

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA: APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS INFORMÁTICAS À PARAMETRIZAÇÃO DE UM PROJECTO DE ARQUITECTURA

SOFIA MARTINS DA ROCHA PEREIRA DE FARIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

MARÇO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus avós, pais, irmãos e sobrinhos,
Por todo o amor, carinho e por acreditarem em mim!

Ninguém é tão ignorante que não tenha algo a ensinar.

Ninguém é tão sábio que não tenha algo a aprender.

Blaise Pascal

AGRADECIMENTOS

Nem todos os percursos são fáceis e às vezes parece que não têm fim, mas tudo se torna mais fácil com as pessoas que temos ao nosso lado. Agradeço principalmente à minha família, aos meus pais José Alberto e Margarida por acreditarem em mim, aos meus irmãos, Mariana, Filipe e Sara, aos meus avós, Rosinha e Rocha, por todos serem um exemplo a seguir. Não podia deixar de agradecer aos meus sobrinhos, Tomás e Mafalda por tanto amor e força que me deram nesta minha longa jornada. A todo um muito obrigado.

A realização desta dissertação só foi possível graças ao apoio, disponibilidade e paciência do Prof. Dr. Nuno Manuel Monteiro Ramos, meu orientador, a quem muito agradeço.

Ao Pedro e à Teresa por todos os “stresses” que vivemos juntos e que conseguimos ultrapassar com a nossa amizade.

Ao Eng.º Luís Seabra, ao Eng.º Vítor Rebelo e ao Arq. Vítor Seabra, por me facilitarem a aprendizagem e executar esta dissertação a nível empresarial.

Por fim queria agradecer a todos os meus amigos que embora não esteja aqui o nome sabem que me ajudaram em tudo com as suas palavras de incentivo.

O meu muito obrigado a todos!!!

RESUMO

O aumento do custo das energias fósseis, a tendência a curto/médio prazo para o seu desaparecimento e as crescentes preocupações ambientais com excessiva emissão de gases poluentes, têm levado a uma maior procura de energias alternativas e à adopção de medidas adequadas que permitam contornar essas tendências.

Nas edificações a preocupação centra-se na diminuição dos consumos energéticos de modo a minimizar os custos e a aumentar o conforto térmico das mesmas. Como consequência, o recurso a ferramentas informáticas para o estudo das necessidades energéticas dos edifícios tem vindo a crescer.

No presente trabalho é apresentado um estudo de ferramentas informáticas que permitem analisar o comportamento térmico de um edifício multifamiliar, tendo como principal objectivo o seu estudo na parametrização de um projecto de arquitectura. Os programas informáticos utilizados foram o Cypeterm e o EnergyPlus.

A primeira parte deste trabalho consiste na descrição da habitação em estudo, através da definição e caracterização térmica dos elementos construtivos existentes, bem como a sua localização. Uma segunda parte corresponde à introdução da arquitectura do edifício no programa Cypeterm, introduzindo os diferentes parâmetros, o que permitiu também analisar o comportamento do edifício de acordo com o regulamento, RCCTE. Foi ainda usado o programa informático EnergyPlus que permitiu analisar os ganhos e perdas existentes na habitação, devido ao dinamismo apresentado por esta ferramenta. Por fim, foi feita uma comparação dos resultados obtidos pelos dois programas, utilizando uma parametrização próxima da utilização real e utilizando uma parametrização que segue a metodologia do RCCTE.

PALAVRAS-CHAVE: Cypeterm, EnergyPlus, RCCTE, Necessidades Energéticas, Comportamento Térmico.

ABSTRACT

The rising cost of fossil fuels, the trend in the short to medium term for its demise and the growing environmental concerns over greenhouse gas emissions have led to greater demand for alternative energies and adopt measures suitable to overcome these trends.

In building the concern focuses on the reduction of energy consumption in order to minimize costs and improve thermal comfort them. As a consequence, the use of computer tools for the study of the energy needs of buildings has been growing.

In this paper we presented a study of software tools that allow us to analyze the thermal behavior of a multifamily building, the primary aim of their study in the parameterization of an architectural project. The computer programs used were Cypeterm and EnergyPlus.

The first part of this work consists in describing the housing study, by defining and thermal characterization of the existing building elements, as well as its location A second part represents the introduction of modern building in Cypeterm program, introducing the different parameters, which also allowed to analyze the behavior of the building in accordance with the regulations, RCCTE. It was also used the EnergyPlus software allowing to analyze the gains and losses on existing housing, due to the dynamism displayed by this tool. Finally, a comparison was made of the results obtained by both programs, using a parameter close to the actual use and using a parameterization which follows the methodology of the Building regulations, RCCTE.

KEYWORDS: Cypeterm, EnergyPlus, RCCTE, Energy Needs, Thermal Behavior.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1.ENQUADRAMENTO	1
1.2.OBJECTIVOS	2
1.3.ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2

2. DESCRIÇÃO DO CASO EM ESTUDO	3
2.1. IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO	3
2.2. DESCRIÇÃO DO PROJECTO EM ESTUDO	4
2.3. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	6
2.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR.....	6
2.3.1.1. Fachadas.....	7
2.3.1.2. Cobertura	8
2.3.1.3. Envidraçados.....	9
2.3.2. PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO AQUECIDOS	9
2.3.3. ELEMENTOS INTERIORES.....	10
2.4. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	12
2.4.1. ENVOLVENTE EXTERIOR.....	12
2.4.2. ENVOLVENTE INTERIOR	14

3. APLICAÇÃO DO RCCTE ATRAVÉS DO CYPETERM	15
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO	15
3.2.1. INTRODUÇÃO DE GEOMETRIA DO EDIFÍCIO.....	16
3.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO	18
3.2.3. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA ARREFECIMENTO.....	27
3.2.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DA ÁGUA QUENTE SANITÁRIA	29

3.2.5. APRECIACÃO GERAL DO COMPORTAMENTO DO EDIFÍCIO.....	30
---	----

4. SIMULAÇÃO COM O PROGRAMA ENERGYPLUS..... 33

4.1. INTRODUÇÃO 33

4.2. EXPORTAÇÃO DE DADOS NO CYPETERM 33

4.2.1. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO 36

4.2.2. LOCALIZAÇÃO E CLIMA..... 37

4.2.3. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS OPACOS 38

4.2.4. DEFINIÇÃO DOS ENVIDRAÇADOS 39

4.2.5. DEFINIÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS 40

4.2.6. DEFINIÇÃO DA VENTILAÇÃO 43

4.2.7. DEFINIÇÃO DOS GANHOS INTERNOS..... 43

4.2.8. VARIÁVEIS DE SAÍDA..... 44

4.2.9. RESULTADOS FINAIS 46

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 51

5.1. ENQUADRAMENTO 51

5.2. CYPETERM VS. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO DO REGULAMENTO (RCCTE)..... 51

5.2.1. ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO 51

5.2.2. ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO..... 53

5.3. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO RCCTE VS. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO PRÓXIMA DO REAL 56

5.3.1. TEMPERATURAS INTERIORES DAS FRACÇÕES 56

5.3.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA PARAMETRIZAÇÃO PRÓXIMA DO REAL E A PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO DO REGULAMENTO 57

5.3.3. PARÂMETROS QUE FORAM SUJEITOS A ALTERAÇÕES..... 62

5.4. ENERGYPLUS COM UMA OU VÁRIAS ZONAS TÉRMICAS UTILIZANDO PARAMETRIZAÇÃO REAL64

5.5. ENERGYPLUS COM UMA OU VÁRIAS ZONAS TÉRMICAS UTILIZANDO PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO REGULAMENTO 68

5.6. RESULTADOS FINAIS 73

6. CONCLUSÕES 77

6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS 77

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	78
---	-----------

BIBLIOGRAFIA.....	79
--------------------------	-----------

ANEXOS.....	81
--------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Localização geográfica do edifício em estudo.	3
Fig. 2 – Planta de implantação do edifício em estudo	3
Fig. 3 – Vista 3D da habitação de estudo	4
Fig. 4 – Alçado Principal.....	5
Fig. 5 – Planta piso 0.....	5
Fig. 6 – Planta piso 1.....	5
Fig. 7 – Parede Exterior Tipo 1	7
Fig. 8 – Parede Exterior Tipo 2	8
Fig. 9 – Cobertura	8
Fig. 10 – Pavimento Piso 0 (Hall, Sala e Quarto)	9
Fig. 11 – Pavimento Piso 0 (Cozinha e wc)	10
Fig. 12 – Parede Interior.....	10
Fig. 13 – Pavimento Piso 1 (Hall, Sala e Quarto)	11
Fig. 14 – Pavimento Piso 1 (Cozinha e wc)	11
Fig. 15 – Plantas/Grupos.....	15
Fig. 16 – Compartimentos Piso 0 e Piso 1.....	16
Fig. 17 – Exemplo das plantas importadas	17
Fig. 18 – Exemplo da constituição da Parede Exterior Tipo1	18
Fig. 19 – Exemplo da folha de cálculo das perdas associadas às paredes exteriores da fracção A	19
Fig. 20 – Exemplo de PTL (Ligação de fachada com pavimentos intermédios).....	20
Fig. 21 – Exemplo de PTL (Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço)	20
Fig. 22 – Exemplo de PTL (Ligação de fachada com varanda).....	21
Fig. 23 – Exemplo de PTL (Ligação entre duas paredes verticais)	21
Fig. 24 – Exemplo da folha de cálculo das perdas associadas às pontes térmicas lineares da fracção A	21
Fig. 25 – Folha de cálculo das perdas associadas à envolvente interior (pavimento sobre espaço não aquecido) da fracção A	22
Fig. 26 – Características dos envidraçados	23
Fig. 27 – Característica das caixilharias	23
Fig. 28 – Acessórios para sombreamento	24
Fig. 29 – Exemplo das folhas de cálculo das perdas pelos vãos envidraçados da fracção A	24
Fig. 30 – Dados e sombreamento das janelas da fracção A	25

Fig. 31 – Vista 3D do sombreamento por palls horizontais e verticais	25
Fig. 32 – Características da ventilação	26
Fig. 33 – Exemplo da folha de cálculo da introdução de dados da ventilação natural	26
Fig. 34 – Exemplo das folhas de cálculo dos ganhos solares da fracção A	27
Fig. 35 – Exemplo das folhas de cálculo dos Ganhos Solares dos vãos envidraçados da fracção A..	28
Fig. 36 – Exemplo do formulário da AQS relativo à Fracção A.....	29
Fig. 37 – Exemplo do formulário da AQS relativo à Fracção B.....	29
Fig. 38 – Folha de cálculo das AQS das fracções A e B.....	30
Fig. 39 – Resumo da Classe Energética das fracções	31
Fig. 40 – Exportação simplificada.....	34
Fig. 41 – Vista do edifício exportado	34
Fig. 42 – Vista do pavimento sobre um vazio higiénico	35
Fig. 43 – Vista Piso 0.....	35
Fig. 44 – Vista Piso 1.....	36
Fig. 45 – Sombras próprias (varanda piso 1)	36
Fig. 46 – Parâmetros de simulação.....	37
Fig. 47 – Localização e Clima	37
Fig. 48 – Gráfico de variação da temperatura exterior	38
Fig. 49 – Envidraçados na situação de Inverno e Verão.....	40
Fig. 50 – Envidraçados	40
Fig. 51 – Zonas Térmicas.....	41
Fig. 52 – Geometria do edifício	42
Fig. 53 – Definição do sombreamento interior.....	42
Fig. 54 – Ventilação	43
Fig. 55 – Ganhos Internos	44
Fig. 56 – Vista SW do edifício	45
Fig. 57 – Vista NW do edifício	45
Fig. 58 – Gráficos comparativos de ganhos e perdas das Fracções A e B, na estação de aquecimento.....	47
Fig. 59 – Gráficos comparativos de ganhos e perdas das Fracções A e B, na estação de arrefecimento	47
Fig. 60 – Variação da temperatura interior da Fracção A	48
Fig. 61 – Variação da temperatura interior da Fracção B	48
Fig. 62 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	52
Fig. 63 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	53

Fig. 64 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	54
Fig. 65 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	55
Fig. 66 – Temperatura Interior Fracção A	56
Fig. 67 – Temperatura Interior Fracção B	57
Fig. 68 – Temperatura Interior da Fracção A com parametrização próxima do real e parametrização idêntica ao do RCCTE.....	57
Fig. 69 – Temperatura Interior da Fracção B com parametrização próxima do real e parametrização idêntica ao do RCCTE.....	58
Fig. 70 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	59
Fig. 71 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	60
Fig. 72 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	61
Fig. 73 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	62
Fig. 74 – Parâmetros do edifício	63
Fig. 75 – Cronogramas.....	63
Fig. 76 – Infiltração.....	64
Fig. 77 – Ventilação.....	64
Fig. 78 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	65
Fig. 79 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	66
Fig. 80 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	67
Fig. 81 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	68
Fig. 82 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	69
Fig. 83 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	70
Fig. 84 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A	71
Fig. 85 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B	72
Fig. 86 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de aquecimento	73
Fig. 87 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de arrefecimento.....	74
Fig. 88 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de aquecimento	75
Fig. 88 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de arrefecimento.....	76

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Áreas úteis dos compartimentos do Rés-do-chão	6
Quadro 2 – Áreas úteis dos compartimentos do Piso 1.....	6
Quadro 3 – Descrição da constituição da Parede Exterior Tipo 1	7
Quadro 4 – Descrição da constituição da Parede Exterior Tipo 2	8
Quadro 5 – Descrição da constituição da cobertura	9
Quadro 6 – Descrição do Pavimento Piso 0 (Hall, Sala e Quarto)	9
Quadro 7 – Descrição do Pavimento Piso 0 (Cozinha e wc)	10
Quadro 8 – Descrição da constituição das Paredes Interiores	11
Quadro 9 – Descrição do Pavimento Piso 1 (Hall, Sala e Quarto)	11
Quadro 10 – Descrição do Pavimento Piso 1 (Cozinha e wc)	12
Quadro 11 – Descrição das Soluções Adoptadas na Envolvente Exterior	12
Quadro 12 – Envidraçados.....	14
Quadro 13 – Descrição das Soluções Adoptadas na Envolvente Interior	14
Quadro 14 – Quadro Resumo das Perdas associadas à Envolvente Exterior	22
Quadro 15 – Quadro Resumo das perdas associadas aos vãos Envidraçados	24
Quadro 16 – Quadro Resumo das Perdas associadas à Renovação do ar	26
Quadro 17 – Quadro Resumo dos Ganhos totais.....	27
Quadro 18 – Quadro Resumo	28
Quadro 19 – Quadro Resumo	29
Quadro 20 – Quadro Resumo	30
Quadro 21 – Resumo da Classe Energética das fracções	31
Quadro 22 – Resumo das propriedades dos Materiais.....	38
Quadro 23 – Valores de Cálculo da Fracção A e B	46
Quadro 24 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A.....	51
Quadro 25 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B.....	52
Quadro 26 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A.....	54
Quadro 27 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B.....	55
Quadro 28 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A.....	58
Quadro 29 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B.....	59
Quadro 30 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A.....	60
Quadro 31 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B.....	61

Quadro 32 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A	65
Quadro 33 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B	66
Quadro 34 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A	67
Quadro 35 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B	68
Quadro 36 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A	69
Quadro 37 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B	70
Quadro 38 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A	71
Quadro 39 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B	72
Quadro 40 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de aquecimento	73
Quadro 41 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de arrefecimento	74
Quadro 42 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de aquecimento	75
Quadro 43 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de arrefecimento	76

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

T1 – Habitação com 1 quarto de dormir

R/C – Rés-do-Chão

wc – Quarto de Banho

AQS – Águas Quentes Sanitárias

U – Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]

λ – Condutibilidade Térmica [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

R – Resistência Térmica [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]

Cp – Calor Específico [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

e – Espessura [m]

ρ – Massa volumica [kg/m^3]

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

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

TMY – Typical Meteorological Year

IDF – Ficheiro de Inputs do programa EnergyPlus

EPW – Ficheiro climático utilizado pelo EnergyPlus

EPS – Poliestireno Expandido Moldado

XPS – Poliestireno Expandido Extrudido

BLAST – Building Loads Analysis and System Thermodynamics

GD – Graus – Dias de Aquecimento ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{dias}$)

Nic – Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$].

Nvc – Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$].

Nac – Necessidades Nominais de Energia Útil para Produção das AQS [$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$].

Ntc – Necessidades Nominais Globais de Energia Primária ($\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$)

FF – Factor de Forma

Ir – Intensidade da Radiação Solar [kWh/m^2]

Rse – Resistência Térmica Superficial Exterior ($\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Rsi – Resistência Térmica Superficial Interior ($\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Ψ – Coeficiente de Transmissão Térmica Linear

RPH – Taxa de Renovação Horária [h-1]

HR – Humidade Relativa [%]

T – Temperatura [°C]

DEC - Departamento de Engenharia Civil

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Desde meados dos anos 80 do século passado, que se discutem as alterações climáticas globais na esfera internacional. Foram efectuadas várias conferências internacionais sobre as problemáticas ambientais tendo mesmo em 1997 sido assinado em Quioto um tratado internacional, do qual fez parte Portugal, com compromissos rígidos com o objectivo de reduzir a emissão de gases causadores do efeito de estufa. Com a entrada na CEE, foi, em 1990, criada a primeira regulamentação térmica, em Portugal, *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE)¹. Este regulamento, pretende assegurar o conforto térmico dos edifícios, quer no Inverno quer no Verão, com o mínimo de custos [1].

Hoje em dia o aumento do custo das matérias-primas para a produção de energia e a excessiva emissão de gases poluentes, causadoras do efeito de estufa, levaram a um aumento da procura de energias alternativas menos lesivas para o meio ambiente e menos dispendiosas.

O recurso e a procura de ferramentas informáticas de simulação térmica como apoio ao estudo do comportamento térmico de um edifício, tem vindo a crescer. Estas tornam-se cada vez mais importantes na previsão de consumos energéticos horários para determinados edifícios, bem como para o cálculo e análise das temperaturas interiores, entre outros factores. A ferramenta de simulação energética dinâmica utilizada nesta dissertação é o EnergyPlus [2] que é um programa informático que objectiva auxiliar o estudo e análise de edifícios do ponto de vista térmico.

Outra ferramenta de apoio ao estudo do comportamento térmico de um edifício utilizada nesta dissertação é o Cypeterm [3]. O Cypeterm é uma ferramenta informática desenvolvida para dar resposta ao projecto de verificação das características de comportamento térmico dos edifícios de acordo com o regulamento, RCCTE [4].

A utilização de ambas as ferramentas permite ao projectista ter uma visão mais abrangente e tornar as suas decisões mais acertadas, no que diz respeito à escolha de materiais e equipamentos a usar nos edifícios. Permite, igualmente, o teste de soluções alternativas na aplicabilidade em determinados locais.

A presente dissertação consiste no estudo do comportamento térmico de um edifício, através da parametrização da arquitectura de uma habitação multifamiliar, avaliando os ganhos e perdas de calor existentes na mesma.

¹ Alterado e republicado pelo Decreto-Lei nº80/2006, ainda em vigor.

1.2. OBJECTIVOS

A presente dissertação tem como objectivo principal o estudo de duas ferramentas informáticas para a parametrização de um projecto de arquitectura.

De forma a atingir esse objectivo proposto, deverão ter tidos em conta os seguintes objectivos intermédios:

- análise da habitação multifamiliar em estudo;
- exploração e análise do programa informático Cypeterm como ferramenta de estudo de um projecto térmico;
- modelação e cálculo do edifício utilizando o programa Cypeterm;
- exploração do programa EnergyPlus como ferramenta de simulação higrotérmica;
- exportação do edifício para o programa EnergyPlus;
- comparação dos resultados obtidos pelos dois programas.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos:

- No Capítulo 1 apresenta-se o enquadramento do tema em estudo bem como os objectivos a desenvolver;
- O Capítulo 2 dedica-se à descrição do caso de estudo. Esta descrição é feita através da sua localização e clima, bem como a constituição de todos os elementos presentes na habitação. Também se indicam os parâmetros de caracterização de todos os materiais presentes nos diferentes elementos;
- No Capítulo 3 é feita a caracterização e estudo do projecto térmico utilizando o programa informático Cypeterm de modo a calcular as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, as necessidades nominais anuais de energia para a produção de águas quentes sanitárias bem como as necessidades globais de energia primária;
- O Capítulo 4 consiste na análise da simulação térmica feita através do programa EnergyPlus de forma a calcular os ganhos e perdas de calor na estação de aquecimento e arrefecimento para a posterior comparação com os resultados obtidos com o programa Cypeterm;
- No Capítulo 5 são feitas a análise e discussão dos resultados obtidos pelos dois programas em estudo, perspectivando várias conclusões e comparando os resultados, analisando-os sob uma mesma perspectiva;
- No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões obtidas nesta dissertação.

2

DESCRIÇÃO DO CASO EM ESTUDO

2.1. IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício de habitação multifamiliar em estudo, localiza-se na cidade do Porto e podemos ver a sua implantação nas figuras 1 e 2.



Fig. 1 – Localização geográfica do edifício em estudo [5]



Fig. 2 – Planta de implantação do edifício em estudo [6]

2.2. DESCRIÇÃO DO PROJECTO EM ESTUDO

O presente projecto diz respeito à reformulação de uma área localizada no antigo núcleo de Bouças e num terreno onde existem várias de construções em estado de ruína.

O edifício multifamiliar localiza-se, como já referido anteriormente, numa zona urbana, no concelho do Porto, com uma altitude aproximada de 50 m e uma distância ao mar inferior a 5 km, tendo uma zona climática de Inverno I2 e Verão V1 [1].

É proposta a construção de duas habitações, com acessos autónomos, a funcionar em propriedade horizontal, desenvolve-se em dois pisos, R/chão e 1º pis, cada um deles correspondendo a uma habitação independente.

O edifício em estudo tem uma área útil de pavimento de 90,60 m² com pé direito médio ponderado de 2,50 m.

As habitações possuem fachadas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste, sendo a fachada principal orientada a Oeste; são de tipologia T1, e cada fracção é constituída por hall de entrada, um quarto, uma sala, um quarto de banho e uma cozinha. No exterior do primeiro piso existe ainda uma varanda.

Como sistema de aquecimento prevê-se a instalação de resistências eléctricas com eficiência nominal de 1. O sistema de arrefecimento encontra-se instalado por defeito uma máquina frigorífica com eficiência EER3. Para o sistema de produção de águas quentes sanitárias (AQS) será utilizado uma caldeira mural com acumulação com 50 mm a 100 mm de isolamento térmico de eficiência de 0,82, com módulo solar que permite gerir a temperatura da água quente proveniente do sistema solar e a temperatura de conforto para o utilizador. Nas figuras 3 a 6 são apresentadas as plantas e os alçados do edifício, bem como a perspectiva 3D.

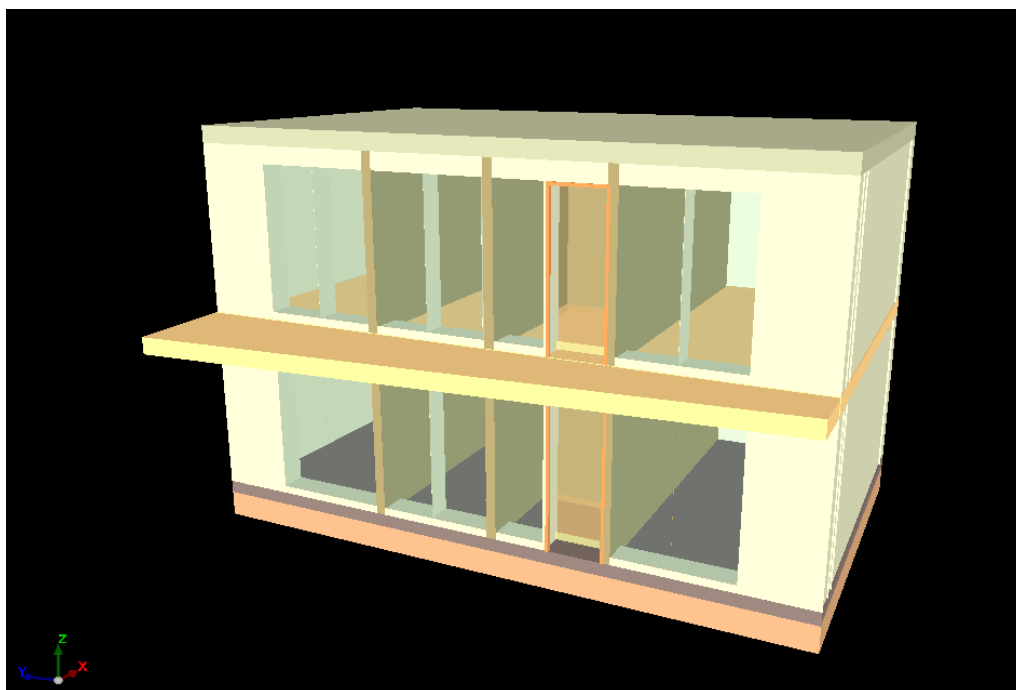


Fig. 3 – Vista 3D da habitação de estudo

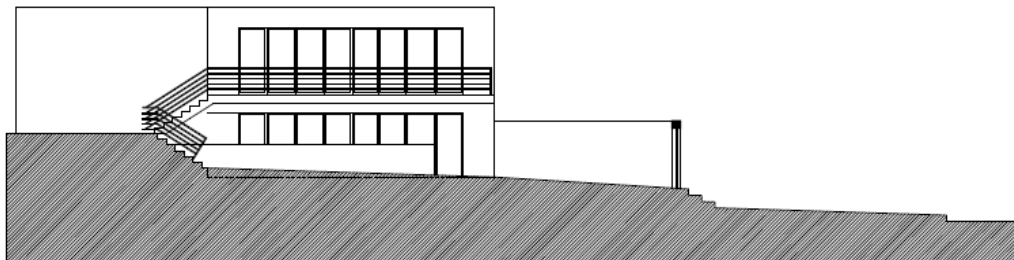


Fig. 4 - Alçado Principal [6]

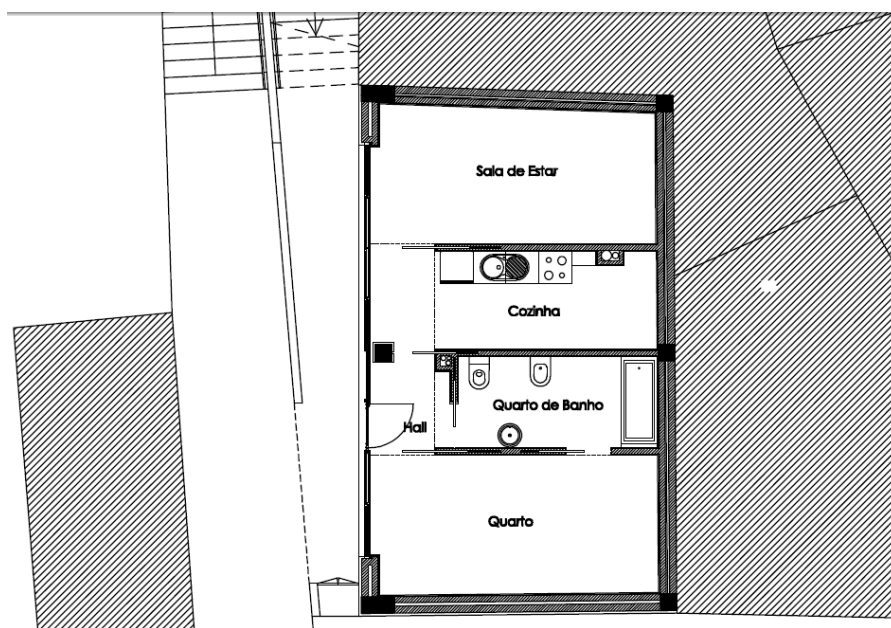


Fig. 5 - Planta piso 0 [6]

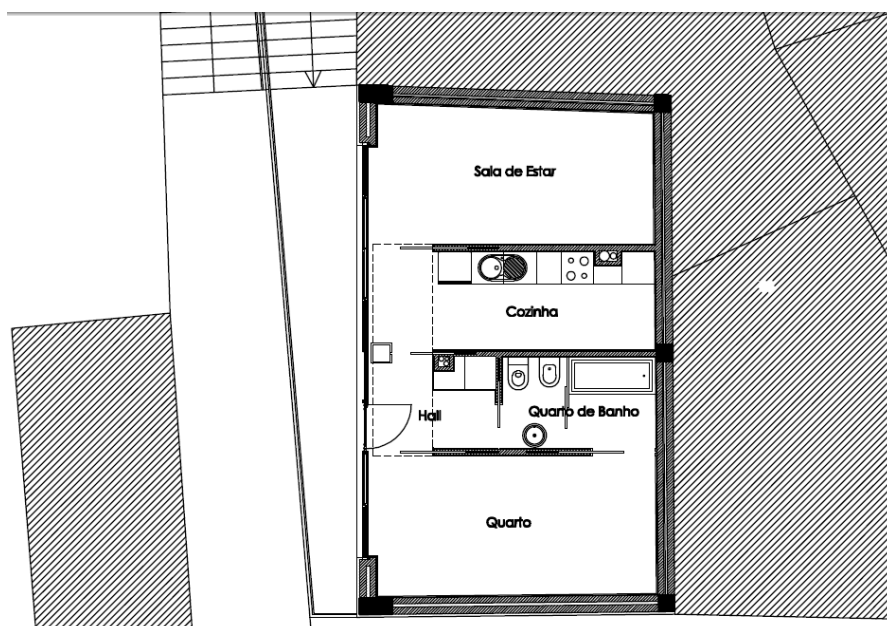


Fig. 6 - Planta piso 1 [6]

Tal como foi já referido, a habitação em estudo divide-se em duas fracções autónomas. E acordo com o RCCTE, entende-se por fracção autónoma cada uma das partes de um edifício dotadas de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua, e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente [7].

As duas fracções são muito idênticas como se pode ver pelas plantas e pelas áreas expostas nos quadros 1 e 2, verificando-se que só se altera a áreas do hall e dos quartos de banho.

Quadro 1 – Áreas úteis dos compartimentos do Rés-do-chão

Descrição	Áreas (m ²)
1- Hall de Distribuição	2,50
2 – Sala de Estar	13,00
3 - Quarto	13,40
4 – Cozinha	9,10
5 – Quarto de Banho	6,10
Total	44,10

Quadro 2 – Áreas úteis dos compartimentos do Piso 1

Descrição	Áreas (m ²)
1- Hall de Distribuição	3,70
2 – Sala de Estar	13,00
3 - Quarto	13,40
4 – Cozinha	9,10
5 – Quarto de Banho	4,90
Total	44,10

2.3. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Os dois pisos do edifício têm a mesma constituição e os mesmos elementos construtivos, e são apresentados nos pontos que se seguem.

Como nota, os elementos calculados já estavam presentes em projecto à qual não houve qualquer alteração ao projecto inicial, nesta dissertação.

2.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR

A envolvente exterior é constituída por paredes exteriores de dois tipos: Tipo 1 e Tipo 2, cobertura exterior plana e envidraçados.

2.3.1.1. Fachadas

A descrição dos elementos da fachada é apresentada no quadro 3, sendo que a figura 7 representa um desenho esquemático da parede exterior Tipo1.

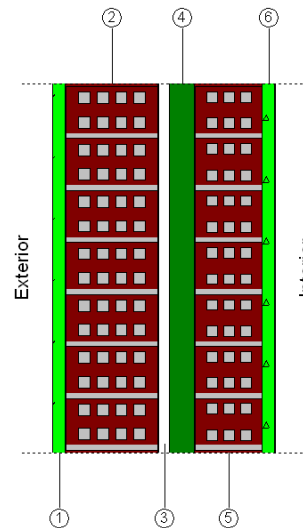


Fig. 7 – Parede Exterior Tipo 1

Quadro 3 – Descrição da constituição da Parede Exterior Tipo 1

Descrição	Espessura (cm)
1. Reboco tradicional	2
2. Tijolo cerâmico furado de 15	15
3. Caixa-de-ar	2
4. Poliestireno extrudido (XPS)	4
5. Tijolo cerâmico furado de 11	11
6. Reboco tradicional	2
TOTAL	36

Por sua vez a fig. 8, apresenta o desenho esquemático da parede exterior Tipo 2 e o quadro 4 indica quais os elementos que constituem esta parede.

