

**ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO
DE INVERNO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS CORRENTES**

Ana Carolina Leite Duarte

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador Científico: Professor Doutor Daniel Aelenei

Júri:

Presidente: Professor Doutor Válder José da Guia Lúcio
Arguente: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Lisboa
2010

**ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO
DE INVERNO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS CORRENTES**

Ana Carolina Leite Duarte

Lisboa
2010

“Estratégias de Melhoria do Comportamento Térmico de Inverno em Edifícios Residenciais Correntes”

Copyright ©2011 de Ana Duarte, FCT/UNL, UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Consciente de que será impossível nomear todos aqueles que me ajudaram nesta última etapa, irei fazer referência a alguns. Em primeiro lugar, dirigirei as primeiras palavras de agradecimento ao Professor Daniel Aelenei, meu orientador científico cujo interesse e empenho foram fundamentais para a concretização desta dissertação. Não fosse a sua paciência, disponibilidade e confiança neste trabalho, esta tese não teria seguimento. A ele agradeço a força e otimismo que me transmitiu ao longo deste tempo.

À minha família e amigos, em especial aos meus pais e irmão, pelas valiosas lições de vida e pela eterna confiança nas minhas escolhas.

Ao André pelo apoio e motivação.

Agradeço também a todos os autores e investigadores cujo trabalho e pensamento fui conhecendo através de livros e artigos, e com quem aprofundei o gosto por este tema, que considero de supra importância para o futuro de uma construção sustentada.

Resumo

Em Portugal existiam em 2002 cerca de 3,3 milhões de edifícios sendo que o seu consumo energético, dominado pela energia eléctrica, representava cerca de 22% do consumo total de energia do país, ou seja, o equivalente a 3,5 Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo) [16].

No quadro das actuais exigências de conforto térmico, em sintonia com as especificações técnicas da regulamentação térmica em vigor, neste trabalho é feita uma análise das necessidades energéticas de aquecimento para um edifício residencial corrente (Inverno). Sobre esse edifício analisam-se as repercussões energéticas de quatro tipos de medidas de melhoria quando aplicadas a uma fracção. A adicionar ao estudo das soluções construtivas efectuou-se também um estudo do impacte da localização geográfica (Porto, Bragança, Lisboa) no comportamento térmico da fracção.

A quantidade de edifícios tenderá a aumentar com a generalização da melhoria das condições de vida dos portugueses, normalmente traduzidas em maiores necessidades de conforto térmico e portanto torna-se urgente incentivar a integração dos princípios de racionalização de energia nos edifícios em construção e em reabilitação para evitar que os consumos aumentem drasticamente.

Este trabalho procura estudar um conjunto de medidas de melhoria simples a aplicar a uma fracção autónoma com vista à redução dos consumos associados a climatização na estação de Inverno. O trabalho divide-se em três partes, sendo a primeira uma introdução aos temas que apelam aos princípios de transmissão de calor em edifícios. Na segunda parte apresenta-se o caso de estudo e as metodologias aplicadas, como base o RCCTE e o *EnergyPlus*. Na terceira e última parte apresentam-se os resultados do comportamento térmico para os cinco casos de estudo de cada concelho, e finalmente as conclusões.

Palavras-chave: Comportamento térmico; medidas de melhoria; Inverno; RCCTE; *EnergyPlus*.

Abstract

In 2002, there were approximately 3,3 million buildings in Portugal, and the primary means of energetic consumption was electric. Electric energy consumption represented approximately 22% of the total energy consumption in the country. The equivalent of 3,5 Mtep (Millions of tons equivalent to petroleum) [16].

This study consists in the analysis of the energetic requirements for heating current residential buildings regarding current thermal comfort requirements (Winter), which are consistent with the technical specifications of the current thermal regulations. In a given fraction of a building, the energetic repercussions of four different improvement measures are analyzed. In addition to the study of these constructive solutions, further study will be made regarding the impact of geographic location (Porto, Bragança, Lisboa) on the energetic performance of the fraction.

The number of buildings will tend to increase with the general improvement of living standards. This implies a greater necessity for thermal comfort in these buildings. So, it becomes imperative that incentive be given for the integration of the principals of energy rationalization in buildings under construction and rehabilitation to avoid drastic increases in energy consumption.

This work is intended to study a number of simple improvement measures that can be applied in an autonomous fraction with the objective of reducing the consumption associated with HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) during the winter. The work is divided in three parts. The first is an introduction to the themes regarding heat transmission in buildings. In the second part, a case-study is presented, as well as the applied methodologies based on RCCTE and *EnergyPlus*. The third and last part presents the results of thermal behavior for the five case studies of each location, and finally the conclusions.

Keywords: Thermal behavior; improvement measures; Winter; RCCTE; *EnergyPlus*.

Índice de Matérias

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do Tema.....	1
1.2. Motivações	1
1.3. Objectivos.....	2
1.4. Estrutura da dissertação.....	2
Capítulo 2 – Caracterização do comportamento térmico dos edifícios.....	3
2.1. Introdução.....	3
2.2. Fenómenos de transmissão de calor	3
2.2.1. Transmissão de calor por condução	4
2.2.2. Transmissão de calor por convecção.....	4
2.2.3. Transmissão de calor por radiação	5
2.3. Caracterização do comportamento térmico dos edifícios	6
2.3.1. Ganhos solares através dos envidraçados	6
2.3.2. Inércia térmica	7
2.3.3. Trocas por renovação do ar	8
2.3.4. Ganhos internos	8
Capítulo 3 – Caracterização do caso de estudo e análise do comportamento térmico dos edifícios pelo RCCTE	9
3.1. Introdução.....	9
3.2. Caso de estudo	9
3.3. Método de cálculo das necessidades de aquecimento pelo RCCTE	12
3.3.1. Perdas de calor por condução através da envolvente (Q_t)	12
3.3.2. Perdas de calor resultantes da renovação de ar (Q_v)	14
3.3.3. Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento (Q_{gu})	15
Capítulo 4 – Análise dinâmica do comportamento térmico dos edifícios – <i>EnergyPlus</i>	19
4.1. Introdução.....	19
4.2. Metodologia utilizada para definição do caso em estudo	19
4.3. Parâmetros de simulação (<i>Simulation parameters</i>).....	20
4.4. Localização e clima (<i>Location and Climate</i>).....	21
4.5. Horários (<i>Schedules</i>).....	24
4.6. Elementos de construção da envolvente (<i>Surface construction elements</i>)	28
4.7. Zonas Térmicas e Envolvente (<i>Thermal Zones and Surfaces</i>).....	29
4.8. Ganhos internos (<i>Internal Gains</i>)	31
4.9. Renovação de Ar (<i>Zone Airflow</i>)	32
4.10. Controlo de AVAC e Termóstatos (<i>Zone HVAC Controls and Thermostats</i>).....	33
4.11. Unidades de ar impostas no AVAC (<i>Zone HVAC Forced Air Units</i>)	33
4.12. Conexões do equipamento de AVAC (<i>Zone HVAC Equipment Connections</i>)	34
4.13. Relatórios de simulação (<i>Output Reporting</i>)	34

Capítulo 5 – Melhorias de Desempenho Térmico	37
5.1. Introdução.....	37
5.2. Melhorias de desempenho térmico para o caso em estudo – Lisboa.....	40
5.2.1. Caso base	40
5.2.2. Medida de melhoria 1	42
5.2.3. Medida de melhoria 2	45
5.2.4. Medida de melhoria 3	47
5.2.5. Medida de melhoria 4	48
5.3. Análise de sensibilidade em função da zona climática	52
5.3.1. Zona climática de Inverno I2	53
5.3.1.1. Caso base	53
5.3.1.2. Medida de melhoria 1	54
5.3.1.3. Medida de melhoria 2	56
5.3.1.4. Medida de melhoria 3	57
5.3.1.5. Medida de melhoria 4	59
5.3.2. Zona climática de Inverno I3	61
5.3.2.1. Caso base	61
5.3.2.2. Medida de melhoria 1	63
5.3.2.3. Medida de melhoria 2	64
5.3.2.4. Medida de melhoria 3	65
5.3.2.5. Medida de melhoria 4	67
Capítulo 6 – Conclusões.....	71
Referências Bibliográficas	75
Outras referências	76

Índice de Figuras

Figura 1 – Fenómenos de transmissão de calor	3
Figura 2 – Exemplo de transmissão de calor por convecção	5
Figura 3 – Decomposição do fluxo incidente num vão envidraçado.....	7
Figura 4 – Zonas climáticas de Inverno em Portugal Continental [7]	9
Figura 5 – Planta da Fracção autónoma em estudo	10
Figura 6 – Ilustração das estratégias de análise.....	11
Figura 7 – Identificação da envolvente e espaços úteis e não úteis.....	11
Figura 8 – Esquema de princípio do <i>EnergyPlus</i> [11].....	19
Figura 9 – Fracção autónoma modelada pelo <i>EnergyPlus</i>	20
Figura 10 – Parâmetros de simulação	20
Figura 11 – Localização e clima	21
Figura 12 - Localização dos concelhos estudados	21
Figura 13 – Temperaturas médias horárias anuais em Lisboa.....	23
Figura 14 – Temperaturas médias horárias anuais no Porto.....	24
Figura 15 – Temperaturas médias horárias anuais em Bragança	24
Figura 16 – Horários	25
Figura 17 – Protecção exterior	28
Figura 18 – Elementos de construção da envolvente	29
Figura 19 – Zonas térmicas e envolvente	30
Figura 20 – Funcionamento de uma zona térmica [11].....	31
Figura 21 – Ganhos internos.....	32
Figura 22 – Renovação do ar	32
Figura 23 – Controlo de AVAC e Termóstatos.....	33
Figura 24 – Unidades de ar impostas no AVAC	34
Figura 25 – Conexões do equipamento de AVAC	34
Figura 26 – Relatórios de simulação.....	35
Figura 27 – Estratégias de aquecimento [1].....	37
Figura 28 – Esquema das melhorias.....	38
Figura 29 – Dia típico Inverno em Lisboa – Caso base	40
Figura 30 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Caso base) pelo RCCTE	41
Figura 31 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Caso base) pelo <i>EnergyPlus</i>	42
Figura 32 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 1) pelo RCCTE	43
Figura 33 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Medida de melhoria 1, <i>EnergyPlus</i>	44
Figura 34 – Dia típico de Inverno em Lisboa – Medida de Melhoria 1.....	44

Figura 35 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 2) pelo RCCTE	45
Figura 36 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 2) pelo <i>EnergyPlus</i>	46
Figura 37 – Dia típico Inverno em Lisboa – Medida de Melhoria 2.....	46
Figura 38 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Lisboa, Medida de melhoria 3, pelo RCCTE	47
Figura 39 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Lisboa, Medida de melhoria 3, <i>EnergyPlus</i>	48
Figura 40 – Dia típico Inverno em Lisboa – Medida de melhoria 3.....	49
Figura 41 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 4) pelo RCCTE	49
Figura 42 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 4) pelo <i>EnergyPlus</i>	50
Figura 43 – Distribuição das perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Lisboa	51
Figura 44 – Distribuição das perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Lisboa	51
Figura 45 – Necessidades de Aquecimento por m ² para os cinco casos de estudo, segundo o RCCTE e <i>EnergyPlus</i>	52
Figura 46 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Caso base) pelo <i>EnergyPlus</i>	53
Figura 47 – Dia típico Inverno no Porto – Caso base	54
Figura 48 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 1) pelo <i>EnergyPlus</i>	55
Figura 49 – Dia típico inverno no Porto – Medida de Melhoria 1	55
Figura 50 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 2) pelo <i>EnergyPlus</i>	56
Figura 51 - Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 3) pelo <i>EnergyPlus</i>	57
Figura 52 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 3) pelo <i>EnergyPlus</i>	58
Figura 53 – Dia típico Inverno no Porto – Medida de Melhoria 3.....	58
Figura 54 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 4) pelo <i>EnergyPlus</i>	59
Figura 55 – Dia típico Inverno no Porto – Medida de melhoria 4.....	60
Figura 56 – Perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Porto	60
Figura 57 – Necessidades de Aquecimento pelo RCCTE e <i>EnergyPlus</i> para o Porto.....	61
Figura 58 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Caso base, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	62
Figura 59 – Dia típico Inverno Bragança – Caso base	62
Figura 60 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 1, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	63
Figura 61 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 1	64
Figura 62 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 2, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	65
Figura 63 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 2.....	65

Figura 64 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 3, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	66
Figura 65 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 3.....	67
Figura 66 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 4, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	68
Figura 67 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 4.....	68
Figura 68 – Perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Bragança.....	69
Figura 69 – Necessidades de Aquecimento pelo RCCTE e <i>EnergyPlus</i> para Bragança.....	69
Figura 70 – Necessidades de Aquecimento da fracção autónoma em Lisboa, Porto e Bragança.....	71

Índice de Quadros

Quadro 1 – Zonamento climático pelo RCCTE (Inverno)	22
Quadro 2 – Zonamento climático pelo <i>EnergyPlus</i> (21 de Janeiro)	22
Quadro 3 – Número de graus-dias pelo <i>EnergyPlus</i>	23
Quadro 4 – Schedule:Palas.....	25
Quadro 5 – Schedule:Pessoas.....	25
Quadro 6 – Schedule:Actividades	26
Quadro 7 – Potência dos Aparelhos	26
Quadro 8 – Potência das lâmpadas	26
Quadro 9 – <i>Schedule:Equipamentos</i>	27
Quadro 10 – <i>Schedule:Iluminação</i>	27
Quadro 11 – <i>Schedule:Protecção Exterior</i>	28
Quadro 12 – Relatório do caso base pelo <i>EnergyPlus</i>	35
Quadro 13 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais, com caixilharia metálica sem corte térmico, vão envidraçado simples (uma janela), vidro simples e janela de correr, giratória e de correr [7]	39
Quadro 14 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais, com caixilharia metálica com corte térmico, vãos envidraçados simples (uma janela), de vidro duplo [7]	39
Quadro 15 – Caso base para a fracção autónoma situada em Lisboa pelo RCCTE	41
Quadro 16 – Caso base para a fracção autónoma situada em Lisboa pelo <i>EnergyPlus</i>	42
Quadro 17 – Medida de melhoria 1, Lisboa, RCCTE.....	43
Quadro 18 – Medida de melhoria 1, Lisboa, <i>EnergyPlus</i>	44
Quadro 19 – Medida de melhoria 2, Lisboa, RCCTE.....	45
Quadro 20 – Medida de melhoria 2, Lisboa, <i>EnergyPlus</i>	46
Quadro 21 – Medida de melhoria 3, Lisboa, RCCTE.....	47
Quadro 22 – Medida de melhoria 3, Lisboa, <i>EnergyPlus</i>	48
Quadro 23 – Medida de melhoria 4, Lisboa, RCCTE.....	49
Quadro 24 – Medida de melhoria 4, Lisboa, <i>EnergyPlus</i>	50
Quadro 25 – Caso base para a fracção autónoma situada no Porto pelo <i>EnergyPlus</i>	53
Quadro 26 – Medida de melhoria 1, Porto, <i>EnergyPlus</i>	54
Quadro 27 – Medida de melhoria 2, Porto, <i>EnergyPlus</i>	56
Quadro 28 – Medida de melhoria 3, Porto, <i>EnergyPlus</i>	57
Quadro 29 – Medida de melhoria 4, Porto, <i>EnergyPlus</i>	59
Quadro 30 – Caso base para a fracção autónoma situada em Bragança pelo <i>EnergyPlus</i>	61
Quadro 31 – Medida de melhoria 1, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	63
Quadro 32 – Medida de melhoria 2, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	64
Quadro 33 – Medida de melhoria 3, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	66
Quadro 34 – Medida de melhoria 4, Bragança, <i>EnergyPlus</i>	67

Quadro 35 – Quadro das reduções (em percentagem) das necessidades de aquecimento, em função do Caso base, em Lisboa, Porto e Bragança.....	71
Quadro 36 – Percentagens de melhoria da temperatura interior.....	72

Siglas

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

CAD – Computer-Aided Design

CEE – Comunidade Económica Europeia

EDP – Energia de Portugal

IDF – Input Date File

INE – Instituto Nacional de Estatística

DGE – Direcção Geral de Energia

UE – União Europeia

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. (actualmente designado por LNEG)

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento do Tema

O estudo (com vista a posterior adopção) de diversas estratégias com impacte no desempenho energético dos edifícios em fase de concepção pode revelar-se como decisivo em termos do conforto térmico dos ocupantes e/ou consumo energético registado ao longo da sua vida útil.

As estratégias que têm em atenção as condições climáticas do local bem como os modos de interacção com o clima específico, designam-se geralmente por estratégias bioclimáticas. Quando na concepção de um edifício são tidas em conta as estratégias bioclimáticas adequadas, o edifício está mais próximo de atingir as condições de conforto térmico adequadas ao seu uso e/ou de diminuir os respectivos consumos energéticos necessários para atingir esses fins.

O conhecimento da temperatura exterior e amplitude térmica ao longo do ano é de extrema importância em virtude do papel que desempenha a nível das perdas e ganhos térmicos e do potencial em termos de ventilação natural.

O consumo energético dos edifícios e as consequentes emissões de CO₂ para a atmosfera, responsáveis por importantes impactes ambientais, têm estado em contínua ascensão, pelo que se torna fundamental exigir aos edifícios o cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética. Esta necessidade resulta do facto da energia consumida nos edifícios representar cerca de um terço do consumo energético da UE. No caso de Portugal, apesar do consumo de energia no sector dos edifícios ser inferior à média europeia (22% do total do consumo), a sua tendência é a de um crescimento elevado no futuro, estimando-se em 7,5% a taxa de crescimento anual [16].

1.2. Motivações

Uma das maiores motivações a realização deste trabalho prende-se com o facto da estação de Inverno ser associada, por muitos portugueses, a uma época de maior desconforto térmico nas suas habitações.

Ao contrário da situação de Verão, que tem sido alvo de vários estudos orientados para o risco de sobreaquecimento e carga dos sistemas, a situação de Inverno, tem sido desprezada do ponto de vista das consequências do impacte do frio excessivo sobre o conforto dos ocupantes. Um estudo relativamente recente realizado pela Universidade de Dublin aponta, Portugal como o País onde, aparentemente, as pessoas mais morrem em consequência directa do frio [19]. Esse estudo refere-se a uma análise realizada durante dez anos aos índices de mortalidade de 14 países da UE, sendo os dados obtidos depois cruzados com informações sobre factores ambientais, estilos de vida, prestação de cuidados de saúde e gastos nesta área, desigualdades sociais e eficiência energética/isolamento das habitações. Esta investigação refere que "os países com climas mais temperados tendem a ter baixa eficiência térmica nas habitações e por isso é mais difícil manter estas casas quentes quando chega o Inverno". Salienta também que "este é em particular o caso de Portugal, Espanha e Irlanda,

onde as temperaturas no Inverno são comparativamente mais temperadas e as taxas de excesso de mortalidade nesta estação muito elevadas". O documento concluiu ainda que esta taxa poderia ser reduzida, "melhorando a protecção/isolamento das casas ao frio, aumentando o investimento público em cuidados de saúde e melhorando as condições socioeconómicas da população para conseguir uma maior distribuição da riqueza". Países com Invernos mais rigorosos, como a Finlândia e a Suécia, registaram "níveis exemplares" de eficiência térmica no interior das casas, dispondo a maior parte das habitações de vidros duplos e isolamento térmico nas coberturas, paredes e pisos. Por estas razões, considera-se de elevada importância estudar o comportamento térmico dos edifícios no Inverno.

1.3. Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento térmico de um edifício recente durante a estação de aquecimento, de modo a poder identificar medidas de melhoria do desempenho energético adequadas ao seu estado actual.

Procura-se, neste trabalho, estabelecer uma comparação entre duas metodologias distintas. O primeiro método é o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios e o segundo baseia-se num software de análise dinâmica do comportamento térmico – o *EnergyPlus*.

1.4. Estrutura da dissertação

Inicialmente, far-se-á um breve enquadramento geral ao trabalho realizado, sendo, igualmente apresentadas as motivações, os objectivos propostos para a elaboração desta dissertação.

Posteriormente, no segundo capítulo será apresentada uma revisão da literatura referente ao balanço energético dos edifícios, que, de uma forma geral, sustentam todos os cálculos efectuados. Começa com os fenómenos de transmissão térmica, seguindo-se os padrões de conforto térmico e o balanço energético dos edifícios. Por último, abordam-se ainda as pontes térmicas, a inércia térmica e a contextualização regulamentar.

A seguir, será efectuada uma breve descrição do caso de estudo, bem como a aplicação do RCCTE no mesmo, sendo esta relatada no capítulo três.

No quarto capítulo, serão descritos o método de cálculo do desempenho energético da fracção autónoma, pelo *EnergyPlus*. Em relação a este *software*, optou-se por descrever o programa não na perspectiva dos algoritmos de cálculo mas sim na óptica da sua utilização, com a apresentação dos campos onde se introduzem os dados e as variáveis de saída.

No quinto capítulo apresentam-se os resultados obtidos acompanhados das análises necessárias. Este capítulo divide-se em três subcapítulos que correspondem ao estudo da influência da localização geográfica no consumo energético para aquecimento e à influência das medidas de melhoria do desempenho térmico da fracção autónoma em estudo.

No capítulo final, serão apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2 – Caracterização do comportamento térmico dos edifícios

2.1. Introdução

A interpretação do comportamento higrotérmico dos edifícios exige conhecer os modos de propagação do calor e humidade nos seus elementos construtivos, em particular dos que constituem a sua envolvente à qual se exigem as características indispensáveis à satisfação das respectivas exigências de conforto e salubridade do ambiente, num quadro de durabilidade e com um mínimo de dispêndio de energia. Em particular, vamos especificar o comportamento térmico dos edifícios, tal como se pode observar no capítulo seguinte.

O calor é uma forma de energia térmica que se manifesta pelo movimento molecular de uma substância que se transfere de uma matéria com determinada temperatura para outra com temperatura mais baixa. Fornecer ou retirar calor de uma matéria pode alterar a sua temperatura ou mudar seu estado físico. Desta forma distingue-se, pelo seu efeito, em calor sensível aquele que provoca a mudança de temperatura da matéria sem alterar o seu estado físico e em calor latente aquele que provoca a mudança de estado físico da matéria, sem alterar a sua temperatura.

2.2. Fenómenos de transmissão de calor

Como é de conhecimento geral, a transmissão de calor ocorre sempre no sentido da temperatura mais elevada para uma temperatura mais baixa, sendo que no caso de edifícios, as principais formas de transmissão de calor são por condução, convecção e radiação, que serão discriminadas nos pontos seguintes (figura 1).

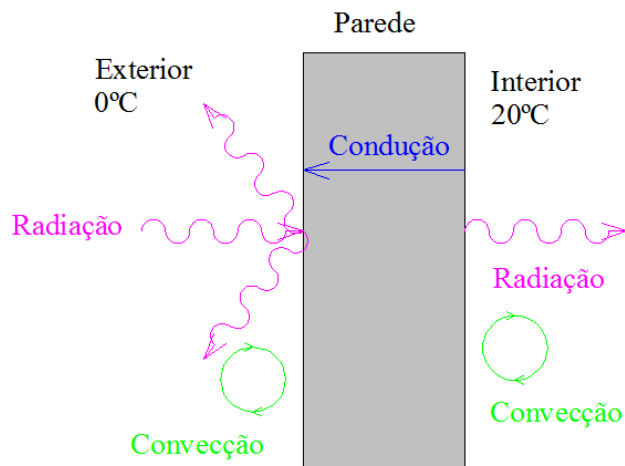


Figura 1 – Fenómenos de transmissão de calor

2.2.1. Transmissão de calor por condução

De um modo geral, os materiais absorvem a radiação, fazendo com que o movimento molecular acelere e a energia térmica seja redistribuída devido ao fenómeno natural de manutenção do equilíbrio.

Existem materiais, como os metais, com maior capacidade de condução de calor e outros, como a cortiça, com menor capacidade, podendo alguns destes últimos serem utilizados como isolantes térmicos.

Na análise do processo de transmissão de calor por condução, na envolvente de um edifício, é usual considerar-se o fluxo de calor como unidireccional devido à altura ser muito superior à espessura. No entanto, caso o edifício possua pilares e vigas na sua envolvente, deverão ser igualmente considerados os fluxos de calor nas outras direcções, devido ao facto desses elementos apresentarem uma baixa resistênci térmica.

A Lei que rege os fenómenos de transferência de calor por condução é a Lei de Fourier. Esta Lei permite determinar o fluxo de calor transportado por condução entre duas superfícies através conhecimento da condutibilidade térmica, da área e do gradiente de temperatura:

$$Q_{\text{cond}} = - \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \Rightarrow Q_{\text{cond}} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (\text{W})$$

em que:

Q_{cond} – quantidade de calor transferido por condução (W)

λ – condutibilidade térmica do elemento (W/m.°C)

A – área da superfície (m²)

$\frac{dT}{dx}$ – gradiente de temperatura

2.2.2. Transmissão de calor por convecção

A transmissão de calor entre regiões com temperaturas diferentes é provocada por um mecanismo de difusão ao nível molecular equivalente à condução térmica num sólido. No caso mais geral de fluidos em movimento, apesar deste mecanismo de difusão do calor continuar activo, não constitui (com excepção dos regimes para velocidades muito baixas) o processo de transferência de calor dominante. Neste caso, o calor é transportado essencialmente pelas partículas do fluido em movimento, sendo esta forma de transmissão conhecida por convecção [4].

O movimento do fluido pode ser natural ou forçado. Considera-se natural se o movimento resultar das forças de impulsão, existentes devido às diferenças de densidade, e forçado se for induzido por uma força externa. Podem-se considerar como forças externas o vento ou qualquer equipamento que faça o fluido mover-se. Na figura 2 pode observar-se um exemplo de transmissão de calor por convecção.

A Lei do arrefecimento, formulada por Newton, permite determinar o fluxo de calor, por convecção, entre uma superfície sólida e um fluido. No caso de um edifício, a superfície sólida corresponde à envolvente e o fluido ao ar que se encontra em contacto com ela. Esta Lei é traduzida pela seguinte expressão:

$$Q_{\text{conv}} = h_c \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (\text{W})$$

em que:

Q_{conv} – quantidade de calor transmitida (W)

h_c – condutância térmica superficial por convecção ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A_s – área superficial de contacto entre o elemento sólido e o fluido (m^2)

T_s – temperatura superficial do sólido ($^\circ\text{C}$)

T_∞ – temperatura do fluido ($^\circ\text{C}$)

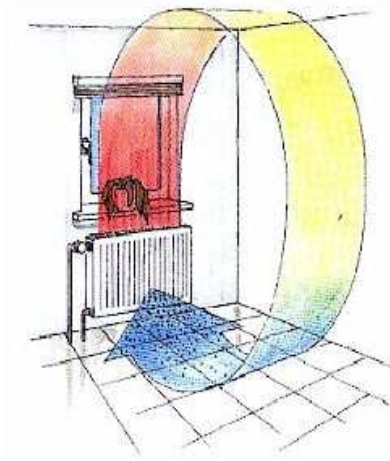


Figura 2 – Exemplo de transmissão de calor por convecção

2.2.3. Transmissão de calor por radiação

Quando a radiação solar atinge uma superfície, uma fracção é reflectida, sendo a restante transmitida e/ou absorvida, em maior ou menor grau, de acordo com as propriedades radiativas da superfície. Todas as superfícies completamente opacas, tanto reflectem e absorvem a radiação, mas fazem-no de diferentes maneiras.

Por exemplo, uma superfície rugosa, como estuque, reflecte a radiação solar de forma dispersa, enquanto uma superfície lisa e brilhante reflecte o mesmo tipo de radiação de maneira uniforme e num ângulo igual ao correspondente de incidência [4].

