

Influência dos Parâmetros de Cálculo do RCCTE na Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios Residenciais

Nuno Miguel Mina Castro Gonçalves

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Professor José Fernando de Almeida Dias

Co-orientador: Engenheiro João Paulo Gaspar Martins

Júri:

Presidente: Professor Doutor José Manuel Paixão Conde

Vogal: Professor Doutor João José Lopes de Carvalho

Vogal: Professor Doutor José Fernando de Almeida Dias

Vogal: Engenheiro João Paulo Gaspar Martins

Monte de Caparica

Fevereiro de 2011

Influência dos Parâmetros de Cálculo do RCCTE na Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios Residenciais

Nuno Miguel Mina Castro Gonçalves

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Professor José Fernando de Almeida Dias

Co-orientador: Engenheiro João Paulo Gaspar Martins

Monte de Caparica

Fevereiro de 2011

Influência dos Parâmetros de Cálculo do RCCTE na Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios Residenciais

Copyright © 2011 – Nuno Miguel Mina Castro Gonçalves. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
Universidade Nova de Lisboa.

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

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor José Fernando de Almeida Dias, agradeço a orientação, toda a ajuda, apoio e disponibilidade sempre demonstrada.

Ao Engenheiro Olandino Caliço e ao Engenheiro João Martins pela experiência profissional que me proporcionaram, e ao último pela co-orientação deste trabalho. Agradeço especialmente a confiança que depositaram em mim, que permitiu não só adquirir conhecimentos fulcrais para o desenvolvimento desta dissertação, como a oportunidade de trabalhar com um grupo de excelentes profissionais.

À minha família e todos os meus amigos pela presença constante ao longo não só deste processo, como em todos os momentos importantes da minha vida.

Resumo

As questões da escassez de fontes de energia fóssil e do excesso de emissões de gases poluentes não são problemas recentes, no entanto, são cada vez mais preocupantes e a necessidade de medidas correctivas nunca foi tão urgente.

Este trabalho centra-se precisamente na utilização de uma dessas medidas, o RCCTE, documento onde são estipulados os parâmetros necessários à avaliação do desempenho energético dos edifícios residenciais. O objectivo principal é entender quais são os parâmetros mais relevantes nesta avaliação.

Partindo de um conjunto base foram executadas alterações que permitiram registar, isoladamente, os efeitos de certos parâmetros no resultado final. Para tal, foi necessário encontrar o melhor método de análise e caso de estudo possíveis.

O caso de estudo, uma fracção de habitação genérica, foi idealizado de forma a abranger o maior número de situações possível e possibilitar, posteriormente, uma comparação dos seus resultados com os de uma fracção de habitação real. Abrindo, deste modo, possibilidade à afirmação de que os efeitos registados são válidos no âmbito real.

Por fim, analisaram-se os dois edifícios com um software de simulação dinâmica na tentativa de aferir se os efeitos se fariam sentir da mesma forma.

Palavras-chave

RCCTE; Certificação Energética; Desempenho Energético; Qualidade Térmica.

Abstract

The scarcity of fossil power sources and the excess of emissions of polluting gases are not recent issues, but they are increasingly concerning questions, and the need of corrective measures has never been so urgent.

The main focus of this work is on the utilization of one of those measures, the RCCTE, a document that sets out the parameters needed to assess the power performance of residential buildings. The principle aim is to understand which parameters are the most relevant in this assessment.

Based on a set of parameters, alterations were made allowing the isolated registration of the effects for some parameters in the final result. In order to do that, finding the best assessment method and the study case possible was necessary.

The case study - a general building unit - was designed to cover as many situations as possible and also to lately enable a comparison between the case study results and the results of a real building unit. Thus, allowing the possibility of confirming that the registered effects are actually valid.

Finally, two buildings were analyzed using a dynamic simulation software as an attempt to evaluate if the effects were equally felt.

Key words

RCCTE; Energy Performance Certification; Energy Performance; Thermal Efficiency.

Índice geral

1. Introdução	1
1.1. Evolução da Regulamentação Energética em Portugal.....	1
1.2. Objectivos e metodologia.....	1
1.2.1. Influência dos parâmetros no desempenho energético.....	2
1.2.2. Analogia entre a fracção genérica e a fracção real.....	2
1.2.3. Estudo térmico num software de simulação dinâmica	2
2. Métodos de análise.....	3
2.1. Breve introdução aos métodos de análise	3
2.2. Análise em pormenor dos métodos escolhidos	4
2.2.1. Software <i>RCCTE-STE</i>	4
2.2.2. Método da <i>Folha de Cálculo do Excel</i>	5
2.2.3. Comparação entre o <i>RCCTE-STE</i> e a <i>Folha de Cálculo do Excel</i>	8
2.2.4. Software <i>IES Virtual Environment</i>	9
3. Parâmetros e respectiva capacidade de alteração	10
3.1. Capacidade de alteração dos parâmetros	10
3.2. Grupos de parâmetros.....	11
3.2.1. Parâmetros fixos	11
3.2.2. Parâmetros alteráveis.....	12
3.2.3. Parâmetros facilmente alteráveis	12
4. Caso genérico	13
4.1. Apresentação do caso genérico	13
4.2. Descrição simplificada da fracção genérica	14
4.3. Representação esquemática da fracção genérica	15
4.4. Descrição detalhada da fracção genérica	16
4.5. Definição dos parâmetros.....	18
4.5.1. Parâmetros fixos	18
4.5.2. Parâmetros facilmente alteráveis	23
4.5.3. Parâmetros alteráveis.....	29
4.6. Alterações e resultados.....	32
4.6.1. Resultados do 1º Caso	32
4.6.2. Alterações para o 2º Caso.....	33
4.6.3. Resultados do 2º Caso	34
4.6.4. Alterações para o 3º Caso.....	36
4.6.5. Resultados do 3º Caso	36

4.6.6. Alterações para o 4º Caso	38
4.6.7. Resultados do 4º Caso.....	38
4.6.8. Alterações para o 5º Caso	39
4.6.9. Resultados do 5º Caso.....	40
4.6.10. Alterações para o 6º Caso	40
4.6.11. Resultados do 6º Caso.....	41
4.6.12. Alterações para o 7º Caso	42
4.6.13. Resultados do 7º Caso.....	42
4.6.14. Alterações para o 8º Caso	42
4.6.15. Resultados do 8º Caso.....	43
4.6.16. Alterações para o 9º Caso	44
4.6.17. Resultados do 9º Caso.....	45
4.6.18. Alterações para o 10º Caso	47
4.6.19. Resultados do 10º Caso.....	47
4.7. Resultados do caso genérico	49
5. Caso real.....	53
5.1. Apresentação do caso real	53
5.2. Descrição simplificada da fracção real	54
5.3. Representação esquemática da fracção real	55
5.4. Descrição detalhada da fracção real.....	57
5.5. Definição dos parâmetros	60
5.5.1. Parâmetros facilmente alteráveis	60
5.6. Alterações e resultados	64
5.6.1. Resultados do 1º Caso.....	64
5.6.2. Alterações para o 2º caso	65
5.6.3. Resultados do 2º Caso.....	66
5.6.4. Alterações para o 3º Caso	67
5.6.5. Resultados do 3º caso.....	68
5.6.6. Alterações para o 4º Caso	69
5.6.7. Resultados do 4º Caso.....	69
5.6.8. Alterações para o 5º Caso	70
5.6.9. Resultados do 5º Caso.....	71
5.7. Resultados do caso real.....	72
5.8. Comparação com os resultados do caso genérico	74
5.9. Considerações finais	77

6. Estudo térmico no software <i>IES Virtual Environment</i>	79
6.1. Etapas da simulação dinâmica.....	79
6.1.1. Construção do modelo geométrico	79
6.1.2. Atribuição de propriedades ao modelo	80
6.1.3. Análise do sombreamento solar.....	81
6.1.4. Simulação térmica detalhada	81
6.1.5. Apresentação dos resultados.....	82
6.2. Resultados do caso genérico	83
6.2.1. Cargas de aquecimento e de arrefecimento	84
6.2.2. Comparação com os resultados da <i>Folha de Cálculo do Excel</i>	85
6.3. Resultados do caso real	87
6.3.1. Cargas de aquecimento e de arrefecimento	87
6.3.2. Comparação com os resultados da <i>Folha de Cálculo do Excel</i>	88
7. Conclusões	91
8. Bibliografia.....	95
9. Anexos.....	97

Índice de figuras

Figura 2.1 – Primeira fase do estudo no software <i>RCCTE-STE</i>	4
Figura 2.2 – Segunda fase do estudo no software <i>RCCTE-STE</i>	5
Figura 2.3 – Exemplo de <i>Folha de Cálculo do Excel (1/2)</i>	6
Figura 2.4 – Exemplo de <i>Folha de Cálculo do Excel (2/2)</i>	7
Figura 2.5 – Ficha FC IV.1b da <i>Folha de Cálculo do Excel</i>	7
Figura 4.1 – Perspectiva geral da fracção genérica	15
Figura 4.2 – Perspectiva do ENU no piso 0 da fracção genérica	15
Figura 4.3 – Planta do piso 0 da fracção genérica.....	16
Figura 4.4 – Planta do piso 1 da fracção genérica.....	17
Figura 4.5 – Corte demonstrativo do tipo de cobertura da fracção genérica.....	17
Figura 4.6 – Evolução do valor de N_{ic}/N_i	50
Figura 4.7 – Evolução do valor de N_{vc}/N_v	50
Figura 4.8 – Evolução do valor de N_{tc}/N_t	50
Figura 4.9 - Comparação entre N_{ic}/N_i e N_{tc}/N_t	51
Figura 4.10 - Comparação entre N_{ic}/N_i , N_{tc}/N_t e N_{ac}/N_a	51
Figura 5.1 – Alçado Norte da fracção real.....	55
Figura 5.2 – Alçado Sul da fracção real	56
Figura 5.3 – Alçado Nascente da fracção real.....	56
Figura 5.4 – Alçado Poente da fracção real.....	56
Figura 5.5 – Planta da cave do caso real.....	57
Figura 5.6 – Planta do piso 0 do caso real.....	58
Figura 5.7 – Planta do piso 1 do caso real.....	59
Figura 5.8 – Evolução do valor de N_{ic}/N_i	72
Figura 5.9 – Evolução do valor de N_{vc}/N_v	73

Figura 5.10 – Comparação entre N_{ic}/N_i e N_{tc}/N_t	73
Figura 5.11 – Comparação entre N_{ic}/N_i , N_{ac}/N_a e N_{tc}/N_t	73
Figura 5.12 – Comparação entre N_{ic}/N_i genérico e N_{ic}/N_i real	75
Figura 5.13 – Comparação entre N_{vc}/N_v genérico e N_{vc}/N_v real	75
Figura 5.14 – Comparação entre N_{ac}/N_a genérico e N_{ac}/N_a real.....	76
Figura 5.15 – Comparação entre N_{tc}/N_t genérico e N_{tc}/N_t real	76
Figura 6.1 – Modelo a três dimensões da fracção genérica	79
Figura 6.2 – Modelo a três dimensões da fracção real.....	79
Figura 6.3 – <i>V.E. Building Template Manager, Thermal Conditions</i>	80
Figura 6.4 – <i>V.E. Building Template Manager, Project Constructions</i>	80
Figura 6.5 – Sombreamento no dia 15 de Junho às 10:00, para a fracção genérica	81
Figura 6.6 – Sombreamento no dia 15 de Dezembro às 15:00, para a fracção real.....	81
Figura 6.7 – <i>V.E. ApacheSim (Dynamic Simulation)</i>	81
Figura 6.8 – Comparação entre temperaturas para o ENU do caso genérico	83
Figura 6.9 – Comparação entre temperaturas para um espaço útil do caso genérico	83
Figura 6.10 – Comparação entre os valores de N_{ic} para o caso genérico.....	85
Figura 6.11 – Comparação entre os valores de N_{vc} para o caso genérico.....	86
Figura 6.12 – Comparação entre os valores da soma ($N_{ic} + N_{vc}$) para o caso genérico.....	86
Figura 6.13 – Comparação entre os valores de N_{ic} para o caso real	88
Figura 6.14 – Comparação entre os valores de N_{vc} para o caso real.....	89
Figura 6.15 – Comparação entre os valores da soma ($N_{ic} + N_{vc}$) para o caso real.....	89

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Resultados do estudo comparativo entre a <i>Folha de Cálculo</i> e o <i>RCCTE-STE</i>	8
Tabela 4.1 – Áreas dos elementos da envolvente da fracção genérica.....	18
Tabela 4.2 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção genérica.....	24
Tabela 4.3 – Propriedades para o cálculo da inércia térmica da fracção genérica (1/2)	26
Tabela 4.4 – Propriedades para o cálculo da inércia térmica da fracção genérica (2/2)	27
Tabela 4.5 – Resultados do estudo do caso genérico	49
Tabela 5.1 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção real (1/2).....	60
Tabela 5.2 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção real (2/2).....	61
Tabela 5.3 – Resultados do estudo do caso real	72
Tabela 5.4 – Alterações no caso genérico e no caso real	75
Tabela 6.1 – Valores mensais e anuais das cargas para o 1º caso da fracção genérica	84
Tabela 6.2 – Valores das cargas do estudo do caso genérico	84
Tabela 6.3 – Resultados dos dois métodos utilizados para o caso genérico.....	85
Tabela 6.4 – Valores das cargas do estudo do caso real.....	87
Tabela 6.5 – Resultados dos dois métodos utilizados para o caso real	88

Lista de abreviaturas e símbolos

- ADENE – Agência para a Energia
- A_i – Área dos Elementos que Separam o Espaço Útil do Espaço Não Útil
- AQS – Águas Quentes Sanitárias
- A_u – Área dos Elementos que Separam o Espaço Não Útil do Exterior
- AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
- CIBSE – Chartered Institute of Building Services Engineers
- Coefficiente (U) – Coeficiente Global de Transmissão de Calor
- Coefficiente (ψ) – Coeficiente de Transmissão Térmica Linear
- ENU – Espaço Não Útil
- INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
- ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção da Universidade de Coimbra
- N_a – Necessidades Nominais de Energia para Produção de Águas Quentes Sanitárias Máximas
- N_{ac} – Necessidades Nominais Energia para Produção de Águas Quentes Sanitárias
- N_i – Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento Máximas
- N_{ic} – Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento
- N_t – Necessidades Nominais Globais de Energia Primária Máximas
- N_{tc} – Necessidades Nominais Globais de Energia Primária
- N_v – Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento Máximas
- N_{vc} – Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento
- PTL – Pontes Térmicas Lineares
- PTP – Pontes Térmicas Planas
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
- Tau (τ) – Coeficiente que Relaciona a Temperatura do Espaço Não Útil com a Temperatura Ambiente Exterior e com a Temperatura Interior

1. Introdução

1.1. Evolução da regulamentação energética em Portugal

Face às crescentes preocupações relacionadas com a racionalização da energia, principalmente desde da década de 1970 quando a tensão no Médio Oriente provocou grandes oscilações no preço do petróleo e mais recentemente devido à assinatura do protocolo de Kyoto focado na redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE), cada vez mais medidas de regulamentação são impostas na Europa e pelo Mundo com um objectivo comum, gastar menos e melhor, deixando o mínimo vestígio possível.

Em Portugal, mesmo que já na década de 1980 tivesse surgido o Regulamento Geral do Consumo Energético (RGCE) e em 1990 o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia para o Sector dos Transportes (RGEST), foi só nesse mesmo ano de 1990 que surgiu o primeiro regulamento especialmente direccionado para a área da térmica de edifícios, o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Mais tarde, em 1998, foi criado o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE), sucessor do pouco sucedido Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RQSECE) de 1992.

Em 2006 surgem as revisões do RCCTE [1] e do RSECE [2], e com estas o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), que tem por objectivos assegurar a aplicação regulamentar de acordo com o disposto nestes regulamentos, certificar o desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios e identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos [3].

1.2. Objectivos e metodologia

O primeiro objectivo principal deste estudo é avaliar a influência que os parâmetros intervenientes no cálculo do RCCTE têm no desempenho energético de uma fracção. Para concretizá-lo será necessário:

- Encontrar o método de análise apropriado,
- Listar e classificar os vários parâmetros envolvidos no cálculo,
- Avaliar a influência dos parâmetros num caso idealizado para o efeito.

O segundo é estabelecer um paralelismo entre a influência dos parâmetros no estudo de uma fracção genérica e a influência dos parâmetros no estudo de uma fracção real. Para que estes resultados sejam válidos, há que estabelecer uma analogia baseada nos resultados das alterações do caso genérico e não nas próprias alterações.

Consumados os estudos propostos, espera-se entender quais são os parâmetros mais relevantes na avaliação do desempenho energético baseado no método proposto pelo RCCTE, e com isto verificar se de alguma forma é possível prever os resultados de determinadas alterações aos parâmetros utilizando um modelo genérico associado ao caso em estudo.

1.2.1. Influência dos parâmetros no desempenho energético

Segundo o RCCTE o desempenho energético de uma fracção é avaliado a partir de três indicadores de necessidades de energia. O cálculo destes indicadores depende de vários parâmetros relacionados com a fracção em análise. Numa primeira fase, este estudo consiste em identificar todos estes parâmetros e posteriormente estabelecer grupos que os permitam distinguir consoante a sua capacidade de alteração. Isto possibilita passar para uma segunda fase onde, numa fracção genérica idealizada para o efeito, irá ser estudada a influência individual de alguns destes parâmetros.

1.2.2. Analogia entre a fracção genérica e a fracção real

Depois de estabelecer uma influência directa de certos parâmetros no desempenho energético de uma fracção genérica, como meio de validação destes resultados e na tentativa de encontrar um padrão dessa influência, serão testadas exactamente as mesmas hipóteses mas desta vez para uma fracção real. Será uma tentativa de demonstrar que os resultados obtidos para a fracção genérica são totalmente válidos para qualquer fracção, desde que esta apresente um conjunto de semelhanças com a anterior. No fundo, testa-se a hipótese de ser possível calcular o desempenho energético a partir de um modelo genérico bastante mais simples, idealizado com base na fracção em questão.

1.2.3. Estudo térmico num software de simulação dinâmica

Outra finalidade desta dissertação passa por estender a validade do resultado da influência dos parâmetros no desempenho energético ao universo da simulação dinâmica. Sabendo que são dois estudos completamente distintos, ao mesmo tempo existe a necessidade de saber até que ponto é que as flutuações das necessidades de aquecimento e arrefecimento verificadas no cálculo através das ferramentas disponibilizadas pelo regulamento são semelhantes àquelas que se verificam quando o estudo é efectuado por um método de simulação dinâmica aprovado para o efeito pelo *Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE)*.

2. Métodos de análise

2.1. Breve introdução aos métodos de análise

Existe um grande número de métodos de análise da performance energética de uma fracção ou edifício. No panorama nacional alguns dos mais conhecidos são o *RCCTE-STE*, a *Folha de Cálculo do Excel*, o *TRACE 700*, o *DOE 2.1*, o *ENERGY PLUS*, o software da *Carrier*, e o *IES Virtual Environment*. Neste grupo estão softwares com diferentes capacidades, alguns são focados simplesmente para a verificação regulamentar do RCCTE, outros do RSECE e em alguns têm mesmo a capacidade de verificar ambos os regulamentos. Para a verificação do RSECE os softwares têm de ser capazes de executar uma simulação dinâmica que pode ser multi-zona, como é o caso do *IES Virtual Environment*, ou zona a zona, como o *RCCTE-STE*.

Entre as diferentes características de todos estes softwares destacam-se por exemplo a dificuldade de utilização, o facto de terem fontes mais ou menos abertas, ou o modelo de cálculo utilizado. Características como estas serão tidas em conta na escolha do software mais apropriado para o estudo em questão.

Os casos em estudo são duas moradias, uma genérica com geometria simples e características básicas e outra retirada de um projecto real com geometria complexa e características mais elaboradas que a anterior.

Baseada na tipologia dos edifícios em análise, a escolha do método a utilizar fica reduzida aos softwares com capacidade de verificação do RCCTE, ou seja, apenas o *RCCTE-STE* e a *Folha de Cálculo do Excel*, pois será este o regulamento que as fracções terão de cumprir em termos legais. Antes de ser finalmente escolhido o software a utilizar, ambos serão analisados de seguida com mais pormenor.

Com fins meramente académicos, será também utilizado um software de simulação dinâmica no estudo. Além dos objectivos principais deste estudo, importa ter uma noção do quão aproximada do cálculo detalhado é a análise dos parâmetros térmicos feita pelo RCCTE, que assume uma temperatura interior estática, de 20°C para o Inverno e de 25°C para o Verão. Para tal será utilizado o software *IES Virtual Environment* cujas características serão também em seguida analisadas.

2.2. Análise em pormenor dos métodos escolhidos

2.2.1. Software *RCCTE-STE*

O *RCCTE-STE* é um programa de aplicação da metodologia de cálculo RCCTE e da metodologia de simulação dinâmica simplificada, presente no RSECE, respeitante a edifícios de habitação com potência instalada superior a 25kW ou aos pequenos edifícios de serviços.

Criado pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), este software tira partido de um interface bastante simples, onde é compilada toda a informação referente à fracção em estudo, como por exemplo, todas as características dimensionais e geográficas da fracção, e todas as propriedades dos elementos que fazem parte da sua envolvente.

Numa primeira fase o *RCCTE-STE* solicita informações baseadas na localização geográfica, tipo de fracção, tipologia da fracção, tipo de sistema de climatização e produção de águas quentes sanitárias (AQS), e se o processo de ventilação da fracção se executa de forma natural ou mecânica. De seguida, são então solicitadas as informações acerca da caracterização geométrica e das propriedades dos elementos que compõem a envolvente da fracção. As duas próximas figuras, retiradas da interface do software, representam respectivamente estas duas fases.

A imagem mostra uma janela de diálogo intitulada "Selecionar...". O formulário contém os seguintes campos:

- Código da fracção autónoma: campo de seleção.
- Fracção autónoma: campo de texto.
- Tipo de fracção autónoma: campo de seleção.
- Código da utilização: campo de seleção.
- Descrição: campo de texto.
- Utilização: campo de seleção.
- Piscina: campo de seleção.
- qi (W/m²): campo de texto com o valor "0".
- Período convencional de ocupação: campo de seleção.
- Pé direito médio (m): campo de texto com o valor "1".
- Área útil (m²): campo de texto com o valor "1".
- Alt. da fach. ao solo (m): campo de texto com o valor "0".

Na base do formulário, há uma barra de seleção com as opções: "Fracção autónoma", "S. de climatização", "Ventilação" e "AQS". Abaixo desta barra, encontram-se os botões "Confirmar" e "Cancelar".

Figura 2.1 – Primeira fase do estudo no software *RCCTE-STE*

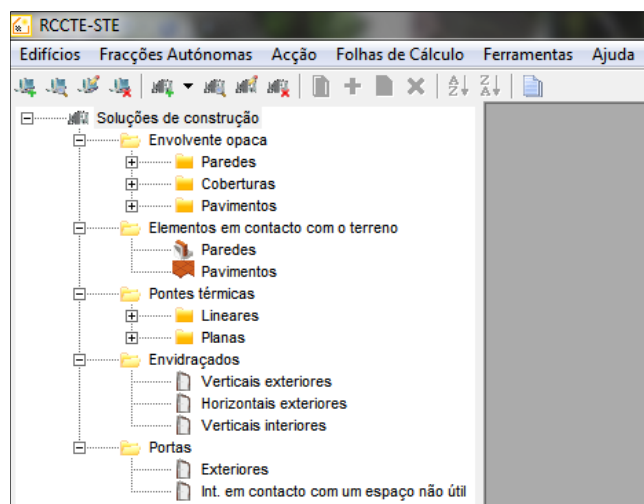


Figura 2.2 – Segunda fase do estudo no software *RCCTE-STE*

Com base nestas informações o software faz em seguida, de modo automático, o cálculo de verificação do RCCTE. Como output, para além das fichas exigidas pelo regulamento onde fica, ou não, comprovada a conformidade regulamentar da fracção, é fornecido um conjunto de quadros que reúne toda a informação introduzida e ilustra de que modo é que a mesma foi utilizada.

Como principais vantagens apontam-se características como a facilidade de utilização, a possibilidade de guardar bases de dados relativas a cada projecto, output simples e de fácil compreensão e, no caso de estarmos perante um edifício com várias fracções, a possibilidade de introduzir os seus parâmetros comuns uma só vez.

Como desvantagens assinalam-se, por exemplo, a complexidade dos códigos utilizados para identificar as soluções construtivas, ou a impossibilidade de executar uma simulação dinâmica multi-zona para casos como os grandes edifícios de serviços. Existe porém uma desvantagem que o torna pouco adequado ao estudo que aqui se pretende executar. Este software não apresenta informações relativas ao processo de cálculo, muitas vezes nem sequer se sabe ao certo de que modo serão utilizados os dados nele inseridos. No fundo, sendo o objectivo entender a forma como, baseado nas equações fornecidas pelo regulamento, a análise térmica da fracção é executada, o *RCCTE-STE* revela-se, de certa forma, uma fonte fechada e pouco acessível.

2.2.2. Método da *Folha de Cálculo do Excel*

No ponto 5 do Anexo IV [1], que descreve o método de cálculo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), é apresentado um conjunto de folhas de cálculo. Pode-se ler neste ponto do regulamento, “ (...) o método de cálculo descrito neste anexo está organizado, para sistematização da forma de apresentação de resultados, nas folhas de cálculo FC IV.1 (.1a a .1f) e FC IV.2, que se seguem: (...) ”. O mesmo acontece no ponto 3 do Anexo V [1] que apresenta as folhas de cálculo FC V.1 (.1a a .1g), para o cálculo das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}).

A utilização destas folhas de cálculo cedo ultrapassou a mera sistematização da forma de apresentação de resultados. A passagem destas tabelas para o *Microsoft Excel* foi o passo seguinte, e com ela veio a inclusão das duas folhas que completam este processo de cálculo. Ao contrário do que acontece para o N_{ic} e para o N_{vc} , o regulamento não apresenta qualquer folha de cálculo para as necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}) ou para as necessidades nominais globais de energia primária (N_{ic}). Criaram-se então duas folhas de cálculo, uma para cada necessidade, que fazem uso das equações descritas no Anexo VI [1], para o caso do AQS, e nos pontos 4 e 5 do Artigo 15.º do Capítulo V [1], para o caso da energia primária. Através destas equações, estas duas folhas são utilizadas para completar o cálculo do desempenho energético de uma qualquer fracção, desde que esta se enquadre legalmente no regulamento. Desde então muitas têm sido as entidades que têm tornado esta uma ferramenta cada vez mais automatizada e, através da introdução de informação variada, independente da consulta do regulamento.

Com uma utilização bastante simples, esta ferramenta não necessita de qualquer software para além do *Microsoft Office* e todas as folhas e fichas necessárias ao cálculo estão num só ficheiro. As versões mais recentes já incluem folhas não presentes no regulamento que, passo a passo, requisitam as características da fracção e que automaticamente as utilizam para deduzir informação constante nas tabelas e quadros do mesmo. Exemplos disso mesmo são as Figuras 2.3 e 2.4, que apresentam excertos de uma folha de cálculo do conjunto formulado pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção da Universidade de Coimbra (ITeCons).

CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS NÃO ÚTEIS				
	Espaço não útil 1	Espaço não útil 2	Espaço não útil 3	Espaço não útil 4
Designação	Garagem Privada	Armazém	Cobertura sob Desvão não ventilado	Varanda
A_i	10,00	50,00	10,00	10,00
A_u	50,00	10,00	30,00	20,00
Tipo de espaço (ver Tabela IV.1 do	5.1	4	7.1	6
Coefficiente τ	0,80	0,70	0,80	0,80

Figura 2.3 – Exemplo de *Folha de Cálculo do Excel* (1/2)

Estamos perante uma situação em que nos é pedida informação relativa aos espaços não úteis (ENU's) do edifício. Uma vez inserida a designação do espaço e os valores referentes da área dos elementos que separam o espaço útil do espaço não útil (A_i) e da área dos elementos que separam o espaço não útil do exterior (A_u), existe a hipótese de escolher o tipo de espaço mediante um código relativo à Tabela IV.1 [1] que se encontra por baixo deste quadro. É aqui que a folha se torna autónoma do regulamento e ao mesmo tempo automatizada, visto que uma vez inserido o código do espaço, o Tau (τ) é automaticamente calculado e apresentado na última linha.

ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE INTERIOR					
	Env. Int. 1	Env. Int. 2	Env. Int. 3	Env. Int. 4	Env. Int. 5
Designação	Porta de Vidro Tipo I				
Área (m ²)	10,00				
U (W/m ² .°C)	2,00				
Espaço não útil adjacente	Varanda				

PAREDES DE ENVOLVENTE INTERIOR					
	Par. Int. 1	Par. Int. 2	Par. Int. 3	Par. Int. 4	Par. Int. 5
Designação	Parede Tipo I	Parede Tipo II	Parede Tipo III	Parede Tipo IV	Cobertura Tipo I
Área (m ²)	5,00	5,00	25,00	25,00	10,00
U (W/m ² .°C)	1,20	1,80	1,50	1,10	0,80
Espaço não útil adjacente	Garagem Privada	Garagem Privada	Armazém	Armazém	Cobertura sob

Figura 2.4 – Exemplo de *Folha de Cálculo do Excel* (2/2)

Esta é uma outra tabela da mesma folha de cálculo, em que são atribuídas designações e propriedades aos elementos que na tabela anterior foram designados de A_i . Deste modo, os dados introduzidos são suficientes para que se construa uma parte da folha de cálculo FC IV.1b, referente às perdas associadas à envolvente interior. Processo que mais uma vez a folha executa automaticamente e cujo resultado se pode observar na Figura 2.5.

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)
Par. Int. 1 - Parede Tipo I	5	1,2	0,8	4,80
Par. Int. 2 - Parede Tipo II	5,00	1,5	0,8	6,00
Par. Int. 3 - Parede Tipo III	25	1,5	0,7	26,25
Par. Int. 4 - Parede Tipo IV	25	1,1	0,7	19,25
Par. Int. 5 - Cobertura Tipo I	10	0,8	0,8	6,40

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Env. Int. 1 - Porta de Vidro Tipo I	10	2	0,8	16,00

Figura 2.5 – Ficha FC IV.1b da *Folha de Cálculo do Excel*

Como principal defeito deste método destaca-se o facto de ser uma fonte bastante aberta, não tanto nas suas últimas versões mas muito mais nas originais. Este facto aumenta o perigo de facilmente se cometerem erros. Se o utilizador não conhecer aprofundadamente o processo de cálculo, pode não interpretar correctamente o que é pedido nas folhas e facilmente cometerá um erro.

É deste defeito porém que nasce a sua principal vantagem, pelo menos no que diz respeito às necessidades do estudo aqui proposto. Ao ser uma fonte tão aberta, esta ferramenta torna-se praticamente perfeita para entender o processo de avaliação térmica levada a cabo pelo RCCTE. Torna-se assim mais simples entender onde e como é que os parâmetros introduzidos causam efeito, e existe mais espaço para efectuar as alterações necessárias a este processo de avaliação.

2.2.3. Comparação entre o *RCCTE-STE* e a *Folha de Cálculo do Excel*

A escolha do método para executar o presente estudo, depende da validação dos resultados que dele se obtêm. Ao equiparar os resultados obtidos através da *Folha de Cálculo do Excel* com os do *RCCTE-STE*, software aprovado pela Agência para a Energia (ADENE) como método de verificação regulamentar, tem-se a certeza da veracidade do cálculo por ele executado. Para tal fez-se um estudo comparativo entre os dois, onde se introduziram os exactamente os mesmos parâmetros num e noutro software. O quadro seguinte apresenta os resultados para este estudo.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt
Folha de Cálculo	44,77	56,43	9,90	22,00	0,34	15,10	0,45	2,74
RCCTE-STE	44,06	56,77	9,95	22,00	0,34	15,10	0,45	2,74

Tabela 2.1 - Resultados do estudo comparativo entre a *Folha de Cálculo* e o *RCCTE-STE*

Como se pode observar, em ambos os softwares foram encontrados resultados bastante semelhantes e, em alguns casos, até mesmo iguais.

