



Avaliação da influência dos vãos envidraçados no desempenho termo-energético dos edifícios em reabilitações

António Dinis Fernandes Antunes

UMinho | 2018



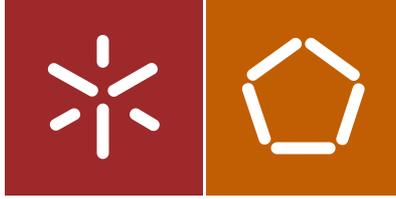
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

António Dinis Fernandes Antunes

Avaliação da influência dos vãos envidraçados  
no desempenho termo-energético dos edifícios  
em reabilitações

novembro de 2018





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

António Dinis Fernandes Antunes

Avaliação da influência dos vãos envidraçados  
no desempenho termo-energético dos edifícios  
em reabilitações

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão



## **AGRADECIMENTOS**

Depois de olhar para trás e ver o caminho percorrido, suspeito que não seria de todo mais fácil se o tivesse feito sozinho. Assim, para estar nesta fase do ciclo de estudos, contei com o apoio de algumas pessoas que me acompanharam e apoiaram mais de perto, agradeço:

Aos meus pais pelo apoio que prestaram, em especial pelo tempo disponibilizado para os netos.

À minha esposa, pelo apoio que me foi dando ao longo destes anos.

Aos meus filhos Simão e Matilde pelo carinho e paciência demonstrados.

Ao meu orientador, professor Dinis Leitão, pois foi prestável e sempre disposto a contribuir para ultrapassar as dificuldades que se foram atravessando no caminho.

Aos meus amigos e colegas de curso, alguns em especial, pela força de ultrapassar as dificuldades e partilha do conhecimento.



## RESUMO

O termo desenvolvimento sustentável representa nos dias de hoje um certo grau de preocupação no comportamento das sociedades. Essa preocupação traduz a procura de um desenvolvimento económico capaz de permitir um equilíbrio social e um mínimo impacto ambiental. Está associada ao desenvolvimento de todas as atividades económicas, ao consumo de energias, na sua maioria de proveniência fóssil, impactantes no meio ambiente por meio da libertação de gases com efeito de estufa.

O setor da indústria da construção português é um grande consumidor destas energias, tanto na fase de construção nova, como em fase de uso dos edifícios. Portugal apresenta um parque habitacional extenso, pouco eficiente energeticamente e com elevado potencial de reabilitação. Entende-se que o problema das alterações climáticas seja um sinal para que se tenha mais respeito pelo ambiente, para que se deixe de olhar para a terra, mas antes para o céu aproveitando a energia solar menos poluente e mais económica do ponto de vista da exploração.

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar o quanto podem ser minimizados os consumos energéticos, referentes às necessidades de aquecimento e arrefecimento do ambiente dos edifícios com recurso ao aproveitamento da energia solar passiva. Foram elaboradas duas análises, a primeira consistiu em avaliar o comportamento dos índices energéticos por meio da variação das áreas dos envidraçados por orientação, e a segunda teve como objetivo atingir o mínimo consumo energético por meio do ajuste nos parâmetros (área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar) dos vãos envidraçados por orientação.

Os resultados da aplicação das duas análises indicam que, para a primeira, um incremento na área dos vãos envidraçados a norte, mantendo tudo o resto constante, conduz a uma minimização das necessidades aquecimento. Relativamente à segunda análise constata-se que o ajuste por meio de simulações dos parâmetros anteriormente referidos conduzem a benefícios energéticos, ambientais e económicos.

Palavras-Chave: reabilitação de edifícios, eficiência energética, vãos envidraçados, fator de orientação



## **ABSTRACT**

Nowadays, the term sustainable development is stirring a certain degree of concern in the behaviour of societies. This concern embodies the search for economic development aimed at attaining a social balance and a minimum environmental impact. It is associated with the development of all economic activities, the consumption of energies, mostly of fossil origin, which are impacting the environment through the release of greenhouse gases.

The Portuguese construction industry is a major consumer of these energies, both in the new construction phase and in the actual usage of the buildings. Portugal boasts extensive housing constructions, which are not quite energetically efficient yet highly potential in terms of rehabilitation. It is clear that the problem of climate change is a sign that there should be more respect for the environment, and that we should not look to the earth but rather to the sky to take advantage of solar energy which pollutes less and is cheaper from the point of view of exploitation.

The main goal of this dissertation is to evaluate how much energy consumption can be minimized, with special reference to the heating and cooling requirements associated with building environments by using passive solar energy. Therefore, two analyses were carried out accordingly; the first one consisted of evaluating the behaviour of the energy indexes through the variation of the glazing areas by orientation, while the second one was aimed at achieving minimum energy consumption by adjusting the parameters (area, thermal transmittance coefficient and solar factor solar) of the glazed spans by orientation.

In the first case, the two analyses indicate that there was an increase in the area of glazed spans orientated to the North, while keeping everything else constant and thus leading to a minimization of heating requirements. As regards the second analysis, it is worth stressing that the adjustment by means of simulations of the above parameters actually leads to energy, environmental and economic benefits.

Keywords: building rehabilitation, energy efficiency, glazed spans, orientation factor



## ÍNDICE

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Enquadramento.....                                                                                 | 1   |
| 1.1 Introdução .....                                                                                  | 1   |
| 1.2 Objetivos .....                                                                                   | 4   |
| 1.3 Metodologia adotada.....                                                                          | 4   |
| 1.4 Estrutura da dissertação .....                                                                    | 7   |
| 2. Revisão Bibliográfica.....                                                                         | 9   |
| 2.1 Desenvolvimento sustentável .....                                                                 | 9   |
| 2.2 Caracterização do parque habitacional construído em Portugal .....                                | 13  |
| 2.3 Consumo de energias no edificado português .....                                                  | 20  |
| 2.4 Impactos ambientais gerados pelos edifícios.....                                                  | 25  |
| 2.4.1 Edifícios novos .....                                                                           | 26  |
| 2.4.2 Conservação e uso dos edifícios.....                                                            | 27  |
| 2.4.3 Reabilitação .....                                                                              | 29  |
| 2.5 Medidas de incentivo ao desenvolvimento sustentável .....                                         | 31  |
| 3. Caso de estudo.....                                                                                | 43  |
| 3.1 Apresentação do caso de estudo .....                                                              | 43  |
| 3.1.1 Caracterização física do edifício.....                                                          | 43  |
| 3.1.2 Enquadramento climático .....                                                                   | 49  |
| 3.1.3 Caracterização dos espaços e envolventes .....                                                  | 53  |
| 3.1.4 Parâmetros de caracterização térmica.....                                                       | 59  |
| 3.1.5 Índices energéticos .....                                                                       | 75  |
| 3.2 Limitações e fronteiras.....                                                                      | 79  |
| 4. Aplicação da 1ª análise (Necessidades energéticas função área dos vãos).....                       | 85  |
| 4.1 Identificação de problemas .....                                                                  | 90  |
| 4.2 Proposta de correção dos parâmetros regulamentares .....                                          | 94  |
| 5. Aplicação da 2ª análise (Necessidades energéticas função área, <b>U</b> e <b>gL</b> dos vãos)..... | 103 |
| 6. Análise e discussão de resultados 1ª e 2ª análise .....                                            | 113 |
| 6.1 Resultados 1ª análise.....                                                                        | 113 |
| 6.2 Resultados 2ª análise.....                                                                        | 114 |

|       |                                                                  |     |
|-------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.1 | Otimização energética.....                                       | 115 |
| 6.2.2 | Análise do impacto ambiental (CO <sub>2</sub> ) .....            | 117 |
| 6.2.3 | Análise do impacto económico .....                               | 118 |
| 7.    | Conclusões finais e trabalhos futuros .....                      | 123 |
| 7.1   | Conclusões.....                                                  | 123 |
| 7.2   | Desenvolvimentos futuros.....                                    | 126 |
| 8.    | Bibliografia.....                                                | 127 |
|       | Anexo I – Parâmetros caracterização térmica (Estado atual) ..... | 131 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Estado: Edifício atual.....                                                                                                                                   | 6  |
| Figura 2 - Estado: Pós reabilitação .....                                                                                                                                | 6  |
| Figura 3 - Estado: Pós otimização .....                                                                                                                                  | 6  |
| Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa setor indústrias transformadoras e construção .....                                                                    | 12 |
| Figura 5 - Número de edifícios clássicos segundo época de construção do edifício.....                                                                                    | 14 |
| Figura 6 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal .....                                                                        | 15 |
| Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos.....                                                                                            | 15 |
| Figura 8 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício.....                                       | 16 |
| Figura 9 - Constituição das paredes por época .....                                                                                                                      | 16 |
| Figura 10 - Tipos de envidraçados no edificado Português.....                                                                                                            | 17 |
| Figura 11 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes, por época de construção do edifício .....                           | 17 |
| Figura 12 - Distribuição de edifícios clássicos segundo tipo de cobertura, por época de construção do edifício.....                                                      | 18 |
| Figura 13 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício.....                                                | 19 |
| Figura 14 - Número de fogos concluídos em obras de construção nova e reabilitação .....                                                                                  | 20 |
| Figura 15 - Evolução da Dependência Energética de Portugal (%) .....                                                                                                     | 21 |
| Figura 16 - Consumo de energia primária por fonte energética .....                                                                                                       | 21 |
| Figura 17 - Consumo de energia por tipo de setor consumidor em Portugal .....                                                                                            | 22 |
| Figura 18 - Evolução do consumo energético no setor residencial .....                                                                                                    | 23 |
| Figura 19 - Consumo de energia no setor residencial por tipo de utilização.....                                                                                          | 23 |
| Figura 20 - Ciclo de vida energético dos materiais de construção .....                                                                                                   | 26 |
| Figura 21 - Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento disponível, por época de construção ..... | 29 |
| Figura 22 - Local ideal para construção tendo em conta fatores de localização .....                                                                                      | 38 |
| Figura 23 - Orientação dos edifícios estação inverno.....                                                                                                                | 38 |
| Figura 24 - Orientação dos edifícios estação verão.....                                                                                                                  | 39 |
| Figura 25 - Orientação arquitetónica dos espaços .....                                                                                                                   | 40 |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 26 - Representação esquemática das linhas de temperatura (verão e inverno) em duas paredes de igual resistência térmica, sem e com isolamento ..... | 41 |
| Figura 27 - Planta piso 0 .....                                                                                                                            | 44 |
| Figura 28 - Planta piso 1 .....                                                                                                                            | 44 |
| Figura 29 - Planta de cobertura .....                                                                                                                      | 45 |
| Figura 30 - Alçado norte .....                                                                                                                             | 45 |
| Figura 31 - Alçado sul.....                                                                                                                                | 46 |
| Figura 32 - Alçado este .....                                                                                                                              | 46 |
| Figura 33 - Alçado oeste .....                                                                                                                             | 46 |
| Figura 34 - Parede exterior tipo 1 .....                                                                                                                   | 46 |
| Figura 35 - Parede exterior tipo 2 .....                                                                                                                   | 46 |
| Figura 36 - Ponte térmica plana .....                                                                                                                      | 47 |
| Figura 37 - Pormenor vão envidraçado.....                                                                                                                  | 47 |
| Figura 38 - Cobertura interior .....                                                                                                                       | 47 |
| Figura 39 - Pavimento interior .....                                                                                                                       | 47 |
| Figura 40 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno e Verão.....                                                                                 | 50 |
| Figura 41 - Piso 0, Espaços úteis e não úteis .....                                                                                                        | 53 |
| Figura 42 - Piso 1, Espaços úteis e não úteis .....                                                                                                        | 54 |
| Figura 43 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis .....                                                                                    | 56 |
| Figura 44 - Planta piso 1, envolvente.....                                                                                                                 | 57 |
| Figura 45 - Cote AA', envolvente .....                                                                                                                     | 58 |
| Figura 46 - Corte BB', envolvente .....                                                                                                                    | 58 |
| Figura 47 - Corte CC', envolvente .....                                                                                                                    | 59 |
| Figura 48 - Identificação de elementos verticais da envolvente .....                                                                                       | 61 |
| Figura 49 - Identificação de elementos horizontais da envolvente.....                                                                                      | 61 |
| Figura 50 - Ligação fachada com caixilharia.....                                                                                                           | 64 |
| Figura 51 - Ligação fachada com cobertura.....                                                                                                             | 64 |
| Figura 52 - Ligação fachada com o exterior ou ENU .....                                                                                                    | 64 |
| Figura 53 - Ligação de duas paredes verticais em angulo saliente .....                                                                                     | 64 |
| Figura 54 - Identificação de elementos construtivos para cálculo da inércia térmica interior ..                                                            | 68 |
| Figura 55 - Angulo de horizonte $\alpha$ .....                                                                                                             | 70 |
| Figura 56 - Exemplos de medição do ângulo $\alpha$ de palas .....                                                                                          | 71 |
| Figura 57 - Exemplos de medição do ângulo ( $\beta$ ) de palas verticais .....                                                                             | 72 |
| Figura 58 - Comparativo das necessidades de aquecimento.....                                                                                               | 82 |

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 59 - Comparativo das necessidades de arrefecimento .....                                                                                    | 82  |
| Figura 60 - Comparativos das necessidades totais .....                                                                                             | 83  |
| Figura 61 - Quadro de apoio 1 .....                                                                                                                | 86  |
| Figura 62 - Valores de <i>Nic</i> , função da variação da área dos envidraçados a norte.....                                                       | 89  |
| Figura 63 - Valores de <i>Nvc</i> função da variação da área dos envidraçados a norte.....                                                         | 90  |
| Figura 64 - Valores de <i>Nic</i> , com <i>Qsol, i</i> ( <i>Xj</i> - vários) .....                                                                 | 100 |
| Figura 65 - Fluxograma de processos da aplicação da 2ª análise .....                                                                               | 104 |
| Figura 66 - Valores do índice <i>Nic</i> por simulação .....                                                                                       | 108 |
| Figura 67 - Valores do índice - <i>Nvc</i> por simulação .....                                                                                     | 109 |
| Figura 68 - Valores do índice - <i>Ntc</i> por simulação.....                                                                                      | 110 |
| Figura 69 - Comparativo dos índices energéticos .....                                                                                              | 111 |
| Figura 70 - Progressão da metodologia, valores de áreas, coeficiente de transmissão térmica e fatores solares .....                                | 112 |
| Figura 71 - Comparação do somatório dos consumos energéticos para efeitos de aquecimento e arrefecimento, entre os vários estados do edifício..... | 116 |
| Figura 72 - Comparativo de emissões de (kgCO <sub>2</sub> ), entre os vários estados do edifício.....                                              | 118 |
| Figura 73 - Comparação de custos com energia para a efeitos de aquecimento e arrefecimento entre os vários estados do edifício.....                | 119 |
| Figura 74 - Custos acumulados, custo inicial de investimento e anual energético por estado do edifício.....                                        | 121 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Tabela resumo coeficiente transmissão térmica das soluções da envolvente .....                                                                           | 48  |
| Tabela 2 - Tabela resumo coeficiente redutor de perdas <i>btr</i> das soluções da envolvente.....                                                                   | 49  |
| Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno.....                                                                                          | 50  |
| Tabela 4 - Critérios para a determinação da zona climática de verão .....                                                                                           | 50  |
| Tabela 5 - Cálculo do número de graus dia estação aquecimento (Inverno).....                                                                                        | 51  |
| Tabela 6 - Cálculo da temperatura média exterior estação de arrefecimento (Verão) .....                                                                             | 52  |
| Tabela 7 - Determinação do Coeficiente de redução de perdas, <i>btr</i><br>.....                                                                                    | 56  |
| Tabela 8 - Coeficiente transmissão térmica U por elemento.....                                                                                                      | 62  |
| Tabela 9 - Ponte térmica linear $\psi$ .....                                                                                                                        | 65  |
| Tabela 10 - Classe inercia térmica.....                                                                                                                             | 67  |
| Tabela 11 - Quadro resumo dos índices de verificação regulamentar do edifício original .....                                                                        | 78  |
| Tabela 12 - Intervalo de valores de <i>Rnt</i> , para a determinação da classe energética em pré-<br>certificados e certificados SCE de modelo tipo habitação ..... | 78  |
| Tabela 13 - Coeficiente transmissão térmica elementos opacos verticais.....                                                                                         | 80  |
| Tabela 14 - Coeficiente transmissão térmica elementos não opacos verticais.....                                                                                     | 80  |
| Tabela 15 - Coeficiente transmissão térmica elementos opacos horizontais.....                                                                                       | 80  |
| Tabela 16 - Quadro resumo dos índices de verificação regulamentar do edifício com alterações<br>na envolvente.....                                                  | 81  |
| Tabela 17 - Quadro ITeCons 1, Vãos envidraçados exteriores .....                                                                                                    | 87  |
| Tabela 18 - Quadro ITeCons 2, Paredes exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas<br>planas.....                                                              | 87  |
| Tabela 19 - Quadro ITeCons3 .....                                                                                                                                   | 88  |
| Tabela 20 - Quadro de apoio 2 .....                                                                                                                                 | 88  |
| Tabela 21 - Fator de orientação para diferentes exposições, $x_j$ .....                                                                                             | 94  |
| Tabela 22 - Cálculo das perdas e ganhos energéticos, com variação na fachada orientada a Norte<br>.....                                                             | 95  |
| Tabela 23 - Cálculo da área efetiva coletora com imposição do parâmetro $x_j$<br>.....                                                                              | 97  |
| Tabela 24 - Valores de <i>Nic</i> , com $Q_{sol, i} (X_j (0.23))$ .....                                                                                             | 99  |
| Tabela 25 - Valores iniciais dos parâmetros (área dos vãos, <i>U</i> e <i>gL</i> ) .....                                                                            | 105 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 26 - Extrato de tabela Combinações de valores dos parâmetros vãos envidraçados .     | 105 |
| Tabela 27 - Tabela otimização .....                                                         | 106 |
| Tabela 28 - Extrato de tabela resumo dos valores simulados e índices energéticos obtidos .  | 107 |
| Tabela 29 - Valores dos vários parâmetros, para os vários estados do edifício em estudo ... | 114 |
| Tabela 30 - Análise de investimento.....                                                    | 120 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

|               |                                                                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CMMAD         | Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento                                                           |
| DL            | Decreto Lei                                                                                                       |
| ENDS          | Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável                                                                |
| ENU           | Espaços não úteis                                                                                                 |
| ETIC          | External Thermal Insulation Composite Systems                                                                     |
| EU            | União Europeia                                                                                                    |
| ICESD         | Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico                                                                |
| Mtep          | Milhões tonelada equivalente petróleo                                                                             |
| NUTS          | Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos                                                     |
| ODS           | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável                                                                          |
| ONG           | Organizações não governamentais                                                                                   |
| ONU           | Organização das Nações Unidas                                                                                     |
| P. P          | Pontos percentuais                                                                                                |
| PNAER         | Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis                                                                |
| REH           | Regulamento das características do comportamento térmico de edifícios de habitação                                |
| U             | Coefficiente de transmissão térmica                                                                               |
| $E_{ren}$     | Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)                                     |
| $E_{ren,AQS}$ | Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano)                                    |
| $E_{ren,ext}$ | Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)                                        |
| $N_{ic}$      | Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)                           |
| $N_{tc}$      | Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)                                |
| $N_{vc}$      | Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)                         |
| $Q_a$         | Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)" |
| $W_{vm}$      | Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)                                           |
| $\psi$        | Coefficiente de transmissão térmica linear                                                                        |



# 1. ENQUADRAMENTO

## 1.1 Introdução

O Ser Humano é considerado um inquilino do planeta, consumindo deste os seus recursos na procura por melhores condições de mobilidade e de habitabilidade. Existiu em tempos passados uma falta de consciência no que toca a uma gestão dos recursos disponíveis, o seu consumo desregrado era sustentado pela ideia de recursos infindáveis. Esta prática tem vindo a alterar-se à medida que as preocupações ambientais se tornam a realidade de tempos presentes.

As evoluções, tanto dos processos produtivos como dos padrões de consumo, aplicam uma pressão cada vez mais intensa sobre as condições que tem o planeta de sustentar a vida. Esses processos interativos afetam o equilíbrio natural da terra, da água, do ar, assim como a disponibilidade energética e de outros recursos. Percebe-se assim a necessidade de desenvolver estratégias para mitigar tanto o impacto adverso das atividades humanas sobre o meio ambiente face ao impacto adverso das mudanças ambientais sobre as populações humanas. Prevê-se um crescimento demográfico tal que, em 2020, a população mundial ultrapasse os oito bilhões de habitantes (Silva, 2003). Esta última observação acrescida da constatação de uma maior longevidade, acrescenta um fator de urgência na implementação de medidas decorrentes da consciência ambiental.

Arana (2016) entende que, associada à questão do crescimento populacional mundial, surge uma outra questão de grande relevância ambiental, o inevitável aumento da industrialização de itens necessários à sobrevivência humana, pois será preciso construir centenas de milhões de moradias, hospitais e escolas além de criar empregos para toda esta multidão. Consequentemente, a necessidade da criação de habitação para o aumento populacional implica uma crescente corrida à extração dos recursos naturais e impermeabilização dos solos para que se possa satisfazer as condições de habitabilidade ao invés de reabilitar o edificado existente.

Contudo, constata-se que Portugal apresenta uma situação atual de recessão demográfica com um saldo natural negativo em 2013 de 23,8%, valor que tem vindo a crescer desde 2008, último ano em que este indicador foi positivo, com o valor de 0,3%. Igualmente, o saldo migratório

tem vindo a reduzir-se desde 2009, apresentando-se negativo desde 2011, com o valor de 24,3% (Urbana, 2015)

É importante atender ainda que, em 2016, o número de edifícios licenciados em Portugal cresceu 10,9% face ao ano anterior (-3,7% em 2015), tendo sido licenciados 16 738 edifícios, alterando assim a tendência de decréscimo dos últimos anos (INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2016, 2016).

Os edifícios licenciados para construção nova continuaram a ser predominantes em 2016, representando 64,3% do total de edifícios licenciados, verificando-se um ligeiro aumento face a 2015 em que este tipo de obra representava 63,8% do total (INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2016, 2016).

As obras para reabilitação de edifícios (obras de alteração, ampliação e reconstrução de edifícios), apresentaram em 2016 um peso de 27,6%, inferior ao ano anterior 28,4%. As obras de demolição representaram 8,1% das obras licenciadas em 2016 (7,8% em 2015) (INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2016, 2016).

Pelos factos apresentados constata-se a tendência para a redução demográfica acompanhada pela preferência em construção nova em vez da reabilitação. Trata-se inegavelmente de um excesso de construção para satisfazer a procura.

Segundo os censos de 2011 existiam 735128 habitações vagas, número que era de 373950 em 1970, ou seja, um aumento quase para o dobro. Mas se se comparar este indicador com o dos censos de 1981 (190331 alojamentos vagos) verifica-se que quadruplicaram os fogos vagos nos últimos 30 anos (INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2016, 2016).

Pelos factos apresentados, entende-se que seja hora de agir, tomar a reabilitação de edifícios como um caminho a seguir poupando recursos naturais do planeta, assegurando uma gestão eficiente do uso do solo e minimizando os impactos ambientais.

Segundo (INE, Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010, 2011) a idade dos alojamentos afeta o consumo de energia, uma vez que nos edifícios mais antigos as perdas de energia são maiores, tornando-se assim a época de construção uma variável de extrema

importância na análise do consumo de energia no parque habitacional, tendo em conta as políticas e medidas que têm sido adotadas no que se refere à eficiência energética.

Verifica-se que, a nível nacional, a utilização de isolamentos térmicos nas janelas ainda é reduzida, dado que os alojamentos, nas suas diferentes fachadas, apresentam maioritariamente “vidros simples” (superior a 70%).

Nas paredes e cobertura, verifica-se que ainda é reduzido o grau de utilização deste importante contributo para a eficiência energética dos edifícios. Apenas 21,1% dos alojamentos têm isolamento nas paredes exteriores e, entre os alojamentos que se localizam no último piso (moradas e apartamentos localizados no último andar), cerca de 17% têm isolamento na cobertura.

Assim, reveste-se de particular importância que o conhecimento atualizado do estado do parque habitacional português seja um fator decisivo nas futuras tomadas de decisão, no âmbito da alternativa à construção nova.

A aplicação de medidas de reabilitação adequadas no âmbito da eficiência energética, permitirá a um parque habitacional como o descrito, diminuir a sua dependência do setor energético, contribuir ainda para uma redução do impacto ambiental e económico.

O uso de tecnologias solares passivas pode contribuir de forma significativa para uma minimização dos consumos energético das habitações, já os antepassados se aproveitavam destas para auferirem conforto.

Torna-se necessário apelar a todos os intervenientes decisores no ato de projeto de uma reabilitação, que é sempre possível melhorar e sugerir alternativas às opções tomadas no projeto inicial, recorrendo a tecnologias solares passivas. Pode ser uma forma de promover uma reabilitação energética adequada, tornando edifícios não eficientes em edifícios menos consumidores de energia e, conseqüentemente, contribuindo para uma descarbonização da economia e racionalização dos recursos naturais.

## **1.2 Objetivos**

A realização deste trabalho tem como objetivo principal perceber qual influência que poderá ter a variação dos vários parâmetros que dizem respeito aos vãos envidraçados, no comportamento térmico dos edifícios unifamiliares, com vista a redução do seu consumo energético.

Este trabalho tem como objeto de estudo um edifício construído na década de 80, para o qual se pretende analisar o desempenho energético antes e após a aplicação de medidas de melhoria (reabilitação). Esta análise será realizada segundo requisitos, parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético do REH, e terá como ferramenta a folha de cálculo fornecida pela IteCons de onde se espera obter os valores dos índices energéticos.

Interessa então perceber como os ganhos solares obtidos a partir dos vãos envidraçados poderão transformar-se em ganhos uteis. O consumo que visa o conforto térmico do edifício fica assim restrito às quantidades energéticas suficientes para suprir as diversas necessidades ao longo das estações. Pretende-se observar de que forma de comportam os índices energéticos, por meio da variação resultante das áreas dos vãos envidraçados tendo em conta a sua orientação solar

É ainda objetivo deste trabalho caracterizar o dimensionamento dos vãos envidraçados tendo em conta a conjugação da orientação solar e da variabilidade dos parâmetros que dizem respeito aos vãos envidraçados, nomeadamente: área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar, torna-se importante perceber se é possível minimizar os consumos energéticos e de que forma, tendo como uso tecnologias solares passivas obtidas através dos vãos envidraçados.

Pretende-se também realizar uma análise económica das soluções de melhoria propostas para o edifício em questão com o objetivo de interpretar qual a relação custo/benefício, tem também como interesse identificar possíveis reduções do impacto ambiental.

## **1.3 Metodologia adotada**

A metodologia proposta consiste, inicialmente, numa pesquisa bibliográfica seguida de aplicação de análises efetuadas a um caso prático de estudo. O processo desenvolve-se num quadro normativo, mas recorre a metodologias científicas experimentais na medida em que

assenta sobre um conjunto de simulações. O detalhe do processo consta nos capítulos 4 e 5 do presente documento.

A pesquisa bibliográfica integra os vários estudos que visam perceber quais as preocupações ambientais em matéria de eficiência energética, o porquê de o parque habitacional português apresentar elevados níveis de consumos energético, o que conduz a tais consumos, consequências e forma de serem minimizados.

O caso de estudo, incide sobre um edifício com características das construções dos anos 80. Tais edifícios não apresentam, na maioria, qualquer tipo de isolamento na sua envolvente: desde janelas com vidros simples, cobertura com uma estrutura de laje aligeirada e telha aplicada diretamente sobre a mesma, fachadas com panos duplos de alvenaria de tijolo vazado com uma caixa de ar sem qualquer isolamento revestidos a argamassa de cimento pelo exterior e ainda reboco estanhado no pano interior, pavimentos sem qualquer isolamento térmico.

A análise deste problema inclui várias etapas e recorre ao suporte de diversas ferramentas. Para o efeito, serão elaboradas folhas de calculo programadas que permitirão uma primeira análise térmica ao edifício no seu estado atual, identificando as necessidades energéticas tanto para a estação de arrefecimento como para a estação de aquecimento identificando ainda a sua classificação energética.

Prossegue a determinação de uma proposta de implementação com alternativas para a envolvente envidraçada (janelas) e envolvente opaca (paredes e coberturas), adotando para estes elementos da envolvente valores cumpridores dos limites regulamentares, Esta etapa representa o que na prática corrente se efetua em um projeto de reabilitação térmica de um edifício, a aplicação das próximas etapas pretendem construir uma ferramenta plausível de otimizar as alternativas tomadas em relação aos vãos envidraçados, reduzindo assim por aplicação desta as necessidades energéticas do edifício.

Posteriormente, aplica-se uma 1ª análise, com a qual será introduzida uma métrica, que traduza a variação resultante das áreas dos vãos envidraçados tendo em conta a sua orientação solar.

Dada a natureza dinâmica que se considera para a nova métrica aplica-se uma 2ª análise, com esta o processo passará por uma otimização até que se verifique um limite para a obtenção de ganhos solares na estação de arrefecimento sendo esta conjugada consequentemente com a

estação de aquecimento, pretendendo assim a obtenção de um valor mínimo para as necessidades totais de energia, por efeito da conjugação dos parâmetros área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar dos vãos envidraçados.

Numa fase posterior serão analisados os resultados que poderão conduzir a um benefício energético global do edifício tendo em conta as análises feitas, irá ser avaliado ainda o contributo ambiental e económico das análises elaboradas.

Conforme descrito anteriormente, o edifício passará por três estados de análise e quando se referir a:

- Estado atual: entenda-se que todos os dados apresentados dizem respeito ao edifício no seu estado atual
- Estado pós reabilitação: os dados apresentados dizem respeito ao edifício com a aplicação de medidas de melhoria (correção) ao nível da envolvente opaca e envidraçada, todas as opções tomadas a este nível encontram-se descritas no Subcapítulo (3.2);
- Estado pós otimização: os dados apresentados dizem respeito ao edifício com a aplicação de medidas de melhoria (correção) ao nível da envolvente opaca, onde todas as opções tomadas a este nível encontram-se descritas no Subcapítulo (3.2). Foram ainda aplicadas medidas de melhoria ao nível dos vãos envidraçados por meio do ajuste da área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar por orientação, descritas no Capítulo 5.

As Figuras 1,2 e3 pretendem demonstrar o encadeamento dos vários estados.

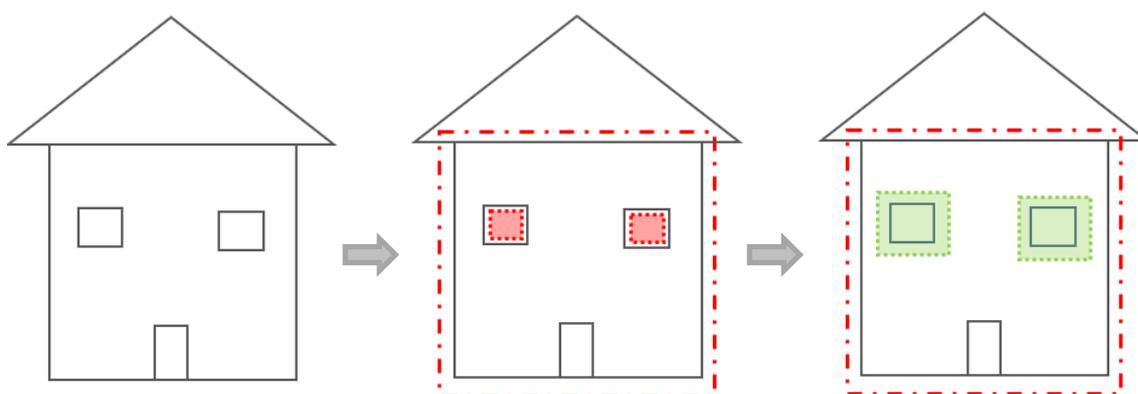


Figura 1 - Estado: Edifício atual

Figura 2 - Estado: Pós reabilitação

Figura 3 - Estado: Pós otimização

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em oito capítulos, de acordo com o seguinte.

O primeiro Capítulo, é dividido em quatro Subcapítulos, e tem como objetivo a apresentação geral do documento, contextualizar a problemática da eficiência energética dos edifícios portugueses, apresentar os objetivos propostos a atingir e apresentar uma organização desta dissertação ao leitor.

No segundo Capítulo, dividido em cinco subcapítulos, inicialmente aborda-se o conceito geral de desenvolvimento sustentável e os impactos ambientais associados à emissão de gases com efeito de estufa por efeito do uso de energias não renováveis em especial no setor da construção. Posteriormente, é caracterizado o parque habitacional nacional, identificando os seus consumos energéticos. Em seguida é descrito de que modo o setor da construção gera impactos ambientais, nos seus diversos estados, edifícios novos, conservação, utilização e reabilitação. No final deste capítulo apresentam-se exigências para atingir o desenvolvimento sustentável a nível Europeu, e as medidas que Portugal se propõem para as cumprir, identificando ainda aplicação de medidas ao nível de projeto possíveis de minimizar consumos energéticos e impactos ambientais gerados pelo setor habitacional.

É no terceiro Capítulo, dividido por dois Subcapítulos, que inicialmente se apresenta o caso de estudo que vai de encontro à problemática identificada, edifício com características tais que se suponha uma baixa eficiência energética. Caracteriza-se fisicamente o edifício, são abordadas questões como enquadramento climático, caracterização dos espaços e parâmetros de caracterização térmica, para a elaboração e análise energética do edifício no seu estado atual.

Posteriormente a isto, são identificadas e implementadas medidas de melhoria na envolvente deste edifício por forma a torná-lo regulamentar, o que na prática ocorre na elaboração de um projeto com a finalidade de melhorar e eficiência energética do edifício.

É no Capítulo quatro que se aplica a 1ª análise, uma vez tornado um edifício antirregulamentar do ponto de vista da eficiência energética em um edifício cumpridor energeticamente de um projeto de reabilitação classificação mínima (C), pretende-se entender de que forma a variação de áreas de vãos envidraçados influencia o comportamento das necessidades energéticas.

Usando uma abordagem de análise de sensibilidade apresenta-se no Capítulo cinco a 2ª análise que tem por objetivos simular parâmetros respeitantes aos vãos envidraçados tais como: áreas, coeficiente de transmissão térmica e fator solar por forma a obter um método que conduza à obtenção de valores mínimos para os índices energéticos.

O Capítulo seis, destina-se à análise e discussão dos resultados obtido por aplicação da 1ª e 2ª análise. Nesta discussão são abordados assuntos relacionadas com as variações do índice relativo às necessidades totais de energia primária, impactos ambientais gerados pela libertação do CO<sub>2</sub>, e ainda é abordada a questão económica segundo o período de retorno e a relação custo/benefício.

Apresenta-se na última secção, Capítulo sete, as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho, são abordados os principais resultados obtidos, e de que forma este trabalho contribui para a problemática abordada nesta dissertação, sendo ainda indicadas as condicionantes ou limites do estudo. Na parte final deste capítulo são indicadas algumas linhas orientadoras para possíveis melhorias e aperfeiçoamento do trabalho realizado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Desenvolvimento sustentável

Desenvolvimento sustentável nos dias de hoje é um termo que desperta grande inquietude na vida das nossas sociedades. Sachs (2017), entende o desenvolvimento sustentável como um exercício intelectual e tenta compreender as interações de três sistemas complexos: a economia mundial, a sociedade global e o ambiente físico da terra.

Segundo Barbosa (2008), pode-se dizer que o termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX.

Com base neste ponto, o termo de desenvolvimento sustentável já há algum tempo que é alvo de alguma preocupação e importância, apresenta-se na base desta preocupação, um desenvolvimento económico capaz de permitir um equilíbrio social e um mínimo impacto ambiental.

A Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), também conhecida como Comissão de Brundtland, apelidada de “Rio 92” desenvolveu um relatório fruto de análise e estudos durante três anos conhecido por “Nosso Futuro Comum”. Este relatório deu especial ênfase a questões sociais, como o uso da terra, a forma como a ocupamos, o crescimento urbano, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários.

Deste relatório ressalta uma definição de desenvolvimento sustentável muito referenciada por variadíssimos autores e pensadores do termo, “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”.

