de gás natural. Uma diminuição de 0,5 renovações/hora pode fazer reduzir os consumos de gás natural em cerca de 50000 kWh, enquanto que um aumento de 0,5 renovações/hora pode fazer aumentar em cerca de 50000 kWh. Estas variações no consumo de gás natural são da ordem dos 50%, daí que este parâmetro tenha uma grande influência nestes consumos.

Relativamente às recomendações e propostas de atuação, a gestão do edifício pode intervir perante os serviços de gestão técnica, consciencializando para as possíveis poupanças, no que diz respeito às alterações dos *Set-Points* das temperaturas. Outro aspeto a ter em consideração nos serviços técnicos é que com um funcionamento adequado dos estores exteriores, os ocupantes não têm tanta necessidade de acionar as cortinas interiores, para manter os níveis de conforto, o que em termos económicos é mais vantajoso. Para atuar no sentido da redução dos consumos de iluminação e equipamentos, pode-se colocar indicadores com frases apelativas à poupança energética nas salas de aula, por exemplo por cima de alguns interruptores, nos monitores e computadores. Pode-se também consciencializar os docentes para que procurem, em certa medida, transmitir alguns ensinamentos aos alunos, no sentido da redução dos consumos, com vista a uma melhor eficiência energética.

6.2.Trabalho futuro

Seria interessante estudar mais em detalhe a influência das variações efetuadas pelos ocupantes nos radiadores, sendo necessários dados que não estão disponíveis neste momento. Deste modo será possível analisar se o impacto é significativo e com base nisso que propostas de melhoria serão adequadas.

A realização de inquéritos presenciais aos ocupantes do edifício é um ponto que poderá contribuir para compreender melhor a apetência das pessoas para os comportamentos mais eficientes. Para que tipo de comportamentos é que as pessoas demonstram estar mais sensibilizadas relativamente à eficiência energética. Com os inquéritos podem-se também abordar as condições de conforto sentidas pelos ocupantes do edifício, e com essa base obter um conhecimento mais detalhado do funcionamento do edifício. Deste modo podem formular-se estratégias mais adequadas e mais eficazes, tendo sempre em consideração a eficiência energética, mas nunca esquecendo as condições de conforto dos ocupantes.