Os fenómenos de radiação térmica em edifícios acontecem no domínio dos pequenos e grandes comprimentos de onda, exigindo, cada um deles, abordagens distintas. Os fenómenos de pequeno comprimento de onda - que estão associados a corpos de temperaturas muito elevadas (incandescentes) – com interesse em edifícios são representados pela radiação solar, que atravessa o espaço e incide nos edifícios, quer do lado exterior, em paredes e coberturas, quer do lado interior,

a partir dos envidraçados. Esta radiação é transformada em energia térmica depois de absorvida pelas superfícies, com correspondente variação da sua temperatura. Estas, por sua vez, em função do seu nível de temperatura, trocam radiação de longo comprimento de onda – associada a níveis de temperatura baixos – com as superfícies e objectos que se encontram no seu campo visual. Estas trocas por radiação podem assumir valores significativos e são tratadas com maior ou menor detalhe pelos programas de simulação térmica de edifícios.

A Lei de Stefan-Boltzmann diz que a energia total emitida por segundo e por unidade de área de uma superfície é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta da superfície. No entanto, a expressão pode-se apresentar de duas maneiras distintas, de acordo com o local de propagação de energia por parte do emissor:

- Se se considerar uma superfície a emitir livremente para o espaço:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (\text{W})$$

- Se se tiver uma superfície à temperatura T_1 emitindo para um meio à temperatura T_2 :

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{W})$$

em que:

Q_{rad} – calor transmitido por radiação (W)

ε – emissividade da superfície

σ – constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

S – área da superfície emissora (m^2)

T – temperatura absoluta (K)

T_1 e T_2 – temperaturas superficiais (K)

2.3. Caracterização do comportamento térmico dos edifícios

O balanço energético dos edifícios é, sem dúvida, um instrumento essencial para a correcta compreensão dos impactes que a utilização destes tem nas suas necessidades nominais de energia, sendo este balanço fortemente influenciado pelo desempenho térmico das soluções adoptadas para a envolvente. Baseando-se nesta temática o trabalho que se pretende desenvolver, procurar-se-á descrever, no ponto seguinte, os diversos factores em que assenta o balanço energético dos edifícios. Neste capítulo, procura-se fazer uma abordagem simplificada destes assuntos, uma vez que o objectivo central deste trabalho não se restringe ao desenvolvimento teórico destas temáticas.

2.3.1. Ganhos solares através dos envidraçados

Nesta secção aborda-se a acção da radiação solar sobre os vãos envidraçados e a forma de cálculo da fracção que atravessa os mesmos e que dá origem a um ganho de calor no interior dos edifícios. Da radiação total incidente no vidro, uma parte é reflectida instantaneamente para o exterior, outra é absorvida pelo vidro, e a terceira é transmitida para o interior do local. Na figura 3, mostram-se as

componentes em que se decompõe o fluxo incidente. Os quocientes entre cada uma das três partes e o fluxo incidente definem, respectivamente, a reflectância, a absorptância e a transmitância e constituem as designadas propriedades ópticas do vidro (estas propriedades dependem, geralmente, do ângulo de incidência e do comprimento de onda da radiação. As suas distribuições, para o conjunto dos comprimentos de onda da radiação, constituem as curvas espectrais do vidro. Para um dado ângulo de incidência, estas curvas dependem da cor do vidro, da sua espessura e, no caso de um vidro de capa, dependem da natureza desta [4].

A quantidade de energia solar transmitida para o interior dos espaços decompõe-se numa parcela instantânea, que passa directamente através do elemento envidraçado e de uma parcela diferida que constitui a parte de energia acumulada no elemento que depois é transferida para o interior por mecanismos de convecção e radiação. Assim, o conhecimento apenas das características de transmissão instantânea do envidraçado é insuficiente para contabilizar a totalidade de energia transferida para o interior com origem na radiação solar, pelo que, para contemplar a totalidade dos efeitos, se recorre a um outro tipo de parâmetro – o factor solar.

Designa-se por factor solar do vidro, a relação entre o ganho de calor através do vidro e a radiação solar nele incidente. Quanto mais baixo for o factor solar, menores são os ganhos solares pelo vidro. Para um envidraçado comum, o factor solar que lhe fica associado é normalmente insuficiente para controlar eficazmente os ganhos de calor que através dele se processam – sobretudo quando recebe radiação directa grande parte do dia.



Figura 3 – Decomposição do fluxo incidente num vão envidraçado

2.3.2. Inércia térmica

A inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor e só libertá-lo ao fim de certo tempo. A inércia térmica pode ser usada para absorver os ganhos de calor durante o dia (reduzindo a carga de arrefecimento) e libertá-los à noite (reduzindo a carga de aquecimento). Esta capacidade depende em grande parte da massa dos elementos de construção, do calor específico e também da sua condutibilidade térmica.

A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo – uma das características do clima em Portugal. São os materiais pesados e maciços que constituem a inércia térmica dos edifícios e, quando bem aplicados, conferem aos

espaços interiores uma maior estabilidade térmica. Como é indicado pela palavra “inércia”, estes materiais pesados interagem muito lentamente com as temperaturas do meio que as rodeia e armazenam o respectivo calor porque as temperaturas de pico (quente e frio) não se mantêm durante suficiente tempo para serem acumuladas por estes materiais.

Em Portugal, a temperatura média do clima, durante a maior parte do ano, mantém-se entre os 18 e os 26°C, contribuindo a inércia térmica, por este motivo, para uma estabilidade do clima no interior e para o conforto [18].

Para otimizar o desempenho energético-ambiental do edifício, é importante que a inércia térmica seja adaptada e integrada com outras estratégias de optimização do desempenho. O isolamento térmico está associado à inércia térmica, pois protege o ambiente interior das grandes amplitudes térmicas, típicas do clima português.

2.3.3. Trocas por renovação do ar

Para assegurar as condições de higiene e salubridade do ar interior, os edifícios devem ser ventilados, ou por via natural, que é a situação mais corrente em edifícios residenciais, ou por via mecânica, que é a mais utilizada em edifícios dotados de sistemas de climatização centralizados, ou por combinação dos dois processos (ventilação híbrida). Estes caudais de ventilação devem ser reduzidos ao mínimo necessário para satisfazer as condições mencionadas anteriormente porque serão sempre fonte de trocas de calor entre o interior e o exterior e de consequentes acréscimos de consumo de energia para manter as condições interiores nos níveis de conforto programados (válido no Inverno).

2.3.4. Ganhos internos

Todos os processos nos edifícios de que resulte conversão de energia química ou eléctrica em calor constituem ganhos internos desses edifícios. As principais fontes de ganhos internos de calor num edifício são as próprias pessoas que neles habitam ou trabalham, que libertam calor em resultado da sua actividade metabólica, os sistemas de iluminação eléctrica que neles se instalam, que libertam calor na transformação de energia eléctrica em luz visível, e todos os outros equipamentos eléctricos que neles funcionam e que dissipam calor em resultado da sua operação. Em certos edifícios, como são o caso das habitações e restaurantes, existem outro tipo de aparelhos que não são eléctricos, mas que também produzem calor, como os fogões e as caldeiras ou esquentadores a gás, e como tal devem igualmente ser levados em conta na contabilização dos ganhos internos.

Em edifícios residenciais, os ganhos internos típicos devido à taxa de ocupação dos mesmos, é igual a 4 W/m², que correspondem a 2 W/m² em ganhos sensíveis e 2 W/m² em ganhos latentes [4].

Capítulo 3 – Caracterização do caso de estudo e análise do comportamento térmico dos edifícios pelo RCCTE

3.1. Introdução

Neste capítulo, apresenta-se o caso de estudo e uma das ferramentas utilizadas no estudo do comportamento térmico que se pretende efectuar, nomeadamente o RCCTE [7]. No decorrer da dissertação, será considerada a implantação da fracção autónoma noutras zonas do território português, tal como quatro medidas de melhoria, de modo a analisar as necessidades de aquecimento para as diferentes zonas climáticas de Inverno estabelecidas no RCCTE (figura 4).

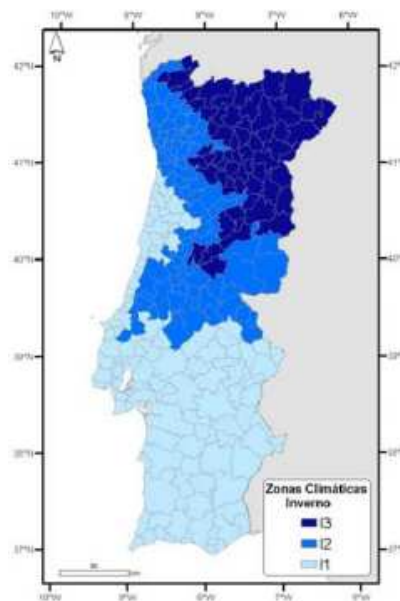


Figura 4 – Zonas climáticas de Inverno em Portugal Continental [7]

3.2. Caso de estudo

O caso de estudo refere-se a uma fracção autónoma inserida num edifício de habitação e comércio situado em Lisboa, na Avenida D. João II, construído no ano 2000. O edifício, situado em zona climática do tipo I1-V2 Sul, a uma altitude de 27m, é composto por 18 pisos (3 para estacionamento em cave, 4 de comércio e 12 de habitação) com um total de 36 fracções autónomas (12 T2, 12 T3 e 12 T4). O objecto de estudo é uma fracção autónoma de tipologia T4, residencial, com orientações das fachadas a Sul e Este tal como indicado na Figura 4. O edifício encontra-se em zona urbanizada, rodeada por outros edifícios de vários andares. A área útil de pavimento é de 136,67m² e o pé-direito médio ponderado é de 2,59m.

Na figura 4 pode observar-se a planta do piso 9, piso em que está inserida a fracção autónoma em estudo, tal como o alçado nascente e sul. O piso usufrui ainda de um T2 e um T3, que não vão ser analisados. Na figura 5 pode observar-se apenas a planta da fracção analisada.

Do 4º ao 15º piso, estes são de habitação e têm a mesma geometria, e são constituídos por um T4, um T3 e um T2, com um átrio. Estruturalmente o edifício que aqui se descreve, é concebido em betão armado, com uma malha convencional de pilares e vigas, sobre os quais assentam as lajes.

A circulação interior comum é constituída por uma caixa de elevadores e uma caixa de escadas, que se desenvolvem na vertical a partir o piso -3 até à cobertura. Os vãos envidraçados são simples e com vidro duplo incolor, sendo a caixilharia em alumínio sem corte térmico. As protecções interiores utilizadas são cortinas opacas para a *suite* e para o quarto 2. As protecções exteriores são do tipo estores venezianos orientáveis, metálicos, de cor cinza médio. De seguida, será feita uma descrição das soluções construtivas existentes.

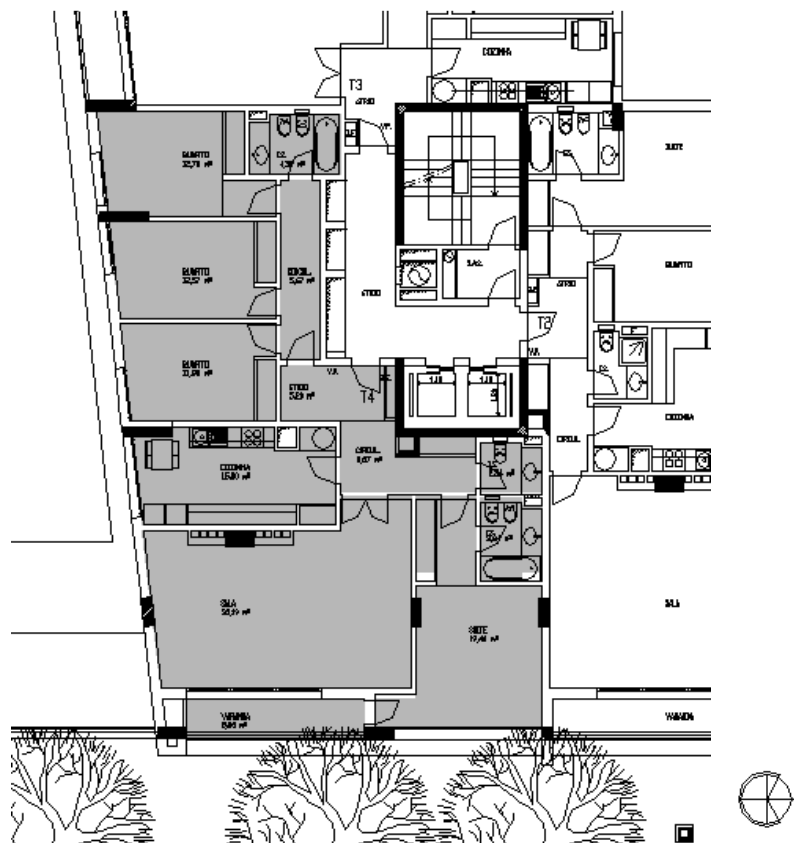


Figura 5 – Planta da Fracção autónoma em estudo

No decorrer da dissertação, de acordo com o descrito no primeiro capítulo, considerar-se-á a implantação do edifício noutras zonas do território português, de forma a analisar o seu comportamento térmico nas diferentes zonas climáticas de Inverno estabelecidas no RCCTE. Esta estratégia vai dar origem a três casos de estudo, cada um dividido em cinco outros casos particulares que pretendem traduzir as diversas formas de melhoria do conforto térmico na fracção autónoma em estudo (figura 6).

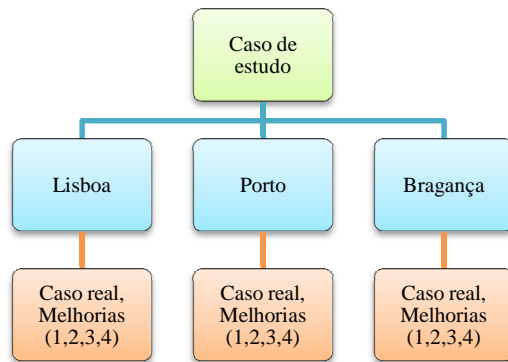


Figura 6 – Ilustração das estratégias de análise

Na figura 7 pode observar-se a delimitação da zona aquecida. A fracção autónoma em estudo não possui nenhum “preenchimento” enquanto o espaço não útil está identificado com “preenchimento” vermelho, correspondendo à circulação comum. Também se pode identificar a envolvente exterior e interior, identificadas a verde e rosa, respectivamente. A linha marcada a laranja representa a separação entre o local aquecido e as fracções autónomas adjacentes, que também são aquecidas.

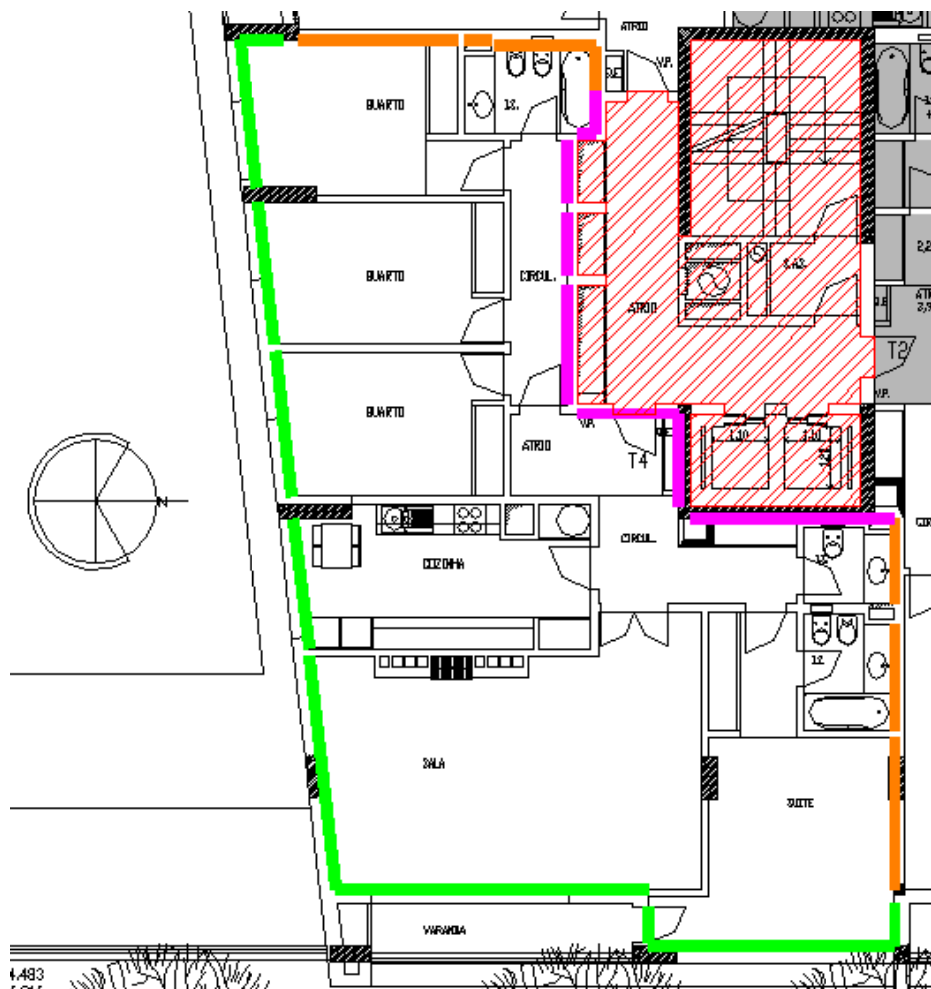


Figura 7 – Identificação da envolvente e espaços úteis e não úteis

3.3. Método de cálculo das necessidades de aquecimento pelo RCCTE

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios é a actual regulamentação térmica portuguesa, com a sua última publicação em 2006, com o objectivo de aumentar as condições de conforto das habitações, fazendo com que os projectistas tenham em consideração os mínimos exigíveis para cada zona climática. De seguida são discriminados os pontos fulcrais das perdas e ganhos energéticos do caso em estudo, pelo RCCTE.

As necessidades nominais de aquecimento das fracções autónomas deste edifício correspondem à energia útil que é necessária fornecer-lhe para manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência de 20°C durante o Inverno. As necessidades de aquecimento não representam exactamente o consumo real da fracção porque os ocupantes não impõem permanentemente situações iguais às de referência, podendo mesmo ocorrer diferenças substanciais por excesso ou por defeito para efeitos do RCCTE.

Estas necessidades resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica das perdas de calor por condução através da envolvente do edifício, das perdas de calor resultantes da renovação de ar, dos ganhos de calor úteis e dos ganhos solares através dos envidraçados. Estas parcelas são, por natureza, fenómenos não estacionários, mas são abordados, no RCCTE, numa formulação média em regime permanente, pois são todas integradas ao longo da estação de aquecimento, resultando uma compensação dos efeitos não estacionários podendo ser desprezados. As necessidades anuais de aquecimento da fracção autónoma (N_{ic}) são então calculadas pela expressão seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

Onde A_p representa a área útil de pavimento (m^2), Q_t representa as perdas de calor por condução através da envolvente, Q_v representa as perdas de calor resultantes da renovação de ar e Q_{gu} representa os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, que serão discriminadas nos pontos seguintes.

3.3.1. Perdas de calor por condução através da envolvente (Q_t)

As perdas de calor pela envolvente durante toda a estação de aquecimento, devidas à diferença de temperatura entre o interior e o exterior da fracção autónoma, resultam da soma das perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior (Q_{ext}); perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos (Q_{lna}); perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo (Q_{pe}) e perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes na fracção autónoma (Q_{pt}).

As perdas de calor pela envolvente em zona corrente, como é o caso dos elementos em contacto com o exterior, estão relacionadas apenas com o coeficiente de transmissão térmica do elemento, a sua área, e o número de graus-dias de aquecimento para o concelho em questão. No caso de o elemento estar em contacto com um local não aquecido, as grandezas são as mesmas, reduzidas no entanto pelo coeficiente τ . Seguidamente são descritas as soluções construtivas da envolvente interior e exterior da fracção em análise:

- PE1 - Parede exterior composta por reboco exterior com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30$ W/m.°C), pano de alvenaria de tijolo furado normal com 22cm de espessura ($R = 0,52$ m².°C/W), caixa-de-ar de 4cm, pano de alvenaria de tijolo furado normal com 22cm de espessura e ($R = 0,52$ m².°C/W), estuque projectado com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30$ W/m.°C).
- PI1 - Parede de separação com espaços interiores não aquecidos (circulação comum) por estuque projectado com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30$ W/m.°C), pano de alvenaria de tijolo furado normal com 22cm de espessura ($R = 0,52$ m².°C/W), estuque projectado com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30$ W/m.°C).
- Pav1 – pavimento sob e sobre espaços interiores aquecidos, composto por soalho, betonilha, laje em betão armado.
- PTP1 – zona de pilar ou viga (ponte térmica plana) composta por reboco, betão armado, estuque projectado.

As perdas unitárias de calor por pavimentos e paredes em contacto com o solo (por grau centigrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através dos elementos de construção em contacto com o terreno (L_{pe}), são calculadas através da multiplicação do coeficiente de transmissão térmica linear pelo perímetro do pavimento ou do desenvolvimento da parede, medido pelo interior.

$$L_{pe} = \sum \psi_j \cdot B_j \text{ (W/°C)}$$

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas lineares é, para cada elemento da envolvente em contacto com o solo, calculada pela seguinte expressão:

$$Q_{pe} = 0,024 \cdot L_{pe} \cdot GD \text{ (kWh)}$$

Onde GD é o número de graus-dias de aquecimento indicado para cada concelho no Anexo III do RCCTE.

No caso em estudo não existem pavimentos ou paredes em contacto com o solo, portanto esta parcela não contará para o cálculo das perdas de calor por elementos em contacto com o terreno.

As perdas de calor lineares unitárias (por grau centigrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através das pontes térmicas (L_{pt}), são calculadas através da multiplicação do coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j pelo desenvolvimento linear (comprimento) da ponte térmica j , medido pelo interior.

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas lineares é, para cada ponte térmica da envolvente, calculada pela seguinte expressão:

$$Q_{pt} = 0,024 \cdot L_{pt} \cdot GD \text{ (kWh)}$$

Onde GD é o número de graus-dias de aquecimento indicado para cada concelho no Anexo III do RCCTE.

Na fracção autónoma em análise, existem pontes térmicas lineares em ligações entre a fachada e pavimentos intermédios, ligações da fachada com varanda, ligações entre duas paredes verticais e ligações entre fachada com padieira/ombreira/peitoril. Com L_{pt} igual a 25,38 W/°C, resulta um valor de Q_{pt} de 724,85 kWh/ano.

3.3.2. Perdas de calor resultantes da renovação de ar (Q_v)

Estas perdas de calor por unidade de tempo correspondentes à renovação do ar interior são calculadas através da seguinte expressão:

$$Q_v = 0,34 \cdot R_{ph} \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_{atm}) \text{ (W)}$$

onde:

R_{ph} – número de renovações horárias do ar interior

V – volume interior da fracção autónoma (m^3)

θ_i – temperatura interior de referência ($^\circ\text{C}$)

θ_{atm} – temperatura do ar exterior ($^\circ\text{C}$)

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas é calculada pela expressão:

$$Q_v = 0,024 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot V \cdot GD \text{ (kWh)}$$

Por razões de higiene e conforto dos ocupantes, é necessário que os edifícios sejam ventilados em permanência por um caudal mínimo de ar. A fracção autónoma deve, por isso, possuir características ou dispositivos apropriados que garantam, por ventilação natural ou mecânica, um mínimo de 0,6 renovações horárias nominais (de acordo com o RCCTE).

Esta parcela de perdas de calor corresponde a um gasto total de 3441,41 kWh/ano, por possuir classe de exposição 4, sem dispositivos de admissão na fachada, permeabilidade ao ar das caixilharias classe 2 (de acordo com a norma EN 12207) e sem caixa de estore, resultando um R_{ph} igual a 1,00.

3.3.3. Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento (Q_{gu})

Os ganhos internos brutos (Q_g) são a soma dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor (Q_i) e ao aproveitamento da radiação solar (Q_s).

$$Q_g = Q_i + Q_s \text{ (kWh)}$$

Tendo em conta que nem todos os ganhos térmicos brutos se traduzem num aquecimento útil do ambiente interior, dando origem por vezes apenas a um sobreaquecimento interior, os ganhos térmicos brutos são convertidos em ganhos úteis através do factor de utilização dos ganhos térmicos (η) em função da inércia térmica do edifício e da relação entre aqueles e as perdas térmicas totais do edifício:

$$Q_i = \eta \cdot Q_g \text{ (kWh)}$$

Os ganhos térmicos brutos resultantes de fontes internas incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, excluindo o sistema de aquecimento, nomeadamente os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação.

Estes ganhos são calculados com base na equação seguinte:

$$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \cdot 0,72 \text{ (kWh)}$$

onde:

M – duração da estação de aquecimento em meses

q_i – ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento (W/m^2)

Como a fracção autónoma é do tipo residencial, de acordo com o indicado no RCCTE, os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento são estimados em $4 W/m^2$ (numa base de vinte e quatro horas por dia, todos os dias do ano). Desta parcela, os ganhos internos são de 2086,17 kWh/ano.

Em relação aos ganhos solares através dos vãos envidraçados, é necessário ter em conta que os vãos envidraçados são simples com vidro incolor simples de 5mm, caixilharia simples metálica (sem quadrícula). As protecções exteriores são do tipo estores venezianos orientáveis, metálicos, de cor cinza médio.

Os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento são calculados pela equação seguinte:

$$Q_s = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n A_{snj} \right] \cdot M \text{ (kWh)}$$

Onde $A_{snj} = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp}$ e corresponde à área efectiva colectora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j

O factor solar do vão envidraçado (g_{\perp}) é um valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado. Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de protecção solar móveis devem estar totalmente abertos e nessas circunstâncias é considerado apenas o valor do factor solar do envidraçado. No cálculo do factor solar de vãos envidraçados do sector residencial foi considerada a existência de cortinas interiores muito transparentes e de cor clara.

O factor de obstrução (F_s) representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por obstruções exteriores ao edifício (outros edifícios, orografia, vegetação, etc.) e por obstruções criadas por elementos do edifício (palas, varandas, elementos de enquadramento do vão externo à caixilharia, etc.).

A fracção envidraçada (F_g) traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado. Na fracção autónoma em análise, temos uma caixilharia de alumínio sem quadrícula, resultando uma fracção envidraçada igual a 0,70.

O factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados (F_w) traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. No Inverno, e para os vãos envidraçados existentes nesta fracção autónoma, F_w toma o valor 0,9.

O factor de utilização dos ganhos térmicos (η) é calculado em função da inércia térmica do edifício e da relação (γ) entre os ganhos térmicos totais do edifício. Neste caso, γ tem um valor igual a 0,5, que conduz a um valor de η superior a 0,8, significando que esta fracção autónoma não corre o risco de sobreaquecimento (que deve ser sempre evitado). Os vãos envidraçados devem sempre dispor de meios eficazes de protecção solar para que se evitem os sobreaquecimentos no Inverno.

Os ganhos solares brutos têm um valor igual a 2100,56 kWh/ano.

Em anexo pode observar-se nas folhas de cálculo do RCCTE os valores correspondentes aos factores anteriormente mencionados.

Capítulo 4 – Análise dinâmica do comportamento térmico dos edifícios – *EnergyPlus*

4.1. Introdução

O *EnergyPlus* é um programa de simulação para modelação do comportamento térmico de edifícios, incluindo o aquecimento, a ventilação e os equipamentos de ar condicionado [11]. O *EnergyPlus* nasceu nos programas BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e no DOE-2 em finais de 1970 e início de 1980, como simulação de energia e de cargas. Trata-se de uma ferramenta complexa que possibilita análise de custos, optimização da performance energética, etc., oferecendo portanto uma grande potencialidade ao utilizador.