Segundo (Sachs citado por Barbosa, 2008) “o desenvolvimento sustentável obedece ao duplo imperativo ético da solidariedade com as gerações presentes e futuras, e exige a explicação de critérios de sustentabilidades social e ambiental e de viabilidade económica”. Acrescenta ainda

que “apenas as soluções que considerem estes três elementos, isto é, que promovam o crescimento económico com impactos positivos em termos sociais e ambientais, merecem a denominação de desenvolvimento.

No ano de 1998 o tema Sustentabilidade começou a evidenciar destaque em Portugal. Em 2002, Portugal em preparação para a Cimeira Mundial de Joanesburgo, e no seguimento dos compromissos assumidos no âmbito da Agenda 21, apresentou a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS). Em julho de 2004, foi apresentada uma nova proposta da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2005-2015), contemplando a versão de 2002 e integrando os três pilares do Desenvolvimento Sustentável (económico, social e ambiental).

A 1 de janeiro de 2016 entrou em vigor a resolução da Organização das Nações Unidas (ONU) intitulada “Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável”, constituída por 17 objetivos, desdobrados em 169 metas, que foi aprovada pelos líderes mundiais, a 25 de setembro de 2015, numa cimeira na sede da ONU, em Nova Iorque.

É uma Agenda com uma dimensão universal, a implementar por todos os países, e não apenas nos países em desenvolvimento, os 17 ODS (objetivos do desenvolvimento sustentável) alteraram, pois, a forma de abordar o desenvolvimento, ao:

- integrarem as 3 dimensões do desenvolvimento sustentável (económica, social e ambiental);
- assentarem em objetivos e metas universais a serem implementados por todos os países (e não apenas por países em desenvolvimento);
- terem uma maior dimensão de combate às desigualdades e promoção dos Direitos Humanos, como preocupação transversal a todos os ODS;
- implicarem uma nova dinâmica de conjugação de esforços de uma multiplicidade de atores, incluindo as ONG (organizações não-governamentais), o setor empresarial privado, a academia, parceiros sociais, e restantes membros da sociedade civil, não esquecendo também a cooperação entre o Parlamento, o Governo, autoridades regionais e autarquias locais.

O sucesso do crescimento económico, resulta da dependência dos combustíveis fósseis, bem como da sua capacidade de os explorar. Entende-se que o sistema económico mundial moderno, se desenvolve com recurso ao uso de energias destas energias, contribuindo de forma clara para um excessivo lançamento de quantidades de dióxido de carbono, inflacionando a real problemática das alterações climáticas (Sachs, 2017).

É de todo importante que o problema das alterações climáticas seja visto como um problema sério e uma forte ameaça ao sistema ambiental, por isso deva, na base do desenvolvimento económico, estar a preferência do uso por energias de fonte renovável contribuindo estas para a baixa dos níveis de emissões de dióxido de carbono.

Torna-se urgente substituir a queima destes combustíveis por combustíveis limpos com pouca ou nenhuma libertação de gases carbónicos causadores do efeito estufa e consequente aquecimento global. Os efeitos cumulativos poderão ser devastadores, se nada for feito, poderá ser tarde para inverter danos causados no meio ambiente.

Um dos grandes problemas associados à inversão da tendência dos consumos de bens e serviços está ligado com o setor energético. Esta resistência deve-se ao facto de que as empresas ligadas a este setor, exploradoras de petróleo, e gás estarem entre as maiores empresas em termos de receitas ao nível mundial.

Afirma Sachs (2017), que as grandes empresas de petróleo e gás estão entre as maiores empresas do mundo. Sete das dez maiores empresas de todo mundo em termos de receitas, no ano de 2013 segundo a classificação Global Fortune 500 eram empresas do setor energético.

O setor da construção é um dos setores com uma taxa de emissões consideráveis, estima-se que este setor represente 1/3 do total de todas as emissões de gases com efeito de estufa (Edificações, 2018). A habitação, ela própria é responsável por impactes ambientais significativos, em dois domínios distintos: tanto na construção como no seu período de utilização. Estas duas fases do ciclo de vida da habitação são geradoras de consumos de recursos e de emissões devidas, respetivamente, a determinados modos de edificar e de habitar.

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser

reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (Geologia, Direcção-Geral de Energia, 2018).

Segundo dados publicados no portal do Eurostat, em modo de comparação de emissões de gases com efeito de estufa no setor das indústrias transformadoras e construção, observa-se que Portugal, com o passar dos anos tende a acompanhar os valores das quantidades emitidas, em média, pela União Europeia, conforme poderá ser consultado através da Figura 4.

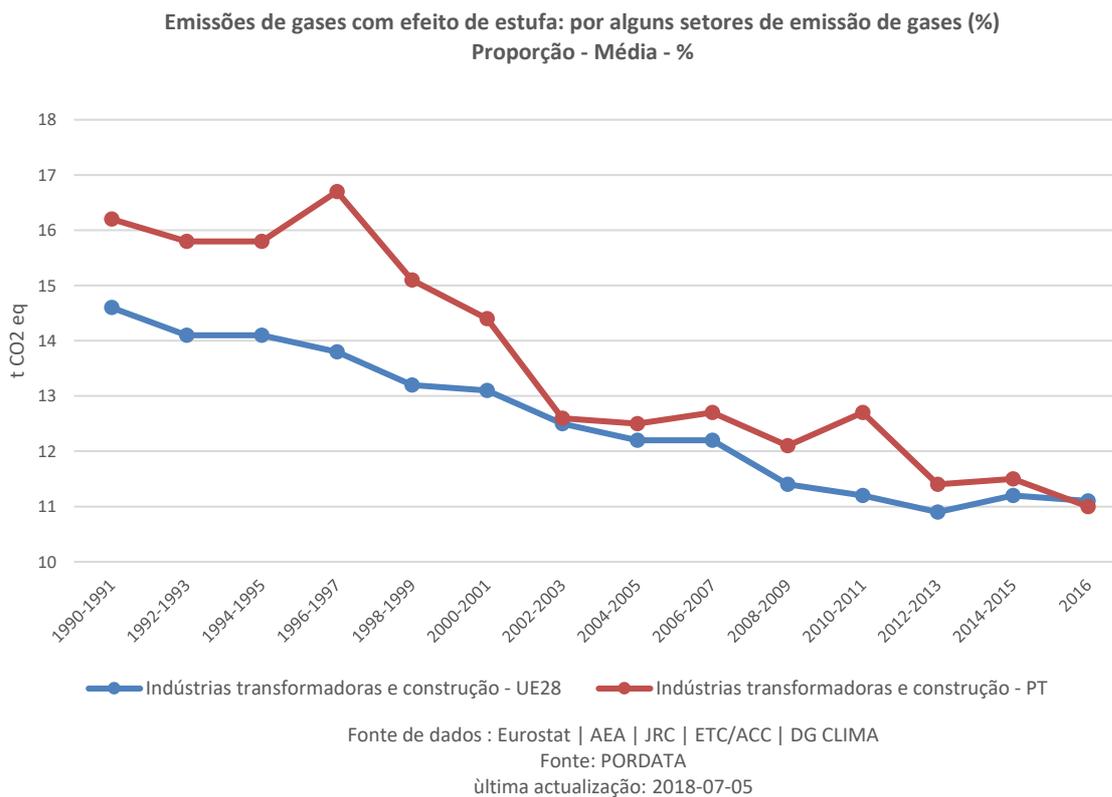


Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa setor indústrias transformadoras e construção

Com o objetivo da redução do consumo energético das áreas residenciais, esta pode ser conseguida com implementação de medidas de infraestruturização, adotando soluções de morfologia urbana e da conceção dos próprios edifícios de habitação. A estes níveis é possível conseguir otimizações significativas do uso de energia sem custos acrescidos, minimizando assim as emissões de gases com efeito de estufa e permitindo uma maior autonomia, qualidade e sustentabilidade da habitação. O projeto e a construção dos edifícios são parâmetros determinantes no seu desempenho energético. As trocas de calor, ganhos por radiação ou ganhos internos e perdas por transmissão, influenciam o conforto térmico em edifícios,

determinando grande parte dos consumos de energia necessários para garantir o conforto dos seus habitantes.

Ao nível da poupança energética poderão ser adotadas medidas de melhoria do desempenho energético de edifícios de habitação podendo recorrer-se a:

- estratégias solares passivas para proteção e conservação de ganhos energéticos: orientação e caracterização do edifício de forma a utilizar e conservar recursos energéticos naturais sem recorrer a dispositivos mecânicos;
- tecnologias renováveis para a produção de energia: utilização de elementos construtivos com a capacidade específica, fotoelétrica, química ou mecânica, de rentabilizar fontes renováveis naturais;
- sistemas de redução e gestão de consumos: utilização de sistemas integrados, automatizados ou não, de redução e controlo do consumo energético.

Estima-se que o ritmo de construção de nova habitação em Portugal deverá abrandar nos próximos anos, e que a prioridade passará a ser a reabilitação do extenso parque habitacional existente, tornando-os mais eficientes mitigando assim os excessivos consumos energéticos, bem como a importante racionalização do solo. As intervenções de reabilitação constituem uma oportunidade para dotar o parque habitacional existente de um melhor desempenho ambiental, consumindo assim menos recursos naturais

## **2.2 Caracterização do parque habitacional construído em Portugal**

A caracterização do parque habitacional português é importante na medida em que possibilita a identificação de problemas do ponto de vista construtivo, podendo vir a ser alvo de melhorias com o intuito de obter uma melhor eficiência energética, dado o enorme potencial de reabilitação urbana português.

Segundo INE (2018), no ano de 2017 existiam em Portugal cerca de 3,6 milhões de edifícios de habitação familiar clássica e 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos, o que representa um acréscimo de 0,19% e 0,16%, respetivamente, face ao ano anterior.

O panorama do parque habitacional português sofreu uma grande mudança nos últimos anos. Entre 1991 e 2011 foram construídos mais de 80 000 alojamentos por ano. Hoje Portugal

apresenta edifícios relativamente recentes, 63% dos edifícios existentes registados nos censos 2011 foram construídos após o ano de 1970, conforme dados apresentados pela Figura 5.

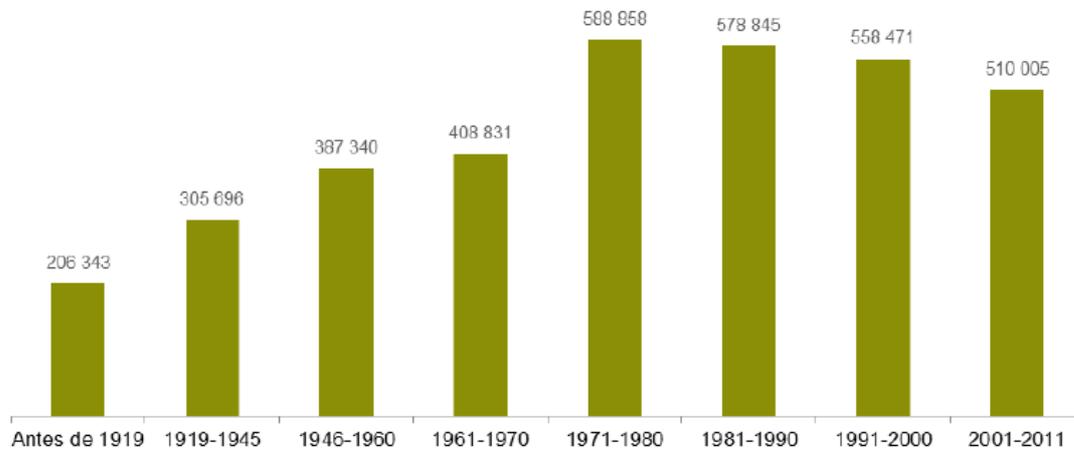


Figura 5 - Número de edifícios clássicos segundo época de construção do edifício, 2011 (Fonte: INE censos 2011)

A construção de uma habitação tem como objetivo alojar uma família, assim existe uma relação direta entre o número de famílias e o número de alojamentos familiares. Feita uma análise comparativa do que existe como alojamentos familiares e famílias é possível identificar eventuais desfasamentos entre a oferta de habitações e a procura.

Existe uma relação entre o número de famílias e alojamentos familiares. Dados recolhidos por uma análise do envelhecimento demográfico por regiões NUTS II e NUTS III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), em que as regiões se subdividem em sub-regiões estatísticas sem qualquer significado administrativo, cujo único objetivo é o de servirem para agrupar municípios contíguos, com problemas e desafios semelhantes), entre os anos 1991 e 2011 revelam duas grandes tendências: o envelhecimento demográfico profundo do interior do País e a maior juventude da população nas duas regiões autónomas e, de algum modo, em algumas regiões NUTS III situadas em torno do Grande Porto. Esta constatação, indica que houve uma redução demográfica nas últimas décadas registando-se em maior grau nas regiões interiores do País.

Relativamente ao número de alojamentos familiares, desde a década de 80, registou-se sempre superior em número ao crescimento do número de famílias. Entre 2001 e 2011 assistiu-se a uma desaceleração no crescimento do número de alojamentos, o crescimento do parque habitacional na última década foi, em termos absolutos, superior ao crescimento verificado nas décadas de

1970-1981 e de 1981-1991. Em cada uma das últimas três décadas o crescimento do número de alojamentos familiares clássicos foi sempre superior ao crescimento do número de famílias clássicas, conforme mostra a Figura 6 (INE, 2018).

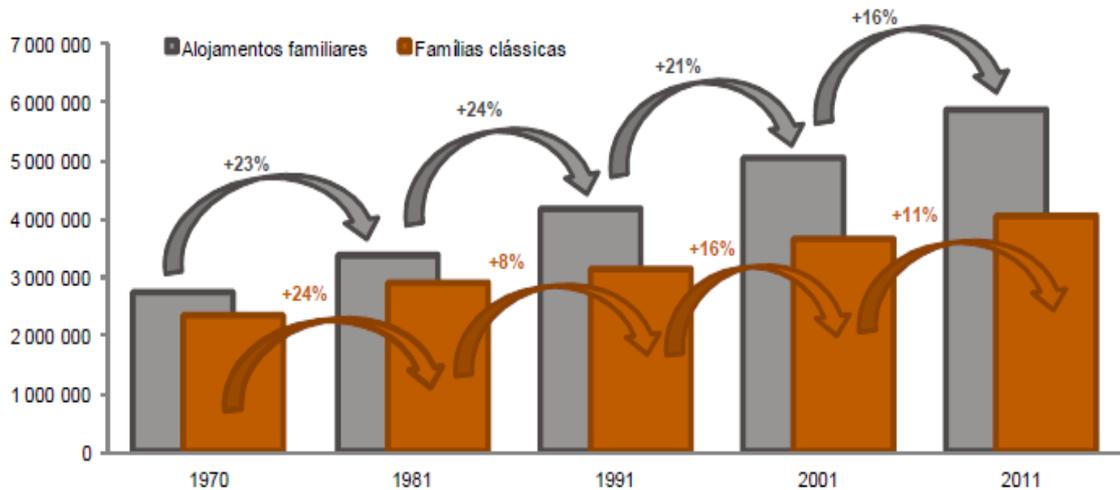


Figura 6 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal, (Fonte: INE, Censos de 1970, 1981, 1991, 2001 e 2011)

Portugal tem dado como preferência às habitações unifamiliares. Segundo os censos 2011 existiam em Portugal cerca de 3,5 milhões de edifícios, dos quais 87,2% (3 089 935) com 1 alojamento e 12,8% (454 454) com 2 ou mais alojamentos (INE, 2013). De entre estes últimos, 38,2% tinham 2 alojamentos, 9,3% tinham 3 alojamentos, 8,3% tinham 4 alojamentos e os restantes 44,2% tinham 5 ou mais alojamentos, Figura 7.

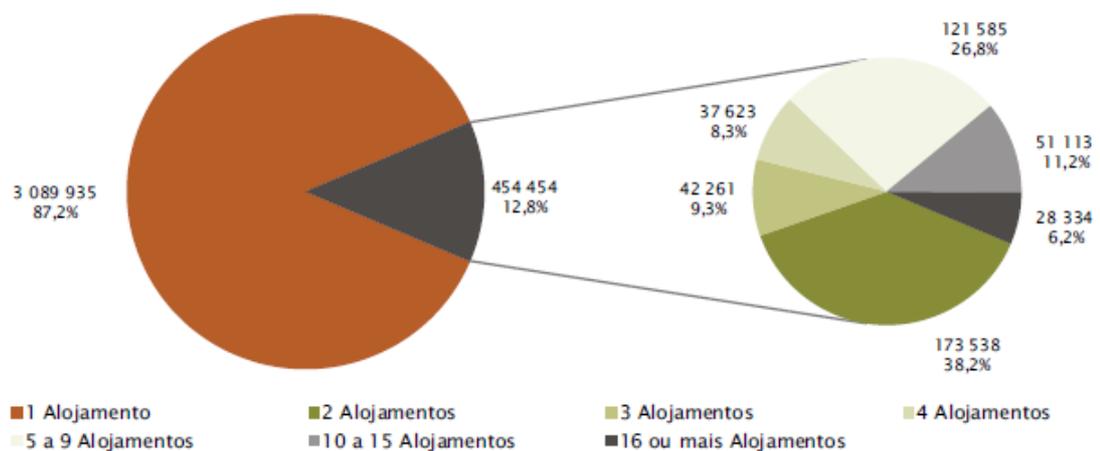


Figura 7 - Número de edifícios clássicos segundo o número de alojamentos (Fonte: INE censos 2011)

A forma de construir o edificado foi sendo adaptada a novas técnicas e materiais a aplicar na sua constituição, assim os edifícios evoluíram no sentido estrutural aumentando gradualmente ao longo do tempo o uso do betão armado conforme pode ser verificado na Figura 8.

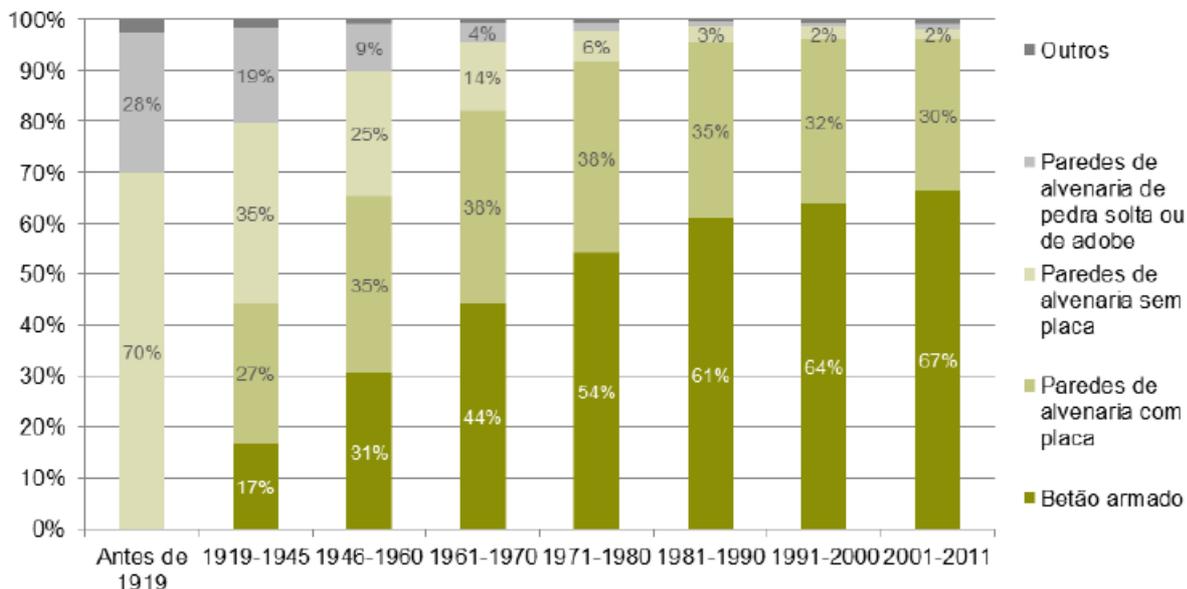


Figura 8 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício, 2011 (Fonte: INE Censos 2011)

Segundo (Adene, Isolamento de Paredes, 2016), a maioria dos edifícios construídos em Portugal não possui isolamento térmico. Casas anteriores à década de 90 e não reabilitadas têm elevada probabilidade de não ter qualquer tipo de isolamento, Figura 9.

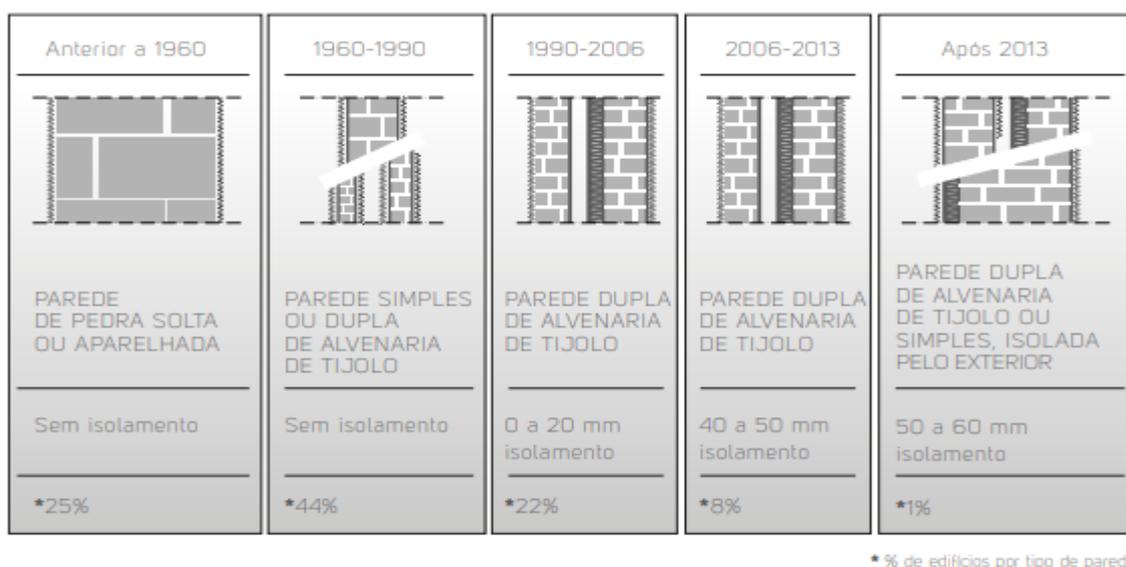


Figura 9 - Constituição das paredes por época (Fonte: (Energia, 2016))

No que refere às janelas, as soluções instaladas em Portugal apresentam-se na sua grande maioria com vidros simples, consequentemente induz em fraca eficiência energética, conforme se pode observar na Figura 10.

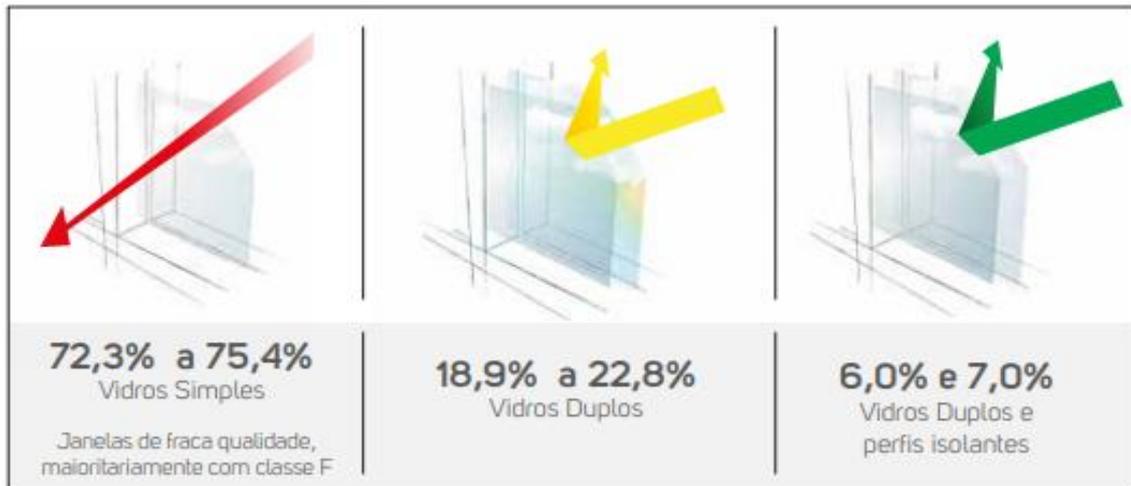


Figura 10 - Tipos de envidraçados no edificado Português, (Fonte: (Energia, Janelas Eficientes, 2016), segundo estudos ICESD 2010, INE, DGEG)

Os revestimentos dos edifícios apresentam na sua maioria, segundo os censos 2011, reboco tradicional ou marmorite. Pode ainda constatar-se um aumento progressivo do reboco tradicional ou marmorite nos edifícios construídos até 1990, e posteriormente uma estabilização nas décadas seguintes, Figura 11.

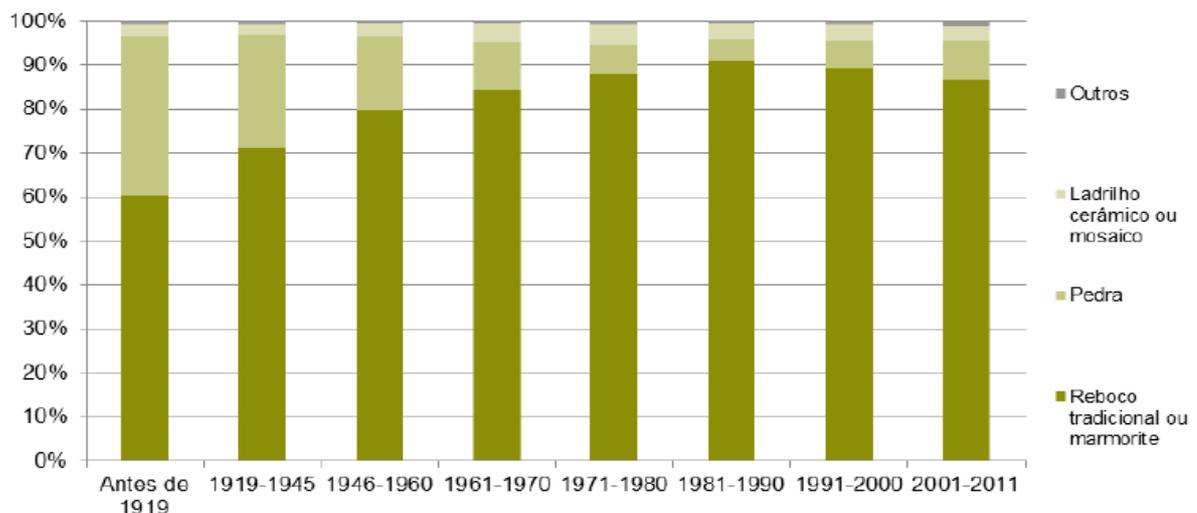


Figura 11 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes, por época de construção do edifício, 2011 (Fonte: INE, Censos 2011)

As coberturas na sua maioria apresentam-se como sendo inclinadas revestidas a telhas de material cerâmico ou betão, ainda que nos últimos anos esta tendência diminui ganhando terreno as coberturas planas ou inclinadas revestidas com outros materiais, Figura 12.

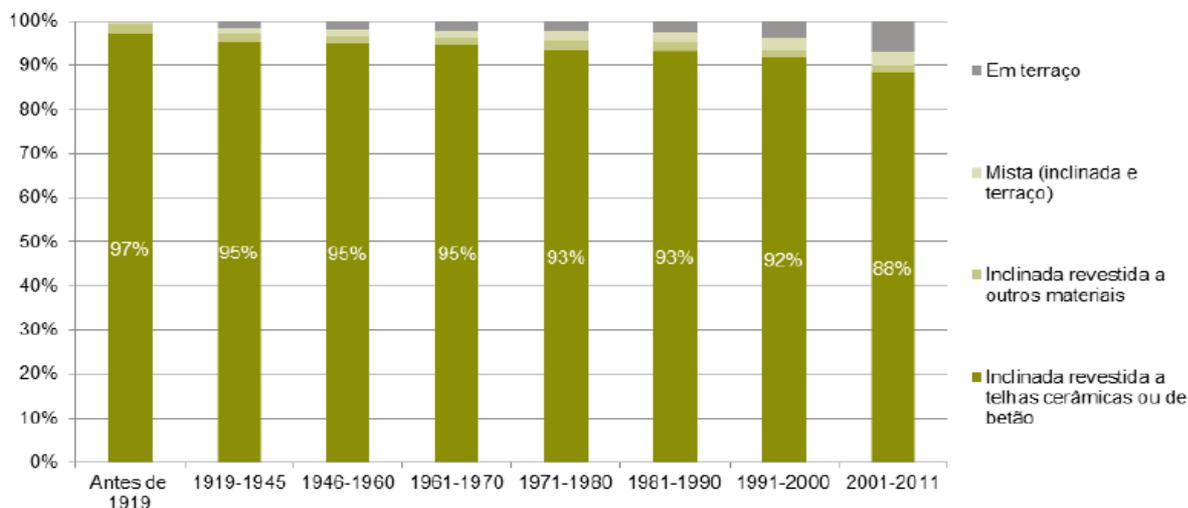


Figura 12 - Distribuição de edifícios clássicos segundo tipo de cobertura, por época de construção do edifício 2011 (Fonte: INE, censos 2011)

Recentemente e, no que toca a edifícios licenciados para construção nova reforçaram a sua predominância em 2017, representando 68,0% do total de edifícios licenciados (+3,5 p.p. face a 2016), as obras para reabilitação de edifícios (obras de alteração, ampliação e reconstrução de edifícios), apresentaram em 2017 um peso de 24,8%, inferior ao ano anterior 27,4%. As obras de demolição corresponderam a 7,3% das obras licenciadas em 2017 (8,1% em 2016). O estado de conservação dos edifícios apresenta-se mais ou menos degradado segundo a sua idade de construção, ou seja, quanto mais antigos, apresentam-se em geral mais degradados.

A proporção de edifícios sem necessidade de reparação foi 37,5% nos edifícios anteriores a 1919, mas aumentou progressivamente atingindo os 95,0% nos edifícios construídos entre 2001 e 2011. Em contrapartida, a proporção de edifícios muito degradados atingiu os 10,8% nos edifícios anteriores a 1919, diminuindo nos edifícios posteriores a 1970 sendo inferior a 0,5%, (INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2017, 2018), Figura 13.

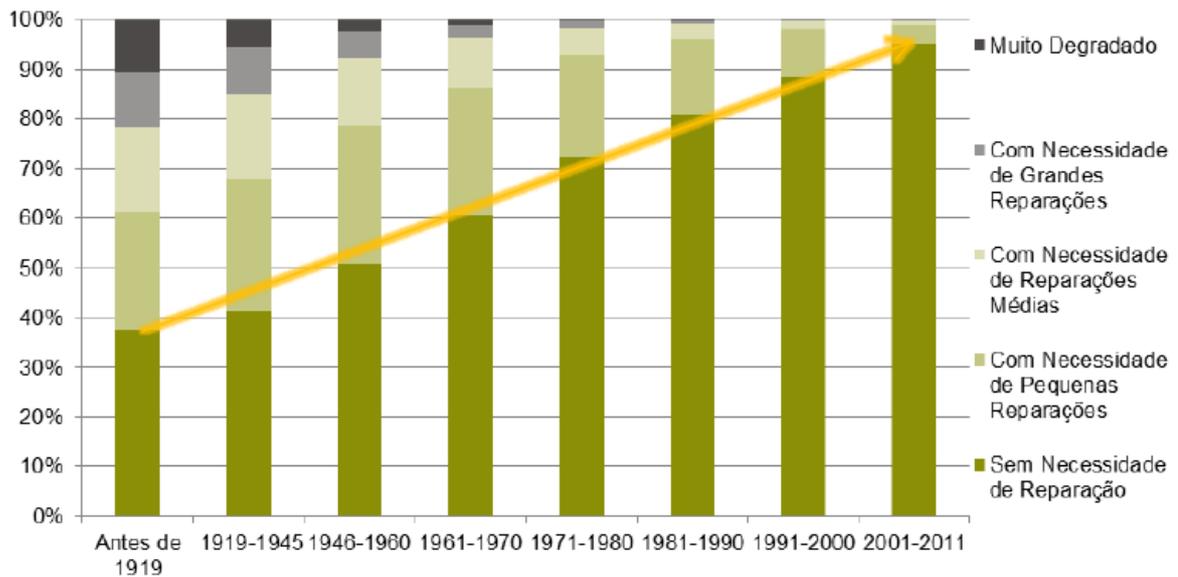


Figura 13 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício, 2011 (fonte: INE, Censos 2011)

Pode-se constatar que os edifícios construídos em Portugal são maioritariamente de baixa altura, de apenas um alojamento. Os construídos há mais anos são os que apresentam o maior peso de necessidades de reparação, sendo também este leque de edifícios o que apresenta maior potencial a nível de intervenção e reabilitação energética.

Os materiais utilizados no edificado são de considerável importância, uma vez que, dependendo da técnica de construção e do nível de isolamento térmico, estes são fatores que determinam se o edificado irá obter um bom ou mau desempenho energético, e consequentemente conforto do ambiente interior.

A sua estrutura é composta por betão armado ou paredes estruturais em pedra, são ainda revestidos na sua maioria por marmorite ou reboco tradicional e as suas coberturas são em geral inclinadas revestidas a telhas cerâmicas ou de betão.

Em Portugal, o setor da habitação nas últimas três décadas é caracterizado por um desajustamento entre a oferta e a procura. Existe um aumento do número de fogos reabilitados, continuando, contudo, a ser inferior ao número de fogos concluídos em construções novas, (INE, O Parque Habitacional e a sua Reabilitação, 2013)

Pela observação da Figura 14, o período de 1991 a 2001, apresenta crescimento progressivo do número de fogos concluídos em construções novas e a manutenção do número de fogos reabilitados, ligeiramente acima dos 2 000 fogos por ano. O período de 2002 a 2011 apresenta-

se como uma diminuição do número de fogos concluídos em construções novas e um crescimento ligeiro do número de fogos reabilitados. Verifica-se que apesar deste ligeiro aumento da reabilitação, o número de obras concluídas como construção nova continuou a ser bem superior ao número de fogos reabilitados.

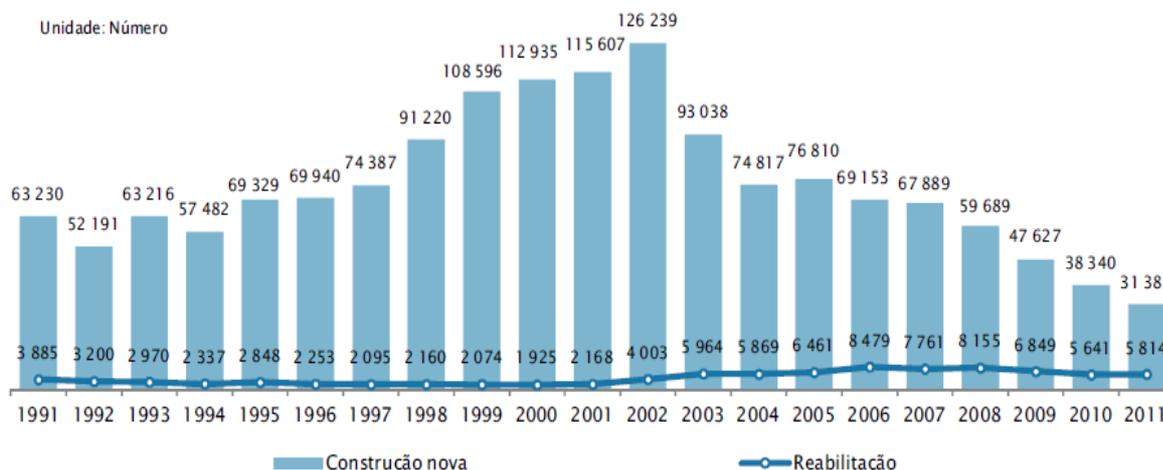


Figura 14 - Número de fogos concluídos em obras de construção nova e reabilitação, (Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas)

É consensual que o ritmo de construção de habitação nova em Portugal deverá abrandar nos próximos anos, e que a prioridade passará a ser a reabilitação do extenso parque habitacional existente. As intervenções de reabilitação constituem uma oportunidade para dotar o parque habitacional existente de um melhor desempenho ambiental (LNEC, 2010).