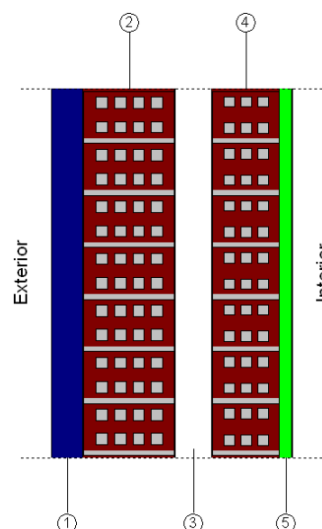


Fig. 8 – Parede Exterior Tipo 2

Quadro 4 – Descrição da constituição da Parede Exterior Tipo 2

Descrição	Espessura (cm)
1. Poliestireno expandido (EPS)	5
2. Tijolo cerâmico furado de 15	15
3. Caixa-de-ar	6
4. Tijolo cerâmico furado de 11	11
5. Reboco tradicional	2
TOTAL	40

2.3.1.2. Cobertura

A composição da cobertura está descrita no quadro5 e representado na fig.9.

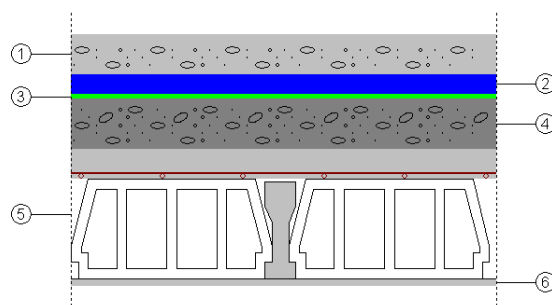


Fig. 9 – Cobertura

Quadro 5 – Descrição da constituição da cobertura

Descrição	Espessura (cm)
1. Areia, gravilha, seixo, brita	8
2. Poliestireno extrudido (XPS)	4
3. Tela de Impermeabilização	1
4. Betão leve	10
5. Laje aligeirada (Elemento resistente)	26
6. Argamassa de cimento	1,5
TOTAL	50,5

2.3.1.3. Envidraçados

Os vãos envidraçados, serão compostos por:

- vidros duplos incolores (6+16+4)mm
- caixilhos em metal sem quadrículas.

As portas de entrada são de vidro com $U=2,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

2.3.2. PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO AQUECIDOS

Nas fig. 10 e 11, apresenta-se os esquemas da laje sobre desvão sanitário, podendo-se verificar a sua constituição e descrição nos quadros 6 e 7, respectivamente.

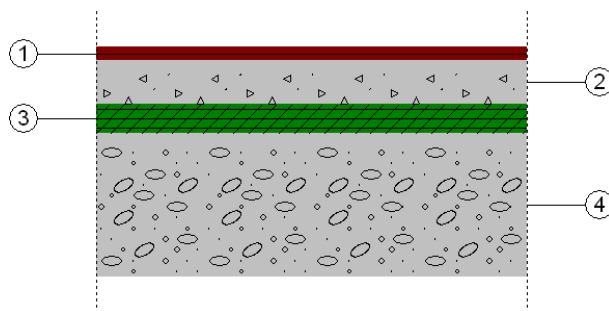


Fig. 10 – Pavimento Piso 0 (Hall, Sala e Quarto)

Quadro 6 – Descrição do Pavimento Piso 0 (Hall, Sala e Quarto)

Descrição	Espessura (cm)
1. Soalho	2
2. Lajeta flutuante	6
3. Poliestireno extrudido (XPS)	4
4. Betão armado	20
TOTAL	32

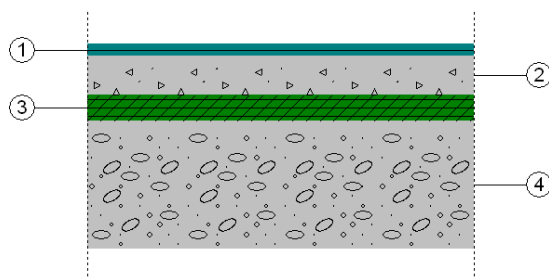


Fig. 11 – Pavimento Piso 0 (Cozinha e wc)

Quadro 7 – Descrição do Pavimento Piso 0 (Cozinha e wc)

Descrição	Espessura (cm)
1. Mosaico cerâmico	2
2. Lajeta flutuante	6
3. Poliestireno extrudido (XPS)	4
4. Betão armado	20
TOTAL	32

2.3.3. ELEMENTOS INTERIORES

Os elementos interiores são constituídos pelas paredes interiores de compartimentação e pelos pavimentos interiores de separação das fracções. Os esquemas ilustrativos destes elementos estão representados nas fig. 12 à 14 e a sua composição nos quadros 8 ao 10.

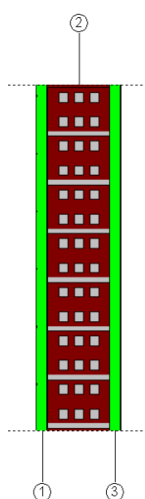


Fig. 12 – Parede Interior

Quadro 8 – Descrição da constituição das Paredes Interiores

Descrição	Espessura (cm)
1. Reboco tradicional	2
2. Tijolo cerâmico furado de 11	11
3. Reboco tradicional	2
TOTAL	15

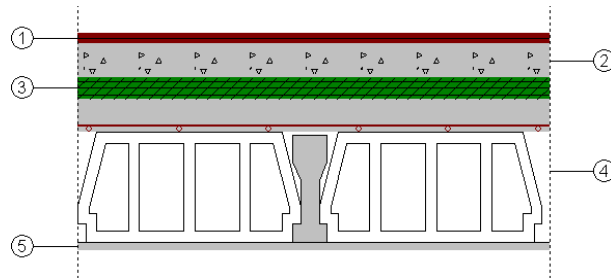


Fig. 13 – Pavimento Piso 1 (Hall, Sala e Quarto)

Quadro 9 – Descrição do Pavimento Piso 1 (Hall, Sala e Quarto)

Descrição	Espessura (cm)
1. Soalho	2
2. Lajeta flutuante	6
3. Poliestireno extrudido (XPS)	4
4. Laje aligeirada (Elemento resistente)	26
5. Argamassa de cimento	1,5
TOTAL	39,5

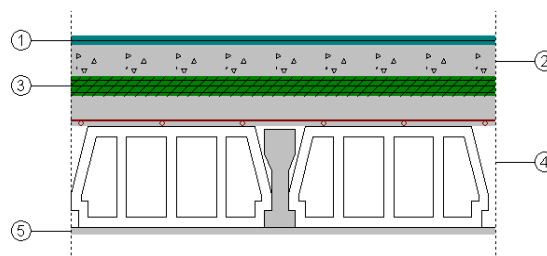


Fig. 14 – Pavimento Piso 1 (Cozinha e wc)

Quadro 10 – Descrição do Pavimento Piso 1 (Cozinha e wc)

Descrição	Espessura (cm)
1. Mosaico cerâmico	2
2. Lajeta flutuante	6
3. Poliestireno extrudido (XPS)	4
4. Laje aligeirada (Elemento resistente)	26
5. Argamassa de cimento	1,5
TOTAL	39,5

2.4. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

O melhor parâmetro para caracterizar termicamente os elementos construtivos é o coeficiente de transmissão térmica, U , que se define como a quantidade de calor por unidade de tempo, que atravessa uma superfície, de área unitária, de um elemento da envolvente, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa [8].

2.4.1. ENVOLVENTE EXTERIOR

Quadro 11 – Descrição das Soluções Adoptadas na Envolvente Exterior

Descrição das (s) soluções adoptadas	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em $W/m^2 \cdot ^\circ C$	
	da solução	máximo
<i>Parede Exterior Tipo 1 (P.Ext.1):</i> parede exterior em alvenaria dupla de 36 cm de espessura, com isolamento na caixa-de-ar, constituída por (do interior para o exterior) por reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 W/m \cdot ^\circ C$ e resistência térmica de $0,011 m^2 \cdot ^\circ C/W$; tijolo cerâmico furado com 11 cm de espessura, resistência térmica de $0,275 m^2 \cdot ^\circ C/W$; isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS) de 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 W/m \cdot ^\circ C$ e resistência térmica de $1,081 m^2 \cdot ^\circ C/W$ preenchendo parcialmente a caixa-de-ar e fixado na face exterior do pano interior de alvenaria; caixa-de-ar com 2 cm de espessura; tijolo cerâmico furado de 15 cm de espessura, resistência térmica de $0,384 m^2 \cdot ^\circ C/W$ e reboco tradicional com 2cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 W/m \cdot ^\circ C$ e resistência térmica de $0,011 m^2 \cdot ^\circ C/W$.	0,47	1,60
<i>Parede Exterior Tipo 2 (P.Ext.2):</i> parede exterior em alvenaria dupla de 39 cm de espessura, com isolamento pelo exterior, constituída por (do interior para o exterior) por reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 W/m \cdot ^\circ C$ e resistência térmica de $0,011 m^2 \cdot ^\circ C/W$; tijolo cerâmico furado com 11 cm de espessura, resistência térmica de	0,46	1,60

0,275 m ² .°C/W; caixa-de-ar com 6 cm de espessura com resistência térmica de 0,12 m ² .°C/W; tijolo cerâmico furado de 15 cm de espessura, resistência térmica de 0,39 m ² .°C/W e isolamento térmico pelo exterior em poliestireno expandido (EPS) de 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,040 W/m.°C e resistência térmica de 1,25 m ² .°C/W.		
Ponte Térmica Plana – parede exterior com pilar viga (PTP-P.Ext.1): ponte térmica plana de 36 cm de espessura, com isolamento pelo exterior, constituída por (do interior para o exterior) por reboco tradicional com 2cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1,80 W/m.°C e resistência térmica de 0,011 m².°C/W; betão armado com 30 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2,30 W/m.°C e resistência térmica de 0,130 m².°C/W e isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS) de 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C e resistência térmica de 1,081 m².°C/W	0,72	0,94
Ponte Térmica Plana – parede exterior com pilar viga (PTP-P.Ext.2): ponte térmica plana de 39 cm de espessura, com isolamento na caixa-de-ar, constituída por (do interior para o exterior) por reboco tradicional com 2cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1,80 W/m.°C e resistência térmica de 0,011 m².°C/W; betão armado com 30 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2,30 W/m.°C e resistência térmica de 0,13 m².°C/W; isolamento térmico pelo exterior em poliestireno expandido (EPS) de 5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,040 W/m.°C e resistência térmica de 1,250 m².°C/W e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1,8 W/m.°C e resistência térmica de 0,011 m².°C/W.	0,64	0,92
Cobertura Exterior Plana: Laje de cobertura exterior plana de 50,5 cm de espessura constituída por, revestimento interior argamassa de cimento de 1,5 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/m.°C e resistência térmica de 0,012 m².°C/W; laje de esteira horizontal aligeirada com 26 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1,422 W/m.°C resistência térmica de 0,183 m².°C/W; camada de forma com 10 cm de espessura coeficiente de condutibilidade térmica de 1,9 W/m.°C e resistência térmica de 0,053 m².°C/W; tela de impermeabilização com 1 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,2 W/m.°C e resistência térmica de 0,050 m².°C/W; isolamento em poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037W/m.°C e resistência térmica de 1,081 m².°C/W.e revestimento superficial em godo com espessura de 8 cm.	U = 0,64	1,00

O valor do coeficiente térmico, U , dos vãos envidraçados, depende do tipo de caixilharia e de janela (fixa, giratória ou de correr), da permeabilidade ao ar dos dispositivos de oclusão nocturna e do número de vidros (simples ou duplo), no caso de duplo, depende ainda da espessura da lâmina de ar.

Quadro 12 – Envidraçados

Descrição das (s) soluções adoptadas	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em $W/m^2 \cdot ^\circ C$	
	da solução	máximo
<i>Envidraçado Tipo 1</i> (Env.1): vão simples inserido na fachada orientada a oeste, com caixilharia de alumínio de correr com corte térmico, com classe de permeabilidade ao ar de 2, vidro duplo incolor corrente (6mm (exterior) + 16 mm (caixa de ar) + 4 mm (interior), protecção interior por estores de lâminas de cor clara e cortinas ligeiramente transparentes de cores intermédias. (valor retirado ITE50, Quadro III.2 B, pág. III.5) [8 e 9]	$U_{Env.1}=2,70$ $g_{\perp}=0,63$ $g_{\perp verao}=0,39$	0,56

2.4.2. ENVOLVENTE INTERIOR

Quadro 13 – Descrição das Soluções Adoptadas na Envolvente Interior

Descrição das (s) soluções adoptadas	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em $W/m^2 \cdot ^\circ C$	
	da solução	máximo
<i>Pavimento piso 0 Tipo 1</i> : Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: soalho com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $0.1 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.200 m^2^\circ C/W$; lajeta flutuante com 6 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1.3 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.046 m^2^\circ C/W$; poliestireno extrudido com 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $0.037 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $1.081 m^2^\circ C/W$; betão com 20 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1.65 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.121 m^2^\circ C/W$.	$U = 0,56$	1,30
<i>Pavimento piso 0 Tipo 2</i> : Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: mosaico cerâmico com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1.3 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.015 m^2^\circ C/W$; lajeta flutuante com 6 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1.3 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.046 m^2^\circ C/W$; poliestireno extrudido com 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $0.037 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $1.081 m^2^\circ C/W$; betão com 20 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de $1.65 W/m^\circ C$ e resistência térmica de $0.121 m^2^\circ C/W$.	$U = 0,62$	1,30

3

APLICAÇÃO DO RCCTE ATRAVÉS DO CYPETERM

3.1. INTRODUÇÃO

O Cypeterm é um programa informático desenvolvido em Portugal especificamente para dar resposta ao projecto de verificação das características de comportamento térmico dos edifícios de acordo com o estipulado pelo Decreto-Lei nº80/2006, Nota Técnica NT-SCE-01 (Despacho nº 11020/2009) e Perguntas e Respostas publicadas pela ADENE. Este programa efectua o cálculo com base na modelação tridimensional dos edifícios de forma gráfica. Fornece ainda as listagens e desenhos segundo o RCCTE e indicações da ADENE que poderão ser impressos directamente, exportados para ficheiros ou utilizados para o preenchimento de declarações de conformidade regulamentar (DCR) e certificados energéticos (CE) [4].

O Cypeterm tem como objectivo o cálculo e verificação de edifícios de modo a garantir condições de conforto térmico, isto sem necessidades excessivas de energia e com minimização das condensações superficiais no interior dos elementos da envolvente, tal como preconiza o regulamento, RCCTE [10].

Os pontos que se seguem apresentam, de uma forma resumida, a metodologia de cálculo do projecto em estudo, com recurso ao Cypeterm.

3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

A habitação em causa vai ser executada de acordo com os preceitos estabelecidos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios no DL nº 80/2006 de 4 de Abril.

Para o cálculo do presente projecto foram utilizadas as tabelas de cálculo constantess no RCCTE [1] e para o dimensionamento dos painéis solares foi utilizado o programa “SOLTERM”, comercializado pelo INETI.

Esta construção utilizará soluções de isolamento, bem como materiais, cujas características permite satisfazer as necessidades nominais de energia por estação de aquecimento e arrefecimento.

A caracterização do comportamento térmico do presente edifício faz-se através da quantificação de um certo número de índices e parâmetros [1]. Os índices térmicos fundamentais a quantificar segundo o artigo 4º do RCCTE, são:

- Nic – necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;
- Nvc - necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;
- Nac - necessidades nominais anuais de energia para a produção de águas quentes sanitárias;

- Ntc – necessidades globais de energia primária.

Os parâmetros complementares são os que a seguir se indicam:

- Coeficientes de Transmissão Térmica, superficiais e lineares, dos elementos da envolvente;
- Classe de Inércia Térmica do edifício ou da fracção autónoma;
- Factor Solar dos vãos envidraçados;
- Taxa de renovação de ar.

3.2.1. INTRODUÇÃO DA GEOMETRIA DO EDIFÍCIO

Este ponto pretende apresentar uma breve descrição dos dados mais importantes a inserir no programa relativos à geometria do edifício.

As plantas e grupos onde se define o número de pisos acima e abaixo da rasante bem como a altura de cada piso, são apresentadas na fig.15. Importante frisar que a altura do piso corresponde ao pé direito mais espessura da laje.

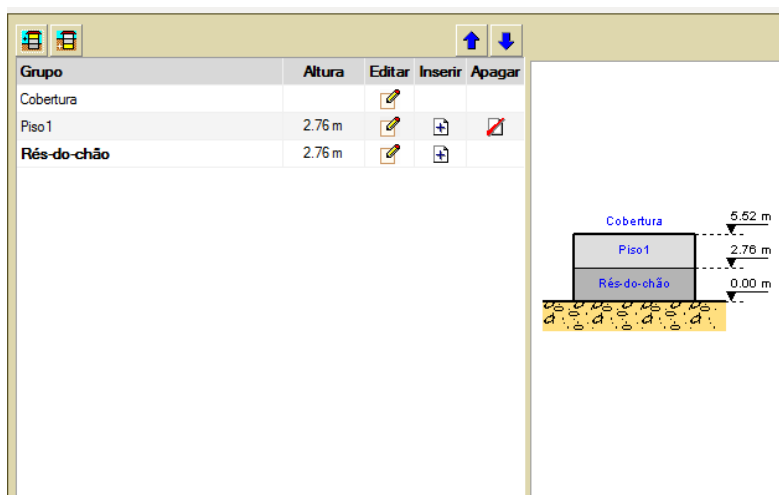


Fig. 15 – Plantas/Grupos

Outro campo de interesse é a divisão de cada piso em diversos compartimentos, como se apresenta na fig. 16 . São importantes no cálculo do RCCTE, de forma a ser distinguido os espaços aquecidos dos espaços não-aquecidos. Neste caso de estudo a laje do piso 0 corresponde a um elemento de separação de um espaço aquecido de um espaço não-aquecido, visto ser uma laje sobre um desvão sanitário.

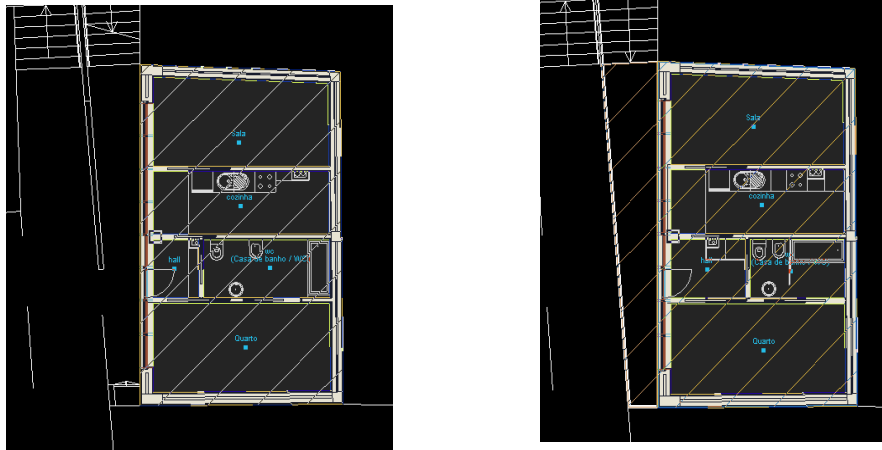


Fig. 16 – Compartimentos Piso 0 e Piso 1

A introdução da arquitectura dos edifícios, feita através de ficheiros com formatos DXF, DWG ou DWF, deve ser realizada de forma a facilitar a caracterização dos seus elementos, bem como a sua envolvente. Cada “máscara” servirá de apoio a cada piso do edifício. Como se pode verificar através da análise da fig. 17, o ficheiro importado possui todas as características arquitectónicas necessárias ao desenho das envolventes bem como as suas dimensões. Assim não é necessário a posterior medição de áreas e comprimentos, uma vez que a importação permite manter a escala do desenho. Deve no entanto, ter-se o cuidado de garantir a existência de um ponto base em todas as plantas importadas de forma a haver linearidade e coerência em todos os pontos do edifício nos diversos pisos. Todos os layers são importados para o programa, ver fig.17 canto inferior esquerdo, podendo ser ligados ou desligados consoante a conveniência do utilizador.

No que diz respeito às zonas térmicas, a sua delimitação faz-se através do desenho das envolventes sobre as plantas importadas. À semelhança do que foi descrito no parágrafo anterior, para cada elemento, insere-se a sua constituição, desenhando, posteriormente, sobre a planta, polígonos de forma a delimitar cada zona.

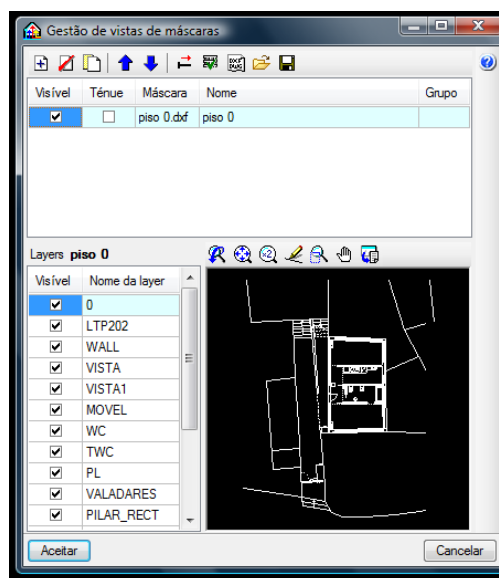


Fig. 17 – Exemplo das plantas importadas

3.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO.

O cálculo térmico de um edifício compreende a análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento e as necessidades de águas quentes sanitárias, por forma a garantir a qualidade do ar interior e o conforto térmico dos edifícios e diminuir o gasto de energia dos mesmos.

Como definição, as necessidades nominais de aquecimento de uma fracção autónoma de um edifício são a energia útil que é necessário fornecer para manter permanentemente no seu interior a temperatura de 20°C durante toda a estação convencional de aquecimento [1].

É calculada pela seguinte expressão:

$$N_{ic} \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p \quad (1)$$

Na estação de aquecimento, o comportamento térmico do edifício é determinado pelas seguintes perdas e ganhos:

- Perdas de calor associadas à envolvente exterior dos edifícios;
- Perdas de calor associadas à envolvente interior dos edifícios;
- Perdas de calor associadas aos vãos envidraçados exteriores dos edifícios;
- Perdas de calor resultantes da renovação de ar;
- Ganhos Internos;
- Ganhos pelos vãos envidraçados exteriores.

As perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios (Q_t), isto é, perdas de calor pelas paredes, pelos envidraçados, pelas coberturas e pelos pavimentos, devidas à diferença de temperatura entre o interior e o exterior. É dada pela seguinte fórmula:

$$Q_t(W) = Q_{ext} + Q_{ina} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (2)$$

Q_{ext} – perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçado, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior;

Q_{ina} – perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos;

Q_{pe} – perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo;

Q_{pt} – perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício.

Essas perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçado, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior (Q_{ext}) são introduzidas através de formulários como o da fig. 19.

Ao introduzir as características das paredes exteriores podemos acrescentar as pontes térmicas planas (PTP) das vigas através da introdução do talão de viga, ver fig.18. As pontes térmicas planas dos pilares foram colocadas manualmente, apesar de ser também possível fazê-lo automaticamente. A introdução das PTP dos pilares feita manualmente, consistiu na criação de uma descontinuidade das paredes exteriores introduzindo nesse ponto a constituição do pilar.

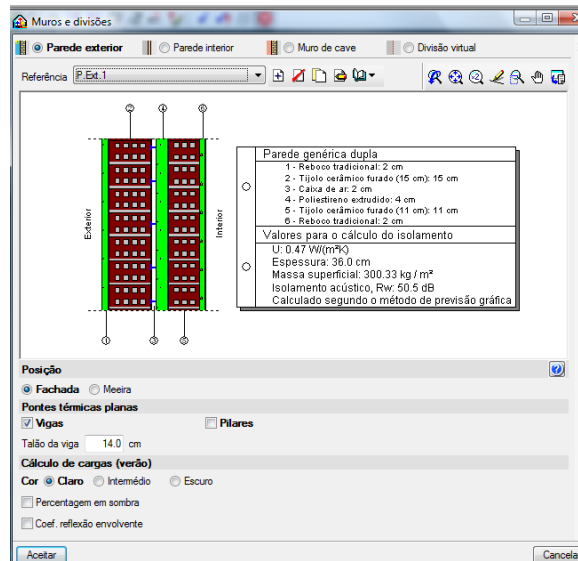


Fig. 18 – Exemplo da constituição da Parede Exterior Tipo1

Paredes exteriores	Área (m²)	U (W/m²°C)	U·A (W/°C)
P.Ext.2	17.40	0.46	8.00
P.Ext.1	30.36	0.47	14.27
PTP_Pilares_P.Ext.1	1.00	0.72	0.72
PTP_Pilares_P.Ext.2	0.61	0.64	0.39
Pontes térmicas planas (Vigas)	2.46	0.72	1.77
TOTAL			25.15

Fig. 19 – Exemplo da folha de cálculo das perdas associadas às paredes exteriores da fracção A.

A energia associada à envolvente exterior é dada pela seguinte expressão e permite calcular valores de energia anuais em toda a estação de aquecimento.

$$Q_{\text{ext}} (\text{kWh}) = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot \text{GD} \quad (3)$$

Em que GD corresponde aos graus-dia de aquecimento especificados para cada concelho, sendo neste caso de estudo 1610°C correspondente à cidade do Porto.

Na fig. 19 apresenta-se um exemplo da folha de cálculo gerada pelo programa relativamente às perdas associadas à envolvente exterior pelas paredes exteriores da fracção A.

As perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício são dadas pela expressão seguinte:

$$L_{\text{pt}} (\text{W/°C}) = \sum \Psi_j \cdot B_j \quad (4)$$

Sendo:

Ψ_j - coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j;

B_j – desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior.

Como este programa é possível calcular automaticamente as pontes térmicas lineares, tendo o programa por base o Regulamento, como já mencionado. Nas imagens seguintes (fig.20 à 23) é possível observar-se as informações gráficas das pontes térmicas lineares.

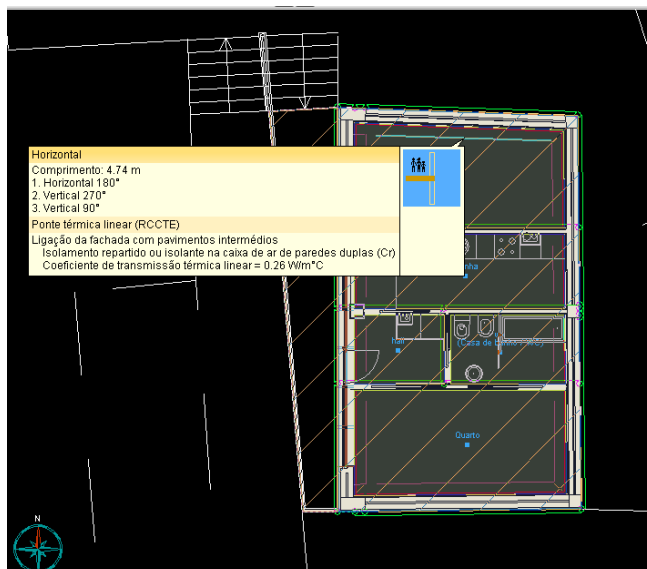


Fig. 20 – Exemplo de PTL (Ligação de fachada com pavimentos intermédios)



Fig. 21 - Exemplo de PTL (Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço)



Fig. 22 - Exemplo de PTL (Ligação de fachada com varanda)

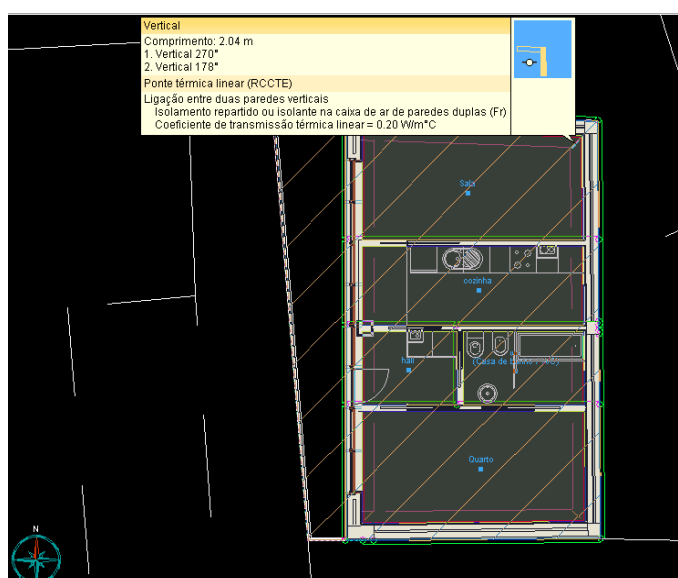


Fig. 23 - Exemplo de PTL (Ligação entre duas paredes verticais)

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m²°C)	$\Psi \cdot B$ (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos	0.00	0.00	0.00
Fachada com pavimentos não aquecidos e exteriores	26.61	0.57	15.17
Fachada com pavimentos intermédios	18.14	0.32	5.80
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	0.00	0.00	0.00
Fachada com varanda	8.47	0.50	4.24
Duas paredes verticais	10.02	0.20	2.00
Fachada com caixa de estore	0.00	0.00	0.00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	43.24	0.00	0.00
TOTAL			27.21

Fig. 24 – Exemplo da folha de cálculo das perdas associadas às pontes térmicas lineares da fracção A

Posteriormente é imprescindível calcular a energia necessária para compensar as perdas lineares por forma a obter-se o cálculo final das necessidades energéticas de aquecimento; a expressão da energia é dada pela seguinte expressão:

$$Q_{pt} \text{ (kWh)} = 0,024 \cdot L_{pt} \cdot GD \quad (5)$$

No quadro 14, apresenta-se o resumo de todas as perdas e ganhos associados à envolvente exterior.

A análise comparativa será feita à posteriori no capítulo 5.

Quadro 14 - Quadro Resumo das Perdas associadas à Envolvente Exterior

	Fracção A (W/°C)	Fracção B (W/°C)
Perdas associadas à Envolvente Exterior		
Paredes Exteriores (U*A)	25,15	25,15
Coberturas Exteriores (U*A)	0	26,69
Pontes Térmicas Lineares (ψ *B)	27,21	28,55

As perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos só se verificam no pavimento do piso 0, como se pode observar na fig. 25. Onde há contacto do pavimento com espaço vazio.

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A· τ (W/°C)
Desvão Sanitário	26.84	0.56	0.60	9.02
Desvão Sanitário	14.86	0.62	0.60	5.53
TOTAL				14.55

Fig. 25 – Folha de cálculo das perdas associadas à envolvente interior (pavimento sobre espaço não aquecido) da fracção A

A energia necessária para compensar estas perdas é dada pela seguinte expressão:

$$Q_{\text{Ina}} \text{ (kWh)} = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot G_D \cdot \tau \quad (6)$$

Sendo τ característico de um espaço não aquecido no interior ou anexo ao edifício ou fracção autónoma em estudo e traduz o valor da temperatura adimensional do local não aquecido [11].

Sendo os envidraçados um dos elementos mais importantes para o cálculo de perdas e ganhos de calor, pode ver-se em seguida as características destes elementos existentes na habitação. Foi também tida em consideração a existência de uma porta exterior de vidro.

Na figura 26 apresenta-se as características do envidraçado como o factor solar (g) e o coeficiente de transmissão térmica (U).

Fig. 26 – Características dos envidraçados

Outro dos aspectos a ter em consideração para melhor caracterizar os vãos envidraçados são as características das caixilharias como se pode observar na figura 27.

Fig. 27 – Característica das caixilharias

O tipo de sombreamento existente no edifício é composto por protecção interior por estores de lâminas de cor clara e cortinas ligeiramente transparentes e de cor intermédias (já referido no cap.2). Na fig.28 encontra-se descrito este elemento.

Vidro	Caixa-laria	Acessórios	Sombreamento	P. T. linear	P. T. planas
--------------	--------------------	-------------------	---------------------	---------------------	---------------------

☐ Proteções exteriores

☐ Estore

☒ Proteções interiores

Tipo ☒ Estores de lâminas ☐ Portadas de madeira (opacas) ☐ Persianas de madeira	Cor ☒ Claro ☐ Intermedió ☐ Escuro
--	--

☐ Estore veneziano

☒ Cortinas

Tipo ☐ Opacas ☒ Ligeiramente transparentes ☐ Transparentes ☐ Muito transparentes	Cor ☒ Claro ☐ Intermedió ☐ Escuro
--	--

☐ Proteções entre dois vidros

Fig. 28 – Acessórios para sombreamento

A folha de cálculo referente aos vãos envidraçados da fracção A é apresentada na fig. 29.