O cálculo das necessidades energéticas de um dado edifício é executado pelo *EnergyPlus* a partir dos dados inseridos pelo utilizador – relativos à geometria, materiais da envolvente, sistemas e regimes de climatização –, recorrendo a um ficheiro de dados climáticos do local de implantação e gerando o balanço energético com recurso aos diferentes módulos que compõem o programa. A figura 8 mostra o esquema geral de funcionamento do *EnergyPlus*.

Nem todos os módulos que compõem os geradores definidos no esquema apresentado serão necessários à realização desta dissertação, só se descrevendo adiante aqueles cujo interesse para o presente trabalho o justifique.

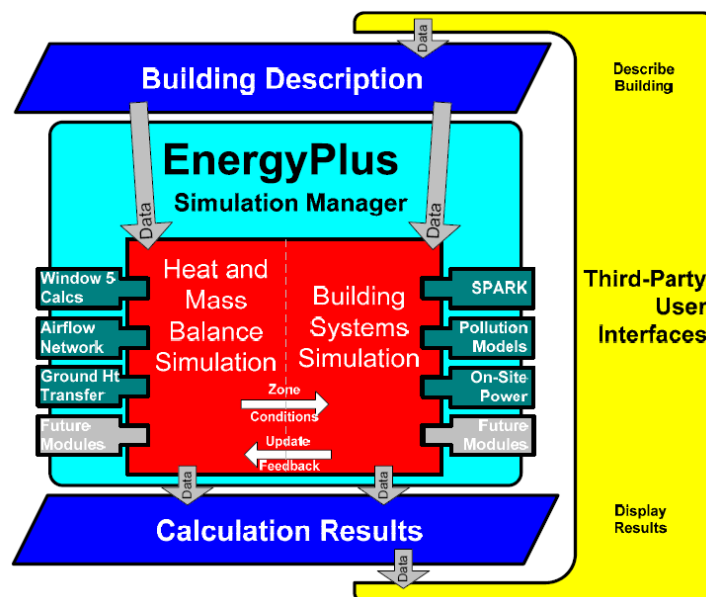


Figura 8 – Esquema de princípio do *EnergyPlus* [11]

4.2. Metodologia utilizada para definição do caso em estudo

Neste subcapítulo são explicitados os campos de entrada para a simulação dinâmica no *EnergyPlus*, que são fundamentais para uma simulação presumivelmente mais próxima da realidade. Na figura 9 pode observar-se a fracção modelada no *EnergyPlus*, que foi obtida através da visualização de resultados do *EP-Launch* “ficheiro de desenho”.

A área marcada a verde corresponde à zona não aquecida, correspondente à circulação comum do edifício.

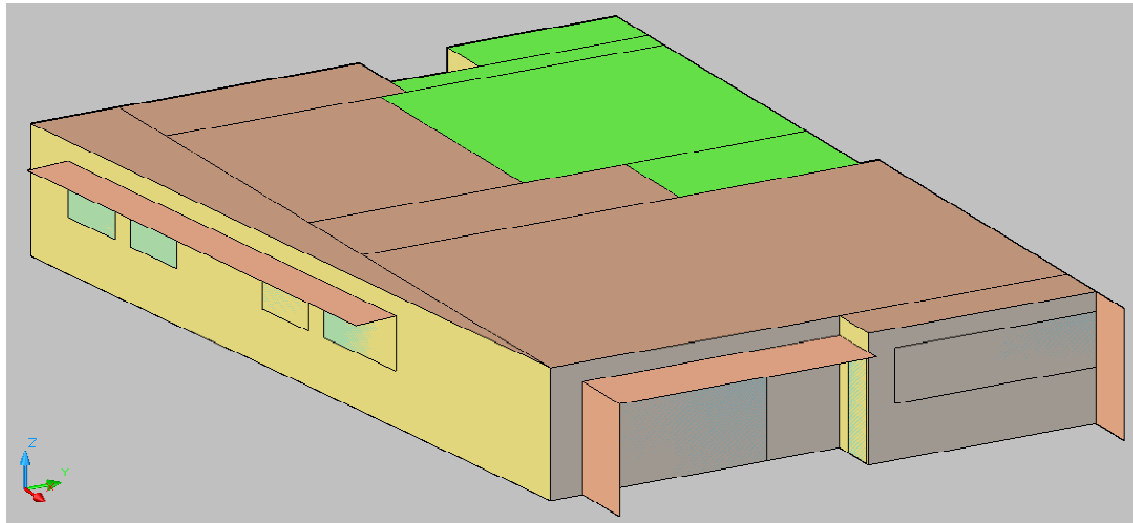


Figura 9 – Fracção autónoma modelada pelo *EnergyPlus*

4.3. Parâmetros de simulação (*Simulation parameters*)

Neste campo são introduzidos os dados para a definição do caso de estudo, tais como a versão, o controlo da simulação, o edifício, o cálculo das sombras, o algoritmo de convecção, o algoritmo das trocas de calor, e o intervalo de tempo pretendido para a simulação (válido entre 1 e 60, no qual o valor 60 corresponde a uma hora, equivalente a colocar *hourly* em *Output:Variable, reporting frequency*). A escolha do algoritmo de convecção da envolvente interior e exterior adoptado foi o modelo detalhado, e no caso do algoritmo de balanço de calor foi escolhido o CTF (*Conduction Transfer Funcions*).

Na figura 10 é apresentado o campo Building, onde é colocado o ângulo relativo ao Norte, o tipo de terreno, a distribuição solar, etc.

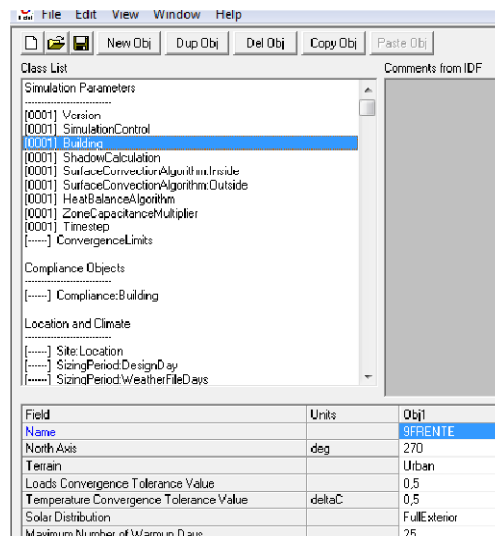


Figura 10 – Parâmetros de simulação

4.4. Localização e clima (*Location and Climate*)

Neste campo inserem-se vários dados relativos à localização do edifício – latitude, longitude, fuso horário e elevação – e dados relativos ao clima – temperatura do solo, pressão barométrica, velocidade e direcção do vento, nebulosidade, etc.

Como neste trabalho se utilizam os ficheiros climáticos para as zonas climáticas que se pretendem estudar, não foram introduzidos nenhuns dados acima descritos, isto devido ao facto de que o ficheiro climático possui todas as informações necessárias para cada minuto, de cada dia do ano.

O período de simulação, *RunPeriod*, - que se pode observar na figura 11 - é o intervalo pretendido para obtenção dos resultados da simulação. Neste caso, como a simulação é realizada na estação de aquecimento, é escolhido o primeiro e ultimo dia do mês, o que inicia e o que acaba esse período, que representa o Inverno. Considerou-se um *RunPeriod* variável consoante a zona climática de Inverno, correspondendo à duração da estação de aquecimento em meses (M) do RCCTE.

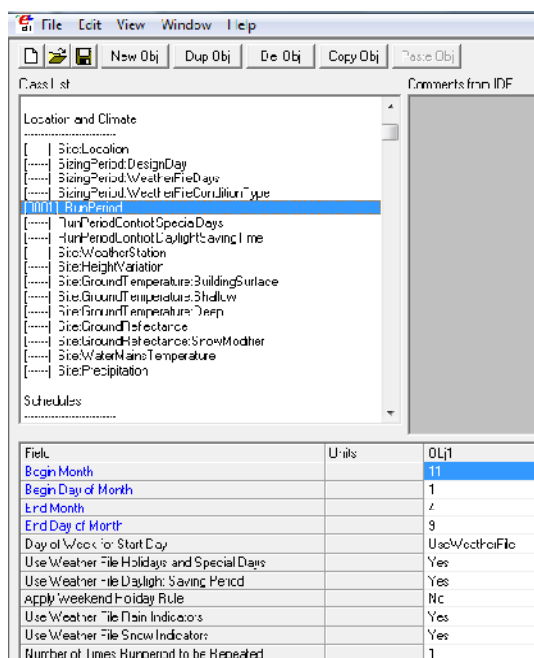


Figura 11 – Localização e clima



Figura 12 - Localização dos concelhos estudados

No quadro 1 pode-se observar o zonamento climático segundo o RCCTE para a estação de aquecimento, que são aplicáveis ao período de um ano para os três concelhos em estudo. A localização destes mesmos pode visualizar-se com maior facilidade na figura 12. No quadro 2 apresenta-se, a título de exemplo, o zonamento climático segundo o *EnergyPlus* para o dia 21 de Janeiro. É de notar que, enquanto no RCCTE são utilizados graus-dias e duração da estação de aquecimento, o *EnergyPlus* apresenta ficheiros climáticos que se baseiam em estatísticas e dados recolhidos durante vários anos.

Quadro 1 – Zonamento climático pelo RCCTE (Inverno)

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	G_{sul}^1 (kWh/m ² .mês)	θ_{atm} (°C)
Bragança	I3	2850	8	90	19
Lisboa	I1	1190	5.3	108	23
Porto	I2	1610	6.7	93	19

Quadro 2 – Zonamento climático pelo *EnergyPlus* (21 de Janeiro)

Concelho	Latitude (°)	Longitude (°)	Time Zone Relative to GMT (h)	Elevation (m)	Maximum Dry-Bulb Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)	Wind Speed (m/s)	Wind direction (°)	Clearness
Bragança	41.80°N	6.73°W	0	692	-3,7	93283	0,8	310	0
Lisboa	38.73°N	9.15°W	0	71	4,2	100475	2,2	50	0
Porto	41.23°N	8.68°W	0	73	4,2	100475	2,2	50	0

Sendo assim, o *RunPeriod* para Lisboa é de 1 de Novembro a 9 de Abril, o do Porto é de 1 de Novembro a 21 de Maio e o de Bragança de 1 de Outubro a 31 de Maio. Em relação aos ficheiros climáticos, pode observar-se a complexidade² dos dados existentes no *EnergyPlus*, comparativamente com o RCCTE: é, no entanto, possível calcular o número de graus-dias no *EnergyPlus*, e verificou-se que:

¹ G_{sul} representa a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a Sul na estação de aquecimento.

² Conjunto de dados sintetizados, baseados na interpolação espacial de dados climáticos públicos e dados publicados pelo Instituto de Meteorologia entre 1951 e 1980, combinados com dados da propriedade do INETI e outras fontes disponíveis gratuitamente.

Quadro 3 – Número de graus-dias pelo *EnergyPlus*

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD)
Bragança	I3	2937
Lisboa	I1	1560
Porto	I2	2124

Os graus-dias foram calculados com o auxílio de uma folha de cálculo em que foram somados todos os graus célsius que a temperatura média diária é inferior a 20°C. As temperaturas médias horárias foram obtidas pelo *EnergyPlus*.

Sendo a presente dissertação sobre as possíveis melhorias a efectuar num fogo localizado em três concelhos distintos, apresentam-se os seguintes gráficos (figura 13, 14 e 15) de forma a apresentar a diferença entre as linhas de tendência de temperatura horária mais provável de ocorrer nos três concelhos em estudo.

Temperaturas médias horárias anuais - Lisboa

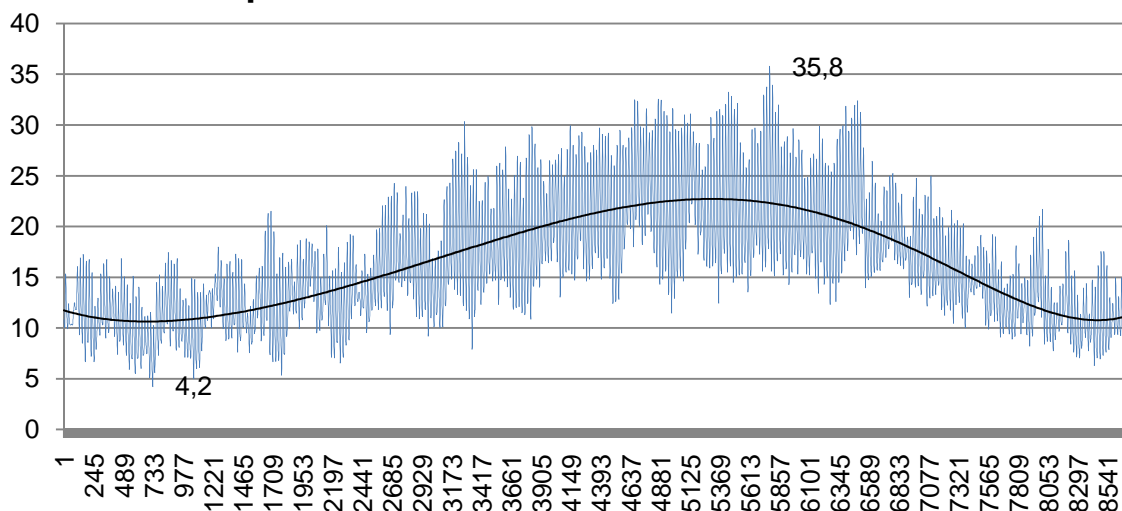


Figura 13 – Temperaturas médias horárias anuais em Lisboa

Para Lisboa observa-se um valor de temperatura máxima (dia 29 de Agosto, às 15h) igual a 35,8°C e um valor temperatura mínima (08h do dia 31 de Janeiro) igual a 4,2°C.

No Porto observa-se um valor de temperatura máxima (dia 7 de Junho, às 11h) igual a 31,0°C e um valor temperatura mínima (08h do dia 25 de Janeiro) igual a 0°C.

Em Bragança observa-se um valor de temperatura máxima (dia 19 de Agosto, às 16h) igual a 36,0°C e um valor temperatura mínima (07h do dia 19 de Janeiro) igual a -5,7°C.

Temperaturas médias horárias anuais - Porto

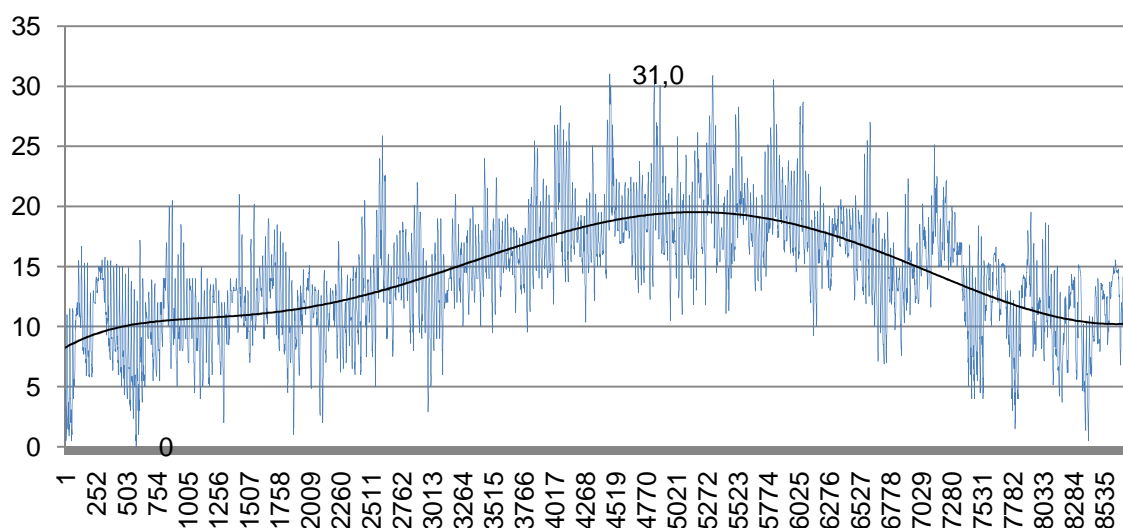


Figura 14 – Temperaturas médias horárias anuais no Porto

Temperaturas médias horárias anuais - Bragança

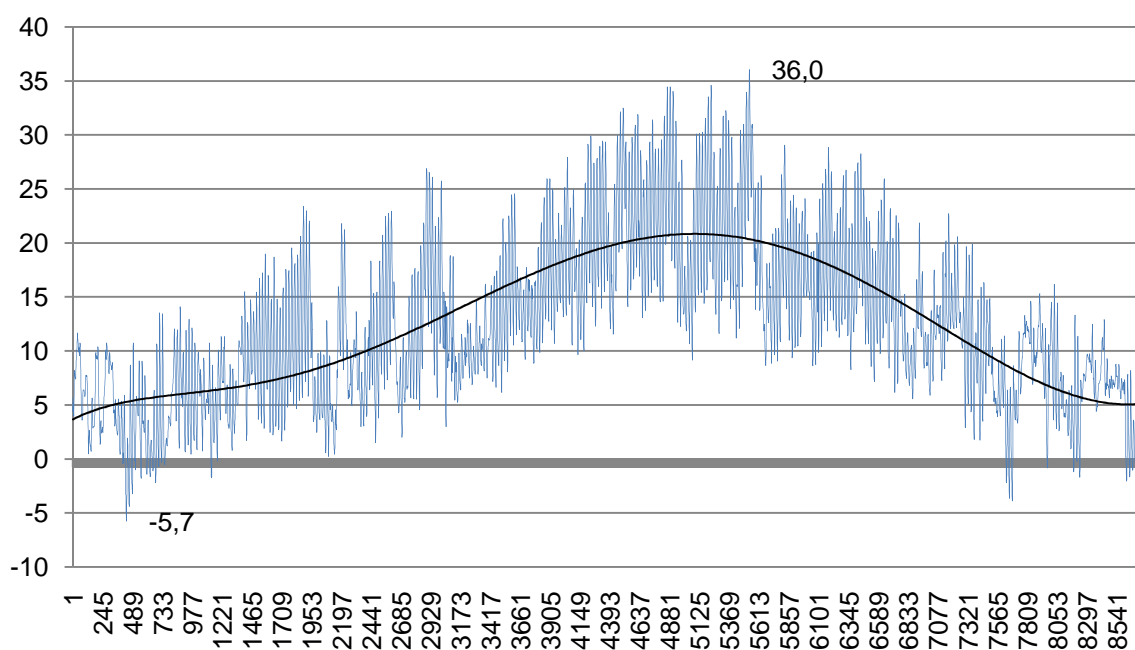


Figura 15 – Temperaturas médias horárias anuais em Bragança

4.5. Horários (*Schedules*)

Este campo tem como propósito definir o grau de utilização e operação da fracção autónoma, bem como a percentagem ou quantidade de sombras, pessoas, actividades, iluminação, infiltrações, controlo de temperatura e sombreamentos.

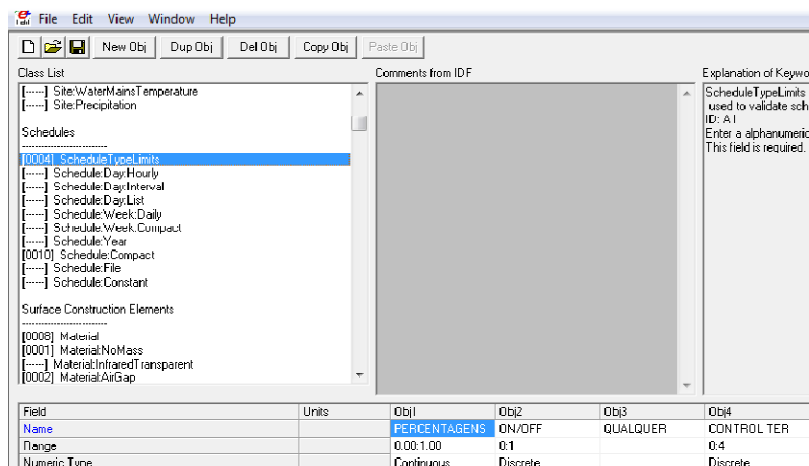


Figura 16 – Horários

No campo *ScheduleTypeLimits* são especificados os tipos de dados e o limite dos valores que se inserem em *Schedule:Compact*. As variáveis podem ser contínuas (todos os valores entre o mínimo e máximo) ou discretas (somente números inteiros entre o mínimo e máximo)

Schedule: Palas

Em relação às palas, estas estão sempre activas, isto é, estão sempre presentes por fazerem parte integrante da arquitectura do edifício.

Quadro 4 – Schedule:Palas

ScheduleTypeLimits	Percentagens
00:00-24:00	100%

Schedule: Pessoas

Considerou-se que as pessoas estão dentro da fracção autónoma das 18:00 às 08:00. No restante período estão fora, a trabalhar (semana) ou a passear (fins-de-semana).

Quadro 5 – Schedule:Pessoas

ScheduleTypeLimits	Percentagens
00:00-08:00	100%
08:00-18:30	0%
18:30-24:00	100%

Schedule: Actividades

Em relação às actividades praticadas pelos ocupantes, encontra-se no manual do *EnergyPlus* o valor equivalente ao tipo de actividade. Foram escolhidas as actividades mais idênticas ao real. Estas actividades estão disponíveis num documento do *EnergyPlus* [11] (*Metabolic Rates for Various*

Activities), que representa um nível de actividade em W/pessoa, para colocação de valores nos horários.

Quadro 6 – Schedule:Actividades

	ScheduleTypeLimits	Qualquer
00:00-07:00	<i>Sleeping</i>	72
07:00-08:00	<i>Walking 3,2km/h</i>	207
08:00-18:30	-	0
18:30-19:30	<i>Cooking</i>	189
19:30-21:00	<i>Standing, relaxed</i>	126
21:00-24:00	<i>Writing/typing</i>	112.5

Schedule: Equipamentos

Neste campo são discriminadas as potências dos equipamentos existentes na fracção autónoma, tal como a sua percentagem de utilização, de modo a ser o mais realista possível.

Quadro 7 – Potência dos Aparelhos

Aparelho	W	Aparelho	W
Secador	300	Forno Eléctrico	2500
Batedeira Eléctrica	300	Placa Eléctrica	1500
Termoacumulador	1500	Micro-Ondas	1000
Chaleira Eléctrica	1200	Frigorífico	140
Exaustor	150	Carregador Telemóvel	1
Ferro de Engomar	800	Computador	250
Máquina de Café	1200	Scanner	70
Torradeira	750	Impressora	90
MLL	1000	Aparelhagem de Som	30
MLR	900	Televisão	90
Aspirador	1250	Caixa Tv Cabo	8
Telefone	8	Aquecimento Eléctrico	1500

Quadro 8 – Potência das lâmpadas

Compartimento	Aparelho	W
Casa de Banho	Iluminação	60
Hall/Corredor	Iluminação	75
Cozinha	Iluminação	150
Escritório	Iluminação	100
Quarto	Iluminação	60
Sala	Iluminação	75

A fracção autónoma tem três quartos, uma cozinha, três casas de banho, uma sala e três halls/corredor, sendo por isso a potência dos equipamentos equivalente a 17129 W e a da iluminação de 910W. O valor inserido no *EnergyPlus* é em W/area, por isso foi dividido pela área útil de pavimento, a que equivale um valor de 125,33 W/m² para equipamentos e 2,7W/m² para iluminação. É de salientar que este consumo será racionalizado no *Schedule* iluminação e equipamentos, já a seguir descritos.

Quadro 9 – *Schedule*:Equipamentos

ScheduleTypeLimits	Total Watt	Percentagem
00:00-07:00	156	1%
07:00-08:00	1031	6%
08:00-18:30	156	1%
18:30-19:30	1441	8,5%
19:30-21:00	343	2%
21:00-24:00	421	2,5%

Schedule: Iluminação

Quadro 10 – *Schedule*:Iluminação

ScheduleTypeLimits	Total Watt	Percentagem
00:00-07:00	0	0%
07:00-08:00	345	38%
08:00-18:30	0	0%
18:30-19:30	420	46%
19:30-21:00	270	30%
21:00-24:00	235	29%

Schedule: Temperatura mínima

Colocação de 20°C como temperatura mínima, por ser a temperatura de referência para a estação de Inverno.

Schedule: Controlo da temperatura mínima

Garante que a temperatura mínima nunca desce dos 20°C com o auxílio de um termóstato e um equipamento fictício, estando sempre accionado, durante todos os dias do ano.

Schedule: Protecção Interior

Aqui foram colocadas as protecções interiores (cortinas opacas muitos transparentes), que estão activadas durante toda a estação de aquecimento, em equivalência com o RCCTE.

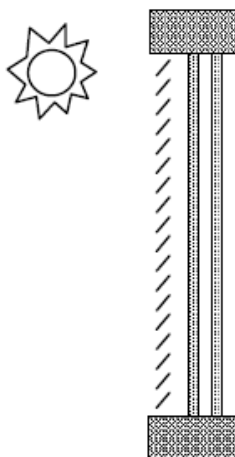
Schedule: Protecção Exterior

Aqui foram colocadas as protecções exteriores (com permeabilidade ao ar elevada, como é o caso dos estores venezianos orientáveis), que estão activadas durante a noite, e que têm influência no coeficiente de transmissão térmica no RCCTE. Por isso, optou-se por colocar este *Schedule* que contribuirá no valor médio dia-noite deste coeficiente.

Como a protecção é exterior o *Shading Type* é equivalente a *Exterior Blind* com um *Shading Control Type* “*On If High Solar On Window*” (figura 17).

Quadro 11 – *Schedule: Protecção Exterior*

<i>ScheduleTypeLimits</i>	<i>On/Off</i>
00:00-07:00	On
07:00-24:00	Off



Exterior

Figura 17 – Protecção exterior

4.6. Elementos de construção da envolvente (*Surface construction elements*)

Para que os elementos construtivos sejam definidos, é necessário preencher vários campos, entre eles:

-*Material*: materiais regulares cujas propriedades térmicas são conhecidas, tais como rugosidade, espessura, condutividade, densidade e calor específico. Neste campo inseriu-se o betão, o tijolo, o reboco, o estuque e o azulejo.

-*Material:No Mass*: materiais regulares cujas principais propriedades são a rugosidade e resistência térmica. Neste campo foi colocado um material fictício, de modo a corresponder a um artifício para simulação das perdas resultantes das pontes térmicas planas e lineares do RCCTE.

Para o modelo desenvolvido em *EnergyPlus* atribuiu-se à zona térmica uma única superfície associada a todas as pontes térmicas, traduzidas numericamente por uma superfície de área reduzida (0,5m²).

- Material:AirGap*: caixas-de-ar na envolvente opaca, sendo a única propriedade a resistência térmica.
 - WindowMaterial:Glazing*: aqui são colocadas as propriedades do vidro para janelas ou portas (espessura, transmitância, reflectância, emissividade, conductividade, etc.). O utilizador terá também de definir se existe ou não difusão solar da radiação incidente. Como o vidro é um elemento transparente, não há difusão da radiação transmitida, caso contrário (vidro translúcido) seria tomada a opção Yes.
 - WindowMaterial:Gas*: características do material gasoso que é utilizado em envidraçados, podendo ser ar, árgon, cripton ou xénon.
 - WindowMaterial:Shade*: neste caso, como protecção interior colocou-se no programa cortinas muito transparentes.
 - WindowMaterial:Blind*: neste caso, como protecção exterior colocou-se no programa estores.
 - Construction*: constituição dos elementos da envolvente interior e exterior, paredes, pavimentos e envidraçados. De notar que a construção dos elementos terá de ser iniciada pelo materiais do exterior para o interior.
- Na figura 18 está o campo de entrada de materiais, com a definição de betão armado, alvenaria de tijolo, estuque, etc.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		betão armado	reboco	aly.li.11	aly.li.15	estuque	molecans rijo	azulejo	B.A. 19CM
Roughness		Smooth	Rough	MediumRough	MediumRough	VerySmooth	MediumSmooth	VerySmooth	Smooth
Thickness	m	0,25	0,02	0,11	0,15	0,02	0,02	0,01	0,19
Conductivity	W/m.K	?	1,3	0,407407	0,384615	0,43	2,4	1,3	?
Density	kg/m3	2400	1800	900	900	1200	2567	2300	2400
Specific Heat	J/kg.K	880	840	520	520	840	840	520	880
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Visible Absorptance		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Figura 18 – Elementos de construção da envolvente

4.7. Zonas Térmicas e Envolvente (*Thermal Zones and Surfaces*)

Neste campo é definida a geometria da fracção autónoma, a sua envolvente interior e exterior, as zonas térmicas, envidraçados, palas, cortinas, caixilharia, etc., como descrito de seguida. Na figura 19 mostra-se os tipos de protecção interior e exterior.