### 2.3 Consumo de energias no edificado português

A atual política energética portuguesa tem como objetivos e desafios impor uma redução ao consumo energético para minimizar a dependência deste bem do mercado externo. Ao longo da história da energia, Portugal apresenta uma dependência entre 80 e 90% de independência do exterior, situando-se acima da média em termos Europeus, muito de deve ao facto de não existir produção de fontes de energia fósseis, como petróleo ou gás natural (DGEG, Energia em Portugal, 2015).

Portugal tem apostado nas energias renováveis e na eficiência energética, com maior incidência nos últimos anos, o que tem permitido baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80%, Figura 15.



Figura 15 - Evolução da Dependência Energética de Portugal (%), (Fonte: DGEG 2015)

Da análise do consumo de energia primária por fonte energética, Figura 16, verifica-se que apesar de se verificar uma tendência de diminuição do seu consumo o petróleo e derivados são a fonte mais utilizada, representando 42,7% do consumo de energia primária em 2016. Verifica-se como segunda fonte mais utilizada o gás natural, com 19,9%. Por fim o consumo do carvão representa 13,1% a biomassa 12,9% e a energia elétrica com menos peso representa 10,0% (DGEG, Produção e consumo de energia , 2017).

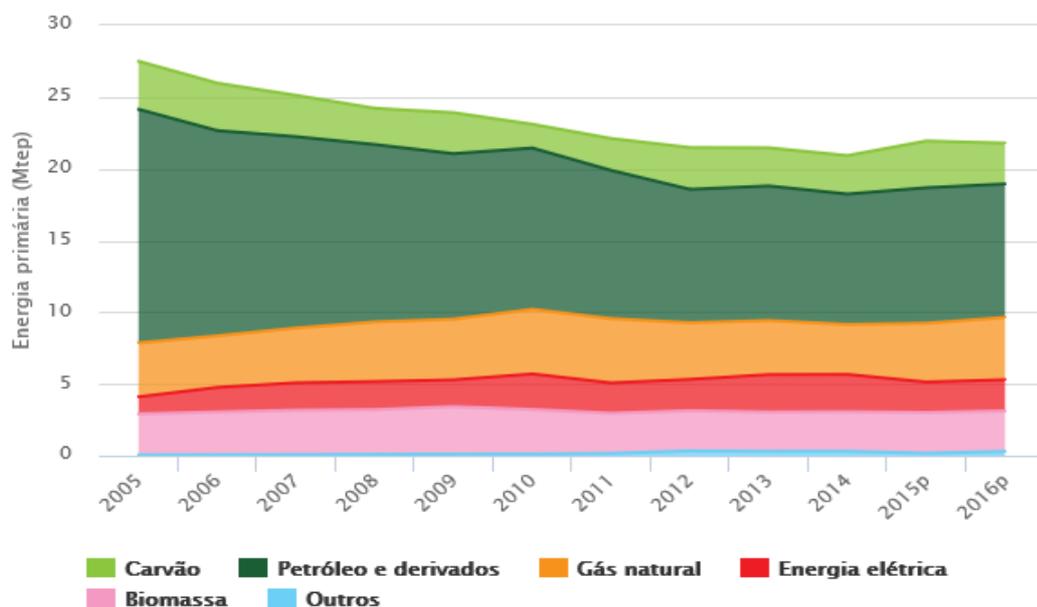


Figura 16 - Consumo de energia primária por fonte energética, (Fonte: DGEG 2017)

Segundo dados de Pordata, (2016) referentes a consumos energéticos pelos diversos setores, verifica-se que no caso de Portugal o consumo no setor do agregado doméstico, representa uma percentagem considerável dos consumos, Figura 17.

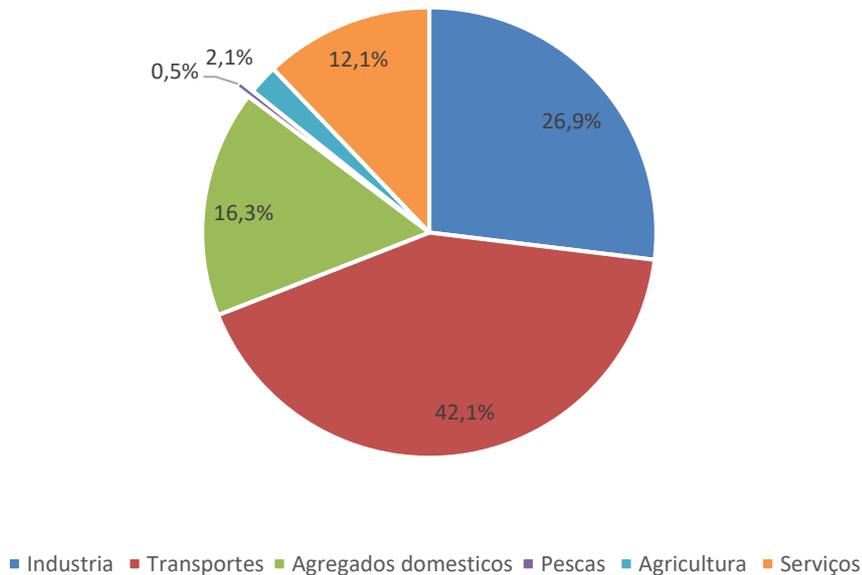


Figura 17 - Consumo de energia por tipo de setor consumidor em Portugal, (Fonte: adaptado de PORDATA 2016)

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40 % da energia final na Europa e cerca de 16,3 % para o caso de Portugal.

Porém, o que indica a Geologia, Direção-Geral de Energia, (2018) é que é possível mais de 50% deste consumo ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto. A Figura 18, representa a evolução do consumo energético no setor residencial, segundo INE, (2011) no setor doméstico registou-se um crescimento tendencial e sustentado até 2005, ano em que se verificou uma inversão de tendência, tendo-se assistido a uma quebra no consumo em 2008 e uma recuperação em 2009.

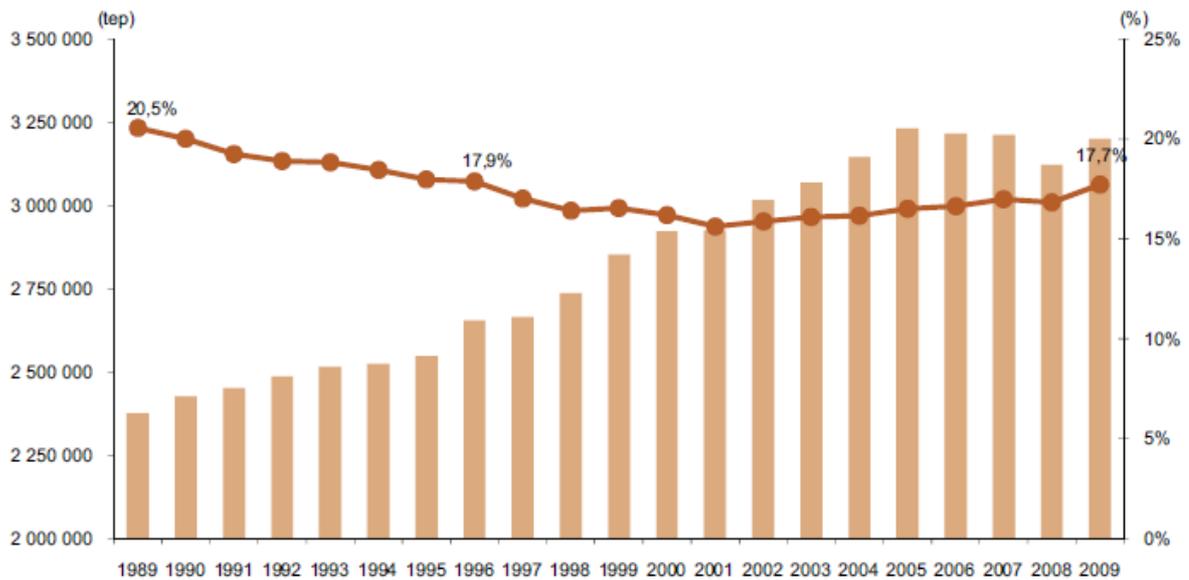


Figura 18 - Evolução do consumo energético no setor residencial, (Fonte INE I.2011)

Tendo por base o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico e considerando as diferentes utilizações de energia nos alojamentos, estes tipos de utilização podem ser divididos nomeadamente: em Aquecimento do Ambiente, Arrefecimento do Ambiente, Aquecimento de Águas, Cozinha, Equipamentos Elétricos e Iluminação, Figura 19.

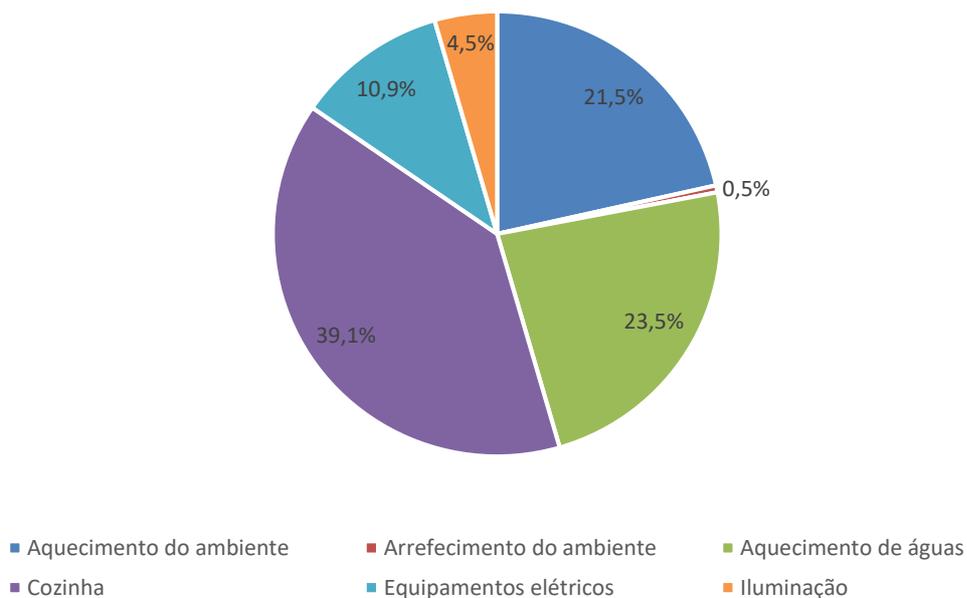


Figura 19 - Consumo de energia no setor residencial por tipo de utilização, (Fonte adaptado de ICESD 2010)

Os dados dos consumos energéticos dos edifícios apresentados dependem de vários fatores, podendo ser referenciados os seguintes:

- O grau de conforto exigido pelos utilizadores e seu comportamento;
- O número de utilizadores das habitações;
- Zonamento climático referente à implantação à habitação;
- Elementos que compõem as envolventes do edifício (parte opaca e envidraçados);
- As perdas e ganhos de carga térmica associados à renovação do ar interior;
- Volume da construção área útil e pé direito médio;
- Orientação da construção;
- Área de envidraçados e sua orientação;
- Eficiência energética dos equipamentos existentes.

Os consumos energéticos nos edifícios têm vindo a aumentar exponencialmente devido ao crescimento do nível de vida dos portugueses e conseqüente aumento das exigências de conforto individual e das famílias (Mateus, 2004).

O consumo de eletricidade é a energia que tem maior impacto nos consumos do setor doméstico, pois os equipamentos em uso nas habitações dependem essencialmente da eletricidade. Por observação da Figura 19, verifica-se que a cozinha é o tipo de utilização que mais consome energia no setor residencial apresentando consumos na ordem dos 39% comparativamente com todos os restantes tipos de utilização, muito condicionado pelo número de utilizadores das habitações.

Os eletrodomésticos e a iluminação são responsáveis por uma boa parte dos consumos energéticos, 11 e 4,5%, respetivamente. Relativamente aos equipamentos eletrónicos torna-se fundamental aumentar a sua eficiência energética, através do processo de etiquetagem destes equipamentos para que no ato de compra as pessoas identifiquem o mais económico e eficiente. No caso da iluminação apesar de representar uma pequena parte da fatia energética 4,5% pode ser otimizada com medidas de melhoria ao nível da iluminação natural e sistemas mais eficientes.

A preparação de águas quentes tem um consumo de 23,5% o que é considerável. Este valor pode estar agravado devido à falta de eficiência dos sistemas utilizados para este efeito. É

possível minimizar o consumo de energia no caso a mais usada, gás ou eletricidade, com a substituição destas energias por energias limpas (renováveis), aumentando a instalação de sistemas solares térmicos.

O setor da climatização do ambiente, tem também um importante consumo energético, salientando em especial a quantidade de energia que é necessária para o aquecimento do ambiente. O agravamento deste fator deve-se em especial às características construtivas adotadas na maioria do parque habitacional construído. Portugal apresenta temperaturas relativamente baixas no inverno, uma grande maioria dos edifícios tem orientações não favoráveis à obtenção de ganhos solares nesta estação, apresentam envolventes tanto opacas como envidraçados com coeficiente de transmissão térmica elevados agravando as perdas de energia e os envidraçados não tem em consideração as áreas em função das orientações.

É fundamental que se tenha consciência de que o setor da habitação também contribui para o problema do aquecimento global com a libertação dos gases com efeito de estufa. Devemos impor que os novos edifícios sejam menos consumidores e dar especial importância à reabilitação dos edifícios existentes no sentido destes que possuem um mau desempenho ao nível energético, sejam assim melhorados.

## **2.4 Impactos ambientais gerados pelos edifícios**

Desde o início da história, foi possível demonstrar a capacidade que o Homem tem em transformar o meio ambiente por forma a satisfazer a suas necessidades, provocando uma degradação irreversível neste. O ser humano procura a toda a hora por melhores condições de vida, o alcançar de novos conhecimentos em matéria de desenvolvimento tecnológico contribui para acelerar o consumo de energias e recursos naturais, face a necessidades básicas da sua subsistência.

Há grande participação de fontes fósseis no consumo de energia nas fases de construção, de uso e de demolição, contribuindo com as mudanças climáticas. Calcula-se que 30% emissões globais de gases do efeito estufa sejam causadas pelas edificações (Campanhoni & Romero, 2010).

O setor da indústria da construção é um dos setores mais gravosos para o meio ambiente. Durante todo o ciclo de vida de um edifício desde a fase de construção, utilização e por fim demolição provoca impactos graves no ambiente, consumindo recursos naturais limitados para o seu desenvolvimento económico, sendo ainda uma grande geradora de resíduos.

A indústria da construção provoca impacto ambiental negativo de vários modos, desde a exploração de materiais para a concessão de novo edificado, o uso do edificado para satisfazer necessidades e estilos de vida da vivência humana e ainda a reabilitação dos edifícios.

#### 2.4.1 Edifícios novos

A indústria da construção civil tem como base a conceção de um produto que preencha os requisitos do dono da obra no que toca a conceitos de funcionalidade, garantir as condições de segurança para os efeitos das ações tanto naturais como humanas.

Considera-se que qualquer material utilizado na construção, consumiu uma quantidade de energia para atingir o estado em que se encontra, dispõem de energia incorporada ao longo do seu ciclo de vida.

Esta energia incorporada é o agrupar de todas as energias necessárias, conforme demonstrado segundo a Figura 20, desde a energia consumida na extração de matérias primas incluindo os combustíveis o processo de transformação industrial, transportes até ao local de aplicação, aplicação em obra, as tarefas associadas de manutenção, remoção do mesmo com a perspetiva de possível reciclagem ou descaracterização (Karpinsk, et al., 2009).



Figura 20 - Ciclo de vida energético dos materiais de construção

Para reduzir este impacto é necessário prezar por aplicação de materiais que cumpram requisitos de durabilidade e que permitam a redução da deterioração ao longo do seu ciclo de vida. A indústria deve ainda preservar interesses económicos, sociais e ambientais, garantindo a preservação do interesse humano do agora e do futuro.

Segundo o INE (2018), no âmbito da construção nova, importa ressaltar que existe um excesso de construções para o número de famílias para as ocupar. É pertinente a interrogação de o porquê de insistir em construção nova, quando existe inúmeros edifícios vagos ou devolutos.

O crescimento excessivo, por vezes torna-se em um crescimento urbano desordenado, envolvendo a degradação do solo. A impermeabilização do solo é um dos parâmetros que modifica as condições naturais de escoamento superficial das águas provenientes das chuvas, aumentando o risco de cheias, diminuindo a profundidade das águas freáticas, reduzindo a capacidade de reserva (Gomes, Pires, & Moura, 2015).

Explora-se sem medida os recursos naturais não renováveis, o consumo de matérias primas e a quantidade de material desperdiçado durante o processo construtivo gerando uma quantidade considerável de resíduos perigosos e resíduos inertes, uso desgovernado da água e da energia, o que induzirá problemas de escassez, pois sendo uma vez consumidos não poderão ser substituídos. À sua exploração é ainda necessário o uso de combustíveis fósseis, a sua queima emite gases para a atmosfera provocando o efeito estufa.

Na prática de construção nova de edifícios o interesse mais respeitado é o económico, deixando de parte o interesse da durabilidade dos materiais e da preocupação pelo ambiente (Mateus, 2004). A construção de edifícios novos deve obedecer a conceitos de aplicação de materiais na sua constituição com elevados níveis de durabilidade, prolongando os períodos de manutenção bem como a exploração de novos recursos para tarefas de reabilitação. Devem ainda ser projetados para que sejam eficientes do ponto de vista do conforto térmico para que se dê uma minimização no consumo de energias primárias utilizadas para este fim.

#### 2.4.2 Conservação e uso dos edifícios

Os edifícios são produtos com longa vida. A fase do uso e as atividades de manutenção, são responsáveis por uma parcela significativa do impacto total no meio ambiente (Karpinsk, et al.,

2009). Os edifícios possuem uma vida útil limitada e seguem um processo de envelhecimento desde a sua construção até à sua reabilitação e demolição (Mateus, 2004).

Agopyan e Jonh (2011), referem que não existe sustentabilidade ambiental sem durabilidade dos materiais. Com o passar do tempo os materiais sofrem desgaste ou degradação natural, estando associados a fatores como temperatura, radiação, abrasão, fungos e bactérias, agentes vegetais e minerais interferindo na estrutura do material ocorrendo o desgaste.

Assim atividades de manutenção são geradoras de impactos ambientais consideráveis, os materiais de construção aplicados necessitam de tarefas de manutenção ou por vezes de substituição, exigindo ainda o consumo de energias associadas a todo o processo.

Em termos de vivencia humana, este setor consome cerca de 16,3% da energia consumida por todos os setores portugueses. Segundo o INE (2011), a eletricidade é a principal e a mais comum fonte de energia utilizada no sector doméstico, sendo consumida em 99,9% dos alojamentos.

Os consumos energéticos nos edifícios têm vindo a aumentar exponencialmente, sendo estes consumos atribuídos ao crescimento do nível de vida dos portugueses e conseqüente aumento das exigências de conforto individual e das famílias (Mateus, 2014).

O conforto térmico dos edifícios tem um peso importante nos consumos, e as características arquitetónicas e construtivas são determinantes nas condições de conforto dos ocupantes, um edifício que seja projetado e construído sem ter em consideração condição climática associada ao local de implantação poderá ser considerada um edifício ineficiente (Comini, et al., 2008)

Segundo dados de (INE, Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010, 2011) cerca de 22% da energia gasta no setor residencial é consumida para o conforto do ambiente, aquecimento e arrefecimento.

Em 2011, quase metade (48,7%) dos alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, tinha aquecimento proporcionado através de aparelhos móveis ou fixos e pouco mais de metade (53,4%) dos alojamentos clássicos, ocupados como residência habitual, que dispunham de aquecimento, utilizavam a eletricidade como principal fonte de energia para aquecimento Figura 21, (INE, 2013).

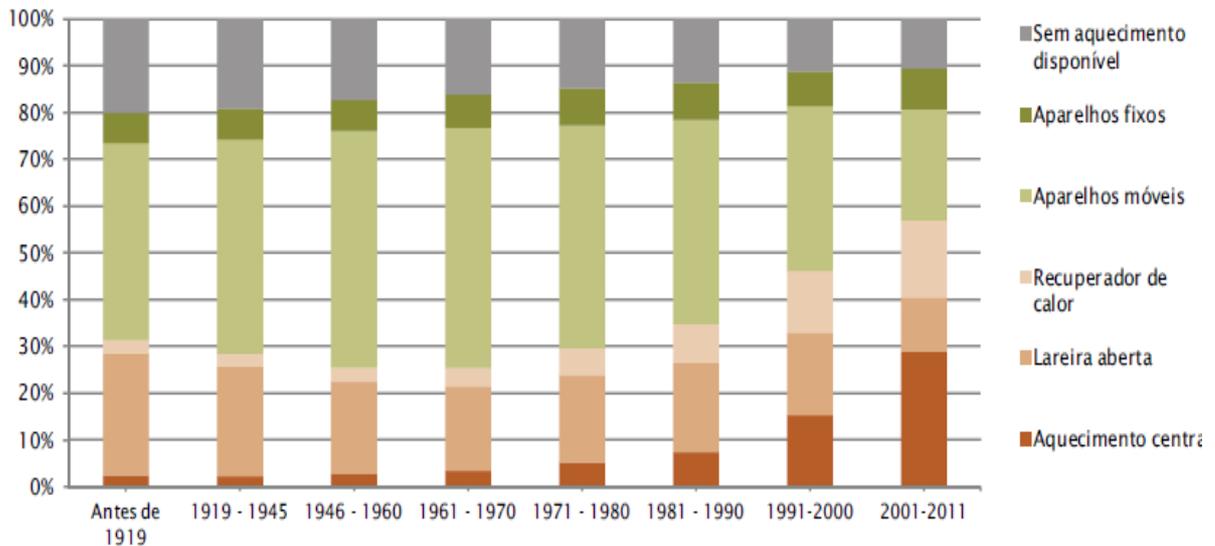


Figura 21 - Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, segundo o tipo de aquecimento disponível, por época de construção 2011 (Fonte: Censos 2011)

As necessidades de aquecimento e arrefecimento agravam-se à medida da idade do edificado, edifícios mais antigos carecem de isolamento nas envolventes, os envidraçados apresentam-se em maioria com vidro simples permitindo elevadas trocas de calor com o exterior e a arquitetura não tem implementados conceitos bioclimáticos como aplicação de sistemas solares passivos.

Para a resolução desta problemática do conforto térmico tem-se recorrido ao uso de sistemas artificiais de controlo do conforto do ambiente, ignorando as características climatéricas do local onde se insere o edifício (Comini, et al., 2008).

Podemos com o uso da energia colmatar as deficiências dos nossos edifícios, podemos iluminá-los, climatizá-los, assim a energia tem um bom contributo para a expectativa de vida e bem-estar físico e social do homem. Contudo, a energia passa pelos processos de geração, transmissão, transporte e por fim o seu consumo, provocando no meio ambiente e na saúde humana um efeito negativo.

### 2.4.3 Reabilitação

A reabilitação de edifícios é uma atividade importante, reduz a necessidade de exploração de recursos e ao mesmo tempo minimiza a produção de resíduos. Contribui para uma melhoria do parque habitacional em parte degradado, e ineficiente energeticamente, altamente consumidor de energia para acompanhar as necessidades de bem-estar e a saúde dos ocupantes.

Existe a nível nacional 1,45 alojamentos por família, Portugal continua a apresentar valores de licenciamento de edifícios novos superiores aos da reabilitação, o que comparada mente com países da União Europeia caminhamos no sentido inverso, Portugal é dos países menos produtivos nesta matéria (INE, 2013).

Segundo Goncalves e Bode (2015), apesar de os países industrializados ainda ocuparem uma posição cimeira no que toca a emissões de CO<sub>2</sub> no contexto global, as projeções de um modesto crescimento económico e populacional apontam para um aumento pouco expressivo do consumo energético nesses países nas próximas décadas.

No caso do panorama europeu, considera-se que cerca de 75% do edificado necessário para 2050 já se encontra construído (Ravetz, 2008 citado por (Gonsalves & Bode, 2015)). Diante desta realidade no desempenho ambiental do setor da construção a reabilitação de edifícios ganha importância sobre a construção de novos edifícios.

Estima-se que em Portugal, os mais de 50 milhões de toneladas de inertes utilizados em construções novas que são extraídos em pedreiras, nas praias e em leitos de rios e lagos, o fabrico industrial de materiais como o cimento obriga ao consumo de grandes quantidades de energia, proveniente de combustíveis fósseis originando elevados impactos ambientais (Cóias, 2007).

A reabilitação de edifícios tem como base principal a preservação de uma grande parte dos materiais constituintes do edificado, o que automaticamente se traduz em um menor impacto ambiental reduzindo significativamente a necessidades de exploração de materiais no seu estado natural e o consumo de todas as energias associadas ao ciclo de vida destes.

Segundo o entendimento de Appleton (2014), a construção nova em comparação com a reabilitação, reabilitar significa consumir menores quantidades de energia na produção e aplicação de produtos de construção, significa ainda a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e o limitar das quantidades de produtos de demolição a remover e tratar.

Os materiais usados na construção civil criam um grande impacto no ambiente, desde as fases de extração, processamento industrial, o meio de transporte e por fim a eliminação. Nesta fase

da reabilitação é inserido o contributo da reutilização, reciclagem ou eliminação dos materiais provenientes do desmantelamento do edificado no impacto do ambiente.

A reutilização ou reciclagem tem uma visão de preservação dos recursos naturais, promove e valoriza os resíduos dando-lhes a oportunidade de poderem ser reintegrados. A indústria da construção civil tem a desvantagem ambiental em consumir energia e gerar resíduos, mas também tem, através do processo de reabilitação, a vantagem ou capacidade de absorver quase a totalidade dos resíduos que produz.

Apesar da possibilidade de reaproveitamento, por vezes as empresas de construção, ou por falta de sensibilização ou conhecimento não fazem uma correta separação dos resíduos de demolição, agravando o processo de seleção e reutilização.

Existem materiais na constituição de edifícios a reconstruir que com o conhecimento dos dias de hoje são materiais nocivos para o meio ambiente e para a saúde das pessoas, por isso devem ser eliminados através de determinados processos de entidades competentes para o fazer. Por vezes as empresas de construção evitam custos associados a esta tarefa, depositando de forma incorreta os resíduos em terrenos baldios provocando graves problemas sociais e ambientais.

## **2.5 Medidas de incentivo ao desenvolvimento sustentável**

A Europa passa por um período de transição como todas as restantes regiões do mundo. A crise económica mundial veio deitar por terra anos de progresso económico e social e veio demonstrar as fragilidades económicas da Europa. No entanto intensificam-se desafios a longo prazo como a globalização, a pressão sobre os recursos naturais e o envelhecimento da população (Europeia, 2012).

Para fazer face a estas questões, a União Europeia e os seus Estados Membros lançaram, em 2010, uma estratégia de crescimento sustentável para a próxima década: a estratégia «Europa 2020». Esta estratégia de crescimento sustentável tem como objetivo os desafios associados à crise como resolução a curto prazo e propor reformas estruturais por forma a promover o crescimento e uma economia sustentável.

A União Europeia definiu cinco objetivos ambiciosos em matéria de emprego, inovação, educação, inclusão social e clima/energia, que deverão ser alcançados até 2020 (Europeia, 2012). Os objetivos ou metas a atingir pela União Europeia incluem os objetivos referentes às alterações climáticas e energia, relacionados com o âmbito desta dissertação:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20% relativamente aos níveis de 1990 até 2020;
- Aumentar a quota das energias renováveis no consumo final de energia até 20%;
- Atingir um aumento de 20% na eficiência energética.

No que diz respeito a Portugal segundo relatório (Portugal, 2014), o país está empenhado em transformar o seu modelo de desenvolvimento, tendo a ambição de tornar a sua economia mais eficiente e sustentável. Portugal pretende seguir as Diretivas europeias, ser capaz de criar riqueza com o menor consumo de energia mitigando o problema ambiental reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa.

Portugal é um país dependente energeticamente, importa em maioria a energia consumida sendo esta de origem fóssil, como por exemplo, petróleo, gás natural e o carvão. Tendo o País uma localização planetária privilegiada quanto à possibilidade de explorar as energias renováveis disponíveis, pensa-se que seja fundamental resolver este desafio energético, passando ao uso de energias limpas e mais económica, contribuindo para a competitividade da economia nacional e sustentabilidade ambiental.

Para que sejam atingidas as metas Portugal compromete-se com a União Europeia, a implementar várias medidas para atingir o equilíbrio entre os pilares: segurança de abastecimento, competitividade, eficiência energética e proteção do ambiente. Deve assim transitar-se para uma economia competitiva e de baixo carbono, que tenha em perspetiva uma maior eficiência na gestão dos recursos naturais

Segundo o que indica o relatório (Portugal, 2014), este posicionamento estratégico e abordagem à “descarbonização” da economia, para o qual os processos de inovação tecnológica são fundamentais, deverão conduzir a três tipos de resultados:

- Gerar fontes de rendimento e emprego a partir de novas atividades económicas ou a partir de atividades reconvertidas, deve ser exigido mais competência e qualificações

sendo estas um condutor para um aumento de competitividade do País, criando com isso a possibilidade de investimento externo;

- Redução das pressões ambientais, o aumento da eficiência energética permitirá a minimização das emissões de gases com efeito de estufa, uma gestão eficiente dos recursos e produção de resíduos;
- Contribuição para atingir objetivos de desenvolvimento sustentável, como a erradicação da pobreza e equidade social, tendo na sua base a contribuição das políticas publicas em parceria com ações da sociedade civil.

Para atingir as metas propostas pela União Europeia, no que respeita a emissões de gases com efeito de estufa, Portugal pretende limitar o crescimento das suas emissões fora do Comercio Europeu de Licença de Emissões a mais 1% até ao ano 2020, tendo como referência o ano 2005.

Os valores das emissões, observados nos anos 2010, 2011, e 2012 tendo como referência 2005 apresentam-se com tendência decrescente -6%, -8% e -12% respetivamente. Este decréscimo pode ser atribuído à crise económica e financeira, o seu desacelerar contribuiu para uma redução nos consumos energéticos e consequentemente emissões carbónicas, mantendo estas tendências considera-se possível atingir as metas propostas.

Portugal compromete-se a atingir em 2020 a meta de consumir 31% de energia final proveniente de fonte renovável, apesar das condições económico-financeiras difíceis em 2012 o cenário apresentava-se favorável pois o país era o 7º país da União Europeia com maior incorporação de energias renováveis. Para o cumprimento desta meta será incorporada 59% de energia renovável na eletricidade 15824 MW e executar-se-á o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).

Relativamente à meta da eficiência energética, Portugal compromete-se a garantir uma redução em 20% do consumo de energia primária em 2020. Em 2012, o consumo de energia registava 20,2 Mtep, sendo este valor comparado com o proposto a atingir em 2020 cerca de 22,5 Mtep indica elevadas probabilidades de cumprimento dos compromissos assumidos.

No âmbito da Constituição da República Portuguesa, para assegurar o direito ao ambiente, o estado por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos, promove o aproveitamento racional dos recursos naturais, salvaguardando a sua capacidade de

renovação e a estabilidade ecológica, com respeito pelo princípio da solidariedade entre gerações (Estrangeiros, 2017).

O desenvolvimento da economia circular, apresenta-se como resposta aos atuais desafios da economia, todos os setores de atividade económica devem ter uma gestão racional dos recursos com especial atenção aos recursos materiais, a energia, a água e o uso do solo, para permitir uma ligação clara entre o desempenho ambiental e socioeconómico (Estrangeiros, 2017).

Portugal apresenta progressos no âmbito da política climática e de proteção ambiental, mas depara-se ainda grandes desafios pela frente. A neutralidade de emissões carbónicas provocadoras de gases com efeito estufa em 2050, constitui um desafio para toda a sociedade. Portugal encontra-se a elaborar um roteiro de neutralidade carbónica para que seja atingido esse objetivo. Este roteiro contribui para a transição de uma economia competitiva e de baixo carbono, sendo este um objetivo internacional e que Portugal se empenha determinadamente em o atingir (Estrangeiros, 2017).

A indústria da construção causa impactos no meio ambiente não só no ato da construção de um empreendimento, mas também da sua utilização e desconstrução. Torna-se necessário integrar as atividades de construção com uma perspetiva do ciclo de vida ou desenvolvimento sustentável, gerindo assim de uma forma ambiental, económica e socialmente responsável, todos os consumos, resíduos e emissões das organizações, reduzindo custos sem perder a competitividade.

Tendo em conta que o setor residencial consome ao longo de todo o seu ciclo de vida mais de 40% de toda a energia produzida, facilmente se percebe o elevado potencial de poupança energética deste subsector e o que isso pode representar em termos de redução de emissões.

A fase de projeto é das mais importantes de todo o processo de ciclo de vida dos edifícios, as decisões tomadas ao nível dos materiais a aplicar, nesta fase irão ditar o quanto o edifício irá contribuir para o impacto ambiental.

Os materiais e sistemas construtivos usados no ato da construção terão implicações no que diz respeito à energia necessária à manutenção das condições que ditam o conforto dos ocupantes bem como uma possível reintegração em um ato de reabilitação ou futura reciclagem. Torna-se de extrema relevância a tomada de decisão no que concerne à escolha de materiais para a

execução do edificado, pois esta poderá mitigar os impactos produzidos na utilização dos materiais de construção. Cabe a responsabilidade de decidir em fase de projeto ao promotor, à equipa de projeto e ao empreiteiro criar um edifício como uma forma de gestão de energias e materiais, por forma a que contribua para uma gestão prudente dos recursos (Mateus, 2004).

Assim de acordo com Mateus (2004), a equipa de projeto tem grande responsabilidade e deve adotar uma série de estratégias na fase de projeto por forma a selecionar os materiais a usar nas construções que impliquem o mínimo impacto no ambiente:

**Energia incorporada no material:** a energia incorporada corresponde à quantidade de energia que é necessária para a produção de um dado produto, o transporte até à obra, a sua aplicação em obra, a manutenção e demolição. Esta energia pode representar entre 6% e 20% do consumo total durante a vida útil do edifício, isto dependendo de fatores como o número de utilizadores do edifício, os sistemas construtivos adotados o clima do local da implantação do edifício e o conforto exigido pelos ocupantes. Por forma a reduzir a energia incorporada nos edifícios através dos materiais de construção deve-se adotar critérios de escolha como: preferir materiais locais, pois o transporte é um fator importante na quantidade de energia incorporada; utilizar materiais com perfil de durabilidade e potencial de reutilização elevado; e ainda adotar sistemas construtivos que impliquem baixa massa construtiva pois em geral a massa está relacionada com a quantidade de energia incorporada.

**Impacto ecológico incorporado no material:** representa o impacto provocado no ambiente quer por via do material ou a componente da construção, decorrente de todas as atividades que se desenvolvem desde a extração do material até à sua montagem no edifício. Para medir o impacto ecológico incorporado no material são quantificadas as quantidades de CO<sub>2</sub> em gramas equivalente por quilograma de material e usa-se o indicador Potencial de Aquecimento Global. Devem ser adotados materiais que impliquem em um menor impacto ambiental e visual, presem pelos menores consumos ao nível energético para o seu possível estado aplicação, optar por materiais em que a sua exploração não interfira e faça uma melhor gestão dos recursos hídricos, escolher produtos fornecidos por indústrias que façam uma melhor gestão ambiental.

**Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais:** é necessário escolher materiais para que na fase de desmantelamento evitem a produção de resíduos, ou pela sua forma de fabrico ou prolongando o tempo de vida útil do material. A escolha correta de materiais implica pensar

ainda em uma possível reutilização minimizando a necessidade da exploração de novos minerais, quando a reutilização se torna impossível é necessário recorrer a meios de reciclagem por forma a utilizar a matéria prima que o constitui transformando o produto original em produtos idênticos.

**Toxicidade do material:** as construções dos nossos antepassados eram feitas de materiais naturais, as construções dos dias de hoje contem numerosas combinações entre químicos e materiais pesados. Segundo indicam Torgal e Jalali (2010), existem inúmeros materiais com algum grau de toxicidade utilizados no setor da construção civil, quer ao nível dos impactos ambientais gerados pela sua produção quer enquanto responsáveis pela redução da qualidade do ar interior das habitações.

Deve assim haver uma ponderação pela equipa projetista na seleção de materiais com baixos níveis de toxicidade, de modo a evitar que a sua utilização afete a saúde e a produtividade dos habitantes de um edifício, salvaguardando ainda a segurança dos operários responsáveis pela construção e manutenção dos edifícios.