[illegible]

Fig. 29 – Exemplo das folhas de cálculo das perdas pelos vãos envidraçados da fracção A

Quadro 15 - Quadro Resumo das perdas associadas aos vãos Envidraçados

	Fracção A (W/°C)	Fracção B (W/°C)
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores		
Vãos envidraçados exteriores (U*A)	40,72	40,72

Para introdução das janelas no programa Cypeterm, terá que ser tida em conta a sua altura bem como a altura do parapeito, ver fig. 30, e também o sombreamento. Para o caso em estudo e no respeitante à fracção A, foram introduzidas a interferência da varanda e das escadas nas janelas, como se pode verificar nas fig. 30 e 31.

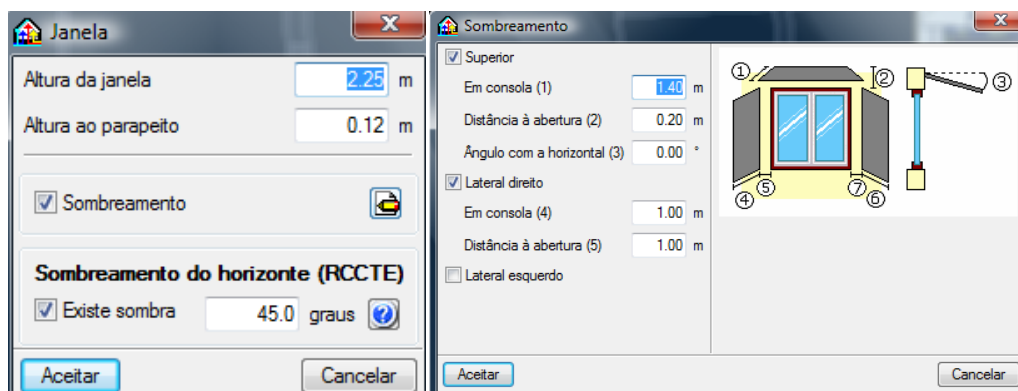


Fig. 30 – Dados e sombreamento das janelas da fracção A

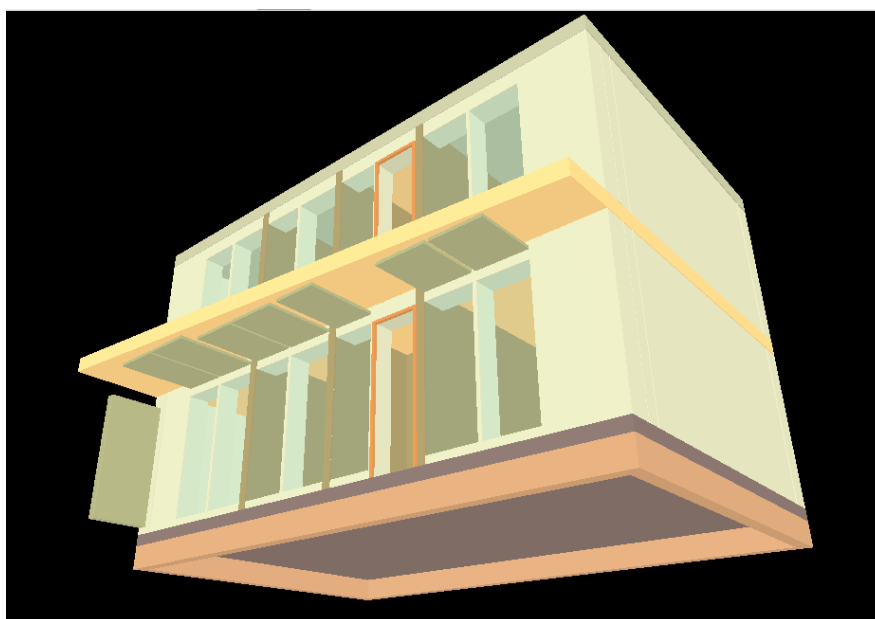


Fig. 31 – Vista 3D do sombreamento por pals horizontais e verticais

Os sistemas de ventilação assumem uma grande importância na definição das condições higratérmicas de conforto e na qualidade do ar interior dos edifícios [12]. A ventilação natural é muitas vezes feita com recurso à abertura de janelas nos vãos em contacto com o exterior, por forma a melhorar não só a qualidade interna do ar como também a temperatura interior nos períodos de Verão. Todavia, a ventilação também é responsável por uma percentagem significativa de perdas de calor na estação de Inverno, pelo que facilmente se compreende que o RCCTE estabeleça um valor mínimo da taxa de renovação horária, $0,6 \text{ h}^{-1}$, pois só assim se conseguirão garantir condições de salubridade e de conforto, com um mínimo dispêndio de energia [13].

Relativamente ao método de análise utilizado pelo RCCTE, é adoptado um valor constante da taxa de renovação horária, $0,85 \text{ h}^{-1}$ [14], facto que impede a análise pontual das situações em que a diminuição ou o aumento da ventilação podem revelar-se benéfica.

Na fig. 32 apresenta-se o formulário relativo à ventilação, no qual se considera a ventilação natural, sem dispositivos de admissão de ar nas fachadas e com portas bem vedadas.

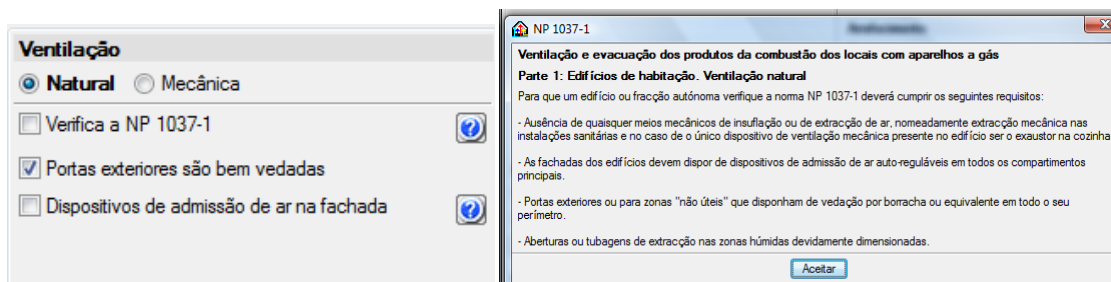


Fig. 32 – Características da ventilação

De acordo com o Regulamento, as perdas por renovação de ar dependem dos factores que interferem no cálculo da taxa renovação horária, tais como a classe da caixilharia, a presença ou ausência das caixas de estore, a classe de exposição, entre outros. Todos esses factores estão presentes na figura 33.

VENTILAÇÃO NATURAL			
Cumprir NP 1037-1?	(S ou N)	N	Se SIM: RPH =
Se NÃO:			
Classe de caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	2	Taxa de renovação nominal RPH = 0.85
Caixas de estore	(S ou N)	N	
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1	
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	N	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	S	
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N)	S	

Fig. 33 – Exemplo da folha de cálculo da introdução de dados da ventilação natural

No quadro 16 estão representadas as perdas associadas à renovação de ar das duas fracções.

Quadro 16 - Quadro Resumo das Perdas associadas à Renovação do ar

	Fracção A	Fracção B
	(W/°C)	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	30,14	30,14

A energia necessária para compensar as perdas associadas à renovação de ar é dada pela expressão:

$$Q_{ra} \text{ (kWh)} = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \quad (7)$$

No que se refere aos ganhos solares estes dependem:

- Dos vãos envidraçados e de sua orientação;
- Da radiação incidente nos envidraçados;
- Da duração da estação de aquecimento;
- Dos factores de obstrução (sombreamentos).

Sempre que seja previsível a utilização de cortinas ou de outros dispositivos de protecção solar que normalmente permanecem fechados durante a estação de aquecimento, estes devem ser considerados no factor solar do vão envidraçado. Como este estudo se debruça na análise de situações mais usuais, é tido em consideração a utilização de cortinas interiores. Assim em qualquer solução construtiva foi sempre considerada a utilização de uma cortina interior de cor branca e com uma transparência que permite uma transmitância solar de 70%.

Na figura 34 pode-se observar a folha de cálculo gerada pelo programa no que diz respeito aos ganhos solares pelos envidraçados.

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m²)	Factor de orientação (-)	Factor solar do vão envidraçado (-)	Factor de obstrução (-)	Fracção envidraçada (-)	Factor de sel. angular (-)	Área efectiva (m²)
W	Duplo	1.90	0.56	0.63	0.42	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	1.89	0.56	0.63	0.42	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	1.92	0.56	0.63	0.46	0.70	0.90	0.21
W	Duplo	1.94	0.56	0.63	0.46	0.70	0.90	0.21
W	Duplo	1.70	0.56	0.63	0.44	0.70	0.90	0.18
W	Duplo	2.01	0.56	0.60	0.62	0.90	0.90	0.24
W	Duplo	1.87	0.56	0.63	0.44	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	2.00	0.56	0.63	0.44	0.70	0.90	0.21
Área efectiva total equivalente na orientação SUL (m²)								1.85
								x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona I2 (kWh/m².mês)								93.00
								x
Duração da estação de aquecimento (meses)								6.7
								=
Ganhos solares brutos (kWh/ano)								1028.12

Fig. 34 – Exemplo das folhas de cálculo dos ganhos solares da fracção A

Os ganhos interno de um edifício dependem dos seguintes factores:

- Da funcionalidade do edifício;
- Da duração da estação de aquecimento;
- Da área útil do edifício.

Por forma a garantir uma melhor comparação de resultados obtidos dos diversos programas (capítulo 5), o quadro 17 apresenta os ganhos solares e internos na estação de aquecimento.

Quadro 17 - Quadro Resumo dos Ganhos totais

	Fracção A (kWh)	Fracção B (kWh)
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares brutos	1028,12	1208,81
Ganhos internos brutos	804,84	804,84
Ganhos totais úteis (kWh/ano)	1814,63	1993,32

3.2.3. NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA ARREFECIMENTO

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fracção autónoma de um edifício são a energia útil que é necessário retirar-lhe para manter no seu interior a temperatura de referência de 25°C e 50% de

humidade relativa durante toda a estação convencional de arrefecimento, isto é, nos meses Junho a Setembro, inclusivé [1].

Na estação de arrefecimento, o comportamento térmico do edifício é determinado de forma diferente da estação de aquecimento.

No período de arrefecimento são contabilizados os ganhos pelos elementos da envolvente opaca (ver quadro 18 e 19) que, por sua vez, resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente. No Verão são também tidos em conta os ganhos solares (ver fig. 35), considerando-se, para efeitos de cálculo pelo RCCTE, que as protecções interiores estarão activas a 70%.

As necessidades máximas de energia dispendida para arrefecimento, admitida pelo RCCTE, para os edifícios, encontram-se indicadas na alínea 2 do Artigo 15.º do Regulamento [1]. Essa energia é dada pela seguinte expressão:

$$N_{vc} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} = Q_g \cdot (1 - \eta) / A_p \quad (8)$$

Q_g - ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma;

η - factor de utilização dos ganhos;

A_p - a área útil de pavimento.

Orientação	Área (m²)	Factor solar do vão envidraçado	Fracção envidraçada	Factor de obstrução	Factor sel. vidro	Área efectiva (m²)	RS (kWh/m²)	Ganhos solares (kWh)
W	1.90	0.39	0.70	0.59	0.85	0.26	420	109.20
W	1.89	0.39	0.70	0.61	0.85	0.27	420	113.40
W	3.86	0.39	0.70	0.70	0.85	0.63	420	264.60
W	3.70	0.39	0.70	0.66	0.85	0.57	420	239.40
W	2.01	0.50	0.90	0.90	0.85	0.69	420	289.80
W	1.87	0.39	0.70	0.64	0.85	0.28	420	117.60
TOTAL								1134.00

Fig. 35 – Exemplo das folhas de cálculo dos Ganhos Solares dos vãos envidraçados da fracção A

Quadro 18 - Quadro Resumo

	Fracção A (W/°C)	Fracção B (W/°C)
Perdas associadas as paredes exteriores	25,15	25,15
Perdas associadas à renovação de ar	30,14	30,14
Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores		
Perdas associadas às coberturas exteriores	0	26,69
Perdas associadas a os envidraçados exteriores	40,72	40,72

Quadro 19 - Quadro Resumo

	Fracção A (kWh)	Fracção B (kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	143,34	455,02
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1134,00	1575,00
Ganhos internos	488,39	488,39

3.2.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DA ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Na atribuição de fracções deve-se colocar os dispositivos de aquecimento arrefecimento e preparação das AQS bem como a energia solar necessária, ver figs. 36 e 37. Como já visto no início deste capítulo, para o dimensionamento dos painéis solares foi utilizado o programa “SOLTERM”, comercializado pelo INETI. O sistema deste edifício será independente constituído por caldeira mural com ventilação natural para produção de águas quentes sanitárias, tem uma potência de 24 KW, eficiência de 82%, alimentada a gás propano. Deverá dispor de acumulação de água quente sanitária, com 50 a 100 mm de isolamento e capacidade de 195 litros, através do recurso a um permutador de calor para águas quentes sanitárias de maiores dimensões, aliado a um sensor de caudal e um sensor de temperatura. Possui controlo electrónico com regulação do modo de funcionamento.

Fig. 36 – Exemplo do formulário da AQS relativo à Fracção A

Fig. 37 – Exemplo do formulário da AQS relativo à Fracção B

As tabelas do RCCTE (ver fig. 38), para as necessidades de água quentes sanitárias das duas fracções em estudo são iguais, visto possuírem os mesmos equipamentos e existir apenas um colector solar que alimenta as duas fracções.

Necessidades de energia para preparação das AQS (Nac)	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de AQS, Q_u	1528.26
	/
Eficiência de conversão desses sistemas de AQS, η_s	0.82
	=
	1863.73
	-
Contribuição de sist. de colectores solares para o aquec. de AQS, E_{solar} [kWh/ano]	1226.0
	-
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para o aquec. de AQS, E_{ren} [kWh/ano]	0.00
	=
	637.73
	/
Área útil de pavimento [m^2]	41.71
	=
Necessidades de energia para preparação das AQS, Nac [kWh/ m^2 .ano]	15.29

Fig. 38 – Folha de cálculo das AQS das fracções A e B

Apesar das necessidades nominais de águas quentes sanitárias não serem estudadas no programa EnergyPlus, foram abordadas neste capítulo de forma simplificada.

As folhas de cálculo geradas no programa Cypeterm encontram-se em anexo.

3.2.5. APRECIACÃO GERAL DO COMPORTAMENTO DE EDIFÍCIO

As necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento assim como as de águas quentes sanitárias das duas fracções em estudo, encontram-se resumidas no quadro 20, que resultam da utilização do programa Cypeterm como ferramenta de cálculo térmico.

Quadro 20 - Quadro Resumo

	Fracção A kWh/ m^2 .ano	Fracção B kWh/ m^2 .ano
Nic	84,12	92,33
Ni	90,73	99,46
Nvc	8,89	15,70
Nv	16	16
Nac	15,29	15,29
Na	56,71	56,71
Ntc	3,84	4,14
Nt	8,62	8,70

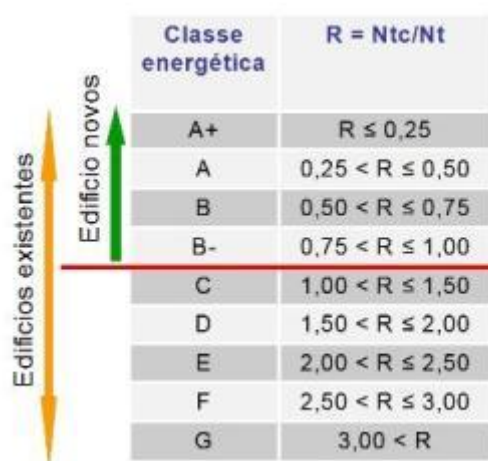
Da análise dos valores obtidos verifica-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento das duas fracções estão muito perto do valor limite, o que significa que poderiam não satisfazer os limites impostos pelo RCCTE. Por outro lado o uso dos painéis solares implica baixas necessidades de aquecimento de águas quentes sanitárias baixas, fazendo com que no geral um comportamento térmico aceitável.

Como a Classe de Eficiência Energética é determinada pela razão entre as necessidades nominais globais de energia primária N_{tc} de um edifício e o valor limite N_t , estimado apartir dos valores N_i , N_v e N_a ($R=N_{tc}/N_t$) verifica-se que estas duas fracções possuem uma classe energética A. Como se pode verificar na quadro 21.

Quadro 21 – Resumo da Classe Energética das fracções

Fracção autónoma	A_p m^2	N_{tc} $kg_{ep}/m^2.ano$	N_t $kg_{ep}/m^2.ano$	$R = N_{tc}/N_t$	Classe Energética
Fracção A	41,71	3,84	8,62	0,45	A
Fracção B	41,71	4,14	8,70	0,48	A

A escala utilizada na classificação energética, retirada da ADENE [15], apresenta-se na seguinte.



Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Fig. 39 – Classe Energética dos edifícios

4

SIMULAÇÃO COM O PROGRAMA ENERGYPLUS

4.1. INTRODUÇÃO

Outra ferramenta utilizada no presente trabalho, para além do Cypeterm, foi o *EnergyPlus* com a versão 5.0 (Setembro de 2010) [2]. O *EnergyPlus* é um programa informático concebido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, DOE (*The Department of Energy*), a partir de programas já existentes, o BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e o DOE-2, ambos desenvolvidos no final dos anos 70 e início dos anos 80 e objectiva auxiliar o estudo e análise de edifícios do ponto de vista térmico.

Esta ferramenta baseia-se numa metodologia de cálculo dinâmico, que permite aumentar o rigor aquando da avaliação do comportamento térmico do edifício em causa [13].

Após uma breve descrição do caso de estudo e da utilização da ferramenta informática Cypeterm para a exportação de dados para o programa *EnergyPlus*. O presente capítulo abordará os dados e os resultados gerados no programa *EnergyPlus*, com maior relevância para esta dissertação.

4.2. EXPORTAÇÃO DE DADOS NO CYPETERM

A exportação de dados do Cypeterm para o *EnergyPlus* pode ser feita de forma automática, apresentando-se de seguida os passos executados e os resultados obtidos.

Assim, para agrupar os vários compartimentos numa zona térmica, opta-se pela exportação simplificada (ver fig. 40), deste modo o programa ao agrupar os compartimentos vai reduzir o número de zonas, bem como diminuir os elementos a serem exportados, o que leva a uma diminuição de tempo de cálculo.

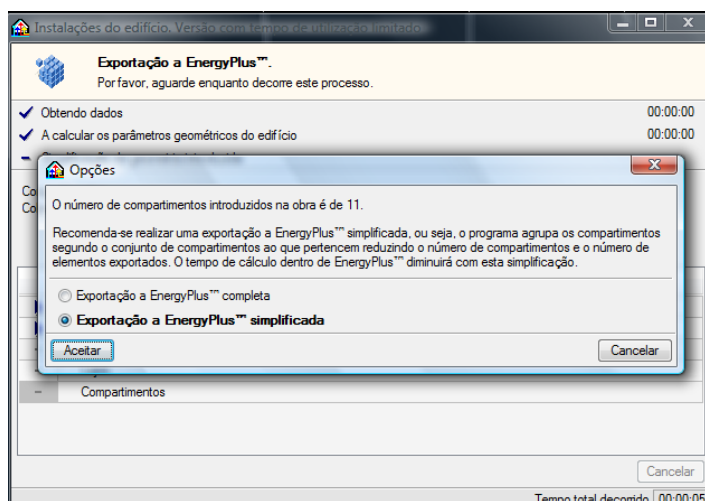


Fig. 40 – Exportação simplificada

Ao exportar para o EnergyPlus, o programa Cypeterm usa já o programa EnergyPlus como motor de cálculo para gerar o edifício em 3D, bem como as zonas e sombreamentos exportados (como se pode observar nas figs. 41 à 45) calculando posteriormente as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício. O ficheiro climático elaborado estatisticamente [16] necessita de ser introduzido para que a simulação seja feita para um ano típico e não, especificamente, para o ano da presente dissertação [17].

Os detalhes relativamente a parâmetros de cálculo são apresentados nos sub-capítulos seguintes.

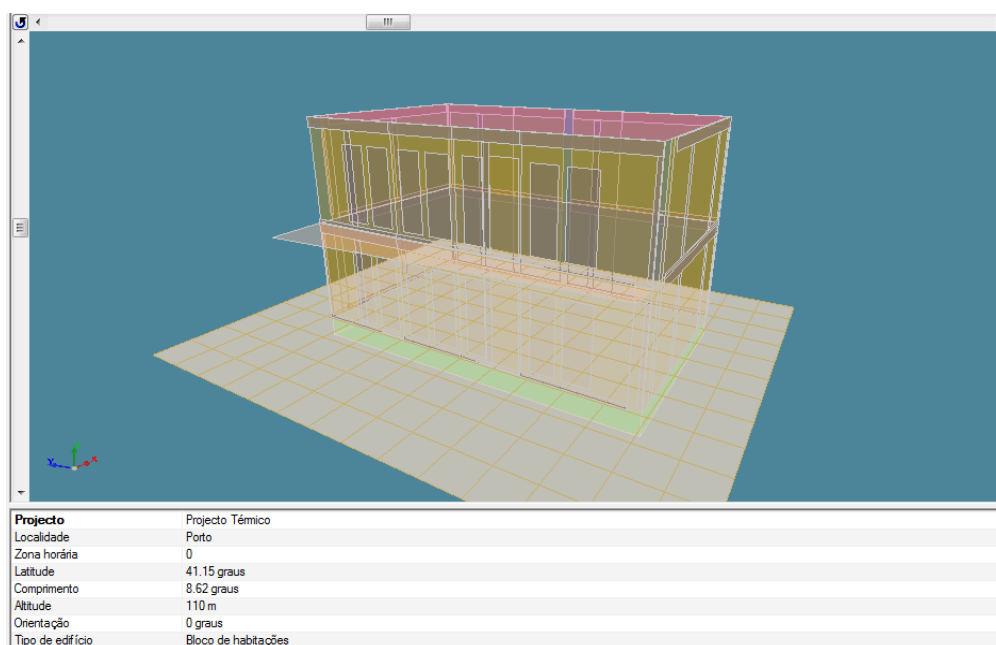


Fig. 41 – Vista do edifício exportado

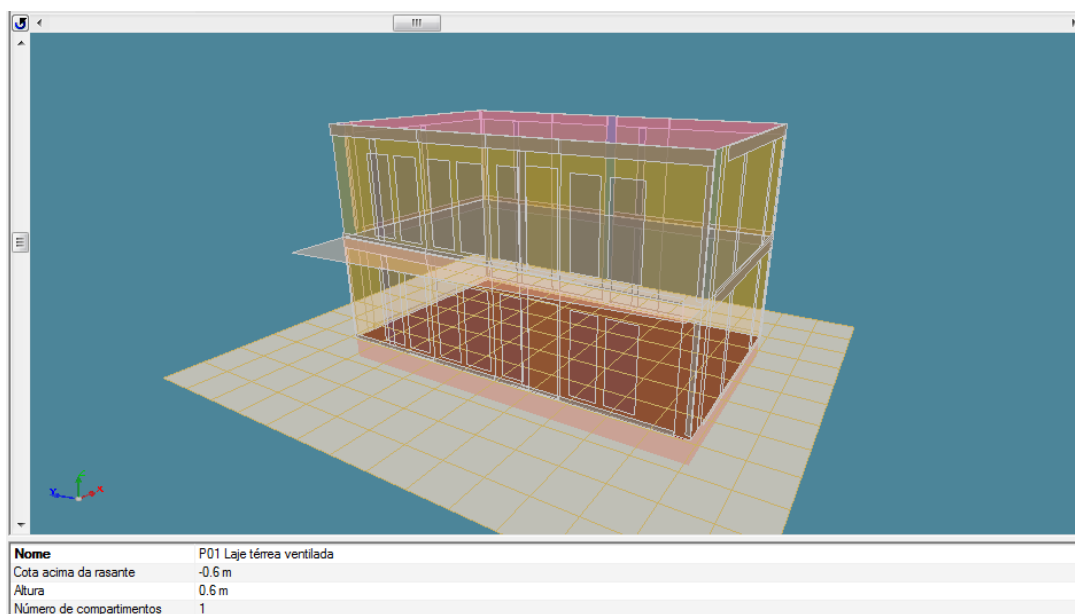


Fig. 42 – Vista do pavimento sobre um desvão sanitário

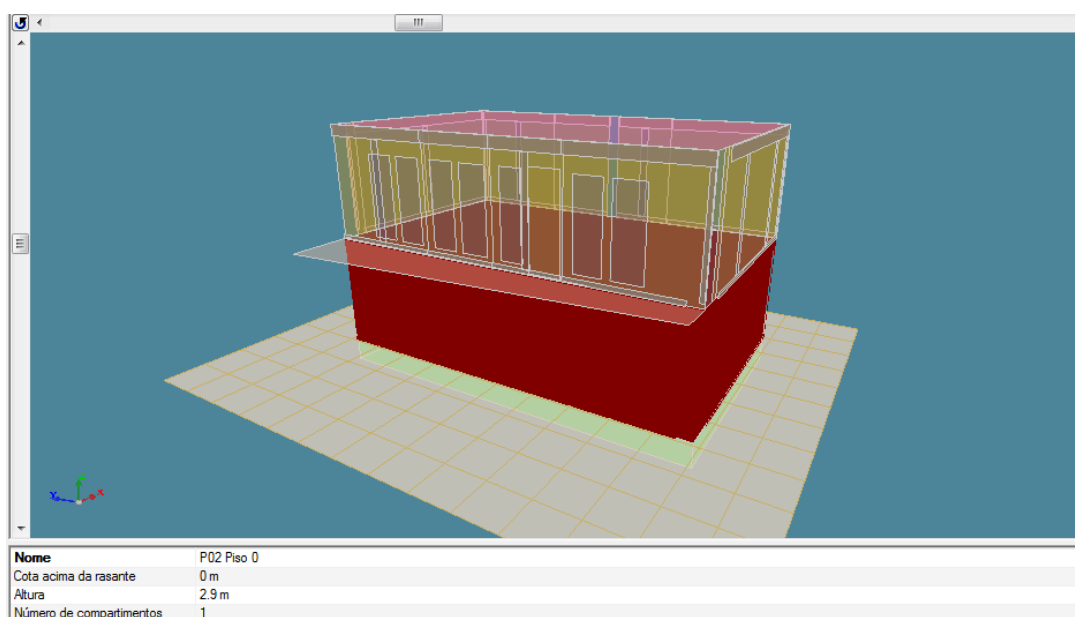


Fig. 43– Vista Piso 0

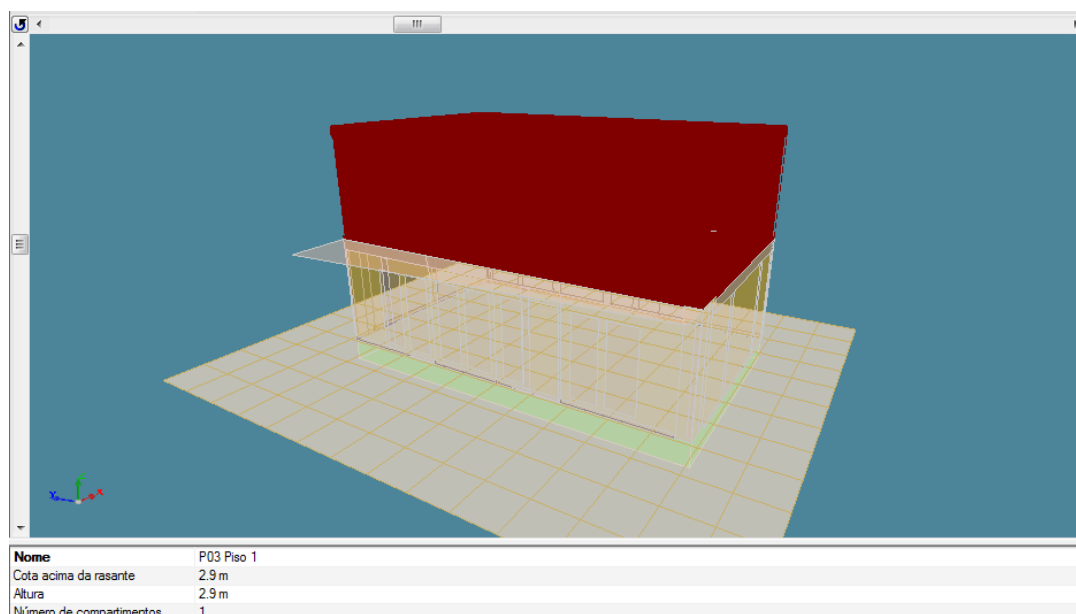


Fig. 44 – Vista Piso 1

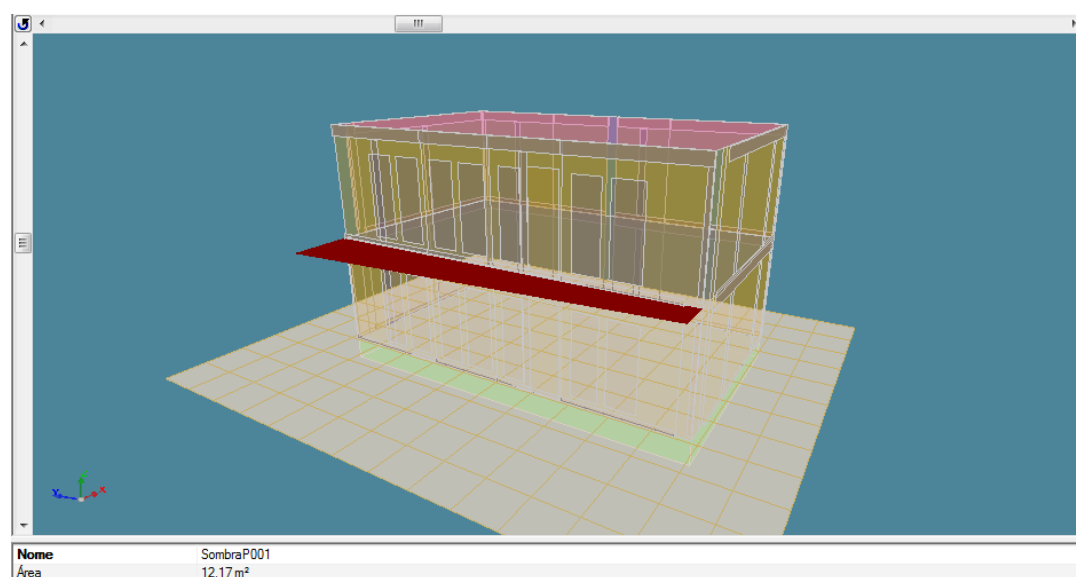


Fig. 45 – Sombras próprias (varanda piso 1)

4.2.1. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

O primeiro grupo de introdução de dados corresponde aos parâmetros da simulação, como é possível visualizar na figura 46; este grupo é subdividido em diversos campos.

O campo do controlo da simulação indica que a simulação será efectuada anualmente e para um ficheiro climático definido (neste caso o da cidade do Porto) e não para um período restrito de tempo; não serão calculadas dimensões.

Outro campo importante de referir é o que diz respeito aos parâmetros referentes ao edifício, tais como o ângulo em planta que o edifício faz com o norte (0°C), o tipo de zona em que o edifício se encontra

inserido (cidade), os valores de convergência, o tipo de distribuição solar, sendo neste caso toda a radiação solar transmitida que entra na zona é absorvida pelo piso, de acordo com a sua absorptância solar (“Full Exterior”) e o máximo de dias de preparação da simulação. Este separador está presente na figura 46.

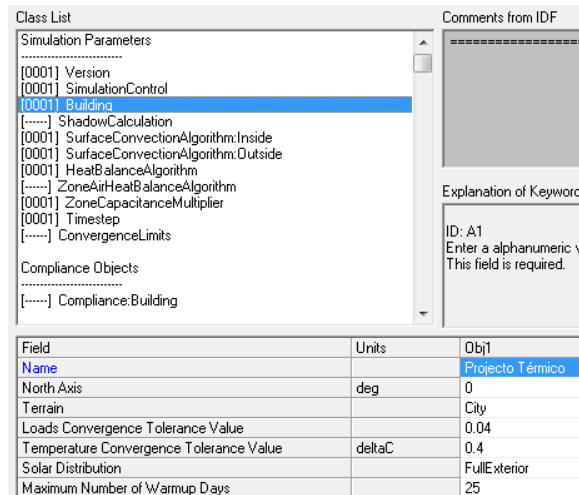


Fig. 46 – Parâmetros de simulação

4.2.2. LOCALIZAÇÃO E CLIMA

Neste campo são introduzidos dados referentes à localização do edifício, tais como a latitude, longitude, elevação e o fuso horário relativamente ao GMT, como se apresenta na figura 47. Pode-se verificar que estes dados são correspondentes à cidade do Porto, estes dados, foram exportados do programa Cypeterm e estão na base de dados do programa.