Uma análise mais aprofundada revela que as únicas diferenças têm origem num só factor. No caso do *RCCTE-STE* as informações dos vãos envidraçados são introduzidas um a um, enquanto na *Folha de Cálculo do Excel*, devido principalmente a falta de espaço nas tabelas, por vezes somam-se as áreas de vãos com características exactamente semelhantes. Isto leva a que em alguns casos os resultados sejam ligeiramente diferentes. Mais precisamente, por exemplo no caso da área efectiva a sul utilizada no cálculo dos ganhos úteis durante a estação de aquecimento, uma diferença de $0,08\text{m}^2$ foi o suficiente para gerar $52,1\text{kWh/ano}$ de diferença no valor dos ganhos solares brutos. O mesmo aconteceu no cálculo dos ganhos mas desta vez para a estação de arrefecimento, gerando uma diferença de $117,21\text{kWh}$ nos ganhos pela envolvente não opaca. Com menos expressão no resultado final, mas ainda assim com alguma influência, salienta-se o facto de os arredondamentos utilizados num e noutro software não serem os mesmos.

Outra descoberta resultante deste estudo foi um erro no cálculo das renovações de ar na *Folha de Cálculo do Excel*. A versão utilizada apresentava um erro que a impossibilitava de calcular correctamente as perdas associadas à renovação de ar para a estação de arrefecimento. Neste caso o *RCCTE-STE* segue o regulamento, onde no ponto 2.4 do Anexo V [1], acerca do cálculo das perdas por ventilação para esta estação, se pode ler “A metodologia de cálculo é indicada no nº 3 do anexo IV.”, o que significa que a metodologia a utilizar é a mesma da estação de aquecimento. No caso da *Folha de Cálculo do Excel*, apesar de ser dada a indicação que para o cálculo no Verão tem de ser desligado o recuperador de calor, era utilizada a diferença entre os caudais de insuflação e extracção e não o maior destes caudais como se faz para o Inverno. Este é um erro ausente da versão mais recente deste método, e que foi corrigido na versão utilizada para o estudo. Mais uma vez se prova a utilidade de se trabalhar com uma fonte aberta. Qualquer resultado menos convincente pode ser analisado e possíveis erros corrigidos, isto claro desde que o utilizador tenha um conhecimento aprofundado do regulamento e dos processos de cálculo a que este obriga.

2.2.4. Software *IES Virtual Environment*

A utilização deste software, como já foi dito, servirá apenas para comparar os resultados nele obtidos com os da *Folha de Cálculo do Excel*. Ao fazê-lo espera-se ter uma ideia da semelhança entre os resultados de um e outro método.

A *Integrated Environmental Solutions Limited* (IES), empresa fabricante deste software, encontra-se sediada em Glasgow e foi fundada em Junho de 1994. A sua criação teve como conceito base a escassez de combustíveis fósseis e a grande contribuição para as emissões de CO₂ por parte dos edifícios. Como se sabe, a maior fatia destas emissões provém da manutenção das condições de conforto dos seus ocupantes, como tal, o *IES V.E.* foi criado com o intuito de ir ao encontro destas necessidades e tornar os edifícios mais eficientes, limpos e ecológicos [4].

O *IES Virtual Environment* é um software composto por um grupo de aplicações interligadas por um interface comum e por um único modelo integrado de dados. Entre estas aplicações destacam-se o *ModelIT* para a introdução da geometria 3D que representa o modelo a analisar, o *SunCast* para a análise do sombreamento solar e o *ApacheSim* para a simulação térmica [5].

De entre as aplicações destacadas, a mais importante é o *ApacheSim* responsável pela simulação térmica dinâmica. Esta aplicação executa-a baseando-se nos princípios matemáticos da modelação dos processos de transferência de calor, dentro e fora, de um edifício. Segundo a classificação de modelos da CIBSE, o *ApacheSim* qualifica-se como um modelo dinâmico, excedendo mesmo os requisitos para este modelo em várias áreas. Com esta aplicação, os processos de calor por condução, convecção e radiação, de todos os elementos da estrutura do edifício, são modelados individualmente e integrados com os modelos dos ganhos interiores, das trocas de ar e da instalação. Os dados climatéricos utilizados são reais e, em termos do período abrangido pela simulação, este pode ir de apenas um dia até um ano completo, sendo que a evolução das condições térmicas do edifício é traçada em intervalos tão pequenos como de apenas um minuto [6].

3. Parâmetros e respectiva capacidade de alteração

Depois de uma análise feita ao método da *Folha de Cálculo do Excel*, sintetizaram-se todos os parâmetros necessários ao seu funcionamento. Estes são os inputs requisitados por este método para a análise térmica da fracção. Como em qualquer problema existe uma função com variáveis, neste caso o papel da função é desempenhado pela *Folha de Cálculo do Excel* e as variáveis são os parâmetros por ela requisitados.

3.1. Capacidade de alteração dos parâmetros

Na equação que compõe este problema existem variáveis que, uma vez definidas, não podem ser alteradas e como tal são designadas de variáveis fixas, ou parâmetros fixos neste caso, existem outras que podem ser alteradas, mas a sua alteração não é directa ou é de difícil execução consoante a fase de projecto em que nos encontramos, como tal são designadas de alteráveis dando origem ao grupo dos parâmetros alteráveis, e existem as verdadeiras variáveis, aquelas cujo resultado da alteração será o principal objectivo deste problema, designadas de facilmente alteráveis e que geram o grupo dos parâmetros facilmente alteráveis.

No Anexo 1 são apresentadas, detalhadamente, as razões pelas quais se incluiu cada parâmetro no respectivo grupo, consoante a sua capacidade de alteração.

3.2. Grupos de parâmetros

De seguida apresentam-se as listas dos três grupos de parâmetros, classificados consoante a sua capacidade de alteração.

3.2.1. Parâmetros fixos

- Área dos elementos da envolvente da fracção
- Perímetro (paredes e pavimentos em contacto com o solo)
- Desenvolvimento linear (PTL)
- Tau (τ)
- Área útil de pavimento
- Classe de exposição
- Factor de correcção da selectividade angular
- Localização geográfica
- Tipo de edifício
- Número de graus dias no local
- Zona climática
- Temperatura média do ar exterior no Verão
- Intensidade de radiação solar no Verão
- Tipologia
- Número anual de dias de consumo de AQS
- Factor F_{pu} do sistema de aquecimento e factor F_{pu} do sistema de arrefecimento

Estes são os parâmetros que para fins da análise serão considerados como fixos e, em princípio, todas eles ficaram definidos quando o problema for enunciado. Podem-se organizar estes parâmetros em três grupos distintos, consoante as razões que os tornam inalteráveis, os referentes à geometria do edifício, como por exemplo a área das paredes, coberturas e pavimentos, desenvolvimento linear (PTL), ou a área útil de pavimento, os geográficos, como o factor de correcção da selectividade angular, a localização geográfica ou o número de graus dias no local, os impostos pelo regulamento como número anual de dias de consumo de AQS ou factor F_{pu} do sistema de aquecimento e factor F_{pu} do sistema de arrefecimento.

3.2.2. Parâmetros alteráveis

- Coeficiente (ψ)
- Pé direito
- Presença ou não de caixa de estore
- Dispositivos de admissão na fachada
- Aberturas auto-reguladas
- Caudal de insuflação e caudal de extracção
- Consumo dos ventiladores
- Orientação dos vãos
- Factor de obstrução
- Coeficiente de absorção solar da superfície exterior da parede

Estes são os parâmetros que para fins da análise serão considerados como alteráveis. Isto quer dizer que apesar de ser possível alterá-los, não são de fácil ou directa alteração, uns por não serem independentes, outros por colocarem problemas ao projecto. Pode-se considerar que estes são parâmetros fixos e de uma forma cuidada alterá-los, quer por ser necessário quer por mera curiosidade sobre a sua influência no resultado final deste estudo.

3.2.3. Parâmetros facilmente alteráveis

- Coeficiente (U) dos elementos da envolvente do edifício
- Classe da caixilharia
- Portas exteriores bem vedadas
- Recuperador de calor
- Tipo de vão, factor solar do vidro e fracção envidraçada
- Inércia do edifício
- Factor solar do vão envidraçado
- Eficiência do sistema de produção de AQS
- Contribuição Esolar, contribuição Esolar para aquecimento e contribuição Eren
- Eficiência do sistema de aquecimento e do sistema de arrefecimento

Estes são os parâmetros que para fins de análise serão considerados como facilmente alteráveis, indicando que são totalmente passíveis de alteração para efeitos do estudo térmico da fracção. De uma forma ou de outra, todos eles estão relacionados com aspectos físicos da fracção, no entanto, ao contrário daqueles que foram considerados como alteráveis, a sua alteração é bem mais simples ou directa. Muitas das vezes basta apenas que se troque um elemento por outro semelhante com características distintas. Logo, serão estes os parâmetros considerados como as variáveis principais deste estudo.

4. Caso genérico

4.1. Apresentação do caso genérico

O objectivo deste estudo é tentar quantificar a importância dos diferentes parâmetros intervenientes no cálculo do RCCTE. Existe a necessidade de criar um caso genérico, ou seja, uma fracção fictícia que sirva de zona de teste e onde seja possível, de um modo simples e prático, perceber a influência individual de cada um dos parâmetros.

Como tal, esta fracção deve ter tanto de simples como de genérica. A partir desta fracção, deve ser possível prever a influência que terá a alteração de determinados parâmetros em qualquer fracção do mesmo tipo que esta. Para tal, a fracção tem de ser simples, uma vez que geometrias e técnicas de construção complexas provocarão resultados pouco conclusivos, e genérica, uma vez que o objectivo deste estudo é poder aplicar as conclusões daqui tiradas noutras fracções semelhantes.

Foi considerada uma fracção unifamiliar constituída por dois pisos e quatro divisões por piso, sendo que uma destas divisões será considerada um espaço não útil. Para além desta disposição, cada uma das divisões terá duas janelas para o exterior e o espaço não útil terá duas janelas para os espaços úteis adjacentes.

Em primeira análise serão apenas testados os parâmetros considerados como facilmente alteráveis. É esperado que se obtenha uma escala de importância relativa, onde seja possível detectar quais são os parâmetros que, uma vez alterados, representem maior ou menor impacto no resultado final da análise energética da fracção.

Enquanto os parâmetros acima mencionados serão considerados como as variáveis do problema, os restantes grupos de parâmetros, considerados como alteráveis ou fixos, farão parte do próprio enunciado do problema.

Não obstante a escolha ter recaído sobre uma habitação unifamiliar, existe ainda a necessidade de definir a tipologia da fracção. Neste caso foi assumida uma tipologia T4 como poderia ter sido escolhida qualquer outra, no entanto o intuito do estudo é ter na mesma fracção, do modo mais simples possível, a representação do maior número de casos possíveis. A mínima alteração na tipologia é passível de induzir grandes alterações no resultado final, uma vez que altera várias condicionantes do problema.

4.2. Descrição simplificada da fracção genérica

Descrição simplificada da habitação/fracção escolhida para caso genérico:

- Local,
 - Concelho de Cascais a uma altitude de 100m.
- Orientação,
 - Uma fachada voltada a Norte,
 - Uma fachada voltada a Sul,
 - Uma fachada voltada a Este,
 - Uma fachada voltada a Oeste.
- Moradia com dois pisos,
 - Piso 0 com quatro divisões,
 - Cozinha,
 - Espaço não útil,
 - Sala de estar,
 - Escritório.
 - Piso 1 com quatro divisões,
 - Quatro quartos idênticos.
- Divisões geometricamente idênticas.
- Vãos envidraçados,
 - Quatro vãos por fachada,
 - Um por fachada, em cada divisão.
 - Dois vãos na ligação dos espaços úteis para o não útil.

Como já foi dito, tentou-se recriar o maior número possível de casos na mesma fracção. Assim, optou-se pela moradia com dois pisos e quatro divisões por piso por variadíssimas razões. O facto de ser moradia possibilita a existência de situações que de um modo geral seriam difíceis de recriar, por exemplo, num apartamento. Numa só fracção, de concepção simples, é assim possível ter pavimentos em contacto com o terreno, pavimentos interiores e pavimentos em contacto com ENU. No caso das envolventes opacas verticais, paredes exteriores voltadas a todas as direcções, paredes interiores em contacto com ENU e paredes interiores à fracção autónoma, fazem também parte deste modelo.

4.3. Representação esquemática da fracção genérica

Apresenta-se de seguida um conjunto de figuras com o propósito de esquematizar o presente caso de estudo. De referir apenas que, estas figuras são apenas esquemas simplificados com o intuito de facilitar a percepção da geometria deste caso.

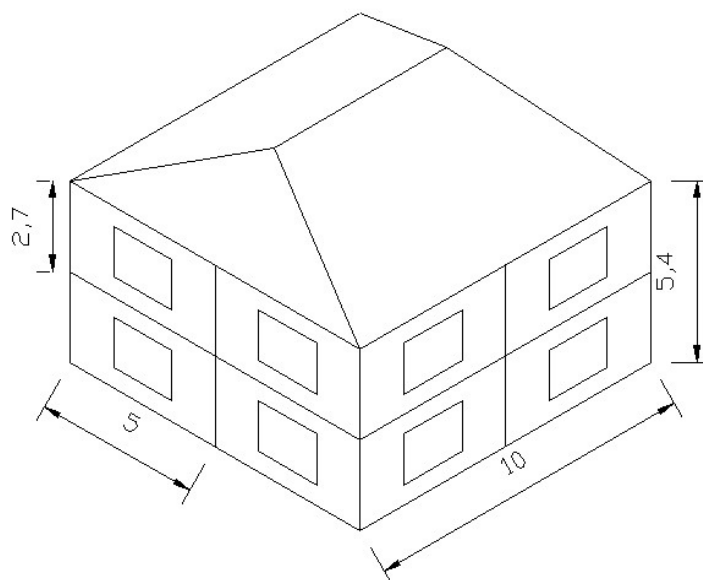


Figura 4.1 – Perspectiva geral da fracção genérica

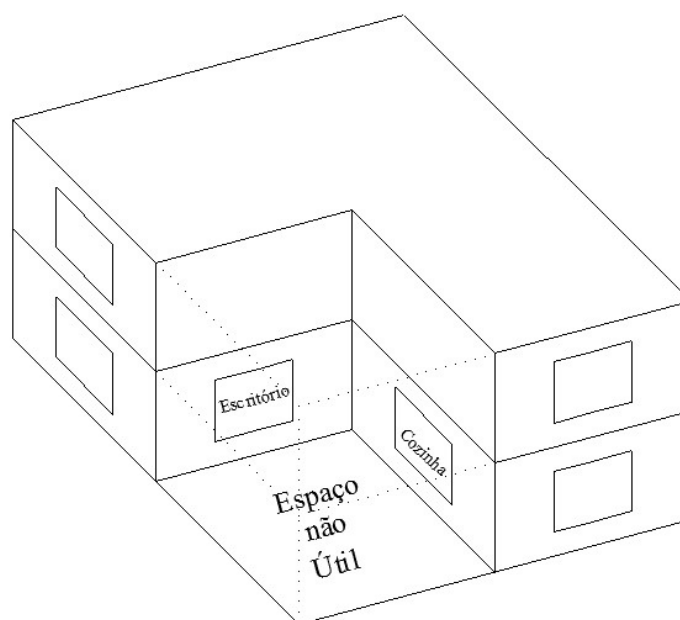


Figura 4.2 – Perspectiva do ENU no piso 0 da fracção genérica

4.4. Descrição detalhada da fracção genérica

Para uma melhor compreensão passa-se então a uma descrição bastante mais detalhada da fracção.

O piso 0 da fracção situa-se ao nível do solo, tendo portanto o pavimento em contacto com o terreno. Neste existem quatro divisões: três úteis, sendo elas a cozinha, a sala de estar e o escritório, e um ENU, por enquanto sem designação. As quatro divisões são geometricamente idênticas, cada uma comunica directamente com o exterior por intermédio de duas paredes sendo que as restantes comunicam com o interior. Na verdade neste piso duas divisões comunicam com o ENU, com o exterior e com outra divisão útil. Nas paredes interiores para o ENU existem duas janelas, uma por cada parede. Cada divisão terá dois vãos envidraçados para o exterior, incluindo o ENU, com orientações distintas. A dimensão destes vãos será um parâmetro fixo, como já foi visto anteriormente, no entanto haverá apenas o cuidado de ser superior a cinco por cento da área total do elemento que o respectivo vão envidraçado serve. A cobertura deste piso será interior, comunicando com os espaços localizados no primeiro andar da habitação.

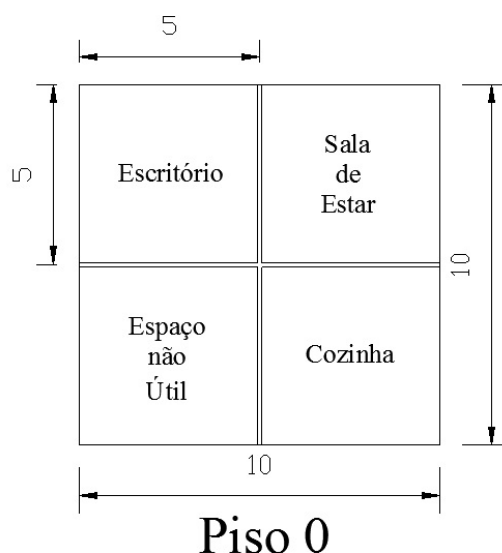


Figura 4.3 – Planta do piso 0 da fracção genérica

Toda a cobertura do piso 0 contacta directamente com o pavimento do piso 1, quer isto dizer que não existem pavimentos sobre o exterior. O primeiro piso divide-se em quatro espaços que, à semelhança do piso inferior, são todos idênticos geometricamente e todos eles são quartos. Um dos quartos encontra-se sobre o espaço não útil, sendo que esta é a única diferença entre os quatro.

Todas as paredes interiores comunicam com espaços adjacentes com as mesmas características e todas as de fachada comunicam com o exterior por intermédio de um elemento opaco e de um vão envidraçado. Cada divisão encontra-se em contacto com o exterior através de duas fachadas com orientações distintas, constituídas em parte por parede e em parte por vidro.

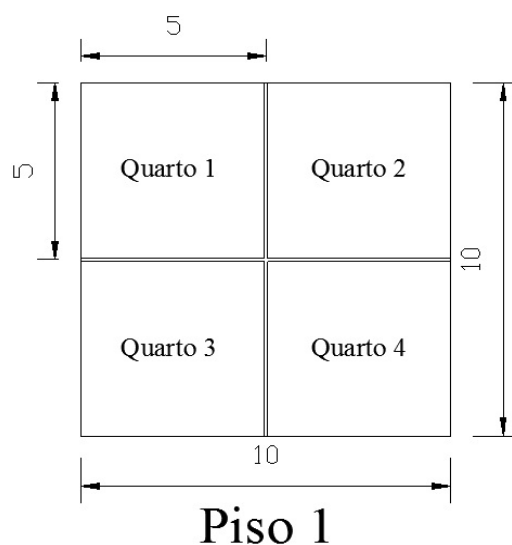


Figura 4.4 – Planta do piso 1 da fracção genérica

Quanto à cobertura, todas as divisões comunicam com o exterior através de uma cobertura plana que se encontra sob uma cobertura inclinada convencional, ou seja, a cobertura da habitação é do tipo cobertura plana sob desvão não habitado e fortemente ventilado.

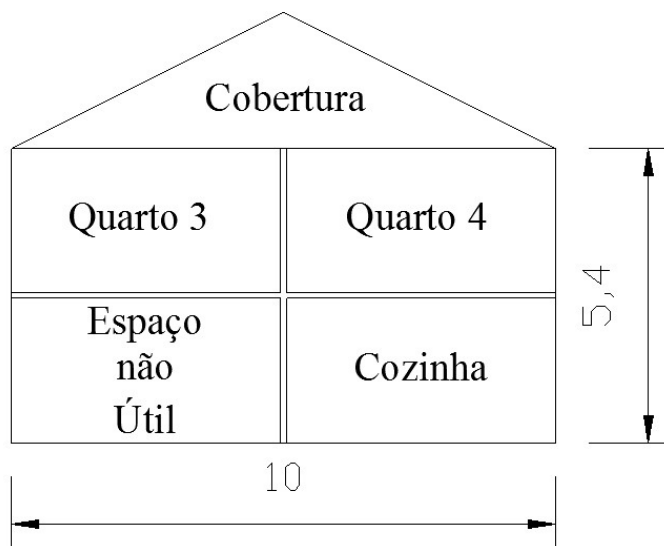


Figura 4.5 – Corte demonstrativo do tipo de cobertura da fracção genérica

4.5. Definição dos parâmetros

4.5.1. Parâmetros fixos

➤ Área dos elementos da envolvente da fracção

Uma vez que a moradia tem fachadas com 10m de comprimento com um pé direito de 2,7m em cada piso, temos:

Designação	Área						Total
	Unitária	Norte	Sul	Este	Oeste		
Fachadas Exteriores	(---)	54,00	54,00	54,00	54,00	216,00	
Fachada ENU¹	(---)	0,00	13,50	0,00	13,50	27,00	
Fachadas Espaços Úteis	(---)	54,00	40,50	54,00	40,50	189,00	
Envidraçados Exteriores	3,00	12,00	9,00	12,00	9,00	42,00	
Envolvente Opaca	(---)	42,00	31,50	42,00	31,50	147,00	
Pontes Térmicas Lineares	(---)	6,300	4,73	6,30	4,73	22,05	
Paredes Exteriores	(---)	35,70	26,78	35,70	26,78	124,96	
Envolvente Interior c/ENU¹	13,50	(---)	(---)	(---)	(---)	27,00	
Envidraçados Interiores	3,00	(---)	(---)	(---)	(---)	6,00	
Paredes Interiores c/ENU¹	10,50	(---)	(---)	(---)	(---)	21,00	
Pavimento Sobre ENU¹	25,00	(---)	(---)	(---)	(---)	25,00	
Cobertura Sob ENU²	100,00	(---)	(---)	(---)	(---)	100,00	

Tabela 4.1 – Áreas dos elementos da envolvente da fracção genérica

Todas estas medidas são aproximadas, uma vez que estão a ser desprezadas as áreas das paredes e pavimentos interiores à fracção, isto porque são elementos que não entram para o cálculo térmico e apenas influenciam a inércia térmica do edifício.

O cálculo das pontes térmicas planas (PTP), conjunto formado por pilares, vigas ou lintéis, foi efectuado com base na aproximação da sua dimensão a cerca de 15% da área total de parede.

A referência ENU¹ refere-se à lavandaria, enquanto a ENU² refere-se ao desvão não habitado sobre a cobertura.

➤ Perímetro (Paredes e pavimentos em contacto com o solo)

O perímetro, como em qualquer outro caso, deriva directamente da área da habitação. Uma vez que cada piso tem 100m² de área total, isto significa que cada lado da fracção tem 10m de comprimento, e que por sua vez, cada piso tem 40m de perímetro.

No caso do piso 0, existe um espaço considerado como sendo não útil, quando assim é o perímetro é medido na linha que delimita os espaços úteis do ENU. Devido à geometria específica deste edifício, o perímetro do piso 0 é igual ao do piso 1.

➤ **Desenvolvimento linear (PTL)**

Há que definir em primeiro lugar os diferentes tipos de pontes térmicas lineares (PTL) existentes. O RCCTE divide-os em vários grupos, designando diferentes situações em que as trocas de calor são tipicamente tridimensionais. Dentro desses mesmos grupos, subdivide-os mediante a existência ou não de isolamento e, no caso de existir solução de isolamento, consoante a sua localização. Para o caso em estudo apenas algumas destas situações estão presentes, para cada uma delas apresenta-se em seguida o valor do seu desenvolvimento linear:

- Pavimentos em contacto com o terreno – 30m,
Contabiliza-se todo o perímetro de pavimento, junto à fronteira com o exterior, dos espaços úteis do piso 0, excepto aqueles que se encontram em contacto com o espaço não útil. Isto considerando que o espaço não útil não tem um Tau (τ) superior a 0,7, caso tenha acresce-se a este valor 10m.
- Ligação da fachada com os pavimentos térreos – 30m,
O perímetro da zona de contacto da fachada com os pavimentos térreos é o mesmo da alínea anterior, ou seja dos pavimentos em contacto com o terreno.
- Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores – 10m,
Este desenvolvimento refere-se à ligação da fachada com o pavimento do quarto situado no piso 1 que se encontra sobre o espaço não útil. Sendo a definição de local não aquecido equivalente a espaço não útil.
- Ligação da fachada com pavimentos intermédios – 30m,
Correspondente à ligação da fachada com o pavimento do piso 1, em todo o seu perímetro excepto no local indicado no ponto anterior.
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço – 40m,
Correspondente a todo o perímetro do piso 1, que se encontra directamente sob a cobertura. Como já foi explicado, a cobertura em terraço desta habitação encontra-se sob um desvão fortemente ventilado não contactando directamente com o exterior. Sabendo de antemão que este é um espaço com um Tau (τ) superior a 0,7, considera-se esta ponte térmica linear como sendo de um elemento em contacto com um espaço não útil, pertencendo então às perdas associadas à envolvente interior.
- Ligação entre duas paredes verticais – 24,3m,
Neste caso o desenvolvimento linear não corresponde ao perímetro mas sim à linha, medida desde o chão até ao tecto, descrita pela união de duas paredes de fachada. O caso de estudo tem ao todo nove ligações entre duas paredes verticais, daí o valor que corresponde a nove vezes o pé direito da habitação.
- Ligação da fachada com caixa de estore – (?) m,
Para saber este comprimento é primeiro necessário definir a solução de sombreamento para os vãos envidraçados da fracção. Caso este elemento seja um estore, o desenvolvimento linear é dado pelo comprimento total das caixas do mesmo.

- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril – 98m,

Por último, a ligação da fachada com os elementos que normalmente complementam o vão envidraçado, este valor é definido pelo somatório do perímetro de todos os vãos da fracção autónoma em estudo.

De referir apenas que, a única PTL presente na lista apresentada pelo regulamento a não entrar para os cálculos neste exemplo, foi a correspondente à ligação entre a fachada com varanda. Este tipo de PTL não é muito relevante uma vez que a sua grandeza comparada, por exemplo, com o valor do desenvolvimento linear para a ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril, é praticamente insignificante.

➤ **Tau (τ)**

O Tau (τ) relaciona a temperatura do ENU com a temperatura ambiente exterior e com a temperatura interior. Existem dois espaços não úteis distintos no caso em estudo. O ENU¹ não tem uma utilização definida, no entanto, como se trata de uma habitação atribui-se-lhe a função de lavandaria. O ENU² é o desvão entre a laje de cobertura e a cobertura inclinada, considerado neste caso como não sendo um espaço acessível. Em termos de definição de ENU, o regulamento classifica-o em três grupos, os desvãos não ventilados, os fracamente ventilados e os fortemente ventilados, sendo que o desvão da fracção em estudo é deste último tipo. Como já foi explicado anteriormente, o valor de Tau (τ) está associado à Tabela IV.I [1] que atribui valores genéricos para diferentes tipos de ENU's, consoante a relação entre o A_i e o A_u . Para este caso específico temos:

	ENU ¹	ENU ²
Designação	Lavandaria	Desvão não habitado
A_i (m ²)	52	(---)
A_u (m ²)	27	(---)
Tipo de espaço (*)	6	7.3
Coefficiente (τ)	0,6	1

(*) – Referência à Tabela IV.I [1]

(---) – De acordo com a Tabela IV.I [1], qualquer que seja o resultado de A_i sobre A_u , o Tau (τ) deste espaço é sempre igual a 1

Conclui-se que os elementos que separam os ENU's dos espaços interiores, no caso do ENU¹ apenas têm de cumprir os requisitos máximos para elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis, enquanto no caso do ENU² têm de cumprir os requisitos máximos para elementos exteriores.

➤ **Área útil de pavimento**

Entram para a contagem da área útil de pavimento todas as divisões da habitação excepto aquela que foi considerada como ENU. Portanto, uma vez que todas as divisões são geometricamente idênticas, e que existem sete divisões úteis na fracção em estudo cada uma delas com 25m², a área útil de pavimento é igual a 175m².

➤ **Classe de exposição**

Entenda-se, antes de mais, que este parâmetro diz respeito à exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma.

Baseado na sua localização, concelho de Cascais na periferia de uma zona urbana e a menos de 5km da costa litoral, e sendo que o edifício tem uma altura acima do solo menor que 10m, do Quadro IV.2 [1] retira-se que a fracção em estudo corresponde a uma classe de exposição 2.

➤ **Factor de correcção da selectividade angular**

Para este factor que traduz a redução dos ganhos solares, causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa, o regulamento estabelece o valor de 0,9 a ser utilizado no cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento, seja o vidro utilizado corrente simples ou duplo. Para a situação de verão, ou seja, no cálculo das necessidades nominais de energia para arrefecimento, o valor correspondente é retirado do Quadro V.3 [1]. Para este caso, uma vez que serão utilizados vidros simples na fracção, os valores de F_w são:

	Norte	Este	Sul	Oeste
Vidro Simples	0,85	0,90	0,80	0,90

➤ **Localização geográfica**

Neste caso o regulamento define três regiões distintas, a do Continente, o Arquipélago da Madeira e o Arquipélago dos Açores. A fracção que aqui é sujeita ao estudo situa-se em Cascais e portanto corresponde à região Continental.

➤ **Tipo de edifício**

O Quadro IV.3 [1] define os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, consoante o tipo de edifício. A fracção em estudo é um edifício de habitação unifamiliar e portanto, conforme as classes estabelecidas por este quadro, um edifício do tipo residencial.

➤ **Número de graus dias no local**

É no Quadro III.1 [1] que se obtém o número de graus dias (GD) de aquecimento (na base de 20°C), correspondente à estação convencional de aquecimento, para o local onde se encontra a fracção em estudo. Para o concelho de Cascais, $GD=1230^{\circ}\text{C.dias}$.

➤ **Zona climática**

Nas Figuras III.1 e III.2 [1], Portugal Continental é dividido em três zonas climáticas de Inverno e três de Verão. No entanto, estas figuras servem meramente de apoio visual, apenas para se entender um pouco melhor a distribuição geográfica destas zonas. É novamente através do Quadro III.1 [1] que se sabe que o Concelho de Cascais corresponde à zona climática de Inverno I_1 e à zona climática de Verão V_1 .

Para a zona climática de verão existe ainda uma divisão entre região Norte e região Sul. “As zonas de Verão estão divididas em região Norte e região Sul. A região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém.” (Ponto 1.1 do Anexo III [1]), como tal para este caso a região a considerar é a região Sul.

➤ **Temperatura média do ar exterior no Verão**

A temperatura interior é decretada pelas condições de conforto, enquanto os valores para a temperatura média exterior encontram-se pré-estabelecidos no Quadro III.9 [1]. Para o caso em estudo, zona climática de Verão V_1 Sul, a temperatura média do ar exterior no Verão é de 21°C.

➤ **Intensidade de radiação solar no Verão**

Este parâmetro está também listado no Quadro III.9 [1] consoante a região climática de Verão da fracção em estudo. Neste quadro, para além da temperatura média do ar exterior, podem encontrar-se também os valores para a intensidade de radiação solar dependendo da orientação geográfica. Assim, para este caso:

Zona	Norte	Este	Sul	Oeste	Horizontal
V_1 S	200	420	380	430	760

➤ **Tipologia**

Para o caso em estudo, a fracção é composta pelas seguintes divisões: cozinha, escritório, sala de estar e espaço não útil no piso térreo, e quatro quartos idênticos no piso 1. Por conseguinte a tipologia a adoptar neste caso é T4. Numa fase posterior esta tipologia traduzir-se-á numa ocupação de 5 pessoas na fracção.

➤ **Número anual de dias de consumo de AQS**

Este é um parâmetro que depende do tipo de edifício em causa e do seu período de utilização. No Quadro IV.2 [1] encontram-se os valores do número de dias de consumo de AQS consoante estas duas propriedades. Para o caso de um edifício residencial com uma ocupação permanente este período é de 365 dias por ano.

➤ **Factor F_{pu} do sistema de aquecimento e factor F_{pu} do sistema de arrefecimento**

A classificação dos factores F_{pu} do sistema de aquecimento e do sistema de arrefecimento é dúbia. Enquanto os parâmetros já aqui analisados são de carácter fixo e definitivo, ou seja, são estabelecidas no início do estudo e não nunca mais alteradas, os F_{pu} podem ser alterados caso se altere o tipo de sistema de aquecimento ou arrefecimento. No entanto, foram incluídos no grupo de parâmetros fixos uma vez que apenas dependem do tipo de energia que os sistemas utilizam. Escolhido o sistema não existe a hipótese de se alterar por vontade própria estes factores. No ponto 1 do Artigo 18.º [1] estabelecem-se os valores de $F_{pu}=0,290\text{kgep/kWh}$ para os sistemas que utilizem electricidade como fonte de energia e $F_{pu}=0,086\text{kgep/kWh}$ para aqueles que utilizem combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.