**Custos económicos:** a durabilidade dos materiais relaciona-se com o custo nas fases de exploração, manutenção e reabilitação. Por vezes as equipas projetistas limitam-se a uma escolha dando prioridade ao custo de aquisição do material, minimizando a importância dos custos de manutenção e reabilitação. Devem ser escolhidos produtos em que haja, um balaço entre o custo de aquisição e custos futuros de manutenção, demolição e eliminação. Justifica-se a compra de materiais com custo de aquisição mais elevados se ao longo do seu ciclo de vida os custos forem menores, justifica-se ainda se no ato de aquisição o produto apresentar custo superior, mas, apresenta melhor comportamento ambiental do que os comparados durante o seu ciclo de vida.

A questão energética é uma questão de preocupação e relevância na economia das nações, e Portugal não é uma exceção. O setor da construção é um setor de desenvolvimento económico importante, mas, no entanto, consome quantidades consideráveis de energia, em grande parte importadas o que faz do país dependente energético. Vê-se a eficiência energética como um caminho a seguir, a redução do consumo energético dos edifícios permitirá reduzir níveis os de dependência e contribuirá para baixar os índices carbónicos.

Por forma a mitigar o referido pode, em fase de projeto, intervir-se aplicando medidas ao nível arquitetónico. A aplicação de conceitos de tecnologias solares passivas, permite a captação, armazenamento e o uso da energia solar sem ajuda de qualquer equipamento.

Estes conceitos de tecnologias solares passivas, usam os elementos de construção como as paredes as janelas os pavimentos e as coberturas de forma a melhor captarem a energia, armazená-la e usá-la nos meses de aquecimento ou impedirem a captação e o armazenamento nos meses de arrefecimento, usam os materiais da forma ideal para aumentar o isolamento térmico das paredes, pavimentos e coberturas.

A envolvente ao edifício é também importante, pois medidas ao nível do sombreamento provocado por árvores, o estudo do efeito do vento, as cores aplicadas nos revestimentos das fachadas ou pavimentos exteriores têm implicações ao nível das temperaturas na proximidade dos edifícios

A aplicação de conceitos de arquitetura bioclimática, promove a obtenção de:

- Um melhor conforto dos edifícios e conseqüente redução de consumo energético para efeitos de aquecimento ou arrefecimento do ambiente;
- Uma redução dos consumos energéticos nos edifícios, podendo ser canalizado para o setor dos transportes sem o aumento da produção de energia elétrica;
- Uma minimização da dependência energética de origem fóssil e viabilização de energias renováveis;
- Uma minimização de custos;
- Uma redução na produção de gases com efeito estufa.

As tecnologias solares passivas intervêm tendo em conta pressupostos exteriores ao edifício e pressupostos relacionados com as soluções construtivas dos edifícios. Assim os pressupostos exteriores ao edifício têm em consideração aspetos como:

- **Localização:** este pressuposto tem que relacionar questões de topografia, vegetação e humidade para que assim se consiga encontrar um local ótimo à construção. Deve atender-se a que encostas orientadas a sul dispõem de maiores quantidades de radiação direta ao longo do dia, devem ser zonas de pouca humidade, pouca sombra e protegidas de ventos dominantes.

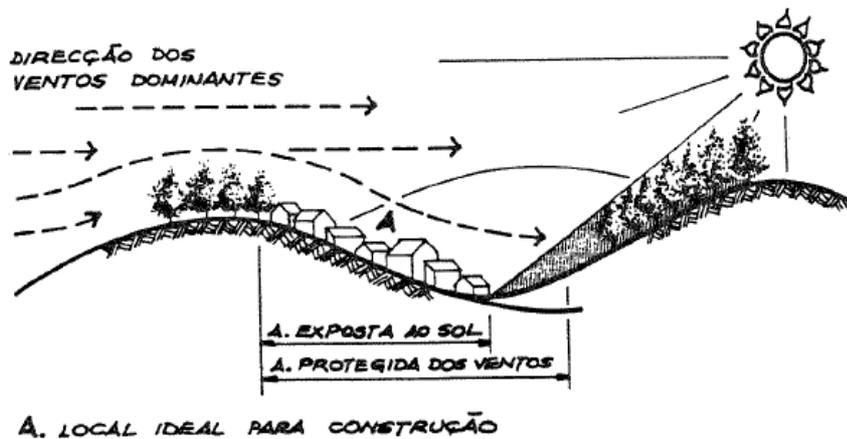


Figura 22 - Local ideal para construção tendo em conta fatores de localização (Fonte: (Moita, 1985))

- Forma:** independentemente de ter uma boa implantação ou envolvente com boa resistência térmica, o fator de forma de um edifício tem bastante influência nas suas perdas térmicas. Quanto menor for a superfície exterior, poucas saliências e reentrâncias melhor será o balanço térmico do edifício. Sempre que o espaço onde se prevê a construção o permita, deve optar-se por edifícios com forma retangular orientando a sua maior fachada a sul, é no inverno que deve ser captada a maior quantidade de radiação pois esta irá ajudar na climatização natural do edifício minimizando o consumo de energias auxiliares. Pode verificar-se através das Figura 23 e Figura 24, que esta configuração de orientar a maior fachada a sul na estação de arrefecimento, a que deve ser evitados os ganhos solares, as fachadas expostas são as de menor área, podendo ainda ser controlados os ganhos na fachada sul por meio de proteções exteriores.

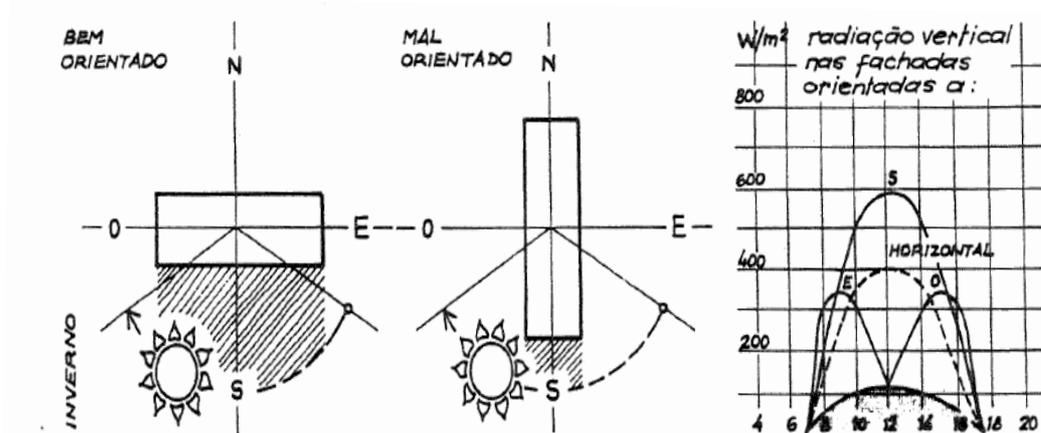


Figura 23 - Orientação dos edifícios estação inverno (Fonte: (Moita, 1985))

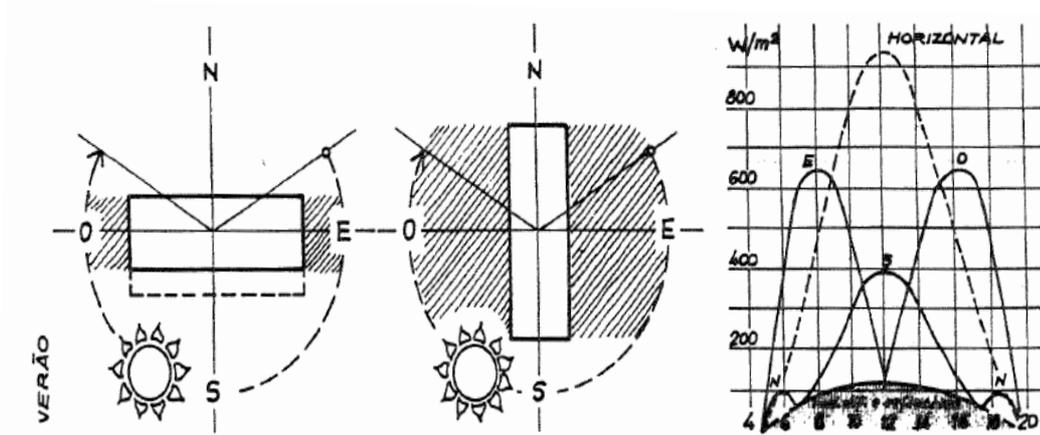


Figura 24 - Orientação dos edifícios estação verão (Fonte: (Moita, 1985))

- Orientação arquitetónica dos espaços:** a orientação mais vantajosa é a orientação sul, por este facto devem ser projetados espaços de estar ou lazer, tais como a sala de estar ou quartos. Segundo a orientação norte devem ser ocupadas por espaços destinados a garagens, despensas ou zonas de circulação, esta orientação caracteriza-se por ser uma orientação com a mais fraca radiação de inverno, a mais fria e húmida, deve ser minimizada a área de envidraçados e se possível este alçado deve ser protegido por meio de talude ou aterro. A este devem ser destinadas a espaços como os quartos, pois esta orientação conta com alguma exposição solar devido à baixa altura do sol, esta orientação é fresca de inverno e bastante agradável de verão. A orientação oeste é recetora de radiação no final de tarde e por isso deve ser uma exposição projetada para funções associadas ao fim de dia, tais como a cozinha ou jardins.

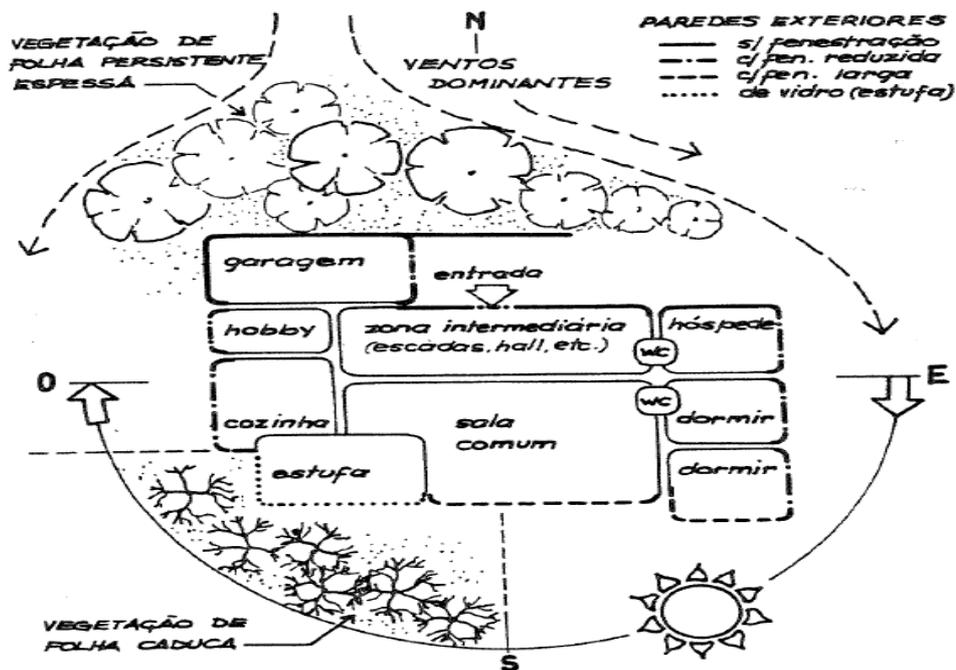


Figura 25 - Orientação arquitetônica dos espaços (Fonte: (Moita, 1985))

A energia solar passiva intervém em pressupostos constituintes do edifício como:

- **Envolvente:** A envolvente de um edifício é constituída pelos elementos que separam os espaços interiores úteis dos espaços exteriores ou dos espaços interiores não úteis. Assim os elementos que constituem a envolvente são, as paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas, sendo estes elementos responsáveis pelas trocas de energia em forma de calor entre o interior e o exterior. A envolvente do edifício deve ser isolada, respeitando valores regulamentares do coeficiente de transmissão térmica, atendendo a que exageros no isolamento provocará na estação de arrefecimento um sobreaquecimento. Os isolamentos devem responder a várias exigências como, devem ser resistentes à humidade, ao fogo, à temperatura, a fatores biológicos e ainda apresentar resistência mecânica (Moita, 1985). O isolamento desempenha um papel importante no controlo da temperatura interior, minimizando os consumos energéticos para equilíbrio da temperatura, evita condensações e aparecimento de bolores nas paredes. A colocação de isolamento evita exagerados consumos de materiais, diminui as espessuras de parede para se atingir o mesmo coeficiente de transmissão térmica, o material deve ainda ser colocado pelo lado exterior com o objetivo de baixar as amplitudes térmicas na parede, minimiza a degradação do material, evitam pontes lineares térmicas e apresenta maior massa de acumulação térmica interior.

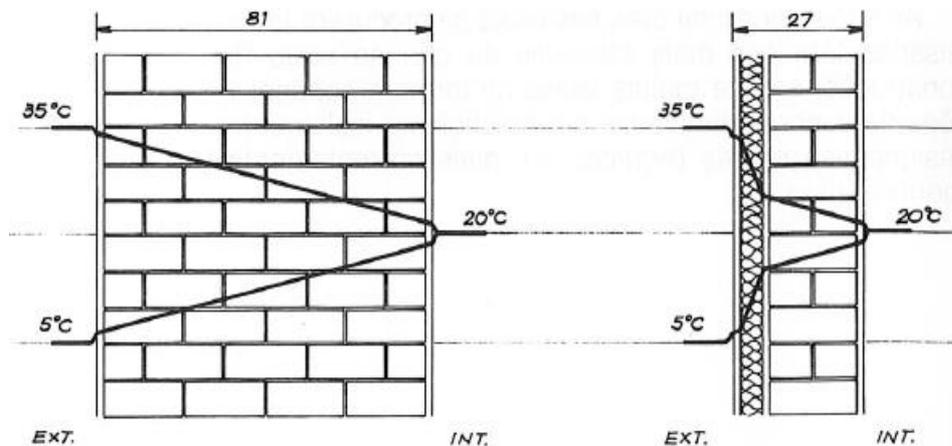


Figura 26 - Representação esquemática das linhas de temperatura (verão e inverno) em duas paredes de igual resistência térmica, sem e com isolamento, (Fonte: (Moita, 1985))

- **Envidraçados:** os envidraçados são uma parte constituinte importante da envolvente do edifício, as janelas estão sujeitas a ganhos solares diretos, mas também elevadas perdas de calor, representam no balanço energético do edifício uma grande parte das trocas. Importa dimensionar os vãos envidraçados conjugando fatores como a área, coeficiente transmissão térmica e fator solar, por forma a obter o melhor balanço entre os ganhos de inverno e as perdas de verão. As perdas térmicas dão-se a partir de vedações defeituosas no caixilho e ainda por parte do coeficiente de transmissão térmica do vidro e da caixilharia, no caso de janelas orientadas a norte com a ausência de radiação é necessário ter em atenção a altos valores deste coeficiente para minimizar as perdas de calor para o exterior. No que toca à orientação sul esta é de elevada exposição solar, os ganhos são afetados por o fator solar do vidro, quanto menor os valores deste parâmetro menos problemas ocorrerão de sobreaquecimento.
- **Sombreamento:** A incidência solar direta sobre um envidraçado pode apresentar um aumento significativo no consumo energético para efeitos de arrefecimento. O efeito indesejado da radiação pode ser evitado a partir do uso de proteções solares, estas proteções controlam não só a incidência da radiação direta, bem como podem ainda controlar a intensidade luminosa. Existem proteções solares interiores e exteriores, sendo que as proteções solares exteriores são mais eficientes e evitam ganhos de calor até 96%, enquanto que as proteções interiores apenas evitam 62% (Adene, Proteções

Solares, 2016). As proteções pelo exterior do edifício são mais recomendáveis, pelo facto de proteções interiores poderem contribuir para um aquecimento do ambiente por efeito de convecção (Moita, 1985).

### **3. CASO DE ESTUDO**

Neste Capítulo pretende-se observar a influência que a variação de alguns dos parâmetros relacionados com a parte opaca e não opaca da envolvente de um edifício têm no seu desempenho termo energético. Pretende-se assim que, com esta análise, o processo de planeamento de uma intervenção de reabilitação ao nível da envolvente de um edifício, possibilite a minimização dos consumos energéticos e que estes estejam de acordo com as exigências relacionadas com condições regulamentares em vigor, nomeadamente, o Regulamento de Edifícios de Habitação (REH). Para tal, foi utilizado um edifício de habitação unifamiliar, contruído na década de 80, situado na cidade de Braga. A escolha deste caso de estudo deve-se ao facto de este ser representativo de uma parte significativa do parque habitacional existente com necessidades de intervenção ao nível da eficiência energética.

#### **3.1 Apresentação do caso de estudo**

##### **3.1.1 Caracterização física do edifício**

O edifício em estudo consiste numa moradia unifamiliar construída na década de 80, localizado na freguesia de São Mamede Este, a cerca de cinco quilómetros do centro da cidade de Braga, em Portugal, a uma cota altimétrica de 253 m (referência ao nível médio das águas do mar).

A envolvente espacial é caracterizada por um ambiente rural, sem obstruções do horizonte provocadas por edifícios adjacentes. O edifício é servido por uma estrada principal tendo a fachada principal orientada praticamente a norte e a posterior sul, tendo as outras duas orientações este e oeste. Tem uma área útil de 110,28 m<sup>2</sup> e um pé direito médio ponderado de 2,53 m, para um volume total útil de 279 m<sup>3</sup>.

O edifício, de tipologia T4, possui dois pisos: um primeiro piso constituído por vários compartimentos, arrumos, zonas de circulação, uma garagem e uma instalação sanitária; no segundo piso encontram-se quatro quartos, uma cozinha, uma sala, duas instalações sanitárias e zonas de circulação. Para uma melhor perceção do referido, foi realizado um levantamento do edificado e prospeção dos detalhes construtivos, conforme pode ser observado nas Figuras 27 e 28.

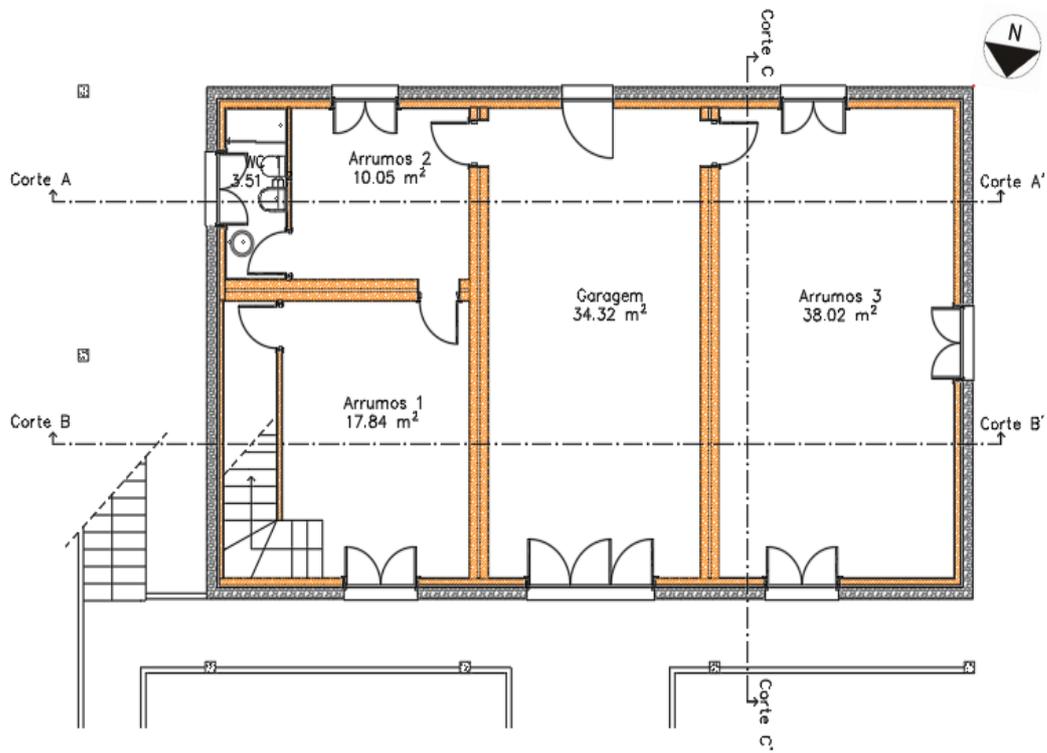


Figura 27 - Planta piso 0

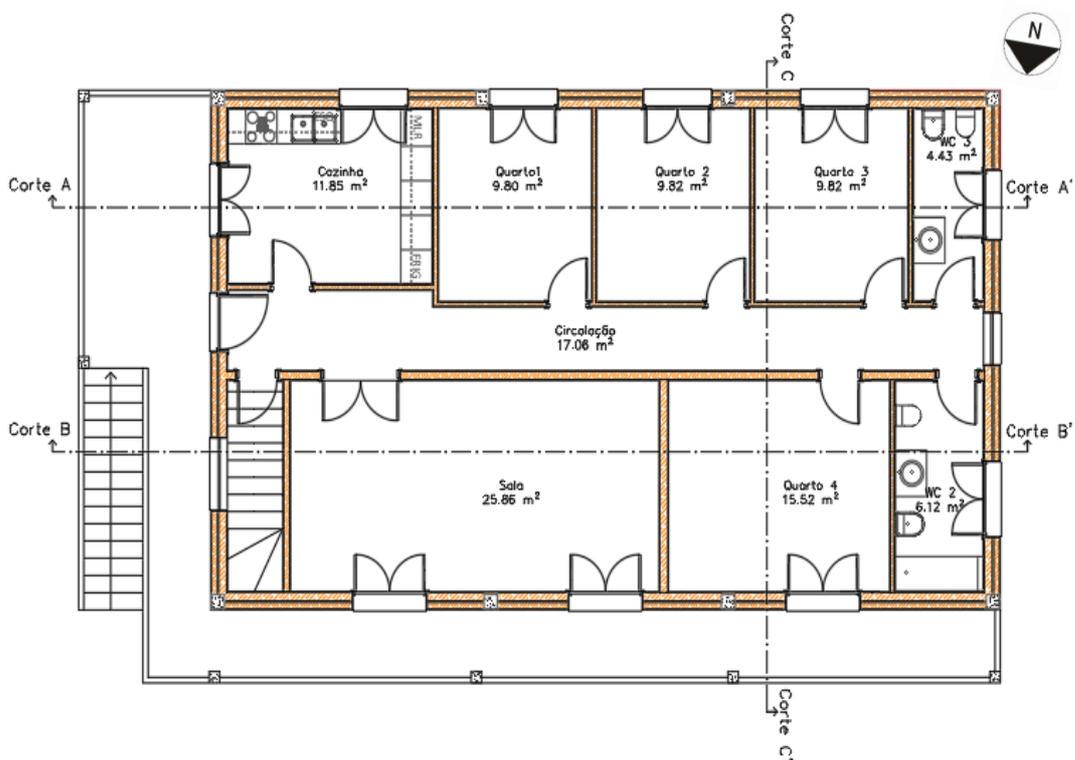


Figura 28 - Planta piso 1

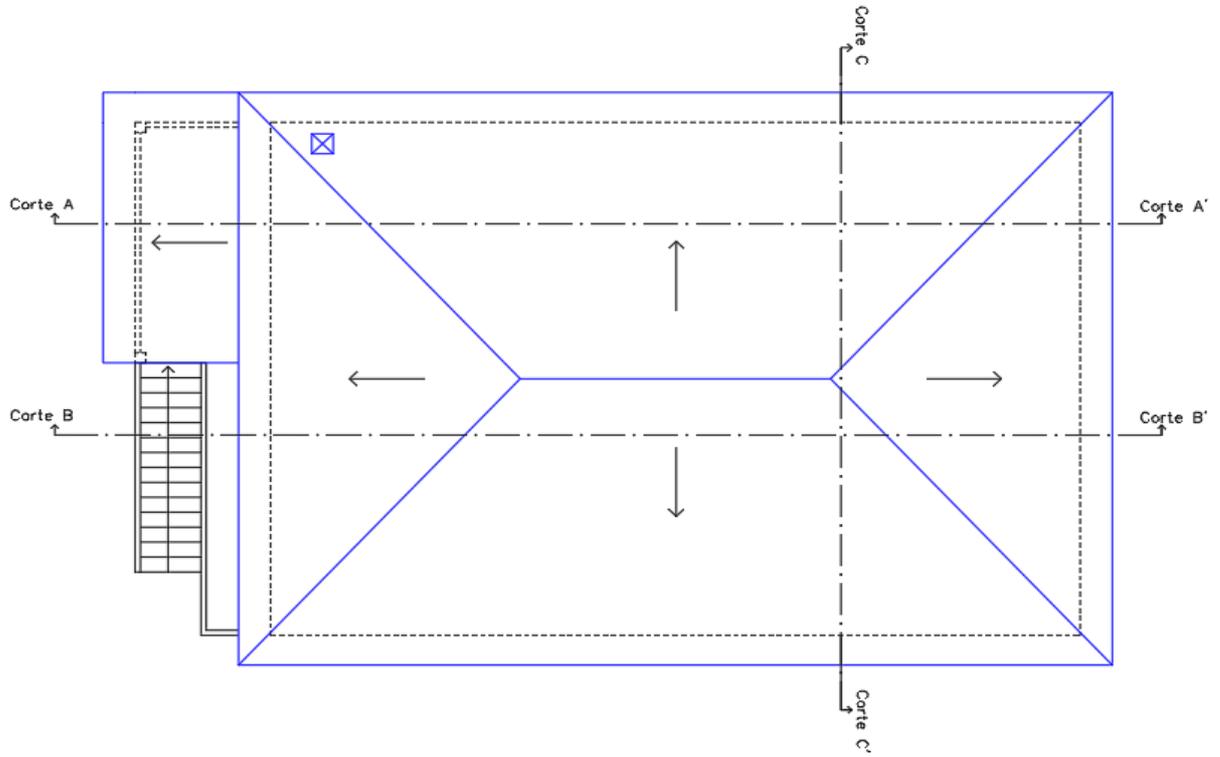


Figura 29 - Planta de cobertura

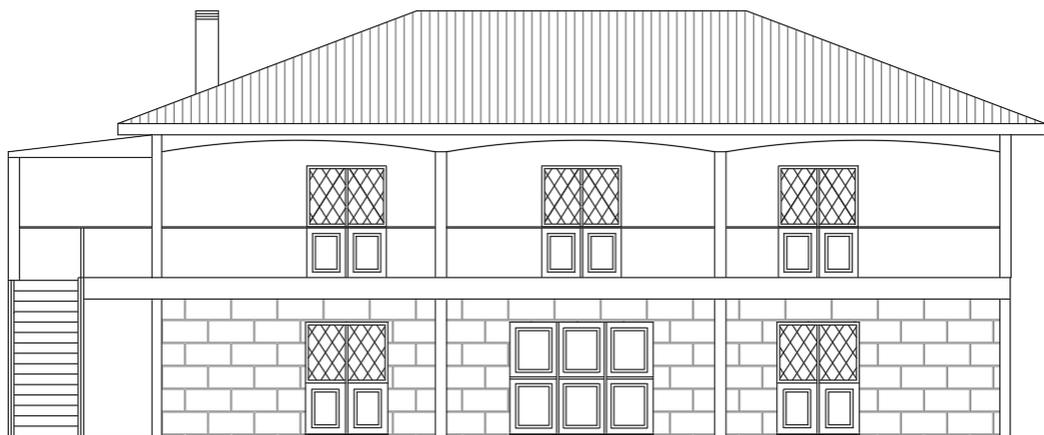


Figura 30 - Alçado norte

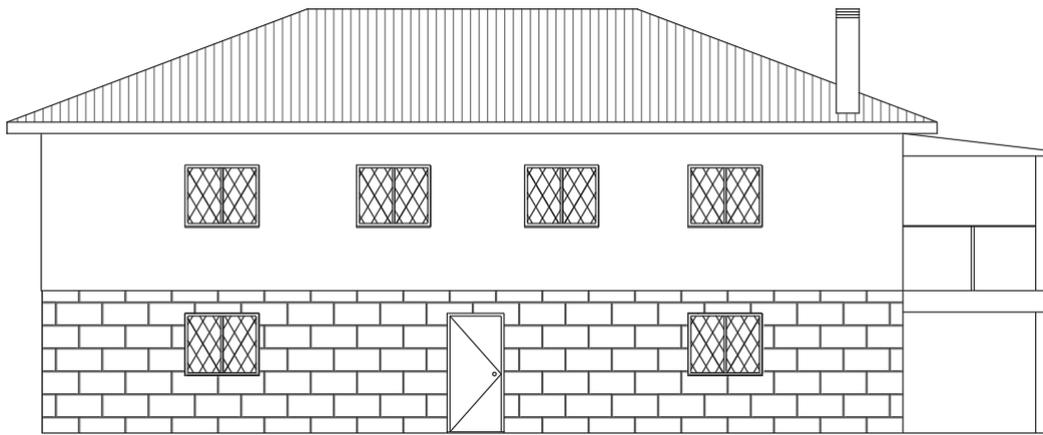


Figura 31 - Alçado sul

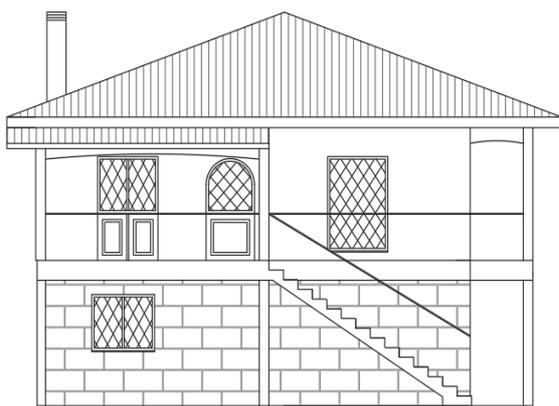


Figura 32 - Alçado este

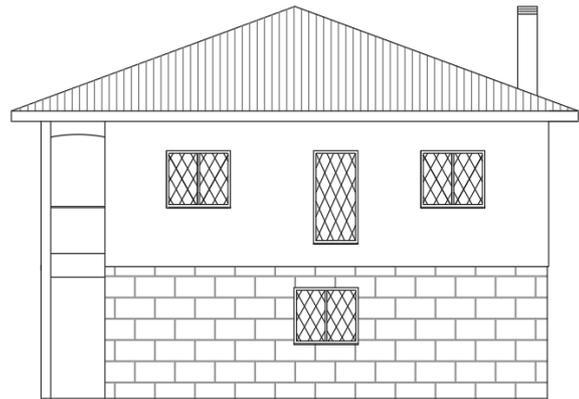


Figura 33 - Alçado oeste

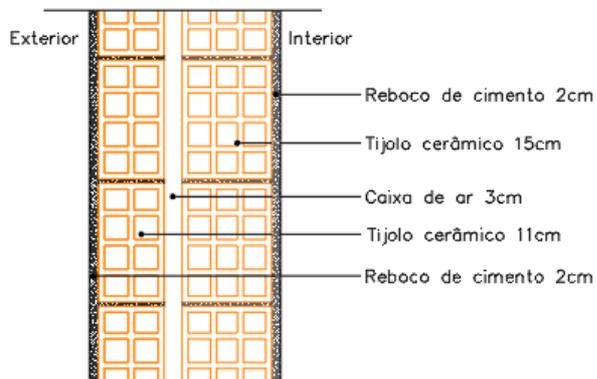


Figura 34 - Parede exterior tipo 1

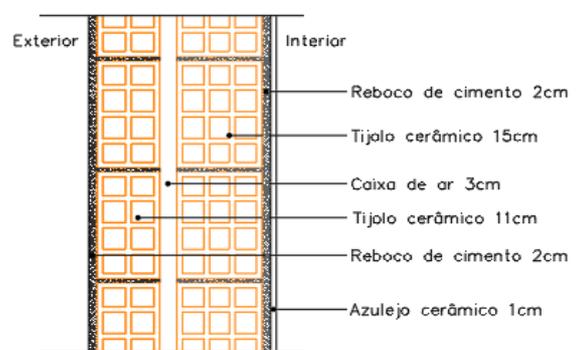


Figura 35 - Parede exterior tipo 2

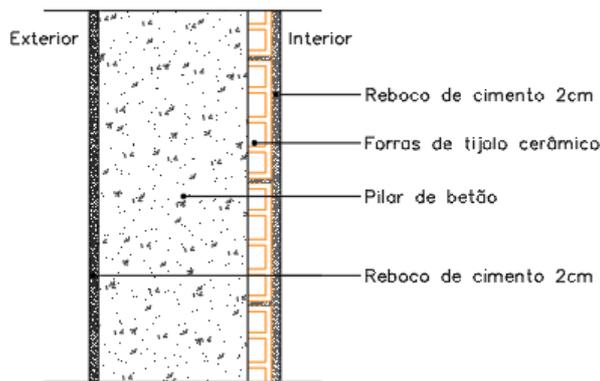


Figura 36 - Ponte térmica plana

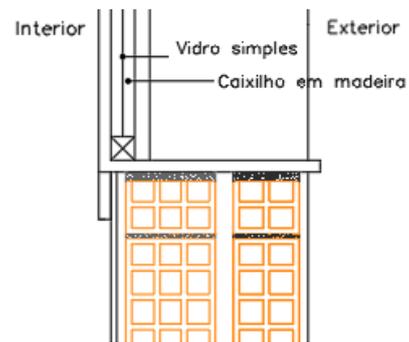


Figura 37 - Pormenor vão envidraçado

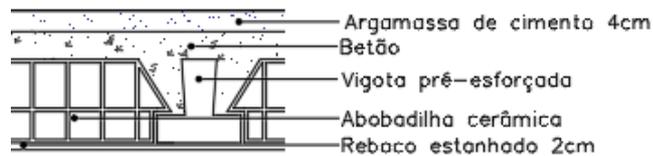


Figura 38 - Cobertura interior

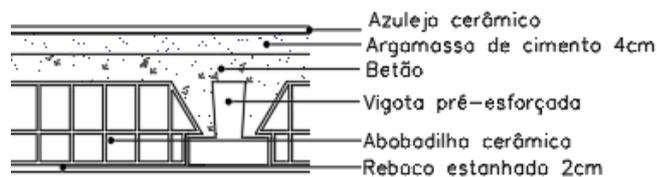


Figura 39 - Pavimento interior

A envolvente opaca do edifício, como pode ser constatado pelos pormenores construtivos apresentados nas figuras 34 a 36, divide-se em dois tipos de paredes exteriores:

- As paredes exteriores tipo 1 Figura 34, são paredes formadas por dois panos de tijolo vazado separadas por uma caixa de ar, revestidas pelo exterior com reboco de cimento e pelo interior um reboco de cimento estanhado;
- As paredes de tipo 2, Figura 35, que diferem na constituição das paredes tipo 1, Figura 34, pelo revestimento e pelo facto de se localizarem em compartimentações húmidas (cozinha e casas de banho), sendo revestidas a azulejo cerâmico;

- As situações de pilares e vigas que representam as pontes térmicas representadas em pormenor acima pela Figura 36, ponte térmica plana.

A envolvente não opaca, vãos envidraçados, Figura 37, é composta por janelas com caixilharia em madeira e vidro simples. Todos os coeficientes de transmissão térmica poderão ser consultados na Tabela 1.

O pavimento interior, Figura 39, é constituído por uma estrutura de laje aligeirada revestida por um azulejo cerâmico e pelo lado inferior da laje é revestido por um reboco de cimento estanhado. Este pavimento interior tem contacto com espaços não aquecidos e com variados coeficientes redutores de perdas calculados de acordo com o (Despacho n.º 15793K, 2013) do regulamento e poderão ser consultados através da Tabela 2.

A cobertura interior tem contacto com um desvão (sótão) e a sua constituição também poderá ser consultada pelos pormenores acima Figura 38. O desvão é coberto com uma laje inclinada revestida com telha em cimento e apresenta um coeficiente redutor de perdas calculado de acordo com o (Despacho n.º 15793K, 2013) do regulamento REH e podem ser consultados na Tabela 2.

Em relação ao sistema de preparação de águas quentes sanitárias, o edifício dispõe de um esquentador alimentado pela rede pública de gás natural, apresenta como características técnicas uma potência útil nominal de 19.2 kW.