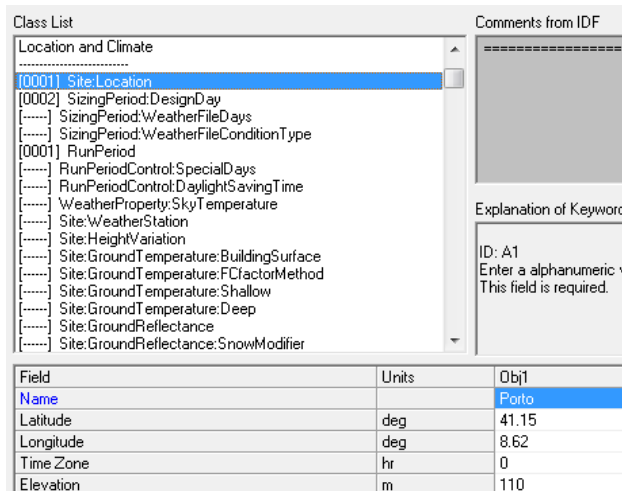


Fig.47 – Localização e Clima

No gráfico da figura 48 é possível observar uma das variáveis do clima exterior a evolução da temperatura na zona do Porto ao longo de um ano de acordo com os dados relativos ao ano meteorológico típico, TMY. Um ficheiro de dados deste tipo contém valores horários meteorológicos que caracterizam as condições de um local específico durante um longo período de tempo.

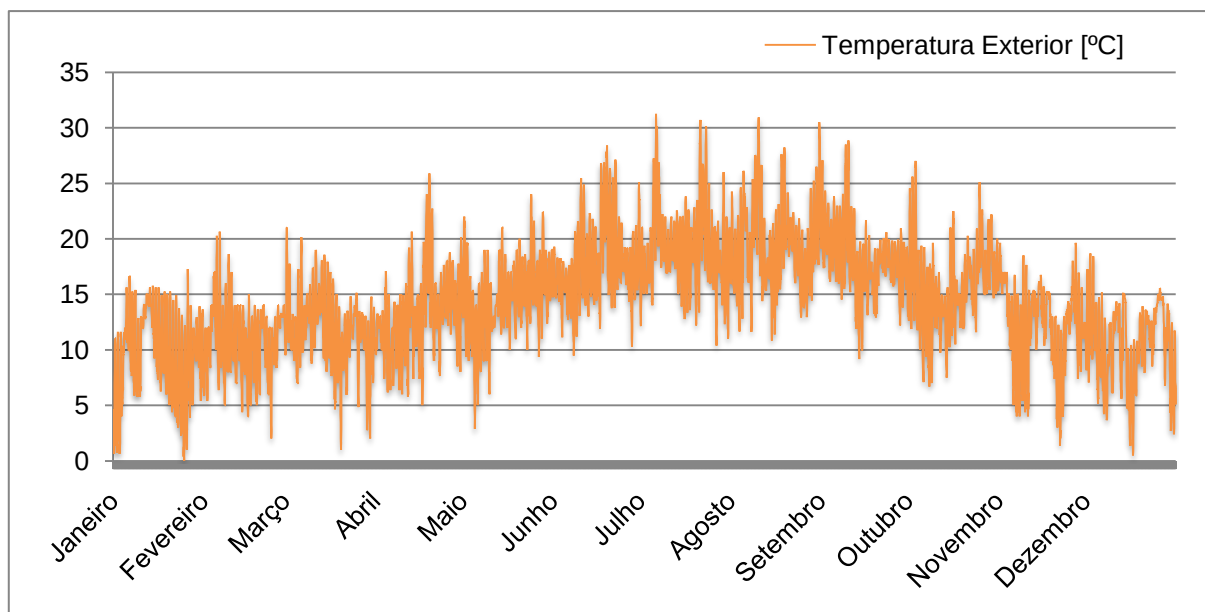


Fig. 48 – Gráfico de variação da temperatura exterior

4.2.3. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS OPACOS

Na definição dos materiais, os valores característicos como espessura (e), condutibilidade térmica (λ), densidade (ρ), calor específico (C_p) e resistência térmica (R) são exportados do Cypeterm, onde são definidos no programa Cypeterm, tal como descritos no capítulo 3. Estes parâmetros são importantes para uma boa caracterização dos materiais. Podemos observar no quadro 22 as propriedades dos materiais utilizados neste caso de estudo.

Quadro 22 – Resumo das propriedades dos Materiais [3]

Material	Camadas				
	e	ρ	λ	R	C_p
Areia, gravilha, seixo, brita	8	1950	2	0,04	1000
Argamassa de cimento	1,5	1900	1,3	0,0115	1000
Betão	20	2400	1,65	0,121	1000
Betão armado	30	2400	2,3	0,13	1000
Betão leve	10	1400	1,9	0,0526	1000
Laje aligeirada	26	1361,54	1,42	0,183	1000
Lajeta flutuante	6	1900	1,3	0,0462	1000
Mosaico cerâmico	2	2300	1,3	0,0154	800
Poliestireno expandido (EPS)	5	20	0,04	1,25	1000
Poliestireno extrudido (XPS)	4	20	0,037	1,08	1000

Camadas					
Material	e	ρ	λ	R	Cp
Reboco tradicional	1	2000	1,8	0.00556	1000
Reboco tradicional	2	2000	1,8	0,0111	1000
Soalho	2	300	0,1	0.2	1000
Tela de Impermeabilização	1	1000	0,2	0,05	1000
Tijolo cerâmico furado (11 cm)	11	875,5	0,4	0,275	1000
Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15	816,7	0,384	0,391	1000

Abreviaturas utilizadas			
e	Espessura (cm)	R	Resistência térmica (m^2K/W)
ρ	Massa volúmica (kg/m^3)	Cp	Calor específico (J/kgK)
λ	Condutibilidade (W/mK)		

É de notar que o calor específico apesar de não ser usado no cálculo referido no RCCTE, consta na base de dados do Cypeterm. Aparentemente são valores aproximados; por exemplo o valor de Cp para o poliestireno extrudido apresenta valores de 1210 (J/kgK), tomando neste programa o valor de 1000 (J/kgK). Outro exemplo diz respeito ao tijolo cerâmico de 11 cm, que apresenta o valor de 920 (J/kgK), apresentando neste programa o valor de 1000 (J/kgK). Estes valores do calor específico foram consultados na publicação ASHRAE [18] ou ainda no site “*The Engineering Tool Box*” [19].

4.2.4. DEFINIÇÃO DOS ENVIDRAÇADOS

Neste campo são introduzidos os valores característicos dos envidraçados existentes no edifício em estudo. No EnergyPlus é permitido introduzir os envidraçados de diferentes maneiras, como podemos observar nas fig.49 e 50.

Uma das formas de introdução das propriedades dos envidraçados (ver fig.50) é aquela em que são introduzidas diversas propriedades como a emissividade, condutibilidade térmica, transmitância, espessura, entre outros. Os valores apresentados constam da exportação feita através do programa Cypeterm pelo que se pode constatar que esses valores devem pertencer à base de dados do programa, tratando-se possivelmente de um envidraçado tipo. Uma forma mais simplificada, presente na figura 49, é através da introdução do coeficiente de transmissão térmica (U) e o factor solar do vidro, tratando o envidraçado como um todo, não sendo necessário decompor por camadas.

Os valores da condutibilidade térmica dos envidraçados para o cálculo do RCCTE são retirados do ITE 50 [8], o que não estipula as dimensões das caixilharias e a sua condutância, sendo que pelo programa EnergyPlus são contabilizados. Outro aspecto está relacionado com as propriedades dos envidraçados; no RCCTE apenas é necessário saber a constituição do mesmo (simples ou duplo) e

com o auxílio do ITE 50, retiram-se os valores do coeficiente de condutibilidade térmica (λ), não sendo necessário conhecer outras propriedades dos envidraçados.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Janelas	Portas
U-Factor	W/m ² ·K	2.7	2.5
Solar Heat Gain Coefficient		0.63	0.5
Visible Transmittance			

Fig. 49 – Envidraçados na situação de Inverno e Verão

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		V02_Vidro (40mm)	V01_Envidracado_U_2_70_W_m2K (6mm)
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name			
Thickness	m	0.04	0.006
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.485	0.6975
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.46	0.0925
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.46	0.0925
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.70333	0.8225
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.15	0.14
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.15	0.14
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Conductivity	W/m·K	0.17391	0.02994
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance			
Solar Diffusing			

Fig. 50 – Envidraçados

4.2.5. DEFINIÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

O edifício em estudo é dividido em três zonas térmicas. Cada piso equivale a uma nova zona térmica, sendo também considerado o desvão sanitário uma outra zona.

Class List

- Thermal Zones and Surfaces
- [0001] GlobalGeometryRules
- GeometryTransform
- [0003] Zone**
- ZoneList
- ZoneGroup
- [0037] BuildingSurface:Detailed
- Wall:Detailed
- RoofCeiling:Detailed
- Floor:Detailed
- Wall:Exterior
- Wall:Adiabatic
- Wall:Underground
- Wall:Interzone
- Roof
- Ceiling:Adiabatic

Comments from IDF

```
===== FLOOR: Laje térrea ventilada =====
..... ZONE: P01_E01 Espacio01 .....
[SPACE= Espacio01] [FACES=6]
```

Explanation of Keyword

ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		P01_E01 Espacio01	P02_E01 Fracção A	P03_E01 Fracção B
Direction of Relative North	deg	0	0	0
X Origin	m	0	0	0
Y Origin	m	0	0	0
Z Origin	m	-0.6	0	2.9
Type		1	1	1
Multiplier		1	1	1
Ceiling Height	m	0.6	2.9	2.9
Volume	m3	33.178	160.363	160.363
Zone Inside Convection Algorithm				
Zone Outside Convection Algorithm				
Part of Total Floor Area				

Fig. 51 – Zonas Térmicas

Em relação às condições fronteira e uma vez que a habitação possui um elevado número de elementos construtivos, será apenas apresentada uma relação generalizada das mesmas:

- as paredes que estão em contacto com o exterior estão sujeitas à acção do vento e do sol;
- por outro lado, os pavimentos não estão sujeitos à acção do vento nem do sol, visto não se encontrarem em contacto com o exterior;
- a cobertura plana, tal como as paredes exteriores está em contacto directo com o exterior, estando também exposta à acção do vento e do sol;

A maior parte dos elementos construtivos são modelados por quatro vértices. Como exemplo da geometria do edifício, podemos observar a figura 52.

Class List		Comments from IDF							
Thermal Zones and Surfaces									
[0001] GlobalGeometryRules									
[.....] GeometryTransform									
[0003] Zone									
[.....] ZoneList									
[.....] ZoneGroup									
[0037] BuildingSurface:Detailed									
[.....] Wall:Detailed									
[.....] RoofCeiling:Detailed									
[.....] Floor:Detailed									
[.....] Wall:Exterior									
[.....] Wall:Adiabatic									
[.....] Wall:Underground									
[.....] Wall:Interzone									
[.....] Roof									
[.....] Ceiling:Adiabatic									
Explanation of Keyword		ID: A2 Select from list of choices This field is required.							
Field	Units	Obj30	Obj31	Obj32	Obj33	Obj34	Obj35	Obj36	Obj37
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Floor	Roof
Construction Name		C08_P_Ext_2	C08_P_Ext_2	C08_P_Ext_2	C08_P_Ext_2	C10_PTP_Pilares_P_Ext_2	C08_P_Ext_2	C12_Pav_Piso1 (Inv)	C06_Cobertura
Zone Name		P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B	P03_E01 Fracção B
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Surface	Outdoors
Outside Boundary Condition Object								P02_E01_C17	
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	6	5
Vertex 1 X-coordinate	m	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.49825	-2.25335	-2.90625	-2.90625
Vertex 1 Y-coordinate	m	4.84983	1.95605	0.02615	-1.77425	-4.84585	-4.84335	-4.84995	-4.85005
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	0	0	2.9
Vertex 2 X-coordinate	m	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.25335	2.90635	-2.90625	-2.90625
Vertex 2 Y-coordinate	m	1.95605	0.02615	-1.77425	-4.84983	-4.84335	-4.79245	4.65005	-4.64995
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	0	0	2.9
Vertex 3 X-coordinate	m	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.25335	2.90635	-2.24675	2.90625
Vertex 3 Y-coordinate	m	1.95605	0.02615	-1.77425	-4.84983	-4.84335	-4.79245	4.62755	-4.79245
Vertex 3 Z-coordinate	m	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	0	2.9
Vertex 4 X-coordinate	m	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.90635	-2.49825	-2.25335	2.83325	2.83325
Vertex 4 Y-coordinate	m	4.84983	1.95605	0.02615	-1.77425	-4.84585	-4.84335	4.65605	4.65605
Vertex 4 Z-coordinate	m	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	0	2.9
Vertex 5 X-coordinate	m							2.90625	-2.50225
Vertex 5 Y-coordinate	m							-4.79245	4.83605

Fig. 52– Geometria do edifício

Para a introdução dos vidros e portas existentes no edificado é utilizado o campo *FenestrationSurface:Detailed*. Tal como na elaboração da geometria, a sua inserção é conseguida com o recurso a coordenadas cartesianas, sendo também necessária a indicação, entre outros aspectos, da superfície onde a dita porta/janela se encontra inserida. Deste modo, a ligação entre o presente campo com o campo *BuildingSurface:Detailed* torna-se inevitável.

Neste grupo são ainda colocados o sombreamento proporcionado quer por outros edifícios quer por varandas, sendo estes inseridos no campo *Shading:Building:Detailed*.

Neste grupo, ver fig. 53, foi ainda definido que a actividade dos estores de lâminas interiores do edifício.

Class List		Comments from IDF	
[0002] Material:AirGap			
[0002] WindowMaterial:Glazing			
[0001] WindowMaterial:Shade			
[0019] Construction			
[0001] GlobalGeometryRules			
[0003] Zone			
[0037] BuildingSurface:Detailed			
[0078] FenestrationSurface:Detailed			
[0001] WindowProperty:ShadingControl			
[0010] WindowProperty:FrameAndDivider			
[0002] InternalMass			
[0001] Shading:Building:Detailed			
[0002] Lights			
[0003] ZoneInfiltration:DesignFlowRate			
[0002] ZoneControl:Thermostat			
[0001] ThermostatSetpoint:DualSetpoint			
[0002] ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem			
[0002] ZoneHVAC:EquipmentList			
Field	Units	Obj1	
Name		{WSC_CON_Persiana bajada	
Shading Type		InteriorShade	
Construction with Shading Name			
Shading Control Type		OnHighSolarOnWindow	
Schedule Name			
Setpoint	W/m2, W or deg	50	
Shading Control Is Scheduled		No	
Glare Control Is Active		No	
Shading Device Material Name		{WSC_MAT_Persiana	

Fig. 53 – Definição dos sombreamentos interior

4.2.6. DEFINIÇÃO DA VENTILAÇÃO

A ventilação é outro factor importante no cálculo térmico de um edifício. Este grupo, *Zone Infiltration*, corresponde ao fluxo de ar para a ventilação da zona térmica pretendida de forma não mecânica.

O cálculo do fluxo de ar máximo na zona (*Design Flow Rate*) é feito através da seguinte fórmula:

$$\text{Fluxo de ar máximo (m}^3\text{/s)} = (\text{Volume} \cdot \text{Rph}) / 3600 \quad (9)$$

$$\text{Fluxo de ar máximo (m}^3\text{/s)} = (2,5 \cdot 41,709 \cdot 0,85) / 3600 = 0,0246 \text{ m}^3\text{/s} \quad (10)$$

Class List		Comments from IDF		
Zone Airflow				
[1000] ZoneInfiltration:DesignFlowRate				
[.....] ZoneInfiltration:EffectiveLeakageArea				
[.....] ZoneInfiltration:FlowCoefficient				
[.....] ZoneVentilation:DesignFlowRate				
[.....] ZoneVentilation:WindandStackOpenArea				
[.....] ZoneMixing				
[.....] ZoneCrossMixing				
[.....] ZoneEarthtube				
[.....] ZoneCoolTower:Shower				
[.....] ZoneThermalChimney				
Natural Ventilation and Duct Leakage				
[.....] AirflowNetwork:SimulationControl				
[.....] AirflowNetwork:MultiZone:Zone				
		Explanation of Keyword		
		Infiltration is specified as a design level which is modified by a Schedule fraction, temp		
		Infiltration=design * FSchedule * (A + B*(Tzone-Todb)) + C*WindSpd + D * WindSpd		
		"D" in Equation		
		ID: N8		
		Default: 0		
		Range: 0 <= X, but no maximum		
		This field is required.		
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		P01_E01 Espacio01_Infil	P02_E01 Fracção A_Infil	P03_E01 Fracção B_Infil
Zone Name		P01_E01 Espacio01	P02_E01 Fracção A	P03_E01 Fracção B
Schedule Name		Constante	Constante	Constante
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	Flow/Zone	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s	0	0.0246	0.0246
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2			
Air Changes per Hour		10	0.85	0.85
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				

Fig. 54 – Ventilação

4.2.7. DEFINIÇÃO DOS GANHOS INTERNOS

Neste campo será importante referir os ganhos internos causados por ocupação de pessoas, iluminação e equipamentos.

De forma a tornar o cálculo dos ganhos internos mais simples e encontrar uma analogia com os valores obtidos com o RCCTE, que considera os ganhos associados a fontes internas de calor calculados com base num valor médio de ganhos internos por unidade de área útil de pavimento, considerou-se no programa EnergyPlus os ganhos internos com o valor 4 W / m² [20]. Os ganhos internos são considerados como sendo de outro equipamento (*Other Equipment*).

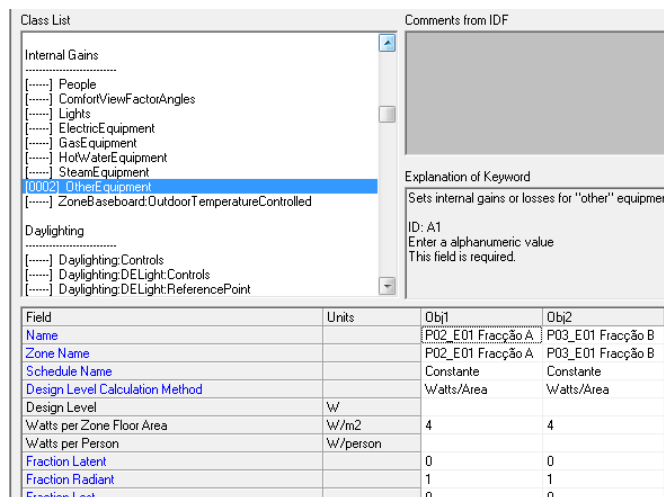


Fig. 55 - Ganhos Internos

4.2.8. VARIÁVEIS DE SAÍDA

O grupo *Report* destina-se a definir os resultados que se pretendem que o EnergyPlus extraia.

As variáveis de saída, de entre muitas variáveis existentes na lista de resultados que o software apresenta, as que mais interessam conhecer são as seguintes:

- Temperatura do ar exterior (*Outdoor Dry Bulb [°C]*);
- Ganhos de calor pelos vãos envidraçados (*Zone Window Heat Gain [J]*);
- Perdas de calor pelos vãos envidraçados (*Zone Window Heat Loss [J]*);
- Ganhos de calor pela envolvente exterior (*Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy[J]*);
- Perdas de calor pela envolvente exterior (*Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy[J]*);
- Ganhos internos (*Other Equipment Total Heat Gain [J]*);
- Perdas de calor pela renovação de ar (*Zone Infiltration Total Heat Loss [J]*);
- Ganhos de calor pela renovação de ar (*Zone Infiltration Total Heat Gain [J]*);
- Temperatura média do ar interior (*Zone/Sys Air Temperature [°C]*);

Nas figuras 56 e 57 que se seguem podemos observar o edifício final exportado para o EnergyPlus, nas diversas perspectivas.

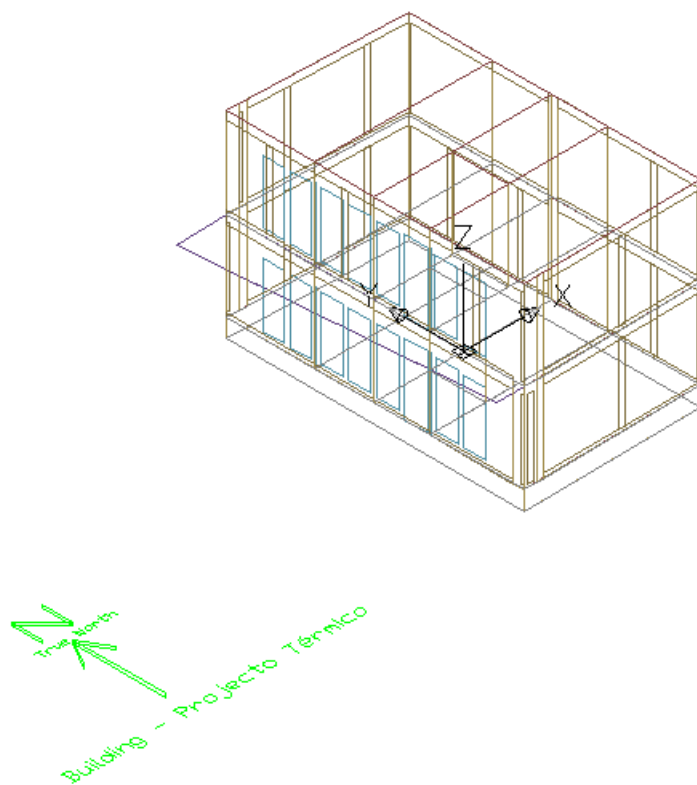


Fig. 56 – Vista SW

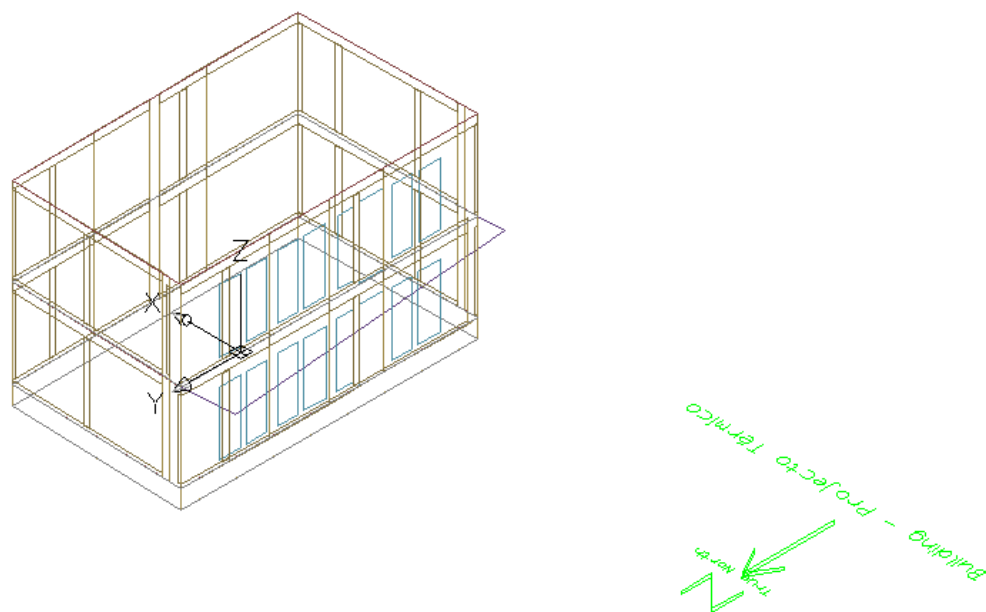


Fig. 57 – Vista NW

4.2.9. RESULTADOS FINAIS

De forma a analisar os valores obtidos no programa EnergyPlus em termos de perdas e ganhos energéticos do edifício em estudo, foi considerada a estação de aquecimento entre Outubro e Abril (7 meses) e a estação de arrefecimento entre Junho e Setembro.

Os valores horários obtidos em joules, foram somados para cada estação e convertidos para kWh, para tornar mais simples a comparação de valores.

Para melhor comparação e análise no capítulo seguinte, no quadro 23 e nas figs. 58 e 59, apresenta-se os resultados das perdas e ganhos das duas fracções em estudo, através do programa EnergyPlus.

Quadro 23 – Valores de Cálculo da Fracção A e B

	Fracção A (kWh)	Fracção B (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	2020,78	2679,17
Perdas associadas aos vãos Envidraçados Exteriores	850,09	889,80
Perdas associadas à Renovação de ar	1497,04	1541,29
Ganhos úteis na Estação de Aquecimento		
Ganhos solares	1171,06	1507,60
Ganhos internos	1125,51	1125,51
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	973,65	899,68
Perdas associadas aos vãos Envidraçados Exteriores	301,27	360,47
Perdas associadas à Renovação de ar	448,23	461,80
Ganhos solares pela Envolvente Opaca	294,83	541,86
Ganhos solares pelos vãos Envidraçados Exteriores	949,90	1228,25
Ganhos internos	647,65	647,65

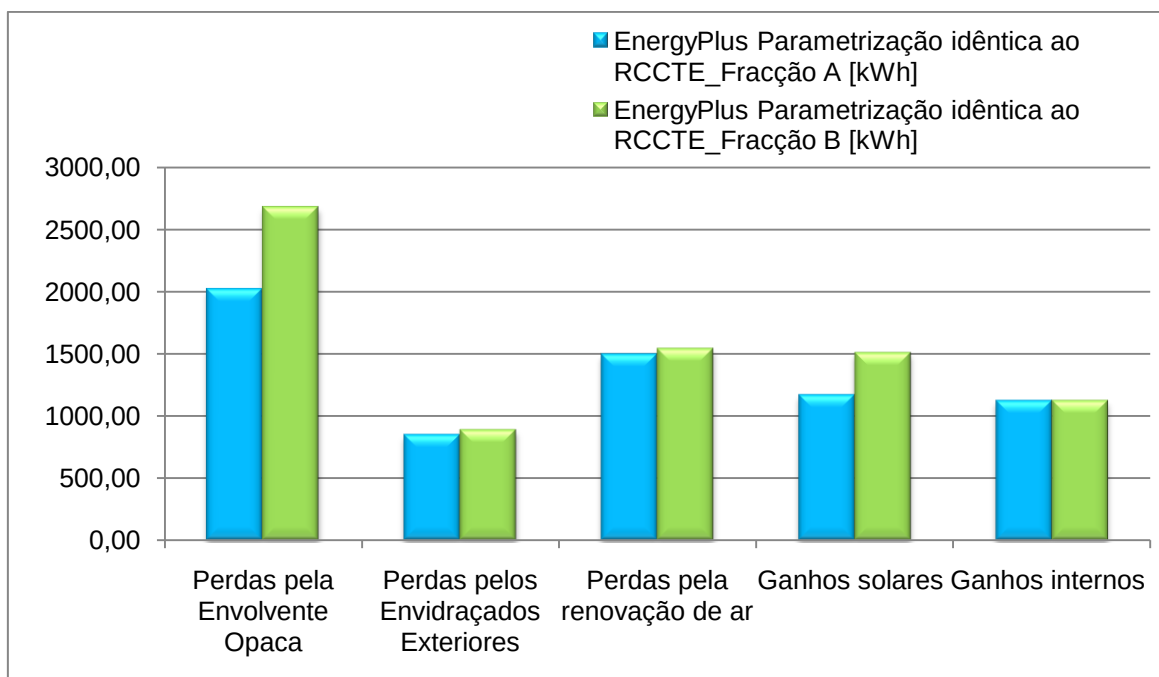


Fig. 58 – Gráficos comparativos de ganhos e perdas das Fracções A e B, na estação de aquecimento

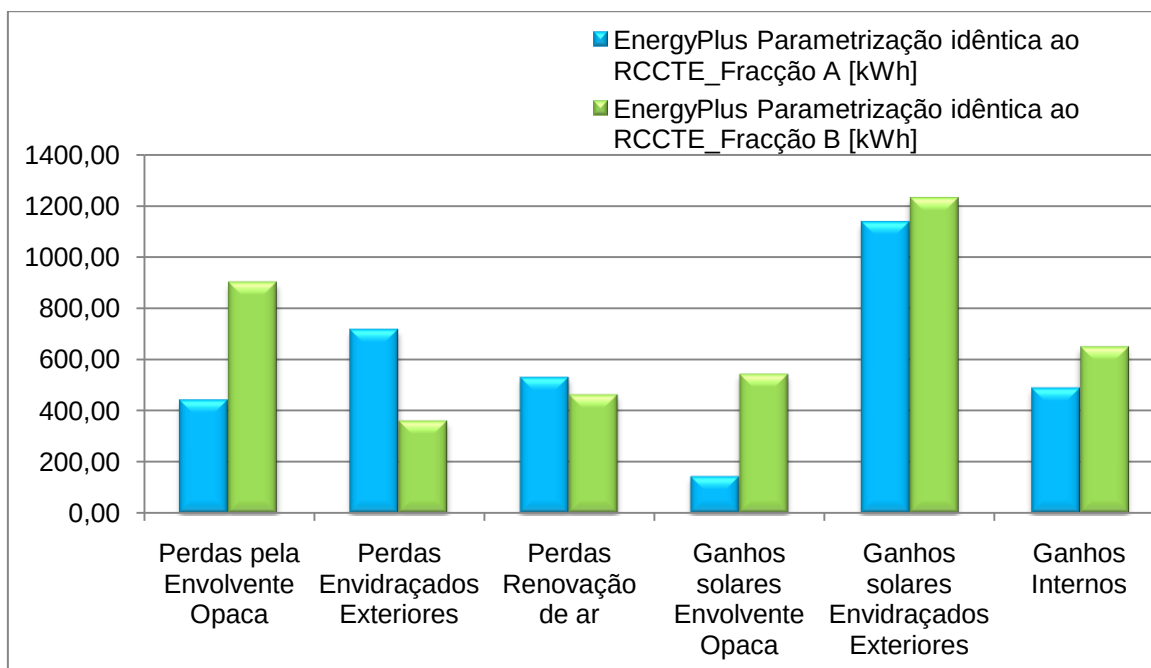


Fig. 59 – Gráficos comparativos de ganhos e perdas das Fracções A e B, na estação de arrefecimento

Da análise dos resultados obtidos pelo programa EnergyPlus verifica-se que, no que diz respeito à estação de aquecimento, a fracção B possui valores mais elevados em termos de perdas pela envolvente opaca ganhos solares, o que já era de se esperar pois apresenta uma maior área em contacto com exterior e não possui sombra exterior, de forma a diminuir os ganhos solares. OS valores dos ganhos internos e das perdas por renovação de ar são muito próximos.

Em relação à estação de arrefecimento, a fracção B apresenta uma percentagem maior de ganhos de calor em relação à fracção A. A fracção A apresenta valores superiores em termos de perdas pelos vãos envidraçados. Tal como na estação de aquecimento os valores das perdas por renovação de ar e dos ganhos internos estão muito próximos para as duas fracções.

Os gráficos referentes às variações das temperaturas interiores das duas fracções autónomas apresentam-se nas figuras seguintes, fig 60 e 61.