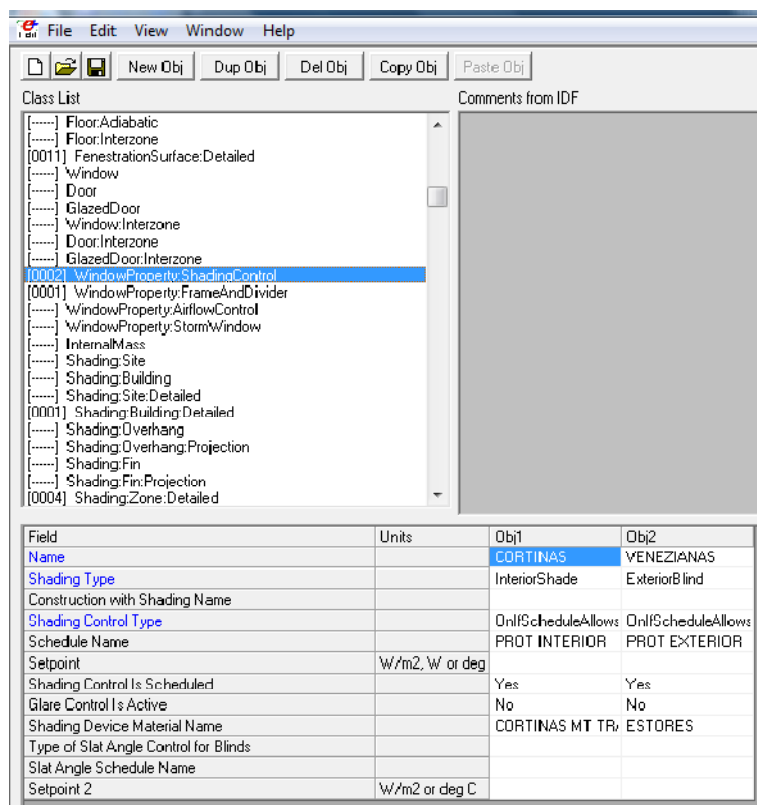


Figura 19 – Zonas térmicas e envolvente

No *GlobalGeometryRules* definiu-se a posição do ponto inicial como o canto inferior esquerdo de cada superfície, a direcção das coordenadas em relação ao ponto escolhido foi no sentido contrário aos ponteiros do relógio e o sistema de coordenadas é relativo, para que as coordenadas sejam colocadas relativamente a cada zona. É importante salientar que as coordenadas dos elementos construtivos (paredes, pavimentos, tectos) foram definidas com o observador no interior da zona.

Neste campo é importante definir as diferentes zonas térmicas existentes no edifício ou fracção autónoma. Neste caso de estudo, foram definidas duas zonas térmicas, Z1, correspondente à fracção autónoma em estudo (zona aquecida), e Z2, correspondente ao espaço não útil (circulação comum). Para descrever uma zona térmica no *EnergyPlus* é essencial definir o ângulo relativo ao norte, as coordenadas da origem e a altura do tecto.

No *Building:Surface* são colocadas as coordenadas (x,y,z) de cada elemento construtivo, sendo necessário inserir a que zona térmica pertence esse elemento, a sua condição de fronteira e se está exposta ao sol ou ao vento. Neste campo foram inseridas as paredes entre a Z1 e Z2 sem exposição ao sol ou vento e com fronteira "Zone". As paredes de separação entre a Z2 e as restantes fracções autónomas (locais aquecidos) foram consideradas paredes adiabáticas, de modo a tentar reproduzir da melhor maneira possível o que realmente ocorre nessa zona. Na realidade existem perdas da Z1 para a Z2, mas também existem ganhos da Z2 relativamente às outras fracções autónomas. É de notar que para analisar somente esta fracção autónoma, seria muito exaustivo implementar todas as outras fracções autónomas do edifício, o que seria bastante exaustivo, não havendo interesse para

com os resultados obtidos para as restantes zonas térmicas. Sabemos que há trocas de calor que podem ser mais ou menos significativas consoante o local de implantação e que também seria possível ter optado por considerar a fronteira entre a Z1 e Z2 como adiabática mas desta forma estamos a representar uma situação um pouco mais idêntica ao real, sendo assim mais desfavorável.

Na figura 20 pode observar-se o funcionamento de cada zona térmica de um edifício, em que basta um único ponto para caracterizar a temperatura do ar no interior (a estrutura base do código considera que cada volume interior se encontra perfeitamente misturado). As variáveis necessárias a essa caracterização são a radiação interna, fonte de calor e humidade (pessoas e equipamentos), ar de retorno, infiltrações (sensíveis e latentes), convecção, ar condicionado, transferência de calor (difusão e armazenamento), radiação solar directa, difusa e reflectida.

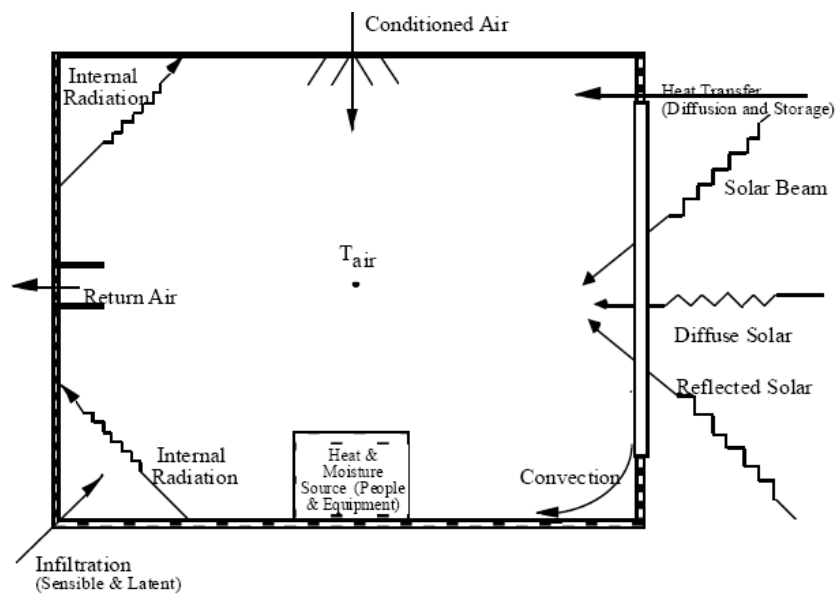


Figura 20 – Funcionamento de uma zona térmica [11]

4.8. Ganhos internos (*Internal Gains*)

Os ganhos internos de cada zona têm uma relação directa com a ocupação humana, que foi descrita nos *Schedules*. Os ganhos internos dependem do tipo de actividade diária, dos equipamentos e da iluminação.

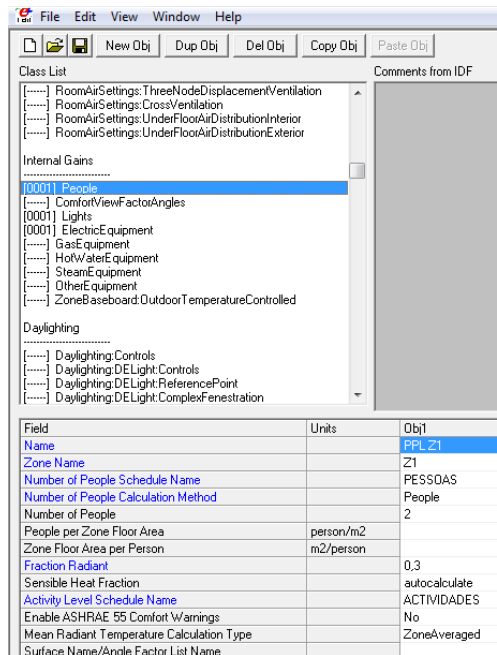


Figura 21 – Ganhos internos

4.9. Renovação de Ar (Zone Airflow)

Nesta secção, o programa calcula a quantidade de ar que se infiltra do exterior para a interior da zona térmica. O cálculo da renovação de ar em cada zona resume-se à multiplicação do volume de cada zona pelo número convencional de renovações horárias. Admitiu-se uma renovação horária na zona 1 e 1,5 renovações horárias para a zona 2, por ser um local não aquecido e tendo sido iterado várias vezes para se chegar a um valor mais aproximado do real possível.

O *EnergyPlus* permite realizar simulações mais ou menos complexas, sendo possível elaborar estudos de permeabilidade ao ar em paredes ou vão envidraçados.

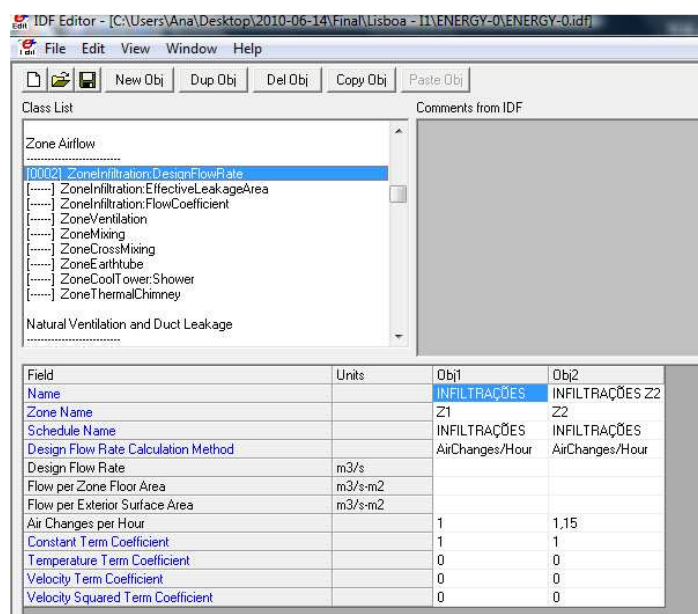


Figura 22 – Renovação do ar

4.10. Controlo de AVAC e Termóstatos (*Zone HVAC Controls and Thermostats*)

Nesta secção, consoante se pretenda aquecer ou arrefecer, define-se para cada zona o controlo térmico pretendido, havendo cinco situações possíveis:

- 0 – Sem controlo (sem termóstato)
- 1 – Controlo do aquecimento
- 2 – Controlo do arrefecimento
- 3 – Controlo do aquecimento ou arrefecimento
- 4 – Controlo do aquecimento e arrefecimento

A cada uma destas situações corresponde um *Schedule* que serve de controlo da temperatura das zonas pretendidas. Pode ser realizado um controle de temperatura mínima ou máxima (figura 24). No caso em estudo, e por se tratar da estação de aquecimento, foi colocado um controlo de temperatura mínima, que é accionado assim que a temperatura ambiente é inferior a 20°C. No *Schedule* respectivo foi inserido o número 1 (aquecimento).

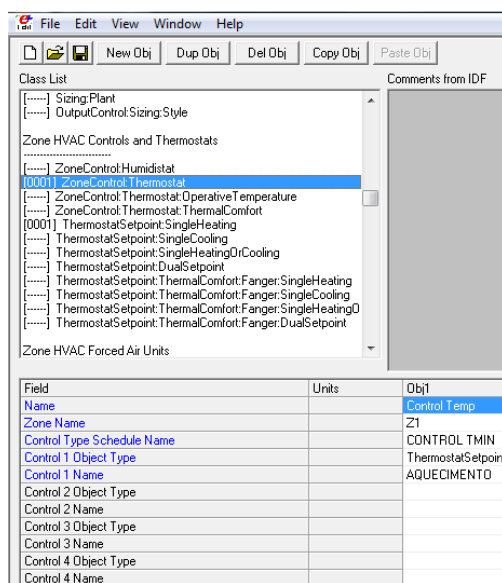


Figura 23 – Controlo de AVAC e Termóstatos

4.11. Unidades de ar impostas no AVAC (*Zone HVAC Forced Air Units*)

Neste definiram-se os parâmetros do equipamento utilizado para aquecimento da zona 1. O equipamento é fictício, pois permite manter a temperatura acima dos 20°C sem ganhos internos e completamente eficiente. É importante salientar que no campo *OutdoorAir* escolheu-se a hipótese *No*, para que o funcionamento deste equipamento não afecte a taxa de renovação horária, e considere a admissão de ar devida somente às infiltrações.

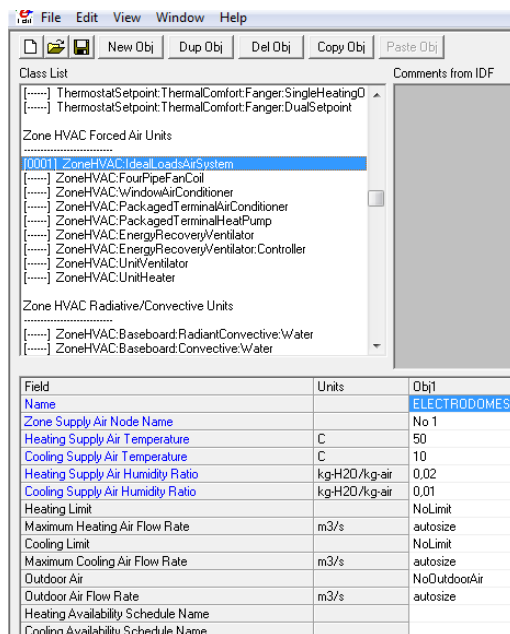


Figura 24 – Unidades de ar impostas no AVAC

4.12. Conexões do equipamento de AVAC (*Zone HVAC Equipment Connections*)

Este grupo está directamente relacionado com o anterior, na medida em que se define que equipamentos existem em cada zona térmica, para obtenção de conforto. No *ZoneHVAC:EquipmentConnections* foram definidos os nós de entrada e saída, de forma a construir um ciclo na zona térmica 1, com o equipamento fictício referido anteriormente.

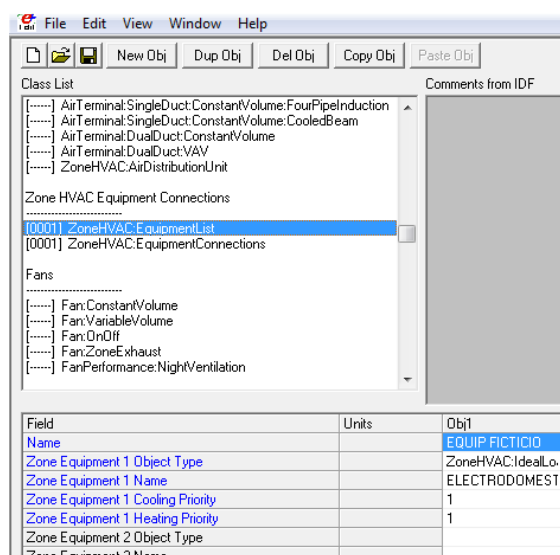


Figura 25 – Conexões do equipamento de AVAC

4.13. Relatórios de simulação (*Output Reporting*)

Este é o último campo de entrada a ser preenchido para poder “correr” o programa, e é nesta secção que se seleccionam as variáveis que se pretendem conhecer. O *EnergyPlus* apresenta uma quantidade elevada de relatórios que se podem solicitar, em cada simulação.

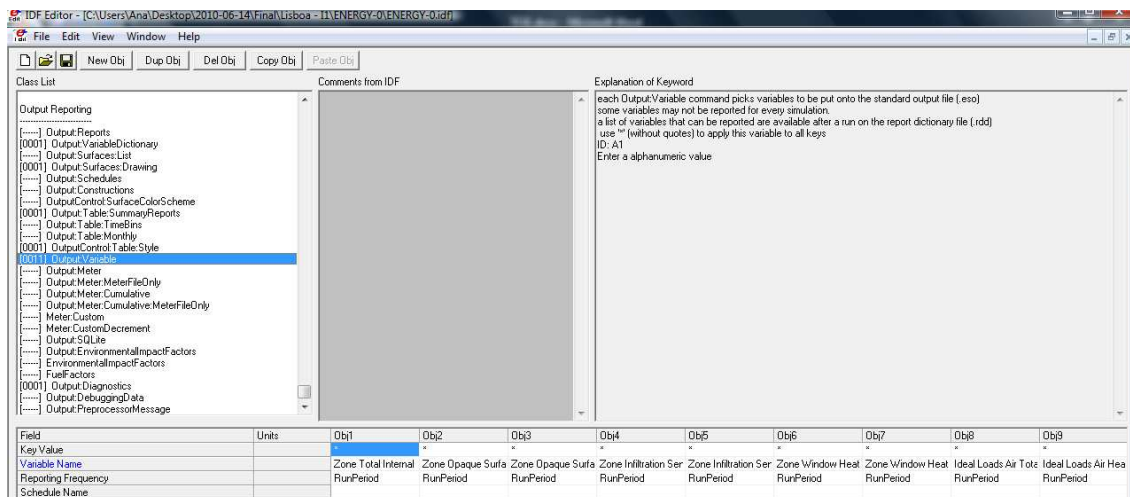


Figura 26 – Relatórios de simulação

No *Output:Variable*, define-se a frequência do fornecimento dos valores solicitados. Para comparação com os valores obtidos pelo RCCTE, foram solicitados os dados relativos aos ganhos e perdas por condução que ocorrem pela envolvente opaca, cujas designações são *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy* e *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction LossEnergy*, respectivamente. Relativamente aos ganhos e perdas que ocorrem pelos vãos envidraçados foram solicitadas as variáveis *Zone Window Heat Gain Energy* e *Zone Window Heat LossEnergy*. No entanto, caso o utilizador pretenda uma obtenção mais detalhada das trocas de calor que ocorrem nos envidraçados, poderá solicitar separadamente as perdas pelo caixilho e vidro.

No que respeita aos ganhos internos que sucedem no interior da fracção autónoma, foram solicitadas as variáveis correspondentes aos equipamentos, iluminação e ocupação, que correspondem a *Electric Equipment Total Heat Gain*, *Lights Total Heat Gain* e *People Total Heat Gain*, respectivamente.

Foram ainda solicitados os valores resultantes dos ganhos e perdas pela renovação do ar, cujas variáveis designam-se *Zone Infiltration Sensible Heat Gain* e *Zone Infiltration Sensible HeatLoss*. As variáveis correspondentes às necessidades de energia para aquecimento são *Ideal Loads Air Heating Energy*.

Para ser conhecida a temperatura exterior é solicitada a variável *Outdoor Dry Bulb* e a temperatura interior das zonas Z1 e Z2, *Zone MeanAir Temperature*.

No quadro seguinte pode-se observar os resultados de uma simulação, para o caso base em Lisboa, sem qualquer tratamento de resultados, sendo o *RunPeriod* igual a 160 dias.

Quadro 12 – Relatório do caso base pelo *EnergyPlus*

Date/Time	simdays=160
Environment:Outdoor Dry Bulb [C](RunPeriod)	11,92147
Z1:Zone Total Internal Total Heat Gain [J](RunPeriod)	7,6E+09
Z2:Zone Total Internal Total Heat Gain [J](RunPeriod)	0

Z1:Zone Window Heat Gain Energy[J](RunPeriod)	1,12E+10
Z1:Zone Window Heat Loss Energy[J](RunPeriod)	7,44E+09
Z1:Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy[J](RunPeriod)	6,98E+08
Z1:Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy[J](RunPeriod)	1,885E+10
Z2:Zone Window Heat Gain Energy[J](RunPeriod)	0
Z2:Zone Window Heat Loss Energy[J](RunPeriod)	0
Z2:Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy[J](RunPeriod)	3350230621
Z2:Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy[J](RunPeriod)	38653950
Z1:Zone Mean Air Temperature [C](RunPeriod)	20,04844
Z2:Zone Mean Air Temperature [C](RunPeriod)	15,51323
Z1:Zone Infiltration Sensible Heat Loss [J](RunPeriod)	1,52E+10
Z1:Zone Infiltration Sensible Heat Gain [J](RunPeriod)	1264320
Z2:Zone Infiltration Sensible Heat Loss [J](RunPeriod)	3,35E+09
Z2:Zone Infiltration Sensible Heat Gain [J](RunPeriod)	40488841
ELECTRODOMESTICOS:Ideal Loads Air Heating Energy[J](RunPeriod)	2,29E+10
ELECTRODOMESTICOS:Ideal Loads Air Total Cooling Energy[J](RunPeriod)	0

Capítulo 5 – Melhorias de Desempenho Térmico

5.1. Introdução

Existem várias estratégias de melhoria do desempenho térmico na estação de aquecimento. Estas estratégias consistem na diminuição das perdas e promoção dos ganhos, nomeadamente: restringir as perdas por condução aplicando materiais isolantes nos elementos construtivos; restringir as perdas por infiltração; promover os ganhos solares (estratégias nos sistemas solares passivos para aquecimento).

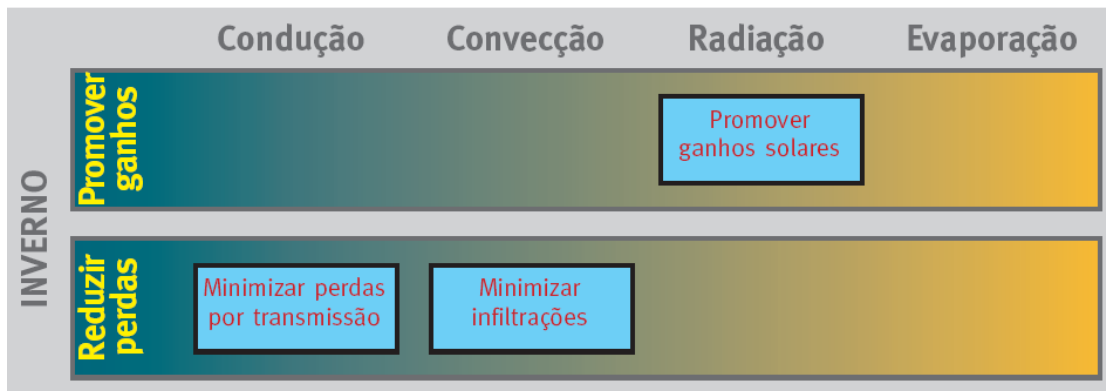


Figura 27 – Estratégias de aquecimento [1]

Há diversas medidas de melhoria que poderiam ser aplicadas, de modo a satisfazer o pretendido, entra os quais:

- Sistemas de isolamento térmico aplicados pelo exterior, pelo interior ou aplicados na caixa-de-ar em parede dupla
- Aumento da inércia térmica (no caso de ter inércia térmica fraca ou média)
- Caixilharia de vãos envidraçados de qualidade
- Sombreamentos exteriores adequados
- Optimização da ventilação
- Redução do valor médio dia-noite U_{wdn}

Neste capítulo serão analisadas as necessidades de aquecimento da fracção autónoma na situação actual (caso base) pelo RCCTE e *EnergyPlus*. Após os resultados obtidos optou-se por aplicar um conjunto de quatro medidas de melhoria: redução das renovações horárias (consideração de $0,6h^{-1}$, conforme NP 1037-1); colocação de vidros duplos; reforço do isolamento térmico das paredes (pelo interior); conjunto das medidas de melhoria anteriores. Na figura 27 pode observar-se um esquema das melhorias, que serão denominadas de Caso base a Medida de melhoria 4 no decorrer da dissertação.



Figura 28 – Esquema das melhorias

Medida de Melhoria 1

Esta medida de melhoria corresponde à redução das renovações horárias da fracção autónoma, que têm um valor igual a 1. Esta medida de melhoria corresponde a uma redução de 40% do seu valor actual, passando para 0,6 renovações por hora.

Medida de Melhoria 2

Com esta medida de melhoria pretende-se diminuir o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado. Este coeficiente correspondente ao valor médio dia-noite, depende do tipo de caixilharia, da forma de abertura (fixa, giratória ou de correr), da espessura da lâmina de ar e da permeabilidade ao ar dos dispositivos de protecção exterior activados durante a noite. Nos quadros 11 e 12 podem observar-se os coeficientes mencionados para envidraçados simples e duplos.

Substituindo o tipo de dispositivo de oclusão nocturna e o vidro simples incolor por vidro duplo com espessura de 16 mm de lâmina de ar, os valores de U_{wdn} são reduzidos de 5,2 (vãos envidraçados da fachada este) e 4,8 (vãos envidraçados da fachada sul) para 2,5.

Quadro 13 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais, com caixilharia metálica sem corte térmico, vão envidraçado simples (uma janela), vidro simples e janela de correr, giratória e de correr [7]

Tipo de janela	U _{wdn}		
	Dispositivo de oclusão nocturna		
	Cortina interior opaca	Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Fixa	4,9	4,5	3,8
Giratória	5,0	4,6	3,9
De correr	5,2	4,8	4,1

Quadro 14 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados verticais, com caixilharia metálica com corte térmico, vãos envidraçados simples (uma janela), de vidro duplo [7]

Espessura da lâmina de ar	U _{wdn}		
	Dispositivo de oclusão nocturna		
	Cortina interior opaca	Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
6mm	3,3	3,1	2,7
16mm	2,9	2,8	2,5
16mm low e	2,7	2,6	2,3

Esta hipótese pode implicar o aumento das pontes térmicas planas e lineares, pela adição de um dispositivo de oclusão nocturna com permeabilidade reduzida, como é o caso das persianas em réguas metálicas ou plásticas. Na análise das pontes térmicas lineares, constatou-se que o ψ da ligação da fachada com a caixa de estore é igual a zero. Considerou-se uma caixa de estore com 0,30 m, isolada termicamente no seu interior com 3 cm de poliestireno extrudido. Uma vez que o espaço de ar no seu interior é ventilado, o coeficiente de transmissão térmica desta Ponte Térmica Plana (PTP) é igual a 0,93.

Medida de Melhoria 3

No caso do edifício em análise, o reforço do isolamento térmico só poderá ser realizado pelo interior, no entanto, são de referir algumas desvantagens da sua utilização [5]:

- Redução da área habitável dos espaços;
- Dificuldade de realização das ligações com janelas e portas, dado que a espessura da parede aumenta;
- Manutenção de algumas pontes térmicas;

- Dificuldade de execução das obras de reparação em edificações que estejam a ser utilizadas, na medida em que estas decorrem pelo lado interior.

Por razões de independência da acção, não se optou por colocar o isolamento térmico pelo exterior ou na caixa-de-ar. No entanto, estas opções também são válidas, e são uma melhor solução na medida em que aumentam a inércia térmica e não reduzem a área útil da fracção autónoma em causa. Será analisada a relação entre as perdas e os ganhos com esta proposta de medida de melhoria do desempenho energético com realização de contra-fachada de placas de gesso cartonado com isolante na caixa-de-ar.

Medida de Melhoria 4

Esta medida de melhoria corresponde ao conjunto das três medidas de melhoria referidas anteriormente, ou seja, a fracção autónoma vai dispor de 0,6 renovações horárias, isolamento térmico pelo interior, vidros duplos e estores.

5.2. Melhorias de desempenho térmico para o caso em estudo – Lisboa

5.2.1. Caso base

Na figura 29 podem observar-se as temperaturas para um dia típico de Inverno (31 de Janeiro), para o edifício real, sem dispositivos de controlo da temperatura. A temperatura exterior tem uma média de 6,76°C e a temperatura da fracção tem uma média de 11,56°C, para este dia em particular.