4.5.2. Parâmetros facilmente alteráveis

Finalizada a definição dos parâmetros fixos, seria natural estabelecer agora aqueles que se consideraram como alteráveis. No entanto este conjunto está directamente dependente da escolha dos parâmetros facilmente alteráveis. Aliás, estes dois conjuntos terão sempre uma ligação directa, caso se altere um parâmetro facilmente alterável, será quase certo que se tenha de alterar um considerado alterável. Como tal, será definido primeiro o conjunto de parâmetros facilmente alteráveis e só depois os alteráveis.

Uma vez que este é conjunto de parâmetros com maior interferência no resultado final deste estudo, a sua escolha pode-se tornar de certa forma tendenciosa. Quer isto dizer que, existem certas escolhas que terão um reflexo positivo na redução das necessidades de energia quer para arrefecimento quer para aquecimento. Tratando-se de um caso genérico pode-se, à partida, estabelecer parâmetros que induzam a condições mais precárias para o ambiente interior para posteriormente, mediante as alterações, fazer com que essas condições melhorem.

➤ **Coefficiente (U) dos elementos da envolvente do edifício**

Para se calcular o coeficiente (U), dos vários elementos da envolvente opaca da fracção, há primeiro que escolher o tipo de construção dos mesmos. Uma vez que se trata de um edifício de habitação, com dois pisos e uma cobertura plana, importa definir as constituições dos seguintes elementos:

- Paredes exteriores,
- Pontes térmicas planas,
- Paredes interiores em contacto com ENU,
- Pavimento em contacto com o solo,
- Pavimento entre o piso 0 e o piso 1,
- Cobertura exterior.

Apresenta-se de seguida a tabela com os diferentes elementos da envolvente onde se podem observar, os materiais que os compõem, as suas espessuras, condutibilidades, resistências térmicas e coeficiente (U).

Descrição	Espessura (m)	Material	ITE 50 (pág.)	Condutibilidade (W/m°C)	Resistência (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Paredes exteriores		Resistência Térmica Exterior	L11		0,040	1,09
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
	0,110	Tijolo de 11	L12	0,41	0,270	
	0,060	Caixa de Ar	L11		0,180	
	0,110	Tijolo de 11	L12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
Pontes térmicas planas		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	1,33
		Resistência Térmica Exterior	L11		0,040	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
	0,030	CELENIT P3 (Isolamento Pontes térmicas)	Catálogo	0,07	0,429	
	0,250	Betão normal	1,5	2	0,125	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
Paredes em contacto c/ ENU ¹		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	1,78
		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
	0,110	Tijolo de 11	L12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica ENU	L11		0,130	
Paredes interiores c/ requisitos de interior		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	2,08
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
	0,070	Tijolo de 7	L12	0,37	0,190	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	
PTP interiores c/ requisitos de interior	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	2,89
	0,110	Betão normal	1,5	2	0,055	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,130	
		Resistência Térmica Exterior	L11		0,040	
		Resistência Térmica Exterior	L11		0,040	
Cobertura sob ENU ²	0,030	XPS	1,3	0,037	0,811	0,88
	0,200	Betão normal	1,5	2	0,100	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
		Resistência Térmica Terreno	L11		0,170	
		Reboco	1,7	1,3	0,015	
Pavimento em contacto c/ o solo	0,180	Betão normal	1,5	2	0,090	2,17
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
Pavimento interior	0,100	Betão normal	1,5	2	0,050	2,56
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
		Resistência Térmica ENU	L11		0,170	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
	0,100	Betão normal	1,5	2	0,050	
Pavimento em contacto c/ o ENU ¹	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	2,56
	0,100	Betão normal	1,5	2	0,050	
	0,020	Reboco	1,7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	L11		0,170	
		Resistência Térmica ENU	L11		0,170	
		Reboco	1,7	1,3	0,015	

Tabela 4.2 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção genérica

No ponto referente à inércia térmica encontra-se a explicação de ter sido apresentada uma constituição para elementos interiores com requisitos de interior e PTP interiores com requisitos de interior.

Para além dos elementos opacos, é necessário quantificar também o coeficiente (U) dos elementos não opacos, ou seja dos vãos envidraçados da fracção. Neste caso, recorre-se ao anexo III do ITE-50 [7] de onde se retira o valor de (U) igual a 4,8W/m².°C para um vão envidraçado simples (uma só janela), caixilharia metálica sem corte térmico, um só vidro e dispositivo de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar elevada.

➤ **Classe da caixilharia**

O importante nesta fase é ter um ponto de partida, um conjunto de parâmetros que não sejam muito benéficos para o bom desempenho térmico da fracção. Opta-se então por assumir uma caixilharia “sem classificação”, uma vez que este é o caso mais gravoso.

➤ **Portas exteriores bem vedadas**

Ter as portas exteriores bem vedadas é benéfico para a qualidade térmica interior, assume-se então, optando pela solução menos benéfica, que a fracção não tem as portas em contacto com o exterior bem vedadas.

➤ **Recuperador de calor**

Numa fase mais avançada deste estudo, este poderá ser um parâmetro que influenciará bastante o balanço energético do espaço, uma vez que normalmente são obtidos resultados bastante satisfatórios para este tipo de equipamento. No entanto, nesta fase assume-se que a fracção em estudo não tem um recuperador de calor instalado.

➤ **Tipo de vão, factor solar do vidro e fracção envidraçada**

Estes são três parâmetros que representam os vãos envidraçados da fracção. Neste caso, os vãos da fracção serão compostos por uma única janela composta de apenas um vidro, com factor solar igual a 0,85 e caixilharia em alumínio sem quadrícula, o que representa uma fracção envidraçada igual a 0,70. O valor do factor solar é estabelecido pelo regulamento para um vidro simples incolor corrente com 6mm de espessura. Os envidraçados interiores em contacto com o espaço não útil partilham a mesma constituição dos exteriores. Mais uma vez, esta é uma escolha que não beneficia as condições térmicas da fracção.

➤ **Inércia do edifício**

A inércia do edifício está directamente ligada ao tipo de construção utilizado. No entanto este parâmetro foi considerado como alterável uma vez que se pode alterá-lo sem se alterar o coeficiente (U) dos vários elementos que compõem a envolvente do edifício. Para tal, basta alterar a localização dos elementos isolantes.

Para o cálculo detalhado da inércia térmica de uma fracção, tem de se ter em conta não só as constituições dos elementos que em contacto com o exterior mas também as constituições dos seus elementos interiores. Como já foi dito, com o objectivo de simplificar a geometria do modelo em estudo, foram desprezadas as espessuras dos elementos interiores, no entanto, para o cálculo deste parâmetro os elementos interiores terão a constituição apresentada na tabela dos coeficientes (U), e a sua dimensão resulta de uma aproximação feita com base na dimensão das fachadas, para o caso das paredes interiores, e do conhecimento empírico para o caso das PTP interiores.

Caso genérico

Apresenta-se de seguida, duas tabelas onde são apresentados os valores de todas as propriedades relevantes para o cálculo da inércia térmica do caso genérico em estudo.

Descrição	Espessura (m)	Material	ITE 50 (pág.)	Massa Superficial (kg/m ²)	Massa Superficial Conjunto (kg/m ²)
Paredes exteriores		Resistência Térmica Exterior	I.11		356
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	140	
	0,060	Caixa de Ar	I.11		
	0,110	Tijolo de 11	I.12	140	
	0,020	Reboco	I.7	38	
Pontes térmicas planas		Resistência Térmica Interior	I.11		659,2
		Resistência Térmica Exterior	I.11		
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,030	CELENIT P3 (Isolamento Pontes térmicas)	Catálogo	8,2	
	0,250	Betão normal	I.5	575	
	0,020	Reboco	I.7	38	
Paredes em contacto c/ ENU ¹		Resistência Térmica Interior	I.11		216
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	140	
	0,020	Reboco	I.7	38	
		Resistência Térmica ENU	I.11		
Paredes interiores c/ requisitos de interior		Resistência Térmica Interior	I.11		186
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,070	Tijolo de 7	I.12	110	
	0,020	Reboco	I.7	38	
PTP interiores c/ requisitos de interior		Resistência Térmica Interior	I.11		329
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,110	Betão normal	I.5	253	
	0,020	Reboco	I.7	38	
		Resistência Térmica Interior	I.11		
Cobertura sob ENU ²		Resistência Térmica Exterior	I.11		499,2
	0,030	XPS	I.3	1,2	
	0,200	Betão normal	I.5	460	
	0,020	Reboco	I.7	38	
		Resistência Térmica Interior	I.11		
Pavimento em contacto c/ o solo		Resistência Térmica Terreno	I.11		490
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,180	Betão normal	I.5	414	
	0,020	Reboco	I.7	38	
Pavimento interior		Resistência Térmica Interior	I.11		306
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,100	Betão normal	I.5	230	
	0,020	Reboco	I.7	38	
		Resistência Térmica Interior	I.11		
Pavimento em contacto c/ o ENU ¹		Resistência Térmica ENU	I.11		306
	0,020	Reboco	I.7	38	
	0,100	Betão normal	I.5	230	
	0,020	Reboco	I.7	38	
	Resistência Térmica Interior	I.11			

Tabela 4.3 – Propriedades para o cálculo da inércia térmica da fracção genérica (1/2)

Descrição	Massa Superficial Conjunto (kg/m ²)	Massa Superficial Isolamento (kg/m ²)	Msi - pré regulamentar (kg/m ²)	Imposição Regulamentar	Msi (kg/m ²)	Si (m ²)	F.Correcção (r)	Msi.r.si (kg)
Paredes exteriores	356	356	178	<=150	150	147	0,5	11025
Pontes térmicas planas	659,2	613	613	<=150	150	22,05	0,5	1653,75
Paredes em contacto c/ ENU ¹	216	216	108	<=150	108	21	0,5	1134
Paredes interiores c/ requisitos de interior	186	186	186	<=300	186	102,9	0,5	9569,7
PTP interiores c/ requisitos de interior	329	329	329	<=300	300	4	0,5	600
Cobertura sob ENU ²	499,2	498	498	<=150	150	100	0,5	7500
Pavimento em contacto c/ o solo	490	490	150	<=150	150	75	0,5	5625
Pavimento interior	306	306	306	<=300	300	75	0,75	16875
Pavimento em contacto c/ o ENU ¹	306	306	153	<=150	150	25	0,5	1875

Tabela 4.4 – Propriedades para o cálculo da inércia térmica da fracção genérica (2/2)

$\sum (Msi.r.Si) (kg)$	Área útil pavimento (m ²)	$It = \frac{\sum (Msi.r.Si)}{\text{Área útil pavimento}} (kg/m^2)$
55857,45	175	319,19

Como It é inferior a 400kg/m² e superior a 150kg/m², pode-se afirmar que esta fracção apresenta uma classe de inércia térmica Média.

➤ Factor solar do vão envidraçado

Antes de se definir este parâmetro, há primeiro que definir o tipo de dispositivo de oclusão nocturna a utilizar. Já que esta fracção representa um edifício de habitação, opta-se pelo dispositivo mais utilizado neste sector, a persiana exterior com réguas plásticas de cor média. Para a estação de aquecimento o regulamento estabelece, para efeitos de maximização dos ganhos solares, um factor solar correspondente ao vidro escolhido acompanhado por uma solução de protecção do tipo cortina interior muito transparente de cor clara. Isto porque se assume que o dispositivo escolhido se encontra totalmente desactivo. Este factor tem o valor de 0,70 para o vidro simples e 0,63 para o duplo, sendo que o primeiro corresponde a solução aqui analisada. Na estação de arrefecimento, considera-se para efeitos de cálculo que esta protecção está 70% activa. Ou seja, o valor utilizado refere-se a 30% do factor solar do vidro, neste caso igual a 0,85, mais 70% do factor solar para esse mesmo vidro com a protecção activada a 100%, caso em que regulamento estabelece um factor solar igual a 0,10. Deste cálculo resulta o valor de $g_{\perp} = 0,325$.

➤ **Eficiência do sistema de produção de AQS**

Para se saber qual a eficiência do sistema de produção de AQS, há primeiro que escolher o sistema em si. Para este caso genérico, em que objectivo é estabelecer um ponto de partida para o restante estudo, opta-se pelo sistema de produção do tipo esquentador a gás, visto o regulamento estabelecer a eficiência mais baixa para este tipo de sistema. A eficiência a considerar retira-se do ponto 3 do Anexo VI [1] e é igual a 0,50.

➤ **Contribuição Esolar, contribuição Esolar para aquecimento e contribuição Eren**

Estes parâmetros estão todos ligados à existência de sistemas de produção de energia que usam fontes renováveis. Como seria de esperar, nesta fase inicial do estudo, a fracção não possui quaisquer sistemas que usem fontes de energia renovável. O que significa que estas três contribuições serão nulas.

➤ **Eficiência do sistema de aquecimento e do sistema de arrefecimento**

À semelhança da eficiência do sistema de produção AQS, as eficiências dos sistemas de aquecimento e de arrefecimento dependem dos sistemas escolhidos para o efeito. Para os casos em que a fracção não possui qualquer sistema instalado, deve-se assumir o seguinte, resistência eléctrica como sistema produtor de energia para aquecimento e máquina frigorífica (ciclo de compressão) como sistema produtor de energia para arrefecimento [1]. No ponto 2 do Artigo 18.º [1] são indicados os valores das respectivas eficiências destes sistemas:

Equipamento	Eficiência
Resistência eléctrica	1
Máquina frigorífica	3

Estes serão os valores a adoptar na primeira fase deste estudo.

4.5.3. Parâmetros alteráveis

Passam-se a enunciar os parâmetros não fixos mas ainda assim com capacidade condicionada de alteração.

➤ Coeficiente (ψ)

Uma vez que já foram indicados os comprimentos das PTL da fracção, resta agora indicar o seu coeficiente (ψ). Na Tabela IV.3 [1], o regulamento estabelece os diferentes valores do coeficiente (ψ) consoante o tipo de ponte térmica em análise e diferentes características geométricas, como por exemplo, a cota da diferença de altura entre o pavimento da fracção e o terreno no exterior ou a espessura da laje de separação entre dois pisos da mesma fracção. Para o caso em estudo temos:

- Pavimento em contacto com o terreno,

Da Tabela IV.2.1 [1] retira-se o valor de $\psi = 1,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ para pavimentos em contacto com o terreno sem isolante térmico e cota $Z = 0\text{m}$, correspondente à diferença de altura entre a face superior do pavimento e a cota do terreno exterior, isto visto estarem ambos à mesma altura.

- Ligação da fachada com os pavimentos térreos,

As tabelas presentes no regulamento para este caso apenas estabelecem valores de (ψ) para quando as paredes da envolvente possuem isolamento. No entanto, “Nos casos de pontes térmicas lineares não consideradas nesses quadros pode utilizar-se um valor convencional de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.” [1]. Quer isto dizer que, para este e todos os outros casos em que o valor do coeficiente (ψ) depende da existência de isolamento nas paredes de fachada, será este o valor a utilizar.

- Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores,

Pela mesma razão do caso anterior, o valor a adoptar neste caso é de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.

- Ligação da fachada com pavimentos intermédios,

Pela mesma razão dos casos anteriores, o valor a adoptar neste caso é de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.

- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço,

Ponte térmica linear a contabilizar no cálculo das perdas associadas à envolvente interior. Pela mesma razão dos casos anteriores, o valor a adoptar neste caso é de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.

- Ligação entre duas paredes verticais,

Pela mesma razão dos casos anteriores, o valor a adoptar neste caso é de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.

- Ligação da fachada com caixa de estore,

Sabe-se agora que todas as janelas terão uma caixa de estore que ocupará a sua parte superior em toda a sua largura. Uma vez que cada janela tem dois metros de largura e que existem catorze janelas exteriores ao todo na habitação, está encontrado o desenvolvimento linear desta ponte térmica e é igual a 28m. Ao contrário dos anteriores, neste caso junto à tabela existe uma nota que indica o valor de $\psi = 1\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ para qualquer configuração de caixa de estore diferente das apresentadas [1]. Será este portanto, o valor a utilizar.

- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril,
Pela mesma razão apresentada no caso da ligação da fachada com os pavimentos térreos, o valor a adoptar neste caso é de $\psi = 0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$.

➤ **Pé direito**

Para o nosso caso genérico, assume-se que o pé direito será igual à altura existente entre as duas lajes que compõem o pavimento e a cobertura de cada piso. Esta medida já havia sido indicada aquando da definição geométrica da fracção e corresponde a 2,7m.

➤ **Presença ou não de caixa de estore**

Uma vez definido o tipo de solução de dispositivo de oclusão nocturna, confirma-se a existência de caixas de estore nas paredes de fachada para todos os vãos envidraçados da fracção.

➤ **Dispositivos de admissão na fachada**

Na presente fase do estudo, não existem quaisquer tipos de dispositivos de admissão de ar na fachada.

➤ **Aberturas auto-reguladas**

Como no caso do parâmetro anterior, não estão previstas aberturas auto-reguladas para a fachada nesta fase.

➤ **Caudal de insuflação e caudal de extracção**

Como este parâmetro corresponde ao caudal de insuflação e extracção de ar efectuado por meios mecânicos, o seu valor é zero já que não estão previstos quaisquer meios mecânicos de tratamento de ar nesta fase do estudo.

➤ **Consumo dos ventiladores**

Como foi dito no ponto anterior, não existe nesta fase qualquer meio mecânico de tratamento de ar, logicamente também não existe consumo referente à utilização de ventiladores.

➤ **Orientação dos vãos**

Este pode ser considerado um falso parâmetro, visto não ser a orientação dos vãos que está verdadeiramente em jogo. O que realmente importa para o cálculo dos ganhos através da envolvente não opaca é a área de superfície envidraçada numa dada orientação. Quer isto dizer que este parâmetro, apesar de não poder ser alterado, está directamente ligado à área dos vãos envidraçados. Ou seja, alterar o valor da área tem como reflexo a alteração da quantidade de vidro numa dada orientação. Para o caso inicial serão consideradas áreas envidraçadas iguais para os conjuntos de orientações Norte com Este, e Sul com Oeste, cujos valores já foram apresentados num dos anteriores pontos.

➤ Factor de Obstrução

Sendo que o exemplo considerado é um edifício de habitação localizado na periferia de uma zona urbana, considera-se nesta fase inicial o sombreamento como sendo normal. O factor de obstrução obtém-se através da consulta de tabelas do RCCTE. Nestas tabelas encontram-se os valores dos factores de sombreamento do horizonte (F_h) e de sombreamento por elementos verticais e horizontais sobrepostos ao envidraçado (F_o e F_f respectivamente).

Para o caso da estação de aquecimento foi considerado um ângulo de horizonte igual a 20° , e que não existiam quaisquer elementos de sombreamento verticais ou horizontais, consequentemente os ângulos para estes dois factores são iguais a 0° . Sendo assim temos:

Orientação	F_h	$F_o \times F_f$	$F_s = F_h \times F_o \times F_f$
Norte	1,00	0,90	0,900
Sul	0,90	0,90	0,810
Este e Oeste	0,84	0,90	0,756

Para o caso da estação de arrefecimento, o factor de sombreamento do horizonte considera-se igual a 1. Sendo assim e tendo em conta a localização do edifício, temos para a totalidade dos envidraçados:

Orientação	F_h	$F_o \times F_f$	$F_s = F_h \times F_o \times F_f$
Norte, Sul, Este e Oeste	1	0,90	0,90

A simplificação de $F_o \times F_f$ foi feita ao abrigo do disposto na alínea b) do ponto 4.3.4 do Anexo IV [1], onde se pode ler, “Caso não existam palas, para contabilizar o efeito do contorno do vão deve ser considerado o valor de 0,9 para o produto $F_o.F_f$ ”.

➤ Coeficiente de absorção solar da superfície exterior da parede

No Quadro V.5 [1] são estabelecidos vários coeficientes para diferentes cores da superfície exterior da parede. No caso de ser uma cor clara como por exemplo branco, creme ou amarelo, o coeficiente a utilizar será igual a 0,4. Será este o valor adoptar nesta fase do estudo.

4.6. Alterações e resultados

Todos os parâmetros serão agora inseridos nas folhas de cálculo criadas para o efeito pelo ITeCons. No Anexo 2 encontra-se aquela que foi utilizada para o 1º caso. Estas folhas servirão de equação enquanto os parâmetros considerados como facilmente alteráveis, serão as variáveis deste problema. Para os restantes casos, as respectivas folhas de cálculo, não são aqui apresentadas pois o espaço necessário para a sua apresentação seria demasiado para um documento com estas características e por serem idênticas às do Anexo 2.

O objectivo passa agora por isolar alguns destes parâmetros, para que o seu efeito possa ser conhecido em qualquer projecto térmico de um edifício com as mesmas características do aqui apresentado.

4.6.1. Resultados do 1º Caso

Criou-se este primeiro caso com o intuito de estabelecer um padrão. Como tal foram atribuídas características à habitação não muito favoráveis ao seu conforto térmico. Ou seja criou-se um modelo próximo do que normalmente é encontrado no parque de habitação Nacional. Desde a constituição das paredes até à solução para os vãos envidraçados, passando pelo dispositivo de sombreamento dos mesmos, tudo foi escolhido com esse fim.

Os resultados deste primeiro caso podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	165,53	45	124,15	334,68

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Vãos envidraçados em contacto c/ ENU (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	22,43	38,40	94,00	17,28	20,00	192,11

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06

O que significa que o N_{ic} está 41% acima e o N_{vc} 65% abaixo dos valores máximos impostos pelo regulamento, respectivamente as necessidades nominais de energia útil para aquecimento máximas (N_i) e necessidades nominais de energia útil para arrefecimento máximas (N_v), para esta fracção.

Os dois resultados em conjunto com o N_{ac} , que apresenta um valor 23% superior às necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias máximas (N_a), resultam num N_{tc} 22% superior às necessidades nominais globais de energia primária máximas (N_t).

Numa primeira análise aos resultados, salta à vista o facto de quase todos os máximos exigidos não serem cumpridos. Este facto contrasta com o bom desempenho que a habitação apresentou na estação de arrefecimento, sendo aliás o único dos máximos cumpridos. De facto, é simples explicar tal resultado, como se sabe normalmente aquilo que é benéfico durante o Inverno não o é durante o Verão, e durante a análise energética de uma fracção este mesmo facto é bastante nítido. Por exemplo, o facto de existir um excessivo sombreamento dos vãos envidraçados é benéfico durante o Verão, uma vez que impede a entrada de cargas exteriores, e prejudicial durante o Inverno já que reduz substancialmente os ganhos através da envolvente não opaca. Sendo que, esta é das poucas fontes de ganho durante esta estação.

De resto, é notório que a fracção em estudo apresenta um péssimo desempenho na estação de aquecimento. Isto pode ser indicador de uma fraca composição da sua envolvente, facto que favorece as trocas de energia com o exterior. No entanto, sabe-se que a fracção não é capaz de gerar calor por si só, logo, diminuindo a condutividade da envolvente previnem-se perdas mas por outro lado também se impossibilitam ganhos. Mesmo assim, a primeira acção de correcção feita ao modelo será ao nível da envolvente opaca.

4.6.2. Alterações para o 2º Caso

Para este caso foram feitas alterações apenas ao nível da envolvente, aplicando e, num dos casos, aumentado o isolamento dos elementos que servem de fronteira com o exterior e com os ENU. Esta alteração tem como efeito a diminuição do coeficiente (U), e conseqüente aumento da resistência térmica, destes elementos. As alterações para este caso sintetizam-se da seguinte forma:

- Colocação de solução de isolamento nas paredes exteriores da fracção:
Aplicação de 3cm de isolamento do tipo poliestireno expandido extrudido (XPS) no interior da caixa-de-ar das paredes exteriores. Esta alteração implica uma diminuição na ordem dos 47% no valor do coeficiente (U) destes elementos. Implica também a alteração dos valores do coeficiente (ψ) das PTL.

- Alteração do tipo de isolamento colocado nas PTP:

Uma vez que o valor do coeficiente (U) das paredes foi alterado, é necessário adequar o valor de (U) das PTP para que este se mantenha regulamentar. O seu valor mínimo tem de ser no máximo igual ao dobro do (U) dos elementos onde elas se inserem. Como tal:

Elemento	Coeficiente (U) (W/m ² .°C)
Paredes exteriores	0,58
PTP (valor máximo)	1,16

Usando como base o 1º caso sabe-se que desta vez a solução de isolamento das PTP tem de ter uma condutibilidade igual ou inferior a 0,055W/m.°C. Esta alteração implica uma diminuição na ordem dos 14% no valor do seu coeficiente (U), isto assumindo a condutibilidade acima enunciada para a solução de isolamento.

- Colocação de solução de isolamento nas paredes interiores em contacto c/ ENU¹:
Aplicação de 3cm de isolamento do tipo XPS pelo exterior, ou seja pelo lado da lavandaria. Esta alteração implica uma diminuição de 59% no valor do coeficiente (U) destes elementos.
- Colocação de solução de isolamento em todo o pavimento do piso 0 e no pavimento do quarto do piso 1 que se encontra sobre o ENU¹:
Colocação de uma placa de 3cm de isolamento do tipo *Floormate* (fabricante *DOW*), sendo a condutibilidade deste elemento isolante igual a 0,035W/m.°C. Obviamente, no caso do pavimento do piso 0 esta solução será aplicada directamente sobre o pavimento, enquanto no caso do piso 1 o isolamento será instalado pelo lado da lavandaria. Esta alteração implica uma diminuição de 69% do coeficiente (U) deste elemento.
- Alteração dos valores dos coeficientes (ψ) das PTL da fracção:
Ao incluir um elemento isolante na constituição das paredes exteriores e no pavimento do piso 0, as perdas térmicas lineares são directamente afectadas. As alterações feitas estão de acordo com a Tabela IV.3 [1]. No caso da PTL da ligação entre a fachada e a caixa de estore, o facto que leva o coeficiente (ψ) a ser igual a 1W/m.°C deve-se à inexistência de isolamento no interior da caixa de estore. Ou seja, mesmo que agora a parede apresente isolamento na sua constituição, a caixa de estore continua a ser a mesma do caso anterior. Na ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril, foi considerado que não existe contacto do isolante com a caixilharia.

4.6.3. Resultados do 2º Caso

Podem-se sintetizar os resultados para este caso da seguinte forma:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	165,53	45,00	124,15	334,68
Segundo caso	97,83	36,00	83,96	217,79
Diferença	67,70	9,00	40,19	116,89

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Vãos envidraçados em contacto c/ ENU (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	22,43	38,40	94,00	17,28	20,00	192,11
Segundo caso	9,20	12,00	94,00	17,28	24,00	156,48
Diferença	13,23	26,40	0,00	0,00	(-) 4,00	35,63

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Segundo caso	744,55	21979,17	8105,65	13873,53
Diferença	152,52	4502,28	153,77	4348,50

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Segundo caso	5482,55	556,59	2619,78	5225,96	0,95	1362,40
Diferença	792,86	386,51	0,00	386,51	(---)	(-) 22,34

Quer isto dizer que ocorreu um aumento na ordem dos 1,7% do N_{vc} , o que, em conjunto com a diminuição do N_{ic} em 24%, resulta na diminuição em 10,5% do N_{ic} .

O pequeno aumento do N_{vc} pode-se explicar da seguinte forma, quando se aumenta os coeficientes (U), reduz-se em simultâneo as perdas associadas à envolvente exterior. Durante a estação de arrefecimento, são contabilizados ganhos através desta envolvente, que como resultado destas alterações diminuem, no entanto, contabiliza-se também perdas nesta fronteira que são benéficas durante esta estação e que também diminuem. O cociente entre ganhos e perdas é utilizado para o cálculo do factor de utilização dos ganhos térmicos. Mesmo que estas alterações pouco interfiram nesta estação, alterando este valor altera-se também o N_{vc} .

De referir que, ao introduzir as alterações, os coeficientes (U) diminuiriam em média 50%. Quer isto dizer que a resistência térmica destes elementos, em média, duplicou. Mesmo assim, o reflexo no resultado final ficou-se por uma parca diminuição de 10,5%.

4.6.4. Alterações para o 3º Caso

Para este caso foram feitas alterações apenas ao nível dos vãos envidraçados. Como tal, utilizando como base o vão envidraçado escolhido para o 1º caso, a totalidade dos vãos da fracção em estudo passam a ter as seguintes características,

Caso	Número de janelas	Tipo de caixilharia	Número de vidros	Espessura da caixa-de-ar entre os vidros (mm)	Permeabilidade ao ar do dispositivo de oclusão nocturna	Coefficiente (U) da solução (W/m ² .°C)
Primeiro caso	Uma	Metálica sem corte térmico	Um	(---)	Elevada	4,8 ^{(*)1}
Terceiro caso	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	2,8 ^{(*)2}

(*)¹ – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

(*)² – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

Caso	Classe de permeabilidade ao ar
Primeiro caso	“Sem classificação”
Terceiro caso	Classe 1

Caso	Factor solar do vidro	Factor solar do vão envidraçado ^(*)	Factor solar do vão a utilizar durante o Inverno	Factor solar do vão a utilizar durante o Verão
Primeiro caso	0,85	0,10	0,70	0,325
Terceiro caso	0,75	0,07	0,63	0,274

(*) – Com a protecção 100% activada

4.6.5. Resultados do 3º Caso

Podem-se sintetizar os resultados para este caso da seguinte forma:

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Vãos envidraçados em contacto c/ ENU (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	22,43	38,40	94,00	17,28	20,00	192,11
Terceiro caso	22,43	38,40	94,00	10,08	20,00	184,91
Diferença	0,00	0,00	0,00	7,20	0,00	7,20

- Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores,

Caso	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	201,60
Terceiro caso	117,60
Diferença	84,00

- Perdas associadas à renovação de ar,

Caso	Taxa de renovação de ar (Rph)	Total de perdas associadas à renovação de ar (W/°C)
Primeiro caso	1,05	168,68
Terceiro caso	1,00	160,65
Diferença	0,05	8,03

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Terceiro caso	797,84	23552,10	7690,83	15861,27
Diferença	99,23	2929,35	568,59	2360,76

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Terceiro caso	5197,52	943,10	2208,67	5201,37	1,00	1446,22
Diferença	1077,89	0,00	411,11	411,10	(---)	(-) 106,16

Ocorreu um pequeno aumento, na ordem dos 7%, do N_{vc} o que, em conjunto com a diminuição em cerca de 13% do N_{ic} , provoca uma diminuição de 6% do N_{tc} .

O facto de se ter verificado o aumento das necessidades de arrefecimento não parece ter qualquer razão para acontecer, uma vez que a única alteração aqui introduzida foi o aumento da qualidade térmica dos vãos envidraçados. No entanto, analisando detalhadamente os resultados percebe-se que a redução das perdas térmicas corresponde a mais do dobro da redução dos ganhos. Ao reduzir muito mais as perdas do que os ganhos, esta alteração faz com que na estação de arrefecimento seja necessária mais energia para manter a fracção dentro dos limites mínimos do conforto térmico. Logo pode-se concluir a partir destes resultados que, a intervenção ao nível dos vãos envidraçados é de certo modo passível de induzir a resultados contraditórios. Substituir o conjunto vidro caixilharia, sem no entanto alterar a solução de oclusão nocturna como foi o caso aqui apresentado, provoca uma redução de perdas na estação de aquecimento, que irá ser utilizada na de arrefecimento, superior à redução de

ganhos nesta mesma estação. Apesar de se ter reduzido N_{tc} , esta redução é muito inferior aquela que foi verificada no caso anterior, caso em que se introduziram alterações ao nível da envolvente opaca. Eis um excelente exemplo do que foi explicado no primeiro caso, o que é benéfico no Inverno pode não o ser no Verão e conseqüentemente menos benéfico para o conjunto das duas estações.

De referir, no entanto, o facto deste tipo de alteração ser, do ponto de vista da execução, bastante mais simples que o do 2º caso.

4.6.6. Alterações para o 4º Caso

Para este 4º caso de estudo foram executadas em simultâneo as alterações do 2º e 3º casos. É portanto, uma tentativa de perceber qual o nível de melhoramento executando alterações em todos os tipos de envolvente da fracção.

4.6.7. Resultados do 4º Caso

Podem-se sintetizar os resultados para este caso da seguinte forma:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	165,53	45,00	124,15	334,68
Quarto caso	97,83	36,00	83,96	217,79
Diferença	67,70	9,00	40,19	116,89

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Vãos envidraçados em contacto c/ ENU (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	22,43	38,40	94,00	17,28	20,00	192,11
Quarto caso	9,20	12,00	94,00	10,08	24,00	149,28
Diferença	13,23	26,40	0,00	7,20	(-) 4,00	42,83

- Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores,

Caso	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	201,60
Quarto caso	117,60
Diferença	84,00

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Quarto caso	645,32	19049,83	7506,51	11543,32
Diferença	251,75	7431,62	752,91	6678,71

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Quarto caso	4404,67	556,59	2208,67	4814,86	1,09	1495,68
Diferença	1870,74	386,51	411,11	797,61	(---)	(-) 155,62

Ocorreu um pequeno aumento, na ordem dos 10%, do N_{vc} o que, em conjunto com a diminuição em cerca de 37% do N_{ic} , provoca uma diminuição de 16% do N_{tc} .