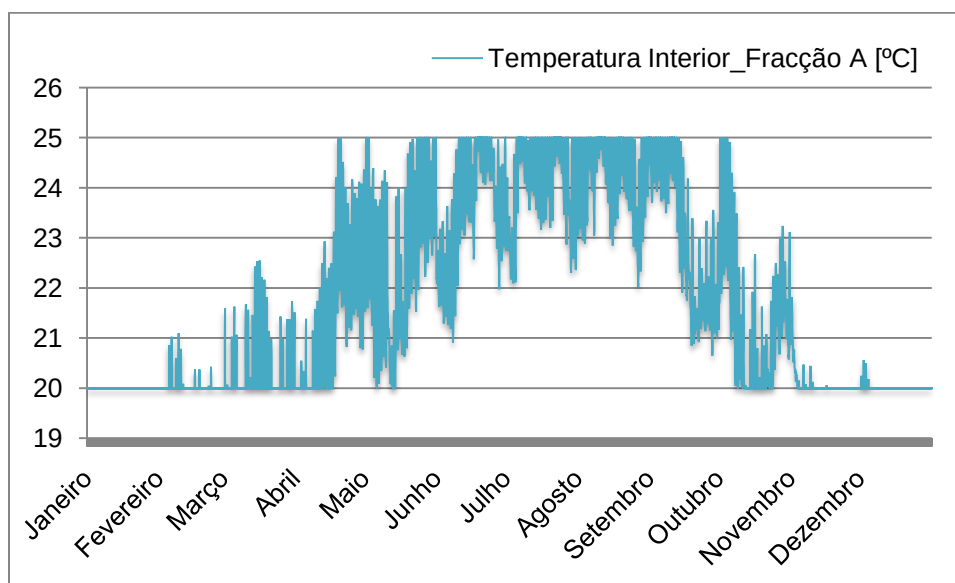


Fig. 60 – Variação da temperatura interior da Fracção A

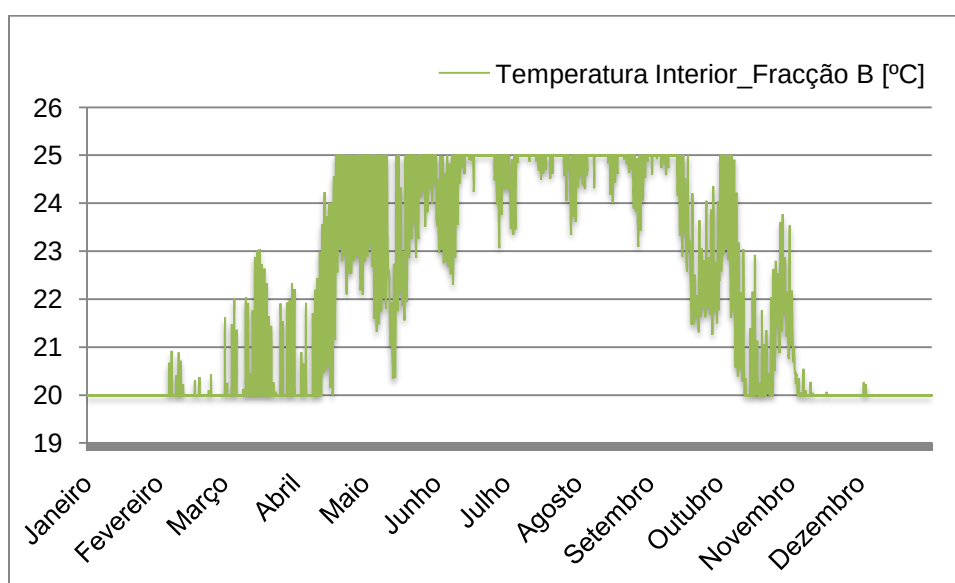


Fig. 61 – Variação da temperatura interior da Fracção B

No que diz respeito à variação das temperaturas interiores, estas atingem, na fracção A, valores mais próximos de 20°C nos meses de Dezembro e Janeiro, aumentando na ordem de 2 a 3°C nos outros meses da estação de aquecimento. Na fracção B verificam-se temperaturas na estação de aquecimento ligeiramente inferiores à da fracção A.

5

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. ENQUADRAMENTO

A aplicação dos dois programas informáticos, Cypeterm e EnergyPlus, no cálculo do comportamento térmico de um edifício, permitiu que, neste capítulo fossem comparados os valores obtidos pelo método do RCCTE implementado através do Cypeterm com o EnergyPlus utilizando uma parametrização idêntica ao do RCCTE. Outra comparação possível é a dos valores do RCCTE com o EnergyPlus utilizando uma parametrização mais próxima do real.

Outro estudo feito foi a análise dos resultados obtidos considerando cada compartimento das duas fracções uma zona térmica diferente, isto é, 5 zonas térmicas por fracção, comparando com uma zona térmica por fracção.

É esta análise comparativa que permitirá atingir os objectivos propostos nesta dissertação.

5.2. CYPETERM VS. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO DO REGULAMENTO (RCCTE).

5.2.1. ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

As perdas e os ganhos de calor associados às zonas térmicas do edifício em estudo, ao longo da estação de aquecimento, são apresentados nos quadros 24 e 25. As figs. 62 e 63 são gráficos comparativos dos dois programas em estudo.

Quadro 24 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	Cypeterm (kWh)	EP (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	2585,40	2020,78
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	1573,42	850,09
Perdas associadas à renovação de ar	1164,60	1497,04
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares	1028,12	1171,06

Ganhos internos	804,64	1125,51
-----------------	--------	---------

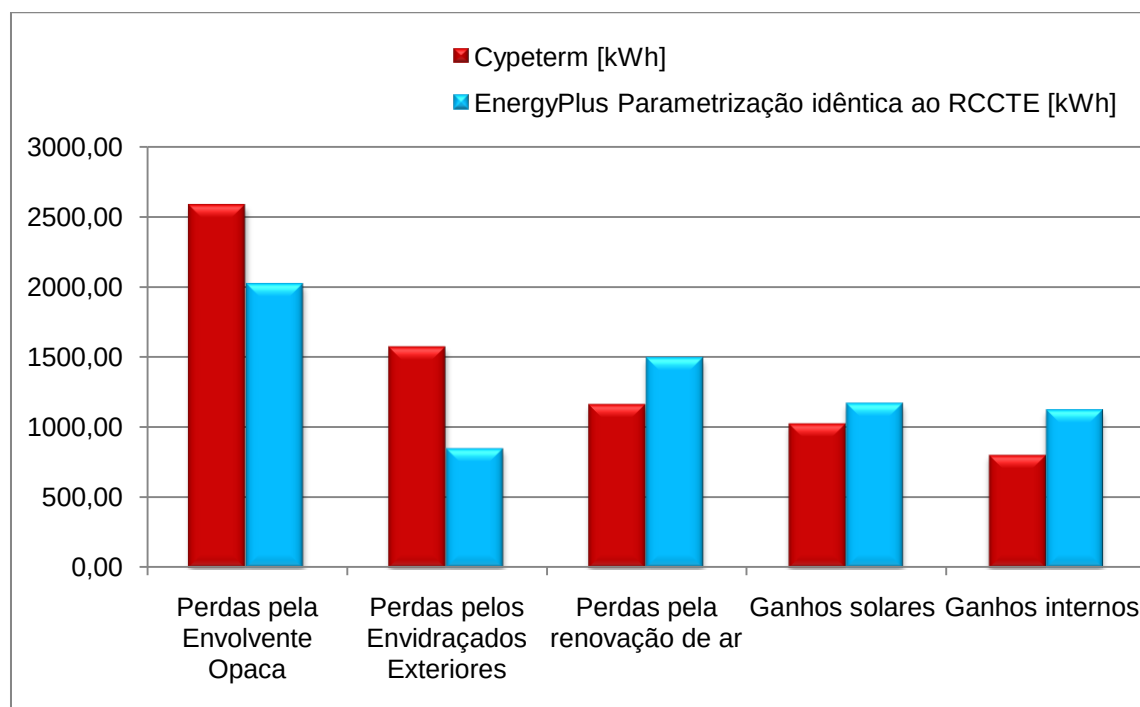


Fig. 62 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 25 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	Cypeterm (kWh)	EP (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	3106,27	2679,17
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	1573,42	889,80
Perdas associadas à renovação de ar	1164,60	1541,29
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares brutos	1208,81	1507,60
Ganhos internos brutos	804,64	1125,51

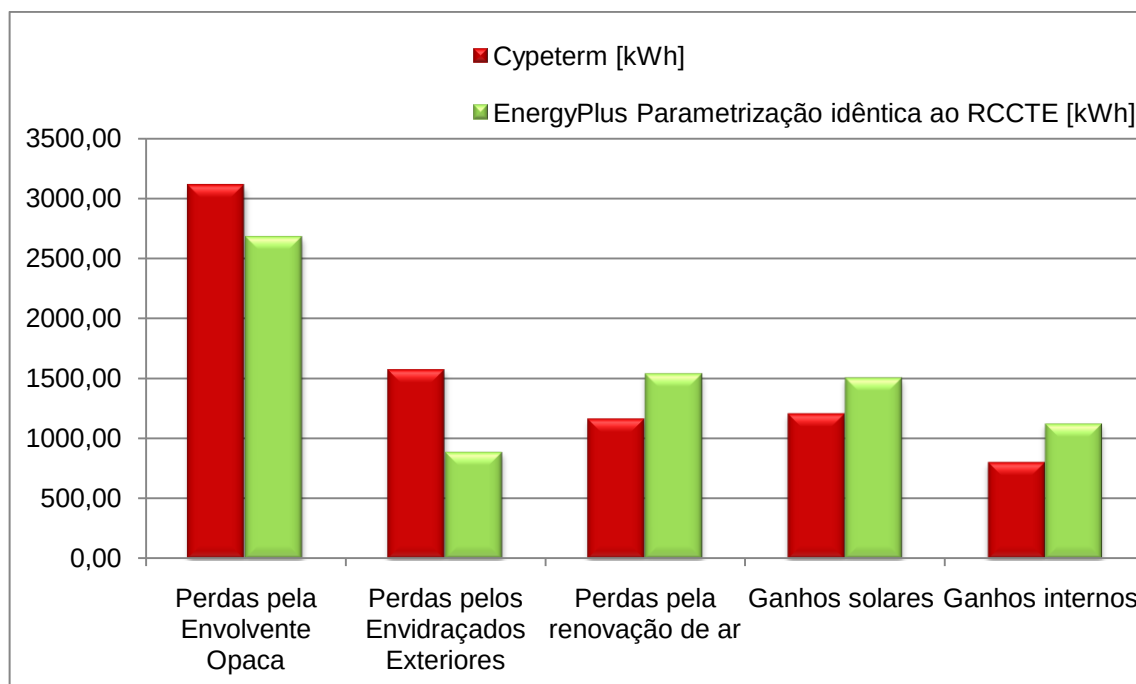


Fig. 63 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Da análise dos resultados obtidos referentes às fracções A e B, podemos constatar que os valores das perdas associadas à envolvente opaca e aos envidraçados são mais elevados no programa Cypeterm, o que seria de esperar visto o RCCTE possuir uma metodologia estática majorante, sendo as diferenças de valores mais acentuadas nas perdas pelos envidraçados. Por outro lado, as perdas associadas à renovação de ar e aos ganhos solares e internos verificam-se mais elevados na metodologia usada no programa EnergyPlus, para as fracções A e B.

Outro facto que importa referir é a comparação das perdas e ganhos entre as fracções: as perdas pela envolvente exterior são mais elevadas na fracção B do que na fracção A, isto deve-se ao facto da fracção B ter uma maior superfície de contacto com o ambiente exterior, a cobertura. Os ganhos solares da fracção B também possuem valores mais elevados do que a fracção A, visto não possuir sombras exteriores próprias ao contrário da fracção A que possui a varanda e escadas, como já referido atrás.

5.2.2. ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Quanto ao período de arrefecimento (Verão), os quadros 26 e 27, apresentam as perdas e ganhos de calor associados às zonas térmicas do edifício em estudo. Nas fig. 64 e 65, são apresentados os gráficos comparativos dos valores obtidos pelos dois programas.

Quadro 26 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	Cypeterm (kWh)	EP (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	441,84	973,65
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	715,37	301,27
Perdas associadas à renovação de ar	529,50	448,23
Ganhos solares pela envolvente opaca	143,34	294,83
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1134,00	949,90
Ganhos internos	488,39	647,65

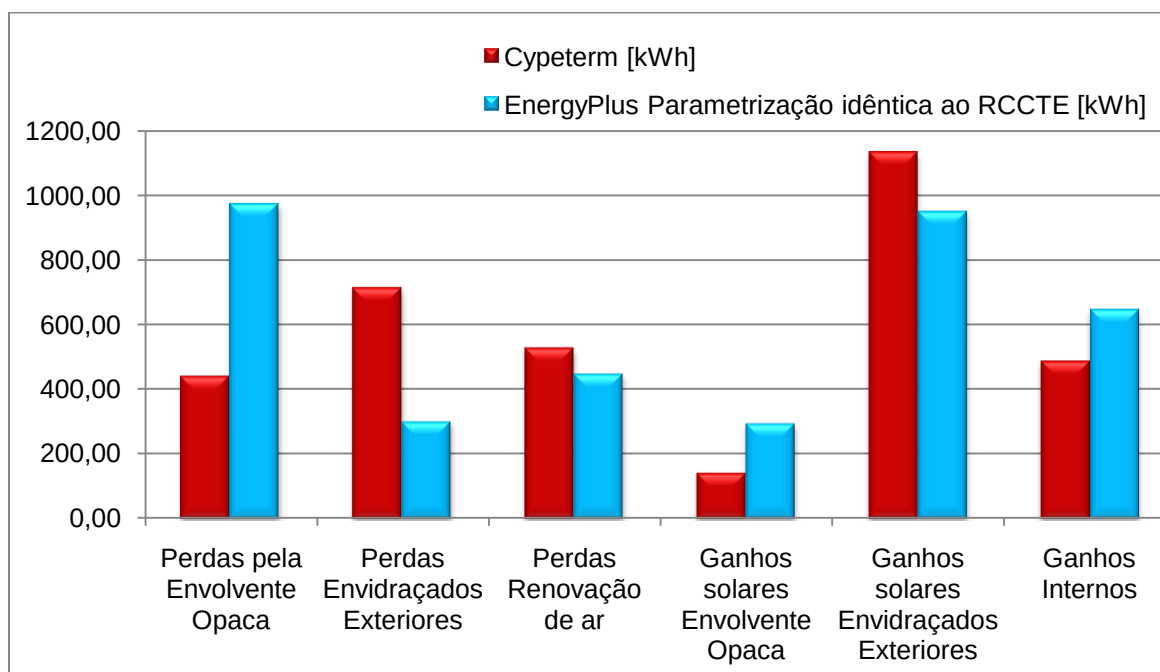


Fig. 64 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 27 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	Cypeterm (kWh)	EP (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas as paredes exteriores	910,73	899,68
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	715,37	360,47
Perdas associadas à renovação de ar	529,50	461,80
Ganhos solares pela envolvente opaca	455,02	541,86
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1575,00	1228,25
Ganhos internos	488,39	647,65

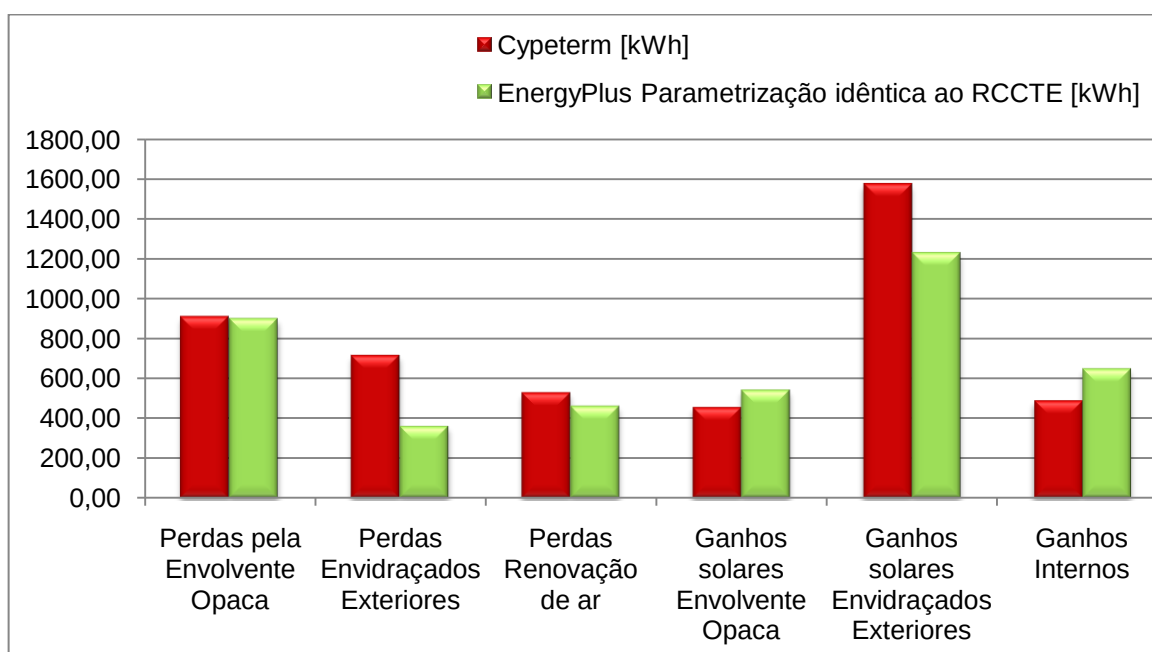


Fig. 65 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

No que diz respeito aos resultados na estação de arrefecimento, verifica-se que as perdas e ganhos pelos vãos envidraçados e perdas pela renovação de ar são maiores no que diz respeito ao programa Cypeterm. Por outro lado, os valores das perdas pela envolvente exterior, são superiores na fracção A quando aplicado o programa EnergyPlus, apresentando valores muito próximos dos valores obtidos na fracção B.

Na época do verão e no que respeita à troca de calor pelos envidraçados, verifica-se uma maior diferença entre as perdas e os ganhos na abordagem pelo Cypeterm, em ambas as fracções. Estas trocas são aquelas onde se verifica um maior contraste entre os valores obtidos pelos dois processos. As diferenças são ainda mais significativas relativamente à fracção A. Os ganhos internos tal como na estação de aquecimento apresentam valores muito próximos pelas duas metodologias.

De uma forma geral, através da análise dos resultados obtidos e atrás mencionados, as diferenças de resultados verificadas pelos dois métodos de análise devem-se essencialmente às diferentes metodologias de cálculo adoptadas e aos dados climatéricos associados. O Cypeterm pelo RCCTE baseia-se numa análise estática, em que as trocas de calor são determinadas em regime permanente para os dois períodos de referência (Inverno e Verão). Em contrapartida, o EnergyPlus, através de uma análise dinâmica, consegue determinar as trocas de calor em cada instante da simulação.

5.3. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO RCCTE VS. ENERGYPLUS UTILIZANDO UMA PARAMETRIZAÇÃO PRÓXIMA DO REAL

Neste subcapítulo são abordados os resultados obtidos pela exportação directa do Cypeterm, que após análise se conclui tentar reflectir uma parametrização mais próxima da utilização real do edifício.

5.3.1. TEMPERATURAS INTERIORES DAS FRACÇÕES

As figs. 66 e 67, relativas à temperatura interior das fracções A e B, respectivamente, permitem verificar que as temperaturas são da ordem dos 17°C a 27°C na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento aquando períodos de maior ocupação.

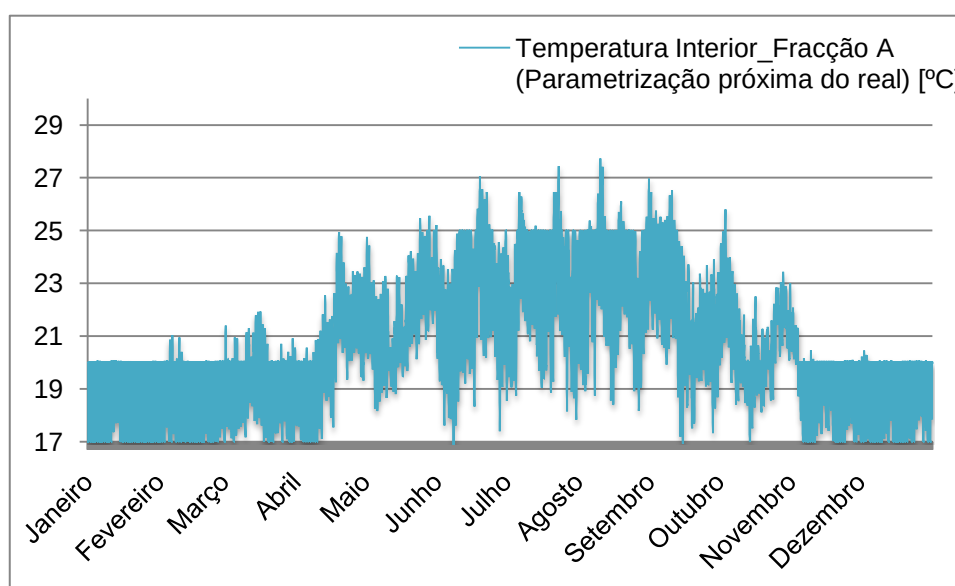


Fig. 66 – Temperatura Interior Fracção A

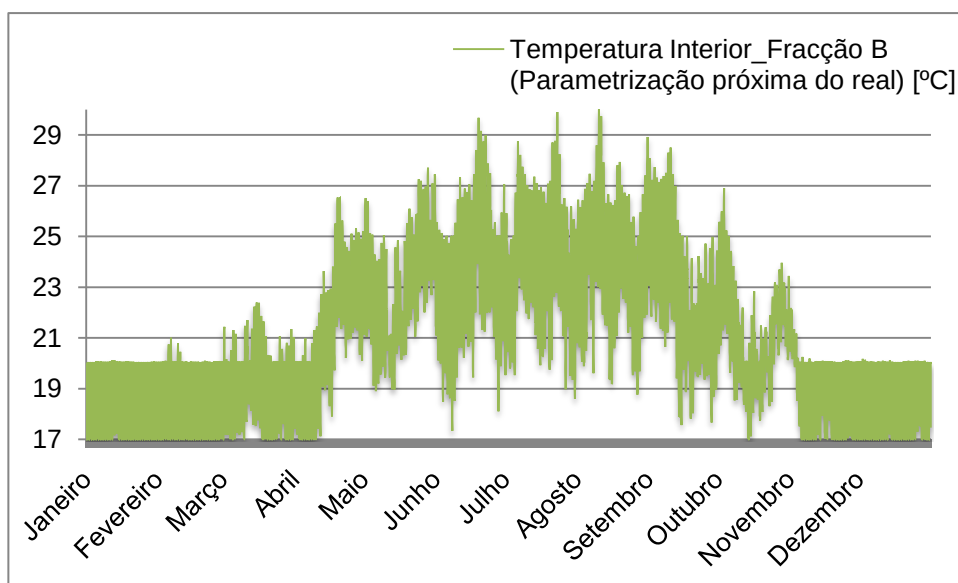


Fig. 67 – Temperatura Interior Fracção B

5.3.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA PARAMETRIZAÇÃO MAIS PRÓXIMA DO REAL E A PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO REGULAMENTO

Neste ponto será abordado uma breve comparação entre a simulação utilizando a parametrização mais próxima do real e a parametrização utilizando valores mais próximos do regulamento.

Quanto as temperaturas interiores, fig.68 e 69, são alteradas para ficarem dentro dos limites propostos pelo regulamento, 20°C e 25°C, na estação de aquecimento e arrefecimento, respectivamente.

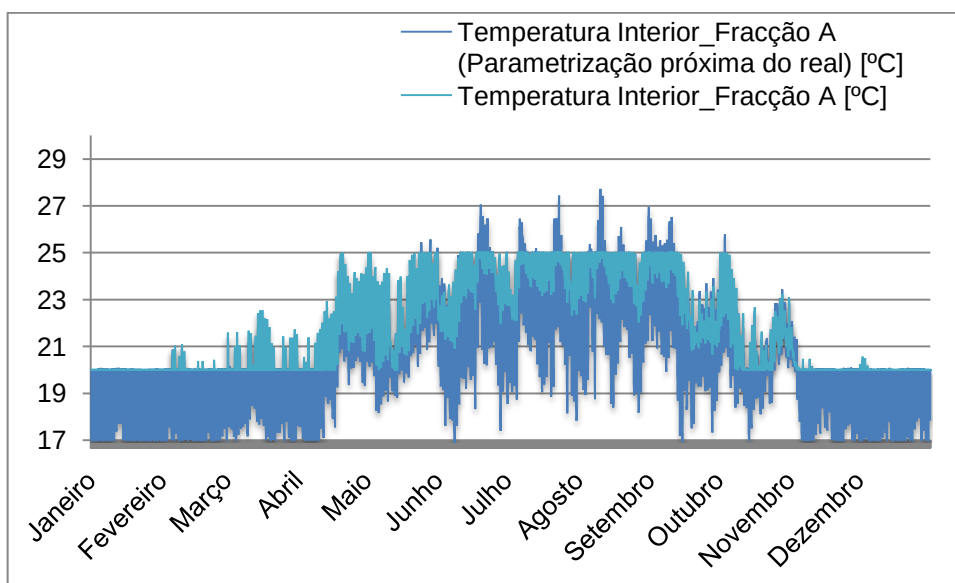


Fig. 68 – Temperatura Interior da Fracção A com parametrização próxima do real e parametrização idêntica ao do RCCTE

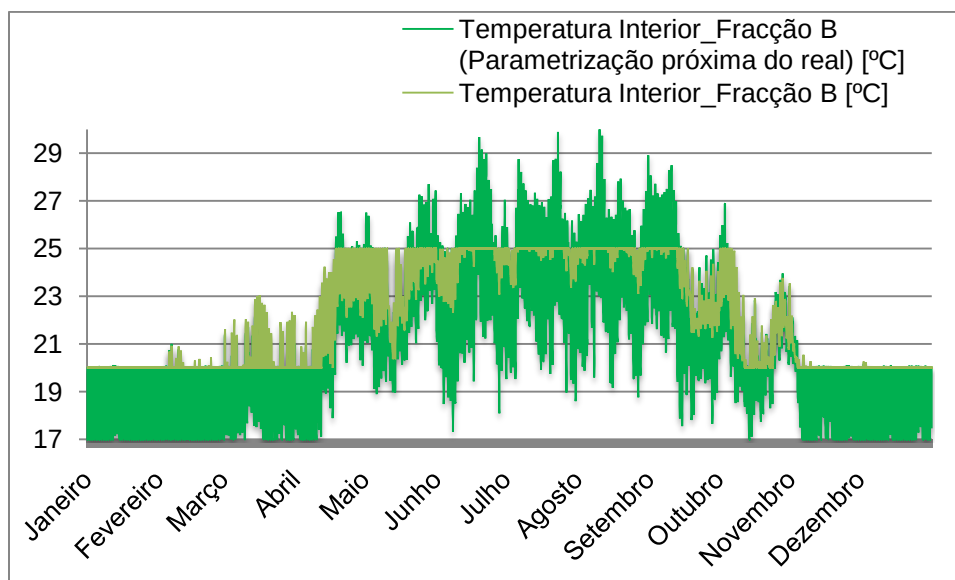


Fig. 69 – Temperatura Interior da Fracção B com parametrização próxima do real e parametrização idêntica ao do RCCTE

Por forma a tornar mais exaustivo o estudo, nos quadros (quadros 28 ao 31) e figuras (figs. 70 a 73) seguintes apresenta-se a comparação dos valores obtidos na simulação utilizando parametrização idêntica ao RCCTE e parametrização próxima do real, relativamente à estação de aquecimento e arrefecimento.

Quadro 28 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com parametrização idêntica ao RCCTE (kWh)	EP com parametrização próxima do real (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	2020,78	2004,12
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	850,09	722,26
Perdas associadas à renovação de ar	1497,04	2491,61
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares	1171,06	1203,78
Ganhos internos	1125,51	1759,58

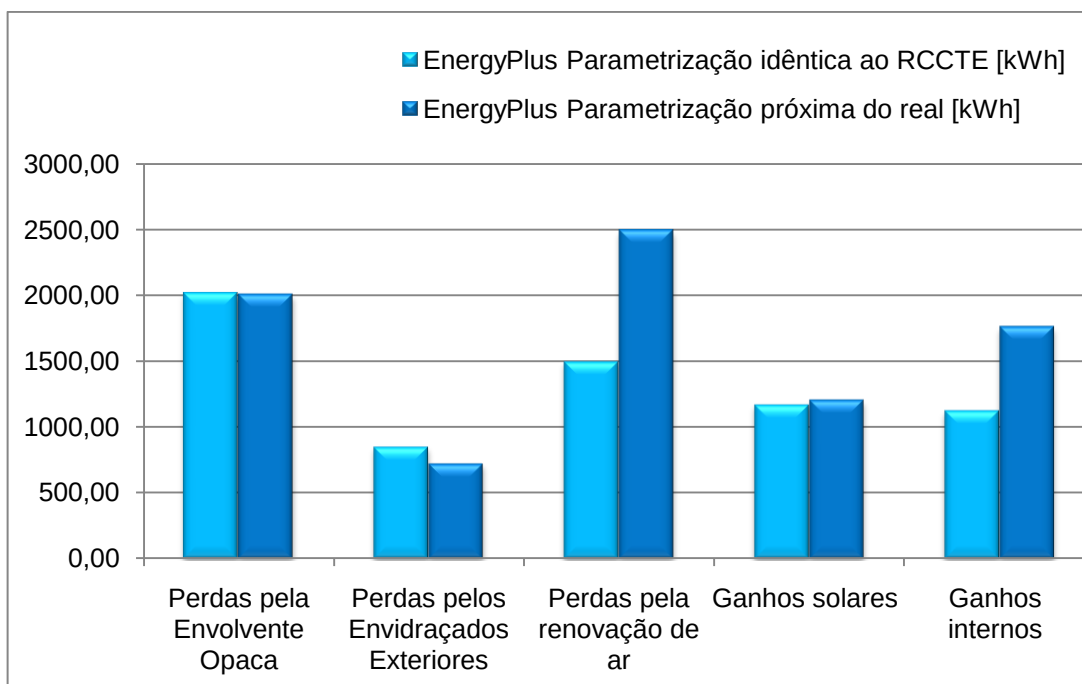


Fig. 70 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 29 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	2679,17	2849,44
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	889,80	739,88
Perdas associadas à renovação de ar	1541,29	2542,04
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares	1507,60	1607,54
Ganhos internos	1125,51	1759,58

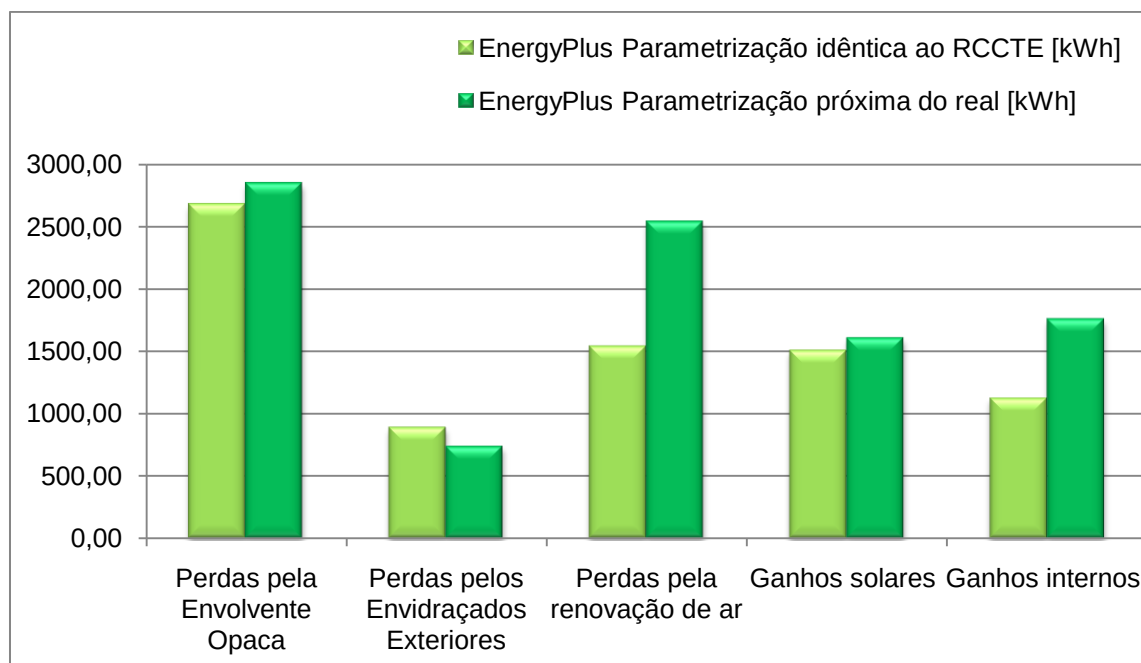


Fig. 71 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Quadro 30 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	973,65	1385,36
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	301,27	239,44
Perdas associadas à renovação de ar	448,23	471,66
Ganhos solares pela envolvente opaca	294,83	843,02
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	949,90	1475,89
Ganhos internos	647,65	1016,04