Tabela 1 - Tabela resumo coeficiente transmissão térmica das soluções da envolvente

| Elemento               | Coeficiente transmissão térmica, U (w/m <sup>2</sup> . °C) | Referências  |
|------------------------|------------------------------------------------------------|--------------|
| Parede exterior tipo 1 | 1,17                                                       | ITE 50, LNEC |
| Parede exterior tipo 2 | 1,16                                                       |              |
| Ponte térmica plana    | 3,14                                                       |              |
| Vão envidraçado        | 4,76                                                       |              |
| Pavimento interior     | 0,43                                                       |              |
| Cobertura interior     | 0,37                                                       |              |

Os valores da condutividade térmica do elemento (W/m<sup>2</sup>.°C) de cada camada de material constituinte do elemento construtivo foi consultado através do documento ITE 50 LNEC,

constata-se que os valores do coeficiente de transmissão térmica, U, ultrapassam os valores regulamentares tanto em elementos verticais como horizontais, impostos pela (Tabela I.05B, Portaria n.º 379-A/2015).

Tabela 2 - Tabela resumo coeficiente redutor de perdas  $b_{tr}$  das soluções da envolvente

| Identificação do ENU | Coeficiente redutor de perdas, $b_{tr}$<br>(w/m <sup>2</sup> . °C) | Referências  |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| Wc 1                 | 1,00                                                               |              |
| Arrumos 1            | 0,80                                                               |              |
| Arrumos 2            | 0,60                                                               | ITE 50, LNEC |
| Arrumos 3            | 0,80                                                               |              |
| Garagem              | 0,70                                                               |              |
| Sótão                | 0,80                                                               |              |

Os valores do coeficiente redutor de perdas foram calculados de acordo com a Tabela 22 do (Despacho n.º 15793K, 2013), em função da taxa de renovação do ar, da razão  $A_i/A_u$ . Verifica-se que o espaço com o qual existe um maior grau de trocas de energia em forma de calor é o Wc1, e o que se apresenta como menos gravoso é o Arrumos 2.

### 3.1.2 Enquadramento climático

O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto. A composição destes municípios enquadra a cidade de Braga no NUTS III do Cavado conforme poderá ser consultado, conforme Tabela 01 do (Despacho n.º 15793F, 2013)

Portugal Continental, de acordo com o referido despacho do regulamento REH, encontra-se dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de Verão.(V1, V2, V3) conforme pode ser constatado pela Figura 40.

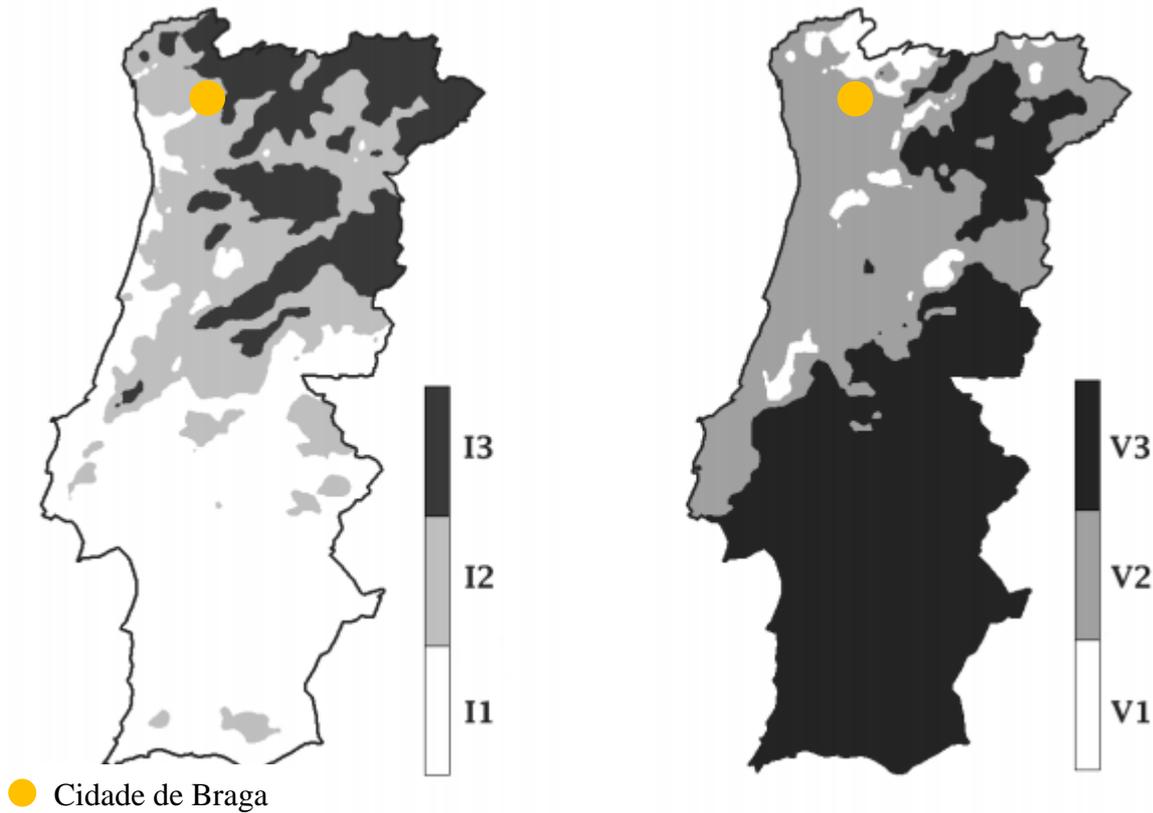


Figura 40 - Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno e Verão. (Despacho nº 15793F, 2013)

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) registados abaixo da temperatura média de referência de 18 °C, em cada dia ao longo de toda a estação de aquecimento, conforme poderá ser consultado pela Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

|      | GD ≤ 1300 | 1300 ≤ GD ≤ 1800 | GD ≥ 1800 |
|------|-----------|------------------|-----------|
| Zona | I1        | I2               | I3        |

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ), conforme poderá ser consultado pela Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios para a determinação da zona climática de verão

|      | $\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$ | $20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$ |
|------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Zona | V1                                       | V2                                                            | V3                                    |

Os valores dos parâmetros climáticos  $X$  associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência  $X_{REF}$  para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local,  $z$  (Despacho nº 15793F, 2013).

As correções de altitude para cada lugar, são do tipo linear, com declive  $a$ , e são proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência  $Z_{REF}$  para a NUTS III, tendo em conta a equação (3.1).

$$X = X_{REF} + a ( Z - Z_{REF} ) \quad \text{(Equação 3.1)}$$

Para poder classificar uma zona de inverno é necessário atender a parâmetros climáticos que dizem respeito à estação de aquecimento, são os seguintes:

$GD$  - Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento;

$M$  - Duração da estação de aquecimento, (mês)

$\theta_{ext,i}$  - Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, (°C)

$G_{sul}$  - Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul, (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

Assim, usando como base de apoio os valores de referência e declives para ajustes em altitude, (Despacho nº 15793F, 2013, Tabela 04), procede o calculo do número de graus dia para a estação de aquecimento. Estes valores podem ser consultados pela Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculo do número de graus dia estação aquecimento (Inverno)

| Estação de Aquecimento (Inverno)   |        |
|------------------------------------|--------|
| Número de Graus-Dias (GD) - X (°C) |        |
| $X_{REF}$ (°C)                     | 1491   |
| $a$ (mês/m)                        | 1,3    |
| $z$ (m)                            | 253    |
| $Z_{REF}$ (m)                      | 171    |
| $X$ (°C)                           | 1597,6 |

De acordo com o cálculo efetuado, Tabela 5, pode-se verificar que o valor aqui obtido para o número de graus dia, enquadra-se entre os valores de referência da zona climática de inverno I 2.

Para poder classificar uma zona de verão é necessário atender a parâmetros climáticos que dizem respeito à estação de arrefecimento, sendo estes os seguintes:

$L_v$  - Duração da estação de aquecimento, tendo consideradas 4 meses ou 2928 horas

$\theta_{ext,v}$  - Temperatura exterior média (°C)

$I_{sol}$  - Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m<sup>2</sup>)

Assim, usando como base de apoio os valores de referência e declives para ajustes em altitude, (Despacho nº 15793F, 2013, Tabela 05), procede-se ao cálculo da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ). Estes valores podem ser consultados pela Tabela 6.

Tabela 6 - Cálculo da temperatura média exterior estação de arrefecimento (Verão)

| Estação de Arrefecimento (Verão)                         |        |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Temperatura Exterior Média ( $\theta_{ext,v}$ ) - X (°C) |        |
| $X_{REF}$ (°C)                                           | 20,7   |
| $a$ (mês/m)                                              | -0,003 |
| $z$ (m)                                                  | 253    |
| $Z_{REF}$ (m)                                            | 171    |
| $X$ (°C)                                                 | 20,454 |

O valor obtido para a temperatura exterior média 20,454 (°C) conforme Tabela 6, enquadra-se e classifica-se, segundo a Tabela 4, como uma zona climática de verão V2.

### 3.1.3 Caracterização dos espaços e envolventes

O edifício é constituído por espaços úteis e não úteis. Para proceder à sua caracterização recorreu-se à definição do decreto lei, (DL 118/2013), nomeadamente:

"Espaço Útil", o espaço com considerações de referência no âmbito do REH, compreendendo que, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõem aquecidos ou arrefecidos de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços que, não sendo usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos, ou instalações sanitárias, devem ser considerados espaços com considerações de referência.

"Espaços não uteis", é considerado o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Estão incluídos aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras frações autónomas do mesmo edifício.

Tendo em conta as considerações anteriores representam-se nas Figura 41 e Figura 42, os espaços úteis e não úteis, através de uma trama com cor conforme legenda sobre a planta de cada piso do edifício.

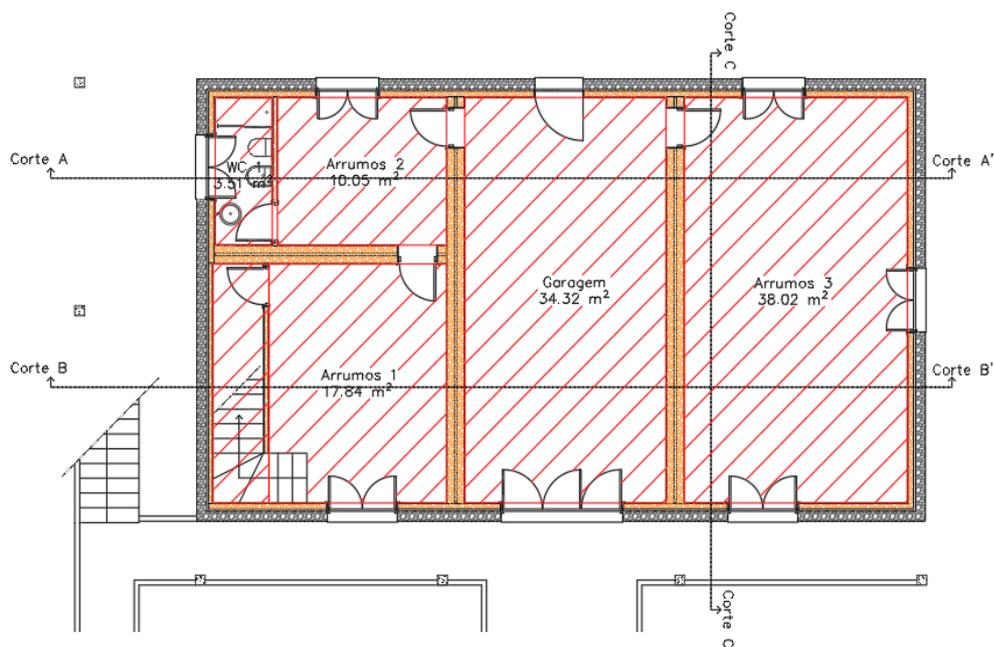


Figura 41 - Piso 0, Espaços úteis e não úteis

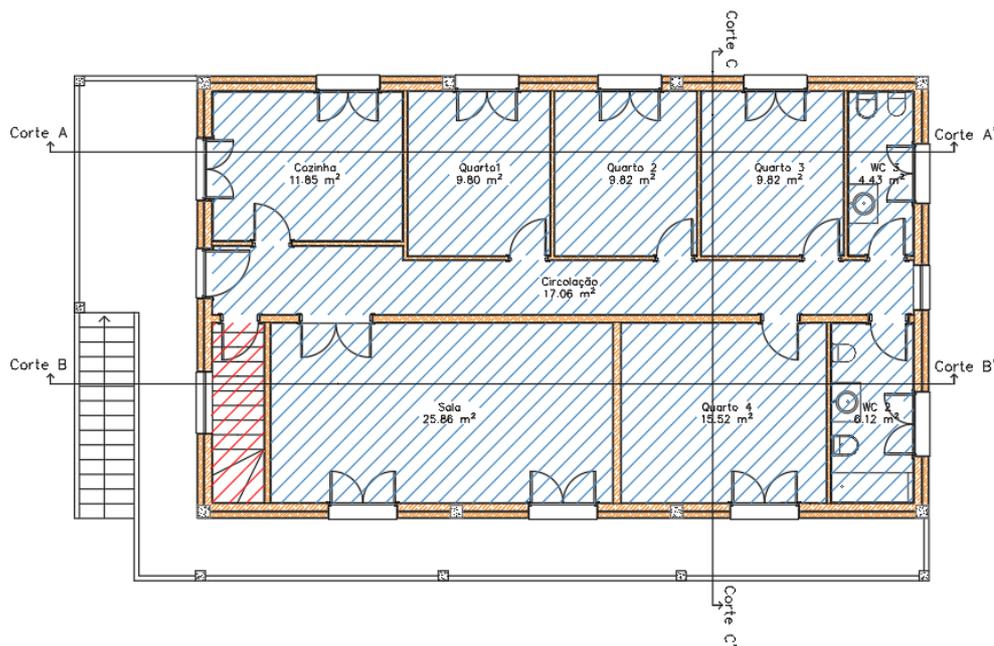


Figura 42 - Piso 1, Espaços úteis e não úteis

Legenda:

-  Espaços não úteis
-  Espaços úteis

A definição da envolvente é feita em função do contacto entre o espaço útil e exterior ou entre espaço útil e espaço não útil, sendo que a delimitação da envolvente térmica do edifício no caso de contacto entre espaços obriga à definição do coeficiente  $b_{tr}$  de todos os espaços não-úteis (ENU).

Para a marcação da envolvente do edifício foi utilizado um padrão de cores, e engloba especificação da envolvente de acordo com o seguinte:

Legenda:

-  Envolvente exterior
-  Envolvente interior com requisitos de exterior
-  Envolvente interior com requisitos de interior
-  Envolvente em contacto com o solo

A separação entre espaço útil e o exterior, é considerada envolvente exterior, e é representada de cor vermelha. Esta envolvente tem requisitos mínimos a respeitar, tendo em consideração parâmetros de transmissão térmica, como o coeficiente  $U_{máx}$ , transmissão térmica superficial máximo admissível de elementos opacos e para o  $g_{Tmáx}$ , fator solar de vãos envidraçados, estes limites são regulamentados pela (Portaria 349 B, Tabela 1.05 B).

No caso em que a envolvente se refira a uma separação entre um espaço útil e um espaço não útil, esta é considerada uma envolvente interior. A envolvente interior pode ter 2 designações:

- envolvente interior com requisitos de exterior;
- envolvente interior sem requisitos.

Sendo estas dependentes do coeficiente redutor de perdas  $b_{tr}$ .

O coeficiente de redução de perdas  $b_{tr}$ , é um coeficiente que varia entre 0 e 1 sendo condicionado pelo grau de ventilação do espaço que se está a considerar, pelo volume, áreas de contacto entre espaços úteis e não úteis, diferenciando assim trocas do interior para o exterior de trocas de interior para interior afetado desse parâmetro redutor de perdas, traduzindo assim uma redução na transmissão de calor.

O valor do coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil é determinado com base na EN ISO 13789, sendo calculado com base equação (3.2).

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Em que,

$\theta_{int}$  - Temperatura interior (°C)

$\theta_{ext}$  - Temperatura ambiente exterior (°C)

$\theta_{enu}$  - Temperatura do local não útil (°C)

Dado o potencial forte variabilidade do valor da temperatura do local não útil, fortemente dependente do uso concreto e real de cada espaço, admite-se que para alguns tipos de espaços

não úteis o  $b_{tr}$ , pode tomar os valores indicados na Tabela 22 do (Despacho n.º 15793K, 2013), em função da taxa de renovação do ar, da razão  $A_i/A_u$ .

| $b_{tr}$               | $v_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$ |     | $50 \text{ m}^3 < v_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$ |     | $v_{enu} > 200 \text{ m}^3$ |     |
|------------------------|-------------------------------|-----|-------------------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
|                        | f                             | F   | f                                               | F   | f                           | F   |
| $A_i/A_u < 0,5$        | 1,0                           |     | 1,0                                             |     | 1,0                         |     |
| $0,5 \leq A_i/A_u < 1$ | 0,7                           | 0,9 | 0,8                                             | 1,0 | 0,9                         | 1,0 |
| $1 \leq A_i/A_u < 2$   | 0,6                           | 0,8 | 0,7                                             | 0,9 | 0,8                         | 1,0 |
| $2 \leq A_i/A_u < 4$   | 0,4                           | 0,7 | 0,5                                             | 0,9 | 0,6                         | 0,9 |
| $A_i/A_u \geq 4$       | 0,3                           | 0,5 | 0,4                                             | 0,8 | 0,4                         | 0,8 |

Figura 43 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis (Fonte: Tabela 22 Despacho n.º15793K, 2013)

Em que,

$A_i$  - Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil

$A_u$  - Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior

$V_{enu}$  - Volume do espaço não útil

$F$  - Espaço não útil (ENU) permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas

$f$  - Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas

São apresentados segundo Tabela 7 os valores de cálculo do coeficiente de redução de perdas para cada espaço não útil:

Tabela 7 - Determinação do Coeficiente de redução de perdas,  $b_{tr}$

“continua”

| Identificação do ENU | Área (m <sup>2</sup> ) | Pé direito (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Ai (m <sup>2</sup> ) | Au (m <sup>2</sup> ) | Ai/Au | Caraterização (f ou F) | $b_{tr}$ |
|----------------------|------------------------|----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------------|----------|
| Wc 1                 | 3,51                   | 2,53           | 8,88                     | 3,51                 | 10,52                | 0,33  | f                      | 1,00     |
| Arrumos 1            | 23,47                  | 2,53           | 59,38                    | 29,78                | 31,68                | 0,94  | f                      | 0,80     |

Tabela 7 – Determinação do Coeficiente de redução de perdas,  $b_{tr}$ 

“continuação”

| Identificação do ENU | Área (m <sup>2</sup> ) | Pé direito (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Ai (m <sup>2</sup> ) | Au (m <sup>2</sup> ) | Ai/Au | Caraterização (f ou F) | $b_{tr}$ |
|----------------------|------------------------|----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-------|------------------------|----------|
| Arrumos 2            | 10,05                  | 2,53           | 25,43                    | 10,05                | 8,86                 | 1,13  | f                      | 0,60     |
| Arrumos 3            | 38,02                  | 2,53           | 96,19                    | 38,02                | 41,92                | 0,91  | f                      | 0,80     |
| Garagem              | 34,32                  | 2,53           | 86,83                    | 34,32                | 21,10                | 1,63  | f                      | 0,70     |
| Sótão                | 154,89                 | .....          | 140,64                   | 149,27               | 212,24               | 0,70  | f                      | 0,80     |

Se o coeficiente de redução de perdas de um dado espaço não útil que está em contacto com um espaço útil for superior a 0,7, valores que podem ser consultados através da Tabela 7, então a envolvente é considerada envolvente interior com requisitos de exterior, sendo representada de cor amarela e tendo que obedecer aos parâmetros térmicos referidos anteriormente. A envolvente pode ainda ser uma envolvente em contacto com o solo, estado assim isenta de condicionantes do ponto de vista térmico. Esta envolvente é representada por cor verde.

Assumindo a convenção anteriormente definida, as seguintes Figura 44, Figura 45, Figura 46 e Figura 47, destacam a marcação da envolvente para o edifício em estudo.

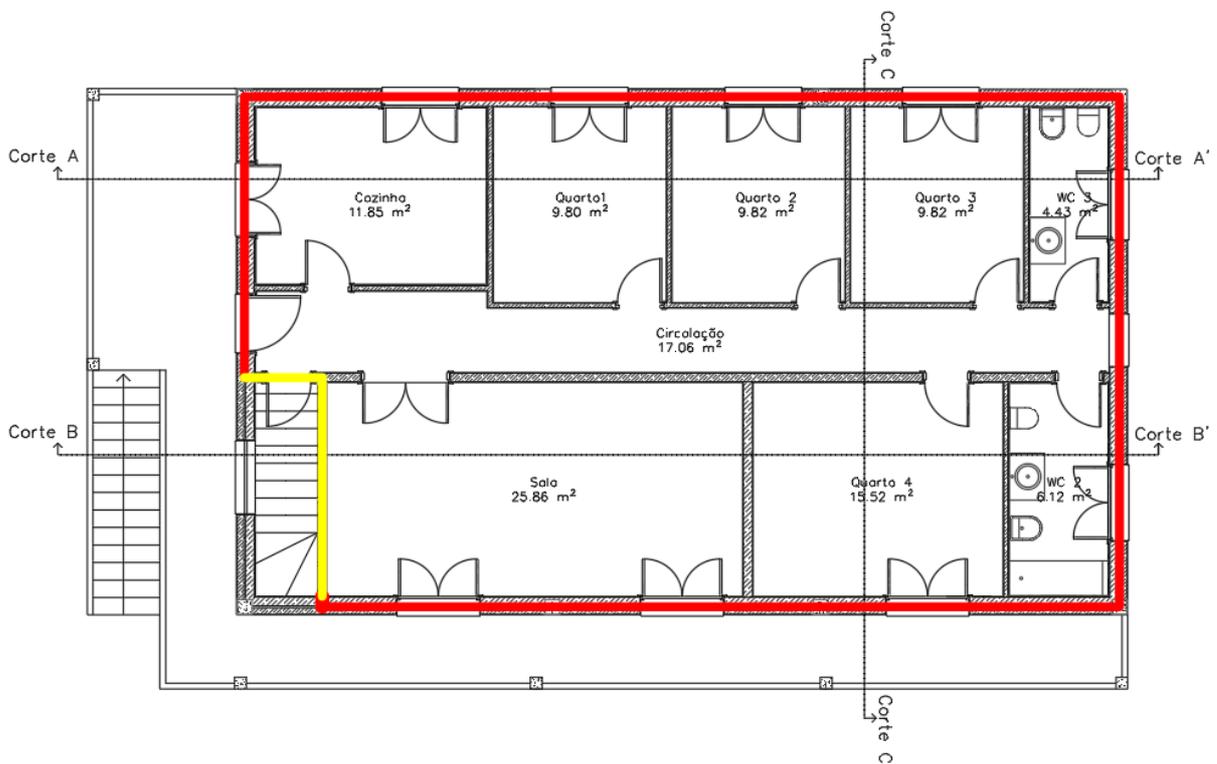


Figura 44 - Planta piso 1, envolvente

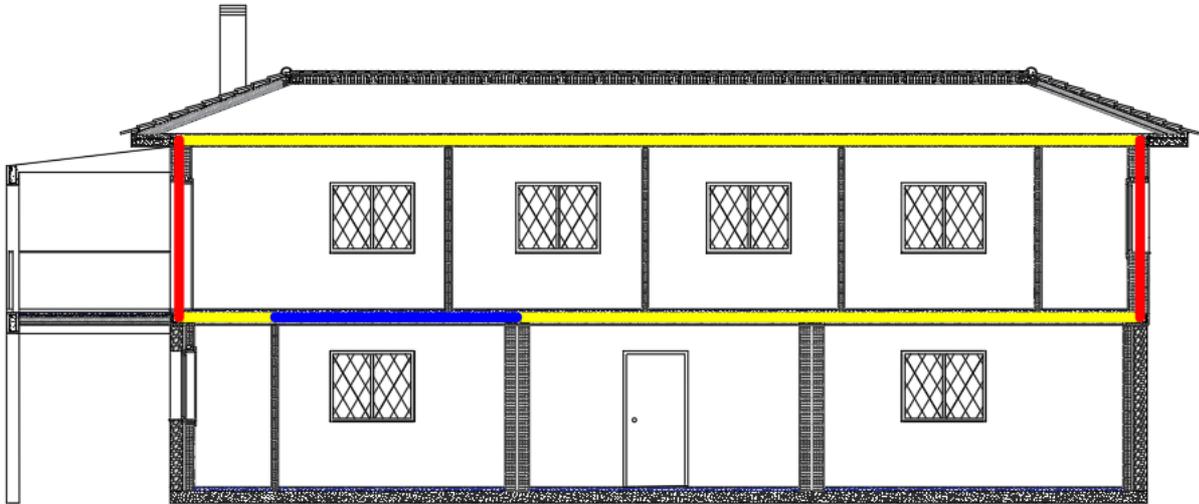


Figura 45 - Cote AA', envoltente

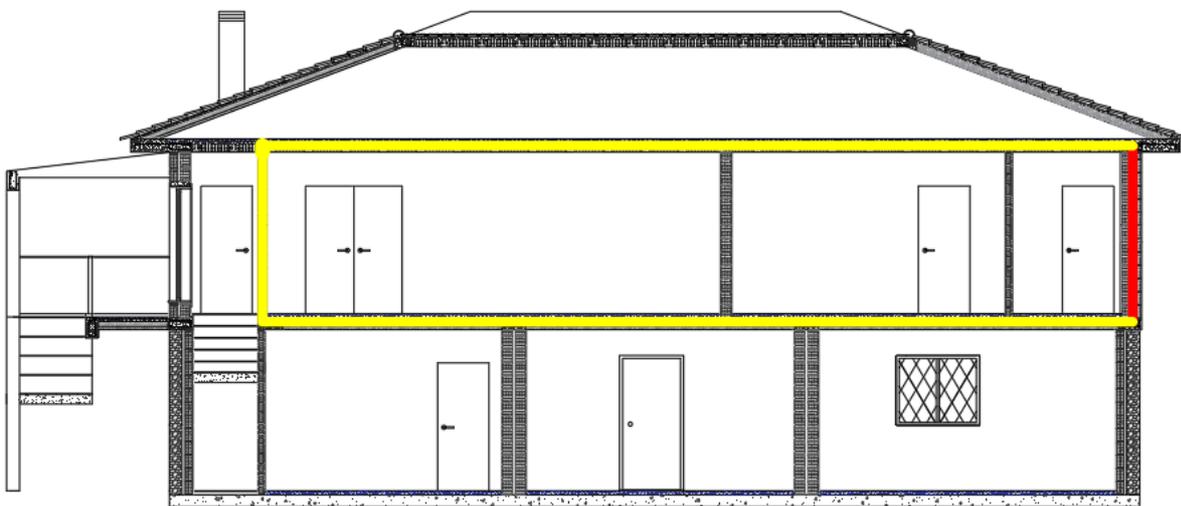


Figura 46 - Corte BB', envoltente

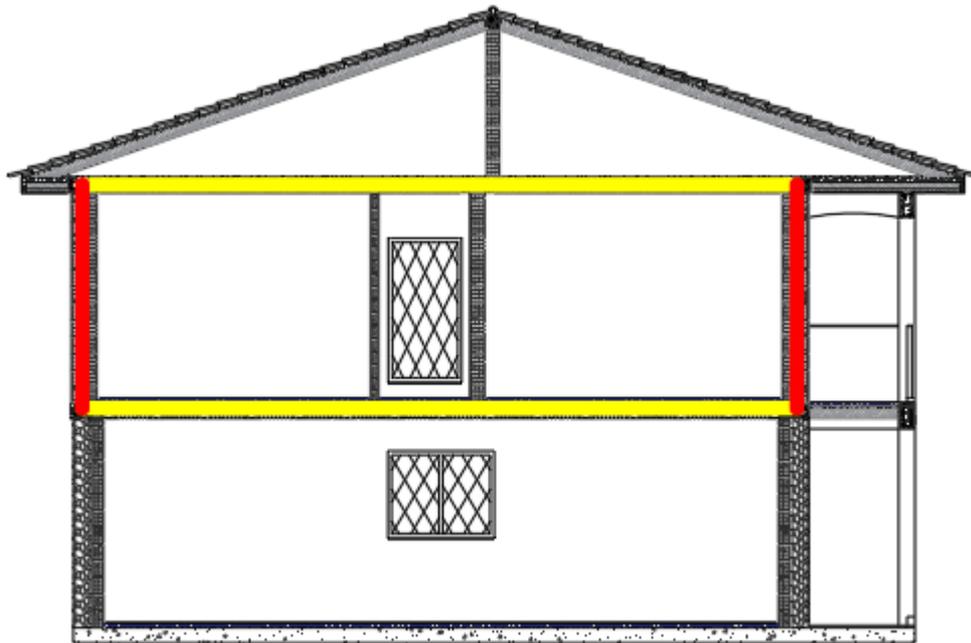


Figura 47 - Corte CC', envoltente

### 3.1.4 Parâmetros de caracterização térmica

#### **Coefficiente transmissão térmica superficial - U**

O coeficiente de transmissão térmica superficial em zona corrente, (U), é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envoltente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa. (Camelo, et al., 2006)

O coeficiente de transmissão térmica é determinado através da equação (3.3) imposta pelo regulamento REH, (Despacho n.º 15793F, 2013).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Em que,

$R_j$  – Resistência térmica da camada  $j$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_{si}$  - Resistência térmica superficial interior ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

$R_{se}$  - Resistência térmica superficial exterior ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )

Os valores para a resistência térmica superficial interior e exterior têm em conta o sentido de fluxo de calor, podem ser consultados na (Tabela 01 Despacho nº 15793K, 2013).

A resistência de cada elemento é calculada da através da seguinte equação:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{(Equação 3.4)}$$

Em que,

$R$  - Resistência térmica do elemento ( $m^2 \cdot ^\circ C /W$ )

$e$  - Espessura da camada (m)

$\lambda$  - Condutividade térmica do elemento ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ), valores consultáveis em fichas técnicas de produto ou ITE 50 LNEC.

O cálculo do valor do coeficiente  $U$ , obriga a que sejam conhecidas as características de elementos das envolventes verticais e horizontais, a espessura, os materiais utilizados e a condutibilidade de cada material que compõe o elemento construtivo, sendo este valor da condutibilidade térmica de cada material consultada através de valores tabelados, ITE 50 LNEC ou catálogo de fabricantes.

Tendo em conta o traçado da envolvente houve, para o cálculo do parâmetro  $U$ , a necessidade de fazer uma prospeção dos materiais aplicados na construção do edifício. A Figura 47 e Figura 49, identificam a localização de cada elemento construtivo vertical e horizontal.

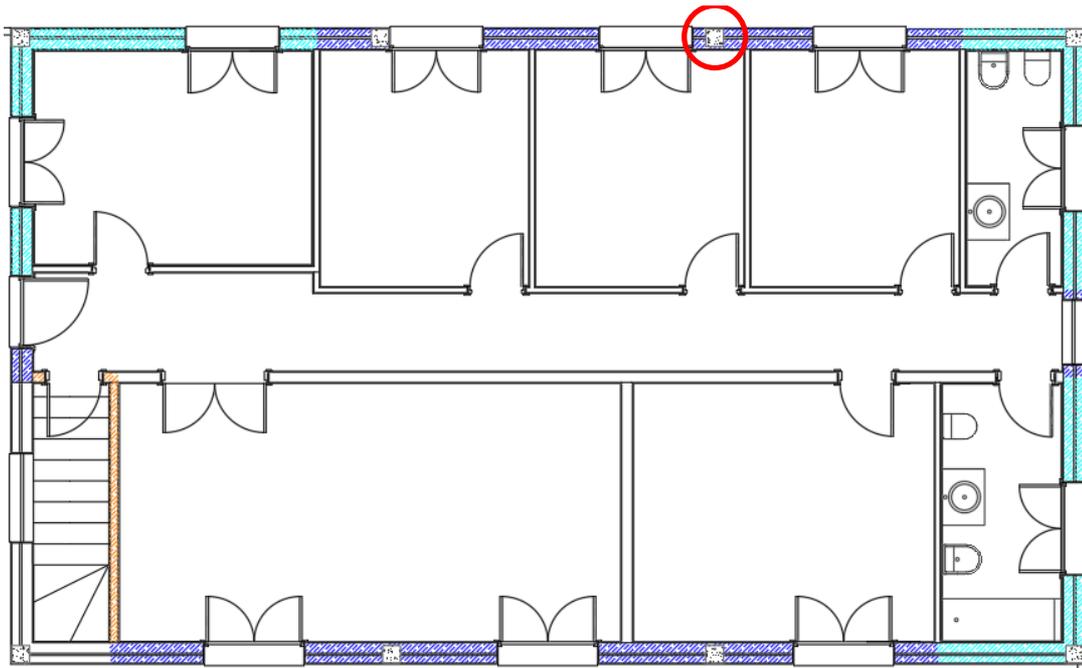


Figura 48 - Identificação de elementos verticais da envolvente

Legenda:

-  Parede exterior 1 (PDE1, designação atribuída pela folha de cálculo IteCons)
-  Parede exterior 2 (PDE2, designação atribuída pela folha de cálculo IteCons)
-  Parede interior (PDI1, designação atribuída pela folha de cálculo IteCons)
-  Paredes exteriores em zonas de pilares e vigas (PTPPDE1, designação atribuída pela folha de cálculo IteCons)



Figura 49 - Identificação de elementos horizontais da envolvente

Legenda:

 Pavimento interior PVI 1

 Cobertura interior CBI 1

Em conformidade com o referido anteriormente apresentam-se na Tabela 8, os valores resumo do coeficiente de transmissão térmica  $U$  para cada elemento constituinte da envolvente:

Tabela 8 - Coeficiente transmissão térmica  $U$  por elemento

| Elemento                            | $U$<br>(W/m <sup>2</sup> .°C) | $U_{max}$<br>Tabela I.05B<br>Portaria n.º 379-A/2015 |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|
| Parede exterior 1 - PDE1            | 1,17                          | Não verifica                                         |
| Parede exterior 2 – PDE2            | 1,16                          | Não verifica                                         |
| Parede exterior – PDI               | 2,16                          | Não verifica                                         |
| Vãos envidraçados                   | 4,76                          | Não verifica                                         |
| Elementos opacos exteriores, portas | 5,88                          | Não verifica                                         |
| Ponte térmica plana - PTPPDE 1      | 3,14                          | Não verifica                                         |
| Pavimento interior - PVI 1          | 0,43                          | Não verifica                                         |
| Cobertura interior - CBI 1          | 0,37                          | Não verifica                                         |

Relativamente a todos os dados obtidos referentes ao coeficiente de transmissão térmica  $U$ , é possível concluir que todos os elementos da envolvente tanto verticais como horizontais, todos sem exceção, ultrapassam os valores regulamentares, indicando assim a falta de eficiência do ponto de vista do comportamento térmico do edifício. Apresenta-se no Anexo I o detalhe dos cálculos realizados.

### Pontes térmicas lineares - $\psi$

O coeficiente de transmissão térmica  $\psi$ , poderá ser entendido de forma mais simples pelo conceito de uma ponte térmica linear. Este coeficiente representa a quantidade de energia em forma de calor transmitida por unidade de tempo ao longo da ligação entre elementos construtivos diferentes, sujeitos a uma diferença de temperatura unitária entre os ambientes que divide.

As pontes térmicas podem ser vistas como pontos de interrupção da resistência térmica devido à inclusão na envolvente de materiais de diferente condutibilidade térmica e ainda pela variação de espessuras na envolvente.

A existência deste tipo de fenómeno comparada mente com zonas correntes da envolvente, provoca na estação de aquecimento um maior fluxo de calor e aumento de temperatura superficial internas nas zonas afetadas por este fenómeno. Passando-se de forma inversa na estação de arrefecimento.

As pontes térmicas lineares correspondem à ligação de dois elementos construtivos exteriores, em que o fluxo térmico é associado a uma perda térmica por unidade de comprimento, por exemplo:

- Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não-aquecidos ou exteriores;
- Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou em terraço;
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação entre duas paredes verticais;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

As perdas térmicas registadas nas pontes térmicas lineares são contabilizadas pelo produto do valor do coeficiente  $\psi$ , pelo desenvolvimento linear ou comprimento da ponte térmica, o qual deve ser medido pelo interior.