Com esta alteração pode-se afirmar que a fracção se encontra bastante próxima dos mínimos exigidos pelo regulamento. No entanto há que lembrar as alterações necessárias para chegar a este ponto. A redução dos coeficientes globais de transmissão de calor dos principais elementos de contacto com o exterior e com o espaço não útil para cerca de metade do seu valor original, objectivo cumprido com a colocação de soluções de isolamento, em alguns casos aumento do mesmo, e substituição dos vãos envidraçados existentes por outros de melhor qualidade.

Estas modificações que no seu conjunto induziram à “poupança” de 6678,71kWh/ano na estação de aquecimento e ao aumento de 155,62kWh/ano na estação de arrefecimento. Mesmo não tendo qualquer significado no cálculo das necessidades globais de energia primária, é praticamente impossível não deduzir daqui que houve um “saldo positivo” de 6523,09kWh/ano. Sendo que no 1º caso a soma das necessidades para aquecimento e arrefecimento era de 16881,97kWh/ano, e que neste caso é de 13039,00kWh/ano, a redução é de 23%.

4.6.8. Alterações para o 5º Caso

Uma vez que a fracção, depois das alterações efectuadas na sua envolvente, continua a não atingir os mínimos exigidos pelo regulamento, o objectivo deste 5º caso é eliminar os excessos ainda existentes e fazer com que a fracção cumpra esses predispostos regulamentares. Para tal propõe-se alterações ao nível da ventilação natural do edifício, considerando que as portas exteriores são bem vedadas com o objectivo de reduzir as renovações de ar por hora, e a troca das caixas de estore por outras que incluam na sua constituição um elemento isolante, eliminando as PTL provocadas por este

elemento. Ao contrário dos casos anteriores, neste 5º caso as alterações incidem sobre o resultado das alterações do 4º e não sobre o caso inicial.

4.6.9. Resultados do 5º Caso

Podem-se sintetizar os resultados para este caso da seguinte forma:

- Perdas associadas à envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	165,53	45,00	124,15	334,68
Quinto caso	97,83	36,00	55,96	189,79
Diferença	67,70	9,00	68,19	144,89

- Perdas associadas à renovação de ar,

Caso	Taxa de renovação de ar (Rph)	Total de perdas associadas à renovação de ar (W/°C)
Primeiro caso	1,05	168,68
Quinto caso	0,95	152,62
Diferença	0,10	16,06

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Quinto caso	609,29	17986,15	7443,40	10542,75
Diferença	287,78	8495,30	816,02	7679,28

Mesmo sendo reduzida, esta diferença é suficiente para que o N_{ic} seja cumprido. Em conjunto com o N_{vc} , o outro máximo já cumprido desde início, falta agora apenas cumprir os máximos estabelecidos para o N_{ac} . Uma vez cumprido este objectivo, cumpre-se também o pré-estabelecido pelo regulamento no que toca às necessidades globais de energia primária.

4.6.10. Alterações para o 6º Caso

Para o caso genérico de estudo foi escolhido um equipamento muito básico para produção de AQS, no entanto, em muitas habitações do nosso país continua a ser este o método utilizado. Como tal, para este caso decide-se adoptar um método mais moderno que começa a marcar presença em muitas das habitações mais recentes ou que tenham sido alvo de remodelação. O sistema a considerar terá as seguintes características:

Caso	Tipo de Sistema	Isolamento da zona de acumulação (mm)	Eficiência de conversão	Combustível utilizado
Primeiro caso	Esquentador	(---)	0,50 ^(*)	Combustível gasoso
Sexto caso	Caldeira mural com acumulação	Entre 50 e 100	0,82 ^(*)	Combustível gasoso

(*) – De acordo com o número 3 do Anexo IV [1]

Note-se, no entanto, que a eficiência de conversão para efeitos de cálculo será 0,72, uma vez que o regulamento obriga à diminuição em 0,10 se as redes de distribuição de água quente internas à fracção não forem isoladas com pelo menos 10mm de isolamento térmico. Não existindo dados que suportem esta situação, deve o projectista optar pela situação mais gravosa, como tal, será esta a metodologia aqui utilizada.

Ao instalar este sistema, a fracção passa a beneficiar também de uma fonte de energia para o aquecimento ambiente, para tal basta que sejam instalados irradiadores de parede ligados ao sistema de produção de águas quentes. Ou seja, esta alteração terá influência directa na energia para produção de AQS e no N_{tc} .

4.6.11. Resultados do 6º Caso

Consumadas as alterações, o valor máximo para o N_{ac} é cumprido, como se pode ver na tabela seguinte:

- Necessidades de energia para preparação de AQS,

Caso	Eficiência de conversão dos sistemas de produção	Necessidades de energia (kWh/ano)
Primeiro caso	0,50	7641,28
Sexto caso	0,72	5306,44
Diferença	0,22	2334,84

Este resultado representa uma redução de 30,5% destas necessidades em relação aos restantes casos. Como resultado, o valor de N_{tc} também reduziu 46%. Relembrando que nos casos anteriores, cinco e com bastantes propostas de alterações em todos eles, a redução máxima das necessidades globais tinha-se ficado pelos 18% e isto somente no 5º caso que englobou todas as alterações anteriores, é de facto possível concluir que alterar o sistema de produção de AQS tem muito mais influência no resultado final. Não esquecendo claro que neste caso a alteração também influenciou a eficiência de conversão do sistema de produção de energia para aquecimento.

4.6.12. Alterações para o 7º Caso

Como já tinha sido feito para o 4º caso, este 7º caso resulta da associação das alterações efectuadas no 5º e 6º casos. O objectivo é por fim chegar à total conformidade com o regulamento, ou seja, atingir o cumprimento de todos os máximos por este impostos.

4.6.13. Resultados do 7º Caso

Não existindo qualquer influência directa entre o conjunto $[N_{ic} N_{vc}]$ e o N_{ac} , o resultado da associação do 5º e 6º casos apenas se vai sentir no N_{tc} . Como tal, para além dos resultados já apresentados nos últimos dois casos, apresenta-se em seguida a síntese dos resultados para este caso:

- Necessidades globais de energia primária,

Caso	Eficiência de conversão do sistema de aquecimento	Factor de conversão entre energia útil e energia primária do sistema de aquecimento	Necessidades de energia primária ($kgep/m^2 \cdot ano$)
Quinto caso	1,00	0,290	6,85
Sétimo caso	0,87	0,086	3,71
Diferença	0,13	(---)	3,14

Observa-se que o N_{tc} sofreu uma redução de 41% em relação ao 5º caso, e de 52% em relação ao 1º.

A fracção encontra-se agora totalmente regulamentar e caso fosse uma habitação nova teria neste momento, à luz do RCCTE, todas as condições no que diz respeito ao projecto térmico para obter a licença de construção ou habitação, conforme a fase do projecto. Curiosamente não só a fracção passou a estar regulamentar com passou imediatamente a ter uma classificação B. Isto significa que a fracção não chegou a ter a classificação mais baixa desta escala, lembre-se que para edifícios novos o regulamento estabelece uma escala que começa na classe B. Ou seja depois de tantos esforços para tornar a habitação regulamentar, é a troca de um esquentador para uma caldeira mural que a faz obter este bom desempenho energético.

4.6.14. Alterações para o 8º Caso

Como foi explicado anteriormente, uma vez cumprido objectivo, podem-se testar agora certas alterações pouco convencionais e apenas com intuito puramente científico. Ou seja, não sendo possível executar tais alterações num projecto previamente concebido, existe a necessidade de perceber até que ponto certas alterações influenciam o comportamento térmico de uma habitação.

Propõem-se então alterar a dimensão original dos vãos envidraçados. Sabe-se que estes são a principal fonte de ganhos durante as estações de aquecimento e arrefecimento, tendo efeitos positivos numa delas e negativos na outra, respectivamente. Como tal sintetizam-se as alterações da seguinte forma:

- Dimensão dos vãos,

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Oitavo caso	2	2	8	4
Diferença	0,5	0	1	1

Com o aumento da área envidraçada espera-se obter mais ganhos na estação de aquecimento do que aqueles que se obtiveram no 1º caso. Sabe-se no entanto que tal alteração irá introduzir ganhos não desejados na estação de arrefecimento. O objectivo aqui é perceber até que ponto esta alteração é benéfica para a globalidade da análise energética da fracção.

4.6.15. Resultados do 8º Caso

Sabia-se à partida que o aumento da dimensão dos vãos envidraçados não teria efeitos benéficos na estação de arrefecimento, antes pelo contrário, no entanto, na estação de aquecimento era esperado que houvesse um pequeno aumento dos ganhos que seriam suficientes para suportar o aumento das perdas e assim a fracção sairia beneficiada com esta alteração. Relembro que ao aumentar a envolvente não opaca tem de se reduzir a envolvente opaca, o que representa substituir um tipo envolvente por outro de menor coeficiente (U). Os resultados obtidos não foram esses como se pode ver de seguida:

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)
Primeiro caso	334,68	192,11	201,60
Oitavo caso	326,44	195,73	268,80
Diferença	8,24	(-) 3,62	(-) 67,20

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Oitavo caso	959,65	28328,89	9920,35	18408,54
Diferença	(-) 62,58	(-) 1847,44	(-) 1660,93	(-) 186,51

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Oitavo caso	6883,95	843,34	3493,04	6385,98	0,93	1604,40
Diferença	(-) 608,54	99,76	(-) 873,26	(-) 773,51	(---)	(-) 264,34

Ao contrário do que seria de esperar, o aumento dos ganhos não foi o suficiente para suprimir o aumento das perdas e o N_{ic} acabou mesmo por aumentar, mesmo que tenha sido apenas 1%. Por sua vez, como era expectável, o N_{vc} aumentou 16%. Como resultado destes aumentos, o valor de N_{ic} também acabou por aumentar ainda que não tenha chegado a 1%.

Vemos pelos resultados portanto que, o aumento da superfície envidraçada da fracção pode ter resultados inesperados. Enquanto seria de esperar que esta alteração produzisse efeitos benéficos durante o Inverno e prejudicasse um pouco a situação de Verão, os resultados indicam que ambas as estações foram prejudicadas. Quando no Inverno a fracção tem poucas fontes de ganhos, existe uma tendência natural para considerar que tal acontece devido à falta de superfície capaz de “deixar entrar” as cargas solares, no entanto, e como se descobriu, esta pode não ser bem a solução ideal para melhorar as condições térmicas do edifício. Há que ter especial cuidado na avaliação das vantagens e desvantagens, e neste caso uma vez que o coeficiente (U) das janelas é muito superior ao das paredes, cerca de seis vezes maior, este resultado não era de todo imprevisível. Os vãos são elementos que entram em tantos aspectos da análise térmica do edifício que por vezes se esquece que em termos de qualidade térmica estes estão sempre muito atrás das paredes.

4.6.16. Alterações para o 9º Caso

No caso anterior vimos que alterar a dimensão dos vãos só por si pode não produzir o efeito desejado. É por isso que, para este caso irá ser testada a mesma hipótese utilizando os vãos envidraçados do terceiro caso, com melhores características térmicas, para ver se os resultados acompanham as conclusões do 8º caso. Como tal para este caso os vãos envidraçados terão as seguintes características:

- Dimensão dos vãos,

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Nono caso	2	2	8	4
Diferença	0,5	0	1	1

- Características térmicas dos vãos,

Caso	Número de janelas	Tipo de caixilharia	Número de vidros	Espessura da caixa-de-ar entre os vidros (mm)	Permeabilidade ao ar do dispositivo de oclusão nocturna	Coefficiente (U) da solução (W/m ² .°C)
Primeiro caso	Uma	Metálica sem corte térmico	Um	(---)	Elevada	4,8 ^{(*)1}
Nono caso	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	2,8 ^{(*)2}

(*)1 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

(*)2 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

Caso	Classe de permeabilidade ao ar
Primeiro caso	“Sem classificação”
Nono caso	Classe 1

Caso	Factor solar do vidro	Factor solar do vão envidraçado ^(*)	Factor solar do vão a utilizar durante o Inverno	Factor solar do vão a utilizar durante o Verão
Primeiro caso	0,85	0,10	0,70	0,325
Nono caso	0,75	0,07	0,63	0,274

(*) – Com a protecção 100% activada

4.6.17. Resultados do 9º Caso

Uma vez analisado o 8º caso, será de esperar que neste caso seja prevenido o aumento excessivo das perdas na estação de aquecimento, já que as características térmicas deste vidro são substancialmente melhores que as do anterior. Apresenta-se de seguida uma síntese dos resultados para o 9º caso:

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)
Primeiro caso	334,68	192,11	201,60
Nono caso	326,44	186,13	156,80
Diferença	8,24	5,98	44,80

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Nono caso	830,02	24502,14	9140,40	15361,73
Diferença	67,05	1979,31	(-) 880,98	2860,30

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Nono caso	5478,13	843,34	2944,90	5837,84	1,07	1757,85
Diferença	797,28	99,76	(-) 325,12	(-) 225,37	(---)	(-) 417,79

Como se pode ver neste caso, mesmo que se tenha aumentado menos os ganhos, conseguiu-se simultaneamente reduzir as perdas, como tal, a alteração teve o efeito benéfico de reduzir o N_{ic} em 16%. Por outro lado, como seria de esperar o N_{vc} aumentou 24%. As alterações produziram ainda uma redução de 7% do N_{ic} .

Ao contrário do caso anterior, os resultados deste 9º caso são bem mais satisfatórios. A alteração das características térmicas dos vãos foi um factor fundamental para que o aumento da dimensão dos vãos se tornasse benéfica para a qualidade térmica da fracção, o aumento dos ganhos foi o suficiente para suprimir o aumento das perdas e a habitação passou e necessitar de menos energia para aquecimento. De resto não foram só estas as necessidades a saírem beneficiadas desta alteração, o N_{ic} também reduziu, isto apesar do esperado aumento do N_{vc} .

Em jeito de conclusão pode-se dizer que, o aumento da dimensão dos vãos só por si pode não ser benéfico para a redução das necessidades de energia durante o Inverno, há que ter o cuidado de analisar se as propriedades do vão em si são suficientemente boas para permitir esta alteração. De resto, e como se pode comprovar pelos casos 9.1 e 9.2, cujos resultados se encontram no Anexo 3, quando estas características são suficientemente boas, o aumento da área envidraçada pode ir mesmo até mais do dobro do inicial que o resultado será sempre uma redução das necessidades. No entanto, mesmo com estas características, sabe-se que num caso extremo em que toda a área de contacto com o exterior seria envidraçada as perdas seriam com certeza maiores. Logo, pode-se concluir que existe um limite de dimensão, proporcionalmente maior quanto melhores forem as características do vidro, até onde se pode ir com resultados benéficos em termos energéticos para a fracção. Não descurando que os efeitos desta alteração serão sempre prejudiciais para a estação de arrefecimento.

4.6.18. Alterações para o 10º Caso

Sabendo que, no caso anterior a alteração teve incidência em todos os vãos da fracção, inclusive nos vãos em contacto com o ENU, e que ficou provado que o aumento dos vãos só por si poderia não ser benéfico, neste caso a tentativa passará por descobrir quais são os resultados de uma alteração estratégica da dimensão dos vãos envidraçados. Sabe-se que os vãos mais benéficos para a estação de aquecimento são os das vertentes Sul, Este e Oeste, pois são estes que estão expostos a uma maior radiação solar, e que os menos benéficos são, por oposição, os da vertente Norte. Como tal a intervenção vai passar pelo aumento dos vãos colocados a Sul, Este e Oeste, e redução dos colocados a Norte. Para que se possa comparar os resultados com os do 8º caso, em que a base foi o 1º, o aumento de área envidraçada vai ser aproximadamente do mesmo valor. Apresenta-se em seguida a síntese dos resultados para este caso:

- Dimensão dos vãos Norte (quatro vãos),

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Décimo caso	1	1,5	5	1,5
Diferença	0,5	0,5	2	1,5

- Dimensão dos vãos Sul (três vãos), Oeste (três vãos) e Este (quatro vãos),

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Décimo caso	2	2,5	9	5
Diferença	(-) 0,5	(-) 0,5	(-) 2	(-) 2

4.6.19. Resultados do 10º Caso

Apresenta-se de seguida a síntese dos resultados para este caso:

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)
Primeiro caso	334,68	192,11	201,60
Décimo caso	325,44	192,11	268,80
Diferença	9,24	0,00	(-) 67,20

Caso genérico

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Décimo caso	946,99	27955,27	10548,18	17407,09
Diferença	(-) 49,92	(-) 1473,82	(-) 2288,76	814,94

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Décimo caso	6789,87	806,54	3878,99	6735,13	0,99	1851,23
Diferença	(-) 514,46	136,56	(-) 1259,21	(-) 1122,66	(---)	(-) 511,17

Neste caso o aumento dos ganhos já é suficiente para suprimir o aumento das perdas e o N_{ic} acabou por reduzir 4%. Esta redução foi conseguida às custas de um maior aumento do N_{vc} , que se situou nos 28%. Estas alterações produziram ainda a redução do N_{tc} , mesmo que pouco substancial, em 2%.

Através destes resultados conclui-se que, em relação ao 8º caso a alteração estratégica dos vãos é bastante mais benéfica do que a alteração igual para todos os vãos da fracção, no entanto em relação ao 1º caso é óbvio que estas alterações pouco produzem no resultado final. Senão vejamos, no 8º caso não houve sequer uma diminuição, mas sim um aumento, do N_{tc} , neste 10º caso essa diminuição ficou-se pelos insignificantes 2% e sem esquecer que foi às custas de um aumento de 28% do N_{vc} . Quando confrontados com valores anteriormente obtidos, para alterações que podem ser efectuadas tanto numa fase de projecto como esta como numa habitação já existente, estes resultados são conclusivos no sentido de que a alteração da dimensão dos vãos pode sim ser benéfica, no entanto não é de maneira nenhuma uma intervenção de grande valor para a qualidade térmica do edifício. Aliás o único bom resultado obtido desde o 8º caso, foi aquele em que se alteraram também as características do vão e não só a dimensão deste. Ou seja, os vãos envidraçados são elementos que influenciam bastante o cálculo das características térmicas dos edifícios, no entanto isto deve-se muito mais às suas características do que à sua dimensão.

4.7. Resultados do caso genérico

Apresenta-se de seguida compilação dos resultados obtidos durante o estudo deste caso genérico.

Caso	Nic	Ni	% (Nic/Ni)	Nvc	Nv	% (Nvc/Nv)	Nac	Na	% (Nac/Na)	Ntc	Nt	% (Ntc/Nt)
1º Caso	104,13	61,17	1,70	7,66	22,00	0,35	43,66	33,79	1,29	6,85	5,31	1,29
2º Caso	79,28	61,17	1,30	7,79	22,00	0,35	43,66	33,79	1,29	6,13	5,31	1,15
3º Caso	90,64	61,17	1,48	8,26	22,00	0,38	43,66	33,79	1,29	6,46	5,31	1,22
4º Caso	65,96	61,17	1,08	8,55	22,00	0,39	43,66	33,79	1,29	5,75	5,31	1,08
5º Caso	60,24	61,17	0,98	8,77	22,00	0,40	43,66	33,79	1,29	5,59	5,31	1,05
6º Caso	104,13	61,17	1,70	7,66	22,00	0,35	30,32	33,79	0,90	3,71	5,31	0,70
7º Caso	60,24	61,17	0,98	8,77	22,00	0,40	30,32	33,79	0,90	3,29	5,31	0,62
8º Caso	105,19	61,17	1,72	9,17	22,00	0,42	43,66	33,79	1,29	6,89	5,31	1,30
9º Caso	87,78	61,17	1,44	10,04	22,00	0,46	43,66	33,79	1,29	6,40	5,31	1,21
9.1º Caso	84,21	61,17	1,38	11,96	22,00	0,54	43,66	33,79	1,29	6,31	5,31	1,19
9.2º Caso	81,03	61,17	1,32	15,88	22,00	0,72	43,66	33,79	1,29	6,26	5,31	1,18
10º Caso	99,47	61,17	1,63	10,58	22,00	0,48	43,66	33,79	1,29	6,74	5,31	1,27

Tabela 4.5 – Resultados do estudo do caso genérico

- 1º Caso – Caso inicial do estudo,
- 2º Caso – Caso com alterações na envolvente opaca da habitação,
- 3º Caso – Caso com alterações na envolvente não opaca da habitação,
- 4º Caso – Caso que reúne as alterações dos 2º e 3º Casos,
- 5º Caso – Caso com base no 4º Caso e alterações no isolamento das portas da habitação e caixa de estore,
- 6º Caso – Caso com alteração do sistema produtor de AQS,
- 7º Caso – Caso que reúne as alterações dos 5º e 6º Casos,
- 8º Caso – Caso com alteração da dimensão dos elementos não opacos da habitação,
- 9º Caso – Caso com alteração da dimensão e das características dos elementos não opacos da habitação,
- 10º Caso – Caso com alteração estratégica da dimensão dos elementos não opacos da habitação.

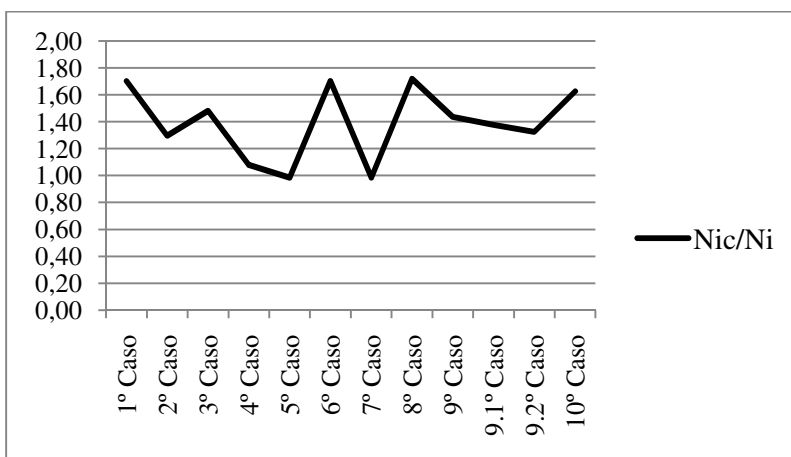


Figura 4.6 – Evolução do valor de N_{ic}/N_i

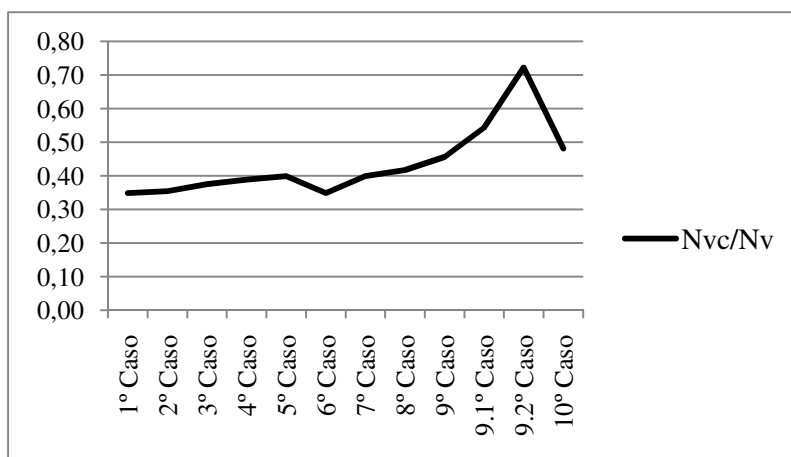


Figura 4.7 – Evolução do valor de N_{vc}/N_v

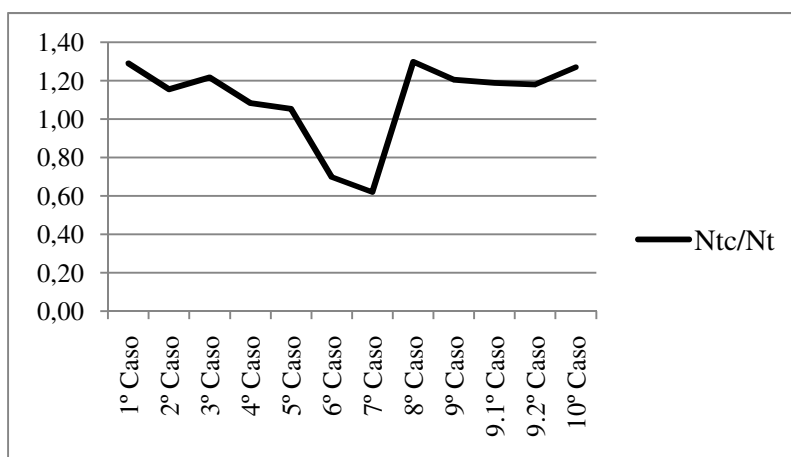


Figura 4.8 – Evolução do valor de N_{tc}/N_t

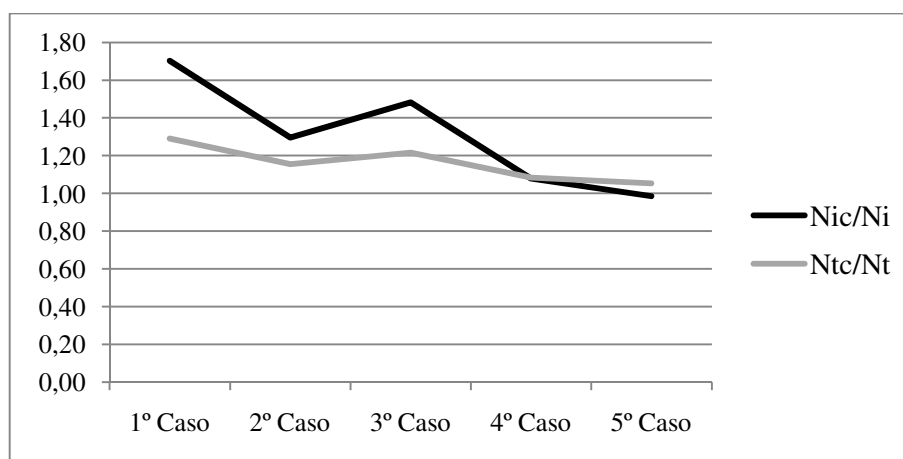


Figura 4.9 - Comparação entre N_{ic}/N_i e N_{tc}/N_t

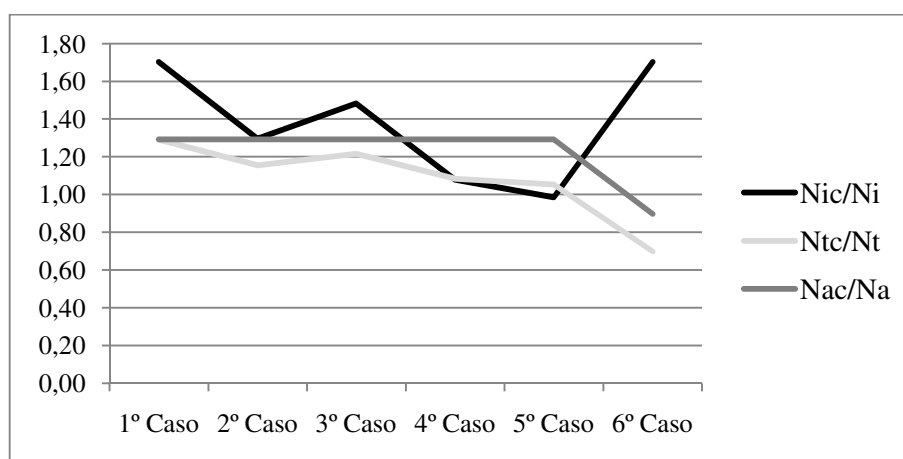


Figura 4.10 - Comparação entre N_{ic}/N_i , N_{tc}/N_t e N_{ac}/N_a

Tal como foi afirmado anteriormente, o melhor resultado de todos os casos verifica-se aquando da 5ª alteração que gerou o 6º Caso. De todas foi sem dúvida a mais bem sucedida na tarefa de reduzir o N_i , e conseqüentemente melhorar o desempenho energético, sem ter contribuído absolutamente nada para o melhoramento do conforto térmico da habitação

5. Caso real

5.1. Apresentação do caso real

Cumprido o objectivo de classificar os parâmetros intervenientes no estudo térmico de uma fracção, viramo-nos agora para uma vertente mais prática deste estudo. A maior ou menor relevância de certos parâmetros foi encontrada, no capítulo anterior, para um caso genérico. O que se propõe aqui é, num caso prático real de uma moradia situada nos arredores de Cascais, tentar encontrar pontos em comum com o estudo anteriormente efectuado. Tenta-se no fundo testar a validade dos pressupostos assumidos no capítulo anterior.

Para este caso irá ser usada uma fracção real, no momento de execução deste estudo ainda em fase de construção, que em alguns dos seus parâmetros apresenta uma certa semelhança com o caso genérico. Tal como este, esta fracção é uma moradia unifamiliar localizada no concelho de Cascais a 100m de altitude com fachadas voltadas a Norte, Sul, Este e Oeste.

As variáveis deste estudo serão as mesmas do caso anterior, ou seja, os grupos de parâmetros definidos como fixos, alteráveis ou facilmente alteráveis serão exactamente os mesmos para este caso. No entanto, a descrição dos mesmos será feita de um modo mais sucinto, uma vez que o objectivo agora não é propriamente o estudo dos parâmetros mas sim a validade do que foi anteriormente afirmado.

5.2. Descrição simplificada da fracção real

Descrição simplificada da habitação/fracção escolhida como caso real:

- Local,
 - Concelho de Cascais a uma altitude de 100m.
- Orientação,
 - Uma fachada voltada a Norte,
 - Uma fachada voltada a Sul,
 - Uma fachada voltada a Este,
 - Uma fachada voltada a Oeste.
- Moradia com três pisos,
 - Cave com seis divisões,
 - Garagem,
 - Ginásio,
 - Garrafeira,
 - Biblioteca,
 - Arrecadação,
 - Compartmento técnico.
 - Piso 0 com onze divisões,
 - Cozinha,
 - Sala de jantar,
 - Lavandaria,
 - Dois quartos,
 - Salão,
 - Escritório,
 - Arrumos,
 - Três instalações sanitárias.
 - Piso 1 com seis divisões,
 - Três quartos,
 - Três instalações sanitárias.
- Vãos envidraçados,
 - Vãos por fachada,
 - Fachada Norte – 31,78m²,
 - Fachada Sul – 78,32m²,
 - Fachada Este – 29m²,
 - Fachada Oeste – 34,54m².
 - Tipos de solução de oclusão nocturna,
 - Estore exterior de enrolar orientável (Tipo I),
 - Cortina interior muito transparente de cor clara (Tipo II).

Para o estudo que aqui se efectuará, certas características que constam do projecto original da moradia serão alteradas para que esta mais se assemelhe ao caso do capítulo anterior. Por exemplo, para uma habitação com estas dimensões torna-se obrigatório que existam soluções de ventilação que garantam a qualidade do ar interior, no entanto, assim como no caso genérico, será considerado que a ventilação da moradia será garantida sem a utilização de meios mecânicos. Outro exemplo é o caso dos equipamentos de aproveitamento de energias renováveis, que se tornaram imprescindíveis no caso real devido à quantidade de energia consumida pelos diversos equipamentos instalados, que não estarão presentes neste estudo. No fundo, serão aproveitados todos os elementos em que mais incidiu o estudo anterior, sendo que os restantes sofreram alterações para que a comparação se torne possível.

5.3. Representação esquemática da fracção real

Apresenta-se em seguida um conjunto de figuras ilustrativas do aspecto exterior do presente caso em estudo. Estas figuras são parte integrante do projecto de arquitectura desenvolvido para a execução do projecto desta moradia.