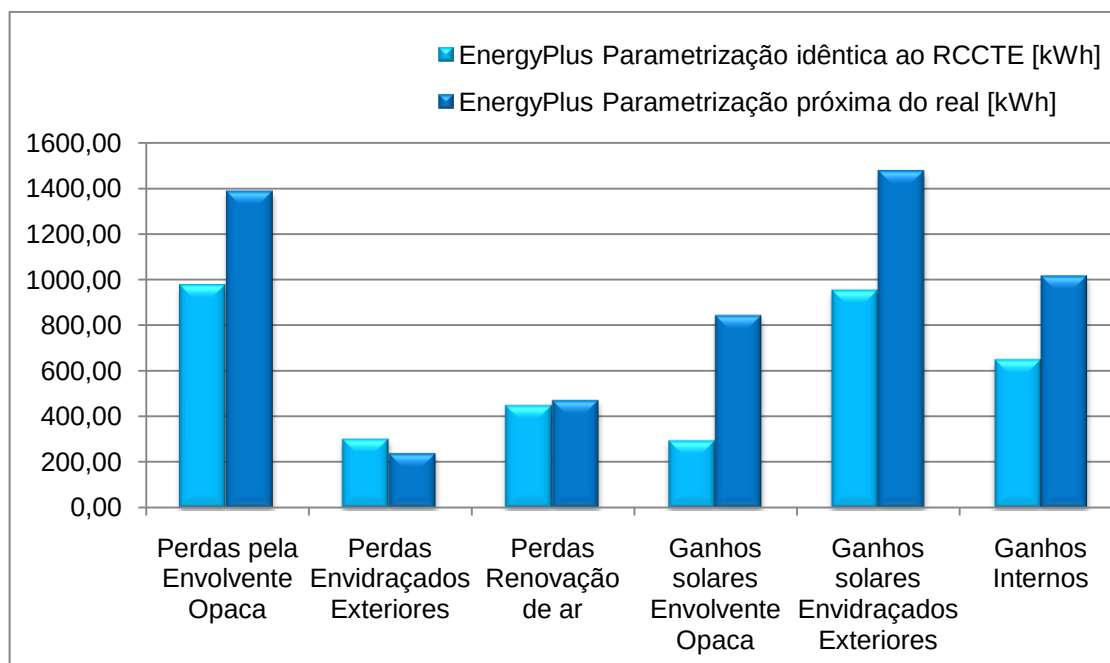


Fig. 72 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 31 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Opaca	899,68	1570,86
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	360,47	289,03
Perdas associadas à renovação de ar	461,80	504,12
Ganhos solares pela envolvente opaca	541,86	1173,64
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1228,25	2036,83
Ganhos internos	647,65	1016,04

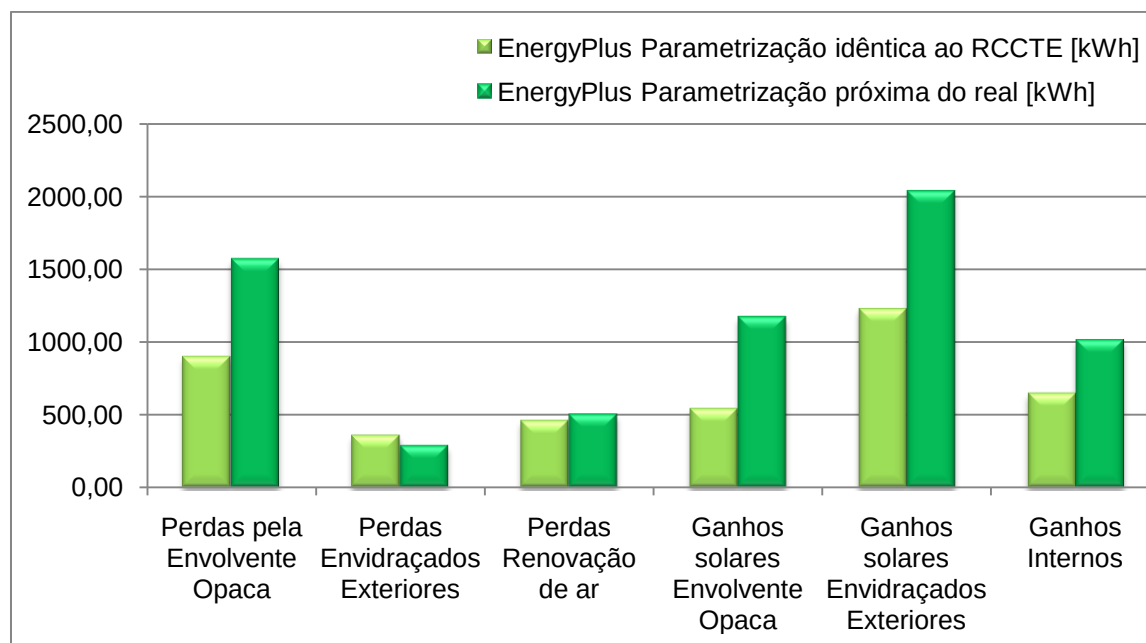


Fig. 73 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Na estação de aquecimento, nas duas fracções, os valores das perdas pela envolvente opaca e dos ganhos solares são muito próximos, o que se pode denotar que não houve uma grande alteração nos parâmetros. Por outro lado os valores das perdas devido à ventilação apresenta valores superiores aquando a utilização do programa utilizando uma parametrização próxima do real, isto deve-se ao facto do programa, por defeito utilizar um volume superior ao volume útil. Já na estação de arrefecimento as perdas por a renovação de ar já apresentam valores muito próximos, isto devido ao facto de haver uma ventilação nocturna para além da ventilação natural quando é utilizado uma parametrização próxima do real.

Quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento os valores dos ganhos interno são mais elevados utilizando a parametrização mais próxima do real, isto deve-se ao facto do valor dos ganhos corresponder à soma dos ganhos internos relativos à ocupação, equipamentos eléctricos e luzes. O que na parametrização idêntica ao RCCTE apenas se faz uma estimativa de todos os ganhos associados a fontes internas serem calculados com base num valor médio de 4 W/m^2 .

5.3.3. PARÂMETROS QUE FORAM SUJEITOS A ALTERAÇÕES

Os campos do EnergyPlus que foram alterados são apresentados de seguida.

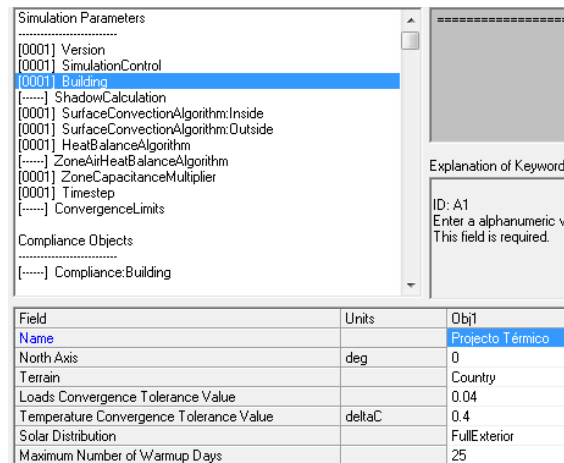


Fig. 74 – Parâmetros do edifício

Na fig. 70, referente aos parâmetros de simulação correspondente a uma parametrização idêntica ao real, os campos alterados foram o “terrain” de “country” para “city”, de forma a tornar os valores da simulação mais próxima dos valores dados pelo regulamento.

Como no RCCTE a temperatura é limitada na estação de aquecimento e de arrefecimento de 20°C e 25°C, alterou-se o “Schedule:Compact”(ver fig.71), a temperatura era delimitada entre os 17°C e os 27°C.

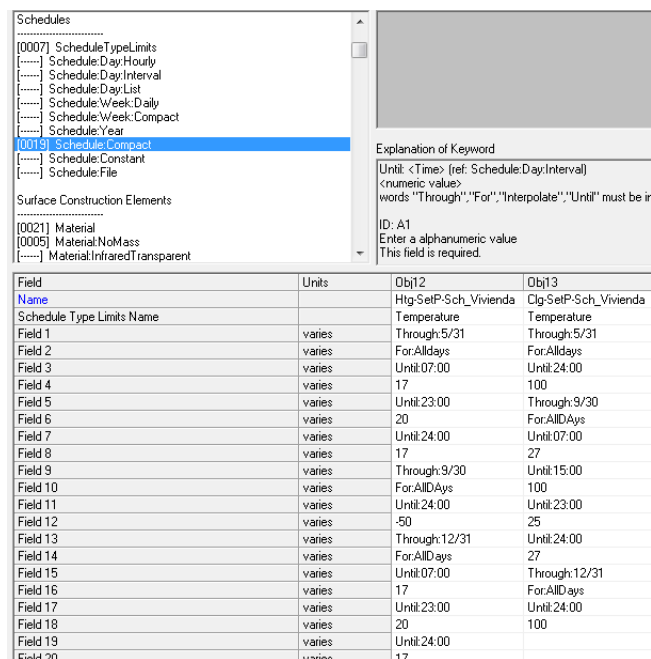


Fig. 75 – Cronogramas

Nas fig. 72 e 73 relativos à infiltração e ventilação, o programa Cypeterm exporta por defeito os valores mais elevados em relação ao caudal extraído, uma vez que o programa considera as medidas pelo exterior. Quanto à ventilação considera adicionalmente, a renovação horária de 4 h⁻¹ como ventilação nocturna durante o período de arrefecimento.

Zone Airflow

[0003] ZoneInfiltration:DesignFlowRate

ZoneInfiltration:EffectiveLeakageArea

ZoneInfiltration:FlowCoefficient

[0002] ZoneVentilation:DesignFlowRate

ZoneVentilation:WindandStackOpenArea

ZoneMixing

ZoneCrossMixing

ZoneEarthtube

ZoneCoolTower:Shower

ZoneThermalChimney

Natural Ventilation and Duct Leakage

AirflowNetwork:SimulationControl

AirflowNetwork:MultiZone:Zone

BuildingSurface:Detailed,

P01_E01_C1, I- Name

Wall, I- Surface Type

C11_Parede_do_perimetro_da_I, I- Construction Name

P01_E01_Espacio01, I- Zone Name

Ground, I- Outside Boundary Condition

I- Outside Boundary Condition Object

Explanation of Keyword

Infiltration is specified as a design level which is modified by a Schedule fraction, temperature difference and wind speed. The formula is: Infiltration=I_{design} * F_{Schedule} * (A + B*[T_{zone-Todb}] + C*WindSpd + D * WindSpd²)

ID: A1

Enter a alphanumeric value

This field is required.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		P01_E01_Espacio01_Infil	P02_E01 Fracção A_Infil	P03_E01 Fracção B_Infil
Zone Name		P01_E01_Espacio01	P02_E01 Fracção A	P03_E01 Fracção B
Schedule Name		INFIL_ZONE_DEF 100x100	INFIL_ZONE_DEF Fracção A	INFIL_ZONE_DEF Fracção B
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	Flow/Zone	Flow/Zone
Design Flow Rate	m3/s	0	0.0415	0.0415
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2			
Air Changes per Hour		0.5	0	0
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient				
Velocity Term Coefficient				
Velocity Squared Term Coefficient				

Fig. 76 – Infiltração

Zone Airflow		Explanation of Keyword	
[0003] ZoneInfiltration:DesignFlowRate		Ventilation is specified as a design level which is modified by a schedule fr	
[.....] ZoneInfiltration:EffectiveLeakageArea		Ventilation=V _{design} * F _{Schedule} * (A + B*[T _{zone-Todb}] + C*WindSpd + D	
[.....] ZoneInfiltration:FlowCoefficient		ID: A1	
[0002] ZoneVentilation:DesignFlowRate		Enter a alphanumeric value	
[.....] ZoneVentilation:WindandStackOpenArea		This field is required.	
[.....] ZoneMixing			
[.....] ZoneCrossMixing			
[.....] ZoneEarthtube			
[.....] ZoneCoolTower:Shower			
[.....] ZoneThermalChimney			
Natural Ventilation and Duct Leakage			
[.....] AirflowNetwork:SimulationControl			
[.....] AirflowNetwork:MultiZone:Zone			
Field	Units	Obj1	Obj2
Name		P02_E01 Fracção A_Vent	P03_E01 Fracção B_Vent
Zone Name		P02_E01 Fracção A	P03_E01 Fracção B
Schedule Name		Ventilation NochesVeranoViv Sch	Ventilation NochesVeranoViv Sch
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s		
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow Rate per Person	m3/s-person		
Air Changes per Hour		4	4
Ventilation Type		Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa	0	0
Fan Total Efficiency		1	1
Constant Term Coefficient		1	1
Temperature Term Coefficient		0	0
Velocity Term Coefficient		0	0
Velocity Squared Term Coefficient		0	0
Minimum Indoor Temperature	C	-50	-50
Minimum Indoor Temperature Schedule Name			
Maximum Indoor Temperature	C	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name			
Delta Temperature	deltaC	-50	-50
Delta Temperature Schedule Name			
Minimum Outdoor Temperature	C	-50	-50

Fig. 77 – Ventilação

5.4. ENERGYPLUS COM UMA OU VÁRIAS ZONAS TÉRMICAS UTILIZANDO PARAMETRIZAÇÃO REAL

Outra análise de interesse é o estudo de várias zonas térmicas por fracção. Começa-se por apresentar os valores obtidos pelo EnergyPlus com uma parametrização idêntica ao real com uma zona térmica e com diversas zonas térmicas por fracção. Nos quadros 32 e 33 observa-se os resultados obtidos para perdas e ganhos pela envolvente exterior e envidraçados bem como os ganhos internos.

É de notar que os valores obtidos para a simulação com todas as zonas térmicas correspondem à soma de cada zona térmica individualmente.

Quadro 32 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização próxima do real (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização próxima do real (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	2004,12	2718,75
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	722,26	798,66
Perdas associadas à renovação de ar	2491,61	5217,72
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares brutos	1203,78	882,79
Ganhos internos brutos	1759,58	5122,98

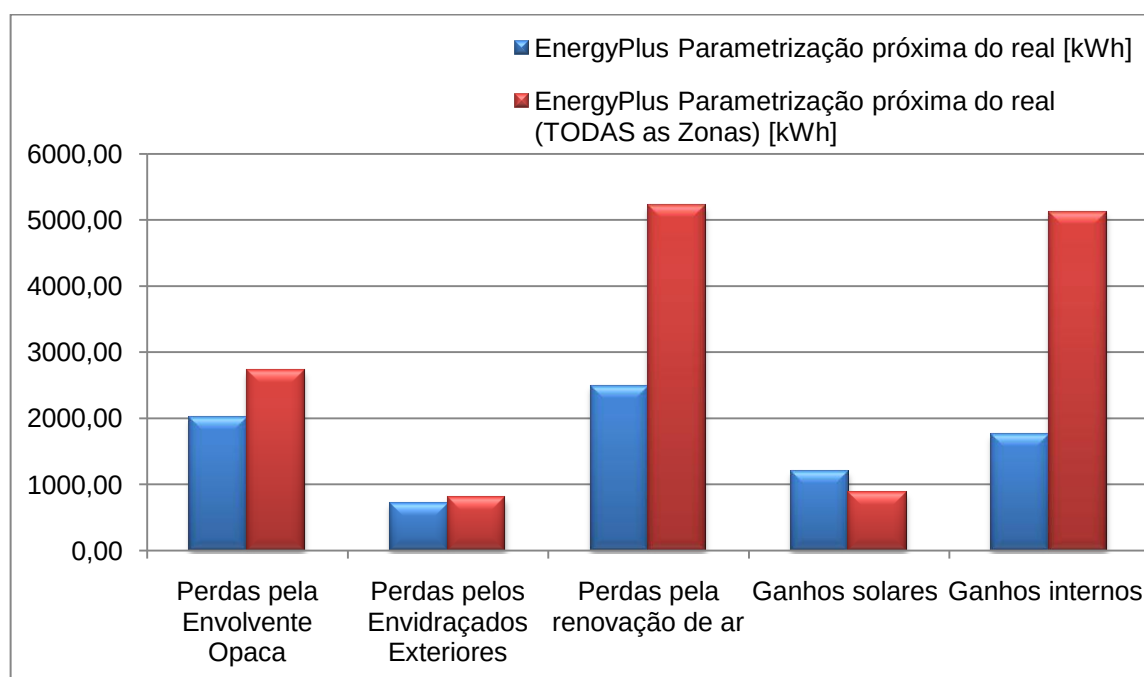


Fig. 78 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 33 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização próxima do real (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização próxima do real (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envoltente Exterior	2849,44	3587,49
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	739,88	812,29
Perdas associadas à renovação de ar	2542,04	5259,12
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares brutos	1607,54	1227,60
Ganhos internos brutos	1759,58	5122,98

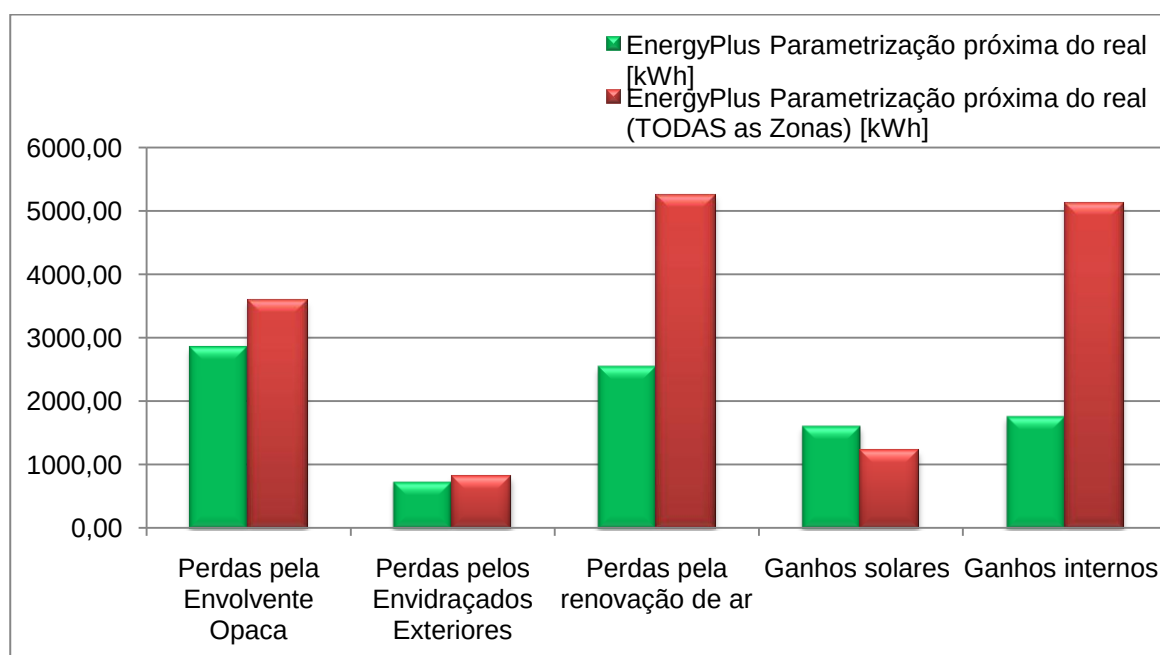


Fig. 79 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Da análise dos valores obtidos pelas duas simulações para a estação de aquecimento, pode-se constatar que os valores das perdas associadas à renovação de ar e aos ganhos internos são muito mais elevados quando é considerado várias zonas por fracção devido ao facto do valor obtido pelo programa ser a soma dos valores obtidos por cada zona. As perdas pelos vãos envidraçados com recurso a uma ou várias zonas térmicas apresentam valores idênticos, como já se esperaria. Sendo as perdas pela envoltente opaca ligeiramente superior aquando da utilização de várias zonas térmicas.

Quadro 34 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização próxima do real (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização próxima do real (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	1385,36	2096,74
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	239,44	275,93
Perdas associadas à renovação de ar	471,66	997,89
Ganhos solares pela envolvente opaca	843,02	941,47
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1475,89	1450,01
Ganhos internos	1016,04	2704,03

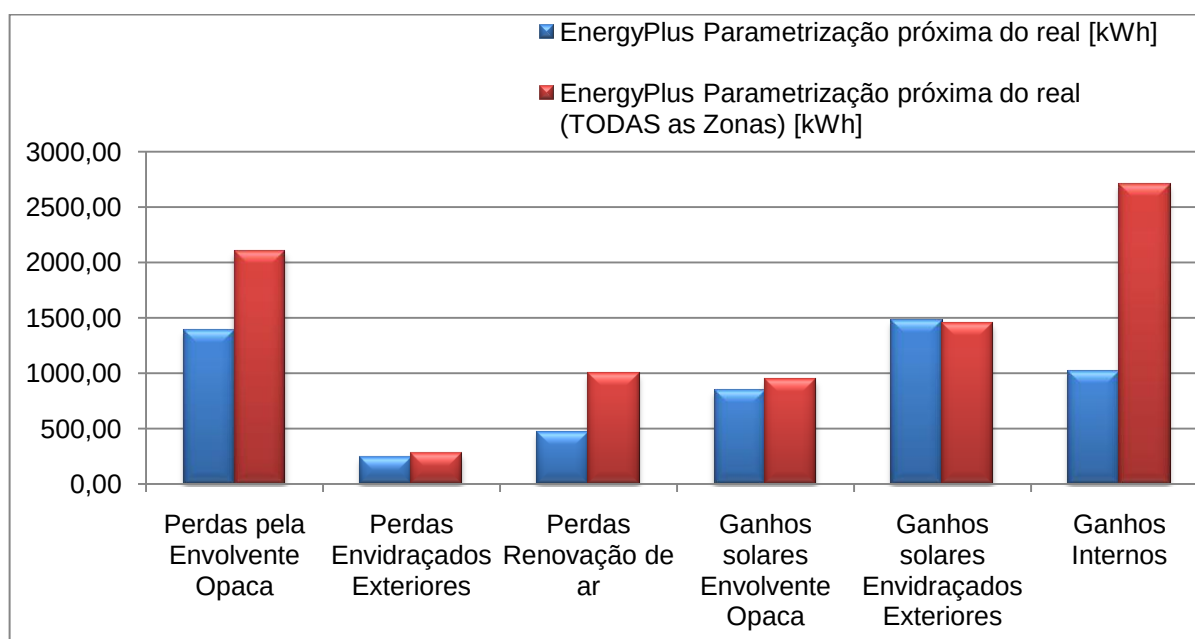


Fig. 80 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 35 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização próxima do real (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização próxima do real (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	1570,86	1846,45
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	289,03	315,13
Perdas associadas à renovação de ar	504,12	1025,78
Ganhos solares pela envolvente opaca	1173,64	1276,90
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	2036,83	2028,26
Ganhos internos	1016,04	2704,03

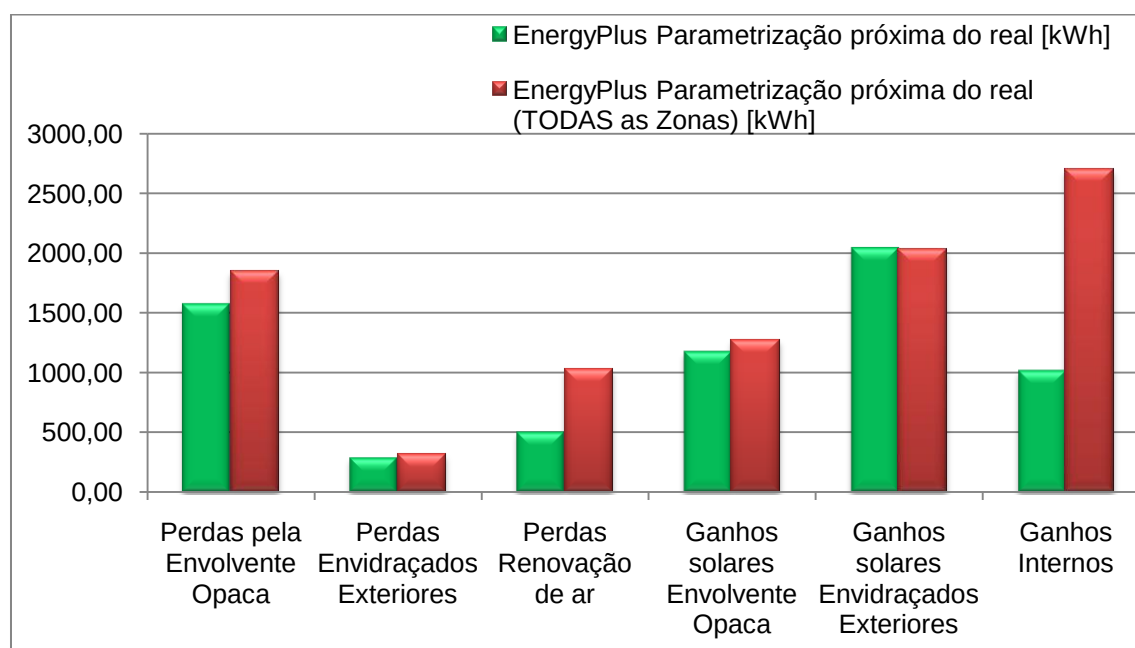


Fig. 81 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

5.5. ENERGYPLUS COM UMA OU VÁRIAS ZONAS TÉRMICAS UTILIZANDO PARAMETRIZAÇÃO IDÊNTICA AO REGULAMENTO

Para tornar este estudo mais completo, procedeu-se ainda á comparação dos resultados obtidos através de uma parametrização idêntica à utilizada pelo Regulamento utilizando uma zona por fracção ou várias zonas por fracção.

Quadro 36 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	2020,78	2117,27
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	850,09	875,66
Perdas associadas à renovação de ar	1497,04	1577,66
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares	1171,06	1165,87
Ganhos internos	1125,51	913,36

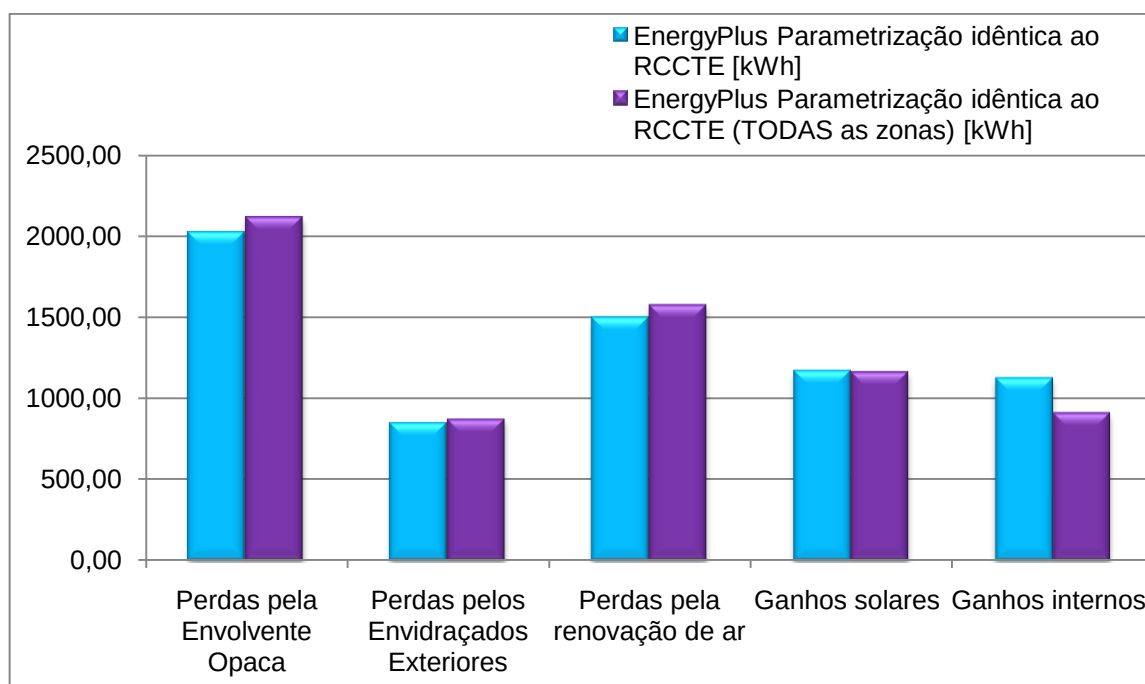


Fig. 82 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 37 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
INVERNO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	2679,17	2774,81
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores	889,80	916,02
Perdas associadas à renovação de ar	1541,29	1614,41
Ganhos úteis na estação de aquecimento		
Ganhos solares	1507,60	1506,87
Ganhos internos	1125,51	913,36

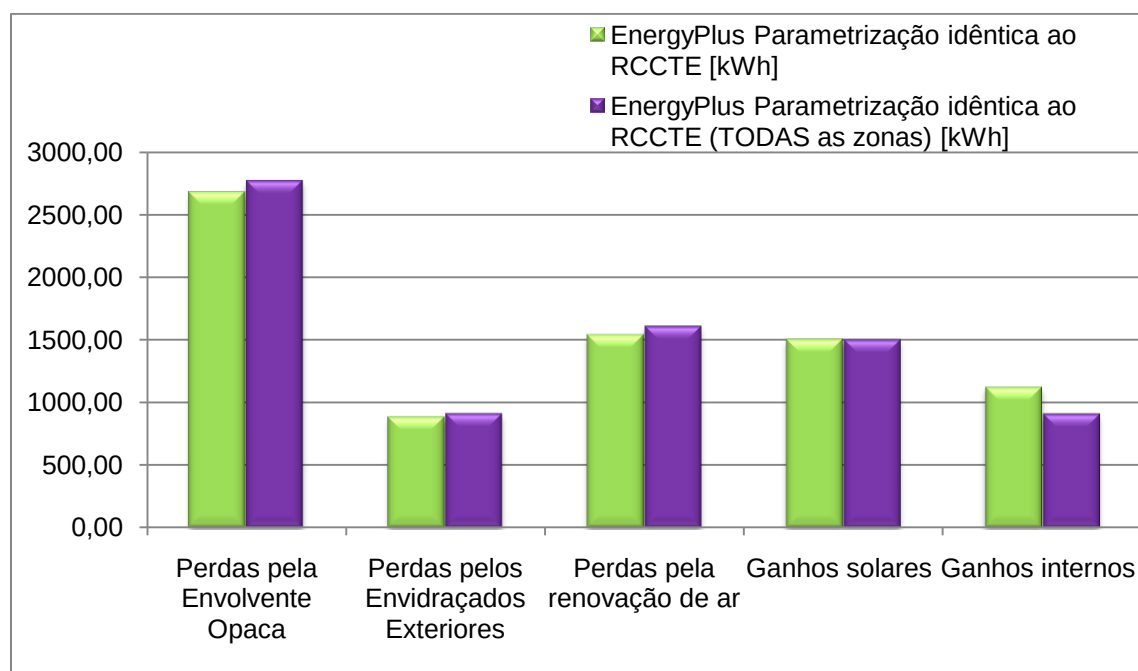


Fig. 83 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Da análise dos valores gerados pelas duas simulações para a estação de aquecimento, pode-se constatar que os valores das perdas associadas à renovação de ar e aos ganhos internos brutos são muito idênticos utilizando uma ou várias zonas, sendo ligeiramente superiores aquando a utilização de várias zonas térmicas, como já seria de se esperar.