Não se contabilizam perdas térmicas nos casos de paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis e ainda paredes interiores que separam um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que o coeficiente de redução de perdas  $b_{tr} \leq 0.7$

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear  $\psi$ , pode ser determinado por uma das seguintes formas:

- De acordo com as normas europeias em vigor, nomeadamente a Norma EN ISO 10211;

- Com recurso a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas típicas, desde que o cálculo tenha sido efetuado de acordo com a Norma Europeia EN ISO 14683 com recurso à metodologia definida na EN ISO 10211;
- Com recurso aos valores indicados na Tabela 07.

No presente caso de estudo, contabilizou-se o comprimento das diversas ligações de elementos construtivos representados pelas Figura 50, Figura 51, Figura 52,e Figura 53, geradores de pontes térmicas lineares sendo os valores obtidos, diretamente reportados para uma folha de cálculo dos índices energéticos. O organismo que disponibiliza esta ferramenta de calculo é o (IteCons). Este é um Organismo de Avaliação Técnica reconhecido pela Comissão Europeia para o estabelecimento de Documentos de Avaliação Europeus e para a emissão de Avaliações Técnicas Europeias, no âmbito do Regulamento dos Produtos de Construção

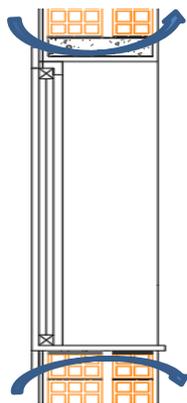


Figura 50 - Ligação fachada com caixilharia

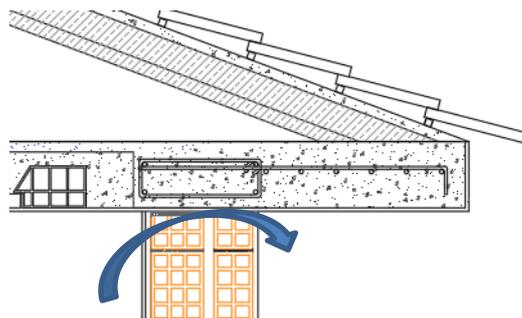


Figura 51 - Ligação fachada com cobertura

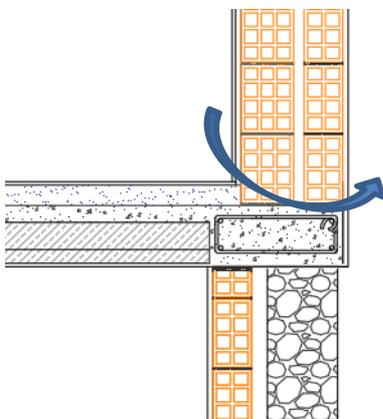


Figura 52 - Ligação fachada com o exterior ou ENU

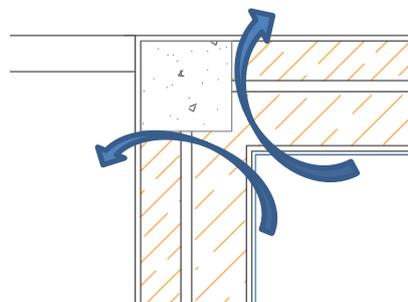


Figura 53 - Ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente

Identificadas as ligações geradoras das pontes lineares térmicas apresentam-se os comprimentos dos diversos tipos de ligações entre elementos através da Tabela 9.

Tabela 9 - Ponte térmica linear  $\psi$

| Tipo de ligação entre os elementos        | Comprimento (m) | Referência                         |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Fachada com o exterior ou ENU             | 48,27           |                                    |
| Fachada com cobertura                     | 48,27           | Tabela 07 Despacho nº 15793K, 2013 |
| Duas paredes verticais em angulo saliente | 8,34            |                                    |
| Fachada com caixilharia                   | 72,92           |                                    |

### Taxa de renovação do ar - $R_{ph}$

A ventilação do espaço útil interior baseia-se nos requisitos básicos de exigências humanas, que são o fornecimento de oxigénio e a concentração máxima de gás carbónico no ar, sendo que a diluição da concentração de gás carbónico requer maiores taxas de ventilação que o fornecimento do oxigénio.

A presença humana representa interferência nas condições termo higrométricas ambientais que devem ser analisadas e consideradas no projeto de ventilação dos edifícios. Uma outra importante função da ventilação é a remoção do excesso de calor dos ambientes. Os excessivos ganhos de calor solar, principalmente no verão, assim como o calor gerado no próprio ambiente, devido à presença de fontes diversas, podem provocar o desconforto térmico, assim a ventilação desses ambientes pode promover melhorias nas condições termo higrométricas, e induzir numa minimização do consumo de energético, podendo alcançar assim bons índices de desempenho energético (Frota & Schiffer, 1987).

Para que sejam asseguradas as condições mínimas de conforto dos ocupantes dos espaços, os edifícios devem obedecer a renovações de ar mínimas impostas pela regulamentação. A taxa de renovação do ar  $R_{ph}$ , é vista, como sendo o caudal horário de entrada de ar novo num edifício para renovação do ar interior, sendo expressa em múltiplos do volume interior útil do mesmo (Despacho nº 15793K, 2013). Estes valores de renovação de ar, podem ser atingidos por meios de ventilação natural ou com apoio de meios mecânicos. Os edifícios podem ser ventilados naturalmente estando projetados de acordo com a norma NP 1037-1 ou obedecendo a questões de exposição método previsto na norma EN 15242.

Assim, se o edifício foi projetado e executado de modo a satisfazer integralmente às exigências da norma portuguesa NP 1037-1, a taxa de renovação de ar horária nominal a adotar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento e de  $R_{ph} = 0,4 h^{-1}$  arrefecimento é de  $R_{ph} = 0,6 h^{-1}$ . Sem dispensar o cumprimento integral das exigências especificadas naquela norma, referem-se as seguintes disposições construtivas que devem ser implementadas para assegurar condições de ventilação natural:

- existência de aberturas de admissão de ar situadas em todos os compartimentos principais;
- existência de disposições que assegurem a passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviços;
- existência de aberturas (em geral condutas) de evacuação de ar em todos os compartimentos de serviços;
- inexistência de qualquer dispositivo mecânico de extração, incluindo-se neste caso, especificamente, exaustores de cozinha, extrações nas instalações sanitárias, etc.

No caso de o edifício ser ventilado naturalmente (sem recurso a meios mecânicos exceto, eventualmente, exaustor na cozinha) tendo em conta a norma EN 15242, e mediante a consideração do efeito da permeabilidade ao ar da envolvente, da existência de dispositivos de admissão de ar situados nas fachadas, das condutas de ventilação, dos sistemas mecânicos ou híbridos, do efeito de impulsão térmica, também denominado de efeito de chaminé e do efeito da ação do vento (Despacho nº 15793K, 2013).

Perante o caso de estudo, verifica-se a não-conformidade com a norma portuguesa NP 1037-1 após avaliação dos parâmetros referentes à norma EN 15242: não foram verificados os mínimos regulamentares. Por este motivo, e em forma de apoio à ventilação natural, é necessário recorrer a meios mecânicos de admissão ou extração de ar para assegurar as condições mínimas impostas pela regulamentação ao nível das renovações por hora. No caso da junção dos sistemas, a taxa de renovação horária  $R_{ph}$  a considerar na aplicação do regulamento deve incluir os caudais de ar correspondentes à ventilação mecânica e à ventilação natural, a qual continua a ocorrer em maior ou menor grau.

A taxa de renovação horária é calculada pela equação (3.5).

$$R_{ph} = \frac{V_f}{V} + \frac{V_x}{V} \quad (\text{Equação 3.5})$$

Em que,

$V_f$  - Caudal devido à ventilação mecânica (m<sup>3</sup>/h)

$V_x$  - Caudal devido à ventilação natural (m<sup>3</sup>/h)

$V$  - Volume útil interior da fração autónoma (m<sup>3</sup>)

Para efeitos de cálculo deste parâmetro, foi utilizada a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de acordo com o REH criada pelo ITeCons.

### Inércia térmica

O parâmetro inércia térmica é referido como um parâmetro que contempla a totalidade do edifício, ou seja, representa a capacidade que o conjunto dos elementos construtivos têm em absorver e libertar a energia em forma de calor.

A inércia térmica tem considerável influência sobre o comportamento do edifício tanto de Inverno ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como de Verão ao influenciar a capacidade de o edifício absorver os picos de temperatura e liberta-la já no período de arrefecimento. Para efeitos do regulamento foram definidas três classes de inércia térmica: forte, média e fraca.

A classe da inércia térmica resulta do intervalo em que se enquadra a massa superficial de cada elemento, conforme poderá ser consultado através da Tabela 10.

Tabela 10 - Classe inercia térmica, Fonte: Despacho n° 15793F, 2013

| Classe inercia térmica | $I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ] |
|------------------------|----------------------------|
| Fraca                  | $I_t \leq 150$             |
| Média                  | $150 \leq I_t \leq 400$    |
| Forte                  | $I_t \leq 400$             |

O cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento é determinado segundo a seguinte equação 3.6.

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (\text{Equação 3.6})$$

Em que,

$M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$ , ( $\text{kg/m}^2$ )

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$ , ( $\text{m}^2$ )

$A_p$  – Área interior útil de pavimento ( $\text{m}^2$ )

A massa superficial útil de cada elemento de construção,  $M_{si}$ , em ( $\text{kg/m}^2$ ) é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e do isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial. As condicionantes do parâmetro  $EL$  estão definidas no (Despacho nº 15793F, 2013) alíneas 6.1.5, 6, 7.

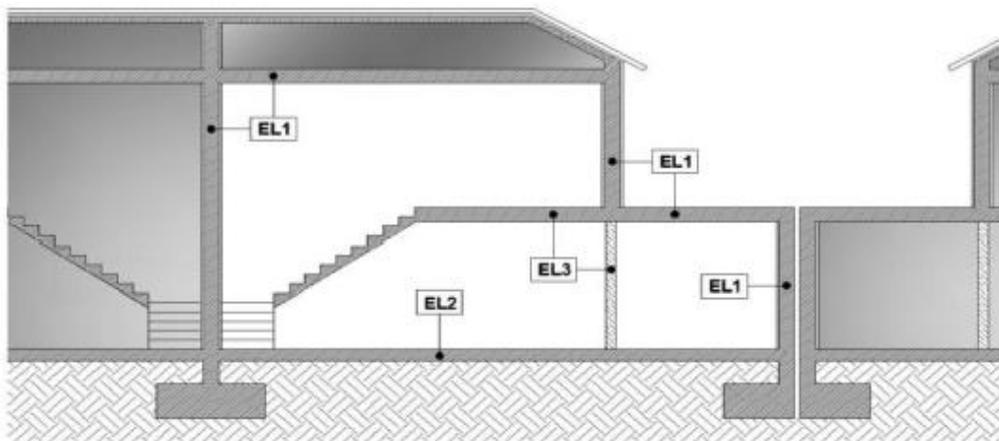


Figura 54 - Identificação de elementos construtivos para cálculo da inércia térmica interior, Fonte: Despacho nº 15793F, 2013

Em que,

$EL1$  - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;

$EL2$  - Elementos em contacto com o solo;

*EL3* - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento).

O fator de redução da massa superficial,  $r$ , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa de ar associada,  $R$ , considerando-se a aplicação das disposições do (Despacho nº 15793F, 2013), alíneas 6.2.1a), b)

Usando o processo de cálculo descrito e imposições do regulamento REH, obteve-se uma classificação de inercia média (segundo aplicação da equação 3.6), poderá ser consultado segundo a Tabela 10. Apresenta-se no Anexo I, tabelas com a informação detalhada referente a este ponto:

$$I_t = \frac{39435,02}{110,28} = 357,59 \quad (\text{Inercia Média})$$

### Fatores solares

Para o cálculo das necessidades nominais de energia útil de aquecimento  $N_{ic}$  e de arrefecimento  $N_{vc}$  devem ser contabilizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados que ocorrem, respetivamente, durante as estações de aquecimento e de arrefecimento, (Camelo, et al., 2006).

Na estação de aquecimento, os ganhos solares (brutos) através do vão envidraçado  $n$  com a orientação  $j$  são calculados através da equação (3.7).

$$Q_{sol,i} = G_{sul} * \sum_j [x_j \cdot \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_L)_{n_j}] M \quad (\text{Equação 3.7})$$

Em que,

$G_{sul}$  - Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, (Despacho nº 15793F, 2013) (kWh/m<sup>2</sup>. mês)

$x_j$  - Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a (Tabela 01, Despacho nº 15793I, 2013)

$A$  - Área do vão envidraçado

$F_h$  - Fator de sombreamento do horizonte

$F_o$  - Fator de sombreamento por elementos horizontais

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais

$F_g$  - Fração envidraçada

$F_w$  - Fator de correção da seletividade angular

$g_l$  - Fator solar do vão envidraçado

$M$  - Número de meses da estação

Nesta equação 3.7, os diversos fatores  $F_{( )}$  e  $g_l$  traduzem a fração da radiação solar incidente disponível no exterior ( $G_{sul} \cdot x_j$ ) que entra para o interior do espaço útil (sob a forma de radiação, quer visível quer térmica).

O fator de sombreamento do horizonte  $F_h$ , traduz a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por obstruções longínquas exteriores ao edifício podendo ser eles outros edifícios ou qualquer tipo construções, relevo, etc.), ou, por outros elementos (corpos e outros volumes) do próprio edifício. O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem  $60^\circ$  para cada um dos lados da normal ao envidraçado (Despacho nº 15793K, 2013).

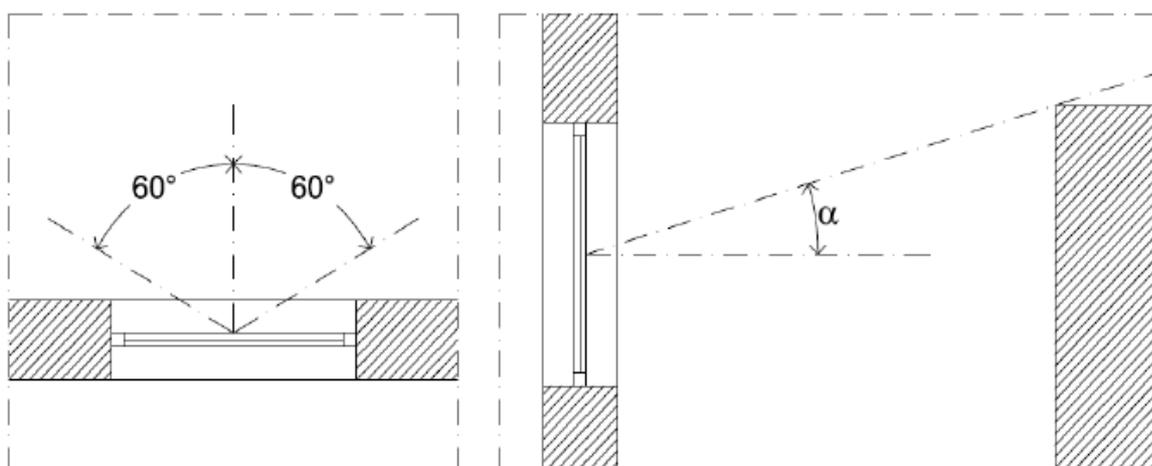


Figura 55 - Ângulo de horizonte  $\alpha$ , fonte (Despacho nº 15793 K, 2013)

O ângulo do horizonte deve ser calculado individualmente para cada vão, sendo que, caso não exista informação disponível para o efeito, o fator de sombreamento do horizonte  $F_h$  deve ser determinado mediante a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de  $45^\circ$  em ambiente urbano, ou de  $20^\circ$  no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

O fator de sombreamento  $F_o$ , por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados reflete a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, varandas ou outros elementos exteriores horizontais e este depende, do ângulo de incidência da radiação solar, do comprimento do elemento horizontal sobreposto ao vão e da orientação deste.

Na prática a influência da geometria do elemento de sombreamento e a sua interação com a altitude solar é representada pelo ângulo da pala,  $\alpha$ , medido a partir do ponto médio do envidraçado conforme mostra a Figura 56, e calculado de acordo com a Tabela 16 do (Despacho nº 15793K, 2013)

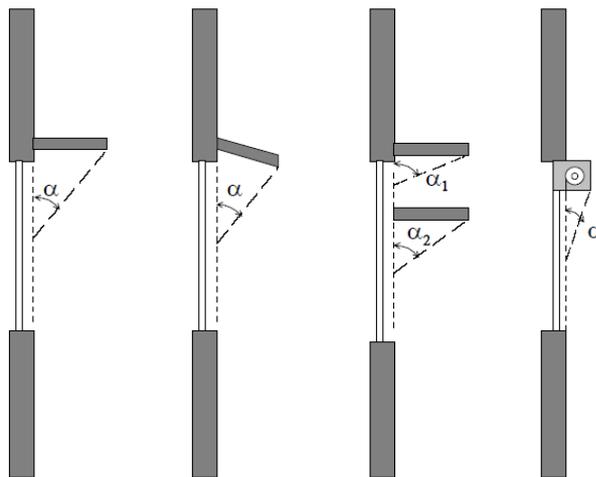


Figura 56 - Exemplos de medição do ângulo  $\alpha$  de palas, fonte: (Camelo, et al., 2006)

O fator de sombreamento  $F_f$ , por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado, reflete a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, corresponde aos elementos de proteção solar verticais, palas ou outros elementos com o mesmo propósito. O ângulo é determinado de acordo com a Figura 57 e calculado de acordo com a Tabela 18 do (Despacho nº 15793K, 2013)

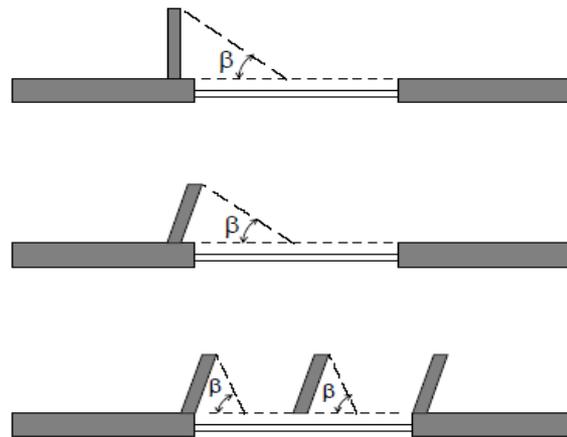


Figura 57 - Exemplos de medição do ângulo ( $\beta$ ) de palas verticais

A fração envidraçada  $F_g$ , pode ser obtido, para os diferentes tipos correntes de caixilharia, por consulta direta da (Tabela 20 do Despacho n° 15793K, 2013)

O, fator de correção da seletividade angular,  $F_w$ , traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta, sendo que por indicação do (Despacho n° 15793K, 2013), para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento, o fator  $F_w$  toma o valor 0,9.

O fator solar dos vãos envidraçados  $g_L$ , na estação de aquecimento (Inverno) o valor de  $g_L$  tem em consideração a utilização desejável dos dispositivos móveis de proteção solar (estores, portadas, gelsias, cortinas, etc.), interiores ou exteriores. Admite-se que aqueles dispositivos móveis são utilizados com razoável eficácia e, portanto, estão em geral abertos (“desativados”) para permitir os ganhos solares (Camelo, et al., 2006). Assim, de acordo com o (Despacho n° 15793K, 2013), o  $g_L$ , fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento é determinado através das equações (3.8 e 3.9).

a) para vidro simples

$$g_t = g_{L,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.85} \quad (\text{Equação 3.8})$$

b) para vidro duplo

$$g_t = g_{L,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75} \quad (\text{Equação 3.9})$$

Em que,

$g_{L,vi}$  - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme informação do fabricante

$g_{Tvc}$  - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme (Tabela 13 do Despacho nº 15793K, 2013).

Na estação de arrefecimento, os ganhos solares (brutos) através do vão envidraçado  $n$  com a orientação  $j$  são calculados através da seguinte equação:

$$Q_{sol,v} = \sum_j [ I_{sol,j} \cdot \sum_n ( A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_L )_{n,j} ] \quad (\text{Equação 3.10})$$

Em que,

$I_{sol,v}$  - Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação  $0^\circ$ ) e em superfícies verticais (inclinação  $90^\circ$ ) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, ( $\text{kWh/m}^2$ ) valores que podem ser consultados segundo (Tabela 05 Despacho nº 15793F, 2013)

$A$  - Área do vão envidraçado

$F_h$  - Fator de sombreamento do horizonte

$F_o$  - Fator de sombreamento por elementos horizontais

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais

$F_g$  - Fração envidraçada

$F_w$  - Fator de correção da seletividade angular

$g_L$  - Fator solar do vão envidraçado

O fator de sombreamento do horizonte  $F_h$ , na estação de arrefecimento (Verão), atendendo ao facto de a altitude solar ser superior à de Inverno, considera-se, simplificadamente, que a fachada do edifício em estudo não é sombreada e, portanto, considera-se  $F_h = 1$ .

O fator de sombreamento por elementos horizontais  $F_o$ , sobrejacentes aos vãos envidraçados reflete a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, varandas ou outros elementos exteriores horizontais e este depende, do ângulo de incidência da radiação solar, do comprimento do elemento horizontal sobreposto ao vão e da orientação deste. Na prática a influência da geometria do elemento de sombreamento e a sua interação com a altitude solar é representada pelo ângulo da pala,  $\alpha$ , medido a partir do ponto médio do envidraçado conforme a Figura 56 e calculado de acordo com a (Tabela 17 do Despacho nº 15793K, 2013).

O fator de sombreamento por elementos verticais  $F_f$ , adjacentes ao vão envidraçado reflete a percentagem da área do envidraçado que não é sombreada por palas, corresponde aos elementos de proteção solar verticais, palas ou outros elementos com o mesmo propósito o ângulo é determinado de acordo com a Figura 57 e calculado de acordo com a (Tabela 19 do Despacho nº 15793K, 2013).

O fator  $F_g$ , fração envidraçada é igual durante todo o ano, por isso pode ser obtido, para os diferentes tipos correntes de caixilharia, por consulta direta da (Tabela 20 do Despacho nº 15793K, 2013).

O fator de correção da seletividade angular  $F_{w,v}$ , na estação de arrefecimento pode ser determinado segundo critérios de orientação e tipos de vidro segundo (Tabela 21 Despacho nº 15793K, 2013).

O fator solar do vão envidraçado  $g_L$ , na estação de arrefecimento para efeito de cálculo das necessidades de arrefecimento considera-se que, de forma a minimizar a incidência de radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração do tempo que depende do octante no qual o vão está orientado, estes calculam-se de acordo com a equação (3.10).

$$g_{L,v} = F_{mv} \cdot g_t + (1 - F_{mv}) \cdot g_{tp} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Em que,

$F_{mv}$  - Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

$g_t$  - Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

$g_{tp}$  - Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram totalmente ativados na estação de arrefecimento,  $F_{mv}$ , em função da orientação do vão é obtida conforme a (Tabela 14 do Despacho nº 15793K, 2013), considerando-se que, caso não existam dispositivos de proteção solar móveis,  $F_{mv}$  corresponde a 0. Todos os parâmetros referidos anteriormente foram introduzidos de forma direta na referida folha de cálculo ITeCons.

### 3.1.5 Índices energéticos

A conformidade regulamentar ao nível energético dos edifícios faz-se através de cálculo detalhado de vários índices;  $N_{ic}$  necessidades de aquecimento calculadas,  $N_{vc}$  necessidades de arrefecimento calculadas e  $N_{tc}$  necessidades nominais globais de energia primária. Sendo ainda necessário que todos os índices referidos anteriormente não excedam os valores dos índices energéticos de referência ( $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_t$ ), em vigor com a (Portaria 349B - 2013), é ainda de referir que todos os parâmetros térmicos de apoio ao cálculo devem obedecer a requisitos limite.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento  $N_{ic}$  são determinadas tendo em conta a metodologia exposta pelo (Despacho 15793I, 2013), através da seguinte equação geral de cálculo:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad (\text{Equação 3.12})$$

Em que,

$Q_{tr,i}$  - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)

$Q_{ve,i}$  - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh)

$Q_{gu,i}$  - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes (kWh)

$A_p$  - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior (m<sup>2</sup>)

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento  $N_{vc}$  são determinadas tendo em conta a metodologia exposta no (Despacho n° 15793I, 2013), através da equação (3.12).

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) * Q_{g,v}}{A_p} \quad \text{(Equação 3.13)}$$

Em que,

$\eta_v$  - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$  - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh)

$A_p$  - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior (m<sup>2</sup>)

As necessidades nominais globais de energia primária  $N_{tc}$  são determinadas tendo em conta a metodologia exposta pelo (Despacho n° 15793I, 2013), através da equação 3.14.

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,j} \quad \text{(Equação 3.14)}$$

Em que,

$N_{ic}$  - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/(m<sup>2</sup>.ano));

$f_{i,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema  $k$

$N_{vc}$  - Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/(m<sup>2</sup>.ano));

$f_{v,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema  $k$ ;

$Q_a$  - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/ano);

$f_{a,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema  $k$   
 $\eta_k$  - Eficiência do sistema  $k$ , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

$j$  - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

$p$  - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$  - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável  $p$ , (kWh/ano), incluindo apenas energia consumida;

$w_{vm,j}$  - Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, (kWh/ano)

$A_p$  - Área interior útil de pavimento (m<sup>2</sup>);

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  - Fator de conversão de energia útil para energia primária, (kWh<sub>ep</sub>/kWh);

$\delta$  - Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento  $N_{vc}$  em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Para o cálculo dos índices energéticos referidos anteriormente recorreu-se ao uso da ferramenta de cálculo disponibilizada pelo ITeCons, introduziram-se os parâmetros térmicos exigidos e obtiveram-se os valores referentes aos índices apresentados na Tabela 11:

Tabela 11 - Quadro resumo dos índices de verificação regulamentar do edifício original, fonte: ITeCons

| Índice            | Resultados                       |
|-------------------|----------------------------------|
| $N_{ic}$          | 129,82 kWh/m <sup>2</sup> *ano   |
| $N_i$             | 76,12 kWh/m <sup>2</sup> *ano    |
| $N_{vc}$          | 5,73 kWh/m <sup>2</sup> *ano     |
| $N_v$             | 7,85 kWh/m <sup>2</sup> *ano     |
| $N_{tc}$          | 378,21 kWhep/m <sup>2</sup> *ano |
| $N_t$             | 227,12 kWhep/m <sup>2</sup> *ano |
| $N_{tc} / N_t$    | 1,67 kWh/m <sup>2</sup>          |
| Classe energética | <b>D</b>                         |

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, consta-se que, o edifício no seu estado atual, apresenta uma classificação energética **D**, sendo esta uma classificação determinada a partir do rácio:  $R_{nt} = N_{tc}/N_t$ . As classes energéticas são atribuídas em função do valor intercalar  $R_{nt}$  apresentado pela Tabela 12.

Tabela 12 - Intervalo de valores de  $R_{nt}$ , para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo habitação (Fonte: Despacho nº 15793 J, 2013)

| Classe energética | Valor de $R_{nt}$            |
|-------------------|------------------------------|
| A+                | $R_{nt} < 0,25$              |
| A                 | $0,26 \leq R_{nt} \leq 0,50$ |
| B                 | $0,51 \leq R_{nt} \leq 0,75$ |
| B -               | $0,76 \leq R_{nt} \leq 1,00$ |
| C                 | $1,01 \leq R_{nt} \leq 1,50$ |
| D                 | $1,51 \leq R_{nt} \leq 2,00$ |
| E                 | $2,01 \leq R_{nt} \leq 2,50$ |
| F                 | $R_{nt} \geq 2,51$           |

Pode ser verificado através da Tabela 12, que a classificação obtida D é uma das classificações com menores níveis de eficiência energética. É de notar que no âmbito de uma grande intervenção (reabilitação) esta classificação energética é não regulamentar, exigindo-se assim um mínimo de classificação **B<sup>-</sup>** (onde se deveria verificar:  $0.76 \leq R_{nt} \leq 1.00$ )

No que diz respeito às necessidades de aquecimento  $N_{ic}$  verifica-se que estas são praticamente o dobro das necessidades de referência, e que respeitante às necessidades de arrefecimento  $N_{vc}$  estas respeitam o regulamento estando abaixo das necessidades de referência.

Estes valores, fora dos valores do intervalo de referência, devem-se ao facto do edifício apresentar uma envolvente não cumpridora de requisitos mínimos, dado que a sua envolvente opaca não tem qualquer tipo de isolamento e os vãos envidraçados são compostos por caixilharia de madeira e vidros simples.

A falta de isolamentos e de envidraçados adequados permite que se façam constantes trocas de calor. No inverno o calor perde-se para o exterior e espaços não uteis o que justifica as necessidades elevadas de aquecimento, e as trocas de calor com o exterior e espaços não uteis na estação de arrefecimento tomam-se favoráveis justificando as baixas necessidades de arrefecimento.

### 3.2 Limitações e fronteiras

Como foi possível observar no subcapítulo anterior, o edifício deste caso de estudo no seu estado atual, apresenta um comportamento térmico que não cumpre o regulamento tendo em vista uma grande intervenção de reabilitação. É então necessário para a implementação das várias metodologias a este caso de estudo, introduzir medidas de correção na sua envolvente por forma a ser verificado o cumprimento da classificação energética de acordo com as exigências mínimas regulamentares ( $B^-$ ).

As medidas implementadas ao nível da envolvente foram as seguintes:

- a) Ao nível da envolvente opaca vertical foi adicionado, pelo exterior, um isolamento térmico com características e espessura tais que fosse verificado o coeficiente de transmissão térmica  $U$  regulamentar. A Tabela 13, apresenta os valores do referido coeficiente por solução construtiva.

Tabela 13 - Coeficiente transmissão térmica elementos opacos verticais

| Envolvente Exterior            | Esp. Isolamento adicionado (m) | Tipo isolante adicionado | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | $U_{max}$ Regulamentar (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Parede exterior - PDE 1        | 0,08                           |                          | 0,33                     |                                               |
| Parede exterior - PDE 2        | 0,08                           | SecilVit Clássico        | 0,32                     |                                               |
| Ponte térmica plana - PTPPDE 1 | 0,08                           |                          | 0,40                     | 0,4                                           |
| Parede interior - PDI 1        | 0,09                           | Aglomerado de cortiça    | 0,37                     |                                               |

b) Ao nível da envolvente não opaca vertical foi adicionado um vidro duplo com características tais que fosse verificado o coeficiente de transmissão térmica  $U$  mínimo, imposto regulamentarmente. Foi então selecionado um vidro duplo, com características térmicas que são usualmente utilizados nos projetos e obras atuais. Relativamente à composição do caixilho este passa para uma constituição em PVC sem quadricula o que lhe confere o valor 0.65, para o fator da fração envidraçada, (Despacho n° 15793K, 2013). A Tabela 14, representa os valores do coeficiente de transmissão térmica.

Tabela 14 - Coeficiente transmissão térmica elementos não opacos verticais

| Envolvente Exterior            | Esp. total do conjunto (mm) | Fator solar | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | $U_{max}$ Regulamentar (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Vidro duplo Gardien San 4-16-4 | 24                          | 0,42        | 1,30                     | 2,40                                          |

c) Ao nível da envolvente horizontal, tanto no pavimento interior como cobertura interior foi adicionado um isolamento pelo lado do espaço não útil com características tais que fosse verificado o coeficiente de transmissão térmica  $U$  regulamentar. A Tabela 15, representa os valores do referido coeficiente por solução.

Tabela 15 - Coeficiente transmissão térmica elementos opacos horizontais

| Envolvente Exterior        | Esp isolamento adicionado (m) | Tipo isolante adicionado | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | $U_{max}$ Regulamentar (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Pavimento interior - PVI 1 | 0,03                          | Aglomerado de cortiça    | 0,32                     |                                               |
| Cobertura interior - CBI 1 | 0,05                          | Roofmate LG-X            | 0,23                     | 0,35                                          |

Com a implementação das propostas anteriores, o cálculo dos índices energéticos obedeceu às metodologias referidas anteriormente no subcapítulo (3.1.5). Com recurso ao uso da ferramenta de cálculo disponibilizada pelo ITeCons, obtiveram-se os valores apresentados na seguinte Tabela 16.

Tabela 16 - Quadro resumo dos índices de verificação regulamentar do edifício com alterações na envolvente

| Índice            | Resultados                     |
|-------------------|--------------------------------|
| $N_{ic}$          | 65,48 kWh/m <sup>2</sup> *ano  |
| $N_i$             | 79,42 kWh/m <sup>2</sup> *ano  |
| $N_{vc}$          | 7,19 kWh/m <sup>2</sup> *ano   |
| $N_v$             | 7,85 kWh/m <sup>2</sup> *ano   |
| $N_{tc}$          | 218,56 kWh/m <sup>2</sup> *ano |
| $N_t$             | 235,36 kWh/m <sup>2</sup> *ano |
| $N_{tc} / N_t$    | 0,93 kWh/m <sup>2</sup>        |
| Classe energética | <b>B -</b>                     |

A Tabela 16, representa os índices energéticos, para o estado pós reabilitação, aplicação de medidas de correção ao nível da envolvente (opaca e envidraçados). Pode constatar-se que todos os índices energéticos cumprem o estipulado pelo regulamento, ou seja, todas as necessidades energéticas de cálculo estão abaixo das de referência, atingindo-se assim uma classificação energética **B<sup>-</sup>**. Estes resultados antes e após a implementação de medidas de melhoria podem ser observados de forma comparativa nos gráficos das Figura 58, Figura 59 e Figura 60.

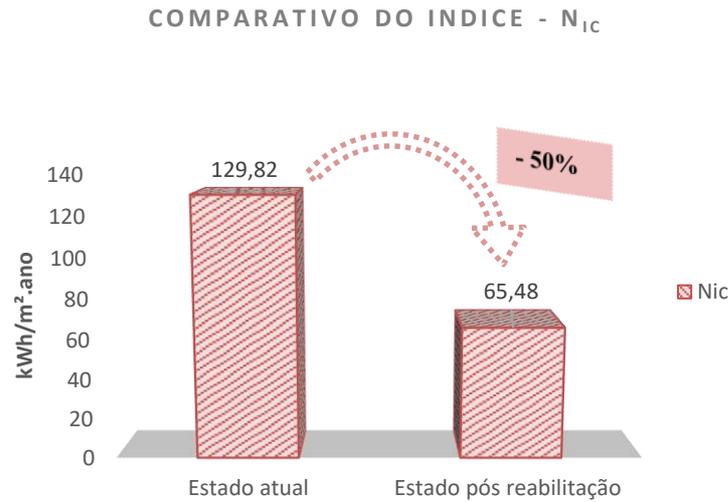


Figura 58 - Comparativo das necessidades de aquecimento

No que diz respeito às necessidades de aquecimento  $N_{ic}$ , após a aplicação de medidas de correção, regista-se uma redução no consumo destas necessidades na ordem dos 50% relativamente a valores de consumos do edifício original, conforme poderá ser verificado através da Figura 58. A redução de tal consumo referente a este índice deve-se ao facto de haver um aumento da resistência térmica da envolvente por aplicação de material isolante na parte opaca e vidros duplos nos envidraçados. Aplicação de materiais com boas características de resistência térmica reduzem as trocas de calor do edifício com o exterior e espaços não úteis, minimizando as necessidades de aquecimento e riscos de condensação.

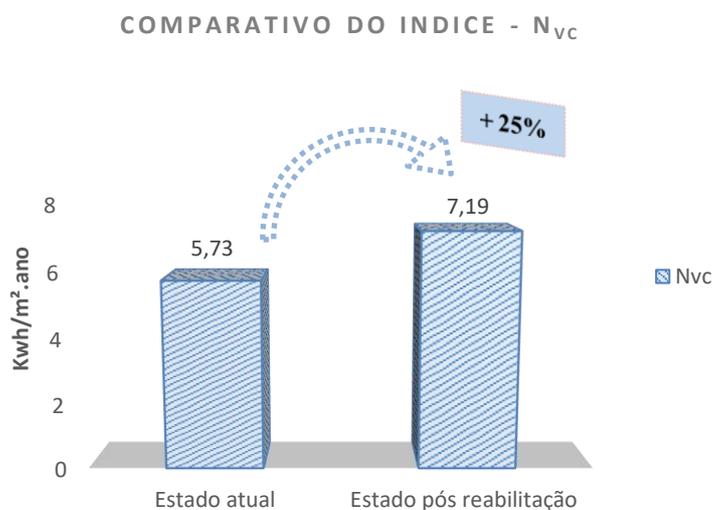


Figura 59 - Comparativo das necessidades de arrefecimento

Relativamente às necessidades de arrefecimento  $N_{vc}$ , após a aplicação de medidas de correção, regista-se um aumento no consumo destas necessidades na ordem dos 25%, relativamente a valores de consumos do edifício original, conforme poderá ser verificado através da Figura 59. O aumento das necessidades de arrefecimento tem relação direta com os níveis de isolamento. Um aumento da resistência térmica da envolvente implica que na estação de arrefecimento as trocas com o exterior sejam menores, provocando sobreaquecimento dos espaços e consequentemente conduzindo a aumentos das necessidades energéticas para arrefecimento dos espaços.