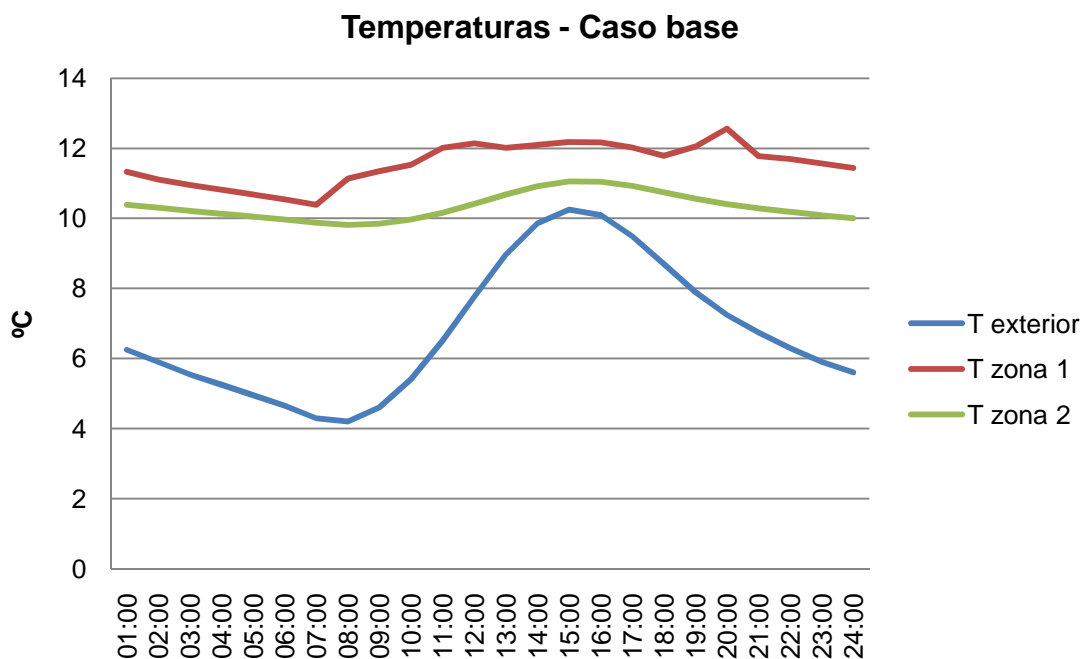


Figura 29 – Dia típico Inverno em Lisboa – Caso base

Como se pode observar pela figura 29, a temperatura interior da zona 1 nunca alcança a temperatura de referência. Sendo assim, foi necessário recorrer a medidas de melhoria para a fracção autónoma, por não garantir os níveis de conforto pretendidos. Os “picos” verificados às 8h00 e 19h00 correspondem à utilização de um maior número de equipamentos (quando os indivíduos chegam a casa).

De seguida será observada a relação entre perdas e ganhos de energia em, já com um equipamento fictício que nos faculta a necessidade de aquecimento no Inverno, garantindo uma temperatura de 20°C no interior da fracção autónoma em estudo.

Em primeiro lugar, serão apresentadas as necessidades de aquecimento para a fracção autónoma situada em Lisboa, pelo RCCTE e em seguida pelo *EnergyPlus*. Esta análise comparativa dos dois métodos de análise das necessidades de aquecimento só será efectuada para Lisboa, como calibração dos modelos. A zona climática de Inverno I2 e I3 só será estudada pelo *EnergyPlus*.

Quadro 15 – Caso base para a fracção autónoma situada em Lisboa pelo RCCTE

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	2501,78
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1031,89
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	3394,56
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	3441,41
Ganhos solares (kWh/ano)	2100,56
Ganhos internos (kWh/ano)	2086,17
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	6238,74
Nic (kWh/m ² .ano)	45,65

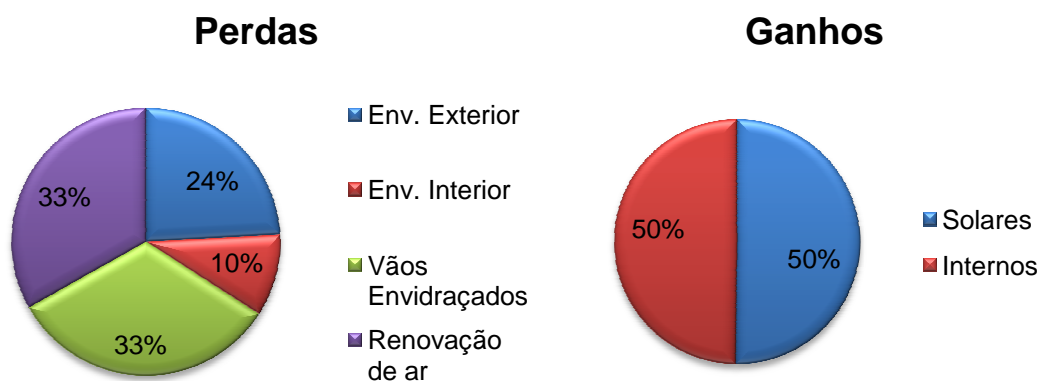


Figura 30 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Caso base) pelo RCCTE

A partir da análise do quadro 15 e da figura 30, pode-se observar que a maior percentagem de perdas está associada à renovação de ar e pelos vãos envidraçados, enquanto a envolvente exterior e interior representam, num conjunto, um total de perdas quase igual às mencionadas anteriormente. Já os ganhos são repartidos igualmente pelos solares e internos.

De seguida, é realizada a mesma análise, mas com o auxílio do *EnergyPlus*, sendo os resultados apresentados no quadro 16 e na figura 31.

A principal diferença na análise energética na estação de aquecimento entre as duas metodologias reside na inexistência de ganhos pela envolvente opaca e por infiltrações, no RCCTE. Enquanto neste as maiores percentagens de perdas eram associadas às renovações horárias e vãos envidraçados, no *EnergyPlus* as que representam uma maior perda são pela envolvente exterior e renovação do ar.

Quadro 16 – Caso base para a fracção autónoma situada em Lisboa pelo *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	4305,81
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	930,62
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	2067,16
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	4230,95
Ganhos solares (kWh/ano)	3103,39
Ganhos internos (kWh/ano)	2111,61
Ganhos por infiltrações	0,35
Ganhos pela envolvente opaca	193,94
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	6374,88
Nic (kWh/m ² .ano)	43,76

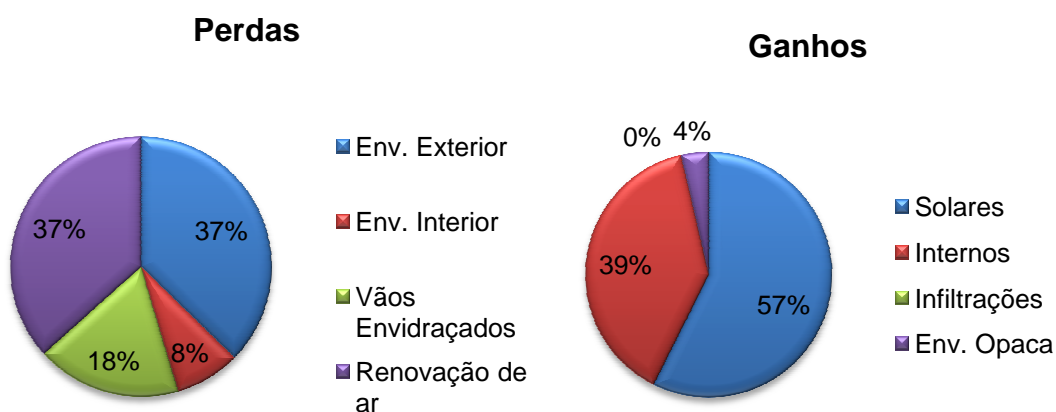


Figura 31 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Caso base) pelo *EnergyPlus*

As trocas pelos vãos envidraçados representam de 18% do total de perdas e 57% dos ganhos. Os ganhos internos representam, nesta análise, uma menor percentagem comparativamente com o RCCTE. As infiltrações não contribuem para os ganhos, enquanto a envolvente opaca contribui com 4% dos ganhos.

5.2.2. Medida de melhoria 1

Os resultados apresentados no quadro 17 e figura 32 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 1, em Lisboa, pelo RCCTE.

Após redução das renovações horárias para $0,6^{-1}$, as perdas por renovação do ar são reduzidas em 10%, revelando uma redução muito significativa destas perdas. As perdas pelos envidraçados representam, tal como pela envolvente exterior, a maior percentagem de perdas. Os ganhos mantêm-se iguais ao Caso base. É de salientar que, com apenas esta melhoria, observa-se uma redução das necessidades de aquecimento de 45,65 para 35,81 kWh/m².ano.

Quadro 17 – Medida de melhoria 1, Lisboa, RCCTE

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	2498,42
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1031,12
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	3394,56
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	2064,85
Ganhos solares (kWh/ano)	2100,56
Ganhos internos (kWh/ano)	2086,17
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4894,29
Nic (kWh/m ² .ano)	35,81

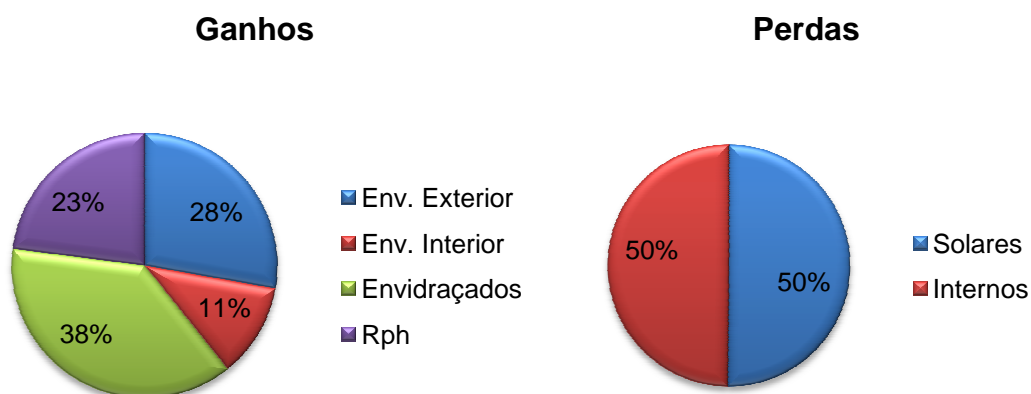


Figura 32 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 1) pelo RCCTE

Os resultados apresentados no quadro 18 e figura 33, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 1, em Lisboa, pelo EnergyPlus.

A redução da percentagem de perdas em relação a esta medida de melhoria foi de 11%, representando, tal como no RCCTE, uma redução muito significativa no total de perdas para a fracção autónoma. Os ganhos têm a mesma distribuição em relação ao Caso base, e, conseqüentemente, as necessidades de aquecimento são reduzidas de 43,76 para 32,46 kWh/m².ano. A figura 34 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Lisboa, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 31 de Janeiro e com a medida de melhoria 1. Verifica-se que reduzindo as renovações horárias beneficia-se de um acréscimo de 0,71°C na temperatura média da fracção.

Quadro 18 – Medida de melhoria 1, Lisboa, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	4322,67
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	937,34
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	2076,05
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	2552,64
Ganhos solares (kWh/ano)	3096,76
Ganhos internos (kWh/ano)	2111,61
Ganhos por infiltrações	0,21
Ganhos pela envolvente opaca	201,75
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4728,64
Nic (kWh/m ² .ano)	32,46

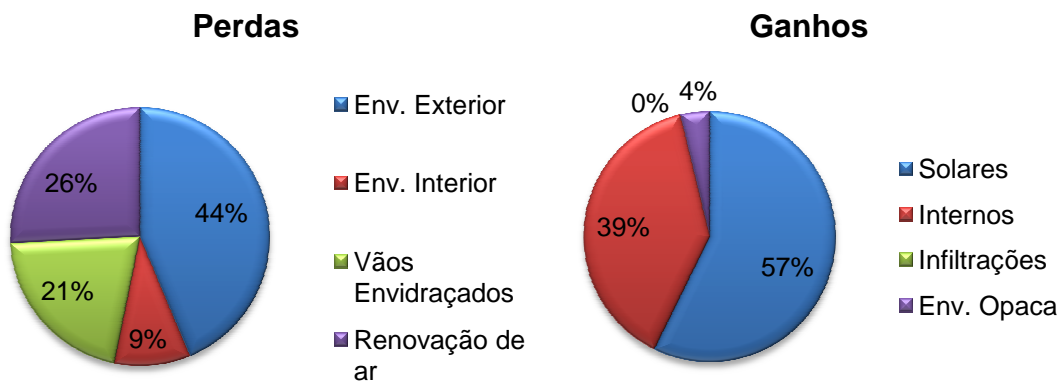


Figura 33 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Medida de melhoria 1, *EnergyPlus*

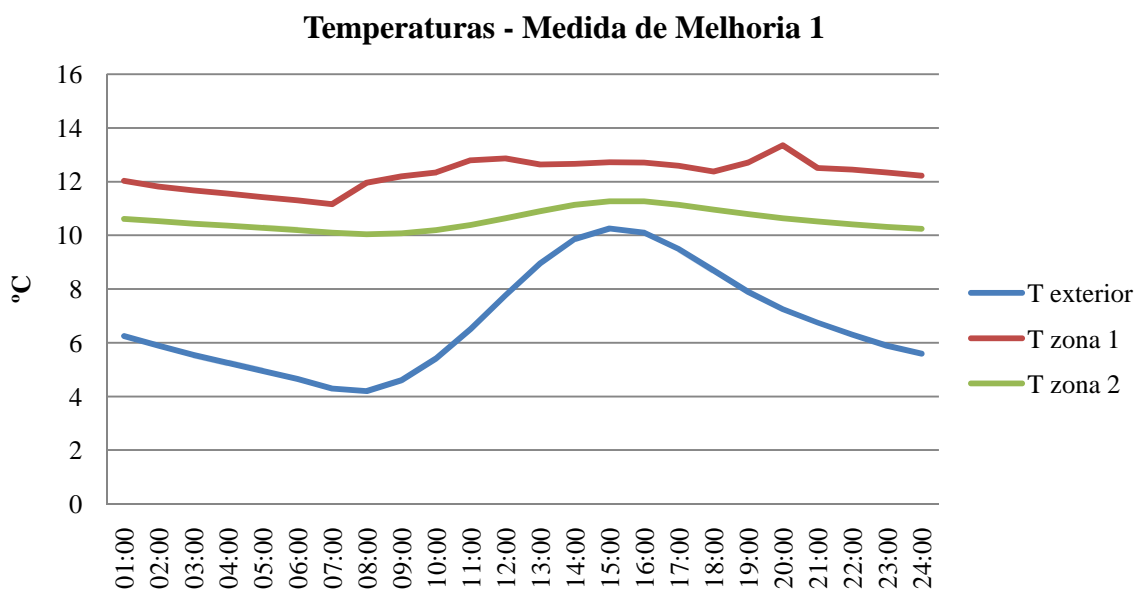


Figura 34 – Dia típico de Inverno em Lisboa – Medida de Melhoria 1

5.2.3. Medida de melhoria 2

Os resultados apresentados no quadro 19 e figura 35, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 2, em Lisboa, pelo RCCTE.

Quadro 19 – Medida de melhoria 2, Lisboa, RCCTE

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	2501,49
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1031,89
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1673,08
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	3441,41
Ganhos solares (kWh/ano)	1890,50
Ganhos internos (kWh/ano)	2086,17
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4754,89
Nic (kWh/m ² .ano)	34,79

Com esta medida de melhoria, as perdas pelos vãos envidraçados são reduzidas em 14% devido à redução do coeficiente de transmissão do envidraçado, com colocação de vidros duplos (ver quadro 12 e 13). É de salientar a diminuição dos ganhos solares em 2%, devido à diferença do factor solar do vidro.

Com esta medida de melhoria, as necessidades de aquecimento são reduzidas de 45,65 para 34,79 kWh/m².ano.

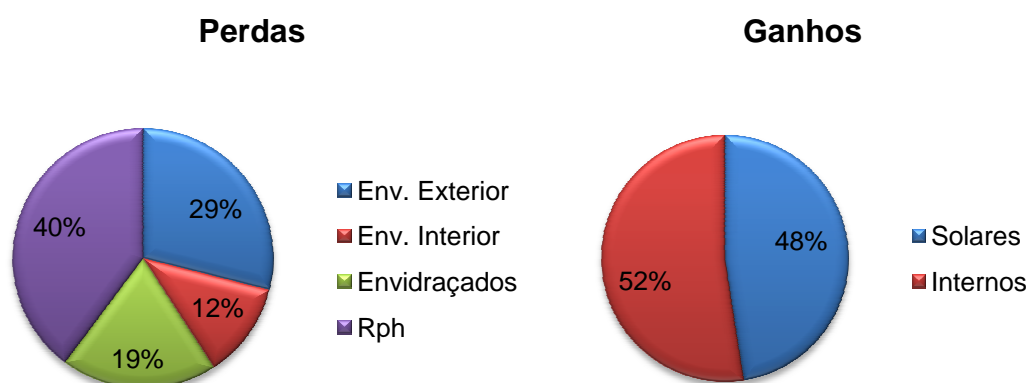


Figura 35 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 2) pelo RCCTE

Os resultados apresentados no quadro 20 e na figura 36 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 2, em Lisboa, pelo *EnergyPlus*.

Comparativamente com o Caso base, existem reduções significativas (9%) nas perdas pelos vãos envidraçados, devido à colocação de vidros duplos. É de realçar a diminuição dos ganhos solares em 7%, devido à diferença do factor solar do vidro. Sendo assim, o balanço não é muito positivo adoptando esta medida de melhoria.

Com esta medida de melhoria, as necessidades de aquecimento são reduzida de 45,65 para 34,79 kWh/m².ano.

Quadro 20 – Medida de melhoria 2, Lisboa, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	4090,38
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	902,86
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	896,58
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	4223,43
Ganhos solares (kWh/ano)	2114,46
Ganhos internos (kWh/ano)	2111,61
Ganhos por infiltrações	0,92
Ganhos pela envolvente opaca	37,88
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	6040,29
Nic (kWh/m ² .ano)	41,46

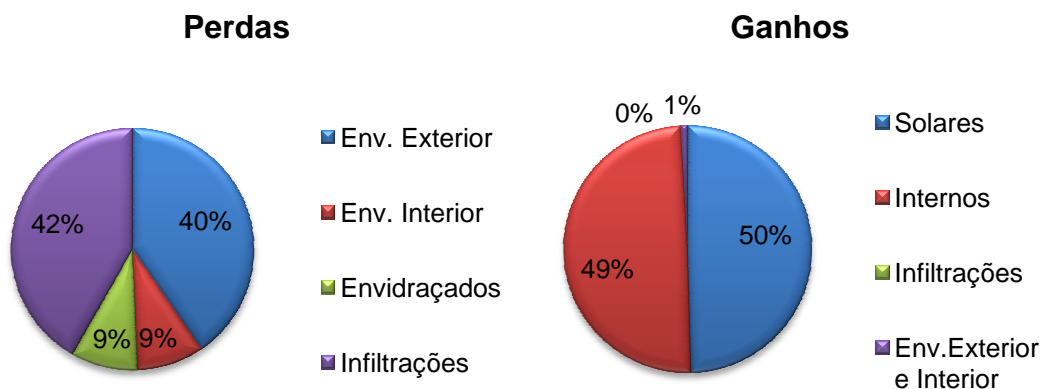


Figura 36 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 2) pelo *EnergyPlus*

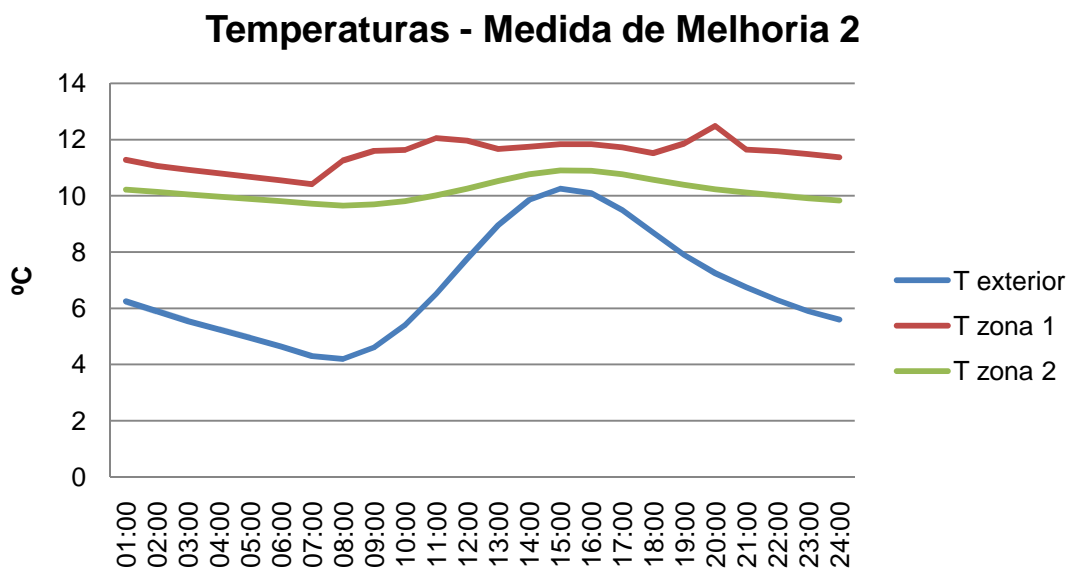


Figura 37 – Dia típico Inverno em Lisboa – Medida de Melhoria 2

5.2.4. Medida de melhoria 3

Os resultados apresentados no quadro 21 e na figura 38 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 3, em Lisboa, pelo RCCTE.

Quadro 21 – Medida de melhoria 3, Lisboa, RCCTE

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1518,54
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	395,52
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	3394,56
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	3441,41
Ganhos solares (kWh/ano)	2100,56
Ganhos internos (kWh/ano)	2086,17
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4664,23
Nic (kWh/m ² .ano)	34,13

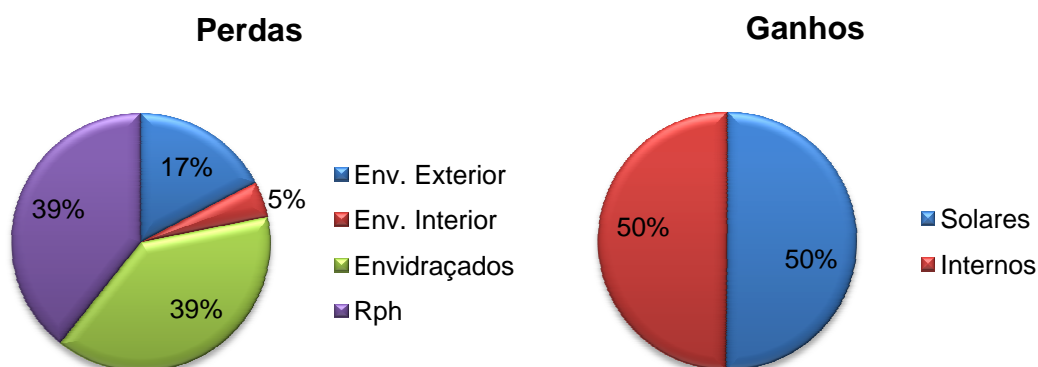


Figura 38 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Lisboa, Medida de melhoria 3, pelo RCCTE

Esta medida de melhoria reduz as necessidades de aquecimento de 45,65 para 34,13 kWh/m².ano, devido à colocação de isolamento térmico pelo interior da fracção autónoma. A fracção autónoma real apresenta, com esta melhoria, perdas de 17 e 5% pela envolvente exterior e interior, respectivamente. Estas percentagens apresentam valores baixos, comparativamente com as perdas iniciais de 24 e 10% pela envolvente exterior e interior.

Os resultados apresentados no quadro 22 e figura 39 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 3, em Lisboa, pelo *EnergyPlus*.

A envolvente exterior e interior representam, num conjunto, 45% das perdas no Caso base. Depois da simulação deste caso, conclui-se que estas parcelas passam a corresponder a 32% das perdas, significando que esta medida reduz em grande parte as perdas totais. De notar que os ganhos solares pela envolvente opaca crescem 134,91 kWh/ano, devendo-se ao isolamento térmico. As necessidades de aquecimento, para a simulação 0, são iguais a 35,81 kWh/m².ano, sendo reduzidas para apenas 27,92 kWh/m².ano.

Quadro 22 – Medida de melhoria 3, Lisboa, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	2114,69
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	565,40
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1583,02
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	4257,55
Ganhos solares (kWh/ano)	2210,78
Ganhos internos (kWh/ano)	2111,61
Ganhos por infiltrações	0,03
Ganhos pela envolvente opaca	328,85
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4067,40
Nic (kWh/m ² .ano)	27,92

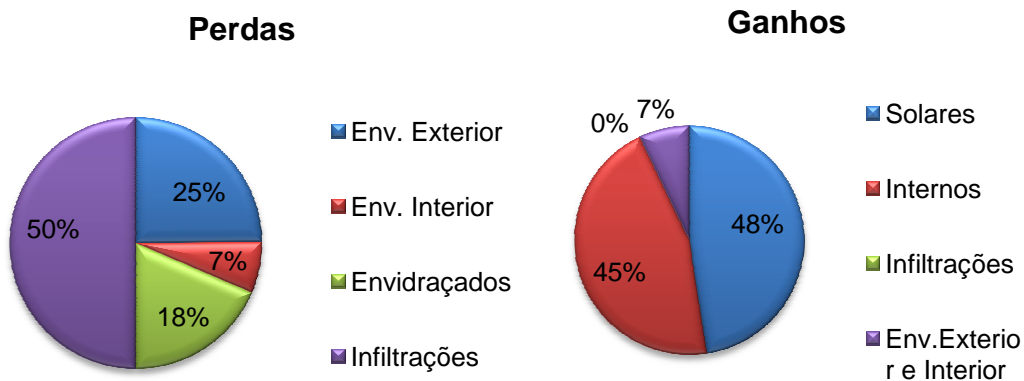


Figura 39 – Distribuição das perdas e dos ganhos, Lisboa, Medida de melhoria 3, *EnergyPlus*

A figura 40 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Lisboa, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 31 de Janeiro e com a medida de melhoria 3. Neste dia a temperatura média da zona 1 aumentou 0,87°C.

5.2.5. Medida de melhoria 4

Os resultados apresentados no quadro 23 e figura 41, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 4, em Lisboa, pelo RCCTE.

Com esta estratégia de melhoria (conjunto das melhorias anteriores), ocorreu uma diminuição de 45,65 para 15,12 kWh/m².ano.

A percentagem das renovações de ar continua a corresponder à maior parcela de perdas de calor, seguidamente dos envidraçados, envolvente exterior e por fim, a envolvente interior. Esta medida de melhoria reduz de modo significativo as necessidades de aquecimento, revelando ser uma medida bastante eficaz na obtenção de conforto térmico na fracção autónoma.