Quadro 38 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção A

FRACÇÃO A	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envoltente Exterior	973,65	980,26
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	301,27	307,91
Perdas associadas à renovação de ar	448,23	468,57
Ganhos solares pela envoltente opaca	294,83	389,64
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	949,90	948,83
Ganhos internos	647,65	525,62

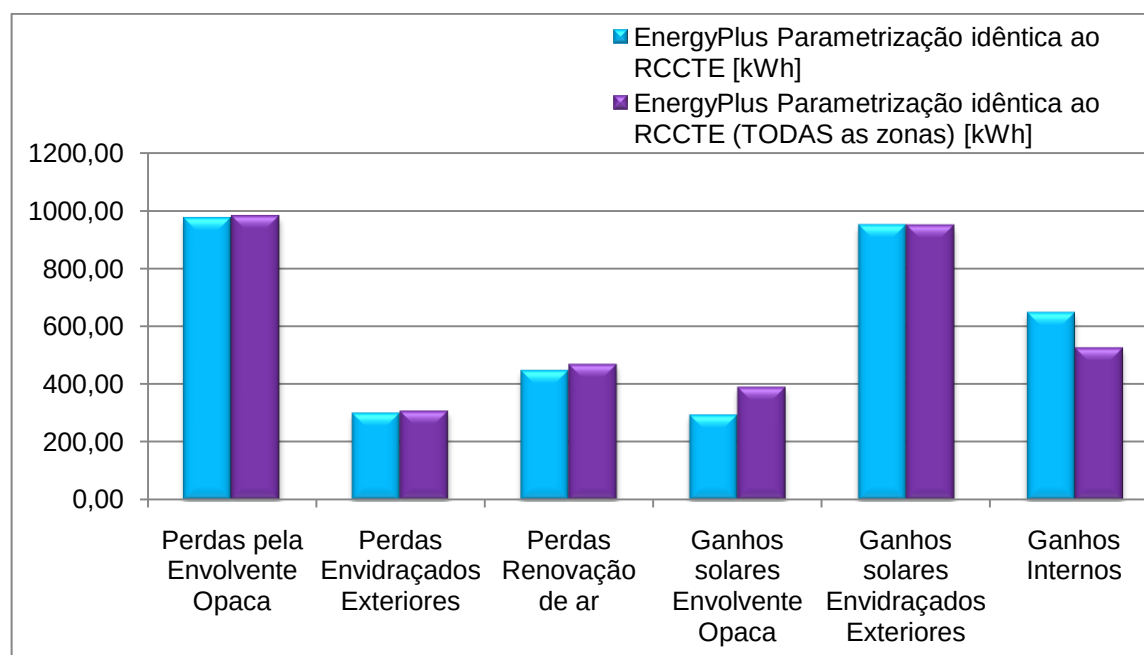


Fig. 84 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção A

Quadro 39 – Valores dos ganhos e perdas de calor relativos à fracção B

FRACÇÃO B	EP com uma Zona térmica por fracção parametrização idêntica à do regulamento (kWh)	EP com diversas Zonas Térmicas parametrização idêntica à do regulamento (kWh)
VERÃO		
Perdas associadas à Envolvente Exterior	899,68	961,08
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	360,47	362,81
Perdas associadas à renovação de ar	461,80	493,18
Ganhos solares pela envolvente opaca	541,86	633,34
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1228,25	1232,06
Ganhos internos	647,65	525,62

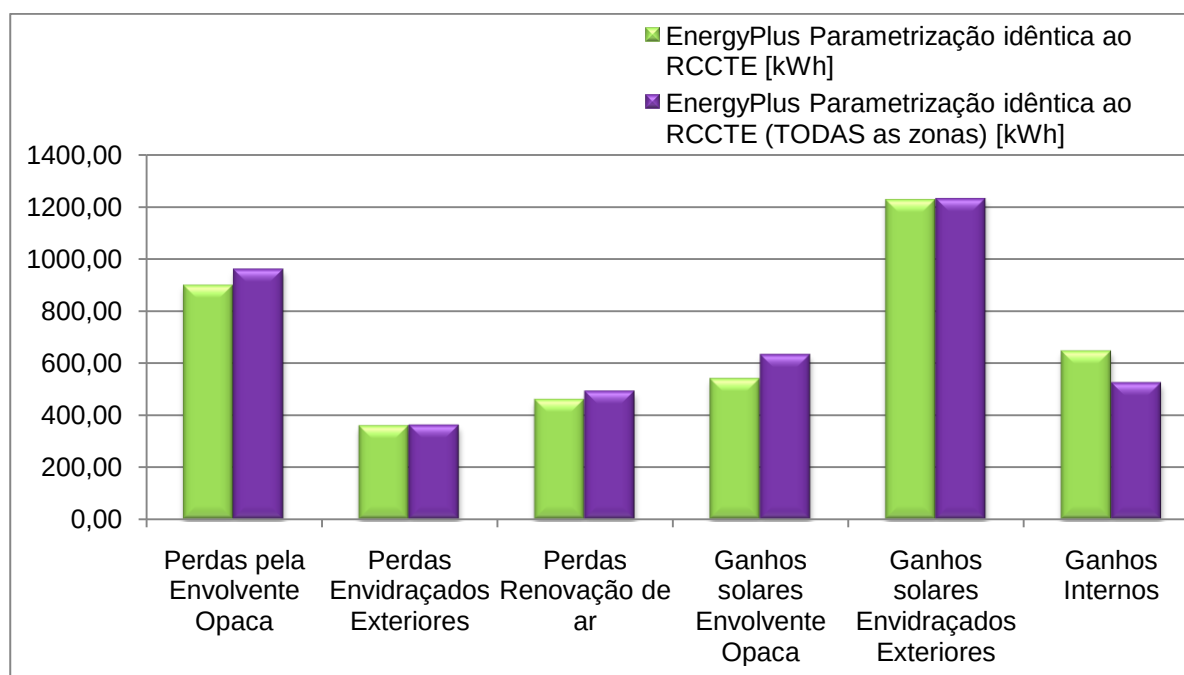


Fig. 85 – Gráficos comparativos dos valores obtidos na fracção B

Tal como seria de esperar, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, com a utilização de uma ou várias zonas térmicas, os valores obtidos são muito próximos, quer nos ganhos quer nas perdas.

5.6. RESULTADOS FINAIS

Os quadros finais, os quadros 40 ao 43, e os gráficos das figs. 86 à 89, englobam todos os resultados obtidos relativos a todos os ganhos e perdas na estação de aquecimento e arrefecimento com todos os programas de cálculo utilizados utilizando como referência o regulamento.

Quadro 40 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de aquecimento

INVERNO A	Cypeterm [kWh]	EnergyPlus Parametriza- ção idêntica ao RCCTE [kWh]	EnergyPlus Parametriza- ção próxima do real [kWh]	EnergyPlus Parametriza- ção próxima do real (TODAS as Zonas) [kWh]	EnergyPlus Parametriza- ção idêntica ao RCCTE (TODAS as zonas) [kWh]
Perdas pela Envolvente Opaca	2585,40	2020,78	2004,12	2718,75	2117,27
Perdas pelos Envidraçados Exteriores	1573,42	850,09	722,26	798,66	875,66
Perdas pela renovação de ar	1164,60	1497,04	2491,61	5217,72	1577,66
Ganhos solares	1028,12	1171,06	1203,78	882,79	1165,87
Ganhos internos	804,64	1125,51	1759,58	5122,98	913,36

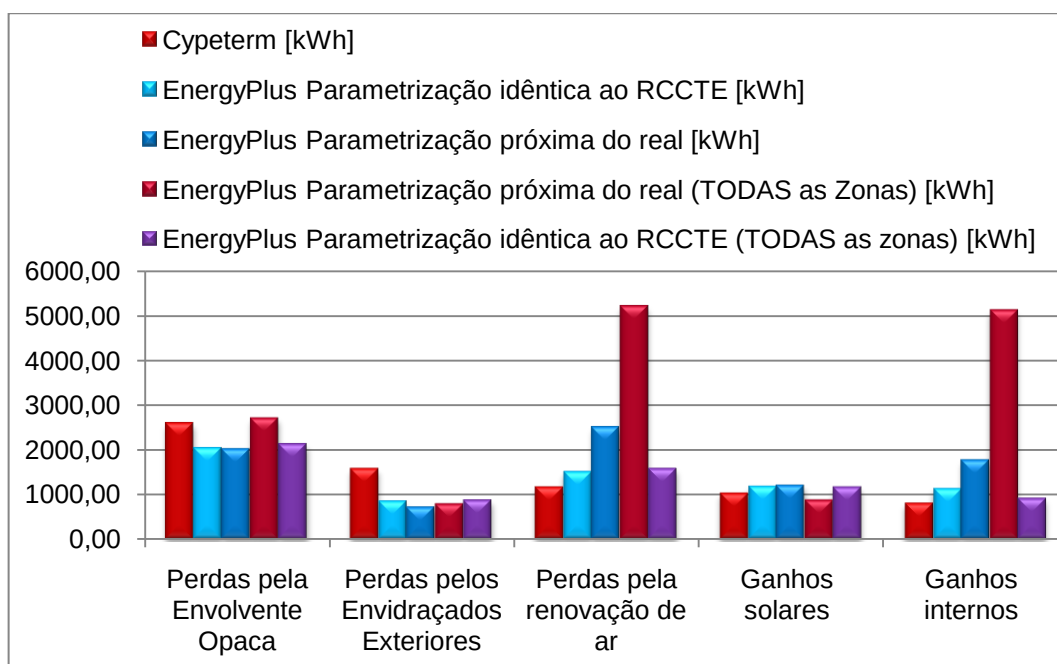


Fig. 86 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de aquecimento

De uma forma geral, na fracção A, no período de aquecimento, os valores das perdas e ganhos de calor possuem valores próximos. À excepção das perdas pela renovação de ar e ganhos internos em que se destaca os valores obtidos pela parametrização próxima do real utilizando várias zonas térmicas.

Quadro 41 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de arrefecimento

VERÃO A	Cypeterm [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão idêntica ao RCCTE [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão próxima do real [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão próxima do real (TODAS as Zonas) [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão idêntica ao RCCTE (TODAS as zonas) [kWh]
Perdas pela Envolvente Opaca	441,84	973,65	1385,36	2096,74	980,26
Perdas Envidraçados Exteriores	715,37	301,27	239,44	275,93	307,91
Perdas Renovação de ar	529,50	448,23	471,66	997,89	468,57
Ganhos solares Envolvente Opaca	143,34	294,83	843,02	941,47	389,64
Ganhos solares Envidraçados Exteriores	1134,00	949,90	1475,89	1450,01	948,83
Ganhos Internos	488,39	647,65	1016,04	2704,03	525,62

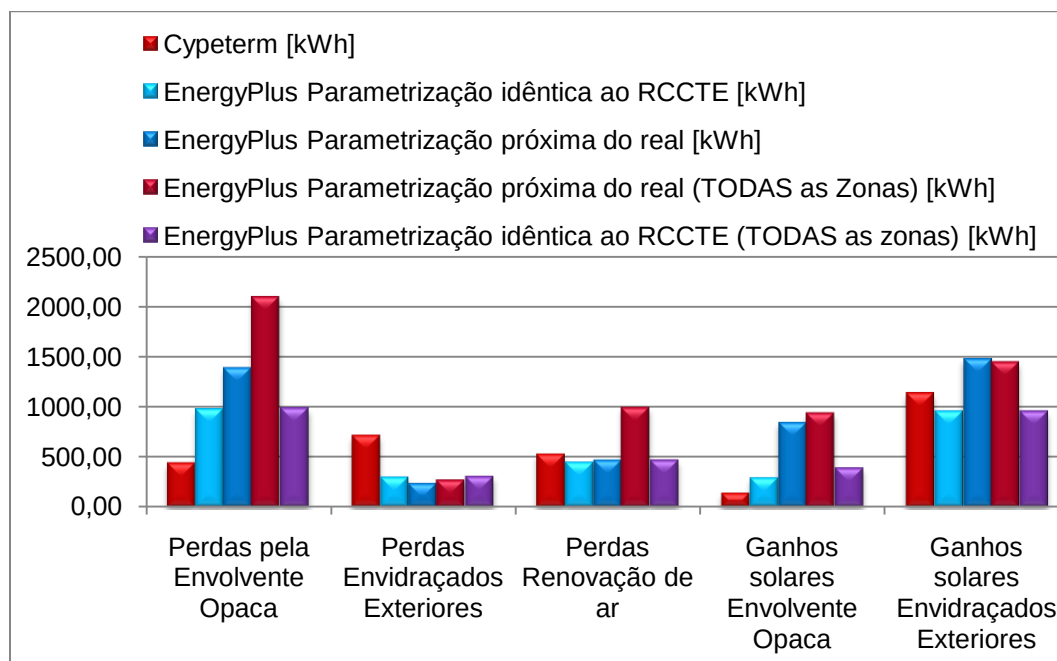


Fig. 87 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento, na fracção A, observa-se que usando a parametrização próxima do real com várias zonas térmicas, obtém-se valores mais elevados de ganhos e perdas de calor. Notando-se uma maior diferença de valores nas perdas pela envolvente opaca.

Quadro 42 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de aquecimento

INVERNO B	Cypeterm [kWh]	EnergyPlus Parametrização idêntica ao RCCTE [kWh]	EnergyPlus Parametrização próxima do real [kWh]	EnergyPlus Parametrização próxima do real (TODAS as Zonas) [kWh]	EnergyPlus Parametrização idêntica ao RCCTE (TODAS as zonas) [kWh]
Perdas pela Envolvente Opaca	3105,88	2679,17	2849,44	3587,49	2774,81
Perdas pelos Envidraçados Exteriores	1573,42	889,80	739,88	812,29	916,02
Perdas pela renovação de ar	1164,60	1541,29	2542,04	5259,12	1614,41
Ganhos solares	1208,81	1507,60	1607,54	1227,60	1506,87
Ganhos internos	804,64	1125,51	1759,58	5122,98	913,36

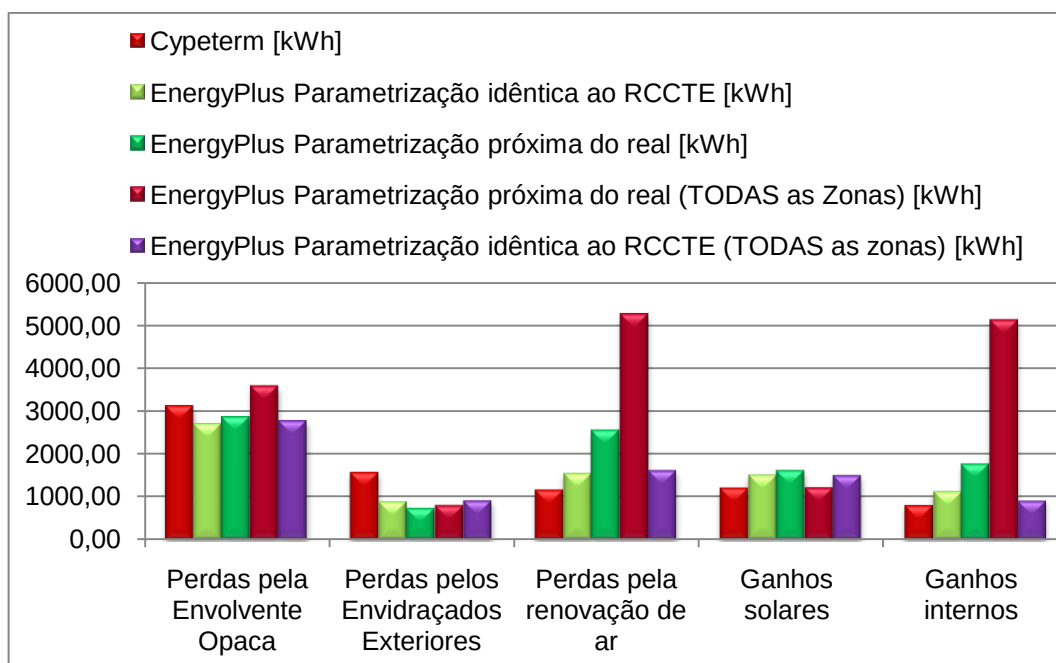


Fig. 88 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de aquecimento

Quanto à fracção B, de uma forma geral, na estação de aquecimento, tal como ocorre na fracção A, as perdas associadas à renovação de ar e os ganhos internos possuem valores mais elevados na aquando a utilização de uma parametrização próxima do real com várias zonas térmicas.

Quadro 43 – Quadro resumo dos valores dos ganhos e perdas de calor da fracção A, na estação de arrefecimento

VERÃO B	Cypeterm [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão idêntica ao RCCTE [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão próxima do real [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão próxima do real (TODAS as Zonas) [kWh]	EnergyPlus Parametrizaç ão idêntica ao RCCTE (TODAS as zonas) [kWh]
Perdas pela Envolvente Opaca	910,73	899,68	1570,86	1846,45	961,08
Perdas Envidraçados Exteriores	715,37	360,47	289,03	315,13	362,81
Perdas Renovação de ar	529,50	461,80	504,12	1025,78	493,18
Ganhos solares Envolvente Opaca	455,02	541,86	1173,64	1276,90	633,34
Ganhos solares Envidraçados Exteriores	1575,00	1228,25	2036,83	2028,26	1232,06
Ganhos Internos	488,39	647,65	1016,04	2704,03	525,62

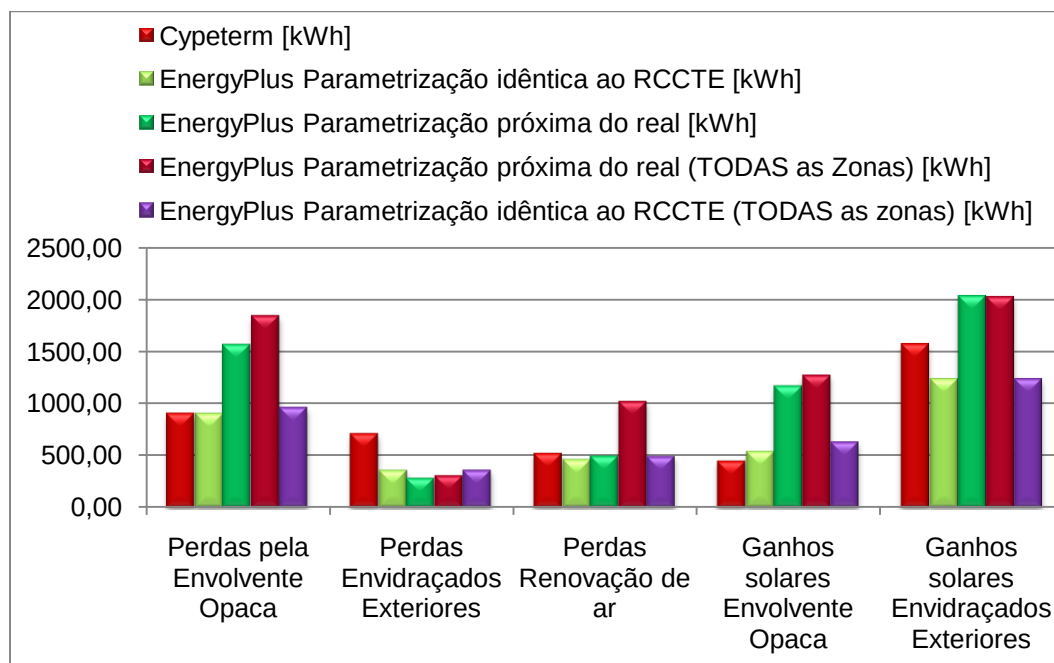


Fig. 89 – Gráficos comparativos dos ganhos e perdas de calor da fracção B, na estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento, como se pode observar na fig. 89, os valores das perdas pela envolvente opaca, bem como os ganhos solares quer pela envolvente opaca quer pelos envidraçados exteriores, obtém-se valores mais elevados aquando a utilização de um padrão de utilização próxima do real.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Após o estudo da aplicabilidade de ferramentas informáticas na parametrização de um projecto de arquitectura de uma habitação multifamiliar serão agora abordadas as principais conclusões a retirar.

A caracterização e descrição tecnológica da habitação permitiu constatar que:

- A habitação multifamiliar em estudo é constituída por 2 pisos, sendo cada fracção um T1, situada na cidade do Porto a menos de 5 km da zona costeira;
- Os envidraçados são todos virados a Oeste, existindo apenas elementos exteriores de sombreamento no piso 0;
- A ventilação processa-se de forma natural.

Relativamente ao programa Cypeterm pode-se concluir que:

- A habitação situa-se na zona climática do Inverno I_2 e de Verão V_1 ;
- O número de graus-dias de aquecimento é igual a 1610 °C;
- É um programa de fácil execução e de fácil introdução de dados que garante um estudo do comportamento térmico de um edifício de forma clara e objectiva;
- As necessidades nominais de energia obtidas são cumpridas verificando-se que estas não ultrapassam os limites máximos admissíveis pelo RCCTE;
- A exportação do edifício para o programa EnergyPlus é feita de forma rápida, sendo esse o programa utilizado como motor de cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício para o dia do ano mais frio e mais quente, respectivamente, bem como a estimativa mensal dessas mesmas necessidades;
- Os valores obtidos pelas folhas de cálculo fornecidas pelo regulamento e os valores obtidos pelo programa Cypeterm são muito idênticos.

Quanto ao EnergyPlus como ferramenta de simulação conclui-se que:

- O Cypeterm efectua uma parametrização do projecto de arquitectura que facilita a exportação para o Energyplus;
- Foi utilizado o ficheiro climático fornecido pelo site do programa correspondente à cidade do Porto. Os dados climatéricos correspondem a valores representativos para o local de acordo com o formato TMY (Typical Meteorological Year);
- A habitação multifamiliar foi dividida em três zonas térmicas, piso 0, piso 1 e laje sobre desvão sanitário;

- A temperatura máxima atingida foi os 25°C e a mínima 20°C de forma a ir de encontro aos valores utilizados pelo regulamento;
- Os valores exportados por defeito pelo Cypeterm, correspondem a valores mais próximo do que aconteceria na realidade, em termos de padrão de utilização, pelo que foi necessário alterar alguns campos para tornar os resultados de mais fácil comparação entre os dois programas;

Da análise dos resultados obtidos pelos dois programas pode-se concluir que:

- Relativamente à estação de aquecimento nas duas fracções os valores das perdas pela envolvente opaca e pela renovação de ar bem como os ganhos internos e solares brutos são muito idênticos havendo uma diferença mais significativa nas perdas pelos vão envidraçados;
- Na estação de arrefecimento, para além das diferenças de valores entre os dois programas nas perdas pelos envidraçados, na fracção A as perdas pela envolvente opaca são maiores com a utilização do programa EnergyPlus;

A simulação efectuada com padrão de utilização mais próximo do real permitiu concluir o seguinte:

- As temperaturas interiores das fracções oscilam entre os 17°C e os 27°C para a parametrização próxima do real e entre os 20°C e os 25°C para a parametrização idêntica ao RCCTE;
- Na estação de aquecimento, na fracção A e B, os valores das perdas pela envolvente opaca e ganhos solares têm valores muito idênticos usando os dois padrões de utilização;
- Os ganhos internos e as perdas associadas à renovação de ar são significativamente mais elevados aquando a simulação com o padrão de utilização mais próximo do real;
- Na estação de arrefecimento, nas duas zonas térmicas, os valores obtidos das perdas e ganhos de calor no edifício em estudo são mais elevados aquando a utilização da parametrização próxima do real, excepto as perdas pelos vão envidraçados;

Outras simulações de interesse aconteceram quando foram utilizadas várias zonas térmicas por fracção, podendo-se concluir que:

- Utilizando o padrão de utilização próxima do real, aquando a utilização de várias zonas térmicas são atingidos valores superiores de perdas e ganhos nas duas fracções em estudo, apenas não se verificando nos ganhos solares brutos;
- As diferenças maiores de valores ocorrem nas perdas associadas à renovação de ar e aos ganhos internos;
- A simulação com uma ou várias zonas com parametrização idêntica ao RCCTE, verifica-se que os valores obtidos são muito próximos utilizando uma ou várias zonas térmicas por fracção em estudo.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A aplicação dos resultados obtidos ao longo da presente dissertação/conclusões finais será sempre uma mais valia para o meio empresarial. A aplicação e introdução destas ferramentas na elaboração de um projecto térmico poderão, sem dúvida, aumentar a eficácia do mesmo e diminuir o tempo de execução.

Outros desenvolvimentos futuros de interesse são os seguintes:

- Utilizar dados climatéricos de diferentes zonas do país e utilizar dados meteorológicos em tempo real;
- Elaborar estudos de sensibilidade que permitam comparar influência dos diversos elementos construtivos nas perdas e ganhos do edifício;

BIBLIOGRAFIA

- [1] RCCTE, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto de Lei n.º 80, de 4 de Abril de 2006.
- [2] EnergyPlus Energy Simulation Software (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>). Setembro de 2010.
- [3] Software Cypeterm (versão temporária h) (<http://descargas.cype.pt>). Outubro 2010.
- [4] Top informática. *Cypeterm: Manual do utilizador - Exemplos Práticos*, 1ª Edição, Dezembro 2009.
- [5] Google Earth (earth.google.com/intl/pt/)). Outubro de 2010.
- [6] Plantas de arquitectura fornecidas pela empresa Mofase Arquitectura e Engenharia, lda. (www.mofase.pt). Setembro 2010.
- [7] Disciplina de Térmica de Edifícios, Apontamentos da memória descritiva tipo para uma habitação unifamiliar, Comportamento Térmico, DEC-FEUP, 2009.
- [8] Santos, C., Matias, L. *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, ITE 50, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006.
- [9] www.vidromax.pt. Outubro 2010.
- [10] Top informática. *Cypeterm: Manual do utilizador - Opções*, 1ª Edição, Dezembro 2009.
- [11] ADENE: Perguntas e respostas sobre a Certificação Energética de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE (Versão 1.3). Novembro de 2010.
- [12] Freitas, V. P. *Ventilação de Edifícios de Habitação*. LFC-FEUP, Porto.
- [13] Afonso, J., *Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos Um Caso de Estudo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte de Caparica, 2009.
- [14] RCCTE, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Quadro IV.1, Decreto-Lei n.º 80, 4 de Abril de 2006.
- [15] ADENE:
(www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/ProcessodaCertificacao/Classes+de+de+sempenho+Energ%C3%A9tico.htm).
- [16] EnergyPlus Energy Simulation Software – Weather Data: Portugal (http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=PRT/cname=Portugal). Dezembro 2010.
- [17] Silva, P.M., *Aplicação do Programa EnergyPlus como Ferramenta do Projecto Térmico de Edifícios de Habitação*, FEUP, Março de 2010.
- [18] ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook – Fundamentals, Atlanta, 2005.
- [19] The Engineering Tool Box (www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html). Janeiro 2010.
- [20] RCCTE, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Quadro IV.3, Decreto-Lei n.º 80, 4 de Abril de 2006.

ANEXO

A 1 – FOLHAS DE CÁLCULO UTILIZANDO O CYPETERM

ÍNDICE

1.- FICHA Nº1	2
2.- FRACÇÃO A	3
2.1.- Ficha Nº2	3
2.2.- Ficha Nº3	5
2.3.- Folhas de cálculo	7
2.3.1.- Inverno	7
2.3.2.- Verão	16
2.3.3.- AQS	21
2.3.4.- Energia	22
2.3.5.- Cálculo da inércia térmica interior do edifício	22
3.- FRACÇÃO B	23
3.1.- Ficha Nº2	23
3.2.- Ficha Nº3	25
3.3.- Folhas de cálculo	27
3.3.1.- Inverno	27
3.3.2.- Verão	36
3.3.3.- AQS	41
3.3.4.- Energia	42
3.3.5.- Cálculo da inércia térmica interior do edifício	42



1.- FICHA Nº1

FICHA Nº 1

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)

Demonstração da Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença ou Autorização Construção (Nos termos da alínea a) do n.º2 do artigo 12.º)

Câmara Municipal de Porto

Edifício:

Localização:

Nº de Fracções Autónomas 2 (ou corpos)

Para cada Fracção Autónoma (1) ou corpo, incluir:

Ficha 2 - Levantamento Dimensional

Ficha 3 - Comprovação de Satisfação dos Requisitos Mínimos (2)

Fichas FCI e FCV (Anexos IV e V do RCCTE)

Técnico Responsável:

Nome:

Inscrito na:

Ordem dos engenheiros, com o nº

Data: 25 de Outubro de 2010

Anexos:

1. Declaração de reconhecimento de capacidade profissional para aplicação do RCCTE, emitida pela Ordem dos Arquitectos, da Ordem dos Engenheiros ou da ANET.
2. Termo de Responsabilidade do Técnico Responsável, nos termos do disposto na alínea e) do n.º2 do artigo 12.º do RCCTE.
3. Declaração de conformidade regulamentar subscrita por perito qualificado, no âmbito do SCE, nos termos do disposto na alínea f) do n.º2 do artigo 12.º do RCCTE.

(1) Se houver duas ou mais fracções autónomas (FA) exactamente iguais, é suficiente elaborar um único conjunto de Fichas para cada grupo de FA iguais.

(2) Em alternativa, pode ser submetida uma única Ficha 3, comum para todas as Fracções Autónomas de um mesmo edifício, mesmo que haja mais do que uma FA distinta.

Mapa de valores nominais para o edifício

Zona climática I2 V1 Altitude <= 400 m
Graus-dias 1610 °C.dia Duração Aquec. 6.7 meses Temp. de verão 19 °C

Fracção autónoma	Ap (m²)	Taxa ren. (RPH)	Nic (kWh/m².ano)	Ni (kWh/m².ano)	Nvc (kWh/m².ano)	Nv (kWh/m².ano)	Nac (kWh/m².ano)	Na (kWh/m².ano)	Ntc (kgep/m².ano)	Nt (kgep/m².ano)
Fracção A	41.71	0.85	84.60	90.73	9.71	16.00	15.29	56.71	3.86	8.62
Fracção B	41.70	0.85	97.35	99.46	9.79	16.00	15.29	56.72	4.23	8.70



2.- FRACÇÃO A

2.1.- Ficha Nº2

Fracção autónoma: Fracção A

FICHA Nº 2

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

(Nos termos do artigo 12.º, n.º2, alínea b))

(PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)

(ou para um corpo de um edifício)

EDIFÍCIO/FA: / Fracção A

Área útil de pavimento 41.71 m²

Pé direito médio (ponderado) 2.50 m

Elementos correntes da envolvente			Elementos em contacto com o solo		
	A (m ²)	U (W/m ² °C)	Comprimento (m)	ψ (W/m°C)	
PAVIMENTOS			Pavimentos		
sobre exterior			Paredes		
sobre área não-útil	26.84	0.56			
	14.86	0.62			
Total	41.70				
PAREDES					
Exteriores	48.93				
Interiores					
PONTES TÉRMICAS PLANAS					
Pilares paredes ext.	0.00	0.00			
Vigas paredes ext.	2.46	0.72			
Pontes térmicas planas em paredes interiores	0.00	0.00			
Total	51.39				
COBERTURAS					
terraço					
desvão					
	não-ventilado				
	ventilado				
inclinadas					
sob área não-útil					
Total	0.00				
COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α					
PAREDE	COBERTURA				
0.40	0.00				

Pontes térmicas		
	Comprimento (m)	ψ (W/m°C)
FACHADA COM PAVIMENTO		
térreos		
intermédios	12.84	0.26
	0.50	0.10
	4.80	0.50
sobre locais não aquecidos ou exteriores	13.27	0.50
	12.84	0.65
	0.50	0.59
FACHADA COM		
cobertura		
Varanda	8.47	0.50
LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES		
	10.02	0.20



Paredes (descrição sumária e valor U)	ÁREAS (M²) POR ORIENTAÇÃO								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
P.Ext.2 / U = 0.46 W/m²°C					11.37		5.59		16.96
P.Ext.1 / U = 0.47 W/m²°C	11.20		19.16						30.36
PTP_Pilares_P.Ext.1 / U = 0.72 W/m²°C	0.62		0.38						1.00
PTP_Pilares_P.Ext.2 / U = 0.64 W/m²°C					0.61				0.61
Vãos envidraçados (especificar incluindo o tipo de protecção solar e valor g _⊥)									
Janela de tipo 1 / Sv = 0.51							13.66		13.66
Porta de vidro / Sv = 0.50							2.01		2.01
ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS									

**2.2.- Ficha Nº3****Fracção autónoma: Fracção A****FICHA Nº 3****REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)****Demonstração de satisfação dos requisitos mínimos para a envolvente de edifícios****(Nos termos da alínea d) do n.º2 do artigo 12.º)****Edifício:****Fracção autónoma: Fracção A****Inércia térmica: Forte**

a) U máximo:

Soluções adoptadas

0.72	Fachadas ext.
0.00	Coberturas ext.
0.00	Pavim. s/ ext.
0.00	Paredes interiores ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Paredes interiores ($\tau > 0.7$)
0.62	Pavim. inter. ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Pavim. inter. ($\tau > 0.7$)
0.00	Cobert. inter. ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Cobert. inter. ($\tau > 0.7$)
0.00	Pontes térm.