As necessidades totais também registam uma grande redução, na ordem dos 42% relativamente a valores de consumos do edifício original, conforme poderá ser verificado através da Figura 60. Esta redução das necessidades totais, após implementação de medidas de correção, deve-se unicamente às medidas de melhoria (correção) aplicadas ao nível da envolvente parte opaca e vãos envidraçados, pois não houve qualquer outra medida implementada, ou seja, todos os outros parâmetros mantiveram-se constantes.

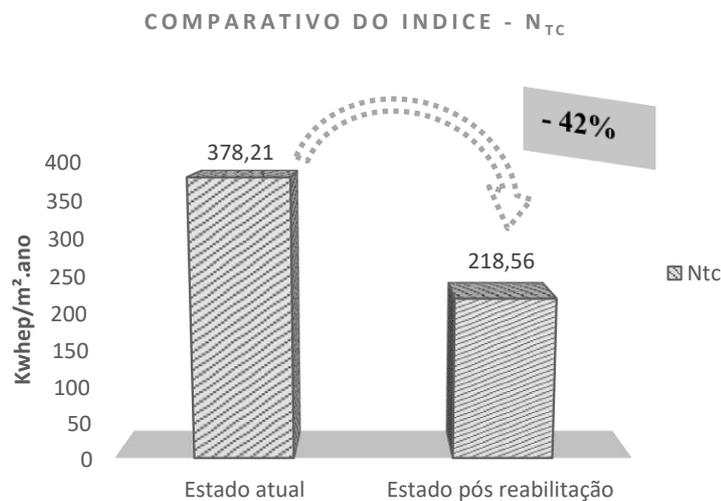


Figura 60 - Comparativos das necessidades totais



## **4. APLICAÇÃO DA 1ª ANÁLISE (NECESSIDADES ENERGÉTICAS FUNÇÃO ÁREA DOS VÃOS)**

Neste Capítulo é apresentada uma simulação ao nível energético, implementando variações dimensionais nos vãos envidraçados do edifício em estudo no seu estado pós reabilitação, com o intuito de entender de que forma está relacionada a área dos vãos envidraçados com a possibilidade de minimizar as necessidades anuais de energia, por observação detalhada dos valores associados aos índices energéticos.

A captação da energia solar (passiva), está diretamente relacionada com as características da envolvente não opaca do edifício, e a sua orientação. Será importante perceber qual a área ótima que conduz ao mínimo consumo energético em função da orientação da fachada do edifício. Será feita uma simulação das necessidades energéticas em função da variação da área do vão e sua orientação a norte

Estes dados de áreas dos vãos desde a duplicação da sua área e fecho até -95%, variam a partir da área do vão original com acréscimos e decréscimos graduais de 5%. A análise será feita com recurso a ferramentas de cálculo (Excel) ITeCons. Para tal, foi definida uma configuração que permite interligar de forma automática os diferentes contextos simulados nas referidas ferramentas. A interligação entre documentos foi realizada garantindo a permanente verificação dos requisitos regulamentares.

De forma a agilizar o processo, foi desenvolvida uma folha de calculo que permite trabalhar em paralelo, através de interligação de células, com a folha do ITeCons. Esta serve como base de apoio, introdução de dados nas células respeitantes às condicionantes a variar e automatiza a introdução dos dados referentes aos índices energéticos na folha ITeCons. Apresentam-se em seguida todo o processo em forma de tabelas e figuras, por forma a explicar o meio de interação entre folhas de cálculo usadas e resultados obtidos.

Como referido, por forma a agilizar o processo foi necessário primeiramente a elaboração de um quadro que permitir-se a variação percentual de 5% a cada vez da área dos vãos envidraçados, sentido de incremento na abertura bem como diminuição da área da janela. No

decorrer deste processo é atualizado o valor do perímetro dos vãos. O seguinte quadro de apoio 1, Figura 61, representa o descrito anteriormente.

|    | A      | B          | C                             | D          | E                                           | F            | G                                            | H                        | I                  | J | L | M   |
|----|--------|------------|-------------------------------|------------|---------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------|---|---|-----|
| 1  | ID vão | Divisão    | Designação do tipo de solução | Orientação | Área envidraçada original (m <sup>2</sup> ) | Variação (%) | Área envidraçada corrigida (m <sup>2</sup> ) | Ponte linear térmica (m) |                    |   |   |     |
| 2  | 1      | Cozinha    | VE1                           | Sul        | 1,40                                        | 0%           | 1,40                                         | 4,73                     | Cursor de controlo |   |   | 100 |
| 3  | 2      | Quarto 1   | VE1                           | Sul        | 1,40                                        |              | 1,40                                         | 4,73                     |                    |   |   | 0%  |
| 4  | 3      | Quarto 2   | VE1                           | Sul        | 1,40                                        |              | 1,40                                         | 4,73                     |                    |   |   |     |
| 5  | 4      | Quarto 3   | VE1                           | Sul        | 1,40                                        |              | 1,40                                         | 4,73                     |                    |   |   |     |
| 6  | 5      | Quarto 4   | VE1                           | Norte      | 2,77                                        | -5%          | 2,63                                         | 6,49                     |                    |   |   | 95  |
| 7  | 6      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,77                                        |              | 2,63                                         | 6,49                     |                    |   |   | -5% |
| 8  | 7      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,77                                        |              | 2,63                                         | 6,49                     |                    |   |   |     |
| 9  | 8      | Cozinha    | VE2                           | Este       | 2,77                                        | 0%           | 2,77                                         | 6,66                     |                    |   |   | 100 |
| 10 | 9      | Circulação | VE2                           | Este       | 1,73                                        |              | 1,73                                         | 5,26                     |                    |   |   | 0%  |
| 11 | 10     | Wc 3       | VE1                           | Oeste      | 1,40                                        | 0%           | 1,40                                         | 4,73                     |                    |   |   | 100 |
| 12 | 11     | Circulação | VE2                           | Oeste      | 1,78                                        |              | 1,78                                         | 5,34                     |                    |   |   | 0%  |
| 13 | 12     | Wc 2       | VE1                           | Oeste      | 1,40                                        |              | 1,40                                         | 4,73                     |                    |   |   |     |

Figura 61 - Quadro de apoio 1

Exemplificando, a célula 7E (Linha /coluna) representa a área do vão na sua área original. A cada clique na célula 7I é introduzido um valor de (-5%), fazendo com que a célula 7G, que representa o valor corrigido da área do vão (VE1-Norte), seja calculado da seguinte forma:

$$7G = (1 + 7F) * 7E \quad (\text{m}^2) \quad (\text{Equação 4.1})$$

É ainda atualizado através deste quadro de apoio o valor das pontes lineares térmicas na célula C1042 da folha de cálculo do ITeCons. Para tal, admite-se que a janela tem forma quadrada por forma a facilitar o cálculo da sua ponte linear térmica, sendo calculado o seu perímetro da seguinte forma:

$$7H = 4 * (\text{raizq}(7G)) \quad (\text{m}) \quad (\text{Equação 4.2})$$

O valor resultante desta operação é recebido de forma automática pela folha de cálculo do ITeCons no separador vãos envidraçados exteriores, como representa a Tabela 17 - Quadro ITeCons 1, célula 766F através de uma ligação de células conectadas entre si. Dentro da mesma folha de cálculo existe uma ligação entre esta última célula referenciada e outro quadro “Paredes exteriores – Soluções correntes e pontes térmicas planas” Tabela 18 - Quadro ITeCons 2, célula 283F. Este tem como objetivo atualizar a área de vão a deduzir ao elemento envolvente opaca (Parede).

Tabela 17 - Quadro ITeCons 1, Vãos envidraçados exteriores

|     | B      | C          | D                             | E          | F                                  |
|-----|--------|------------|-------------------------------|------------|------------------------------------|
| 759 | ID vão | Divisão    | Designação do tipo de solução | Orientação | Área envidraçada (m <sup>2</sup> ) |
| 760 | 1      | Cozinha    | VE1                           | Sul        | 1,4                                |
| 761 | 2      | Quarto 1   | VE1                           | Sul        | 1,4                                |
| 762 | 3      | Quarto 2   | VE1                           | Sul        | 1,4                                |
| 763 | 4      | Quarto 3   | VE1                           | Sul        | 1,4                                |
| 764 | 5      | Quarto 4   | VE1                           | Norte      | 2,63                               |
| 765 | 6      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,63                               |
| 766 | 7      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,63                               |
| 767 | 8      | Cozinha    | VE2                           | Este       | 2,77                               |
| 768 | 9      | Circulação | VE2                           | Este       | 1,73                               |
| 769 | 10     | Wc 3       | VE1                           | Oeste      | 1,4                                |
| 770 | 11     | Circulação | VE2                           | Oeste      | 1,78                               |
| 771 | 12     | Wc 2       | VE1                           | Oeste      | 1,4                                |

Tabela 18 - Quadro ITeCons 2, Paredes exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

|     | B                             | C          | D                                            | E                      | F                                                 |
|-----|-------------------------------|------------|----------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| 278 | Designação do Tipo de Solução | Orientação | Qual a solução corrente adjacente associada? | Área (m <sup>2</sup> ) | Área a deduzir (Vãos, PTP, ...) (m <sup>2</sup> ) |
| 279 | PDE1                          | Sul        | 0                                            | 21,78                  | 4,2                                               |
| 280 | PDE2                          | Sul        | 0                                            | 15,22                  | 1,4                                               |
| 281 | PTPPDE1                       | Sul        | PDE2                                         | 1,265                  | 0                                                 |
| 282 | PTPPDE1                       | Sul        | PDE1                                         | 1,265                  | 0                                                 |
| 283 | PDE1                          | Norte      | 0                                            | 28,07                  | 7,89                                              |
| 284 | PDE2                          | Norte      | 0                                            | 4,57                   | 0                                                 |
| 285 | PTPPDE1                       | Norte      | PDE1                                         | 1,26                   | 0                                                 |
| 286 | PTPPDE1                       | Norte      | PDE2                                         | 0,63                   | 0                                                 |
| 287 | PDE1                          | Este       | 0                                            | 3,87                   | 1,73                                              |
| 288 | PDE2                          | Este       | 0                                            | 9,24                   | 2,77                                              |
| 289 | PTPPDE1                       | Este       | PDE2                                         | 0,63                   | 0                                                 |
| 290 | PDE1                          | Oeste      | 0                                            | 3,44                   | 1,78                                              |
| 291 | PDE2                          | Oeste      | 0                                            | 20,19                  | 2,8                                               |
| 292 | PTPPDE1                       | Oeste      | PDE2                                         | 1,265                  | 0                                                 |

A folha de cálculo atualiza os valores, calculando os índices energéticos apresentados pela Tabela 19, Quadro ITeCons 3. A cada atualização de valores são devolvidos por forma automática, células ligadas, valores registados nesta Tabela 19, para Tabela 20 - Quadro de apoio 2.

Tabela 19 - Quadro ITeCons3

|      | B                              | K       | L      | M          | O                 |
|------|--------------------------------|---------|--------|------------|-------------------|
|      | <b>Indicadores energéticos</b> |         |        |            |                   |
| 1702 | Sigla                          | Valor   |        | Referência |                   |
| 1704 | $N_{ic}$                       | 65,48   |        | 79,42      |                   |
| 1706 | $N_{vc}$                       | 7,19    |        | 7,85       |                   |
| 1708 | $Q_a$                          | 2972,00 |        | 2972,00    | $N_{tc}/N_t$      |
| 1710 | $W_{vm}$                       |         | 302,22 |            | 0,93              |
| 1712 | $E_{ren}$                      | 0,00    |        | 0,00       |                   |
| 1714 | $E_{ren,AQS}$                  | 0,00    |        | 0,00       | Classe Energética |
| 1716 | $E_{ren,ext}$                  |         | 0,00   |            | <b>B-</b>         |
| 1718 | $N_{tc}$                       | 218,56  |        | 235,36     |                   |

Tabela 20 - Quadro de apoio 2

“continua”

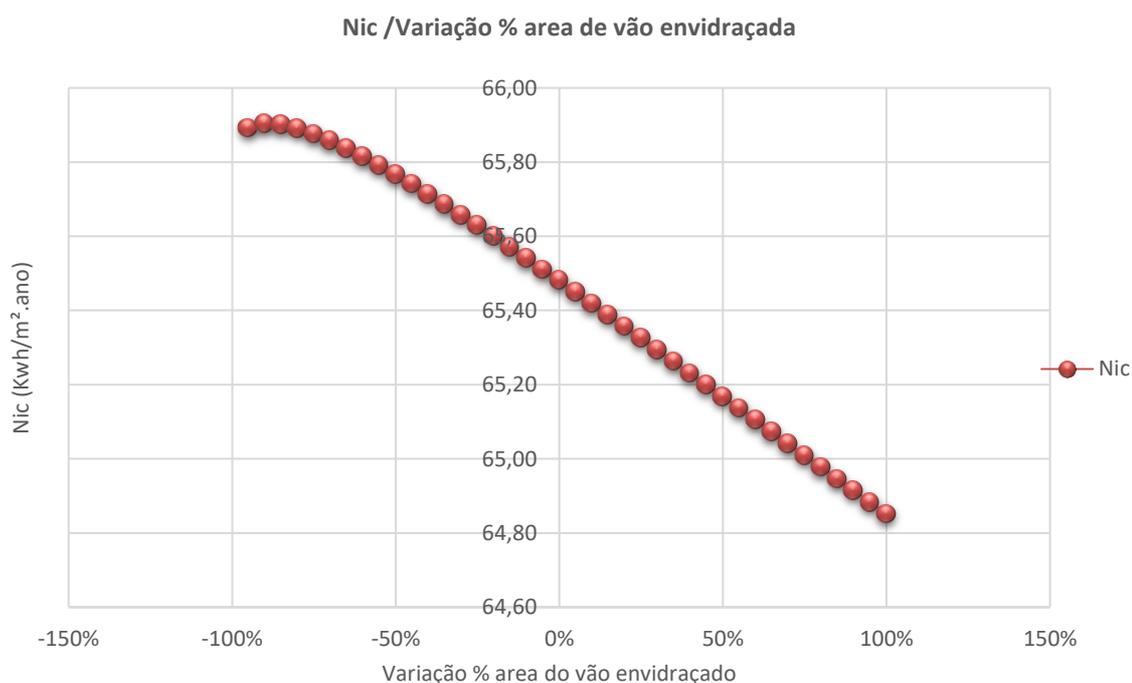
| $N_{ic}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | $N_{vc}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | $N_{tc}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | Variação área do vão (%) |       |      |       |
|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------|-------|------|-------|
| Valor                                 | Referência | Valor                                 | Referência | Valor                                 | Referência | Sul                      | Norte | Este | Oeste |
| 65,69                                 | 77,78      | 6,68                                  | 7,85       | 218,65                                | 231,25     | 0%                       | -35%  | 0%   | 0%    |
| 65,66                                 | 78,11      | 6,75                                  | 7,85       | 218,64                                | 232,08     | 0%                       | -30%  | 0%   | 0%    |
| 65,63                                 | 78,44      | 6,82                                  | 7,85       | 218,63                                | 232,91     | 0%                       | -25%  | 0%   | 0%    |
| 65,60                                 | 78,77      | 6,90                                  | 7,85       | 218,62                                | 233,73     | 0%                       | -20%  | 0%   | 0%    |
| 65,57                                 | 79,09      | 6,97                                  | 7,85       | 218,61                                | 234,55     | 0%                       | -15%  | 0%   | 0%    |
| 65,54                                 | 79,35      | 7,04                                  | 7,85       | 218,59                                | 235,18     | 0%                       | -10%  | 0%   | 0%    |
| 65,51                                 | 79,38      | 7,11                                  | 7,85       | 218,58                                | 235,27     | 0%                       | -5%   | 0%   | 0%    |
| 65,48                                 | 79,42      | 7,19                                  | 7,85       | 218,56                                | 235,36     | 0%                       | 0%    | 0%   | 0%    |
| 65,45                                 | 79,45      | 7,26                                  | 7,85       | 218,55                                | 235,45     | 0%                       | 5%    | 0%   | 0%    |
| 65,42                                 | 79,49      | 7,33                                  | 7,85       | 218,53                                | 235,53     | 0%                       | 10%   | 0%   | 0%    |

Tabela 20 - Quadro de apoio 2

“continuação”

| $N_{ic}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | $N_{vc}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | $N_{tc}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> .ano) |            | Variação área do vão (%) |       |      |       |
|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------|-------|------|-------|
| Valor                                 | Referência | Valor                                 | Referência | Valor                                 | Referência | Sul                      | Norte | Este | Oeste |
| 65,39                                 | 79,52      | 7,41                                  | 7,85       | 218,52                                | 235,61     | 0%                       | 15%   | 0%   | 0%    |
| 65,36                                 | 79,55      | 7,48                                  | 7,85       | 218,50                                | 235,69     | 0%                       | 20%   | 0%   | 0%    |
| 65,33                                 | 79,58      | 7,56                                  | 7,85       | 218,48                                | 235,77     | 0%                       | 25%   | 0%   | 0%    |
| 65,29                                 | 79,61      | 7,63                                  | 7,85       | 218,47                                | 235,85     | 0%                       | 30%   | 0%   | 0%    |
| 65,26                                 | 79,64      | 7,71                                  | 7,85       | 218,45                                | 235,92     | 0%                       | 35%   | 0%   | 0%    |

As seguintes Figura 62 e Figura 63, representam de forma gráfica os valores obtidos referentes aos índices energéticos de aquecimento e arrefecimento respetivamente por meio da aplicação da 2ª análise.

Figura 62 - Valores de  $N_{ic}$ , função da variação da área dos envidraçados a norte

São representados através da Figura 62, valores das necessidades energéticas  $N_{ic}$ , função da abertura dos vãos envidraçados a norte, mantendo os restantes constantes. A partir desta representação pode observar-se que existe uma diminuição do consumo energético em função de um incremento da área de vãos envidraçados com medidas originais com orientação da

fachada a norte, e o inverso também se verifica aquando da diminuição da área do vão, ou seja, as necessidades aumentam.

A Figura 63, representa as necessidades de energia para a estação de arrefecimento Verão  $N_{vc}$ . A partir desta representação pode-se observar que existe um aumento do consumo energético em função de um incremento na área de vãos envidraçados com medidas originais com orientação da fachada a norte, e que o inverso se verifica aquando da diminuição da área do vão, as necessidades diminuem.

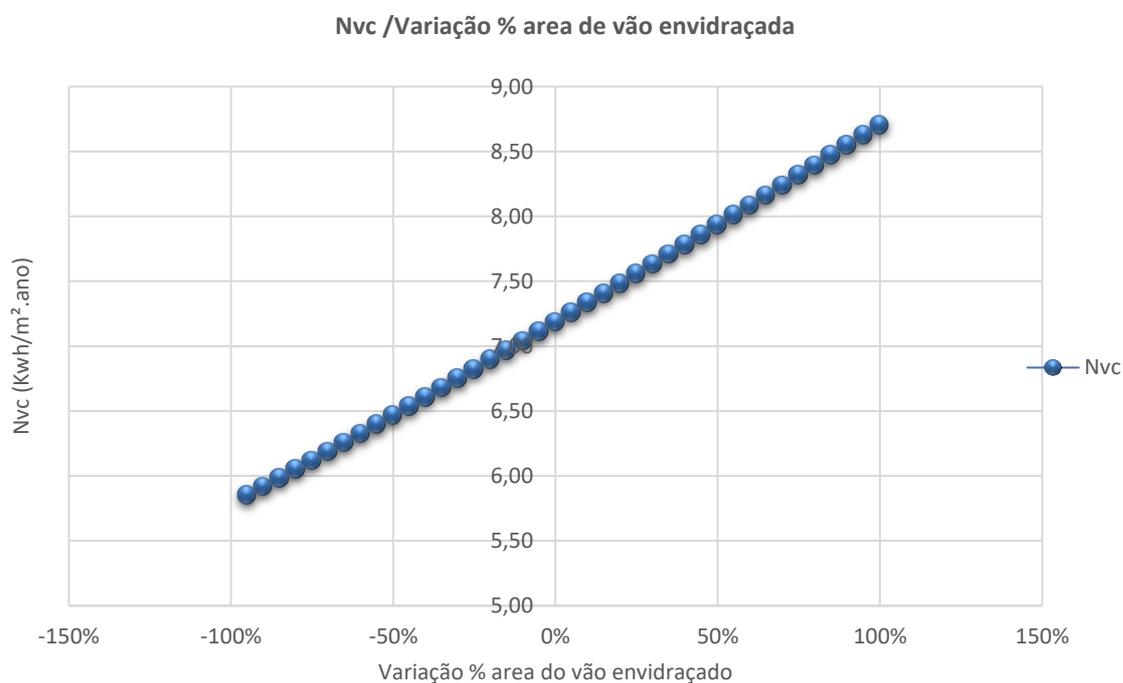


Figura 63 - Valores de  $N_{vc}$  função da variação da área dos envidraçados a norte

#### 4.1 Identificação de problemas

Segundo os resultados obtidos no subcapítulo anterior não se apresentarem coerentes, optou-se por identificar possíveis problemas no comportamento dos índices energéticos após implementação desta análise em vez de analisar o seu comportamento segundo as restantes orientações. São verificados em particular, comportamentos incoerentes no índice  $N_{ic}$  necessidades energéticas de aquecimento, quando se aplica um incremento de área de vão envidraçado segundo a orientação norte, mantendo todo o resto constante.

(Teixeira (1984)), tendo em conta conceitos da arquitetura solar passiva, entende que durante o Inverno, devido à baixa altura do sol no horizonte, as paredes a norte estão continuamente à sombra. Os elementos envidraçados, janelas, são um dos fatores mais importantes a ter em consideração no projeto. São a maior fonte de perdas de calor no inverno e de ganho no verão. Deverão ser mínimas nas paredes norte, este e oeste e máximas nas paredes sul.

Assim, de acordo com os princípios deste autor podemos constatar, no que se refere a necessidades de arrefecimento, os valores do índice enquadram-se nas suas premissas, ou seja, quanto maior for o vão maiores serão os ganhos e por consequência aumentarão as necessidades de arrefecimento. Já no que diz respeito as necessidades de aquecimento o autor indica que as janelas, no inverno, são um dos principais causadores das perdas de calor. Contudo, pelo que se verificou com a análise realizada existe uma contradição.

Estão representadas as necessidades de aquecimento sob a forma de gráfico na Figura 62, segundo a análise pode observar-se que quanto maior for o vão menores serão os consumos energéticos com finalidade de aquecimento do ambiente do edifício.

É questionável, pois então ser possível que na estação de aquecimento, onde a média das temperaturas exterior é inferior à interior, onde a falta de radiação direta sobre a fachada norte conduz à não obtenção de ganhos de forma direta contando assim só com radiação indireta e difusa, a substituição de vão opaco por vão envidraçado com um coeficiente de transmissão térmica pelo menos três vezes superior, conduza a uma diminuição das necessidades energéticas para aquecimento.

Analisando com detalhe esta situação, pode-se observar que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício,  $N_{ic}$ , são calculadas pela equação (4.3), ( Despacho nº 15793I, 2013).

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Em que,

$Q_{tr,i}$  - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)

$Q_{ve,i}$  - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh)

$Q_{gu,i}$  - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes (kWh)

$A_p$  - Área interior útil de pavimento, medida pelo interior (m<sup>2</sup>)

Entende-se por observação da Figura 62, e interpretação da equação que determina as necessidades de aquecimento, haver uma incongruência nos resultados. Estes resultados são justificados pelo facto de ao ser imposto um incremento de área do vão envidraçado com orientação norte mantendo todo o resto constante, os ganhos externos (solares) verificam-se segundo todas as imposições de valores regulamentares superiores às perdas por transmissão e por ventilação desta implicação da alteração da área dos vãos, contribuindo assim para uma redução das necessidades de aquecimento.

Analisando em particular a equação que converte parte dos ganhos térmicos brutos em ganhos térmicos úteis:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Em que,

$\eta_i$  - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento

$Q_{g,i}$  - Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento (kWh)

A origem dos ganhos térmicos brutos consideradas pelo despacho para o cálculo das necessidades de aquecimento, são o somatório de energias em forma de calor, internas e externas equação (4.5).

$$Q_{g,i} = Q_{int} + Q_{sol,i} \quad (\text{Equação 4.5})$$

Em que,

$Q_{int}$  - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento (kWh)

$Q_{sol,i}$  - Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento (kWh)

Excluindo os ganhos por sistemas de aquecimento, os ganhos internos contam com o calor gerado pelo metabolismo dos ocupantes, o calor que é dissipado pelos equipamentos elétricos e dispositivos de iluminação sendo calculados através:

$$Q_{int,i} = 0.72q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (\text{Equação 4.6})$$

Em que,

$q_{int}$  - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a  $4 \text{ W/m}^2$

$M$  – Duração média da estação convencional de aquecimento (mês)

Os ganhos térmicos solares (brutos), na estação de aquecimento, dependem dos vãos envidraçados e calculam-se através da equação (4.7).

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[ x_j \cdot \sum_j (F_{s,i,nj} \cdot A_{s,i,nj}) \right] \cdot M \quad (\text{Equação 4.7})$$

Em que,

$G_{sul}$  - Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície (Despacho nº 15793F, 2013) ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$ )

$x_j$  - Fator de orientação para as diferentes exposições (de acordo com a Tabela 01, Despacho nº 15793I, 2013)

$F_{s,i,nj}$  - Fator de obstrução do vão envidraçado  $n$  com orientação  $j$  na estação de aquecimento

$A_{s,i_{nj}}$  - Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície  $n$  com a orientação  $j$  (m<sup>2</sup>)

$n$  - Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação  $j$

$j$  - Índice que corresponde a cada uma das orientações

Analisando a equação que contabiliza os ganhos térmicos internos esta não tem nenhuma relação com a área dos vãos envidraçados, por este facto não interfere com o problema de excesso de ganhos. A equação dos ganhos térmicos solares é influenciada pela variação de qualquer parâmetro relacionados com o vão. Assim, analisando a equação ao detalhe, e considerando as várias variáveis, sendo elas tabeladas ou não, coloca-se então a questão de que o parâmetro que esteja a influenciar os resultados de forma não coerente com as indicações do autor citado no início da secção (4.1), seja o fator de orientação para as diferentes exposições, em particular a norte. O parâmetro  $x_j$  é um fator que corrige a receção de ganhos solares por orientação de fachada do edifício em relação à orientação. Segundo a Tabela 21, pode-se constatar que é atribuído para efeito do calculo dos ganhos solares térmicos à orientação norte 27% relativamente à energia recebida a sul, o que poderá ser um valor exagerado, justificando assim o comportamento observado graficamente na Figura 62.

## 4.2 Proposta de correção dos parâmetros regulamentares

Como foi referido na secção (4.1), um dos parâmetros  $x_j$ , que diz respeito ao calculo dos ganhos solares por orientação através dos envidraçados poderá apresentar um valor exagerado para a orientação norte. Este parâmetro, apresenta-se como um fator de correção e consiste em relacionar a quantidade de energia recebida numa fachada orientada a sul com todas as outras orientações com os valores regulamentares (Despacho nº 15793I, 2013), pela Tabela 21:

Tabela 21 - Fator de orientação para diferentes exposições,  $x_j$

| Orientação do vão (j) | N    | NE / NW | S | SE / SW | E / W | H    |
|-----------------------|------|---------|---|---------|-------|------|
| $x_j$                 | 0,27 | 0,33    | 1 | 0,84    | 0,56  | 0,89 |

Elaborou-se uma simulação, por forma a perceber qual a influência deste fator de correção, mantendo todos os outros parâmetros constantes, perante o comportamento das necessidades energéticas de aquecimento  $N_{ic}$ , em função da variação da área dos vãos envidraçados com a orientação norte.

Para efetuar os cálculos necessários recorreu-se à folha de cálculo do ITeCons e a folhas de cálculo de apoio do Excel. Na Tabela 22, estão representados os valores das perdas e ganhos mantendo constantes as áreas dos vãos envidraçados nas fachadas este, sul e oeste, variando a área do vão envidraçado a norte.

Tabela 22 - Cálculo das perdas e ganhos energéticos, com variação na fachada orientada a norte “continua”

|    | A                 | B                     | C          | D                   | E                            | F                        | G                  | H                            |
|----|-------------------|-----------------------|------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|
| 1  | Área do vão       | $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$ |            | $Q_{gu,i}$ (Brutos) |                              | Fator utilizaçã o ganhos | $Q_{gu,i}$ (úteis) |                              |
| 2  | Orientaçã o norte | $Q_{tr,i}$            | $Q_{ve,i}$ | $Q_{int,i}$         | $Q_{sol,i}$ ( $x_j = 0.23$ ) | $\eta_i$                 | $Q_{int,i}$        | $Q_{sol,i}$ ( $x_j = 0.23$ ) |
| 3  | -95%              | 7320,96               | 3350,91    | 2185,77             | 1351,13                      | 0,961419                 | 2101,44            | 1299,01                      |
| 4  | -90%              | 7343,51               | 3350,91    | 2185,77             | 1369,18                      | 0,961168                 | 2100,89            | 1316,02                      |
| 5  | -85%              | 7364,40               | 3350,91    | 2185,77             | 1387,23                      | 0,960905                 | 2100,32            | 1333,00                      |
| 6  | -80%              | 7384,45               | 3350,91    | 2185,77             | 1405,28                      | 0,960635                 | 2099,73            | 1349,96                      |
| 7  | -75%              | 7403,94               | 3350,91    | 2185,77             | 1423,33                      | 0,960361                 | 2099,13            | 1366,91                      |
| 8  | -70%              | 7423,05               | 3350,91    | 2185,77             | 1441,38                      | 0,960084                 | 2098,52            | 1383,85                      |
| 9  | -65%              | 7441,86               | 3350,91    | 2185,77             | 1459,43                      | 0,959805                 | 2097,91            | 1400,77                      |
| 10 | -60%              | 7460,44               | 3350,91    | 2185,77             | 1477,48                      | 0,959524                 | 2097,30            | 1417,68                      |
| 11 | -55%              | 7478,83               | 3350,91    | 2185,77             | 1495,53                      | 0,959242                 | 2096,68            | 1434,57                      |
| 12 | -50%              | 7497,07               | 3350,91    | 2185,77             | 1513,58                      | 0,958958                 | 2096,06            | 1451,46                      |
| 13 | -45%              | 7515,16               | 3350,91    | 2185,77             | 1531,63                      | 0,958674                 | 2095,44            | 1468,33                      |
| 14 | -40%              | 7533,14               | 3350,91    | 2185,77             | 1549,68                      | 0,958389                 | 2094,82            | 1485,19                      |
| 15 | -35%              | 7551,02               | 3350,91    | 2185,77             | 1567,73                      | 0,958103                 | 2094,19            | 1502,04                      |
| 16 | -30%              | 7568,80               | 3350,91    | 2185,77             | 1585,77                      | 0,957816                 | 2093,56            | 1518,88                      |
| 17 | -25%              | 7586,50               | 3350,91    | 2185,77             | 1603,82                      | 0,957529                 | 2092,94            | 1535,71                      |
| 18 | -20%              | 7604,13               | 3350,91    | 2185,77             | 1621,87                      | 0,957241                 | 2092,31            | 1552,52                      |
| 19 | -15%              | 7621,69               | 3350,91    | 2185,77             | 1639,92                      | 0,956953                 | 2091,68            | 1569,33                      |
| 20 | -10%              | 7639,19               | 3350,91    | 2185,77             | 1657,97                      | 0,956664                 | 2091,05            | 1586,12                      |
| 21 | -5%               | 7656,64               | 3350,91    | 2185,77             | 1676,02                      | 0,956375                 | 2090,41            | 1602,90                      |
| 22 | 0%                | 7674,03               | 3350,91    | 2185,77             | 1694,07                      | 0,956085                 | 2089,78            | 1619,68                      |
| 23 | 5%                | 7691,37               | 3350,91    | 2185,77             | 1712,12                      | 0,955796                 | 2089,15            | 1636,44                      |
| 24 | 10%               | 7708,67               | 3350,91    | 2185,77             | 1730,17                      | 0,955506                 | 2088,51            | 1653,19                      |
| 25 | 15%               | 7725,93               | 3350,91    | 2185,77             | 1748,22                      | 0,955216                 | 2087,88            | 1669,93                      |

Tabela 22 - Cálculo das perdas e ganhos energéticos, com variação na fachada orientada a norte “continuação”

|    | A                  | B                     | C          | D                   | E                            | F                         | G                  | H                            |
|----|--------------------|-----------------------|------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------------|
| 1  | Área do vão        | $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$ |            | $Q_{gu,i}$ (Brutos) |                              | Fator utilização o ganhos | $Q_{gu,i}$ (úteis) |                              |
| 2  | Orientação o norte | $Q_{tr,i}$            | $Q_{ve,i}$ | $Q_{int,i}$         | $Q_{sol,i}$ ( $x_j = 0,23$ ) | $\eta_i$                  | $Q_{int,i}$        | $Q_{sol,i}$ ( $x_j = 0,23$ ) |
| 26 | 20%                | 7743,15               | 3350,91    | 2185,77             | 1766,27                      | 0,954925                  | 2087,25            | 1686,65                      |
| 27 | 25%                | 7760,33               | 3350,91    | 2185,77             | 1784,32                      | 0,954635                  | 2086,61            | 1703,37                      |
| 28 | 30%                | 7777,48               | 3350,91    | 2185,77             | 1802,36                      | 0,954344                  | 2085,97            | 1720,08                      |
| 29 | 35%                | 7794,60               | 3350,91    | 2185,77             | 1820,41                      | 0,954053                  | 2085,34            | 1736,77                      |
| 30 | 40%                | 7811,69               | 3350,91    | 2185,77             | 1838,46                      | 0,953762                  | 2084,70            | 1753,46                      |
| 32 | 50%                | 7845,77               | 3350,91    | 2185,77             | 1874,56                      | 0,95318                   | 2083,43            | 1786,79                      |
| 33 | 55%                | 7862,78               | 3350,91    | 2185,77             | 1892,61                      | 0,952888                  | 2082,79            | 1803,45                      |
| 34 | 60%                | 7879,76               | 3350,91    | 2185,77             | 1910,66                      | 0,952597                  | 2082,16            | 1820,09                      |
| 35 | 65%                | 7896,71               | 3350,91    | 2185,77             | 1928,71                      | 0,952305                  | 2081,52            | 1836,72                      |
| 36 | 70%                | 7913,64               | 3350,91    | 2185,77             | 1946,76                      | 0,952014                  | 2080,88            | 1853,34                      |
| 37 | 75%                | 7930,55               | 3350,91    | 2185,77             | 1964,81                      | 0,951722                  | 2080,24            | 1869,95                      |
| 38 | 80%                | 7947,44               | 3350,91    | 2185,77             | 1982,86                      | 0,951430                  | 2079,61            | 1886,55                      |
| 39 | 85%                | 7964,31               | 3350,91    | 2185,77             | 2000,91                      | 0,951139                  | 2078,97            | 1903,14                      |

Em que,

Norte, (Coluna A) - Representa a área em termos percentuais, relação ao vão original do vão envidraçado com a orientação norte

$Q_{tr,i}$  (Coluna B) - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)

$Q_{ve,i}$  (Coluna C) - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{int,i}$  (Coluna D) - Ganhos térmicos (brutos) associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento (kWh)

$Q_{sol,i}$  (Coluna E) - Ganhos térmicos (brutos) associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento (kWh)

$\eta_i$  (Coluna F) - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento

$Q_{int,i}$  (Coluna G) - Ganhos térmicos (úteis) associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento (kWh)

$Q_{sol,i}$  (Coluna H) - Ganhos térmicos (úteis) associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento (kWh)

Os valores de cálculo da coluna B, C e D não dependem do fator em causa  $x_j$ , assim são rececionados nesta folha de cálculo de apoio de forma automática através de células ligadas à folha de cálculo ITeCons.