Figura 5.1 – Alçado Norte da fracção real

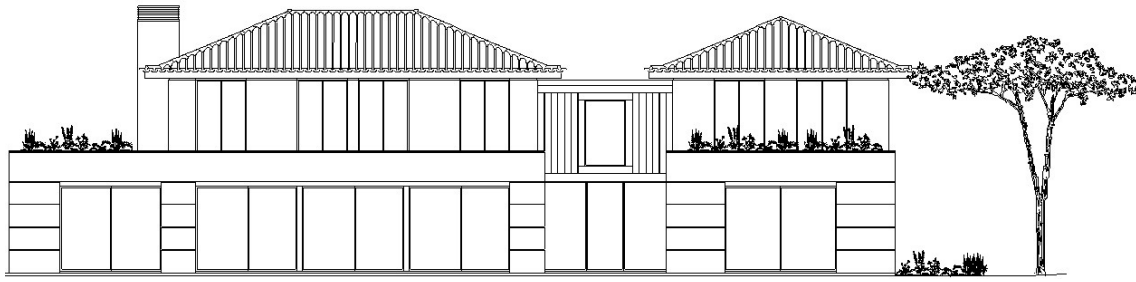


Figura 5.2 – Alçado Sul da fracção real

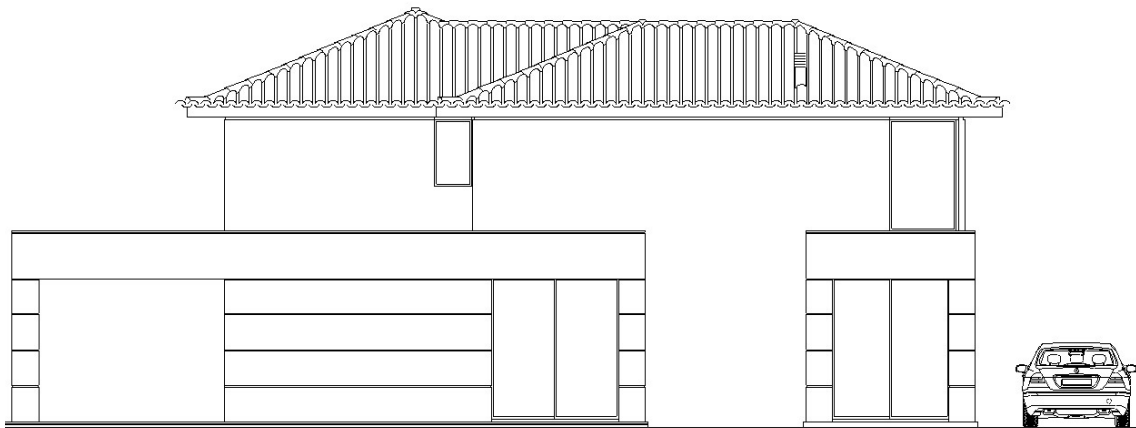


Figura 5.3 – Alçado Nascente da fracção real



Figura 5.4 – Alçado Poente da fracção real

5.4. Descrição detalhada da fracção real

Assim como no capítulo anterior, para uma melhor compreensão passa-se então a uma descrição mais detalhada da fracção.

A cave da fracção é composta por várias divisões, sendo que algumas delas são consideradas como locais não aquecidos ou espaços não úteis, como os casos da garagem e do compartimento técnico ou dos arrumos. Ao contrário destes, espaços como o ginásio e a biblioteca são considerados como sendo úteis e contactam directamente com eles. Apesar de se classificar este piso como cave, existem certas zonas da sua envolvente que contactam directamente com o exterior, como por exemplo a porta da garagem ou a fachada do ginásio, no entanto na sua maioria as paredes deste piso contactam directamente com o solo, de resto, assim como a totalidade do seu pavimento. Sobre este piso está o piso 0, ou seja não existe contacto da sua cobertura com o exterior.

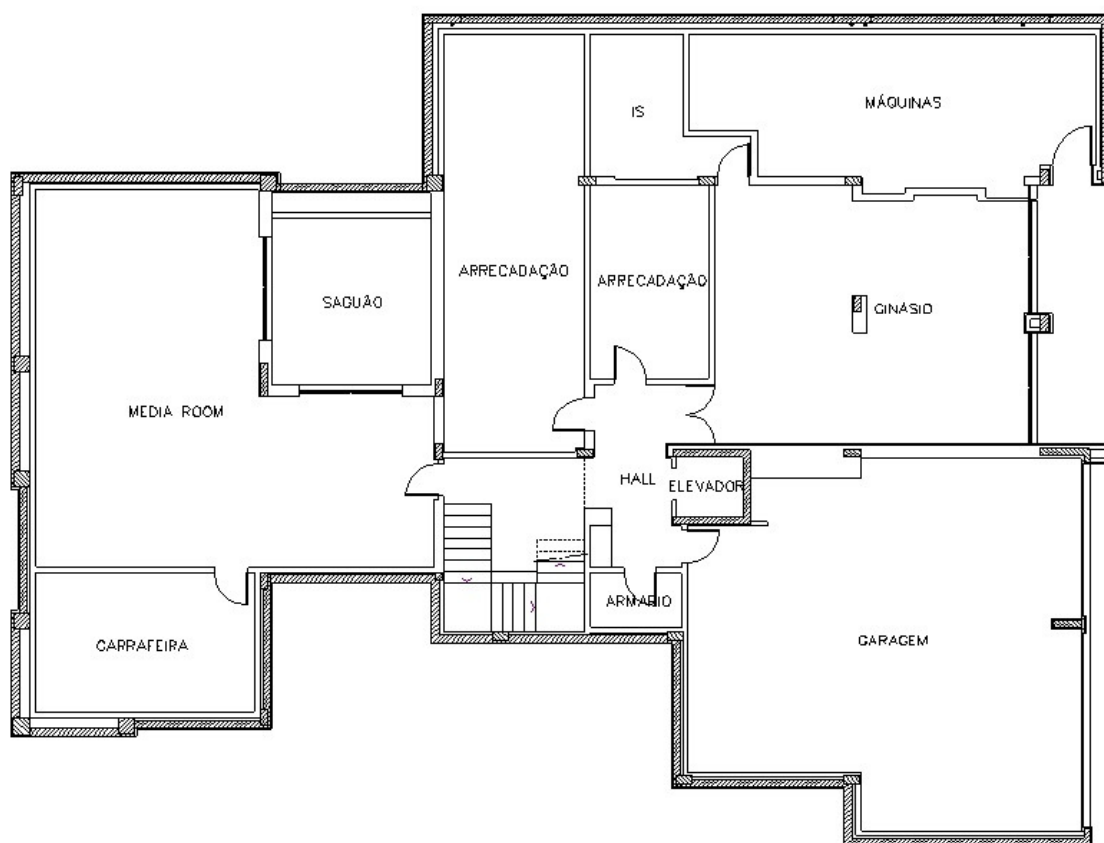


Figura 5.5 – Planta da cave do caso real

O piso 0 da fracção também contém algumas divisões consideradas como não úteis, como o caso da lavandaria, sendo que maioritariamente este piso é composto de áreas úteis. Estas divisões variam bastante de dimensão, o salão tem uma área de aproximadamente 70m^2 enquanto um dos quartos tem apenas cerca de 13m^2 , e inevitavelmente algumas delas têm o pavimento sobre os espaços não úteis da cave. Neste piso existe uma grande quantidade de elementos não opacos, ainda assim a maior parte da envolvente é composta por parede. Quanto à sua cobertura, algumas partes deste piso 0 estão em contacto com um desvão não ventilado seguido de uma cobertura inclinada, outras contactam directamente com o exterior através de uma cobertura plana e as restantes encontram-se sob o piso 1.

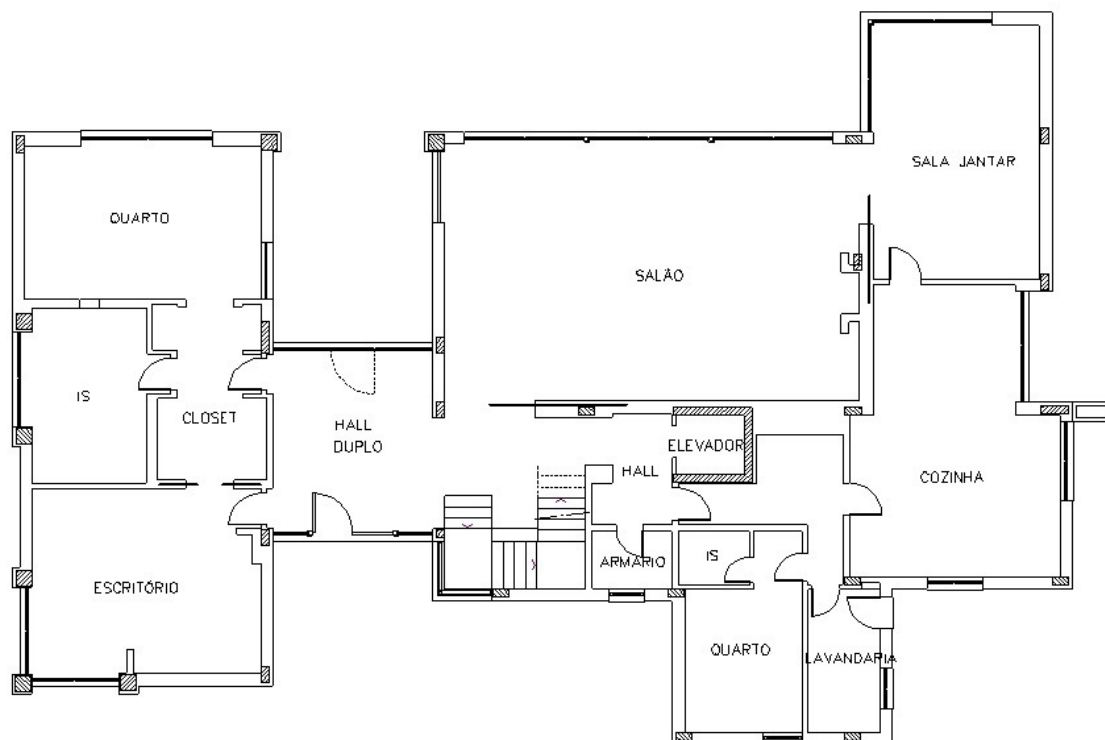


Figura 5.6 – Planta do piso 0 do caso real

Finalmente o piso 1. Visto ser o piso mais pequeno da fracção, que ainda assim conta com uma área total de pavimento útil de 133m^2 , é composto apenas por três quartos e suas respectivas instalações sanitárias. A cobertura está na totalidade em contacto com o desvão não ventilado que a separa da cobertura inclinada, da mesma forma que já acontecia para certas partes do piso 0, e o seu pavimento encontra-se todo sobre espaços úteis do piso inferior.

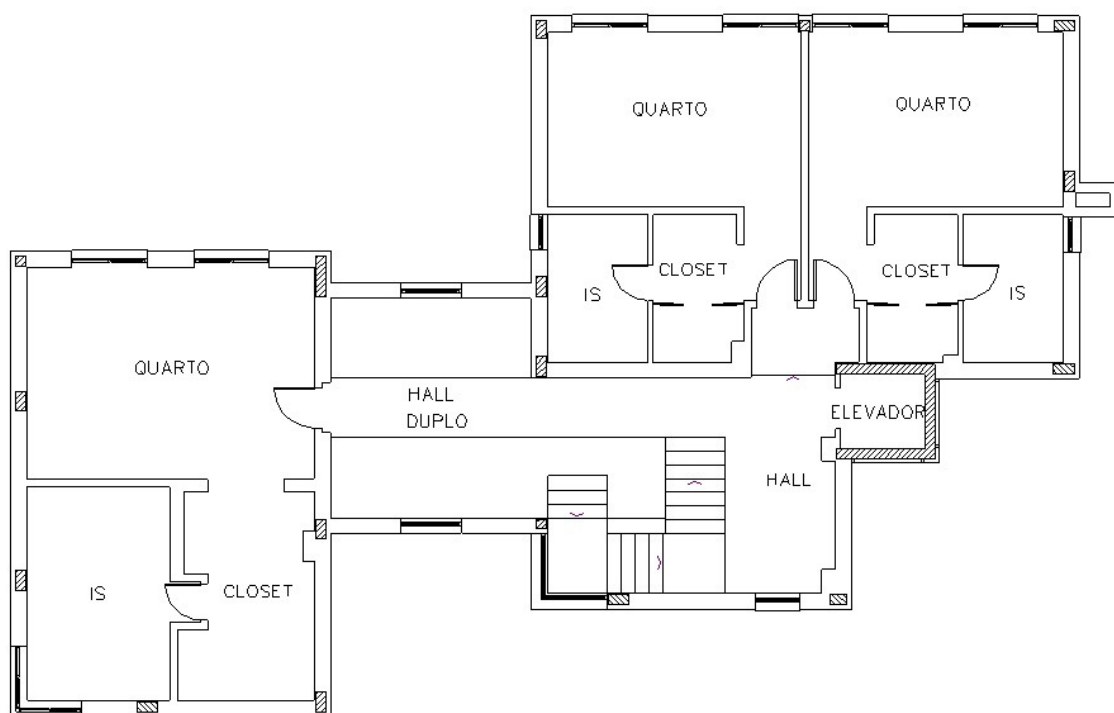


Figura 5.7 – Planta do piso 1 do caso real

Ao contrário do caso genérico, esta fracção não tem uma geometria simples. Tal facto provoca situações como as paredes de fachada não estarem todas alinhadas no mesmo eixo, ou seja, por exemplo a fachada voltada a norte divide-se em várias porções espalhadas pela fracção. Isto induz a situações, como o sombreamento dos vãos envidraçados, que não aconteciam na fracção do caso genérico. Outro caso provocado pela sua geometria é por exemplo a existência de dois tipos de cobertura, uma plana e outra sob desvão não ventilado. Estes e outros casos levam a que a comparação, deste caso real com o que serviu de base no capítulo anterior, seja de certa forma relativa. Não se pode esperar que os resultados obtidos no caso anterior sejam semelhantes aos que se obterão neste caso, o objectivo é simplesmente testar a importância dos diferentes parâmetros num caso real e compará-la à importância que lhes foi atribuída no caso genérico.

5.5. Definição dos parâmetros

5.5.1. Parâmetros facilmente alteráveis

Ao contrário do caso genérico, serão aqui apresentados apenas os parâmetros facilmente alteráveis para este caso. Isto deve-se primeiro à extrema complexidade geométrica da fracção, que tornaria a apresentação dos parâmetros fixos demasiado extensa para o que aqui se pretende, e ao facto de estes serem os únicos parâmetros que importa alterar para obter resultados que permitam uma comparação com o caso anterior.

➤ Coeficiente (U) dos elementos da envolvente do edifício

Tal como no caso genérico de estudo, existe a necessidade de quantificar o valor do coeficiente (U) dos diversos elementos construtivos da fracção. Apresenta-se de seguida a tabela com a descrição da constituição e respectivas resistências térmicas destes elementos:

Descrição	Espessura (m)	Material	ITE 50 (pág.)	Condutibilidade (W/m°C)	Resistência (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Paredes exteriores		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,040	0,50
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,040	XPS	I.3	0,037	1,081	
	0,020	Caixa de Ar	I.11		0,180	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
Pontes térmicas planas		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,040	0,91
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,200	Betão normal	I.5	2	0,100	
	0,035	CELENIT P3 (Isolamento pontes térmicas)	Catálogo	0,05	0,700	
	0,040	Tijolo de 4	I.12		0,100	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
Paredes exteriores (cave)		Resistência Térmica Exterior	I.11			0,47
	0,200	Betão normal	I.5	2	0,100	
	0,060	XPS	I.3	0,037	1,622	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
Paredes interiores c/ requisitos de interior TIPO I		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	1,78
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
Paredes interiores c/ requisitos de interior TIPO II		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	1,23
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,200	Tijolo de 20	I.12	0,38	0,520	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
PTP interiores c/ requisitos de interior TIPO II		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	2,56
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,200	Betão normal	I.5	2	0,100	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	

Tabela 5.1 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção real (1/2)

Descrição	Espessura (m)	Material	ITE 50 (pág.)	Condutibilidade (W/m°C)	Resistência (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Paredes interiores c/ requisitos de exterior TIPO III		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,040	1,09
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,060	Caixa de Ar	I.11		0,180	
	0,110	Tijolo de 11	I.12	0,41	0,270	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
PTP interiores c/ requisitos de exterior TIPO III		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,040	1,89
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
	0,200	Betão normal	I.5	2	0,100	
	0,090	Tijolo de 9	I.12	0,39	0,230	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,130	
		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,100	
Cobertura sob ENU	0,160	Betão normal	I.5	2	0,080	0,41
	0,080	XPS	I.3	0,037	2,162	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,100	
		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,100	
Cobertura plana	0,160	Betão normal	I.5	2	0,080	0,42
	0,080	XPS	I.3	0,037	2,162	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,100	
		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,040	
Pavimento em contacto c/ o solo	0,150	Betão normal	I.5	2	0,075	0,54
	0,060	XPS	I.3	0,037	1,622	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,170	
Pavimento em contacto c/ a garagem	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	0,87
	0,030	XPS	I.3	0,037	0,811	
	0,200	Betão normal	I.5	2	0,100	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,170	
		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,100	
Pavimento interior	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	2,56
	0,180	Betão normal	I.5	2	0,090	
	0,020	Reboco	I.7	1,3	0,015	
		Resistência Térmica Exterior	I.11		0,100	
		Resistência Térmica Interior	I.11		0,170	

Tabela 5.2 – Constituição dos elementos da envolvente da fracção real (2/2)

Como se pode observar, os elementos principais como as paredes exteriores ou as coberturas têm constituições bastante semelhantes às do caso anterior. Ao contrário desse caso, neste existem mais elementos diferentes mais uma vez devido à complexidade geométrica da fracção. Como tal tem de existir um certo cuidado na altura de fazer as alterações, já que, para garantir alguma veracidade dos resultados apenas se devem alterar elementos semelhantes entre os dois exemplos.

Para além dos elementos opacos, importa também indicar o coeficiente (U) dos elementos não opacos da moradia. Como solução para os vãos envidraçados, a escolha do projectista recaiu sobre um tipo de vidro específico de um conhecido fabricante internacional. Do catálogo deste fabricante retira-se o valor de (U) igual a 1,6W/m².°C para um vão envidraçado simples (uma só janela), caixilharia metálica com corte térmico, vidro duplo e dispositivo de oclusão nocturna com permeabilidade elevada.

➤ **Classe da caixilharia**

A caixilharia utilizada para este caso é idêntica à utilizada para o 3º caso do exemplo anterior. Ou seja, como ponto de partida para o caso real é escolhida uma caixilharia com permeabilidade ao ar de classe 1.

➤ **Portas exteriores bem vedadas**

Aqui, ao contrário do disposto no ponto anterior, decide-se por assumir que as portas exteriores da fracção se encontram bem vedadas em todo o seu perímetro. Numa fracção de grande dimensão e totalmente nova como esta, é de certo provável que tal condição se venha a verificar.

➤ **Recuperador de calor**

Tal como já foi explicado, existem certos elementos presentes no projecto original desta fracção que não constaram deste estudo. Um deles prende-se com a alteração do tipo de ventilação, enquanto no projecto real, para um edifício com estas dimensões, é impreterível que a ventilação seja do tipo forçada, neste caso, ainda que real mas com propósitos comparativos, adopta-se uma ventilação do tipo natural. Como tal é impossibilitada a hipótese de existir um recuperador de calor.

➤ **Tipo de vão, factor solar do vidro e fracção envidraçada**

Como já tinha ficado descrito no ponto referente ao coeficiente (U), os vãos envidraçados desta fracção são do tipo simples, ou seja, são composto de apenas uma janela. Quanto ao factor solar do vidro, para esta solução o fabricante forneceu a informação de que o factor solar será igual a 0,49 e, uma vez que a caixilharia é em alumínio sem quadrícula, a fracção envidraçada será igual a 0,70.

➤ **Inércia do edifício**

O processo de cálculo da inércia para este edifício é análogo ao do caso anterior. Uma vez conhecidas as massas superficiais de todos os elementos presentes na fracção, é necessário conhecer-se a sua dimensão total, mais uma vez devido à complexidade geométrica da fracção, esse seria um processo vasto e prolongado, incoerente com as necessidades específicas deste estudo. Uma vez que nos é fornecida pelo projectista, que recorreu ao software *RCCTE-STE* para o cálculo, a informação de que a inércia é Média, assume-se como verdadeira a sua afirmação.

➤ Factor solar do vão envidraçado

Utilizando os pressupostos regulamentares para este parâmetro, apresentam-se de seguida os valores dos factores solares, nas estações de Inverno e de Verão, para todos os vãos envidraçados da fracção:

Estação	Tipo	g_{\perp}'	$g_{\perp v}$	$g_{\perp 100\%}$ ^{(*)1}	g_{\perp} ^{(*)2}
Inverno	Tipo I e II	0,63	0,49	0,41	0,41
Verão	Tipo I	0,09	0,49	0,06	0,20
	Tipo II	0,63	0,49	0,41	0,43

(*)¹ - $g_{\perp 100\%}$ calculado de acordo com:

$$g_{\perp 100\%} = \frac{g_{\perp}' \cdot g_{\perp v}}{0,75}$$

(*)² - g_{\perp} calculado de acordo com:

- Inverno: $g_{\perp} = g_{\perp 100\%}$

- Verão: $g_{\perp} = 0,3 \times g_{\perp v} + 0,7 \times g_{\perp 100\%}$

➤ Eficiência do sistema de produção de AQS

Neste caso decidiu-se alterar a eficiência do sistema de produção de AQS do projecto original, mais uma vez tendo em vista a máxima semelhança entre os dois casos de estudo. Como tal, optou-se por atribuir a mesma eficiência presente no exemplo anterior após a troca do sistema do tipo esquentador a gás para a caldeira mural com acumulação também ela a gás. A eficiência para este caso é então igual a 0,72, exactamente pelas mesmas razões apresentadas aquando das alterações do 6º caso para modelo anterior.

➤ Contribuição Esolar, contribuição Esolar para aquecimento e contribuição Eren

No projecto original desta fracção estão presentes sistemas de produção de energia que utilizam fontes renováveis. Mais especificamente, neste caso serão instalados colectores solares que serviram de apoio à caldeira mural a gás, para a produção das AQS. Esta “ajuda” é fundamental, uma vez que a fracção integra diversos sistemas, como o pavimento radiante, que necessitam de uma grande quantidade de água quente. Neste caso e para esta análise específica, foram eliminados todos os sistemas que afastariam esta moradia daquela que foi criada no capítulo anterior, como tal esta fracção não apresenta quaisquer sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis, logo todas estas contribuições serão nulas.

➤ Eficiência do sistema de aquecimento e do sistema de arrefecimento

Para este parâmetro, a eficiência dos sistemas de aquecimento e de arrefecimento será idêntica à utilizada nas alterações do 6º caso para a fracção genérica. Como tal, o sistema de aquecimento terá uma eficiência igual a 0,87, e o de arrefecimento igual a 3.

5.6. Alterações e resultados

De seguida, serão efectuadas alterações em alguns dos parâmetros, construindo casos de modo análogo ao do capítulo anterior, e gerando resultados que permitam uma comparação com aqueles obtidos para o caso genérico. Desta comparação espera-se encontrar semelhanças entre os dois estudos e como tal validar os objectivos e resultados do capítulo anterior.

5.6.1. Resultados do 1º Caso

Enquanto no exemplo genérico o ponto de partida assentou em pressupostos prejudiciais à fracção, neste exemplo real será feito exactamente o contrário. O ponto de partida aqui será o mais próximo possível do caso em que se obtiveram melhores resultados para o exemplo genérico. Nos casos seguintes as alterações terão o objectivo de retirar qualidades térmicas à fracção e como tal aproximar as suas características àquelas que foram utilizadas no princípio do estudo da fracção genérica. Serão executadas as mesmas alterações mas no sentido inverso, com o objectivo de se poderem comparar os resultados obtidos.

Os resultados deste primeiro caso podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	162,81	70,89	197,36	460,06

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	126,23	63,38	64,53	9,53	263,68

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	1521,13	44903,84	19251,92	25651,93

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	11585,49	2576,42	6052,97	15048,74	1,30	5677,68

Como se pode observar, o N_{ic} e o N_{vc} estão abaixo do valor máximo imposto pelo regulamento para esta fracção, 17% e 53% respectivamente. Em conjunto com o N_{ac} , que apresenta um valor 10% inferior ao máximo imposto, este resultado significa que N_{ic} também se encontram abaixo do respectivo máximo, neste caso 37% abaixo.

5.6.2. Alterações para o 2º caso

De acordo com as alterações efectuadas no 2º caso para o exemplo genérico, opta-se por alterar neste 2º caso do exemplo real os coeficientes (U) dos principais elementos que compõem a envolvente opaca da habitação. Com o objectivo de comparar os resultados com os obtidos anteriormente, as alterações terão como base as respectivas percentagens de alteração aí utilizadas. Como tal, enumeram-se da seguinte forma as alterações para este caso:

- Exclusão da solução de isolamento nas paredes exteriores da fracção:
Retirou-se da constituição das paredes exteriores o elemento isolante, neste caso as placas de XPS com 4cm de espessura, ficando o espaço por este ocupado preenchido apenas com o aumento da caixa-de-ar. Desta alteração resulta o aumento do coeficiente (U) em 54%. Tal como no caso anterior, mas agora de modo inverso, alteram-se também os valores dos coeficientes lineares de transmissão de calor, devido à ausência qualquer tipo de solução de isolamento nas paredes de fachada.
- Alteração do tipo de isolamento colocado nas PTP:
Para executar esta alteração basta que se utilize uma solução de isolamento com uma condutibilidade superior, conseqüentemente uma resistência inferior, à da solução anterior. Como tal, para este caso o isolamento das PTP terá uma condutibilidade igual a $0,07\text{W/m}^\circ\text{C}$, ficando então como um coeficiente (U) 18% superior.
- Alteração da composição da parede interior em contacto com o ENU destinado à garagem, com Tau superior a 0,7:
A constituição deste elemento passou de dois panos de alvenaria com tijolo de 11cm espaçados por uma caixa-de-ar, para um pano único com tijolo de 15cm. Isto fez com que o seu coeficiente (U) aumentasse 36%.
- Redução da espessura da solução de isolamento do pavimento em contacto com o terreno:
Alteração das placas de isolamento do pavimento com 6cm de toda a cave, para outras do mesmo tipo com 2cm de espessura total. Como consequência, o coeficiente (U) deste elemento aumentou 58%.
- Exclusão da solução de isolamento do pavimento do piso 0 nos locais que se encontram sobre o ENU destinado à garagem, com Tau superior a 0,7:
Retirou-se também a solução de isolamento que integrava a constituição do pavimento do piso 0 nos locais acima mencionados. Como tal, o referido elemento passa a apresentar um coeficiente (U) 70% superior.

5.6.3. Resultados do 2º Caso

Apresentam-se de seguida, em síntese, os resultados deste caso:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	162,81	70,89	197,36	460,06
Segundo caso	317,52	41,88	324,02	712,42
Diferença	(-) 154,71	29,01	(-) 126,66	(-) 252,36

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edifícios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	126,23	63,38	64,53	9,53	263,68
Segundo caso	136,12	137,74	64,53	8,26	346,66
Diferença	(-) 9,89	(-) 74,36	0,00	1,27	(-) 82,98

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	1521,13	44903,84	19251,92	25651,93
Segundo caso	1856,47	54802,95	19795,92	35007,03
Diferença	1364,66	(-) 9899,11	(-) 544,00	(-) 9355,10

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	11585,49	2576,42	6052,97	15048,74	1,30	5677,68
Segundo caso	13397,51	4345,57	6052,97	16817,89	1,26	6119,53
Diferença	(-) 1812,02	(-) 1769,15	0,00	(-) 1769,15	(---)	(-) 441,85

Observa-se um aumento de 27% do valor de N_{ic} , um pequeno aumento de 7% do N_{vc} e finalmente, como consequência, o aumento do N_{tc} em 9%.

5.6.4. Alterações para o 3º Caso

De acordo com as alterações efectuadas no 3º caso para o exemplo genérico, opta-se por alterar neste 3º caso do exemplo real as características térmicas dos elementos não opacos da envolvente da fracção. Assim como no caso anterior, as alterações terão como base as respectivas percentagens de alteração aí utilizadas. Como tal enumeram-se da seguinte forma as alterações para este caso:

- Vão envidraçado simples com as seguintes características,

Caso	Número de janelas	Tipo de caixilharia	Número de vidros	Espessura da caixa-de-ar entre os vidros (mm)	Permeabilidade ao ar do dispositivo de oclusão nocturna	Coefficiente (U) da solução (W/m ² .°C)
Primeiro caso Tipo I/II	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	1,60 ^{(*)1}
Terceiro caso Tipo I/II	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	2,74 ^{(*)2}

(*)¹ – Valor retirado do catálogo do fabricante do vidro escolhido

(*)² – Valor resultante do cálculo da percentagem de alteração

Caso	Classe de permeabilidade ao ar
Primeiro caso	Classe 1
Terceiro caso	“Sem classificação”

Caso	Factor solar do vidro	Factor solar do vão envidraçado ^(*)	Factor solar do vão a utilizar durante o Inverno	Factor solar do vão a utilizar durante o Verão
Primeiro caso Tipo I	0,49	0,060	0,41	0,200
Primeiro caso Tipo II	0,49	0,410	0,41	0,430
Terceiro caso Tipo I	0,54	0,104	0,45	0,235
Terceiro caso Tipo II	0,54	0,500	0,45	0,510

(*) – Com a protecção 100% activada

Todas estas alterações tiveram, como já foi dito, origem em percentagens de alteração. Ou seja, foi calculada a percentagem de alteração que as várias características térmicas, dos vãos que compunham o exemplo genérico, sofreram durante a alteração referente ao 3º caso desse mesmo exemplo. Posteriormente aplicaram-se essas mesmas percentagens às características do presente exemplo. Se para este caso tivesse sido utilizada uma alteração do tipo qualitativa e não quantitativa, o resultado não seria passível de comparação.

5.6.5. Resultados do 3º caso

Apresentam-se de seguida, em síntese, os resultados para este caso:

- Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores,

Caso	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	277,82
Terceiro caso	475,77
Diferença	(-) 197,95

- Perdas associadas à renovação de ar,

Caso	Taxa de renovação de ar (Rph)	Total de perdas associadas à renovação de ar (W/°C)
Primeiro caso	1,03	519,57
Terceiro caso	1,08	544,72
Diferença	0,05	(-) 25,15

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	1521,13	44903,84	19251,92	25651,93
Terceiro caso	1744,24	51489,98	20546,75	30943,23
Diferença	(-) 223,11	(-) 6586,14	(-) 1294,83	(-) 5291,30

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	11585,49	2576,42	6052,97	15048,74	1,30	5677,68
Terceiro caso	14198,53	2576,42	7136,30	16132,07	1,14	5247,44
Diferença	(-) 2613,04	0,00	(-) 1083,33	(-) 1083,33	(---)	430,24

O resultado destas alterações foi o aumento em cerca de 17% do valor de N_{ic} , a diminuição do N_{vc} na ordem dos 8% e o conseqüente aumento do N_{ic} em 5%.

Mais uma vez se confirma o facto descrito anteriormente. Neste caso a redução da qualidade térmica dos elementos não opacos produziu um aumento do N_{ic} , provocando um aumento das perdas que foi suficientemente alto para beneficiar a estação de arrefecimento, isto mesmo contando com o aumento dos ganhos durante esta mesma estação.

5.6.6. Alterações para o 4º Caso

Como já tinha sido feito para o exemplo genérico de estudo, neste caso foram executadas em simultâneo as alterações do 2º e 3º casos. Trata-se portanto de um decréscimo de qualidade térmica ao nível de toda a envolvente, opaca e não opaca, da fracção.

5.6.7. Resultados do 4º Caso

Apresentam-se de seguida, em síntese, os resultados para este caso:

- Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma,

Caso	Paredes exteriores (W/°C)	Paredes e pavimentos em contacto com o solo (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	162,81	70,89	197,36	460,06
Quarto caso	317,52	41,88	324,02	712,42
Diferença	(-) 154,71	29,01	(-) 126,66	(-) 252,36

- Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma,

Caso	Paredes em contacto c/ ENU ou edificios adjacentes (W/°C)	Pavimentos sobre ENU (W/°C)	Coberturas interiores (W/°C)	Pontes térmicas lineares (W/°C)	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	126,23	63,38	64,53	9,53	263,68
Quarto caso	136,12	137,74	64,53	8,26	346,66
Diferença	(-) 9,89	(-) 74,36	0,00	1,27	(-) 82,98

- Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores,

Caso	Perdas totais (W/°C)
Primeiro caso	277,82
Quarto caso	475,77
Diferença	(-) 197,95

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	1521,13	44903,84	19251,92	25651,93
Quarto caso	2079,58	61389,08	20990,89	40398,19
Diferença	(-) 558,45	(-) 16485,24	(-) 1738,97	(-) 14746,26

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	11585,49	2576,42	6052,97	15048,74	1,30	5677,68
Quarto caso	16010,55	4345,57	7136,30	17901,22	1,12	5713,57
Diferença	(-) 4425,06	(-) 1769,15	(-) 1083,33	(-) 2853,22	(---)	(-) 35,89

Quer isto dizer que houve um aumento do N_{ic} e do N_{vc} , de 36,5% e 6% respectivamente, como resultado destas alterações. Aqui comprova-se o que foi dito no capítulo anterior, o N_{vc} depende bastante do coeficiente entre ganhos e perdas, por vezes até mais do que das próprias alterações introduzidas. Por exemplo, no 3º caso foram alteradas, para pior, as características dos vãos envidraçados e mesmo assim as necessidades de energia durante a estação de arrefecimento diminuíram. Sabendo que este é um caso resultante da associação de outros dois, em que num deles o N_{vc} aumentou e no outro diminuiu, podia entender-se que este aumento se deve a uma “mistura” dos dois, no entanto mais uma vez o que acaba por ser relevante é o balanço entre ganhos e perdas.