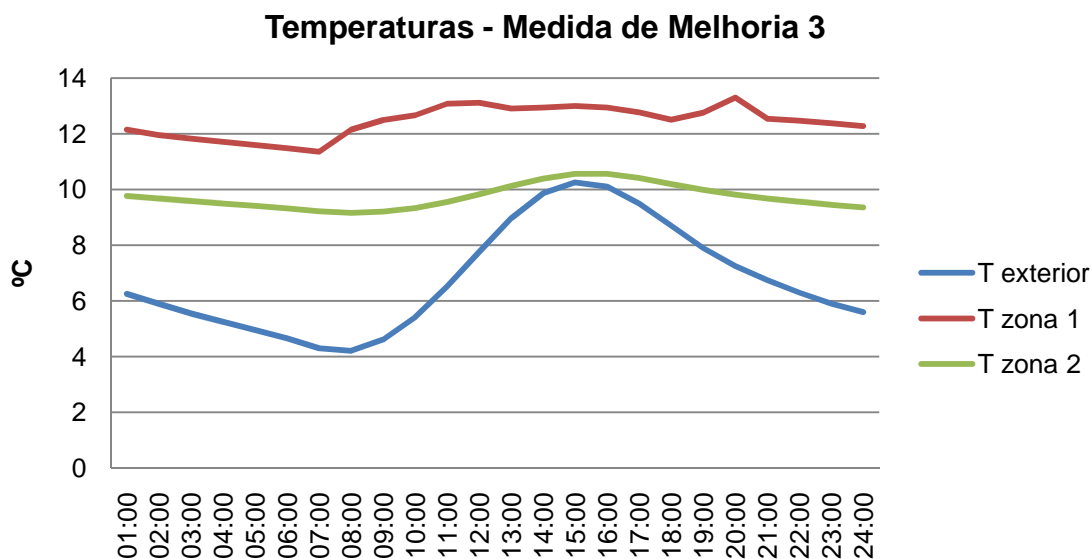


Figura 40 – Dia típico Inverno em Lisboa – Medida de melhoria 3

Quadro 23 – Medida de melhoria 4, Lisboa, RCCTE

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1602,13
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	394,63
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1673,08
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	2064,85
Ganhos solares (kWh/ano)	1890,50
Ganhos internos (kWh/ano)	2086,17
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	2065,87
Nic (kWh/m ² .ano)	15,12

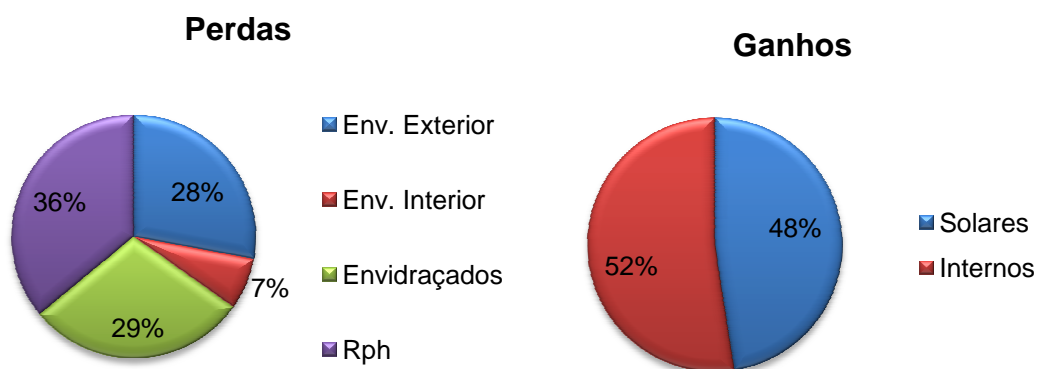


Figura 41 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 4) pelo RCCTE

Os resultados apresentados no quadro 24 e na figura 42, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 4, em Lisboa, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 24 – Medida de melhoria 4, Lisboa, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	2071,35
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	569,65
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	947,70
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	2622,49
Ganhos solares (kWh/ano)	2061,92
Ganhos internos (kWh/ano)	2111,61
Ganhos por infiltrações	0,01
Ganhos pela envolvente opaca	262,16
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	1970,62
Nic (kWh/m ² .ano)	13,53

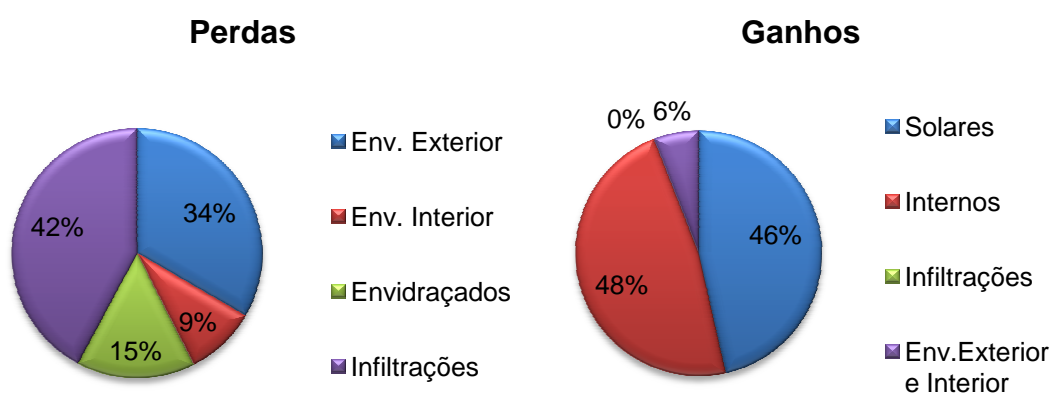


Figura 42 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 4) pelo *EnergyPlus*

Nesta simulação, tal como no RCCTE, a maior percentagem de perdas corresponde às perdas pela renovação do ar, com um valor de 42%, enquanto no Caso base era de 37%. Seguidamente, com uma percentagem de 34% do valor total das perdas, estão as perdas pela envolvente exterior, que inicialmente correspondia a uma percentagem de 37%. Por fim, e tal com no Caso base, seguem-se as perdas pelos envidraçados e pela envolvente interior.

Já os ganhos solares deixam de representar 57% dos ganhos totais, passando a tomar o valor de 46%, e os ganhos internos aumentam de 39% (no caso real) para 48%. A envolvente opaca passa a representar 6% dos ganhos, e as infiltrações quase não contribuem para os ganhos na estação de aquecimento. Com esta medida de melhoria é importante referir que as necessidades de aquecimento são reduzidas de 43,76 para 13,53kWh/m².ano.

A figura 43 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Lisboa, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 31 de Janeiro e com a medida de melhoria 4, verificando-se um aumento de 2,53°C na média da temperatura da fracção.

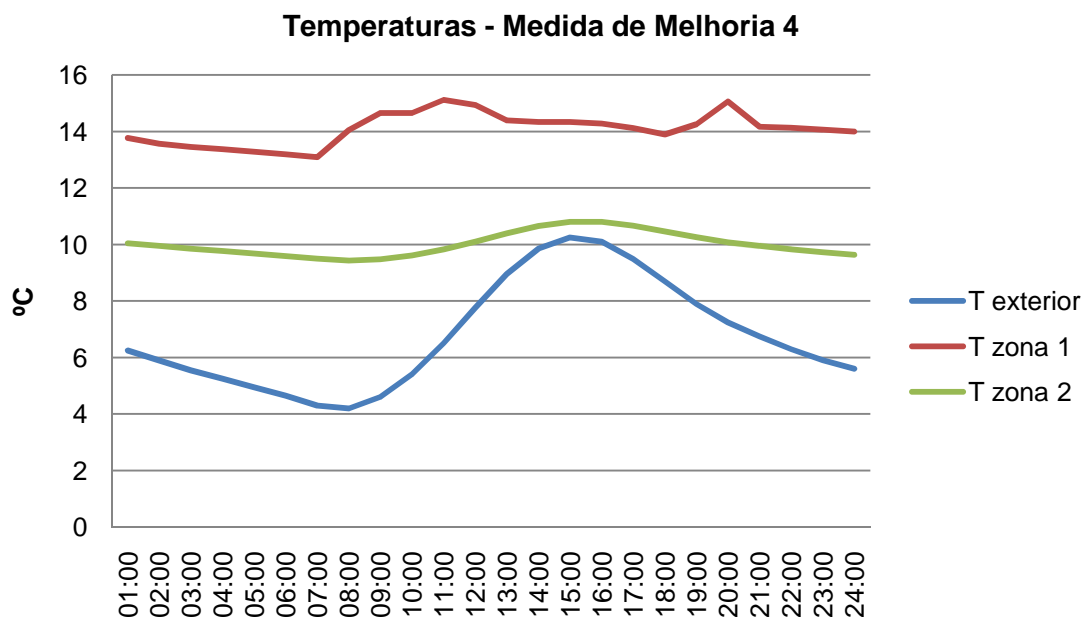


Figura 43 – Distribuição das perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Lisboa

Como resumo dos resultados relativos ao concelho de Lisboa para os cinco casos de estudo, apresenta-se na figura 44 todas as perdas pela envolvente exterior e interior, tal como pelos vãos envidraçados e pelas renovações horárias. Também é possível observar os ganhos solares, internos, pelas renovações de ar e pela envolvente opaca.

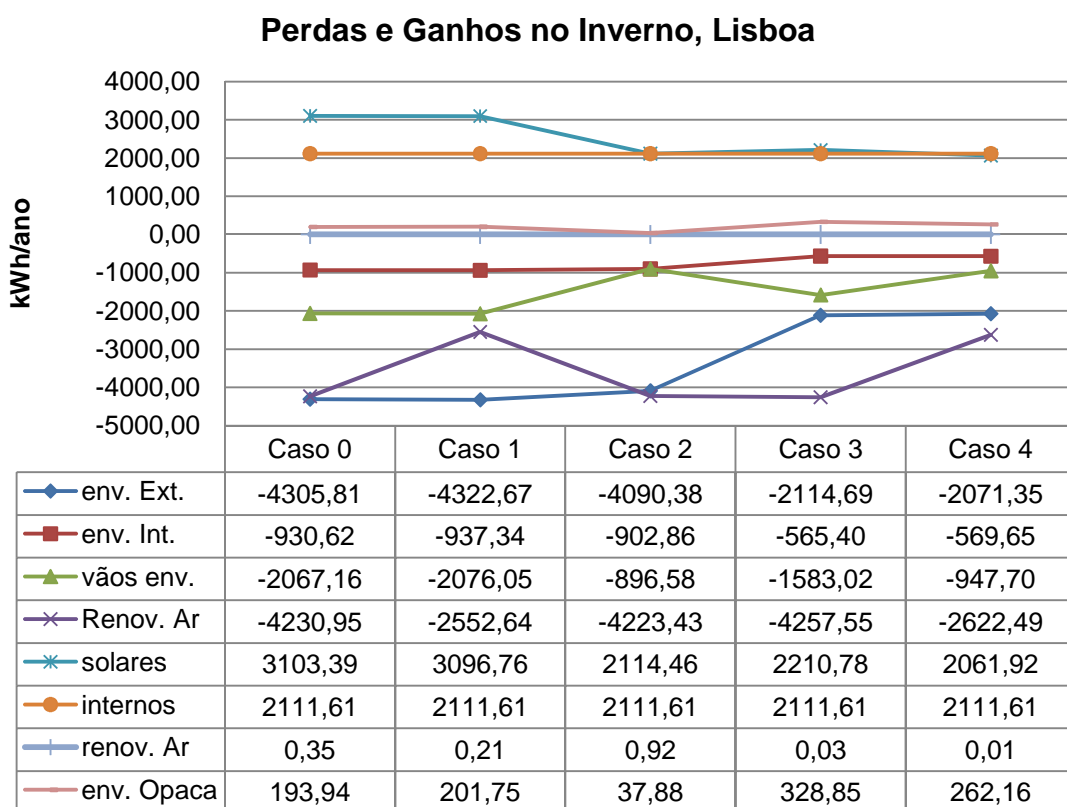


Figura 44 – Distribuição das perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Lisboa

Necessidades de Aquecimento (kWh/m².ano)

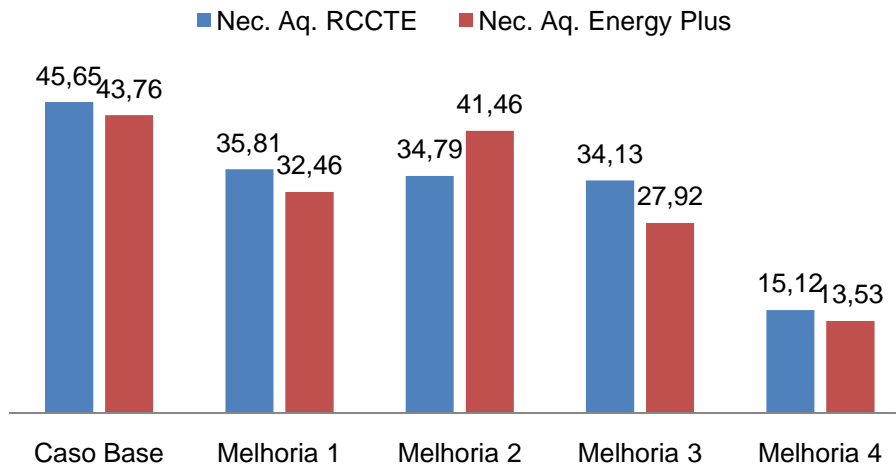


Figura 45 – Necessidades de Aquecimento por m² para os cinco casos de estudo, segundo o RCCTE e *EnergyPlus*

É importante assinalar que o balanço energético é muito idêntico para a simulação 0, pelo RCCTE e pelo *EnergyPlus*. Já na Medida de melhoria 1 (R_{ph} igual a 0,6), observa-se um ligeiro aumento das necessidades de aquecimento pelo RCCTE comparativamente com o *EnergyPlus*, no entanto, obtém-se uma franca redução das necessidades de aquecimento entre a simulação 0 e 1. Deve reparar-se que para as medidas de melhoria 1, 2 e 3, as necessidades de aquecimento pelo RCCTE possuem praticamente o mesmo valor, significando que é praticamente indiferente colocar isolamento térmico, vidros duplos, ou mesmo melhorar a ventilação. Já pelo *EnergyPlus*, as várias soluções apresentam valores finais muito distintos, consoante o caso. Na comparação do Medida de melhoria 4 com o Caso base, o balanço entre os dois métodos é idêntico, verificando-se uma maior proximidade entre os resultados.

5.3. Análise de sensibilidade em função da zona climática

Como desenvolvimento do caso em estudo, vamos supor que este mesmo edifício se encontra localizado noutros concelhos, nomeadamente Bragança e Porto (ficheiros climáticos existentes para simulação no *EnergyPlus* - *Weather Data*). Devido às limitações apresentadas pelo RCCTE, será utilizada apenas a simulação dinâmica como ferramenta de estudo, para as zonas de Inverno I2 e I3.

As simulações em *EnergyPlus* variam essencialmente com a estação convencional de aquecimento, que é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

5.3.1. Zona climática de Inverno I2

5.3.1.1. Caso base

Os resultados apresentados no quadro 25 e figura 46, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma sem medidas de melhoria, no Porto, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 25 – Caso base para a fracção autónoma situada no Porto pelo *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	5694,40
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1222,78
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	2955,12
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	5731,92
Ganhos solares (kWh/ano)	3022,10
Ganhos internos (kWh/ano)	2665,91
Ganhos por infiltrações	1,63
Ganhos pela envolvente opaca	349,04
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	9870,61
Nic (kWh/m ² .ano)	67,75

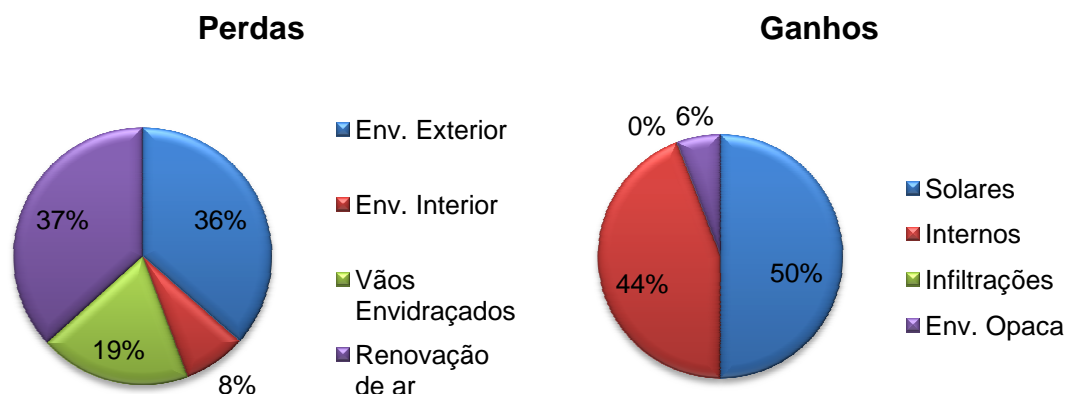


Figura 46 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Caso base) pelo *EnergyPlus*

No Porto, para a simulação 0, a maior percentagem de perdas corresponde às perdas pela renovação do ar, seguidamente pela envolvente exterior, vãos envidraçados e envolvente interior. Os ganhos na estação de Inverno devem-se principalmente aos ganhos solares (50%) e ganhos internos (44%). Os ganhos pela renovação do ar e pela envolvente opaca apresentam uma percentagem pouco significativa, no entanto, possuem um valor de 6%. É de notar que as necessidades de aquecimento aumentaram significativamente da zona de Inverno I1 para a zona I2.

A figura 47 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para o Porto, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção

autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 3 de Janeiro e com a medida de melhoria 0.

As temperaturas têm uma média de 5,09°C (exterior), 9,45°C (interior) e 8,98°C (l.n.a.), para este dia em particular.

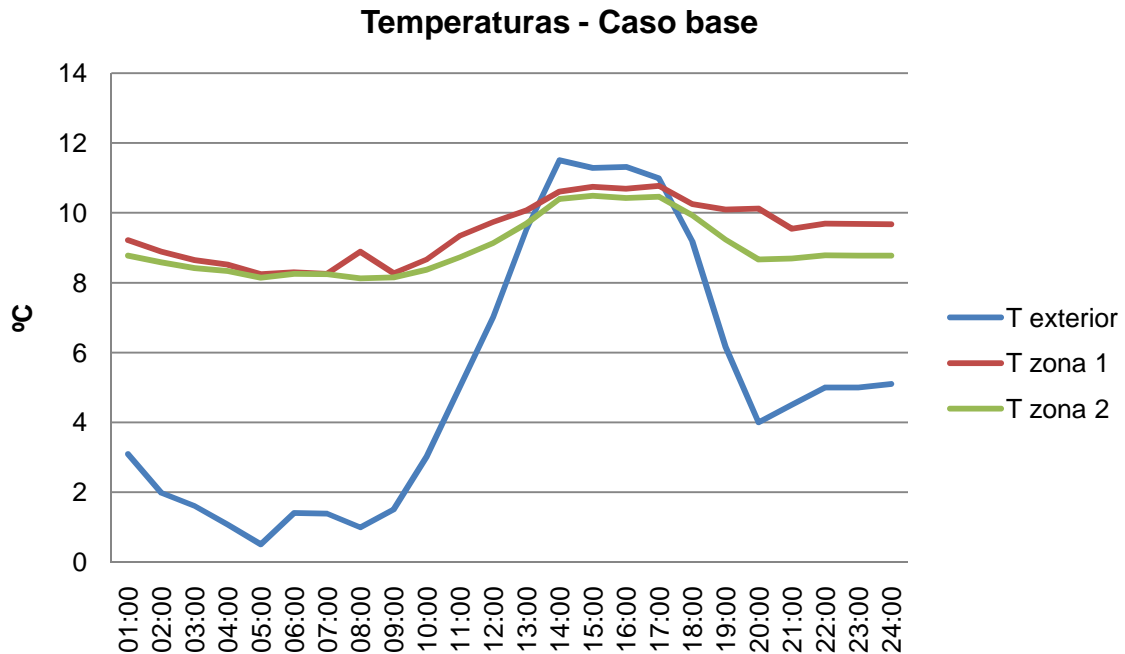


Figura 47 – Dia típico Inverno no Porto – Caso base

5.3.1.2. Medida de melhoria 1

Os resultados apresentados no quadro 26 e figura 48 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 1, no Porto, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 26 – Medida de melhoria 1, Porto, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	5727,92
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1229,65
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	2971,56
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	3466,46
Ganhos solares (kWh/ano)	3009,79
Ganhos internos (kWh/ano)	2665,91
Ganhos por infiltrações	0,95
Ganhos pela envolvente opaca	332,09
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	7693,23
Nic (kWh/m².ano)	52,81

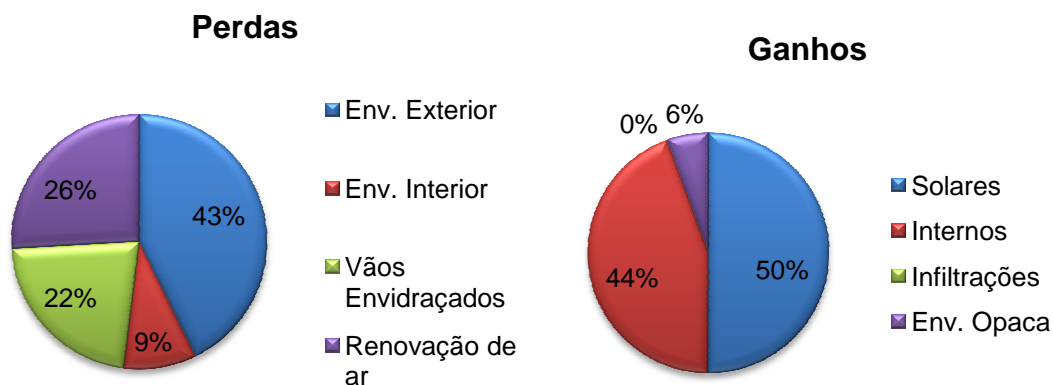


Figura 48 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 1) pelo *EnergyPlus*

Para a Medida de melhoria 1, como o objectivo é reduzir as perdas pela renovação do ar, é de salientar a redução de percentagem de perdas pela renovação do ar de 37% para 26%. Os vãos envidraçados passam de 2955,12 kWh/ano para 2971,56 kWh/ano, mas representando, para ao Caso base, uma percentagem de 19% e no Medida de melhoria 1,22%. As perdas pela envolvente interior também não apresentam uma alteração significativa, com era de esperar. As perdas pela envolvente exterior passam de 36% para 43%, no entanto, as perdas, em kWh/ano, são praticamente iguais. Os ganhos distribuem-se da mesma forma que no Caso base. Com estas alterações, as necessidades de aquecimento foram reduzidas de 67,75 para 52,81kWh/m².ano.

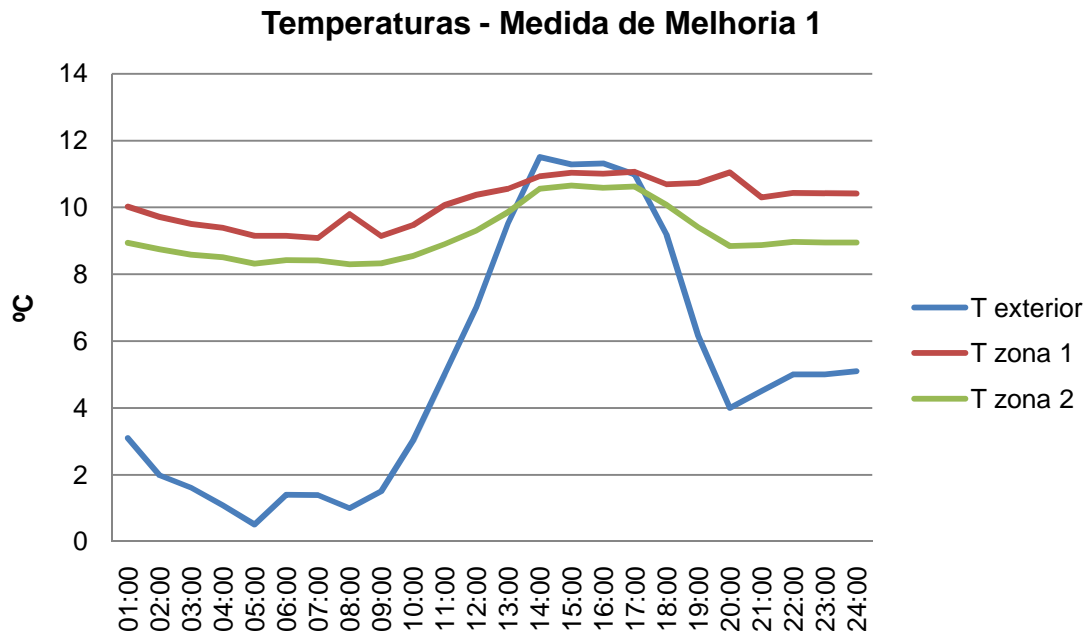


Figura 49 – Dia típico inverno no Porto – Medida de Melhoria 1

A figura 49 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para o Porto, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o

dia 3 de Janeiro e com a medida de melhoria 1, verificando-se uma melhoria de 0,69°C na média da temperatura interior da fracção.

5.3.1.3. Medida de melhoria 2

Os resultados apresentados no quadro 27 e figura 50, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 2, no Porto, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 27 – Medida de melhoria 2, Porto, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	5488,19
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1199,76
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1218,61
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	5718,39
Ganhos solares (kWh/ano)	2087,88
Ganhos internos (kWh/ano)	2665,91
Ganhos por infiltrações	2,55
Ganhos pela envolvente opaca	120,20
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	8982,72
Nic (kWh/m ² .ano)	61,66

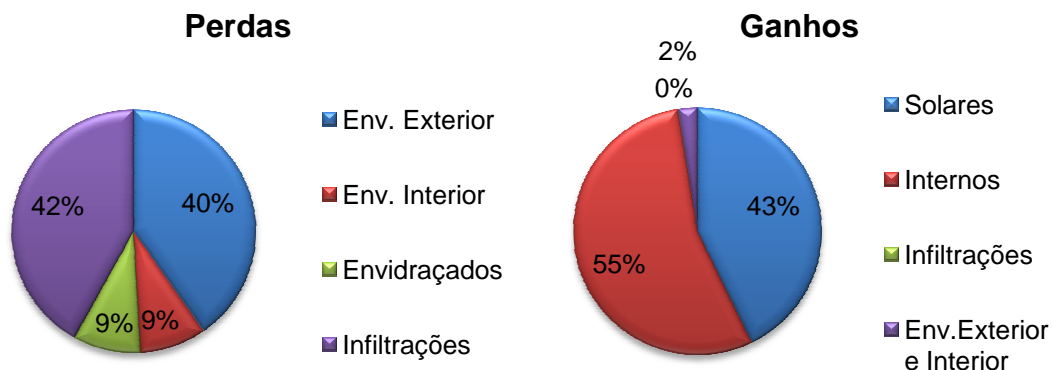


Figura 50 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 2) pelo *EnergyPlus*

O maior impacto pela colocação de vidros duplos, é a redução das perdas pelos vãos envidraçados, como seria de esperar. Esta percentagem é reduzida de 19% para 9%. As perdas pela renovação do ar continuam a corresponder à maior “fatia” de perdas, mas com um aumento de 5%. A envolvente interior mantém-se nos mesmos valores. Uma consequência directa é a redução dos ganhos solares, que no Caso base tinham uma percentagem de 50% e nesta simulação apenas 43%, significando que a colocação de vidros duplos reduz significativamente os ganhos solares. Os ganhos internos passam a corresponder à maior percentagem de ganhos, aumentando de 44% para 55%. Os ganhos pela envolvente opaca e pela renovação de ar, representam uma pequena percentagem, não significativa.

A figura 51 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para o Porto, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 3 de Janeiro e com a medida de melhoria 2.

Neste caso a temperatura média da zona 1 tem um aumento muito pouco significativo, de apenas 0,08°C.