Valores máximos regulamentares

1.60 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
2.00 W/m ² °C
1.60 W/m ² °C
1.30 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
1.30 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
0.00 W/m ² °C

b) Factores solares dos envidraçados:

Soluções adoptadas - Verão

tipo de protecção solar: Janela de tipo 1 - Fs: 0.16
tipo de protecção solar: Porta de vidro - Fs: 0.50
tipo de protecção solar:
tipo de protecção solar:
tipo de protecção solar:

Valores máximos regulamentares

0.56
0.56
0.56
0.56
0.56

c) Pontes térmicas planas:

Soluções adoptadas - U

0.00	Pilares paredes ext.
0.72	Vigas paredes ext.
0.00	Pontes térmicas planas em paredes interiores ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Pontes térmicas planas em paredes interiores ($\tau > 0.7$)

Valores máximos regulamentares

0.92 W/m ² °C
0.92 W/m ² °C
2.00 W/m ² °C
1.60 W/m ² °C

Juntar pormenores construtivos definidores de todas as situações de potencial ponte térmica:

☐ Caixas de estore☒ Ligações entre paredes e vigas☒ Ligações entre paredes e pilares☒ Ligações entre paredes e lajes de pavimento



☐ Ligações entre paredes e lajes de cobertura

☐ Paredes e pavimentos enterrados

☒ Montagem de caixilharias

Técnico Responsável:

Nome:

Data: 25 de Outubro de 2010

Assinatura



2.3.- Folhas de cálculo

2.3.1.- Inverno

Fracção autónoma: Fracção A

Folha de cálculo FC IV.1a Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
P.Ext.2	16.96	0.46	7.80
P.Ext.1	30.36	0.47	14.27
PTP_Pilares_P.Ext.1	1.00	0.72	0.72
PTP_Pilares_P.Ext.2	0.61	0.64	0.39
Pontes térmicas planas (Vigas)	2.46	0.72	1.77
TOTAL			24.95

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
TOTAL			0.00

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
TOTAL			0.00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ·B (W/°C)
TOTAL			0.00



Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	$\Psi \cdot B$ (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos	0.00	0.00	0.00
Fachada com pavimentos não aquecidos e exteriores	26.61	0.57	15.17
Fachada com pavimentos intermédios	18.14	0.32	5.80
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	0.00	0.00	0.00
Fachada com varanda	8.47	0.50	4.24
Duas paredes verticais	10.02	0.20	2.00
Fachada com caixa de estore	0.00	0.00	0.00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	43.64	0.00	0.00
TOTAL			27.21



Folha de cálculo FC IV.1b
Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
Pav.Térreo_piso0	26.84	0.56	0.60	9.02
Pav.Térreo_piso0	14.86	0.62	0.60	5.53
TOTAL				14.55

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\tau \geq 0.7$) Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	Ψ·B·τ (W/°C)
TOTAL				0.00



Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma

(W/°C) **TOTAL** **14.55**

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m²)	U (W/m²°C)	U·A (W/°C)
<i>Verticais:</i>			
Janela de tipo 1	2.00	2.70	5.40
Janela de tipo 1	1.97	2.70	5.32
Janela de tipo 1	1.92	2.70	5.18
Janela de tipo 1	2.10	2.70	5.67
Janela de tipo 1	1.70	2.70	4.59
Porta de vidro	2.01	2.50	5.03
Janela de tipo 1	1.89	2.70	5.10
Janela de tipo 1	2.08	2.70	5.62
<i>Horizontais:</i>			
TOTAL			41.91



Folha de cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (A_p)	41.71	(m^2)
	x	
Pé direito médio (ponderado)	2.50	(m)
	=	
Volume interior (V)	104.28	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL	
Cumpre NP 1037-1?	(S ou N) N Se SIM: RPH =
Se NÃO:	
Classe de caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3) 2
Caixas de estore	(S ou N) N
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4) 1
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N) N
Área de envidraçados > 15% A_p ?	(S ou N) S
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N) S

Taxa de renovação nominal

RPH =

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor de cozinha)	
Caudal de insuflação	V_{ins} - (m^3/h)
	$V_f =$
Caudal extraído	V_{ev} - (m^3/h)
Diferença entre V_{ins} e V_{ev}	(m^3/h) / $V =$
Infiltrações	V_x Volume int. RPH
Recuperador de calor	(S ou N) Se SIM: η = Se NÃO: η = 0
Taxa de renovação nominal	(Mínimo: 0.6) ($V_f / V + V_x$)
Consumo de electricidade para os ventiladores	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03$ M (kWh))

Volume	104.28	
	x	
Taxa de renovação nominal	0.85	
	x	
	0.34	
	x	
	1.00	(1 - η)
	=	
TOTAL	30.14	($W/^\circ C$)





Folha de cálculo FC IV.1e
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m²)	Factor de orientação (-)	Factor solar do vão envidraçado (-)	Factor de obstrução (-)	Fracção envidraçada (-)	Factor de sel. angular (-)	Área efectiva (m²)
W	Duplo	2.00	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.21
W	Duplo	1.97	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.21
W	Duplo	1.92	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	2.10	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.22
W	Duplo	1.70	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.18
W	Duplo	2.01	0.56	0.50	0.52	0.90	0.90	0.24
W	Duplo	1.89	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	2.08	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.22

Área efectiva total equivalente na orientação SUL (m²)

1.68

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul}) na zona I2 (kWh/m².mês)

93.00

x

Duração da estação de aquecimento (meses)

6.7

=

Ganhos solares brutos (kWh/ano)

1046.81

Ganhos internos:

Ganhos internos médios	4.00	(W/m²)
	x	
Duração da estação de aquecimento	6.7	(meses)
	x	
Área útil de pavimento	41.71	(m²)
	x	
	0.72	
	=	
Ganhos internos brutos	804.84	(kWh/ano)

Ganhos totais úteis:

 $\gamma = \text{Ganhos solares brutos} + \text{Ganhos internos}$

1851.65

Nec. brutas de aquecimento

5361.69

Inércia do edifício:

Forte

 $\gamma = 0.35$

Factor de utilização dos ganhos solares

(η)

0.99

x

Ganhos solares brutos + Ganhos internos

1851.65

=

Ganhos totais úteis (kWh/ano)

1833.13



Folha de cálculo FC IV.1f
Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA*Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)*m²

Paredes exteriores

51.39

Coberturas exteriores

0.00

Pavimentos exteriores

0.00

Envidraçados exteriores

15.67

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A · τ)

Paredes interiores

0.00

Coberturas interiores

0.00

Pavimentos interiores

25.02

Envidraçados interiores

0.00

Área total:

92.08

/

Volume:

104.28

=

FF

0.88

Graus-dia no local (°C.dia)

1610

 $N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$ para $FF \leq 0.5$ $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$ para $0.5 < FF \leq 1$ $N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 \text{ FF})$ para $1 < FF \leq 1.5$ $N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$ para $FF > 1.5$ Nec. nom. de aquecimento máximas - Ni (kWh/m².ano)

91



Folha de cálculo FC IV.2
Cálculo do indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente exterior	52.16
Envolvente interior	14.55
Vãos envidraçados	41.91
Renovação de ar	30.14

	=
Coeficiente global de perdas (W/°C)	138.76
	x
Graus-dias (°C.dia)	1610
	x
	0.024
	=
Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	5361.69
	+
Consumo de electricidade para os ventiladores (kWh/ano)	0.00
	-
Ganhos totais úteis (kWh/ano)	1833.13
	=
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	3528.56
	/
Área útil de pavimento (m²)	41.71
	=
Nec. nominais de aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	85
	<
Nec. nom. de aquecimento máximas - Ni (kWh/m².ano)	91



2.3.2.- Verão

Fracção autónoma: Fracção A

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U·A)	24.95	(W/°C)
	+	
Perdas associadas a os pavimentos exteriores (U·A)	0.00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U·A)	0.00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas a os envidraçados exteriores (U·A)	41.91	(W/°C)
	+	
Perdas associadas à renovação de ar	30.14	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	(Q _{1a}) 97.00	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação arrefecimento	19	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	6	(°C)
	x	
Perdas específicas totais	(Q _{1a}) 97.00	(W/°C)
	x	
	2.928	
	=	
Perdas térmicas totais	(Q _{1b}) 1704.10	(kWh)



Folha de cálculo FC V.1b

Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
TOTAL			0.00

Perdas associadas a os envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
<i>Verticais:</i>			
Janela de tipo 1	2.00	2.70	5.40
Janela de tipo 1	1.97	2.70	5.32
Janela de tipo 1	1.92	2.70	5.18
Janela de tipo 1	2.10	2.70	5.67
Janela de tipo 1	1.70	2.70	4.59
Porta de vidro	2.01	2.50	5.03
Janela de tipo 1	1.89	2.70	5.10
Janela de tipo 1	2.08	2.70	5.62
<i>Horizontais:</i>			
TOTAL			41.91



Folha de cálculo FC V.1c
Ganhos solares pela envolvente opaca

Orientação	Área (m²)	U (W/m²°C)	Coef. Absor. (α)	U·A·α (W/°C)	Rad. solar (kWh/m²)	Factor solar	Ganhos solares (kWh)
W	5.59	0.46	0.40	1.03	420	0.04	17.27
E	19.16	0.47	0.40	3.60	420	0.04	60.55
N	11.20	0.47	0.40	2.10	200	0.04	16.83
N	1.28	0.72	0.40	0.37	200	0.04	2.94
S	11.37	0.46	0.40	2.09	380	0.04	31.80
S	0.61	0.64	0.40	0.16	380	0.04	2.37
E	1.52	0.72	0.40	0.44	420	0.04	7.32
S	0.67	0.72	0.40	0.19	380	0.04	2.92
TOTAL							142.00

Folha de cálculo FC V.1d
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

Orientação	Área (m²)	Factor solar do vão envidraçado	Fracção envidraçada	Factor de obstrução	Factor sel. vidro	Área efectiva (m²)	RS (kWh/m²)	Ganhos solares (kWh)
W	13.66	0.27	0.70	1.00	0.85	2.19	420	919.80
W	2.01	0.50	0.90	0.90	0.85	0.69	420	289.80
TOTAL								1209.60

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos internos

Ganhos internos médios	4.00	(W/m²)
	x	
Área útil de pavimento	41.71	(m²)
	x	
	2.928	
	=	
Ganhos internos totais	488.51	(kWh)



Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1209.60	(kWh)
	+	
Ganhos solares pela envolvente opaca	142.00	(kWh)
	+	
Ganhos internos	488.51	(kWh)
	=	
Ganhos térmicos totais	1840.11	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g
Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais	1840.11	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais	1704.10	(kWh)
	=	
γ	1.08	
Inércia do edifício	Forte	

	1.0	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0.78	
	=	
	0.22	
	x	
Ganhos térmicos totais	1840.11	(kWh)
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	404.82	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor de cozinha excluído)	0.00	(Ev=Pv.24.0,03.4 (kWh))
	=	
TOTAL	404.82	(kWh/ano)
	/	
Área útil de pavimento	41.71	(m ²)
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	9.71	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv	16	(kWh/m ² .ano)





2.3.3.- AQS

Fracção autónoma: Fracção A

Folha de Cálculo dos Indicadores das AQS

Necessidades de energia para preparação das Águas Quentes Sanitárias

Energia dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Qa)

Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	80
$M_{AQS} = 40 \text{ litros} \times n.º \text{ de ocupantes (Quadro VI.1)}$	x
	4187
	x
Aumento da temperatura necessária para preparar as AQS, DT	45
	x
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365
	=
	5501718000
	/
	3600000
	=
Energia dispend. com sist. convenc. de preparação de AQS, Q_a [kWh/ano]	1528.26

Necessidades de energia para preparação das AQS (Nac)

Energia útil dispendida com sistemas convencionais de AQS, Q_a	1528.26
	/
Eficiência de conversão desses sistemas de AQS, η_a	0.82
	=
	1863.73
	-
Contribuição de sist. de colectores solares para o aquec. de AQS, E_{solar} [kWh/ano]	1226.0
	-
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para o aquec. de AQS, E_{ren} [kWh/ano]	0.00
	=
	637.73
	/
Área útil de pavimento [m²]	41.71
	=
Necessidades de energia para preparação das AQS, N_{ac} [kWh/m².ano]	15.29

Necessidades de energia máxima para a preparação de AQS, (Na)

	0.081
	x
Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	80
	x
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365
	=
	2365.20
	/
Área útil de pavimento [m²]	41.71
	=
Necessid. máx. de energia para a preparação de AQS, N_a [kWh/m².ano]	56.71



Necessidades de energia para preparação das AQS, N_{ac} [kWh/m².ano]

≥
15.29

2.3.4.- Energia

Fracção autónoma: Fracção A

Folha de Cálculo dos Indicadores

Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e para arrefecimento

Conversão de Energia Útil para Energia Primária

Electricidade, F_{pu} [kgep/kWh]

0.290

Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, F_{pu} [kgep/kWh]

0.086

Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (Ntc)

Necessidades Nominais de Aquecimento, N_{ic} [kWh/m².ano]

84.60

Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sist. de aquecim., η_i

1.000

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{pui}

0.290

Necessidades Nominais de Arrefecimento, N_{vc} [kWh/m².ano]

9.71

Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sist. de arrefec., η_v

3.000

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{puv}

0.290

Necessidades Nominais para preparação de AQS, N_{ac} [kWh/m².ano]

15.29

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{pua}

0.086

Neces. globais de anuais nominais de energia primária, N_{tc} [kgep/m².ano]

3.86

Necessidades máximas globais anuais nominais específicas de energia primária (Nt)

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas, N_i [kWh/m².ano]

90.73

Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas, N_v [kWh/m².ano]

16.00

Necessidades Máx. Nominais para preparação de AQS, N_a [kWh/m².ano]

56.71

Neces. máx. globais de anuais nominais de energia primária, N_t [kgep/m².ano]

8.62

Neces. globais de anuais nominais de energia primária, N_{tc} [kgep/m².ano]

≥
3.86

2.3.5.- Cálculo da inércia térmica interior do edifício

Fracção autónoma: Fracção A



Elemento da construção	M _{si} (kg/m²)	S _i (m²)	Factor de correcção (r)	M _{si} ·r·S _i (kg)
A - Paredes exteriores ou em contacto com o solo				
P.Ext.2	150	16.95	1.00	2542.71
Pontes térmicas planas (Vigas)	150	2.47	1.00	370.44
P.Ext.1	136	30.36	1.00	4138.81
PTP_Pilares_P.Ext.1	150	1.00	1.00	150.40
PTP_Pilares_P.Ext.2	150	0.61	1.00	91.97
B - Coberturas				
Pav.Piso1	150	41.44	1.00	6215.88
C - Pavimentos exteriores, de separação com espaços não úteis ou solo				
Pav.Térreo_piso0	120	26.84	0.50	1610.47
Pav.Térreo_piso0	150	14.86	1.00	2228.77
E - Paredes e pavimentos interiores				
P.Int.1	176	41.45	1.00	7308.08
Total				24657.52

/

Área útil de pavimento (m²)

41.7

=

Massa superficial útil por m² de área de pavimento

591.17

Classe de Inércia Térmica

FORTE

3.- FRACÇÃO B

3.1.- Ficha Nº2

Fracção autónoma: Fracção B

FICHA Nº 2

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

(Nos termos do artigo 12.º, n.º2, alínea b))

(PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)

(ou para um corpo de um edifício)

EDIFÍCIO/FA: / Fracção B

Área útil de pavimento 41.70 m²

Pé direito médio (ponderado) 2.50 m

Elementos correntes da envolvente		Elementos em contacto com o solo	
A	U	Comprimento	ψ
(m²)	(W/m²°C)	(m)	(W/m°C)
PAVIMENTOS		Pavimentos	
sobre exterior		Paredes	
sobre área não-útil			



	Total	0.00
PAREDES		
Exteriores	49.02	
Interiores		
PONTES TÉRMICAS PLANAS		
Pilares paredes ext.	0.00	0.00
Vigas paredes ext.	2.46	0.72
Pontes térmicas planas em paredes interiores	0.00	0.00
Total	51.48	
COBERTURAS		
terraço	41.70	0.64
desvão		
não-ventilado		
ventilado		
inclinadas		
sob área não-útil		
Total	41.70	

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA
0.40	0.40

Pontes térmicas		
	Comprimento (m)	ψ (W/m°C)
FACHADA COM PAVIMENTO térreos		
intermédios	12.84	0.26
	0.50	0.10
	4.80	0.50
sobre locais não aquecidos ou exteriores		
FACHADA COM cobertura	12.84	0.75
	13.79	0.50
Varanda	8.47	0.50
LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES	10.02	0.20

Paredes (descrição sumária e valor U)	ÁREAS (M²) POR ORIENTAÇÃO								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
P.Ext.1 / U = 0.47 W/m²°C	11.20		19.16						30.36
PTP_Pilares_P.Ext.1 / U = 0.72 W/m²°C	0.62		0.38						1.00
P.Ext.2 / U = 0.46 W/m²°C					11.35		5.69		17.04
PTP_Pilares_P.Ext.2 / U = 0.64 W/m²°C					0.62				0.62
Vãos envidraçados (especificar incluindo o tipo de protecção solar e valor $g_{\perp}$)									
Janela de tipo 1 / Sv = 0.51							13.56		13.56
Porta de vidro / Sv = 0.50							2.01		2.01
ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS									

**3.2.- Ficha N°3****Fracção autónoma: Fracção B****FICHA N° 3****REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)****Demonstração de satisfação dos requisitos mínimos para a envolvente de edifícios****(Nos termos da alínea d) do n.º2 do artigo 12.º)****Edifício:****Fracção autónoma: Fracção B****Inércia térmica: Forte**

a) U máximo:

Soluções adoptadas

0.72	Fachadas ext.
0.64	Coberturas ext.
0.00	Pavim. s/ ext.
0.00	Paredes interiores ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Paredes interiores ($\tau > 0.7$)
0.00	Pavim. inter. ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Pavim. inter. ($\tau > 0.7$)
0.00	Cobert. inter. ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Cobert. inter. ($\tau > 0.7$)
0.00	Pontes térm.

Valores máximos regulamentares

1.60 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
2.00 W/m ² °C
1.60 W/m ² °C
1.30 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
1.30 W/m ² °C
1.00 W/m ² °C
0.00 W/m ² °C

b) Factores solares dos envidraçados:

Soluções adoptadas - Verão

tipo de protecção solar: Janela de tipo 1 - Fs: 0.16
tipo de protecção solar: Porta de vidro - Fs: 0.50
tipo de protecção solar:
tipo de protecção solar:
tipo de protecção solar:

Valores máximos regulamentares

0.56
0.56
0.56
0.56
0.56

c) Pontes térmicas planas:

Soluções adoptadas - U

0.00	Pilares paredes ext.
0.72	Vigas paredes ext.
0.00	Pontes térmicas planas em paredes interiores ($\tau \leq 0.7$)
0.00	Pontes térmicas planas em paredes interiores ($\tau > 0.7$)

Valores máximos regulamentares

0.92 W/m ² °C
0.92 W/m ² °C
2.00 W/m ² °C
1.60 W/m ² °C

Juntar pormenores construtivos definidores de todas as situações de potencial ponte térmica:

- ☐ Caixas de estore
- ☒ Ligações entre paredes e vigas
- ☒ Ligações entre paredes e pilares
- ☐ Ligações entre paredes e lajes de pavimento



☒ Ligações entre paredes e lajes de cobertura

☐ Paredes e pavimentos enterrados

☒ Montagem de caixilharias

Técnico Responsável:

Nome:

Data: 25 de Outubro de 2010

Assinatura



3.3.- Folhas de cálculo

3.3.1.- Inverno

Fracção autónoma: Fracção B

Folha de cálculo FC IV.1a Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
P.Ext.1	30.36	0.47	14.27
PTP_Pilares_P.Ext.1	1.00	0.72	0.72
P.Ext.2	17.04	0.46	7.84
PTP_Pilares_P.Ext.2	0.62	0.64	0.40
Pontes térmicas planas (Vigas)	2.46	0.72	1.77
TOTAL			25.00

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
TOTAL			0.00

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
Cobertura	41.70	0.64	26.69
TOTAL			26.69

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ·B (W/°C)
TOTAL			0.00



Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	$\Psi \cdot B$ (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos	0.00	0.00	0.00
Fachada com pavimentos não aquecidos e exteriores	0.00	0.00	0.00
Fachada com pavimentos intermédios	18.14	0.32	5.80
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	26.63	0.62	16.51
Fachada com varanda	8.47	0.50	4.24
Duas paredes verticais	10.02	0.20	2.00
Fachada com caixa de estore	0.00	0.00	0.00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	43.54	0.00	0.00
TOTAL			28.55



Folha de cálculo FC IV.1b
Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U·A·τ (W/°C)
TOTAL				0.00

Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\tau \geq 0.7$) Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	Ψ·B·τ (W/°C)



Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\tau \geq 0.7$) Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	$\Psi \cdot B \cdot \tau$ (W/°C)
TOTAL				0.00

Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma

(W/°C)

TOTAL

0.00

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m²)	U (W/m²°C)	U·A (W/°C)
Verticais:			
Janela de tipo 1	2.01	2.70	5.43
Janela de tipo 1	1.95	2.70	5.27
Janela de tipo 1	1.94	2.70	5.24
Janela de tipo 1	2.09	2.70	5.64
Janela de tipo 1	1.66	2.70	4.48
Porta de vidro	2.01	2.50	5.03
Janela de tipo 1	1.88	2.70	5.08
Janela de tipo 1	2.03	2.70	5.48
Horizontais:			
TOTAL			41.65



Folha de cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (A_p)	41.70	(m^2)
	x	
Pé direito médio (ponderado)	2.50	(m)
	=	
Volume interior (V)	104.25	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL	
Cumpre NP 1037-1?	(S ou N) N Se SIM: RPH =
Se NÃO:	
Classe de caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3) 2
Caixas de estore	(S ou N) N
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4) 1
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N) N
Área de envidraçados > 15% A_p ?	(S ou N) S
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N) S

Taxa de renovação nominal

RPH =

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor de cozinha)	
Caudal de insuflação	V_{ins} - (m^3/h)
	$V_f =$
Caudal extraído	V_{ev} - (m^3/h)
Diferença entre V_{ins} e V_{ev}	(m^3/h) / $V =$
Infiltrações	V_x Volume int. RPH
Recuperador de calor	(S ou N) Se SIM: η = Se NÃO: η = 0
Taxa de renovação nominal	(Mínimo: 0.6) ($V_f / V + V_x$)
Consumo de electricidade para os ventiladores	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03$ M (kWh))

Volume	104.25	
	x	
Taxa de renovação nominal	0.85	
	x	
	0.34	
	x	
	1.00	(1 - η)
	=	
TOTAL	30.13	($W/^\circ C$)





Folha de cálculo FC IV.1e
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m²)	Factor de orientação (-)	Factor solar do vão envidraçado (-)	Factor de obstrução (-)	Fracção envidraçada (-)	Factor de sel. angular (-)	Área efectiva (m²)
W	Duplo	2.01	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.21
W	Duplo	1.95	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	1.94	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	2.09	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.22
W	Duplo	1.66	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.17
W	Duplo	2.01	0.56	0.50	0.52	0.90	0.90	0.24
W	Duplo	1.88	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.20
W	Duplo	2.03	0.56	0.51	0.58	0.70	0.90	0.21

Área efectiva total equivalente na orientação SUL (m²)

1.65

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul}) na zona I2 (kWh/m².mês)

93.00

x

Duração da estação de aquecimento (meses)

6.7

=

Ganhos solares brutos (kWh/ano)

1028.12

Ganhos internos:

Ganhos internos médios	4.00	(W/m²)
	x	
Duração da estação de aquecimento	6.7	(meses)
	x	
Área útil de pavimento	41.70	(m²)
	x	
	0.72	
	=	
Ganhos internos brutos	804.64	(kWh/ano)

Ganhos totais úteis:

$$\gamma = \text{Ganhos solares brutos} + \text{Ganhos internos}$$

1832.76

Nec. brutas de aquecimento

5874.05

Inércia do edifício:

Forte

 $\gamma =$ 0.31

Factor de utilização dos ganhos solares

(η)

0.99

x

Ganhos solares brutos + Ganhos internos

1832.76

=

Ganhos totais úteis (kWh/ano)

1814.43



Folha de cálculo FC IV.1f
Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA*Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)*m²

Paredes exteriores

51.48

Coberturas exteriores

41.70

Pavimentos exteriores

0.00

Envidraçados exteriores

15.57

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A · τ)

Paredes interiores

0.00

Coberturas interiores

0.00

Pavimentos interiores

0.00

Envidraçados interiores

0.00

Área total:

108.75

/

Volume:

104.25

=

FF

1.04

Graus-dia no local (°C.dia)

1610

 $N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$ para $FF \leq 0.5$ $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$ para $0.5 < FF \leq 1$ $N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 \text{ FF})$ para $1 < FF \leq 1.5$ $N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$ para $FF > 1.5$ Nec. nom. de aquecimento máximas - Ni (kWh/m².ano)

99

Folha de cálculo FC IV.2
Cálculo do indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente exterior	80.24
Envolvente interior	0.00
Vãos envidraçados	41.65
Renovação de ar	30.13

	=
Coeficiente global de perdas (W/°C)	152.02
	x
Graus-dias (°C.dia)	1610
	x
	0.024
	=
Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	5874.05
	+
Consumo de electricidade para os ventiladores (kWh/ano)	0.00
	-
Ganhos totais úteis (kWh/ano)	1814.43
	=
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	4059.62
	/
Área útil de pavimento (m²)	41.70
	=
Nec. nominais de aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	97
	<
Nec. nom. de aquecimento máximas - Ni (kWh/m².ano)	99



3.3.2.- Verão

Fracção autónoma: Fracção B

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U·A)	25.00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas a os pavimentos exteriores (U·A)	0.00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U·A)	26.69	(W/°C)
	+	
Perdas associadas a os envidraçados exteriores (U·A)	41.65	(W/°C)
	+	
Perdas associadas à renovação de ar	30.13	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	(Q _{1a}) 123.47	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação arrefecimento	19	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	6	(°C)
	x	
Perdas específicas totais	(Q _{1a}) 123.47	(W/°C)
	x	
	2.928	
	=	
Perdas térmicas totais	(Q _{1b}) 2169.12	(kWh)



Folha de cálculo FC V.1b

Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
Cobertura	41.70	0.64	26.69
TOTAL			26.69

Perdas associadas a os envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U·A (W/°C)
<i>Verticais:</i>			
Janela de tipo 1	2.01	2.70	5.43
Janela de tipo 1	1.95	2.70	5.27
Janela de tipo 1	1.94	2.70	5.24
Janela de tipo 1	2.09	2.70	5.64
Janela de tipo 1	1.66	2.70	4.48
Porta de vidro	2.01	2.50	5.03
Janela de tipo 1	1.88	2.70	5.08
Janela de tipo 1	2.03	2.70	5.48
<i>Horizontais:</i>			
TOTAL			41.65



Folha de cálculo FC V.1c
Ganhos solares pela envolvente opaca

Orientação	Área (m²)	U (W/m²°C)	Coef. Absor. (α)	U·A·α (W/°C)	Rad. solar (kWh/m²)	Factor solar	Ganhos solares (kWh)
E	19.16	0.47	0.40	3.60	420	0.04	60.55
N	11.20	0.47	0.40	2.10	200	0.04	16.83
N	1.28	0.72	0.40	0.37	200	0.04	2.94
W	5.69	0.46	0.40	1.05	420	0.04	17.61
S	11.35	0.46	0.40	2.09	380	0.04	31.74
S	0.62	0.64	0.40	0.16	380	0.04	2.43
E	1.52	0.72	0.40	0.44	420	0.04	7.32
S	0.67	0.72	0.40	0.19	380	0.04	2.92
Horizontal	41.70	0.64	0.40	10.68	730	0.04	311.74
TOTAL							454.08

Folha de cálculo FC V.1d
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

Orientação	Área (m²)	Factor solar do vão envidraçado	Fracção envidraçada	Factor de obstrução	Factor sel. vidro	Área efectiva (m²)	RS (kWh/m²)	Ganhos solares (kWh)
W	13.56	0.27	0.70	1.00	0.85	2.18	420	915.60
W	2.01	0.50	0.90	0.90	0.85	0.69	420	289.80
TOTAL								1205.40

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos internos

Ganhos internos médios	4.00	(W/m²)
	x	
Área útil de pavimento	41.70	(m²)
	x	
	2.928	
	=	
Ganhos internos totais	488.39	(kWh)



Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão)

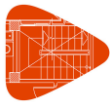
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	1205.40	(kWh)
	+	
Ganhos solares pela envolvente opaca	454.08	(kWh)
	+	
Ganhos internos	488.39	(kWh)
	=	
Ganhos térmicos totais	2147.87	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g
Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais	2147.87	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais	2169.12	(kWh)
	=	
γ	0.99	
Inércia do edifício	Forte	

	1.0	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0.81	
	=	
	0.19	
	x	
Ganhos térmicos totais	2147.87	(kWh)
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	408.10	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor de cozinha excluído)	0.00	(Ev=Pv.24.0,03.4 (kWh))
	=	
TOTAL	408.10	(kWh/ano)
	/	
Área útil de pavimento	41.70	(m ²)
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	9.79	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv	16	(kWh/m ² .ano)





3.3.3.- AQS

Fracção autónoma: Fracção B

Folha de Cálculo dos Indicadores das AQS

Necessidades de energia para preparação das Águas Quentes Sanitárias

Energia dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Qa)

Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	80
$M_{AQS} = 40 \text{ litros} \times n.^{\circ} \text{ de ocupantes (Quadro VI.1)}$	x
	4187
	x
Aumento da temperatura necessária para preparar as AQS, DT	45
	x
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365
	=
	5501718000
	/
	3600000
	=
Energia dispend. com sist. convenc. de preparação de AQS, Q_a [kWh/ano]	1528.26

Necessidades de energia para preparação das AQS (Nac)

Energia útil dispendida com sistemas convencionais de AQS, Q_a	1528.26
	/
Eficiência de conversão desses sistemas de AQS, η_a	0.82
	=
	1863.73
	-
Contribuição de sist. de colectores solares para o aquec. de AQS, E_{solar} [kWh/ano]	1226.0
	-
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para o aquec. de AQS, E_{ren} [kWh/ano]	0.00
	=
	637.73
	/
Área útil de pavimento [m ²]	41.70
	=
Necessidades de energia para preparação das AQS, N_{ac} [kWh/m ² .ano]	15.29

Necessidades de energia máxima para a preparação de AQS, (Na)

	0.081
	x
Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	80
	x
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365
	=
	2365.20
	/
Área útil de pavimento [m ²]	41.70
	=
Necessid. máx. de energia para a preparação de AQS, N_a [kWh/m ² .ano]	56.72

Necessidades de energia para preparação das AQS, N_{ac} [kWh/m².ano] $\geq$

15.29

3.3.4.- Energia

Fracção autónoma: Fracção B

Folha de Cálculo dos Indicadores

Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e para arrefecimento

Conversão de Energia Útil para Energia Primária

Electricidade, F_{pu} [kgep/kWh]

0.290

Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, F_{pu} [kgep/kWh]

0.086

Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (Ntc)

Necessidades Nominais de Aquecimento, N_{ic} [kWh/m².ano]

97.35

Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sist. de aquecim., η_i

1.000

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{pui}

0.290

Necessidades Nominais de Arrefecimento, N_{vc} [kWh/m².ano]

9.79

Eficiência nominal do equipamento utilizado p/ o sist. de arrefec., η_v

3.000

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{puv}

0.290

Necessidades Nominais para preparação de AQS, N_{ac} [kWh/m².ano]

15.29

Conversão de Energia Útil para Energia Primária, F_{pua}

0.086

Neces. globais de anuais nominais de energia primária, N_{tc} [kgep/m².ano]

4.23

Necessidades máximas globais anuais nominais específicas de energia primária (Nt)

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas, N_i [kWh/m².ano]

99.46

Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas, N_v [kWh/m².ano]

16.00

Necessidades Máx. Nominais para preparação de AQS, N_a [kWh/m².ano]

56.72

Neces. máx. globais de anuais nominais de energia primária, N_t [kgep/m².ano]

8.70

 $\geq$ Neces. globais de anuais nominais de energia primária, N_{tc} [kgep/m².ano]

4.23

3.3.5.- Cálculo da inércia térmica interior do edifício

Fracção autónoma: Fracção B



Elemento da construção	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor de correcção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
A - Paredes exteriores ou em contacto com o solo				
Pontes térmicas planas (Vigas)	150	2.47	1.00	370.44
P.Ext.1	136	30.36	1.00	4138.81
PTP_Pilares_P.Ext.1	150	1.00	1.00	150.40
P.Ext.2	150	17.05	1.00	2556.85
PTP_Pilares_P.Ext.2	150	0.62	1.00	93.57
B - Coberturas				
Cobertura	150	41.70	1.00	6254.87
C - Pavimentos exteriores, de separação com espaços não úteis ou solo				
Pav.Piso1	120	28.02	0.50	1680.98
Pav.Piso1	150	13.42	1.00	2013.45
E - Paredes e pavimentos interiores				
P.Int.1	176	41.46	1.00	7310.27
Total				24569.63

/

Área útil de pavimento (m²)

41.7

=

Massa superficial útil por m² de área de pavimento

589.20

Classe de Inércia Térmica

FORTE