5.6.8. Alterações para o 5º Caso

Resta apenas alterar o sistema de produção de AQS, tal como foi feito no 6º caso do exemplo genérico. Desta vez decide-se alterar o sistema inicial por outro com características, no campo da eficiência energética, inferiores. Como tal apresentam-se as novas características do sistema de produção de AQS para este 5º caso do exemplo real:

Caso	Tipo de Sistema	Isolamento da zona de acumulação (mm)	Eficiência de conversão	Combustível utilizado
Primeiro caso	Caldeira mural com acumulação	Entre 50 e 100	0,82 ^(*)	Combustível gasoso
Quinto caso	Esquentador	(---)	0,50 ^(*)	Combustível gasoso

(*) – De acordo com o Anexo IV [1]

Como resultado desta alteração, a fracção fica agora desprovida de qualquer sistema de produção de energia para aquecimento. Volta-se a estar perante o caso já identificado para o exemplo genérico em que, na ausência de qualquer sistema de produção de energia para aquecimento ambiente, o regulamento estabelece que seja utilizado o sistema do tipo resistência eléctrica, com eficiência de conversão igual a 1 e alimentado por electricidade.

5.6.9. Resultados do 5º Caso

Consumadas as alterações, são estes os resultados obtidos para este caso:

- Necessidades de energia para preparação de AQS,

Caso	Eficiência de conversão dos sistemas de produção	Necessidades de energia (kWh/ano)
Primeiro caso	0,72	7429,02
Quinto caso	0,50	10697,79
Diferença	0,22	(-) 3268,77

Este resultado representa uma redução de 31% destas necessidades em relação ao 1º caso, sendo que o N_{tc} também aumentou em 45%. Assim como no caso genérico, fica aqui bem notória a ideia de que a alteração do sistema de produção de AQS é bastante mais determinante do que todas as outras alterações anteriormente executadas.

5.7. Resultados do caso real

Apresenta-se de seguida a compilação dos resultados obtidos durante o estudo deste caso real.

Caso	Nic	Ni	% (Nic/Ni)	Nvc	Nv	% (Nvc/Nv)	Nac	Na	% (Nac/Na)	Ntc	Nt	% (Ntc/Nt)
1º Caso	46,80	56,33	0,83	10,36	22,00	0,47	13,55	15,10	0,90	1,73	2,74	0,63
2º Caso	63,87	56,33	1,13	11,16	22,00	0,51	13,55	15,10	0,90	1,90	2,74	0,69
3º Caso	56,46	56,33	1,00	9,57	22,00	0,44	13,55	15,10	0,90	1,82	2,74	0,66
4º Caso	73,71	56,33	1,31	10,42	22,00	0,47	13,55	15,10	0,90	2,00	2,74	0,73
5º Caso	46,80	56,33	0,83	10,36	22,00	0,47	19,52	15,10	1,29	3,14	2,74	1,15

Tabela 5.3 – Resultados do estudo do caso real

- 1º Caso – Caso inicial do estudo,
- 2º Caso – Caso com alterações na envolvente opaca da habitação,
- 3º Caso – Caso com alterações na envolvente não opaca da habitação,
- 4º Caso – Caso que reúne as alterações dos 2º e 3º Casos,
- 5º Caso – Caso com alteração do sistema produtor de AQS.

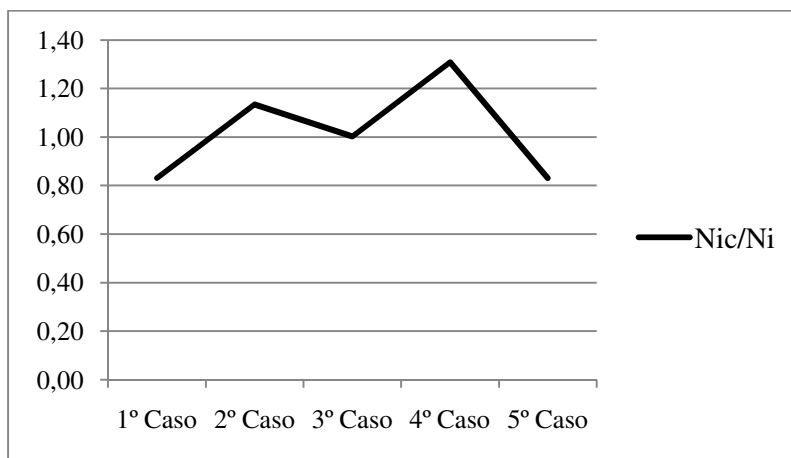


Figura 5.8 – Evolução do valor de N_{ic}/N_i

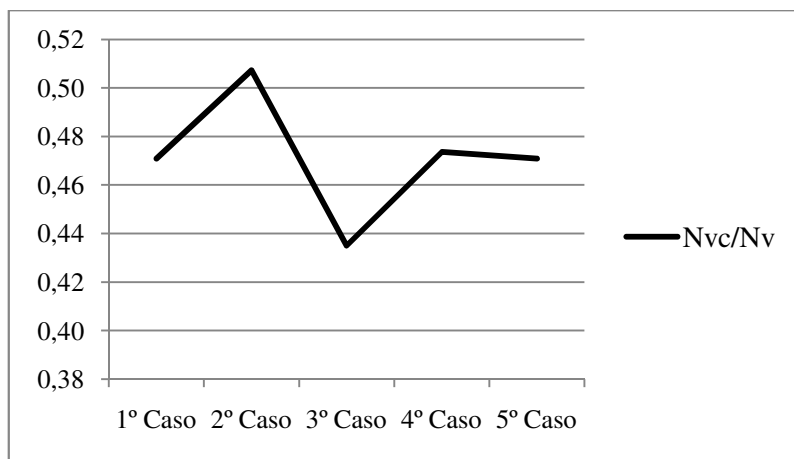


Figura 5.9 – Evolução do valor de N_{vc}/N_v

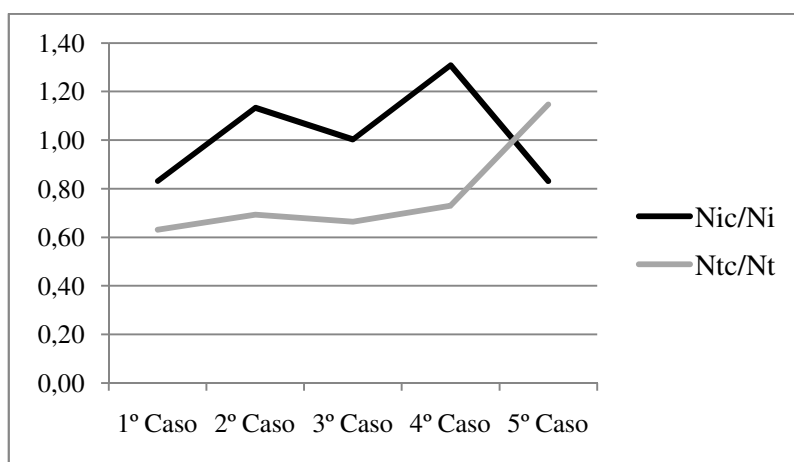


Figura 5.10 – Comparação entre N_{ic}/N_i e N_{tc}/N_t

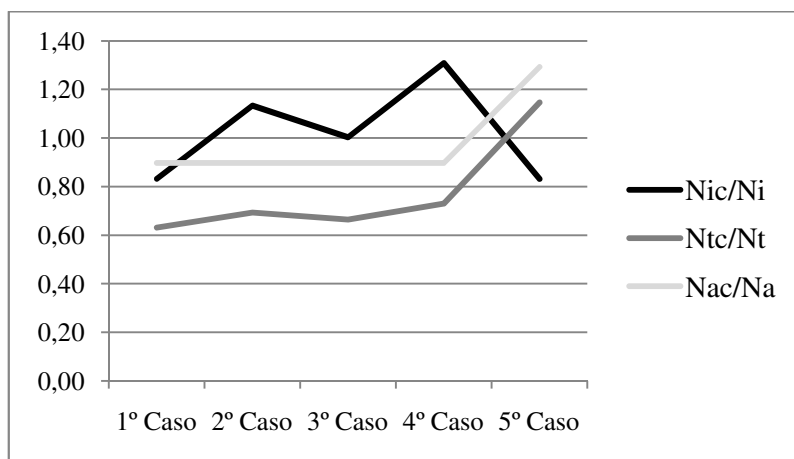


Figura 5.11 – Comparação entre N_{ic}/N_i , N_{ac}/N_a e N_{tc}/N_t

5.8. Comparação com os resultados do caso genérico

Uma vez executadas todas as alterações deste exemplo real, é chegada a altura de compará-los aos do exemplo genérico.

Podem-se classificar as alterações da seguinte forma:

- 1ª Alteração – Deu origem ao 2º caso e teve como objectivo estudar as consequências de uma alteração focalizada unicamente nos coeficientes (U) dos elementos opacos da fracção.
- 2ª Alteração – Deu origem ao 3º caso e teve como objectivo estudar as consequências de uma alteração focalizada unicamente nas características térmicas dos elementos não opacos da fracção.
- 3ª Alteração – Deu origem ao 4º caso e teve como objectivo estudar as consequências de uma alteração conjunta dos coeficientes (U) dos elementos opacos e das características térmicas dos elementos não opacos da fracção.
- 4ª Alteração – Deu origem ao 5º caso e teve como objectivo estudar as consequências de uma alteração unicamente focalizada nas características do sistema de produção de energia para o aquecimento ambiente e para AQS.

Como já foi dito, as alterações tiveram como base as percentagens de alteração utilizadas nos casos análogos do exemplo genérico, só que neste caso partiu-se de uma fracção base mais eficiente sobre a qual se executaram as alterações com o objectivo de a tornar menos eficiente, o contrário do que foi feito exemplo genérico. O que se espera então das alterações é que tenham um efeito semelhante mas com efeito contrário às desse mesmo exemplo.

Por exemplo, aquando da 1ª alteração efectuada na fracção genérica, os seus efeitos fizeram-se sentir através de uma redução do N_{ic} em 24%. Para este exemplo real, a mesma alteração provocou um acréscimo das mesmas necessidades em 27%. É lógico que, mesmo não sendo um valor exactamente igual, a semelhança entre estes dois valores é bastante notória, tendo em conta todas as diferenças entre as duas fracções. Quanto ao N_{vc} , os efeitos não foram os desejados, uma vez que em ambos os casos ocorreu um acréscimo, de 2% para o exemplo genérico e 7% para o real. No entanto, no que toca às necessidades globais de energia primária os resultados são bem mais satisfatórios, um decréscimo de 10,5% no exemplo genérico e um acréscimo de 9% para o real são a demonstração de que a alteração provocou efeitos semelhantes mas com efeito contrário nas duas fracções.

Outro bom exemplo desta similaridade é a 4ª alteração. Mesmo que aqui, o que estivesse em jogo fossem as propriedades do sistema de produção de energia para aquecimento ambiente e para aquecimento das AQS, não se pode deixar de notar que a fracção genérica tinha, para além da discrepância de área útil de pavimento, menos dois ocupantes que a fracção real. Como tal, e segundo os pressupostos regulamentares, os consumos de uma e outra diferem em oitenta litros de água diários. No entanto, os resultados foram exactamente iguais para o N_{ac} e bastante semelhantes para o N_{ic} . Na fracção genérica a alteração provocou uma diminuição do primeiro em 31%, valor exactamente igual ao registado para o aumento no exemplo real. As alterações do N_{ic} foram respectivamente, uma diminuição de 46% no exemplo genérico e um aumento de 45% no exemplo real.

De resto, esta foi também a tendência verificada nos restantes casos, como se pode observar no quadro seguinte:

Necessidades	Resultados (kWh/m ² .ano)		1ª Alteração				2ª Alteração				3ª Alteração				4ª Alteração			
	1º Caso		2º Caso		3º Caso		4º Caso		5º Caso		6º Caso		7º Caso		8º Caso			
	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real	Genérico	Real		
Nic	104,13	46,80	(-)	24%	(+)	27%	(-)	13%	(+)	17%	(-)	37%	(+)	36,5%		0%		0%
Nvc	7,66	10,36	(+)	2%	(+)	7%	(+)	7%	(-)	8%	(+)	10%	(+)	1%		0%		0%
Nac	43,66	13,55		0%		0%		0%		0%		0%		0%	(-)	31%	(+)	31%
Ntc	6,85	1,73	(-)	10,5%	(+)	9%	(-)	6%	(+)	5%	(-)	16%	(+)	13,5%	(-)	46%	(+)	45%

Tabela 5.4 – Alterações no caso genérico e no caso real

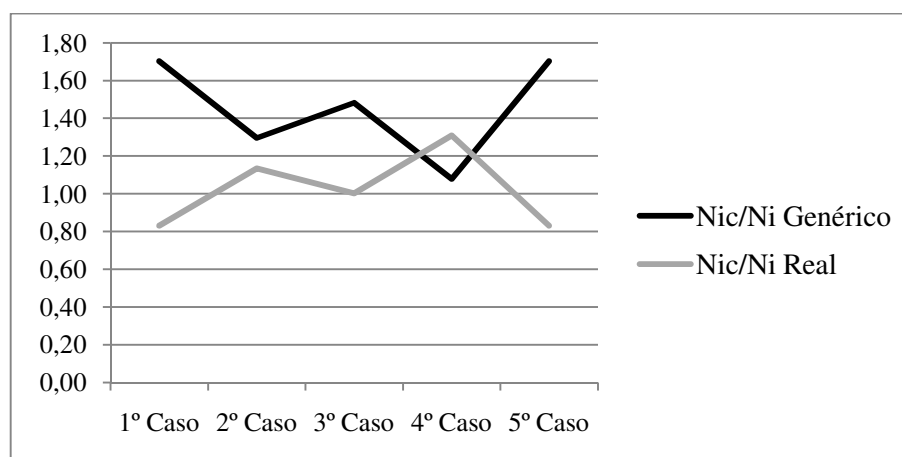


Figura 5.12 – Comparação entre N_{ic}/N_i genérico e N_{ic}/N_i real

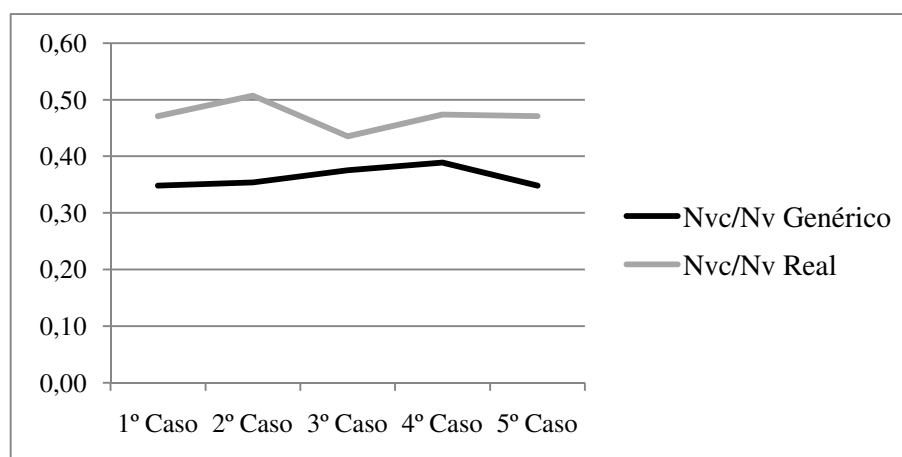


Figura 5.13 – Comparação entre N_{vc}/N_v genérico e N_{vc}/N_v real

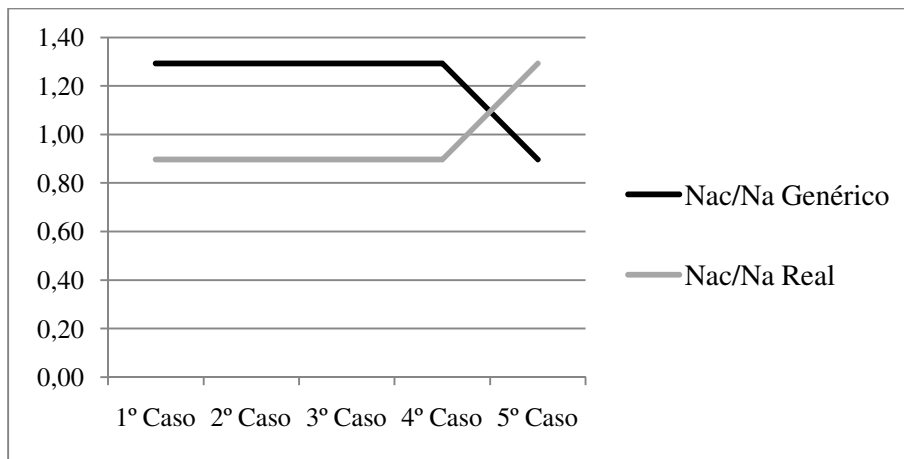


Figura 5.14 – Comparação entre N_{ac}/N_a genérico e N_{ac}/N_a real

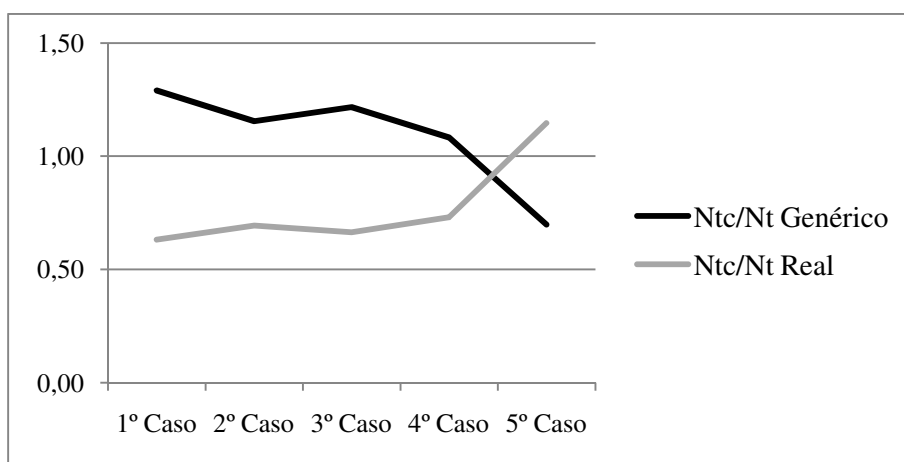


Figura 5.15 – Comparação entre N_{tc}/N_t genérico e N_{tc}/N_t real

De notar apenas que, para o caso genérico o 5º Caso refere-se na verdade ao 6º Caso.

5.9. Considerações finais

A primeira conclusão que se pode tirar é de que as alterações tiveram um efeito bastante semelhante, de efeito contrário, no valor de N_{ic} dos dois exemplos. Quando uma alteração provocou a redução das necessidades no exemplo genérico, provocou de igual modo o aumento das necessidades no exemplo real. De resto a maior diferença registada entre os dois exemplos foi de 2,5%. Resultados bastante satisfatórios e que deixam clara a ideia de que duas fracções de características semelhantes, igualmente localizadas geograficamente e mesmo que bastante diferentes na sua geometria, registarão oscilações semelhantes nos valores de N_{ic} quando sujeitas a alterações idênticas. O facto de num dos casos a área de envolvente exterior ser bastante maior que no outro não impede que, alterando os coeficientes (U) dos seus elementos construtivos, a redução ou aumento das necessidades seja idêntica, isto claro se a alteração for, em percentagem, igual.

No entanto o mesmo não se verifica para todas os tipos de necessidades. Para o caso do N_{ic} , a presente condição verifica-se, no entanto, se tivermos em conta o N_{vc} o balanço entre os dois exemplos não é o desejável. Aquando da 1ª alteração no exemplo genérico estas necessidades aumentaram, logo seria de esperar que no exemplo real elas reduzissem. Na realidade também sofreram um aumento e de valor superior àquele que se tinha verificado no exemplo genérico. O mesmo aconteceu para a 3ª alteração, mas desta vez de valor inferior. Foi somente no caso em que a alteração incidiu sobre os elementos não opacos da envolvente que estas necessidades acompanharam a ideia chave deste estudo. Apesar de parecer um pouco estranho, este é um acontecimento fácil de explicar. Como já foi dito, na estação de arrefecimento existe um factor com grande peso no resultado final. O balanço entre perdas e ganhos tem um papel preponderante na definição da quantidade de energia que necessita de ser dispendida para o arrefecimento da fracção. No caso do N_{ic} os efeitos das alterações são muito mais directos, e conseqüentemente o mesmo se passa com o N_{ic} . Ao depender de um factor que representa o rácio entre ganhos e perdas, perdas provenientes do cálculo para a estação de Inverno, as alterações do N_{vc} são muito mais difíceis de prever. Concluindo pode-se afirmar que o valor do N_{vc} não é um bom meio para executar este tipo de estudo, uma vez que a sua parca imparcialidade leva a resultados como aquele que aqui se chegou.

6. Estudo térmico no software *IES Virtual Environment*

Depois de encontrados os resultados para o estudo térmico efectuado através do método da *Folha de Cálculo do Excel*, chega agora a altura de os confrontar com o estudo efectuado com o software de simulação dinâmica. Serão realizados quatro ensaios para cada fracção, genérica e real, referentes ao caso inicial e às três primeiras alterações executadas anteriormente. O objectivo é ter uma percepção do resultado destas alterações quando executadas num software de simulação dinâmica, comparativamente com o seu resultado quando executadas na *Folha de Cálculo do Excel*. As razões deste exercício já foram explicadas anteriormente e espera-se que dele se obtenha apenas uma ideia da proximidade entre os dois métodos.

A execução deste estudo passa por várias etapas relacionadas com diferentes aspectos do software em questão que serão em seguida analisadas com pormenor.

6.1. Etapas da simulação dinâmica

6.1.1. Construção do modelo geométrico

A primeira etapa de preparação para a análise térmica com o *IES Virtual Environment* consiste na construção de um modelo geométrico, dentro do software, com auxílio da ferramenta adequada para o efeito, o *ModellIT*. Esta ferramenta permite importar a geometria da fracção criada em CAD e a partir dela construir um modelo a três dimensões como os que se podem ver nas figuras seguintes.

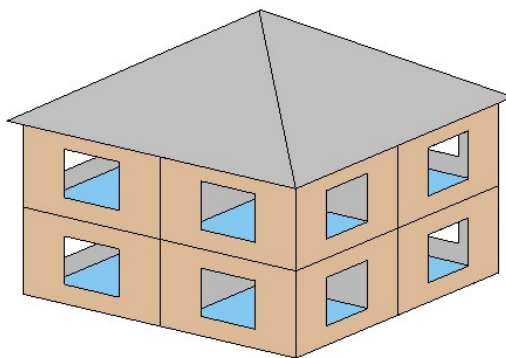


Figura 6.1 – Modelo a três dimensões da fracção genérica

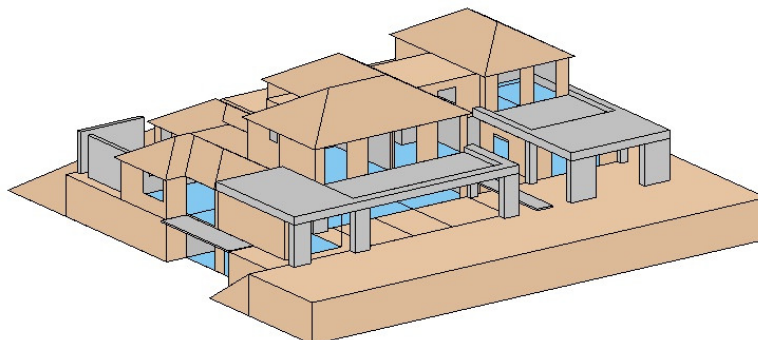


Figura 6.2 – Modelo a três dimensões da fracção real

Será a partir deste modelo que o software fará todos os cálculos necessários à análise térmica detalhada.

6.1.2. Atribuição de propriedades ao modelo

A segunda etapa consiste em atribuir as propriedades relacionadas com o estudo térmico ao modelo previamente criado. Esta etapa passa então por definir, por exemplo, as condições térmicas que se pretendem obter no interior de cada espaço, as propriedades dos elementos que servem de fronteira da fracção com o exterior e dos elementos interiores à própria fracção, ou a quantidade de ganhos internos para cada espaço e qual a sua origem.

Todos estes passos são efectuados numa funcionalidade do software chamada de *Building Template Manager*. A figura seguinte dá-nos uma ideia mais clara da quantidade de informação que é possível atribuir à fracção em estudo.

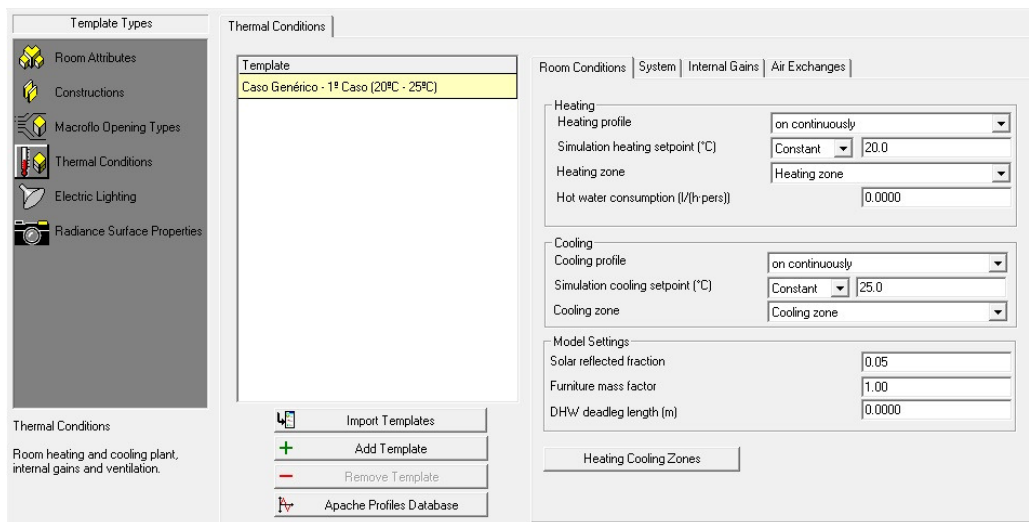


Figura 6.3 – V.E. *Building Template Manager*, *Thermal Conditions*

Como se pode observar, neste caso estamos perante a informação necessária às condições térmicas interiores de cada espaço, tal como o nome indica. A próxima figura representa o mesmo mas desta vez para os elementos de construção que fazem parte da fracção.

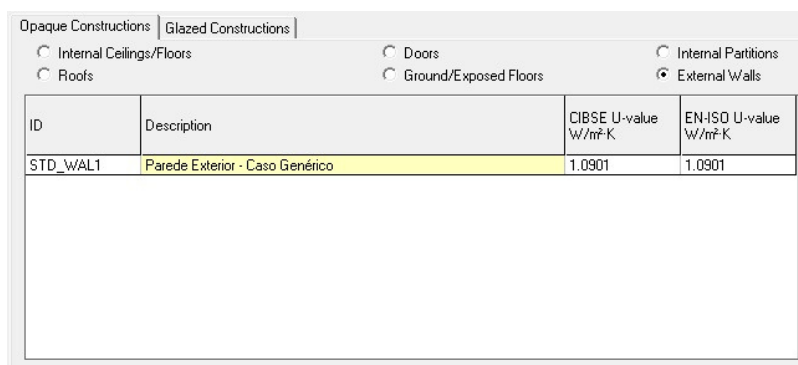


Figura 6.4 – V.E. *Building Template Manager*, *Project Constructions*

6.1.3. Análise do sombreamento solar

Uma vez definidas todas as propriedades, é chegada a hora de calcular os efeitos da luz solar sobre a fracção em estudo. Para tal usa-se a ferramenta *Suncast* que simula estes efeitos, tendo como base a localização geográfica da fracção, para um determinado dia à escolha, hora a hora, durante o período de um ano. Por exemplo, nas figuras seguintes podemos ver, uma imagem retirada para o dia 15 de Junho às 10:00 horas, do caso genérico, e outra para o dia 15 de Dezembro às 15:00, do caso real.

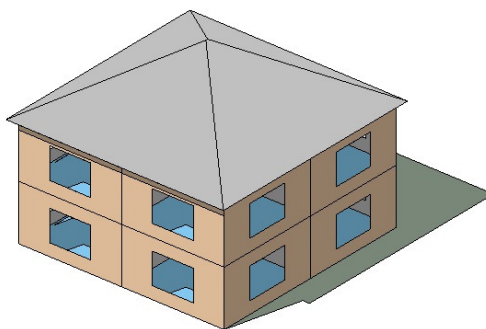


Figura 6.5 – Sombreamento no dia 15 de Junho às 10:00, para a fracção genérica

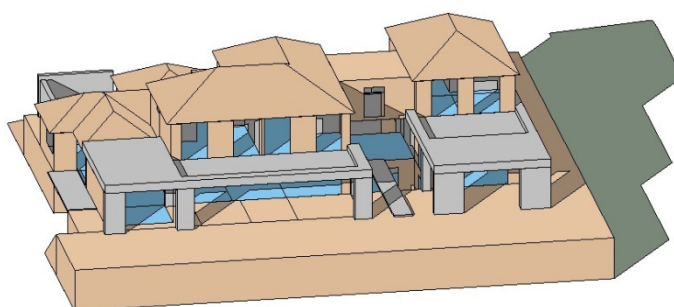


Figura 6.6 – Sombreamento no dia 15 de Dezembro às 15:00, para a fracção real

6.1.4. Simulação térmica detalhada

Como base na geometria criada, na informação introduzida e nos cálculos solares efectuados, o software tem agora as condições reunidas para executar a simulação térmica detalhada. Para tal utiliza-se a ferramenta de cálculo *ApacheSim*, cujas características já foram aqui descritas. A figura seguinte ilustra os detalhes que podem ser escolhidos para este cálculo.

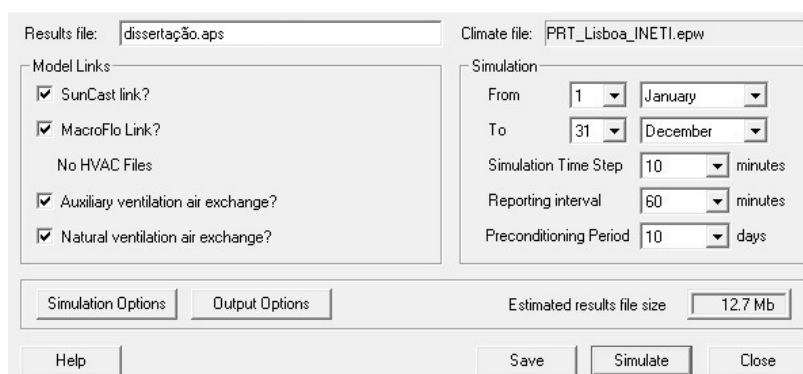


Figura 6.7 – V.E. *ApacheSim* (Dynamic Simulation)

Entre outros detalhes, destacam-se o ficheiro climático utilizado, que neste caso é o referente aos dados para Lisboa disponibilizado pelo INETI, e as questões relativas ao período e tempo de intervalo da simulação, de 1 de Janeiro a 31 de Dezembro e 10 minutos respectivamente para este caso.

6.1.5. Apresentação dos resultados

Uma vez efectuada a simulação térmica detalhada, o software fornece, através da ferramenta de análise de resultados *VISTA*, um enorme número de outputs que vão desde as cargas de aquecimento e arrefecimento da fracção, passando pela temperatura e humidade relativa espaço a espaço, até possíveis comparações entre, por exemplo, ganhos solares internos e temperatura do bolbo seco exterior. Todos os dados são apresentados sob a forma de tabelas ou gráficos, abrangendo no máximo o período de um ano e no mínimo um dia. Escolhendo o período de um ano, os dados são fornecidos a uma escala de mês a mês, enquanto se escolher apenas um dia, os mesmo dados são fornecidos hora a hora.