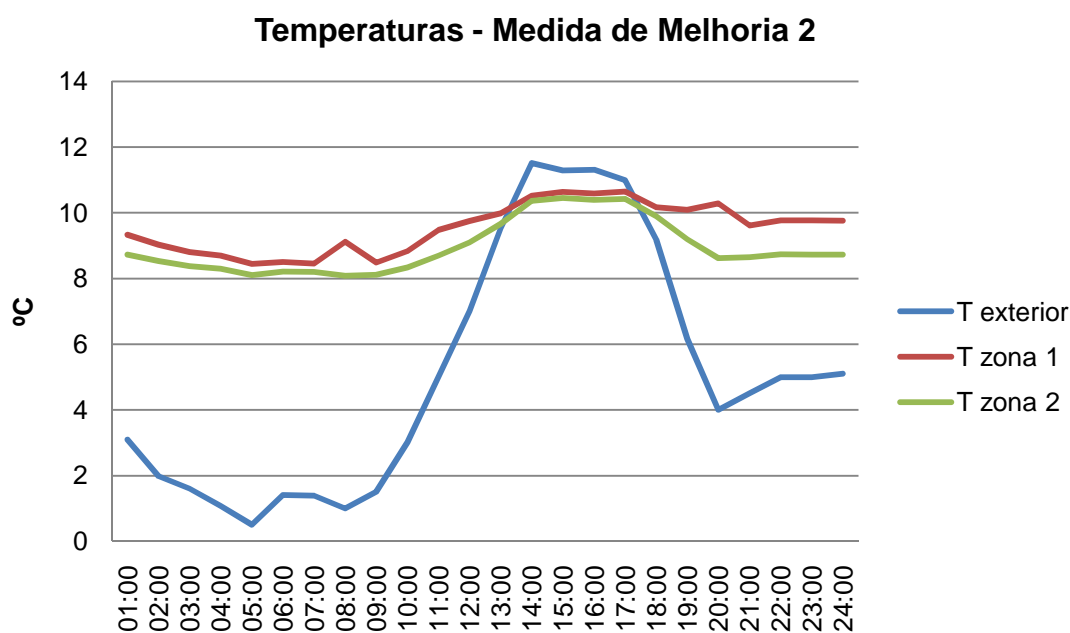


Figura 51 - Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 3) pelo *EnergyPlus*

5.3.1.4. Medida de melhoria 3

Os resultados apresentados no quadro 28 e figura 52 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 3, no Porto, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 28 – Medida de melhoria 3, Porto, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	2761,13
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	744,88
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	2252,30
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	5760,89
Ganhos solares (kWh/ano)	2141,48
Ganhos internos (kWh/ano)	2665,91
Ganhos por infiltrações	1,17
Ganhos pela envolvente opaca	424,97
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	6528,66
Nic (kWh/m ² .ano)	44,81

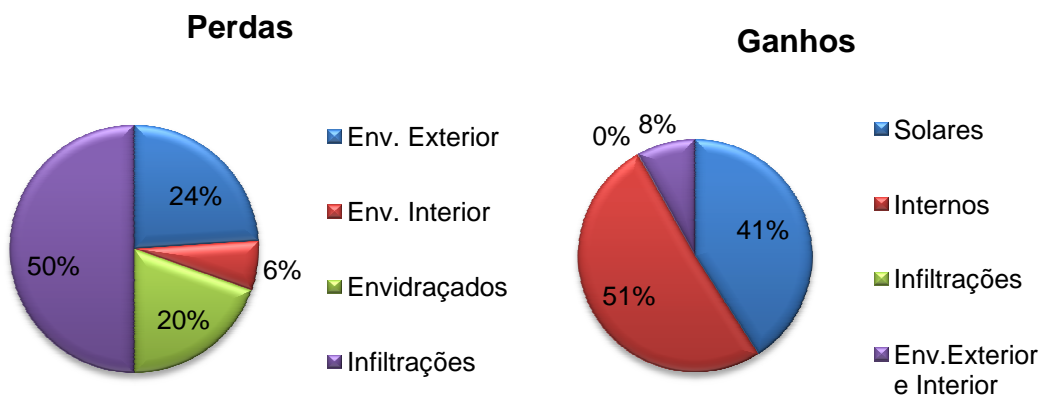


Figura 52 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado em Lisboa (Medida de melhoria 3) pelo *EnergyPlus*

Após a aplicação de isolamento térmico, as perdas pela envolvente são reduzidas muito significativamente. A envolvente opaca (exterior e interior) representa, no Caso base, uma percentagem de 44%, enquanto neste caso passam a representar apenas 30%. As perdas pela renovação do ar são muito elevadas (50%) e as perdas pelos envidraçados quase não se altera. Os ganhos solares são reduzidos e os internos passam a representar uma maior percentagem, tal como pela envolvente opaca.

As necessidades de aquecimento são reduzidas de 67,75 para 44,81 kWh/m².ano.

A figura 53 apresenta a variação de temperatura num dia típico de Inverno, no Porto, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 3 de Janeiro e com a medida de melhoria 3. A média da temperatura da fracção aumenta 1,05°C com esta medida de melhoria.

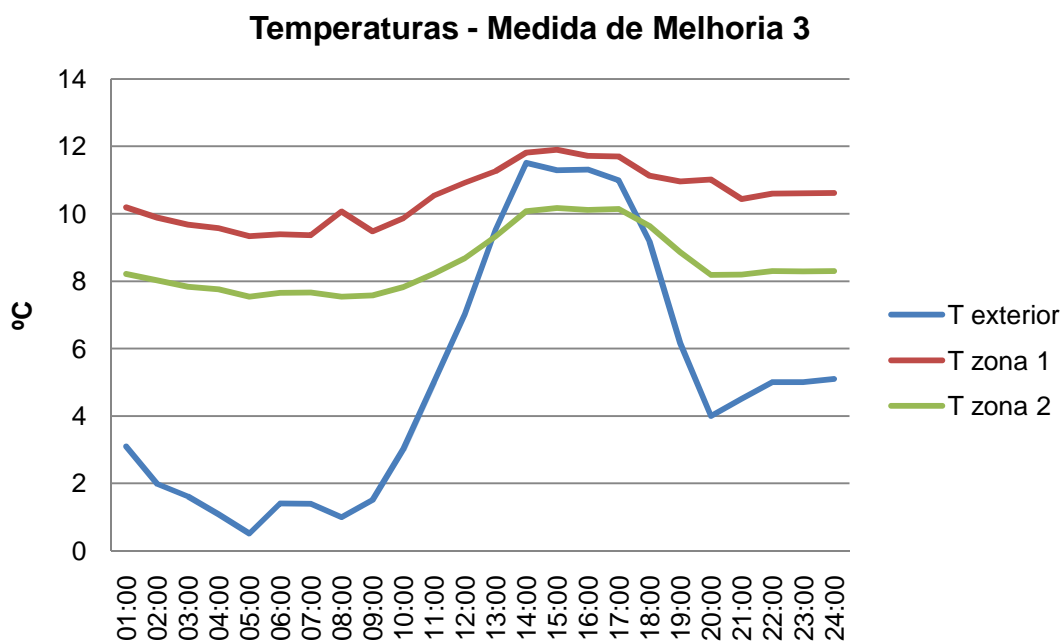


Figura 53 – Dia típico Inverno no Porto – Medida de Melhoria 3

5.3.1.5. Medida de melhoria 4

Os resultados apresentados no quadro 29 e figura 54, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 4, no Porto, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 29 – Medida de melhoria 4, Porto, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	2694,92
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	751,47
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1283,96
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	3542,09
Ganhos solares (kWh/ano)	2025,33
Ganhos internos (kWh/ano)	2665,91
Ganhos por infiltrações	1,17
Ganhos pela envolvente opaca	424,97
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	3515,60
Nic (kWh/m ² .ano)	24,13

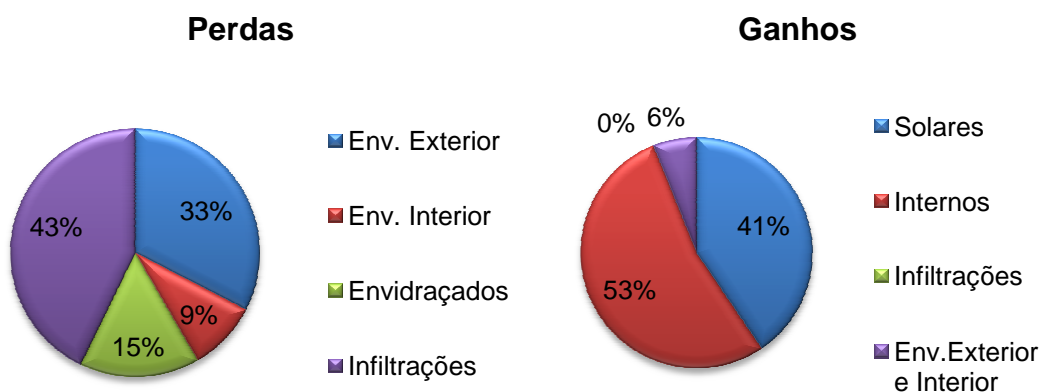


Figura 54 – Distribuição das perdas e dos ganhos do fogo situado no Porto (Medida de melhoria 4) pelo *EnergyPlus*

Neste caso as necessidades de aquecimento são reduzidas de 67,75 para 24,13 kWh/m².ano. Esta distribuição é idêntica ao Caso base, na medida em que a maior percentagem de perdas é devida às infiltrações, seguidamente pela envolvente exterior, vãos envidraçados e envolvente interior. Os ganhos internos representam a maior percentagem de ganhos, enquanto no caso base, os ganhos solares aparecem em primeiro lugar.

A figura 55 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para o Porto, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 3 de Janeiro e com a medida de melhoria 4.

Adoptando as medidas de melhoria 1, 2 e 3 em simultâneo, verifica-se que a temperatura média para este dia em particular aumenta, em média, 2,62°C.

Como resumo dos resultados relativos ao concelho do Porto para os cinco casos de estudo, apresenta-se na figura 60 todas as perdas pela envolvente exterior e interior, tal como pelos vãos envidraçados e pelas renovações horárias. Também se apresentam os ganhos internos, solares, pelas renovações horárias e pela envolvente interior e exterior.

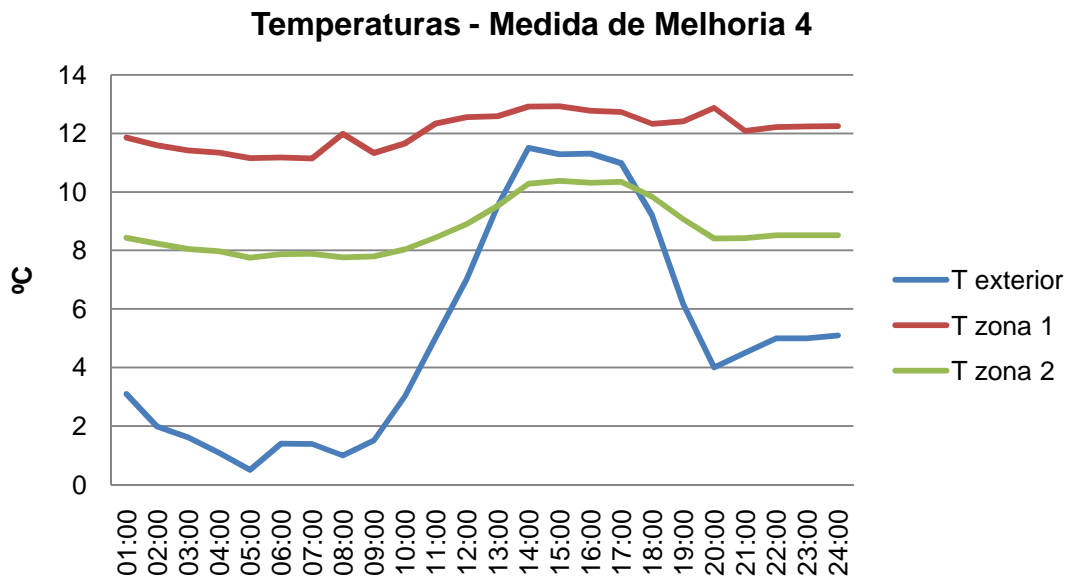


Figura 55 – Dia típico Inverno no Porto – Medida de melhoria 4

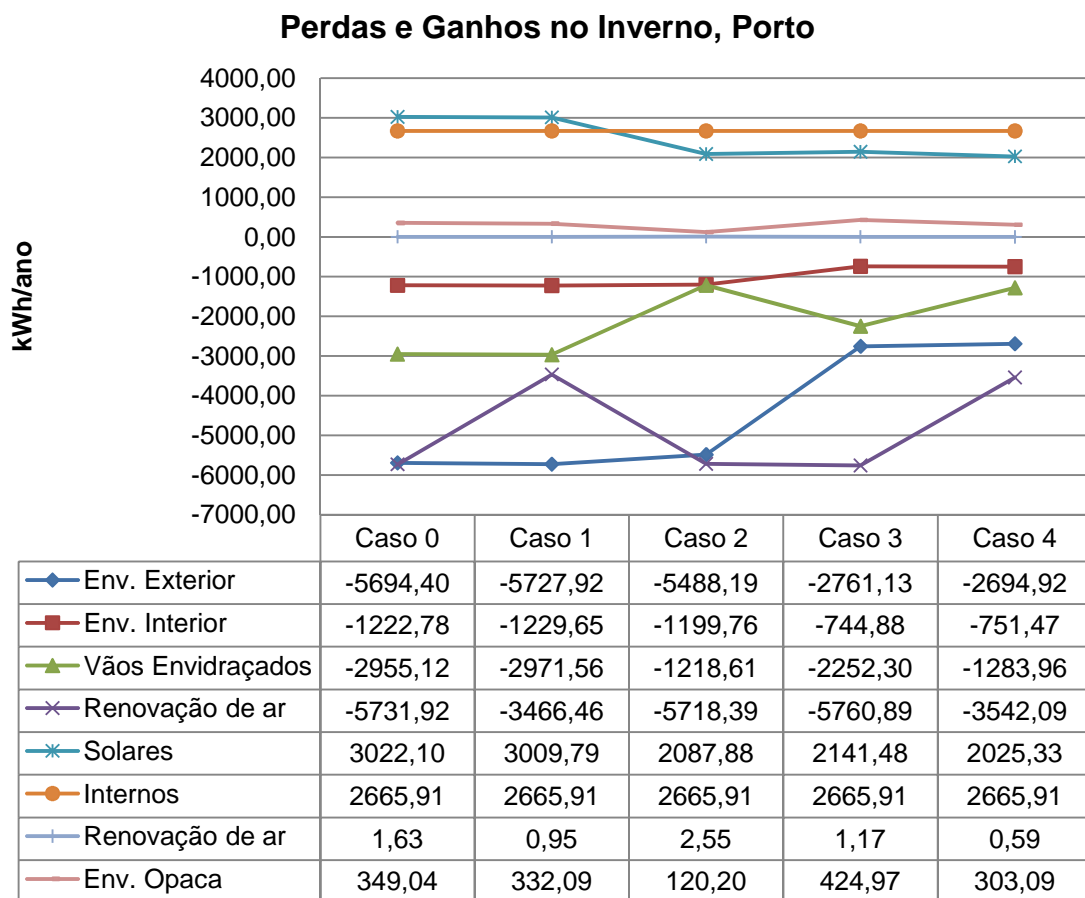


Figura 56 – Perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Porto

Necessidades de Aquecimento (kWh/m².ano)

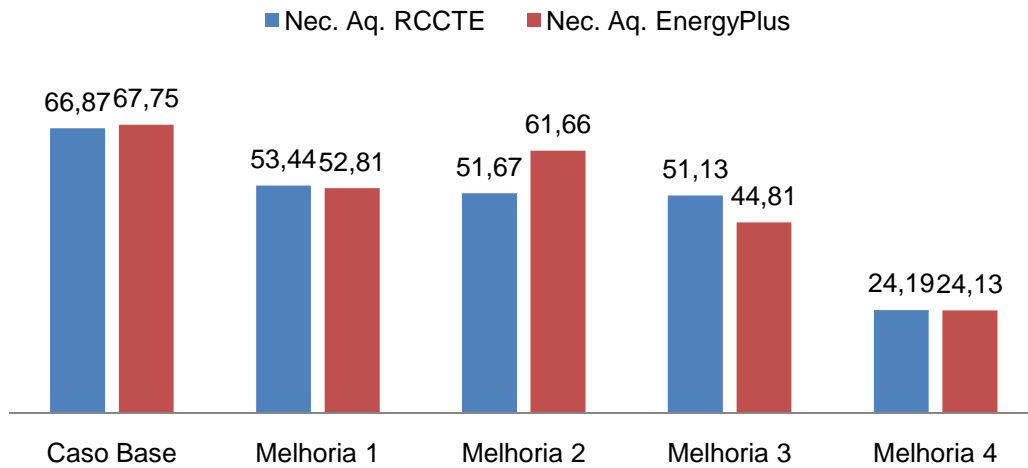


Figura 57 – Necessidades de Aquecimento pelo RCCTE e *EnergyPlus* para o Porto

5.3.2. Zona climática de Inverno I3

5.3.2.1. Caso base

Os resultados apresentados no quadro 30 e figura 58, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma sem medidas de melhoria, em Bragança, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 30 – Caso base para a fracção autónoma situada em Bragança pelo *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	8830,54
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1869,86
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	4537,22
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	8504,31
Ganhos solares (kWh/ano)	3513,62
Ganhos internos (kWh/ano)	3207,01
Ganhos por infiltrações	5,75
Ganhos pela envolvente opaca	345,36
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	17011,25
Nic (kWh/m ² .ano)	116,76

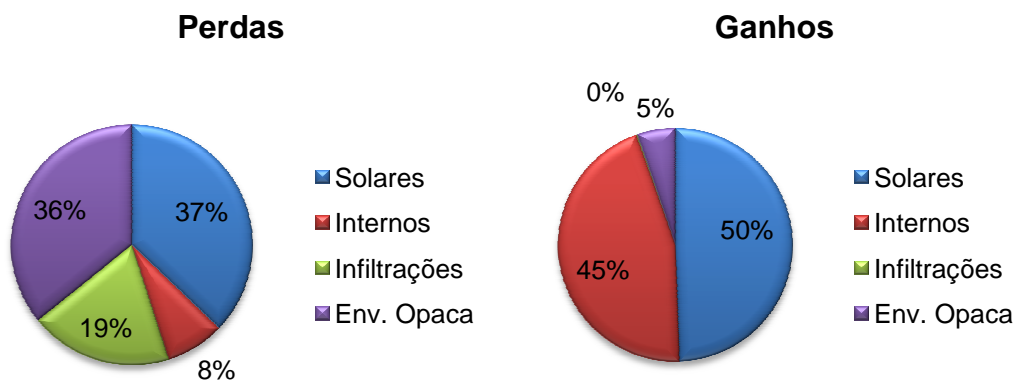


Figura 58 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Caso base, Bragança, *EnergyPlus*

A envolvente exterior e interior representam, num conjunto, 45% das perdas totais de calor no Inverno. Seguidamente, com uma grande percentagem de perdas, são as devidas às infiltrações, que apresentam um valor de 8504,31 kWh/ano. Os ganhos solares equivalem aos maiores ganhos, seguindo-se os ganhos internos, pela envolvente opaca e pelas infiltrações. As necessidades de aquecimento, são iguais a 116,76 kWh/m².ano, sendo aproximadamente o triplo do mesmo caso para Lisboa, e o dobro para o Porto.

A figura 59 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Bragança, depois de simulado no *EnergyPlus*.

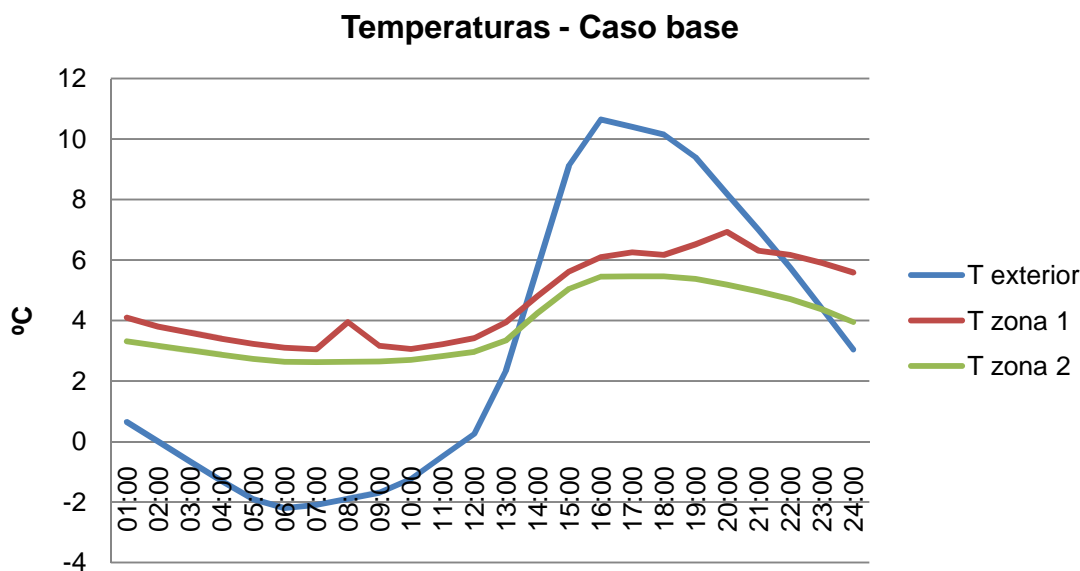


Figura 59 – Dia típico Inverno Bragança – Caso base

Podem observar-se as temperaturas exterior e interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 29 de Janeiro e com a medida de melhoria 0. A temperatura exterior tem uma média de 3,06°C e a temperatura da fracção tem uma média de 4,64°C, para este dia em particular. Já a temperatura da zona não aquecida apresenta uma média de 3,82°C.

5.3.2.2. Medida de melhoria 1

Os resultados apresentados no quadro 31 e figura 60, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 1, em Bragança, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 31 – Medida de melhoria 1, Bragança, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	8847,96
Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	1876,79
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	4553,84
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	5127,04
Ganhos solares (kWh/ano)	3501,80
Ganhos internos (kWh/ano)	3207,01
Ganhos por infiltrações	5,75
Ganhos pela envolvente opaca	345,36
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	13720,52
Nic (kWh/m ² .ano)	94,18

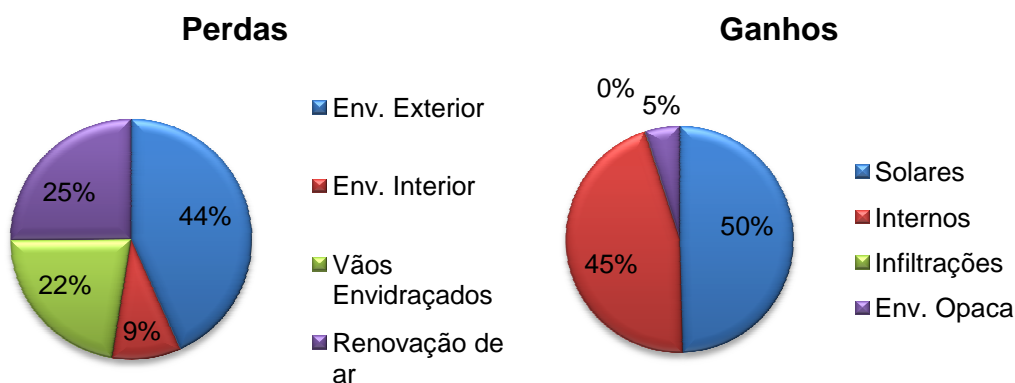


Figura 60 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 1, Bragança, *EnergyPlus*

Após redução das renovações horárias, as perdas por renovação do ar são reduzidas em 11%, representando uma redução muito significativa das perdas. As perdas pelos envidraçados representam, tal como pela envolvente exterior, a maior percentagem de perdas. Os ganhos mantêm-se iguais ao Caso base. É de salientar que, com apenas esta melhoria, serem reduzidas as necessidades de aquecimento de 116,76 para 94,18 kWh/m².ano.

A figura 61 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Bragança, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 29 de Janeiro e com a medida de melhoria 1. Verifica-se que a média da temperatura da zona 1 tem um aumento de 0,44°C.

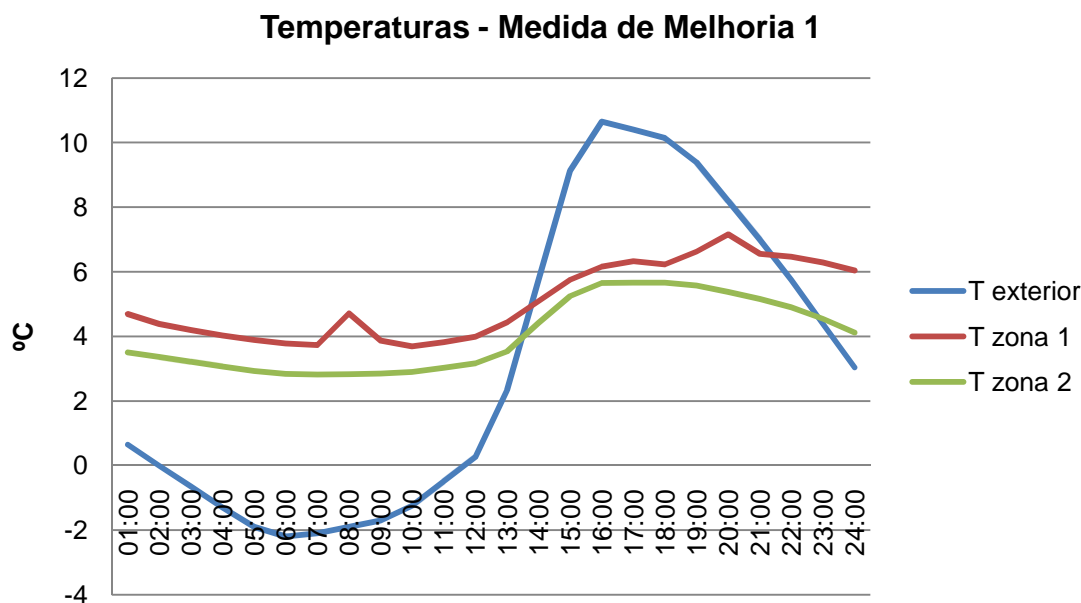


Figura 61 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 1

5.3.2.3. Medida de melhoria 2

Os resultados apresentados no quadro 32 e figura 62, são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 2, em Bragança, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 32 – Medida de melhoria 2, Bragança, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	8759,43
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1845,67
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1867,65
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	8485,94
Ganhos solares (kWh/ano)	2487,40
Ganhos internos (kWh/ano)	3207,01
Ganhos por infiltrações	17,00
Ganhos pela envolvente opaca	149,34
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	13720,52
Nic (kWh/m ² .ano)	105,60

Comparativamente com o Caso base, existem reduções significativas (10%) nas perdas pelos vãos envidraçados, devido à colocação de vidros duplos. É de realçar a diminuição dos ganhos solares em 7%, devido à diferença do factor solar do vidro. Sendo assim, o balanço não é muito positivo adoptando esta medida de melhoria. Sendo assim, as necessidades de aquecimento são reduzidas de 116,76 para 105,60 kWh/m².ano.

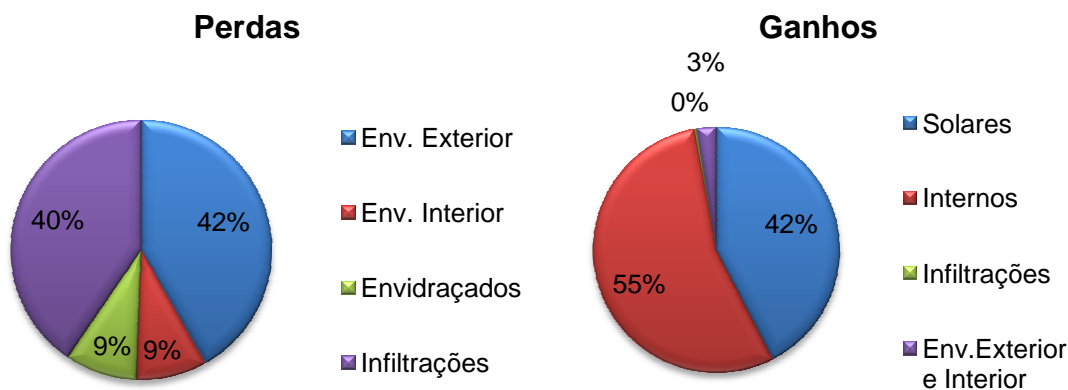


Figura 62 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 2, Bragança, *EnergyPlus*

A figura 63 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Bragança, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 29 de Janeiro e com a medida de melhoria 2. Neste caso a média da temperatura da zona 1 tem um acréscimo de apenas 0,03°C.