Outro tema pertinente poderá ser a análise de técnicas de consciencialização para redução de consumos e os seus efeitos na redução efetiva dos consumos energéticos de um edifício. Este assunto tem bastante relevância na medida em que se deve conhecer melhor a reação das pessoas perante a consciencialização sobre a eficiência energética. Um melhor conhecimento a este nível poderá prever à partida algumas abordagens que sejam pouco eficazes e como tal, ajudar a orientar os gestores dos edifícios a tomar decisões mais adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-janabi, A., Kavgic, M., Mohammadzadeh, A., Azzouz, A., 2019. Comparison of EnergyPlus and IES to model a complex university building using three scenarios: Free-floating, ideal air load system, and detailed. *Journal of Building Engineering* 22, 262–280. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.12.022>
- Almeida, A. de, Fonseca, P., Schlomann, B., Feilberg, N., 2011. Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings* 43, 1884–1894. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.027>
- Al-Zubaydi, A.Y.T., 2013. Building Models Design And Energy Simulation With Google Sketchup And Openstudio (artigo em revista científica) 3, 17.
- Araújo, I.J. da S., 2015. Auditoria energética : edifício da Escola Superior de Tecnologia e Gestão : caso de estudo (masterThesis). Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Bernardo, H., Martins, A.G., 2020. Chapter 2.1 - Resource-efficient nondomestic buildings: Intertwining behaviour and technology, in: Lopes, M., Antunes, C.H., Janda, K.B. (Eds.), *Energy and Behaviour*. Academic Press, pp. 109–127. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818567-4.00006-5>
- Carvalho, F.M. de, 2015. Avaliação da viabilidade de um sistema de ventilação natural: aplicação à sala de estudo do Edifício I do ISCTE-IUL (artigo em revista científica) 97.
- Clarke, J.A. (Ed.), 2001. *Energy Simulation in Building Design*, 2nd ed. Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9780080505640>
- Clemente, P., Domingos, G., 2020. EFILUM - Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Artificial num Edifício Escolar (Projeto Final de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria.
- DGEG, ADENE, 2021. Manual-SCE.pdf [WWW Document]. URL <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/Manual-SCE.pdf> (accessed 5.5.22).
- Drivas, K., Rozakis, S., Xesfingi, S., 2019. The effect of house energy efficiency programs on the extensive and intensive margin of lower-income households' investment behavior. *Energy Policy* 128, 607–615. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.040>
- Frederiks, E.R., Stenner, K., Hobman, E.V., 2015. The Socio-Demographic and Psychological Predictors of Residential Energy Consumption: A Comprehensive Review. *Energies* 8, 573–609. <https://doi.org/10.3390/en8010573>
- Gill, C., Lang, C., 2018. Learn to conserve: The effects of in-school energy education on at-home electricity consumption. *Energy Policy* 118, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.058>
- Gomes, A.V., 2019. Comportamento Térmico de Elementos Opacos - Paredes (artigo em revista científica). *riets* 2, 1–17. <https://doi.org/10.37334/riets.v2i4.18>
- Governo de Portugal, 2013. Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.
- Hong, T., Yan, D., D'Oca, S., Chen, C., 2017. Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment* 114, 518–530. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006>
- INESC Coimbra, I.C., 2010. Relatório de Auditoria Energética.
- Johnson, D., Horton, E., Mulcahy, R., Foth, M., 2017. Gamification and serious games within the domain of domestic energy consumption: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.134>
- Lopes, M.A.R., Antunes, C.H., Martins, N., 2012. Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 4095–4104. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.034>

- Luísa, A., Reis, O., 2013. Influência dos comportamentos no consumo energético de edifícios (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica.
- Marques, C., 2020. Avaliação do Desempenho de um Edifício Pedagógico do Ensino Superior para Promoção da Sustentabilidade e da Qualidade do Ambiente Interior (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria.
- Morganti, L., Pallavicini, F., Cadel, E., Candelieri, A., Archetti, F., Mantovani, F., 2017. Gaming for Earth: Serious games and gamification to engage consumers in pro-environmental behaviours for energy efficiency. *Energy Research & Social Science* 29, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.001>
- Oliveira, D., 2014. Estudo do potencial de poupança energético associado a um parque informático distribuído (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria.
- Peham, M., Breiffuss, G., Michalczuk, R., 2014. The “ecoGator” app: gamification for enhanced energy efficiency in Europe, in: *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM '14*. Presented at the the Second International Conference, ACM Press, Salamanca, Spain, pp. 179–183. <https://doi.org/10.1145/2669711.2669897>
- Pothitou, M., Varga, L., Kolios, A.J., Gu, S., 2017. Linking energy behaviour, attitude and habits with environmental predisposition and knowledge. *International Journal of Sustainable Energy* 36, 398–414. <https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1032290>
- Robertson, P., 2022. ASHRAE Recommended Air Changes Per Hour. *Smart Air*. URL <https://smartairfilters.com/en/blog/ashrae-air-changes-per-hour-office-residential/> (accessed 5.5.22).
- Swan, L.G., Ugursal, V.I., 2009. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1819–1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- Tilov, I., Farsi, M., Volland, B., 2019. Interactions in Swiss households’ energy demand: A holistic approach. *Energy Policy* 128, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.027>
- U.S. Department of Energy, 2021. *EnergyPlus Essentials* (Guia de utilização de software).
- Wiesmann, D., Lima Azevedo, I., Ferrão, P., Fernández, J.E., 2011. Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy* 39, 2772–2779. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.047>
- Wilson, C., Crane, L., Chryssochoidis, G., 2015. Why do homeowners renovate energy efficiently? Contrasting perspectives and implications for policy. *Energy Research & Social Science* 7, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.03.002>
- Wood, G., Newborough, M., 2007. Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays. *Energy and Buildings* 39, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.06.009>
- Wood, G., Newborough, M., 2003. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design. *Energy and Buildings* 35, 821–841. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00241-4)
- Xu, X., Chen, C., 2019. Energy efficiency and energy justice for U.S. low-income households: An analysis of multifaceted challenges and potential. *Energy Policy* 128, 763–774. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.020>
- Yue, T., Long, R., Chen, H., Khan, M.I., Qi, H., 2016. Research of Effect of Energy-conservation Results: Evidence from Urban Household Survey. *Energy Procedia, Clean Energy for Clean City: CUE 2016--Applied Energy Symposium and Forum: Low-*