6.2. Resultados do caso genérico

Todos os passos anteriormente descritos foram seguidos para o estudo da fracção genérica com o especial cuidado de garantir que as suas características fossem, o mais possível, idênticas àquelas que se usaram para o estudo através da *Folha de Cálculo do Excel*.

A grande diferença entre os dois cálculos será o facto de neste caso as temperaturas de referência não serem estáticas, ou seja, ao contrário da *Folha de Cálculo do Excel*, que considera temperaturas sempre inferiores a 20°C para o Inverno e sempre superiores a 25°C para o Verão, durante a simulação dinâmica a temperatura segue uma flutuação livre entre estes dois valores. O aquecimento apenas é ligado quando a temperatura desce abaixo dos 20°C e, de modo análogo, o arrefecimento apenas é ligado quando a temperatura sobe acima dos 25°C. Sendo que esta condição só é válida para os espaços considerados como úteis.

Ainda com base no disposto no ponto anterior, de forma a exemplificar as possibilidades da ferramenta *VISTA* de análise de resultados, apresenta-se de seguida a comparação entre a temperatura exterior e temperatura interior, para o espaço não útil e para um espaço útil do caso genérico.

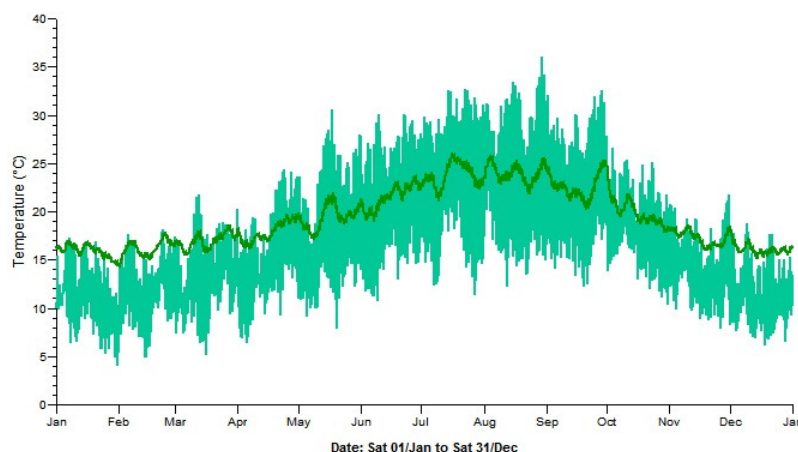


Figura 6.8 – Comparação entre temperaturas para o ENU do caso genérico

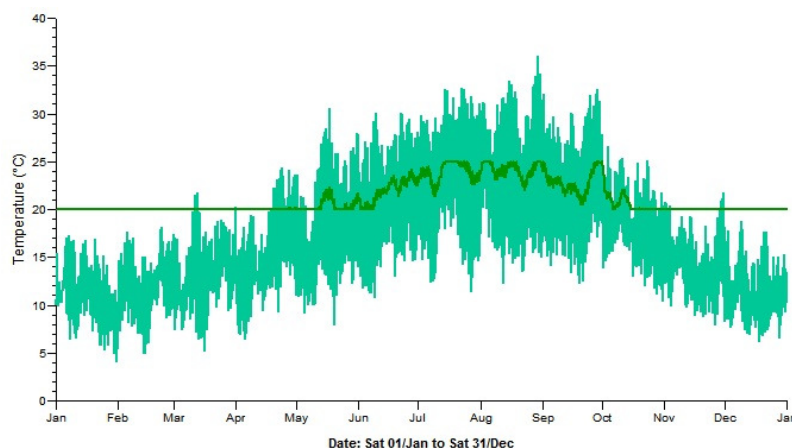


Figura 6.9 – Comparação entre temperaturas para um espaço útil do caso genérico

Como se pode observar na última figura, a temperatura interior do espaço útil nunca é inferior a 20°C nem superior a 25°C e flutua livremente entre as estas duas. Neste caso específico pode-se antecipar que a carga necessária para arrefecimento será mais baixa do que aquela que foi calculada na

Folha de Cálculo do Excel, uma vez que a temperatura deste espaço quase não apresenta valores superiores a 25°C ao longo do Verão.

6.2.1. Cargas de aquecimento e de arrefecimento

No que diz respeito às cargas de aquecimento e de arrefecimento, grandezas capazes de servir de comparação entre a *Folha de Cálculo do Excel* e o *IES Virtual Environment*, foram recolhidos dados relativos aos seus totais anuais. O software disponibiliza estes dados, caso a caso, da seguinte forma.

Date	Boilers load (MWh)	Chillers load (MWh)
Jan 01-31	3,7967	0
Feb 01-28	3,1035	0
Mar 01-31	2,6851	0
Apr 01-30	1,685	0
May 01-31	0,5834	0
Jun 01-30	0,0225	0
Jul 01-31	0	0,1823
Aug 01-31	0	0,1304
Sep 01-30	0	0,0173
Oct 01-31	0,4582	0
Nov 01-30	2,3664	0
Dec 01-31	3,6215	0
Summed total	18,3222	0,3299

Tabela 6.1 – Valores mensais e anuais das cargas para o 1º caso da fracção genérica

Boilers load e *Chillers load* indicam-nos a carga de aquecimento a carga de arrefecimento, respectivamente.

Após analisados os quatro casos, foram reunidos todos os resultados obtidos na tabela que a seguir se apresenta:

	Cargas (kWh/ano)	
	Aquecimento	Arrefecimento
1º Caso	18322,260	329,894
2º Caso	12951,910	308,265
3º Caso	15375,944	393,737
4º Caso	10076,660	427,113

Tabela 6.2 – Valores das cargas do estudo do caso genérico

6.2.2. Comparação com os resultados da *Folha de Cálculo do Excel*

Apresenta-se de seguida a tabela que reúne os resultados de ambos os métodos utilizados, *Folha de Cálculo do Excel* e *IES Virtual Environment*. Além dos valores isolados das cargas para aquecimento e para arrefecimento, note-se que a tabela contém também os valores da soma das duas cargas. Esta soma tem como objectivo analisar a globalidade da carga dispendida durante o período de um ano.

	<i>Folha de Cálculo do Excel</i>		<i>IES Virtual Environment</i>	
	Cargas (kWh/ano)		Cargas (kWh/ano)	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
1º Caso	17771,96	1340,06	18322,26	329,894
	19112,02		18652,15	
2º Caso	13451,30	1362,40	12951,91	308,265
	14813,70		13260,175	
3º Caso	15690,97	1412,67	15375,944	393,737
	17103,64		15769,68	
4º Caso	11397,75	1457,55	10076,66	427,113
	12855,30		10503,77	

Tabela 6.3 – Resultados dos dois métodos utilizados para o caso genérico

Observa-se que existe uma clara semelhança na comparação entre as cargas de aquecimento, que no entanto não se verifica para as cargas para arrefecimento. Este facto torna-se ainda mais claro nos dois gráficos seguintes, elaborados a partir dos valores desta tabela.

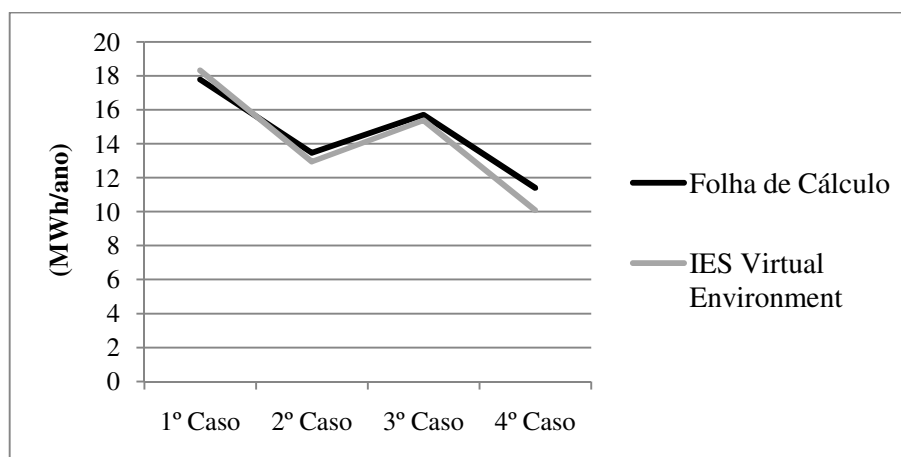


Figura 6.10 – Comparação entre os valores de N_{ic} para o caso genérico

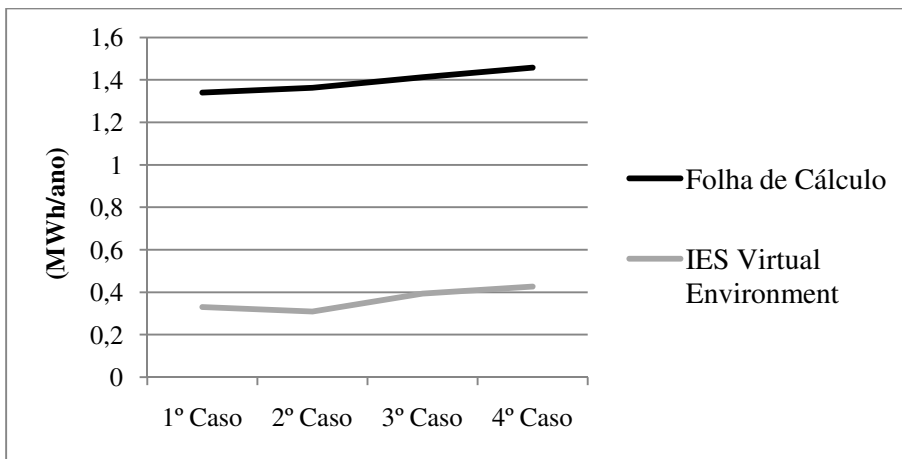


Figura 6.11 – Comparação entre os valores de N_{vc} para o caso genérico

Analisando os valores da soma das duas cargas observa-se não só que ambos os valores são aproximados mas também, principalmente, que as alterações tiveram efeitos bastante semelhantes em ambos os métodos.

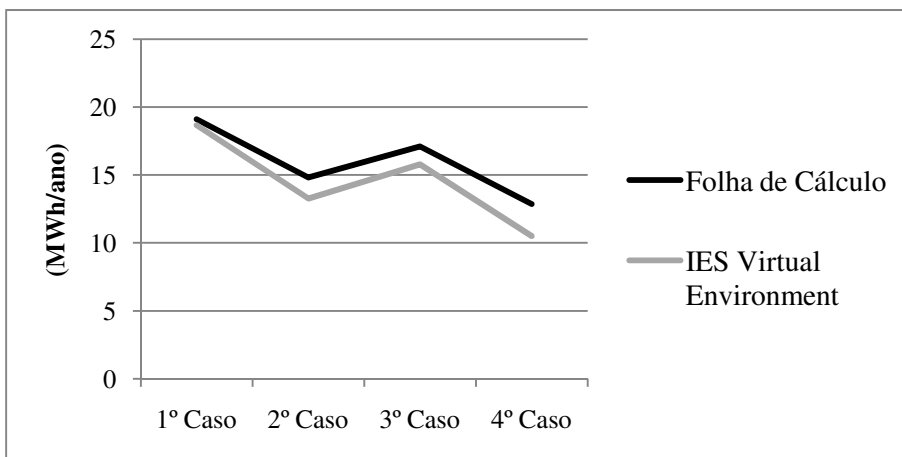


Figura 6.12 – Comparação entre os valores da soma ($N_{ic} + N_{vc}$) para o caso genérico

6.3. Resultados do caso real

De modo análogo ao executado para o caso genérico, executou-se a análise térmica detalhada para o caso real. Desta vez estamos perante uma fracção bastante mais complexa do que a anterior. Um dos aspectos mais importantes da simulação dinâmica é que esta estuda a fracção como a soma de várias partes que interagem entre si, enquanto a *Folha de Cálculo do Excel* analisa a fracção praticamente como um único espaço. Este facto tornar-se-á mais claro para este exemplo real devido principalmente à sua complexidade geométrica. Para o método da *Folha de Cálculo do Excel*, um espaço interior praticamente apenas contribuiu com a sua área para o cálculo, uma vez que não executa qualquer tipo de trocas de energia com o exterior. Em contraste, o método detalhado do *IES Virtual Environment* considera que o mesmo espaço interior influencia o ambiente dos espaços com que ele directamente comunica.

6.3.1. Cargas de aquecimento e de arrefecimento

Uma vez executado o estudo aos quatro casos, de modo idêntico ao exemplo anterior, foram estes os resultados encontrados para o caso real.

	Cargas (kWh/ano)	
	Aquecimento	Arrefecimento
1º Caso	7742,00	20318,90
2º Caso	18435,00	16248,80
3º Caso	11600,90	19768,70
4º Caso	22601,50	16163,80

Tabela 6.4 – Valores das cargas do estudo do caso real

6.3.2. Comparação com os resultados da *Folha de Cálculo do Excel*

Tal como no caso genérico, apresenta-se de seguida a tabela que reúne os resultados encontrados neste estudo com aqueles que foram encontrados no estudo através da *Folha de Cálculo do Excel*.

	<i>Folha de Cálculo do Excel</i>		<i>IES Virtual Environment</i>	
	Cargas (kWh/ano)		Cargas (kWh/ano)	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
1º Caso	25651,93	5677,68	7742,00	20318,90
	31329,61		28060,90	
2º Caso	35007,03	6119,53	18435,00	16248,80
	41126,56		34683,80	
3º Caso	30943,23	5247,44	11600,90	19768,70
	36190,67		31369,60	
4º Caso	40398,19	5713,57	22601,50	16163,80
	46111,76		38765,30	

Tabela 6.5 – Resultados dos dois métodos utilizados para o caso real

Desta vez os valores dos dois métodos apresentam uma clara disparidade. Enquanto para o exemplo anterior, apenas uma das cargas apresentava grandes diferenças, neste caso quer as cargas para aquecimento quer as para arrefecimento apresentam valores bastante distintos daqueles que foram calculados utilizando a *Folha de Cálculo do Excel*. Este facto é consideravelmente mais notório nos dois gráficos seguintes.

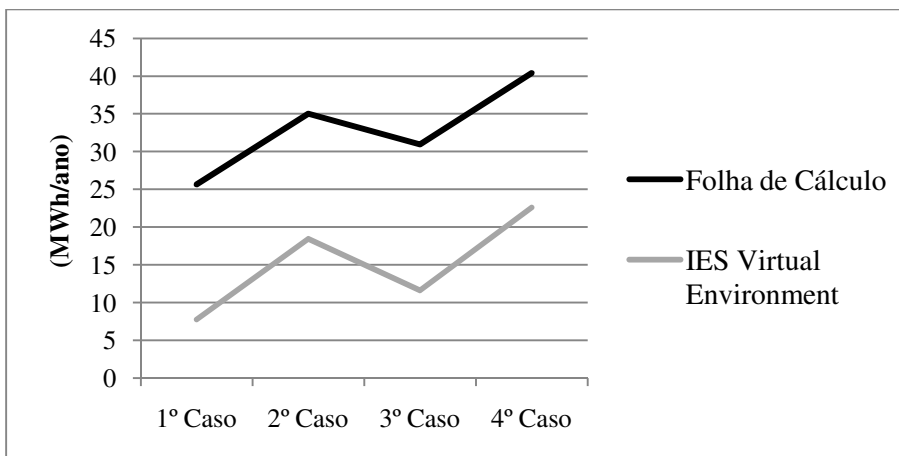


Figura 6.13 – Comparação entre os valores de N_{ic} para o caso real

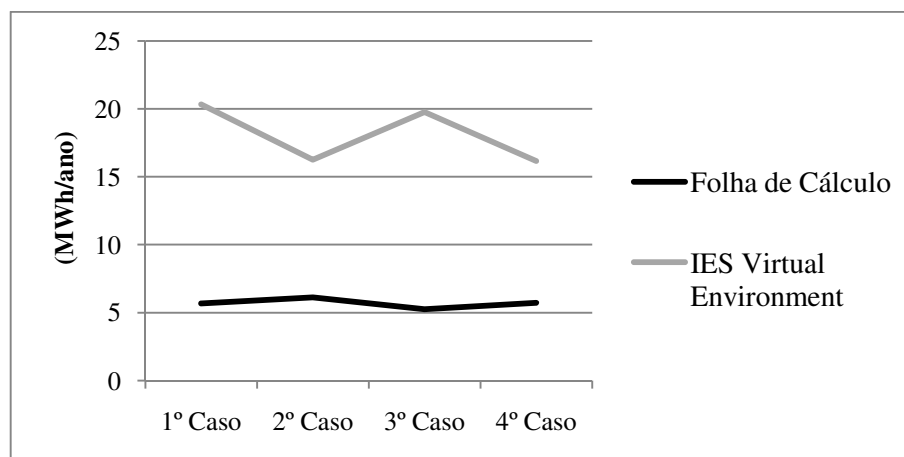


Figura 6.14 – Comparação entre os valores de N_{vc} para o caso real

Ao contrário do constatado para o caso genérico, no caso da comparação dos valores das cargas para arrefecimento fica patente que, além dos valores serem bastante diferentes, as alterações tiveram efeitos contrários quando calculadas pelos dois métodos distintos.

É no entanto notório que, uma vez associadas as duas cargas, as semelhanças entre os dois métodos voltam a surgir, tal como se pode observar no gráfico seguinte.

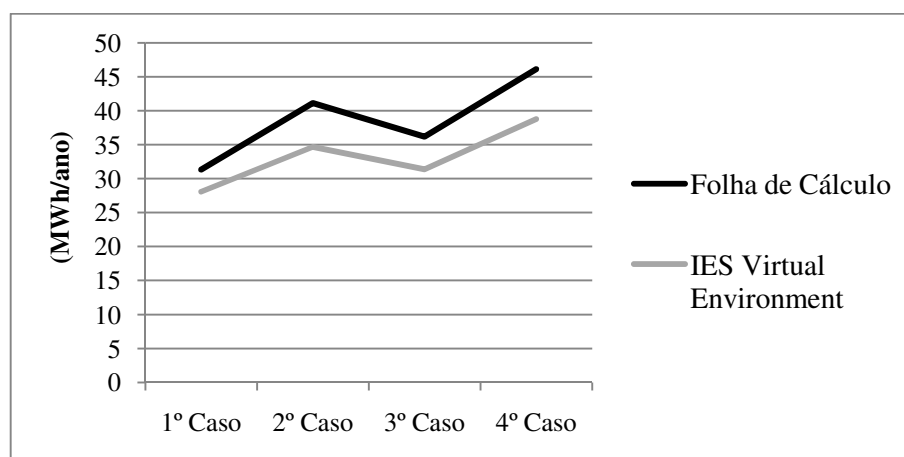


Figura 6.15 – Comparação entre os valores da soma $(N_{ic} + N_{vc})$ para o caso real

Não só estamos perante valores mais aproximados como também se observa que as alterações implicam mudanças da mesma ordem.

7. Conclusões

Começando pela análise da influência dos vários parâmetros envolvidos no cálculo regulamentar do desempenho energético, passando pela validação dos resultados decorrentes desta análise através de uma análise análoga à anterior, a uma fracção real, e acabando na comparação dos resultados obtidos com os resultados de uma análise feita utilizando um software de simulação dinâmica, consideram-se cumpridos todos os objectivos propostos no início deste documento.

Quanto à análise da influência dos vários parâmetros, a lista criada teve origem numa decomposição do software escolhido, de onde se retiraram todos os possíveis inputs necessários ao seu funcionamento. Do conjunto total de trinta e seis parâmetros, apenas dez pertencem ao grupo dos facilmente alteráveis e outros dez ao grupo dos alteráveis. Ou seja, para a análise do desempenho energético de uma fracção, à partida são nos impostos dezasseis parâmetros, e noutros dez apesar de ser possível a sua alteração, a mesma não é aconselhável ou não é directa. Isto significa que apenas dez parâmetros servem verdadeiramente de variáveis ao estudo.

A classificação da capacidade de alteração dos vários parâmetros envolvidos no estudo térmico baseou-se em opiniões pessoais, principalmente no que toca aos grupos dos facilmente alteráveis e dos somente alteráveis. Como tal, é possível que outras opiniões dêem origem a grupos diferentes dos aqui analisados e que, portanto, originem variáveis distintas das analisadas. No entanto, face aos grupos escolhidos, o estudo incidiu sobre determinados parâmetros que não parecem deixar grandes dúvidas acerca da sua possibilidade de alteração.

No decorrer da análise à fracção genérica, o resultado do 1º caso foi o esperado. A fracção apresenta um mau desempenho energético, especialmente na estação de aquecimento, e não apresenta as condições mínimas necessárias para obter o certificado energético caso se tratasse de uma fracção nova.

O conjunto de alterações que gerou o 6º caso foi aquele que produziu melhores resultados. A simples troca do equipamento produtor de energia para AQS originou um decréscimo do valor de N_{tc} para quase metade do seu valor original. Já que este novo equipamento é capaz de produzir água quente para aquecimento ambiente, esta troca resultou também na alteração da eficiência do sistema produtor de energia para aquecimento.

De realçar o facto de num conjunto de alterações tão profundas, como por exemplo a que gerou o 2º caso em que as resistências dos elementos constituintes da envolvente opaca da fracção aumentaram em média 50%, foi a alteração de um equipamento a gerar o melhor resultado deste estudo. Este facto deve-se, sobretudo, à forma utilizada pelo regulamento para calcular o desempenho energético da fracção, privilegiando muito mais o que envolve os equipamentos de produção de energia do que os restantes parâmetros.

Contudo, é exactamente na expressão “desempenho energético” que se encontra a solução para esta “curiosidade”. Na verdade, o regulamento avalia precisamente o desempenho energético e não a qualidade térmica de uma fracção. A qualidade térmica envolve principalmente parâmetros como o

Conclusões

coeficiente (U) dos elementos opacos ou o tipo de protecção nocturna utilizada nos elementos não opacos da fracção. No entanto, o desempenho energético mede a forma como se utilizam recursos para manter as condições térmicas do interior da fracção de acordo com o disposto no regulamento. Sendo que as questões relacionadas com a qualidade térmica também são importantes, como de resto ficou provado, fundamentalmente o que importa ao regulamento, isto depois de serem cumpridos os mínimos exigidos nessas questões, é a forma como se irá produzir energia para aquecer ou arrefecer o ambiente e para produzir o AQS.

É necessário entender que existe uma diferença clara entre o desempenho energético e a qualidade térmica, e que ao RCCTE importa muito mais garantir o primeiro. De resto, existiram com certeza fracções em que é possível obter excelentes classificações energéticas apenas cumprindo os mínimos para os parâmetros relacionados com a qualidade térmica da fracção.

Problemática será contudo a falta de informação por parte do público para esta questão. Um proprietário de uma fracção que apresente uma boa classificação energética pensa, naturalmente, que esta apresenta uma boa qualidade térmica, no entanto, esta classificação pode significar que a sua fracção cumpre os requisitos mínimos no que toca às questões da qualidade térmica e que devido à qualidade dos seus equipamentos de climatização e produção de AQS irá consumir pouca energia para a manter termicamente confortável.

Assim como aconteceu na fracção genérica, os resultados do 1º caso da fracção real foram os esperados. Lembre-se que para este caso foram atribuídas características semelhantes àquelas que permitiram à fracção genérica cumprir a total conformidade regulamentar. Como tal, a fracção real encontra-se totalmente conforme os pressupostos regulamentares.

Pode-se considerar cumprido o objectivo principal deste ensaio à fracção real, isto porque se conseguiu estabelecer um paralelismo dos seus resultados com os da fracção genérica. Através de várias alterações conseguiram-se gerar quatro casos com resultados bastante semelhantes aos quatro casos análogos da fracção genérica. Muito se deve ao facto de terem sido efectuadas as alterações com base nas percentagens de alteração. Quando no caso genérico, por exemplo, o aumento de isolamento gerou um decréscimo do coeficiente (U) em 30%, o objectivo no caso real foi um aumento de valor idêntico a esse decréscimo, e não a espessura de isolamento utilizado.

Sempre que no caso genérico se conseguiu baixar o N_{ic} e o N_{te} , através das mesmas alterações aumentaram-se, em percentagem, estas necessidades no caso real. Este facto valida os resultados obtidos para o caso genérico, demonstrando ao mesmo tempo que é possível prever o resultado de certas alterações para uma fracção de geometria complexa, executando o estudo numa fracção de geometria bastante mais simples.

Tal como nas situações anteriormente descritas, também no que diz respeito à utilização do software de simulação dinâmica se cumpriram os objectivos propostos. Era sabido que os resultados de um e outro método seriam diferentes, já que a sua metodologia de cálculo é completamente diferente. No entanto, para além de ficar provado que os efeitos das alterações se reflectem de modo muito semelhante quer se utilize a *Folha de Cálculo do Excel* ou o *IES Virtual Environment*, foram

encontrados resultados bastante semelhantes para as necessidades de aquecimento, no caso genérico, e para a soma das duas necessidades, aquecimento e arrefecimento, nos dois casos, genérico e real.

No decorrer das alterações, assistiu-se a aumentos e reduções semelhantes em ambos os métodos, o que mais uma vez serve de validação às conclusões retiradas dos capítulos anteriores.

Concluindo, além de todos os resultados obtidos durante o estudo, gostaria de realçar um ponto que me parece bastante importante. Lembro que o RCCTE surgiu em 1990 com o objectivo principal de melhorar a qualidade do conforto sem o aumento do consumo de energia. Foi mesmo através deste documento que se implantou a utilização quase generalizada de isolamento térmico na construção.

Assim sendo, porque é que numa altura em que a energia nunca foi tão preciosa, e em que mais do que nunca o mundo está consciencializado para a problemática das emissões dos gases de efeito de estufa, o novo RCCTE não aproveita este balanço e ataca o problema pela raiz? Se o objectivo é economizar energia, porque não ir à raiz do problema e tornar os edifícios mais auto-suficientes?

Com certeza, muitos dirão que um documento como o RCCTE necessita de ser o mais adequado à generalidade dos casos e não um documento, por assim dizer, futurista. A questão é que, na realidade, este é um documento pouco adaptado ao parque de habitação nacional. E será assim tão futurista falar de edifícios auto-suficientes quando o conceito de edifícios passivos já há muito que está tão presente em Portugal e na Europa?

8. Bibliografia

- [1] – RCCTE – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, *Diário da República n.º67 – I Série A*, Lisboa.
- [2] – RSECE – *Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios*, Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, *Diário da República n.º67 – I Série A*, Lisboa.
- [3] – Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, *Diário da República n.º67 – I Série A*, Ministério da Economia e Inovação, Lisboa.
- [4] – IES – Integrated Environmental Solutions Limited, <http://www.iesve.com/About-us>, 15 de Setembro de 2010.
- [5] – IES – *<VE> User Guide, <Virtual Environment> 5.6*, Integrated Environmental Solutions Limited, 2006.
- [6] – IES – *ApacheSim Calculation Methods, <Virtual Environment> 5.6*, Integrated Environmental Solutions Limited, 2006.
- [7] – PINA DOS SANTOS Carlos, MATIAS Luís, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, Edifícios – ITE 50, LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 2006.
- [8] – ADENE (2009) – *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE*, Versão de trabalho 1.6, ADENE, Agência para a Energia, Novembro de 2009.

9. Anexos

9.1. Anexo 1

Capacidade de alteração dos parâmetros

➤ Área dos elementos da envolvente da fracção

As áreas das paredes, coberturas, pavimentos e de outros elementos estruturais, são parâmetros que se podem considerar como inalteráveis, já que, uma vez terminado o projecto de arquitectura apenas pequenas alterações podem ser feitas aos seus valores. Em termos de classificação este é portanto um parâmetro que pertence ao grupo dos fixos.

➤ Coeficiente (U) dos elementos da envolvente do edifício

No que diz respeito aos coeficientes globais de transmissão de calor dos vários elementos estruturais da fracção autónoma, os mesmos podem ser facilmente alterados, seja por meio de alteração das espessuras dos materiais que os compõem, seja por alteração dos próprios materiais. No entanto há que ter em conta que, apesar de haver um universo bastante vasto de soluções, existem por vezes certos entraves físicos e não só que impossibilitam a sua alteração. A decisão recaiu na colocação do parâmetro no grupo dos facilmente alteráveis.

➤ Perímetro (paredes e pavimentos em contacto com o solo)

O perímetro é um parâmetro essencial para o cálculo da ponte térmica linear existente nas paredes e pavimentos em contacto com o solo e, tal como as áreas dos elementos estruturais, depende da geometria do edifício e é praticamente inalterável. Assim como qualquer outro parâmetro que tenha origem na geometria pré-concebida do edifício, considera-se este como sendo do grupo dos fixos.

➤ Coeficiente (ψ)

O coeficiente (ψ) depende primariamente da presença e localização da solução de isolamento térmico. Depende também de outros factores, como por exemplo a espessura da laje de pavimento, consoante o tipo de ponte térmica em análise. Portanto este é um parâmetro que mistura a facilidade de alteração do coeficiente (U) com a pouca capacidade de alteração das propriedades geométricas dos elementos estruturais do edifício. O lógico será portanto incluí-lo no grupo dos parâmetros alteráveis.

➤ Desenvolvimento linear (PTL)

Este parâmetro, directamente ligado às pontes térmicas lineares, depende somente das propriedades geométricas da fracção em estudo. Como outros anteriormente descritos este parâmetro tem pouca capacidade de ser alterado, logo é incluído no grupo dos fixos.

➤ **Tau (τ)**

Este parâmetro indica o grau de semelhança do ambiente dentro do espaço não útil com o ambiente exterior. O seu valor varia entre 0 e 1, sendo que 0 seria o valor a atribuir a um ENU cuja temperatura interior fosse igual à temperatura interior de referência de um espaço útil, e por analogia, 1 seria o valor a atribuir a um espaço cuja temperatura interior fosse igual à temperatura exterior. Uma vez que este é um parâmetro que resulta de um cálculo envolvendo somente áreas, significa que ela está directamente ligada às propriedades geométricas da fracção. Pelas mesmas razões que já haviam sido dadas, considera-se este parâmetro com sendo fixo.

➤ **Pé direito**

O pé direito é um parâmetro que indica a altura da fracção, medida pelo lado de dentro, desde o seu ponto mais baixo até ao seu ponto mais alto. Em alguns casos a fracção pode ter um tecto falso e então há que considerar se este é ou não estanque, caso seja, o pé direito é contabilizado do chão até ao tecto falso, caso esta estanquicidade não se verifique, o pé direito a adoptar será a medida entre a laje de pavimento e a laje da cobertura. Isto leva a que, apesar de ser um parâmetro directamente ligado às propriedades geométricas da fracção, a presença de um tecto falso estanque com caixa-de-ar variável permite que haja alterações no seu valor. Não esquecer que, em conjunto com a área útil de pavimento, o valor do pé direito é fundamental para o cálculo do volume da fracção e consequentemente das perdas e ganhos por ventilação, isto para além de ser fulcral também para a área de contacto da fracção com o ambiente exterior. Logo, ao contrário de outros parâmetros directamente relacionados com a geometria do edifício já analisados, o pé direito da fracção inclui-se no grupo dos parâmetros alteráveis.

➤ **Área útil de pavimento**

A área útil de pavimento corresponde à “ (...) soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fracção autónoma de um edifício, incluindo vestíbulos, circulações internas, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes.” (Alínea g) do Anexo II [1]). É portanto um parâmetro directamente ligada às propriedades geométricas da fracção, como tal inclui-se no grupo dos parâmetros fixos.

➤ **Classe da caixilharia**

Este parâmetro está directamente ligado à quantificação da permeabilidade ao ar da envolvente, que em conjunto com outros factores condicionam o cálculo das renovações por hora (R_{ph}) nos casos em que os edifícios são ventilados normalmente. A quantificação da classe da caixilharia vai da classe 1 à classe 3, mais e menos permeável ao ar respectivamente, e deve ser comprovada por um certificado emitido pela entidade responsável pelo respectivo ensaio, sem o qual deve ser considerada como “sem classificação”. Uma vez que depende apenas da caixilharia este parâmetro pode ser facilmente alterado, uma vez que a substituição da mesma pode até ser feita em edifícios existentes. Este é portanto um parâmetro que se considera como pertencente ao grupo dos facilmente alteráveis.