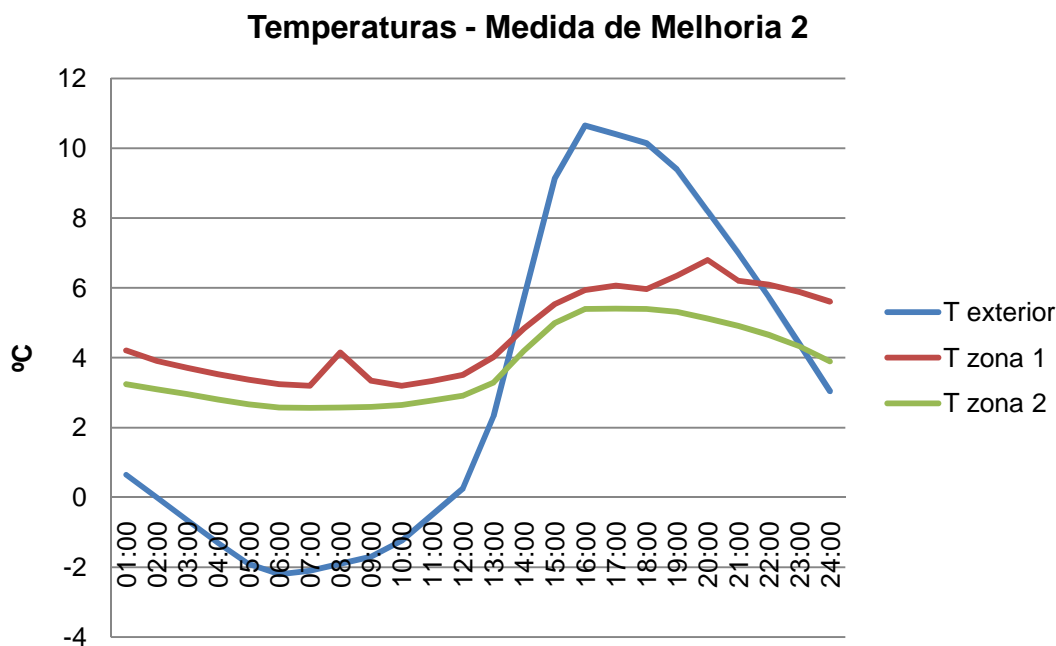


Figura 63 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 2

5.3.2.4. Medida de melhoria 3

Os resultados apresentados no 33 e figura 64 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 3, em Bragança, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 33 – Medida de melhoria 3, Bragança, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	4208,50
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1131,64
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	3453,37
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	8536,82
Ganhos solares (kWh/ano)	2488,39
Ganhos internos (kWh/ano)	3207,01
Ganhos por infiltrações	6,92
Ganhos pela envolvente opaca	447,27
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	11477,84
Nic (kWh/m ² .ano)	78,78

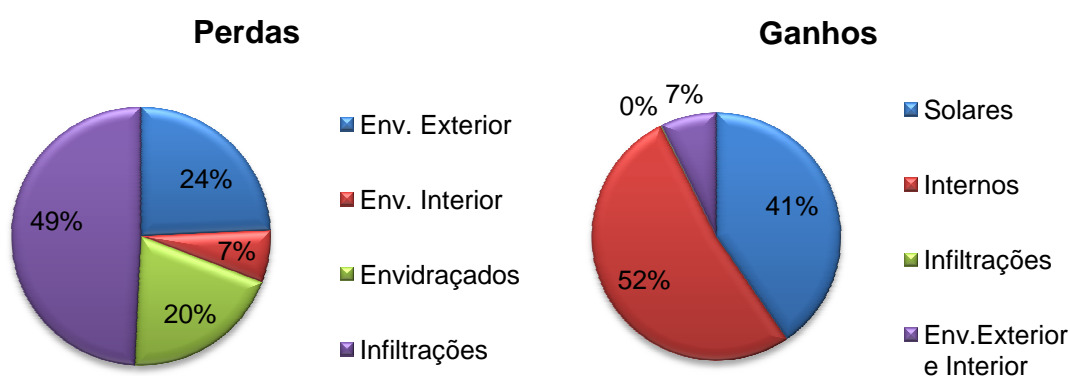


Figura 64 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 3, Bragança, *EnergyPlus*

Após colocação de isolamento térmico pelo interior, verifica-se que esta medida de melhoria reduz as necessidades de aquecimento de 115,76 para 78,78 kWh/m².ano. É de salientar que o isolamento térmico, nesta solução, apresenta uma espessura de 3cm, por ser o mínimo possível. Ou seja, se a escolha tivesse sido de uma espessura de 5cm ou superior, iríamos com certeza obter resultados mais significativos. A envolvente exterior é reduzida dos 37% para os 24% e a envolvente interior apresenta uma redução de 1%.

A figura 65 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Bragança, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 29 de Janeiro e com a medida de melhoria 0. Nesta simulação verifica-se um acréscimo de 0,79°C na média da temperatura interior da fracção.

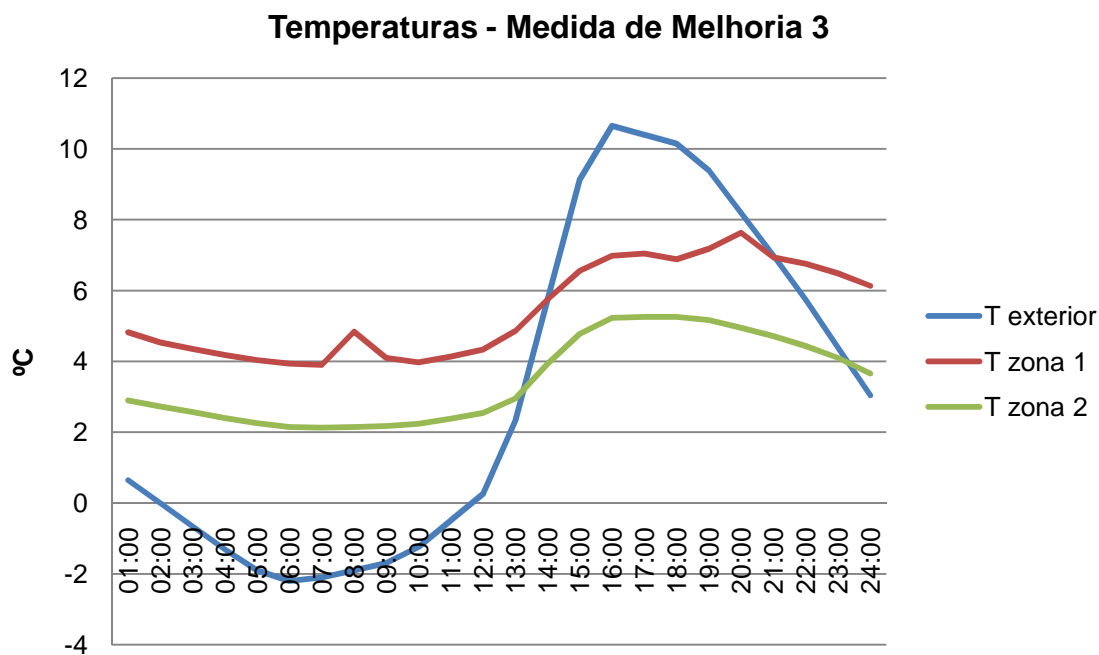


Figura 65 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 3

5.3.2.5. Medida de melhoria 4

Os resultados apresentados no quadro 34 e figura 66 são relativos às necessidades de aquecimento da fracção autónoma com medida de melhoria 4, em Bragança, pelo *EnergyPlus*.

Quadro 34 – Medida de melhoria 4, Bragança, *EnergyPlus*

Perdas pela envolvente interior (kWh/ano)	4111,15
Perdas pela envolvente exterior (kWh/ano)	1138,88
Perdas pelos vãos envidraçados (kWh/ano)	1949,52
Perdas por renovação de ar (kWh/ano)	5192,20
Ganhos solares (kWh/ano)	2416,23
Ganhos internos (kWh/ano)	3207,01
Ganhos por infiltrações	3,41
Ganhos pela envolvente opaca	323,51
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	6731,87
Nic (kWh/m ² .ano)	46,21

Esta medida de melhoria, que representa o conjunto das melhorias referidas anteriormente, faz com que as necessidades de aquecimento sejam reduzidas de 116,76 para 46,21 kWh/m².ano.

De notar que este valor atingido é superior às necessidades de aquecimento para o mesmo edifício, situado em Lisboa, e daqui se pode concluir que a zona I3 possui um Inverno muito severo, devendo ter-se especial atenção à construção das edificações nestas zonas.

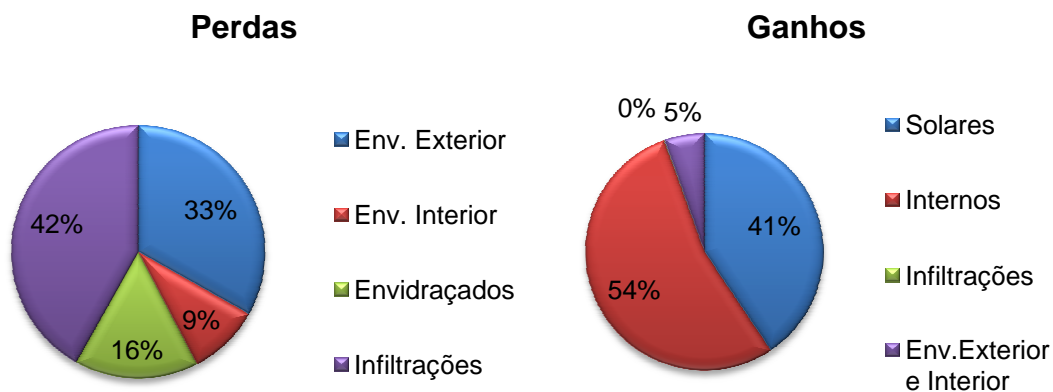


Figura 66 – Distribuição das perdas e dos ganhos: Medida de melhoria 4, Bragança, *EnergyPlus*

Na simulação 0, a maior percentagem de perdas era devida à envolvente exterior, agora é devida às infiltrações. Os ganhos solares, tal como sucedido em Lisboa e Porto, são reduzidas significativamente.

A figura 67 apresenta as temperaturas num dia típico de Inverno para Bragança, depois de simulado no *EnergyPlus*. Podem observar-se a temperatura exterior, a temperatura interior da zona 1 (fracção autónoma) e a temperatura interior da zona 2 (espaço não útil). Esta simulação foi realizada para o dia 29 de Janeiro e com a medida de melhoria 4. Com o conjunto das melhorias 1, 2 e 3 adoptadas, a temperatura da zona 1 aumenta 2,05°C na sua média.

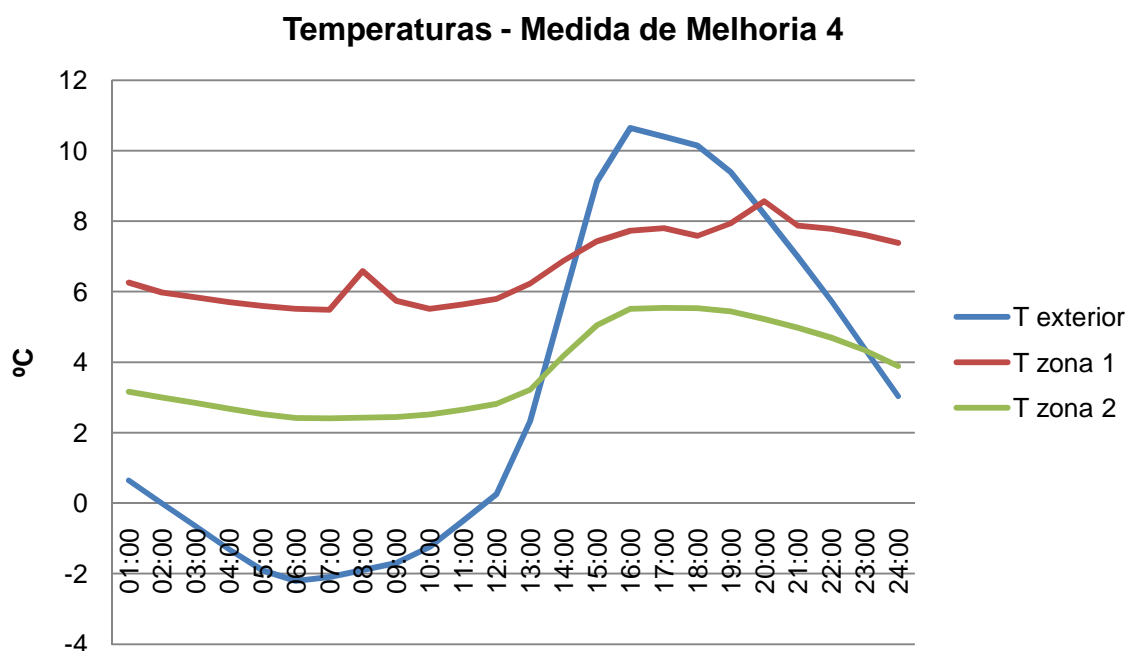


Figura 67 – Dia típico Inverno em Bragança – Medida de Melhoria 4

Como resumo dos resultados relativos ao concelho de Bragança para os cinco casos de estudo, apresenta-se na figura 68 todas as perdas pela envolvente exterior e interior, tal como pelos vãos

envidraçados e pelas renovações horárias. Também se apresentam os ganhos internos, solares, pelas infiltrações e pela envolvente opaca.

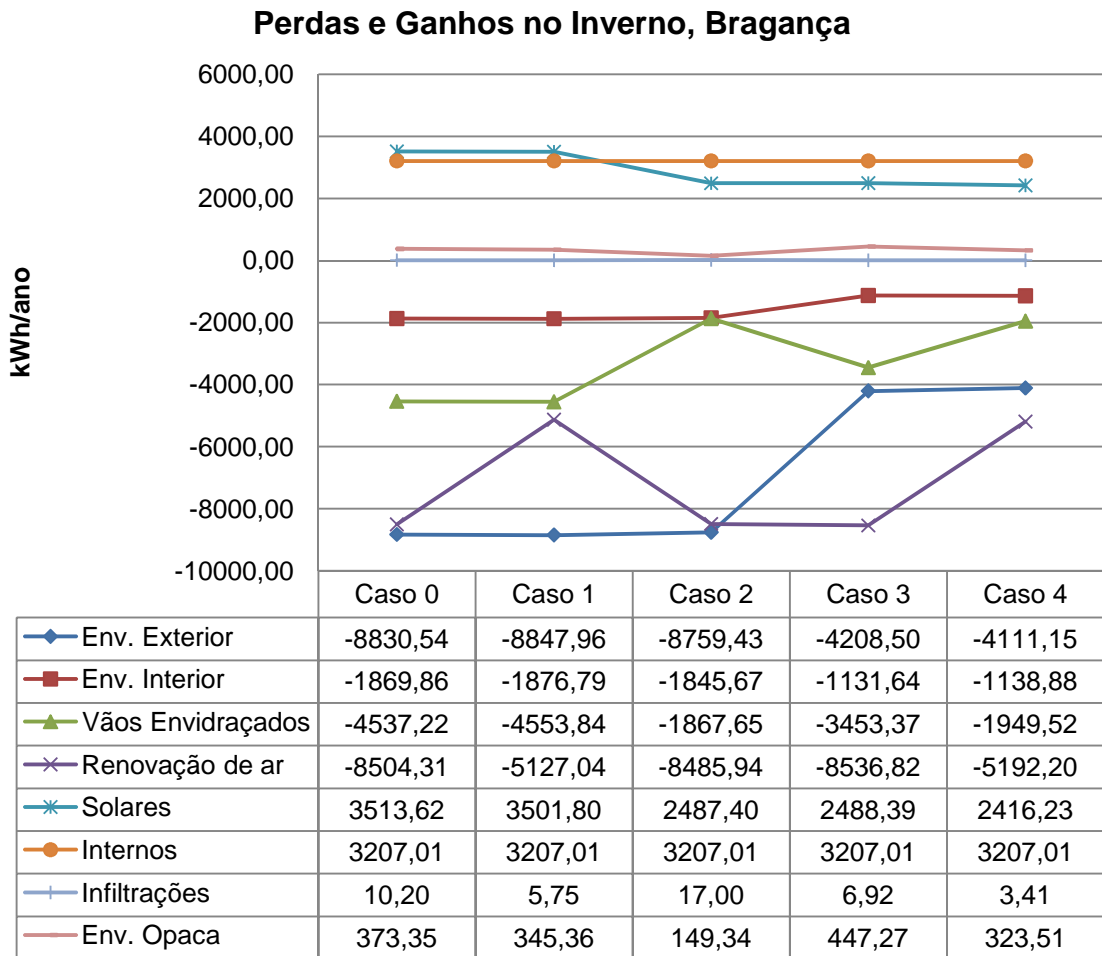


Figura 68 – Perdas e ganhos para os cinco casos de estudo, Bragança

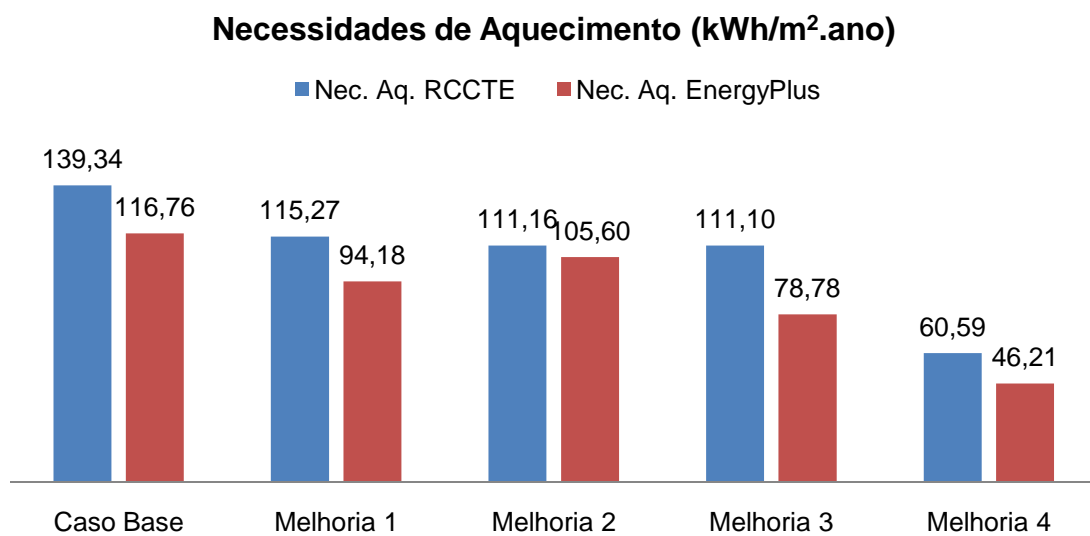


Figura 69 – Necessidades de Aquecimento pelo RCCTE e *EnergyPlus* para Bragança

Capítulo 6 – Conclusões

Expostos os resultados e comentadas todas as análises, apresentam-se neste capítulo as conclusões e observações finais. Este trabalho permitiu avaliar o impacto de quatro medidas de melhoria (redução da renovações horárias, colocação de 3cm de isolamento térmico e substituição dos vidros simples por vidros duplos), no desempenho térmico e ambiental de um edifício durante a estação de aquecimento.

De modo a ser mais perceptível a diferença de resultados, optou-se por apresentar num gráfico as necessidades de aquecimento para as três zonas estudadas, para os cinco casos de estudo, com se pode observar na figura 70.

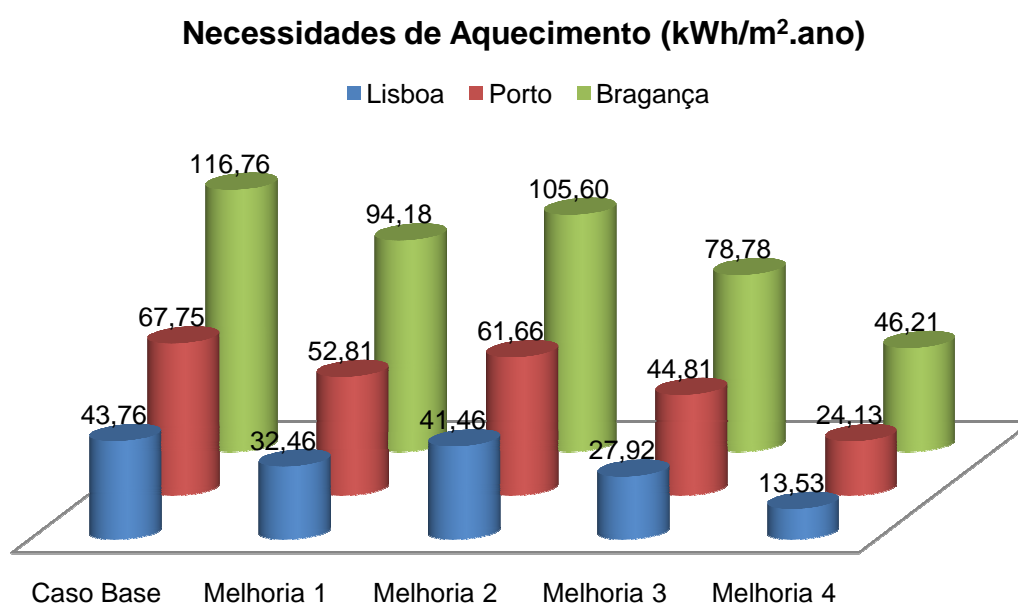


Figura 70 – Necessidades de Aquecimento da fracção autónoma em Lisboa, Porto e Bragança

Constata-se que um edifício em Bragança terá de ter em conta todas as medidas de melhoria para obter um valor aproximado de desempenho térmico para o caso base em Lisboa.

No quadro 35 podem observar-se os resultados apresentados em percentagens relativos a cada medida de melhoria, constatando-se que a melhor hipótese é a colocação de isolamento térmico.

Quadro 35 – Quadro das reduções (em percentagem) das necessidades de aquecimento, em função do Caso base, em Lisboa, Porto e Bragança

	Lisboa	Porto	Bragança
Melhoria 1	25,82%	22,06%	19,34%
Melhoria 2	5,25%	9,00%	9,56%
Melhoria 3	36,20%	33,86%	32,53%
Melhoria 4	69,09%	64,38%	60,43%

Quando observadas em pormenor as temperaturas em cada concelho para um dia típico de Inverno, também se conclui que a melhor medida de melhoria a aplicar será a colocação de isolamento térmico, como se pode verificar pelo quadro 36.

Quadro 36 – Percentagens de melhoria da temperatura interior

Casos	T exterior (°C)	T Zona 1 (°C)	T Zona 2 (°C)	Percentagem Melhoria
Lisboa – 31 Janeiro				
Melhoria 1	6,76	12,27	10,56	6,15
Melhoria 2		11,46	10,17	-0,87
Melhoria 3		12,43	9,73	7,56
Melhoria 4		14,09	10,00	21,93
Porto – 3 de Janeiro				
Melhoria 1	5,09	10,15	9,15	7,32
Melhoria 2		9,53	8,94	0,82
Melhoria 3		10,50	8,51	11,07
Melhoria 4		12,08	8,72	27,74
Bragança – 29 de Janeiro				
Melhoria 1	3,06	5,08	4,01	9,51
Melhoria 2		4,67	3,76	0,61
Melhoria 3		5,43	3,46	17,08
Melhoria 4		6,69	3,73	44,15

Quanto à comparação de resultados obtidos com metodologias diferentes, a diferença de valores deve-se aos diferentes dados climáticos tomados, apesar de, comparando valores obtidos com dados iguais se verificar que a metodologia do novo RCCTE tende a ser uma estimativa em excesso. Essa majoração agrava-se em situações onde as necessidades de energia são muito elevadas, facto que se deve à diferença de metodologia de cálculo.

Numa perspectiva de desenvolvimentos futuros e de modo a complementar este estudo seria interessante conhecer a importância de outros potenciais factores de influência no consumo energético para aquecimento. Este estudo dedicou-se apenas a um edifício residencial, portanto, seria útil efectuar este tipo de estudo sobre edifícios com arquitecturas diferentes, representativas de preocupações funcionais em vez de residenciais e desse modo alterar a concepção de fracção autónoma tomada neste trabalho alargando o estudo aos edifícios de serviços.

Outros factores mais específicos a estudar seriam a área de envidraçado, o tipo de cobertura, a existência de factores de sombreamento, e a área da envolvente em contacto com o exterior no caso de existirem edifícios adjacentes ou no estudo particular do piso térreo.

Um ponto bastante interessante na perspectiva de desenvolvimentos futuros é o do estudo do consumo energético em edifícios antigos devido à tendência cada vez maior na área da reabilitação para revitalizar os centros urbanos.

As hipóteses de desenvolvimentos futuros são várias, contudo uma vertente importante que contribuiria para este estudo com uma visão derradeira do ponto de vista do utilizador seria a perspectiva monetária, fazendo um balanço em termos de despesa com a energia para aquecimento e a diferença de preços das soluções construtivas, assim como a avaliação de impacte ambiental traduzida em valor monetário das emissões de dióxido de carbono dado o corrente “mercado” gerado pelas coimas aplicadas no incumprimento dos limites máximos das emissões de CO₂.

Referências Bibliográficas

- [1] GONÇALVES, Hélder e GRAÇA, João Mariz, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, INETI, Lisboa, Novembro 2004
- [2] BURBERRY, Peter, *Building For Energy Conservation*, Architectural Press, Londres, 1978
- [3] Manual do Vidro; Saint-Gobain Glass; Edição 2008
- [4] RODRIGUES, António Moret, CANHA DA PIEDADE, António, BRAGA, Ana Marta, *Térmica de Edifícios*, Edições Orion, 2009
- [5] HENRIQUES, Fernando M. A., *Humidade em Paredes*, LNEC, 1994
- [6] Natural Works, *Curso de iniciação - simulação em EnergyPlus*
- [7] PORTO EDITORA, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei Nº 80/2006, Lisboa, 2006.
- [8] SANTOS, C.A. Pina e MATIAS Luís, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50*, LNEC, Lisboa, 2006.
- [9] OLIVEIRA, António Manuel, *Dissertação de Mestrado – Avaliação da Qualidade Térmica de Edifícios*, FEUP, 2007
- [10] GONÇALVES, Helder., *FORUM “Energias Renováveis em Portugal”- Relatório Síntese*, ADENE/INETI, Lisboa, Novembro 2001
- [11] The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory – *Input And Output Reference – The Encyclopedic Reference To Energy Plus Input And Output*, USA, Outubro 2009
- [12] GOUVEIA, Pedro Manuel, *Dissertação de Mestrado - Caracterização dos Impactes da Envolvente no Desempenho Térmico dos Edifícios*, IST, 2008.

Outras referências

- | | |
|--|------------------------------|
| [13] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ | Data da Consulta: 08/03/2010 |
| [14] www.michelena.com.br | Data da Consulta: 22/03/2010 |
| [15] www.eco.edp.pt | Data da Consulta: 23/03/2010 |
| [16] www.dgge.pt | Data da Consulta: 27/04/2010 |
| [17] www.cyted.org | Data da Consulta: 06/05/2010 |
| [18] www.construcaosustentavel.pt | Data da Consulta: 10/06/2010 |
| [19] www.jn.pt | Data da Consulta: 15/02/2010 |

ANEXOS