Carbon Cities and Urban Energy Systems 104, 293–298.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.050>

Página deixada propositadamente em branco

ANEXOS

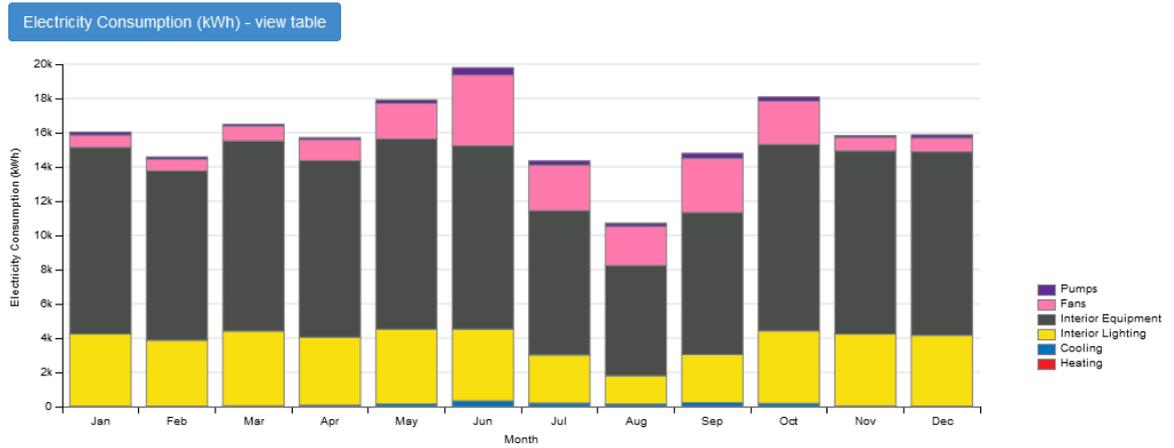
Anexo A – Especificações Técnicas

VIDRO DUPLO sggCLIMAPLUS® 4S COM CAPA BAIXO EMISSIVA EM FACE 2													
Nome	sggCLIMAPLUS 4S				sggCLIMAPLUS ACOUSTIC 4S	sggCLIMAPLUS SILENCE 4S	sggCLIMAPLUS DESIGN 4S	sggCLIMAPLUS PROTECT 4S					
Vidro exterior	sggPLANISTAR				sggPLANISTAR	sggPLANISTAR	sggPLANISTAR	sggPLANISTAR	sggPLANISTAR				
Vidro interior	sggPLANILUX				sggPLANILUX	sggSTADIP SILENCE 44.1	sggMASTERGLASS	sggSTADIP PROTECT SP 510					
Composição ⁽¹⁾	mm	4 (12) 4	4 (15/16) 4*	6 (12) 6	6 (15/16) 6*	4 (10) 6	4 (12) 8	4 (16) 8	6 (16) 44.1	6 (12) 6	5 (12) SP 510		
Espessura	mm	20	23/24	24	27/28	20	24	28	30.5	24	27		
Peso	kg/m ²	20	20	30	30	25	30	30	35.5	30	35.5		
Factores luminosos %													
T _f	Transm. lum.	71	71	69	69	70	69	69	68	68	68		
R _{fE}	Refl. lum. int.	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12		
R _{fI}	Refl. lum. ext.	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
UV	T _{UV}	Transm. UV	%	11	11	10	10	11	10	10	1	7	< 1
Factores energéticos %													
T _e	Transm. energ.	38	38	36	36	37	36	36	35	34	35		
R _{eE}	Refl. energ.	30	30	27	27	30	30	30	26	26	28		
A _{e1}	Abs. energ. vidro ext.	29	29	34	34	30	30	30	34	34	32		
A _{e2}	Abs. energ. vidro int.	3	3	3	3	3	4	4	5	7	5		
Factor solar g													
Norma EN 410		0.42	0.42	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.42	0.41		
Norma ISO 9050 M1		0.39	0.39	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.38	0.39	0.38		
Coeficiente sombra		0.48	0.48	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.47	0.48	0.47		