➤ **Presença ou não de caixa de estore**

Este parâmetro tem características muito semelhantes ao da classe de caixilharia, no entanto apenas possui as hipóteses existir ou não caixa de estore. Normalmente os dispositivos de oclusão nocturna são escolhidos ainda na fase de projecto, e dispositivos como o estore, quer seja ele interior ou exterior, obrigam a certas alterações na fachada do edifício. Com isto quero dizer que normalmente, uma vez escolhido, um dispositivo como este não é alterado, até devido às suas excelentes capacidades de sombreamento, no entanto e quando se está ainda na fase de projecto alterações como esta podem ainda ser feitas. De notar apenas que a existência caixas de estore aumenta a permeabilidade ao ar do edifício. Escolhe-se portanto incluir este parâmetro no grupo dos alteráveis.

➤ **Classe de exposição**

A avaliação deste parâmetro tem como base três factores. Primeiro há que contabilizar qual é a altura da fachada do edifício em estudo ao solo, depois se este se encontra localizado na Região A (corresponde a todo o território nacional excepto os locais pertencentes à Região B) ou na Região B (corresponde às regiões autónomas dos Açores e da Madeira e às localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m). Por fim, se o edifício pertence à classe I, II ou III de rugosidade (correspondem respectivamente a edifícios situados no interior de uma zona urbana, na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural, ou em zonas muito expostas sem obstáculos que atenuem o vento). Todos estes factores podem ser considerados como inalteráveis e como tal este parâmetro pertence ao grupo dos fixos.

➤ **Dispositivos de admissão na fachada**

Parâmetro que se refere à presença de dispositivos que permitam a admissão de ar exterior pela fachada do edifício. Estes são dispositivos, normalmente designados por grelhas, podem ser vistos nas caixas de estore, na caixilharia e até mesmo inseridos no próprio no elemento opaco da fachada. Trata-se de um elemento que normalmente já se encontra escolhido na fase de projecto mas que ainda assim, e neste caso mais que no caso dos estores, tem possibilidade de ser acrescentado ou retirado. No entanto, e uma vez que são elementos que interferem bastante com a estética da fracção ou edifício, não se pode considerar como sendo facilmente alterável, sendo portanto bastante mais lógico inclui-lo no grupo dos parâmetros alteráveis.

➤ **Aberturas auto-reguladas**

Ligado directamente ao parâmetro anterior, este diz respeito a uma característica dos elementos denominados como dispositivos de admissão na fachada. Se estes garantirem que para diferenças de pressão entre 20Pa e 200Pa, o caudal não varia mais do que uma vez e meia, considera-se que as aberturas são auto-reguladas, se não garantirem considera-se precisamente o contrário. Sendo uma característica de elementos que só por si podem ser ou não incluídos no projecto conforme as exigências do cliente, esta também um parâmetro que se assume como alterável e não como facilmente alterável, exactamente por estar dependente da anterior.

➤ **Portas exteriores bem vedadas**

Estamos perante um parâmetro que diz respeito à presença ou ausência de uma boa vedação de todas as portas do edifício ou fracção autónoma, isto por aplicação de borrachas ou outro elemento equivalente em todo o seu perímetro. Considerando que qualquer porta pode ser vedada e que posteriormente passa a corresponder a esta especificação, esta é um parâmetro que se considera bastante fácil de alterar e consequentemente pertence ao grupo dos facilmente alteráveis.

➤ **Caudal de insuflação e caudal de extracção**

“ (...) no caso dos sistemas em que a ventilação recorre a quaisquer sistemas mecânicos, incluindo os sistemas de extracção nas instalações sanitárias, e com excepção do caso da presença apenas de exaustor na cozinha descrito no nº 3.2.1, a taxa de renovação horária é calculada com base em V_f , o maior dos dois valores de caudal correspondentes ao caudal insuflado V_{ins} ou ao caudal extraído do edifício V_{ev} .” (Ponto 3.2.2 do Anexo III [1]). Estes dois parâmetros estão ligados à existência de elementos que provoquem uma entrada ou saída forçada de ar no edifício. No entanto esta entrada ou saída tem de ser constante, daí que não se considere os sistemas conhecidos por “ventaxia” e “hotes” de cozinhas para este cálculo. A escolha da quantidade de ar que se força a entrar ou sair do edifício é da responsabilidade do projectista de aquecimento ventilação e ar condicionado (AVAC), no entanto é possível executar ligeiros ajustes nestas quantidades se for necessário. Este é portanto um parâmetro que se considera como pertencendo ao grupo dos alteráveis.

➤ **Recuperador de calor**

O recuperador serve como um atenuante dos efeitos que a ventilação mecânica pode exercer nas perdas de calor resultantes da renovação de ar. Nos casos em que é extraído e simultaneamente insuflado um elevado caudal de ar numa fracção, o recuperador de calor actua como promotor de trocas de energia entre o ar que acaba de sair da fracção, arrastando consigo cargas térmicas do interior, com o ar exterior, que em média apresenta uma menor carga, isto claro durante a estação de aquecimento. Deste modo, os efeitos prejudiciais da entrada de ar exterior na fracção são minimizados. Tratando-se de um equipamento que normalmente se encontra na cobertura dos edifícios, não contribuindo excessivamente para o factor inestético como a maioria dos equipamentos de AVAC, e cuja montagem é praticamente independente do restante sistema de ventilação, pode-se assumir que inclui-lo no projecto é relativamente fácil. Logo conclui-se que a presença de um recuperador de calor é um parâmetro do grupo dos facilmente alteráveis.

➤ **Consumo dos ventiladores**

Uma vez escolhidos os caudais de insuflação e de extracção de uma fracção, a escolha de ventiladores para executar esta função fica relativamente reduzida, e mesmo tendo ainda alguma hipótese de escolha entre diferentes fabricantes, as potências de equipamentos diferentes para o mesmo regime de funcionamento é quase sempre semelhante. Ora sendo que, a escolha dos caudais é feita pelo projectista de AVAC, assentando na maior parte das vezes em regulamentação, pouco ou nada resta a alterar neste parâmetro. Este é um parâmetro que, não sendo fixo está muito dependente

de outras escolhas que normalmente não cabem ao projectista de térmico, logo é bastante complicada de alterar. Como tal considera-se este parâmetro como sendo alterável.

➤ **Orientação dos vãos**

Parte quer do cliente quer do arquitecto escolher a localização dos elementos não opacos da fracção. Uma vez concluído o projecto de arquitectura todos os vãos estão definidos, quer em termos de dimensão quer em termos de orientação, logo no momento da execução do projecto térmico pouco ou nada resta a alterar neste campo. No entanto, se encararmos a fase de projecto como uma fase conjunta, em que todas as especialidades trabalham em conjunto de forma a reunir condições favoráveis para todas elas, pode-se assumir que existe algum espaço para alterações deste parâmetro. Algumas escolhas óbvias como reduzir a quantidade de vãos orientados a sul, que desfavorecem a qualidade térmica da fracção durante a estação de arrefecimento, podem ser tomadas em conjunto com o responsável pelo projecto de arquitectura. Considera-se portanto viável a inclusão deste parâmetro no grupo dos alteráveis.

➤ **Tipo de vão, factor solar do vidro e fracção envidraçada**

Existem no mercado várias soluções para os elementos não opacos da fracção. Este é grupo de parâmetros que define as características térmicas dos vãos envidraçados da fracção. No caso do tipo de vão, as hipóteses são o vão simples e o vão duplo, sendo que o primeiro significa a presença de apenas uma janela e o segundo de duas. No que diz respeito ao factor solar do vidro, “ (...) o factor solar do envidraçado (g_{\perp}) é um valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado.” (Ponto 4.3.2 do Anexo IV [1]). Esta é uma das propriedades do vidro escolhido para equipar os vãos envidraçados da fracção. Além da escolha do tipo de vão, existe também abertura para escolher o vidro que o compõem. Esta propriedade do vidro deve ser tida em grande conta na sua escolha, não esquecendo no entanto que elevados factores solares são benéficos no Inverno e prejudiciais no Verão. Já no que toca à fracção envidraçada, “ (...) (F_g) traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado.” (Ponto 4.3.4 do Anexo IV [1]). Este parâmetro está directamente associado ao tipo de caixilharia do vão envidraçado. No Quadro IV.5 [1] podemos ver a correspondência entre vários tipos de caixilharia e respectiva fracção envidraçada. Apesar de depender de valores tabelados, a fracção envidraçada pode ser alterada consoante a escolha do tipo de caixilharia, escolha essa que se reflecte também noutros factores, e que por isso deve ser feita com alguma atenção. Conclui-se que estes são três parâmetros dependentes uns dos outros, mas que em conjunto apenas dependem da escolha dos vãos envidraçados da fracção e, como tal, incluem-se no grupo dos parâmetros facilmente alteráveis.

➤ **Factor de obstrução**

“ (...) o factor de obstrução (F_s) varia entre 0 e 1 e representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos” (Ponto 4.3.3 do Anexo IV [1]). Estes obstáculos podem ter origem no próprio edifício ou noutros edifícios e elementos situados nas suas imediações. O factor de obstrução é calculado com base noutros três factores, o factor de sombreamento do horizonte (F_h), o factor de sombreamento por elementos horizontais (F_o) e o factor de sombreamento por elementos verticais (F_v). Todos eles dizem respeito a diferentes tipos de elementos que podem causar sombreamento. Os elementos em questão podem ser de origem estrutural, como as varandas ou outras partes do mesmo edifício, ou de origem puramente decorativa. Nestes casos é possível a criação de elementos com o intuito de sombrear certos vãos em que a radiação solar incidente seja um problema. Deste modo, e uma vez que o factor de obstrução pode depender destes elementos, pode-se assumir que este parâmetro pertence ao grupo dos alteráveis, não sendo no entanto facilmente alterável uma vez que questões de ordem arquitectónica são postas em jogo.

➤ **Factor de correcção da selectividade angular**

“ (...) o factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados (F_w) traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa.” (Ponto 4.3.5 do Anexo IV [1]). Este factor assume um valor de 0,9 para vidros correntes simples e duplos, durante a estação de aquecimento. Para outros tipos de vidro é aconselhada a consulta do fabricante, o que por vezes não é um processo simples até porque se pode desconhecer o fabricante do vão envidraçado em questão. Portanto normalmente este parâmetro pertence ao grupo dos fixos.

➤ **Localização geográfica**

Este parâmetro é considerado como inalterável a partir do momento em que o local da fracção é definido. Ao contrário de certos elementos estruturais da fracção, que com bastante prudência se podem considerar como alteráveis, a localização geográfica da fracção é um parâmetro que, quer para um caso real quer para a formulação de um caso genérico de estudo, uma vez escolhido não pode ser alterado. Como tal é incluído no grupo dos parâmetros fixos.

➤ **Tipo de edifício**

Este parâmetro identifica o tipo da fracção em estudo, de forma a se puder quantificar os seus ganhos térmicos internos médios por unidade útil de pavimento. O RCCTE fornece informação para três tipos diferentes de edifício, residencial, serviços (escritórios, comércio, restauração, consultórios, serviços de saúde com internamento, etc.) e hotéis ou outros edifícios com pequena carga de ocupação. Uma vez que este parâmetro apenas depende do tipo de edifício em estudo, não existe quaisquer formas de o alterar. Considera-se o tipo de edifício um parâmetro fixo.

➤ **Inércia do edifício**

“A inércia interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.” (Ponto 2.1 do Anexo VII [1]). Como é dito na frase anterior, a inércia térmica do edifício depende da massa superficial útil dos seus elementos de construção, que por sua vez além de depender dos próprios materiais utilizados na construção, depende grandemente da existência e localização da solução de isolamento. Portanto a sua alteração envolve a alteração de outro parâmetro, já atrás descrito e classificado como facilmente alterável, o coeficiente (U) das paredes, pavimentos, coberturas e outros elementos constituintes da envolvente da fracção. De notar apenas que por vezes o que é vantajoso para uma redução substancial das perdas através dos elementos opacos da fracção, não o é para o parâmetro aqui analisado. Como tal, uma vez que a alteração deste parâmetro apenas envolve a alteração de outro parâmetro facilmente alterável, considera-se a inércia do edifício facilmente alterável.

➤ **Número de graus dias no local**

“(…) é um número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).” (Alínea hh) do Anexo II [1]). Assim como outros parâmetros, o número de graus dias no local, depende directamente da localização geográfica da fracção em estudo que não tem qualquer hipótese de alteração uma vez escolhida. Decide-se portanto incluir este parâmetro no grupo dos fixos.

➤ **Zona climática**

O regulamento divide o País em três zonas climáticas para a estação de aquecimento e noutras três para a de arrefecimento. A atribuição de uma dada zona climática a uma dada fracção é feita com base na sua localização geográfica, e portanto, tal como no ponto anterior, este parâmetro pertence ao grupo dos fixos.

➤ **Temperatura média do ar exterior no Verão**

Tal como o nome indica, este parâmetro diz respeito ao valor da temperatura média do ar exterior durante a estação de arrefecimento e é utilizado para o cálculo das perdas térmicas totais durante esta estação. Para além dos ganhos térmicos totais, e porque na realidade a temperatura média exterior durante toda a estação de arrefecimento é sempre inferior à temperatura interior de referência, há que contabilizar perdas durante esta estação. Para tal é necessário o cálculo de um gradiente de temperatura entre o interior e o exterior e é para esse cálculo que se utiliza este parâmetro. Apesar de fundamental para o desenvolvimento de análise térmica do edifício, a temperatura média do ar exterior no Verão apenas depende da localização da fracção em estudo e como tal não pode ser alterada, incluindo-se no grupo dos parâmetros fixos.

➤ **Coefficiente de absorção solar da superfície exterior da parede**

Este parâmetro diz respeito à cor da superfície exterior dos elementos opacos da fracção. O RCCTE impõe três coeficientes diferentes consoante a cor da parede seja mais escura ou mais clara. Como é de conhecimento geral, as cores mais claras absorvem menos radiação solar e são mais benéficas no caso do cálculo de ganhos durante a estação de arrefecimento, consequentemente seriam prejudiciais para os ganhos na estação de aquecimento mas este cálculo é omissivo na análise térmica da fracção, uma vez que, apesar de existirem ganhos a sua grandeza é praticamente insignificante perante as perdas térmicas na mesma estação. A escolha da cor da superfície externa está normalmente fora do âmbito das responsabilidades do projectista de térmico, no entanto este pode aconselhar uma escolha baseado nos efeitos benéficos que esta pode ter, isto se a cor ainda não estiver escolhida e a fracção ainda estiver por construir. Este é portanto um parâmetro que se considera pertencer ao grupo dos alteráveis.

➤ **Intensidade de radiação solar no Verão**

Tal como no ponto anterior, este parâmetro é utilizado para o cálculo dos ganhos solares pela envolvente opaca, mas contudo este depende apenas da localização geográfica da fracção. O parâmetro indica a intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro) e no regulamento encontra-se uma tabela que o descreve consoante a orientação geográfica do elemento em estudo. Como tal, e por estar directamente ligado à localização geográfica, este parâmetro não tem qualquer hipótese de alteração e faz parte do grupo dos fixos.

➤ **Factor solar do vão envidraçado**

Noutro ponto anteriormente aqui descrito, foi analisado o parâmetro “factor solar do vidro” que, tal como foi explicado, diz respeito apenas às propriedades do vidro. Neste caso estamos perante um parâmetro que une o “factor solar do vidro” com a existência de dispositivos de sombreamento, “ (...) é o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de protecção e a energia da radiação solar que nele incide.” (Alínea ff) do Anexo II [1]). Este parâmetro é utilizado no cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados exteriores, e é fundamental que os envidraçados, com área superior a 5% da área útil do espaço que servem, cumpram o factor solar máximo admissível. Aqui podem ser testadas várias hipóteses de dispositivos, todos eles com resultados bastante diferentes no que toca ao cálculo das necessidades de energia para arrefecimento e consequentemente da qualidade térmica da fracção. Desta variedade de opções resulta a inclusão deste parâmetro no grupo dos facilmente alteráveis.

➤ **Tipologia**

Aparte da definição comum deste parâmetro, ou seja, o número de divisórias de uma fracção única excluindo aqueles que são de utilização comum (cozinha, sala, instalações sanitárias, etc.), o regulamento serve-se dele para quantificar o número convencional de ocupantes de cada fracção autónoma. Este parâmetro é utilizado para o cálculo das necessidades de energia para produção do AQS, e serve para estabelecer o consumo médio diário de referência (M_{AQS}) da fracção, que é de

quarenta litros por dia por ocupante. Mais uma vez o parâmetro em causa diz respeito a uma propriedade inerente da fracção em estudo e como tal não tem hipóteses de ser alterado, incluindo-se no grupo dos parâmetros fixos.

➤ **Número anual de dias de consumo de AQS**

Este parâmetro depende directamente do período convencional de utilização dos edifícios, como tal, o regulamento estabelece padrões de utilização e correspondente número anual de dias de consumo de AQS para edifícios residenciais e para edifícios de serviços. Este parâmetro, tal como o anterior, corresponde a uma propriedade da fracção e consequentemente pertence ao grupo dos fixos.

➤ **Eficiência do sistema de produção de AQS**

Este parâmetro diz respeito à eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS e é normalmente fornecido pelo fabricante do equipamento. Quando não existe informação acerca do mesmo, podem ser adoptados valores padrão fornecidos pelo regulamento. Contudo, apesar de ser uma propriedade do equipamento, a possibilidade de escolha e ou de alteração do mesmo faz com que este parâmetro possa ser facilmente alterado. Portanto decide-se inclui-lo no grupo dos parâmetros facilmente alteráveis.

➤ **Contribuição Esolar, contribuição Esolar para aquecimento e contribuição Eren**

Este é um conjunto de parâmetros que se referem à utilização de sistemas que utilizem fontes de energia renovável. O primeiro corresponde à contribuição de sistemas solares de preparação de AQS e é calculado com base no software *SOLTERM* do INETI. Para poder ser contabilizada esta contribuição, existem certos requisitos impostos pelo regulamento que têm de ser cumpridos. Quanto ao segundo parâmetro, sabe-se que da mesma forma que o sistema de colectores solares fornece energia para a preparação de AQS, pode também contribuir para o sistema de aquecimento da fracção em estudo. Isto é, aquece a água que serve para consumo dos ocupantes, ao mesmo tempo que aquece também a água que circula nos sistemas de radiadores que têm a função de aquecer a fracção, contribuindo desta forma para uma redução dos gastos na produção de energia para aquecimento durante o Inverno. De referir apenas que, o software de cálculo da contribuição Esolar não é muito conclusivo quanto à distinção entre a parte que é fornecida para o aquecimento de AQS e aquela que é fornecida para o aquecimento ambiente. O terceiro parâmetro diz respeito à contribuição de outras fontes de produção de energia a partir de fontes renováveis para a produção de AQS e não só. Entre outras hipóteses podem-se destacar os sistemas de painéis fotovoltaicos, que podem fornecer uma contribuição de energia eléctrica a um termoacumulador. Para existirem estas contribuições têm que existir também os equipamentos por elas responsáveis, equipamentos com capacidades que diferem de fabricante para fabricante e variam a sua contribuição consoante outros factores como a localização, a orientação ou o azimute entre outros. Portanto é razoável admitir que, o conjunto formado por estas contribuições gera um parâmetro sobre o qual o projectista tem margem de decisão. Logo classifica-se este conjunto como um parâmetro facilmente alterável.

➤ **Eficiência do sistema de aquecimento e do sistema de arrefecimento**

Tal como já tinha sido analisado no parâmetro “Eficiência do sistema de produção de AQS”, este diz respeito à eficiência dos sistemas de produção de energia para o aquecimento e arrefecimento da fracção. Existem várias soluções para estes sistemas e dentro das várias soluções à ainda que contar com os diferentes fabricantes e subsequentes diferentes características de equipamentos. Contudo, apesar de ser uma característica dos equipamentos, a possibilidade de escolha ou de alteração do tipo de sistema faz com que este parâmetro possa ser facilmente alterado e pertença ao respectivo grupo de parâmetros facilmente alteráveis.

➤ **Factor F_{pu} do sistema de aquecimento e factor F_{pu} do sistema de arrefecimento**

O factor F_{pu} representa o factor de conversão entre energia útil e energia primária e é definido em função do *mix* energético nacional até nova publicação em despacho pelo Director-Geral de Geologia e Energia. Como tal são utilizados os valores de $F_{pu}=0,290\text{kgep/kWh}$ para a energia eléctrica e $F_{pu}=0,086\text{kgep/kWh}$ para os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. “A diferença nestes factores indicia que a utilização de equipamentos eléctricos para aquecimento, arrefecimento ou preparação de água quente sanitária resultará mais penalizadora das necessidades energéticas globais de energia primária de um edifício, embora a eficiência dos equipamentos desempenhe também um papel relevante nesse âmbito.” [8]. Considerando que a flexibilidade de escolha está na fase de selecção do equipamento, e que tal escolha já está presente no parâmetro anterior, opta-se agora por incluir este parâmetro no grupo dos fixos.

Folha de Cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil do pavimento (Ap)		175	(m ²)	
		x		
Pé-círculo médio		2,70	(m)	
		=		
Volume interior (V)		472,50	(m ³)	
Ventilação Natural ou Mecânica		Natural		

VENTILAÇÃO NATURAL				
Cumpro NP 1037 1?	(S ou N)	Não	se SIM: RPH =	0,5
Se NÃO:				
Classe da caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	S/C	Taxa de Renovação nominal:	
Caixas de estore	(Sim ou Não)	Sim	RPH =	1,05
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	Sim		
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1, 2, 3 ou 4)	2		
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	Não		
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)	Não		
Área de Envidraçados > 15% Ap?	(Sim ou Não)	Não	se Sim agrava 0,1	
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	Não	Se Sim reduz 0,05 desde que Não cumpra NP1037-1	

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor de cozinha)				
Caudal de insuflação	Vins - (m ³ /h)		Vf =	0
Caudal extraído	VeV - (m ³ /h)			
Diferença entre Vins e VeV	(m ³ /h)	0	V / (volume int) =	0,00 (RPH)
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1		
Infiltrações	(Vx)	0,30		
Recuperador de Calor	(S ou N)		se SIM: η =	
			se NÃO: η =	0
Taxa de Renovação real	(mínimo: 0,6)	0,00	(Vf / V + Vx)	
Taxa de Renovação para efeito de cálculo	(sem mínimo)	0,00	(Vf / V + Vx) (1 - η)	
Consumo de electricidade para os ventiladores		0,00	(Ev=Pv.24.0,03 M (kWh))	

Volume		472,50	
		x	
Taxa de Renovação nominal		1,05	
		x	
		0,34	
		-	
TOTAL		168,68	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m ²
Paredes Exteriores	147,01
Coberturas Exteriores	0,00
Pavimentos Exteriores	0,00
Envidraçados Exteriores	42,00
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)</i>	
Paredes Interiores	12,60
Coberturas Interiores	100,00
Pavimentos Interiores	15,00
Envidraçados Interiores	3,60
<i>Área Total:</i>	320,21
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	472,50
	=
FF	0,68
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1230
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF ≤ 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF ≤ 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	61,17

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	334,68
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	192,11
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	201,60
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	168,68
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	897,07
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1230
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	26.481,45
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	0,00
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	8.259,42
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	18222,03
	/
Área Útil de pavimento (m²)	175
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	104,13
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	61,17

Folha de Cálculo FCV.1a

Perdas					
Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	165,53 (W/°C)			
		+			
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00 (W/°C)			
		+			
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00 (W/°C)			
		+			
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	201,60 (W/°C)			
		+			
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	163,68 (W/°C)			
		=			
Perdas específicas totais	(Q1a)	535,81 (W/°C)			
Zona climática		<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">V</td> <td style="padding: 2px 10px;">1</td> <td style="padding: 2px 10px;">S</td> </tr> </table>	V	1	S
V	1	S			
Temperatura interior de referência		25 (°C)			
		-			
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		21 (°C)			
		=			
Diferença de temperatura interior-exterior		4 (°C)			
		x			
<i>Perdas específicas totais</i>	(Q1a)	535,81 (W/°C)			
		x			
		2,928			
		=			
Perdas térmicas totais	(Q1b)	6275,41 (kWh)			

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

Orientação		POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL																
Tipo de Vidro		N	N	N	S	S	S	E	E	E	E	E	W	W	W	W	-	
		Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	-
Área, A (m ²)	3	3	3	3	3	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3	3	3	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fg ⁽²⁾	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	0,52	0,52	0,52	0,49	0,49	0,49	0,49	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de anefec. (kWh/m ²) (Quadro II.9)	200	200	200	380	380	380	380	420	420	420	420	420	430	430	430	430	430	0
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	104,42	104,42	104,42	186,73	186,73	186,73	186,73	232,19	232,19	232,19	232,19	232,19	237,71	237,71	237,71	237,71	237,71	0,00
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

FOR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Tipo de Vidro	FOR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL															
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Área, A (m ²)	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fg ⁽²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de anefec. (kWh/m ²) (Quadro II.9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TOTAL																	
2619,78																	
(kWh)																	

(1) Para dispositivos de sombreamento móveis, considera-se a soma de 30% do factor solar do vidro (Tabela IV.4) e 70% do factor solar do envidraçado com a protecção solar móvel instalada (Quadro V.4)

(2) Para a estação de anefecimento o factor de obstrução, Fg, é obtido pelo produto FV dos Quadros V.1 e V.2 (FV=1)

Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)		4	
		x	
Área útil de pavimento (m^2)		175	
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos totais		2049,60	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	2619,78	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	943,10	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	2049,60	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		5612,47	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="5612,47"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="6275,41"/> (kWh)
	=
γ	<input type="text" value="0,89"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Média"/>
<hr/>	
	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0,76"/>
	=
	<input type="text" value="0,24"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="5612,47"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="1340,06"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text" value="0"/> ($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="1340,06"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m^2)	<input type="text" value="175,00"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	<input type="text" value="7,66"/> (kWh/ m^2 .ano)
	≤
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	<input type="text" value="22"/> (kWh/ m^2 .ano)

Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da
Água Quente Sanitária (Nac)

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	5	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	200	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, ΔT	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, Q_a	3820,64	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, η_a	0,5	
	=	
	7641,28	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E_{solar}	0,00	
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E_{ren}	0	
	=	
	7641,28	
	/	
Área útil de pavimento, A_p	175	(m ²)
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, Nac	43,66	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, Na	33,79	(kWh/m ² .ano)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	[	0,1	
	x		
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic	(	104,13	(kWh/m ² .ano)
	-		
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, E solar	)	0	
	/		
Área útil de pavimento, Ap	)	175	
)		
	/		
Eficiência de conversão do sistema de aquecimento, η_i	)	1	
	x		
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	)	0,29	(kgep/kWh)
	+		
	)	0,1	
	x		
Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc	)	7,66	(kWh/m ² .ano)
	/		
Eficiência de conversão do sistema de arrefecimento, η_v	)	3	
	x		
Factor de conversão F_{pv} entre energia útil e energia primária	)	0,29	(kgep/kWh)
	+		
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, Nac	)	43,66	(kWh/m ² .ano)
	x		
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	)	0,086	(kgep/kWh)
	=		
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc	)	6,05	(kgep/m ² .ano)
	≤		
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, Nt	)	5,31	(kgep/m ² .ano)
sabendo que:			
{	Necessidades nominais de aquec. máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	61,2	
	Necessidades nominais de arref. máximas - Nv (kWh/m ² .ano)	22,0	
	Limite máximo das necessides para preparação da AQS, Na (kWh/m ² .ano)	33,8	

9.3. Anexo 3

Alterações e resultados dos casos 9.1 e 9.2

➤ Alterações para o caso 9.1

Ficou provado no 9º caso que o aumento da dimensão dos vãos pode ser benéfico se for acompanhado de um melhoramento das suas características. No presente caso, tenta-se avaliar até que ponto esta afirmação é verdadeira. Como tal, foram estas as medidas escolhidas para os vãos deste caso:

- Dimensão dos vãos,

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Caso 9.1	2	2,5	9	5
Diferença	0,5	0,5	2	2

- Características térmicas dos vãos,

Caso	Número de janelas	Tipo de caixilharia	Número de vidros	Espessura da caixa-de-ar entre os vidros (mm)	Permeabilidade ao ar do dispositivo de oclusão nocturna	Coefficiente (U) da solução (W/m ² .°C)
Primeiro caso	Uma	Metálica sem corte térmico	Um	(---)	Elevada	4,8 ^{(*)1}
Caso 9.1	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	2,8 ^{(*)2}

(*)1 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

(*)2 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

Caso	Classe de permeabilidade ao ar
Primeiro caso	“Sem classificação”
Caso 9.1	Classe 1

Caso	Factor solar do vidro	Factor solar do vão envidraçado ^(*)	Factor solar do vão a utilizar durante o Inverno	Factor solar do vão a utilizar durante o Verão
Primeiro caso	0,85	0,10	0,70	0,325
Caso 9.1	0,75	0,07	0,63	0,274

(*) – Com a protecção 100% activada.

➤ Resultados do caso 9.1

Apresenta-se de seguida uma síntese dos resultados para o caso 9.1:

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)
Primeiro caso	334,68	192,11	201,60
Caso 9.1	311,64	187,36	196,00
Diferença	23,04	4,75	5,60

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Caso 9.1	855,64	25258,56	10521,60	14736,96
Diferença	41,43	1222,89	(-) 2262,18	3485,07

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Caso 9.1	5681,92	715,33	3681,12	6446,05	1,13	2093,10
Diferença	593,49	227,77	(-) 1061,34	(-) 833,58	(---)	(-) 753,04

Continuamos a assistir a uma redução do N_{ic} , 19% desta vez, enquanto, como seria de esperar, o N_{vc} também continua a aumentar. Na globalidade este caso produziu uma redução de 8% do N_{tc} .

➤ Alterações para o caso 9.2

Tal como no caso anterior, no presente caso tenta-se avaliar até que ponto o aumento da dimensão dos vãos pode ser benéfico para a fracção. Como tal, foram estas as medidas escolhidas para os vãos deste caso:

- Dimensão dos vãos,

Caso	Altura (m)	Largura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Primeiro caso	1,5	2	7	3
Caso 9.2	2	3,5	11	7
Diferença	0,5	1,5	4	4

- Características térmicas dos vãos,

Caso	Número de janelas	Tipo de caixilharia	Número de vidros	Espessura da caixa-de-ar entre os vidros (mm)	Permeabilidade ao ar do dispositivo de oclusão nocturna	Coefficiente (U) da solução (W/m ² .°C)
Primeiro caso	Uma	Metálica sem corte térmico	Um	(---)	Elevada	4,8 ^{(*)1}
Caso 9.2	Uma	Metálica com corte térmico	Dois	16	Elevada	2,8 ^{(*)2}

(*)1 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

(*)2 – Valor retirado do anexo III do ITE-50 [7]

Caso	Classe de permeabilidade ao ar
Primeiro caso	“Sem classificação”
Caso 9.2	Classe 1

Caso	Factor solar do vidro	Factor solar do vão envidraçado ^(*)	Factor solar do vão a utilizar durante o Inverno	Factor solar do vão a utilizar durante o Verão
Primeiro caso	0,85	0,10	0,70	0,325
Caso 9.2	0,75	0,07	0,63	0,274

(*) – Com a protecção 100% activada.

➤ Resultados do caso 9.2

Apresenta-se de seguida uma síntese dos resultados para o caso 9.2:

- Necessidades de aquecimento,

Caso	Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)
Primeiro caso	334,68	192,11	201,60
Caso 9.2	301,66	189,80	274,40
Diferença	33,02	2,31	(-) 72,80

Caso	Coefficiente global de perdas (W/°C)	Necessidades brutas de aquecimento (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	897,07	26481,45	8259,42	18222,03
Caso 9.2	926,51	27350,58	13169,54	14181,04
Diferença	(-) 29,44	(-) 869,13	(-) 4910,12	4040,99

- Necessidades de arrefecimento,

Caso	Perdas térmicas totais (kWh)	Ganhos solares pela envolvente opaca (kWh)	Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	Ganhos térmicos totais (kWh)	Cociente entre ganhos e perdas (γ)	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)
Primeiro caso	6275,41	943,10	2619,78	5612,47	0,89	1340,06
Caso 9.2	6319,28	586,45	5153,57	7789,62	1,23	2779,04
Diferença	(-) 43,87	356,65	(-) 2533,79	(-) 2177,15	(---)	(-) 1438,98

Continuamos a assistir a uma redução do N_{ic} , 22% desta vez, enquanto, como seria de esperar, o N_{vc} também continua a aumentar. Na globalidade este caso produziu uma redução de 8,5% do N_{ic} .

Conclui-se por estes dois resultados, que a dimensão dos vãos pode mesmo ultrapassar o dobro da original e mesmo assim este aumento continua a contribuir beneficemente para a fracção, isto desde que as características do vão sejam boas. Ou seja, quanto maior for o vão, melhores têm que ser as suas características para que este não represente um problema para a qualidade térmica da fracção.