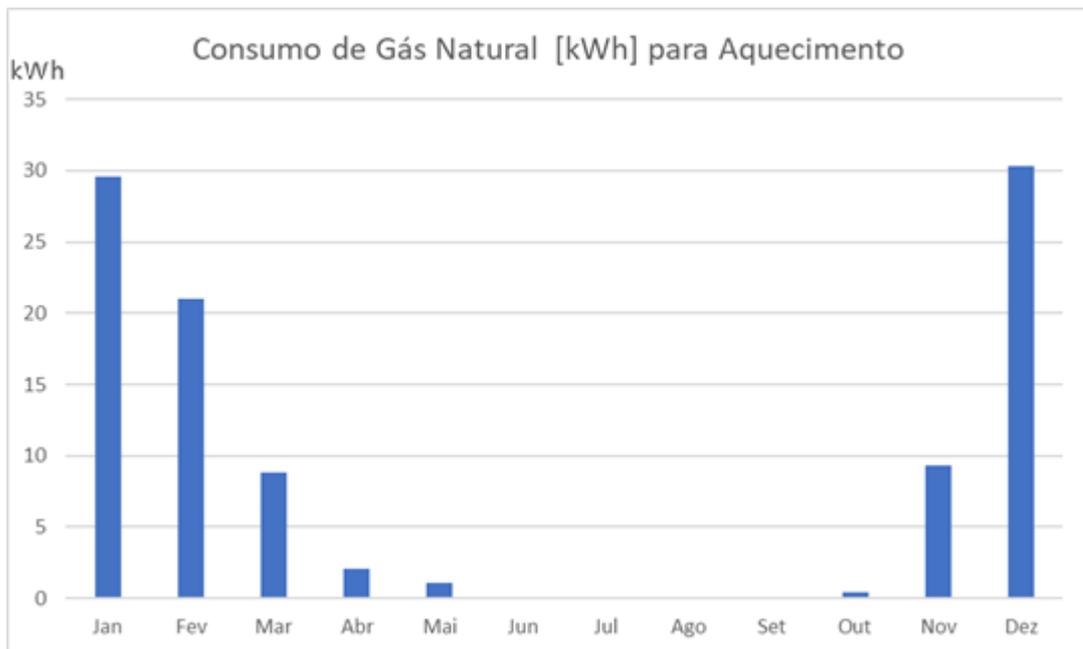
Especificações técnicas do fator solar ^[6].

⁶ <https://www.saint-gobain.pt/>

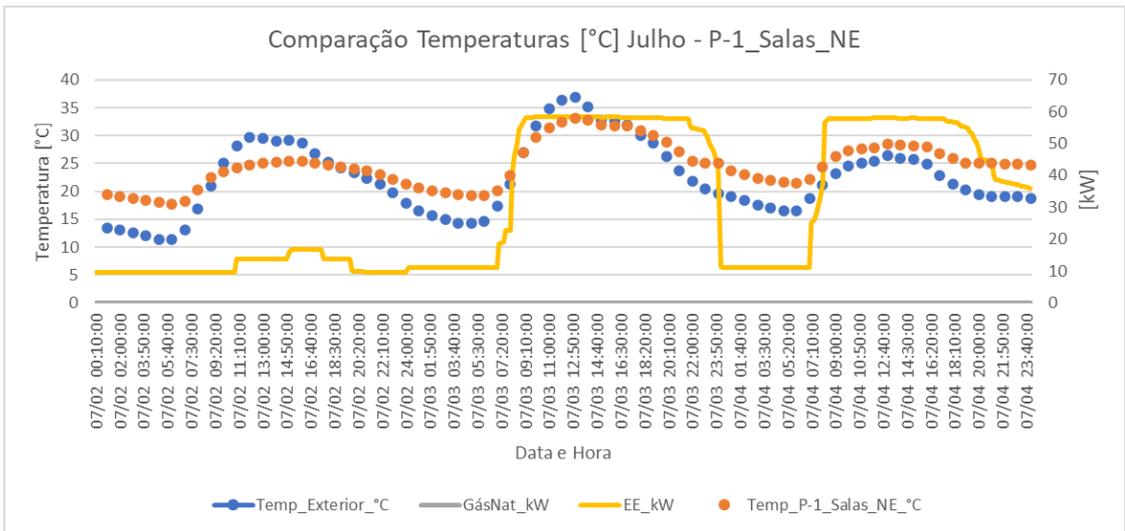
Anexo B – Resultados da Simulação



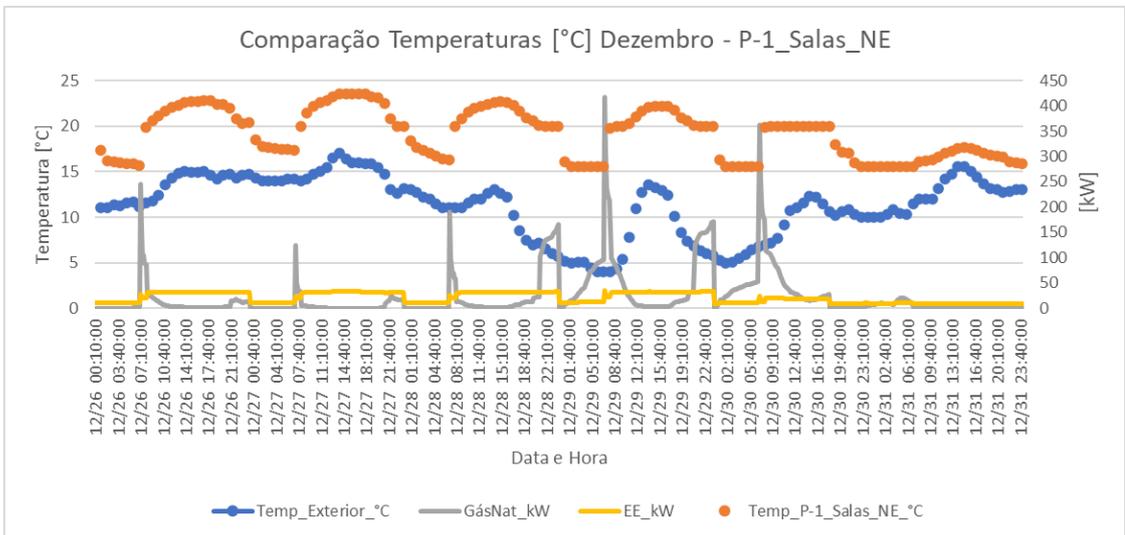
Consumo mensal de energia elétrica em kWh.



Consumo mensal de gás natural em kWh



Temperatura julho – P-1_Salas_NE.



Temperatura dezembro – P-1_Salas_NE.