Em função da variação dos vãos com orientação norte os valores referentes à:

- 1) coluna B são recolhidos os valores no separador En\_Aquecimento célula B51 folha de cálculo IteCons,
- 2) coluna C são recolhidos os valores no separador En\_Aquecimento célula B53 folha de cálculo IteCons,
- 3) coluna D são recolhidos os valores no separador Ganhos\_Inverno célula G13 folha de cálculo IteCons.

No que respeita à coluna E, Ganhos térmicos (brutos) associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, estes são calculados segundo a equação (4.7) referida no subcapítulo (4.1). Segundo esta equação, os ganhos térmicos dependem de vários parâmetros, sendo que, para o cálculo da área efetiva coletora, este tem relação com o fator de orientação. Este último, sendo um valor tabelado segundo (Despacho nº 15793I, 2013), não é possível alterá-lo na folha de cálculo ITeCons pois esta ferramenta encontra-se bloqueada a possíveis alterações. Para tal foi necessário construir uma tabela de apoio onde fosse possível calcular a área efetiva coletora intervindo ao nível dos valores do fator de orientação  $x_j$ , impondo os valores da (coluna H, linhas 6,7 e 8) representado pela seguinte Tabela 23

Tabela 23 - Cálculo da área efetiva coletora com imposição do parâmetro  $x_j$

“continua”

|   | A                         | B          | C                          | D                                  | E                                                                     | F                            | G                                                                                            | H                         | I                                                                 |
|---|---------------------------|------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | Designação do envidraçado | Orientação | Fator Solar Inverno, $g_I$ | Área do vão $A_w$ , m <sup>2</sup> | Fator de Obstrução<br>$F_{s,i} = F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$ | Fração. Envidraçada<br>$F_g$ | Área efetiva coletora<br>m <sup>2</sup><br>$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_I \cdot F_{s,i}$ | Fator de Orientação $x_j$ | Área Efetiva coletora a sul m <sup>2</sup><br>$x_j \cdot A_{s,i}$ |
| 2 | 1 (VE1)                   | Sul        | 0,38                       | 1,40                               | 0,59                                                                  | 0,65                         | 0,20                                                                                         | 1,00                      | 0,2014302                                                         |
| 3 | 2 (VE1)                   | Sul        | 0,38                       | 1,40                               | 0,59                                                                  | 0,65                         | 0,20                                                                                         | 1,00                      | 0,2014302                                                         |
| 4 | 3 (VE1)                   | Sul        | 0,38                       | 1,40                               | 0,59                                                                  | 0,65                         | 0,20                                                                                         | 1,00                      | 0,201430                                                          |
| 5 | 4 (VE1)                   | Sul        | 0,38                       | 1,40                               | 0,59                                                                  | 0,65                         | 0,20                                                                                         | 1,00                      | 0,2014302                                                         |
| 6 | 5 (VE2)                   | Norte      | 0,38                       | 2,63                               | 0,90                                                                  | 0,65                         | 0,58                                                                                         | 0,23                      | 0,1328818                                                         |

Tabela 23 - Cálculo da área efetiva coletora com imposição do parâmetro  $x_j$ 

“continuação”

|    | A                         | B          | C                          | D                                  | E                                                                     | F                            | G                                                                                            | H                         | I                                                                    |
|----|---------------------------|------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1  | Designação do envidraçado | Orientação | Fator Solar Inverno, $g_I$ | Área do vão $A_w$ , m <sup>2</sup> | Fator de Obstrução<br>$F_{s,i} = F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$ | Fração. Envidraçada<br>$F_g$ | Área efetiva coletora<br>m <sup>2</sup><br>$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_I \cdot F_{s,i}$ | Fator de Orientação $x_j$ | Área Efetiva coletora a<br>sul m <sup>2</sup><br>$x_j \cdot A_{s,i}$ |
| 7  | 6 (VE2)                   | Norte      | 0,38                       | 2,63                               | 0,90                                                                  | 0,65                         | 0,58                                                                                         | 0,23                      | 0,1328818                                                            |
| 8  | 7 (VE2)                   | Norte      | 0,38                       | 2,63                               | 0,90                                                                  | 0,65                         | 0,58                                                                                         | 0,23                      | 0,1328818                                                            |
| 9  | 8 (VE3)                   | Este       | 0,38                       | 2,77                               | 0,54                                                                  | 0,65                         | 0,36                                                                                         | 0,56                      | 0,203431                                                             |
| 10 | 9 (VE5)                   | Este       | 0,38                       | 1,73                               | 0,54                                                                  | 0,65                         | 0,23                                                                                         | 0,56                      | 0,1270531                                                            |
| 11 | 10 (VE4)                  | Oeste      | 0,38                       | 1,40                               | 0,66                                                                  | 0,65                         | 0,23                                                                                         | 0,56                      | 0,1263799                                                            |
| 12 | 11 (VE6)                  | Oeste      | 0,38                       | 1,78                               | 0,66                                                                  | 0,65                         | 0,29                                                                                         | 0,56                      | 0,1606830                                                            |
| 13 | 12 (VE4)                  | Oeste      | 0,38                       | 1,40                               | 0,66                                                                  | 0,65                         | 0,23                                                                                         | 0,56                      | 0,1263799                                                            |
|    |                           |            |                            |                                    |                                                                       |                              |                                                                                              | Total                     | 1,948 m <sup>2</sup>                                                 |

Com a obtenção da área efetiva coletora referente a cada uma das áreas de vão envidraçado e um dado valor do fator de orientação, torna-se possível calcular os ganhos térmicos (brutos) associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados recorrendo à equação 4.7, valores que estão representados na Tabela 22 coluna E.

Para o cálculo dos ganhos térmicos (úteis) associados a fontes internas de calor Tabela 22, coluna G e os ganhos térmicos (úteis) associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados Tabela 22 coluna H, é necessário que sejam afetados os ganhos térmicos (brutos) por um fator de utilização dos ganhos solares, valores apresentados na Tabela 22, coluna F.

Os valores deste parâmetro foram calculados tendo em conta o (ponto 5 do Despacho n° 15793 K, 2013). Com a aplicação de todos os pressupostos referidos anteriormente, torna-se possível, recorrendo à equação 4.3 o cálculo do índice energético  $N_{ic}$  com a imposição do valor 0.23 para o fator de orientação norte, os valores são apresentados na seguinte Tabela 24

Tabela 24 - Valores de  $N_{ic}$ , com  $Q_{sol, i}$  ( $X_j (0,23)$ )

| Área do vão a norte | $Q_{tr,i}$ | $Q_{ve,i}$ | $Q_{int,i}$ | $Q_{sol,i} (x_j=0.23)$ | $N_{ic}$ |
|---------------------|------------|------------|-------------|------------------------|----------|
| -95%                | 7320,96    | 3350,91    | 2101,44     | 1299,01                | 65,94    |
| -90%                | 7343,51    | 3350,91    | 2100,89     | 1316,02                | 65,99    |
| -85%                | 7364,40    | 3350,91    | 2100,32     | 1333,00                | 66,03    |
| -80%                | 7384,45    | 3350,91    | 2099,73     | 1349,96                | 66,07    |
| -75%                | 7403,94    | 3350,91    | 2099,13     | 1366,91                | 66,09    |
| -70%                | 7423,05    | 3350,91    | 2098,52     | 1383,85                | 66,12    |
| -65%                | 7441,86    | 3350,91    | 2097,91     | 1400,77                | 66,14    |
| -60%                | 7460,44    | 3350,91    | 2097,30     | 1417,68                | 66,16    |
| -55%                | 7478,83    | 3350,91    | 2096,68     | 1434,57                | 66,18    |
| -50%                | 7497,07    | 3350,91    | 2096,06     | 1451,46                | 66,20    |
| -45%                | 7515,16    | 3350,91    | 2095,44     | 1468,33                | 66,22    |
| -40%                | 7533,14    | 3350,91    | 2094,82     | 1485,19                | 66,23    |
| -35%                | 7551,02    | 3350,91    | 2094,19     | 1502,04                | 66,25    |
| -30%                | 7568,80    | 3350,91    | 2093,56     | 1518,88                | 66,26    |
| -25%                | 7586,50    | 3350,91    | 2092,94     | 1535,71                | 66,27    |
| -20%                | 7604,13    | 3350,91    | 2092,31     | 1552,52                | 66,29    |
| -15%                | 7621,69    | 3350,91    | 2091,68     | 1569,33                | 66,30    |
| -10%                | 7639,19    | 3350,91    | 2091,05     | 1586,12                | 66,31    |
| -5%                 | 7656,64    | 3350,91    | 2090,41     | 1602,90                | 66,32    |
| 0%                  | 7674,03    | 3350,91    | 2089,78     | 1619,68                | 66,34    |
| 5%                  | 7691,37    | 3350,91    | 2089,15     | 1636,44                | 66,35    |
| 10%                 | 7708,67    | 3350,91    | 2088,51     | 1653,19                | 66,36    |
| 15%                 | 7725,93    | 3350,91    | 2087,88     | 1669,93                | 66,37    |
| 20%                 | 7743,15    | 3350,91    | 2087,25     | 1686,65                | 66,38    |
| 25%                 | 7760,33    | 3350,91    | 2086,61     | 1703,37                | 66,39    |
| 30%                 | 7777,48    | 3350,91    | 2085,97     | 1720,08                | 66,40    |
| 35%                 | 7794,60    | 3350,91    | 2085,34     | 1736,77                | 66,41    |
| 40%                 | 7811,69    | 3350,91    | 2084,70     | 1753,46                | 66,42    |
| 45%                 | 7828,74    | 3350,91    | 2084,07     | 1770,13                | 66,43    |
| 50%                 | 7845,77    | 3350,91    | 2083,43     | 1786,79                | 66,44    |
| 55%                 | 7862,78    | 3350,91    | 2082,79     | 1803,45                | 66,44    |
| 60%                 | 7879,76    | 3350,91    | 2082,16     | 1820,09                | 66,45    |
| 65%                 | 7896,71    | 3350,91    | 2081,52     | 1836,72                | 66,46    |
| 70%                 | 7913,64    | 3350,91    | 2080,88     | 1853,34                | 66,47    |
| 75%                 | 7930,55    | 3350,91    | 2080,24     | 1869,95                | 66,48    |
| 80%                 | 7947,44    | 3350,91    | 2079,61     | 1886,55                | 66,49    |
| 85%                 | 7964,31    | 3350,91    | 2078,97     | 1903,14                | 66,50    |
| 90%                 | 7981,17    | 3350,91    | 2078,33     | 1919,72                | 66,50    |
| 95%                 | 7998,00    | 3350,91    | 2077,69     | 1936,29                | 66,51    |
| 100%                | 8014,82    | 3350,91    | 2077,06     | 1952,84                | 66,52    |

Para permitir uma melhor precessão dos valores apresentados, valores do índice  $N_{ic}$  necessidades energéticas para aquecimento para o edifício em estudo, por variação da área de envidracados a norte impondo um valor de 0,23 para o fator de orientação norte mantendo todo o resto constante, são apresentados de forma gráfica, Figura 64, o comportamento deste indice para todos os fatores de orientação simulados.

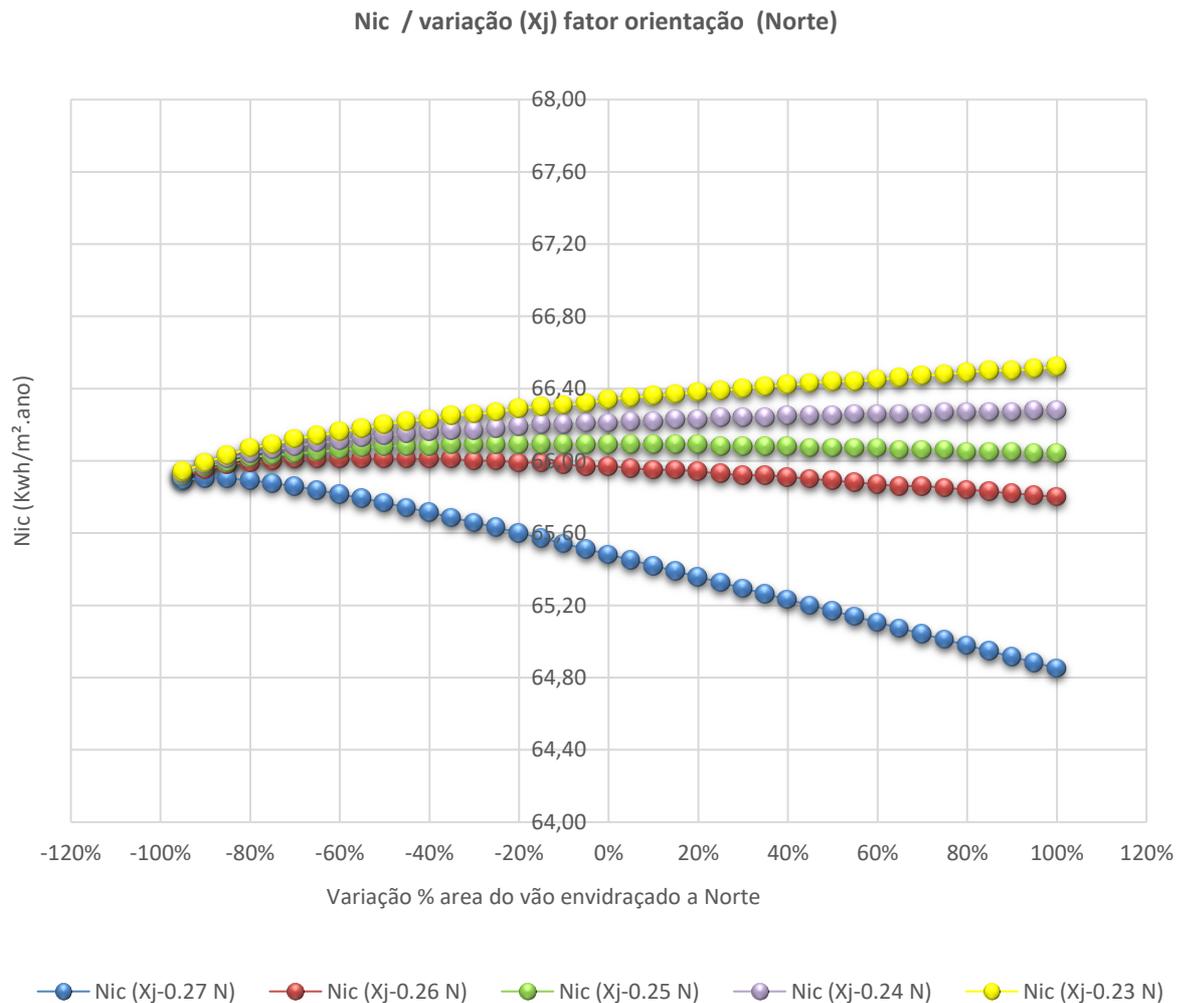


Figura 64 - Valores de  $N_{ic}$ , com  $Q_{sol, i}(X_j - \text{vários})$

A Figura 64, representa de forma gráfica os valores do índice  $N_{ic}$  em função da variação da área de vão envidraçado a norte, afetados pela imposição de vários valores do fator de orientação  $X_j$ . Observa-se que o comportamento do índice  $N_{ic}$  é sensível à variação deste fator de orientação e verifica-se que quanto maior for o fator de orientação conjugado com o aumento da área dos vãos envidraçados a norte, mantendo todo o resto constante, menores são as

necessidades energéticas associadas a este índice. Este trabalho de simulação de vários fatores de orientação tem como objetivo perceber qual o valor que este pode tomar por forma a que se verifique uma inversão da tendência do valor de  $N_{ic}$ . Assim por observação gráfica identifica-se o valor de  $X_j = 0,23$  como resposta a esta questão.

A imposição de valores de  $X_j \leq 0,23$  justificam o comportamento do índice  $N_{ic}$  esperado por vários autores, tal como (Teixeira, 1984). Subentende-se que em função de um incremento de área de vão envidraçado com a orientação norte as necessidades de aquecimento tenham tendência para aumentar, assim os valores que acompanham este comportamento são valores para o fator de orientação inferiores ou iguais a 0,23.



## 5. APLICAÇÃO DA 2ª ANÁLISE (NECESSIDADES ENERGÉTICAS FUNÇÃO ÁREA, $U$ E $g_L$ DOS VÃOS)

Neste Capítulo é apresentada uma simulação de processo iterativo ao nível energético implementando variações nos parâmetros que dizem respeito aos vãos envidraçados do edifício em estudo no estado de pós reabilitação e pretende-se entender como será possível minimizar as necessidades anuais de energia, por observação dos valores associados aos índices energéticos. Os parâmetros que irão ser variados e que dizem respeito aos vãos envidraçados são: a área, o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar.

A captação da energia solar (passiva), está diretamente relacionada com as características da envolvente não opaca do edifício, e a sua orientação. Será importante perceber quais os valores dos parâmetros referidos que conduzem ao mínimo consumo energético por orientação da fachada do edifício.

A análise será feita com recurso a ferramentas de cálculo (Excel) ITeCons. Para tal, foi definida uma configuração que permite interligar de forma automática os diferentes contextos simulados com referidas ferramentas. A interligação entre documentos foi realizada garantindo a permanente verificação dos requisitos regulamentares.

Devido à complexidade da simulação, a forma mais intuitiva de descrição do processo passou pela elaboração de um fluxograma, que pode ser observado na Figura 65, e que resume a aplicação da 2ª análise passo-a-passo. Ao longo deste Capítulo será feita a descrição detalhada que diz respeito a cada passo.

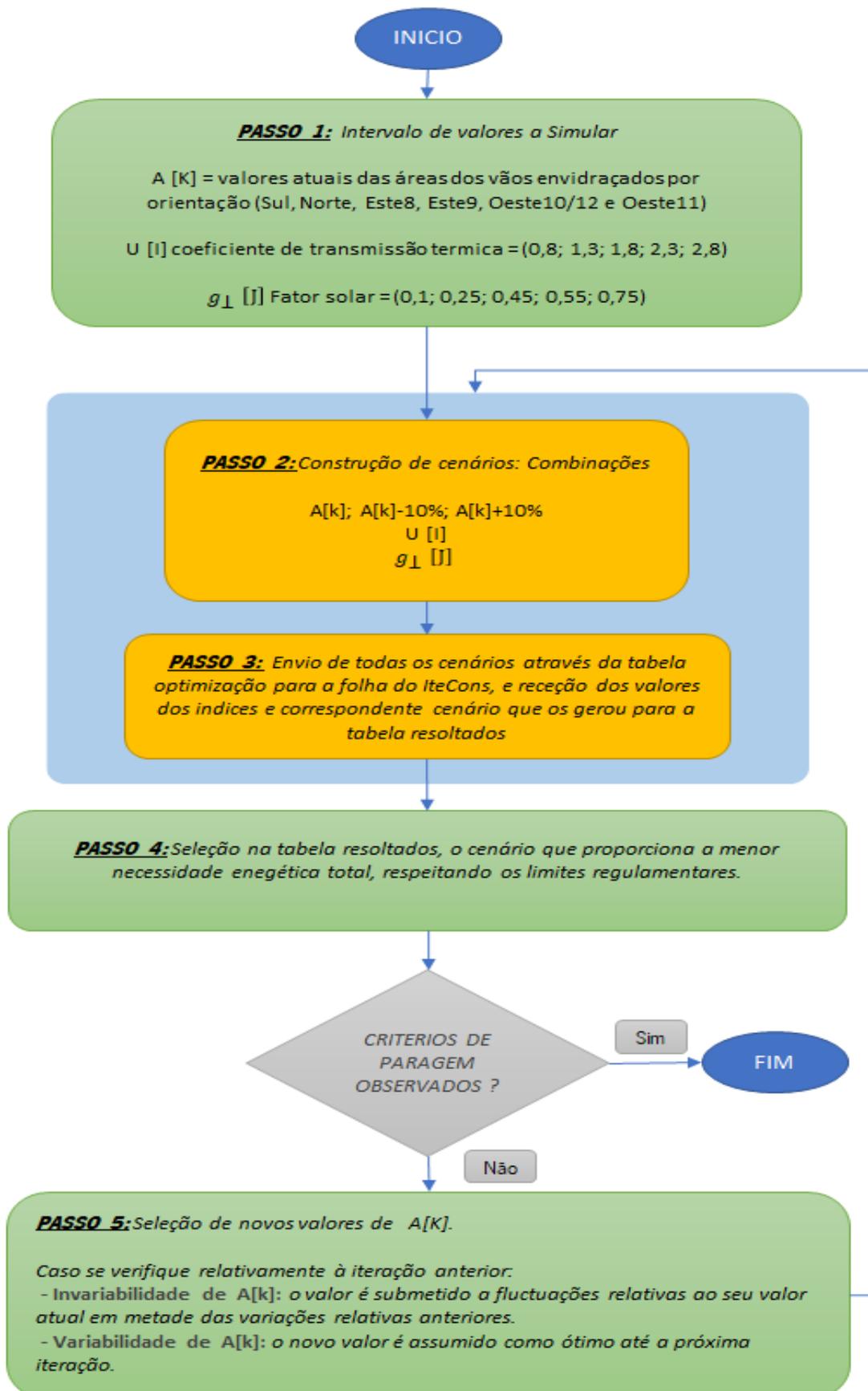


Figura 65 - Fluxograma de processos da aplicação da 2ª análise

### Intervalo de valores - Passo 1

Esta análise tem como fase inicial definir valores limite para estes parâmetros. O vão original de cada orientação assume os valores originais e um acréscimo e decréscimo de 10%; o coeficiente de transmissão térmica assume valores entre 0,8 e 2,8 divididos entre cinco valores; e o fator solar tem como valores limite 0,1 e 0,75 divididos entre cinco valores, conforme o que é apresentado na Tabela 25. É de referir que as identificações das orientações podem ser relacionadas com a identificação dos vãos (ID vão) da Tabela 27.

Tabela 25 - Valores iniciais dos parâmetros (área dos vãos,  $U$  e  $g_L$ )

| Variação dos vãos | Sul  | Norte | Este 8 | Este 9 | Oeste 10/12 | Oeste 11 | $U$  | $g_L$ |
|-------------------|------|-------|--------|--------|-------------|----------|------|-------|
| -10%              | 1,26 | 2,49  | 2,49   | 1,56   | 1,26        | 1,60     | 0,8  | 0,1   |
| 0%                | 1,40 | 2,77  | 2,77   | 1,73   | 1,40        | 1,78     | 1,30 | 0,25  |
| 10%               | 1,54 | 3,05  | 3,05   | 1,90   | 1,54        | 1,96     | 1,8  | 0,45  |
|                   |      |       |        |        |             |          | 2,3  | 0,55  |
|                   |      |       |        |        |             |          | 2,8  | 0,75  |

### Gerar combinações e registo dos seus valores - Passo 2

Após a definição dos valores são geradas as combinações dos mesmos através de um aplicativo (Kutools) da ferramenta de cálculo Excel. Apresenta-se na Tabela 26, um extrato das combinações geradas pelo aplicativo.

Tabela 26 - Extrato de tabela Combinações de valores dos parâmetros vãos envidraçados

| Coeficiente transmissão térmica $U$ | Fator solar $g_L$ | Área dos vãos Sul (4 vãos) | Área dos vãos Norte (3 vãos) | Área dos vãos Este 8 (1 vão) | Área dos vãos Este 9 (1 vão) | Área dos vãos Oeste 10/12 (2 vãos) | Área dos vãos Oeste 11 (1 vão) | Ponte linear térmica (m) |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,26                               | 1,6                            | 62,24                    |
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,26                               | 1,78                           | 62,52                    |
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,26                               | 1,96                           | 62,78                    |
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,4                                | 1,6                            | 62,73                    |
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,4                                | 1,78                           | 63,01                    |
| 0,8                                 | 0,1               | 1,26                       | 2,49                         | 2,49                         | 1,56                         | 1,4                                | 1,96                           | 63,27                    |

É de salientar que as pontes lineares térmicas representadas na última coluna desta tabela, têm em conta a geometria da janela quadrada e calculam-se através do somatório do perímetro de cada vão segundo a sua orientação.

### Criação quadro otimização e ligação com folha cálculo ITeCons - Passo 3

Nesta etapa elaborou-se uma tabela (otimização) com o objetivo de receber todos os valores de cada combinação, nas respetivas células, através de um algoritmo que os recupera da tabela combinações dos parâmetros dos vãos envidraçados. Estando esta tabela (otimização) ligada automaticamente com a folha de cálculo do ITeCons, para cada valor introduzido, esta atualiza e devolve os valores dos índices energéticos, conforme pode ser consultado na Tabela 27.

Tabela 27 - Tabela otimização

| ID vão | Divisão    | Designação do tipo de solução | Orientação | Área envidraçada (m <sup>2</sup> ) | $U$ (W/m <sup>2</sup> .°C) | $g_l$ | Pontes térmicas lineares (m) |
|--------|------------|-------------------------------|------------|------------------------------------|----------------------------|-------|------------------------------|
| 1      | Cozinha    | VE1                           | Sul        | 1,40                               | 1,3                        | 0,417 | 65,62                        |
| 2      | Quarto 1   | VE1                           | Sul        | 1,40                               |                            |       |                              |
| 3      | Quarto 2   | VE1                           | Sul        | 1,40                               |                            |       |                              |
| 4      | Quarto 3   | VE1                           | Sul        | 1,40                               |                            |       |                              |
| 5      | Quarto 4   | VE1                           | Norte      | 2,77                               | 1,3                        | 0,417 |                              |
| 6      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,77                               |                            |       |                              |
| 7      | Sala       | VE1                           | Norte      | 2,77                               |                            |       |                              |
| 8      | Cozinha    | VE2                           | Este       | 2,77                               | 1,3                        | 0,417 |                              |
| 9      | Circulação | VE2                           | Este       | 1,73                               |                            |       |                              |
| 10     | Wc 3       | VE1                           | Oeste      | 1,40                               | 1,3                        | 0,417 |                              |
| 11     | Circulação | VE2                           | Oeste      | 1,78                               |                            |       |                              |
| 12     | Wc 2       | VE1                           | Oeste      | 1,40                               |                            |       |                              |

| $N_{ic}$ |            | $N_{vc}$ |            | $N_{tc}$ |            |
|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| Valor    | Referência | Valor    | Referência | Valor    | Referência |
| 65,481   | 79,418     | 7,186    | 7,846      | 218,56   | 235,36     |

### Registo de valores das combinações e respetivos índices - Passo 4

O registo dos valores introduzidos na tabela de combinações e a recuperação dos respetivos índices é também feito de forma automática através do algoritmo. Este registo é feito numa folha de cálculo (Resultados), onde, à posteriori, é feito o tratamento dos dados.

Os dados são organizados de forma crescente em ordem ao valor do índice das necessidades totais, cumprindo a restrição de todos os valores dos índices de cálculo serem inferiores ou iguais aos índices de referência. Assim, surgem na primeira linha os melhores valores a combinar para a próxima iteração conforme poderá ser consultado na Tabela 28

Tabela 28 - Extrato de tabela resumo dos valores simulados e índices energéticos obtidos

| $U$ | $g_{\perp}$ | Área de vão segundo orientação |       |        |        |             |          | $N_{ic}$ |       | $N_{vc}$ |      | $N_{tc}$ |        | Valor min. $N_{tc}$ |
|-----|-------------|--------------------------------|-------|--------|--------|-------------|----------|----------|-------|----------|------|----------|--------|---------------------|
|     |             | Sul                            | Norte | Este 8 | Este 9 | Oeste 10/12 | Oeste 11 | Valor    | Ref.  | Valor    | Ref. | Valor    | Ref.   |                     |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 3,05   | 1,56   | 1,54        | 1,60     | 60,02    | 79,52 | 7,83     | 7,85 | 205,45   | 276,24 | 205,45              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 3,05   | 1,73   | 1,40        | 1,60     | 60,09    | 79,52 | 7,84     | 7,85 | 205,62   | 276,24 | 205,62              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,77   | 1,56   | 1,54        | 1,60     | 60,11    | 79,52 | 7,79     | 7,85 | 205,64   | 276,24 | 205,64              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,49   | 1,56   | 1,54        | 1,78     | 60,12    | 79,52 | 7,84     | 7,85 | 205,70   | 276,24 | 205,70              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 3,05   | 1,56   | 1,40        | 1,60     | 60,14    | 79,52 | 7,78     | 7,85 | 205,70   | 276,24 | 205,70              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,49   | 1,73   | 1,54        | 1,60     | 60,15    | 79,52 | 7,82     | 7,85 | 205,75   | 276,24 | 205,75              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,77   | 1,56   | 1,40        | 1,78     | 60,15    | 79,52 | 7,83     | 7,85 | 205,77   | 276,24 | 205,77              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,77   | 1,73   | 1,40        | 1,60     | 60,17    | 79,52 | 7,81     | 7,85 | 205,81   | 276,24 | 205,81              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 2,49   | 1,56   | 1,54        | 1,60     | 60,20    | 79,52 | 7,76     | 7,85 | 205,83   | 276,24 | 205,83              |
| 0,8 | 0,45        | 1,54                           | 2,49  | 3,05   | 1,56   | 1,26        | 1,78     | 60,18    | 79,52 | 7,82     | 7,85 | 205,83   | 276,24 | 205,83              |

### Seleção de novos valores a combinar - Passo 5

Foi referido no início do Capítulo que esta análise seria iterativa. O início da segunda iteração passa por identificar quais os valores resultantes da melhor combinação obtida ao nível da área dos vãos envidraçados, identificando em relação aos valores de origem se estes têm tendência para aumentar a área ou diminuir e assim poder ser elaborada outra série de valores a combinar, iniciando uma nova etapa do processo iterativo. Seguem assim as restantes iterações conforme o modelo exposto no fluxograma da Figura 65. O fluxograma refere critérios de paragem sendo estes:

- Observação, no termo de três iterações consecutivas da convergência para cada estimativa das áreas dos vãos ( $V[K]$ );
- Caso os valores dos índices não cumpram os limites regulamentares o algoritmo deve terminar e reter o último ótimo observado e em acordo com esses limites

Elaborada esta simulação iterativa sendo cumpridos os critérios de paragem referidos, foram obtidos os seguintes dados, referentes aos índices energéticos, representados graficamente nas Figura 66, Figura 67 e Figura 68.

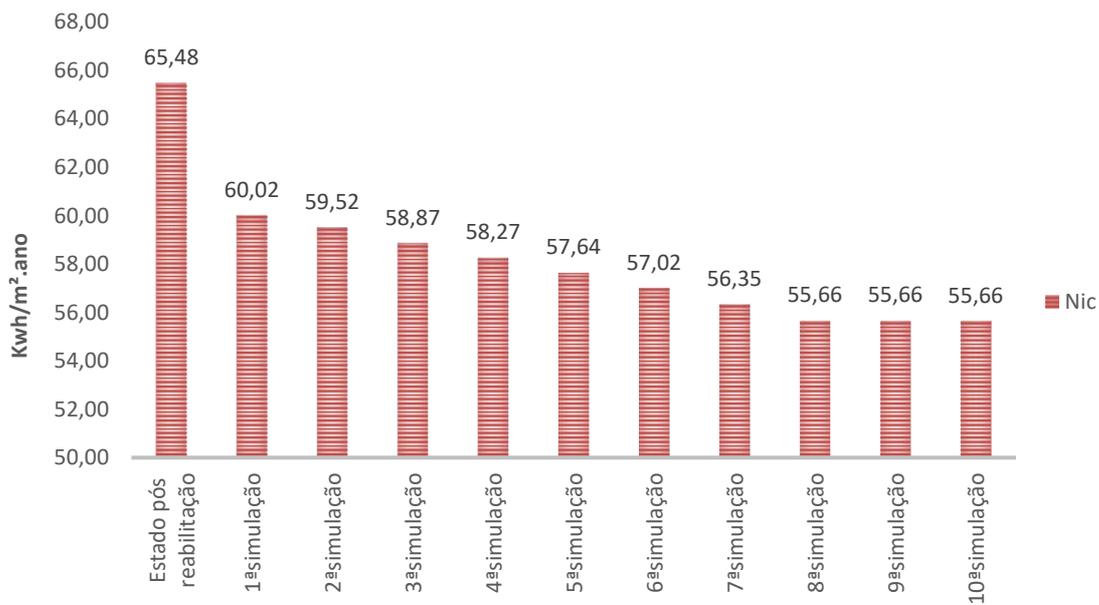
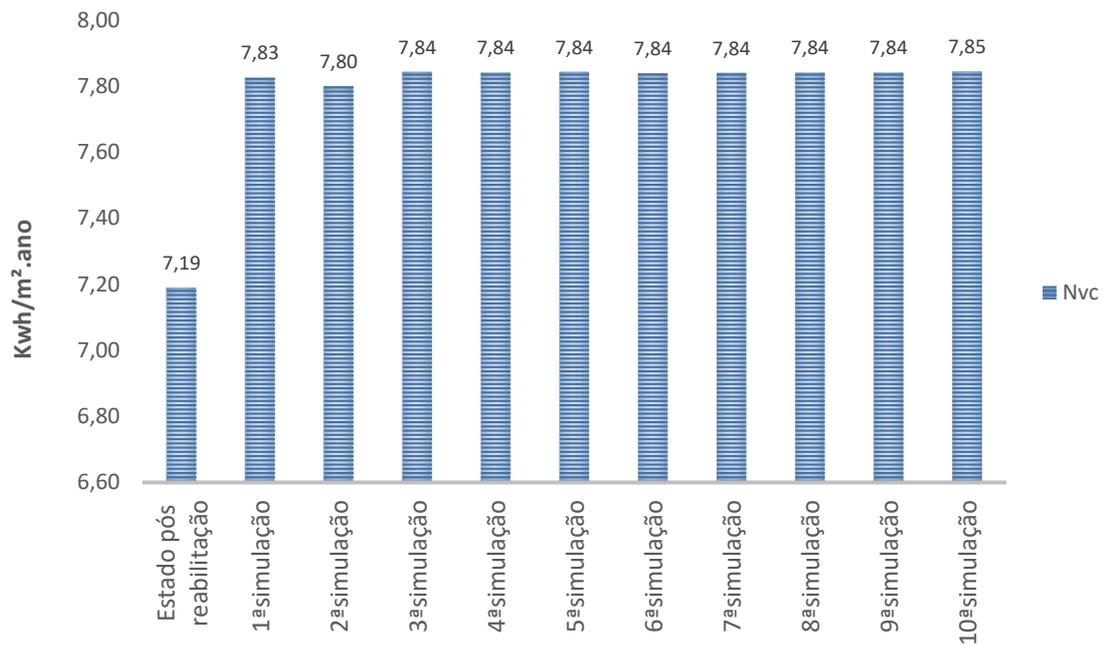


Figura 66 - Valores do índice  $N_{ic}$  por simulação

Na Figura 66, estão representados os valores do índice  $N_{ic}$  por simulação, e pode observar-se que existe um decréscimo nas necessidades de aquecimento por aplicação da metodologia logo na primeira simulação. O valor deste índice apresenta decréscimos mais contidos com o avanço da simulação até que se verifica uma estagnação dos valores do índice a partir da 8ª simulação. Refere-se que as escolhas destes valores correspondem ao mínimo valor das necessidades totais garantindo o cumprimento dos requisitos mínimos, ou seja, os valores de cálculo obrigatoriamente são valores inferiores aos de referência.

Figura 67 - Valores do índice -  $N_{vc}$  por simulação

Na Figura 67, estão representados os valores do índice  $N_{vc}$  por simulação, e pode-se observar que existe um aumento nas necessidades de arrefecimento por aplicação da metodologia logo na primeira simulação. O valor deste índice apresenta ainda um decréscimo nas necessidades entre a simulação 1 e 2, depois com o decorrer da simulação verifica-se uma estagnação dos valores do índice a partir da 3ª simulação. Refere-se que as escolhas destes valores correspondem ao mínimo valor das necessidades totais garantindo o cumprimento dos requisitos mínimos, ou seja, os valores de cálculo obrigatoriamente são valores inferiores aos de referência.

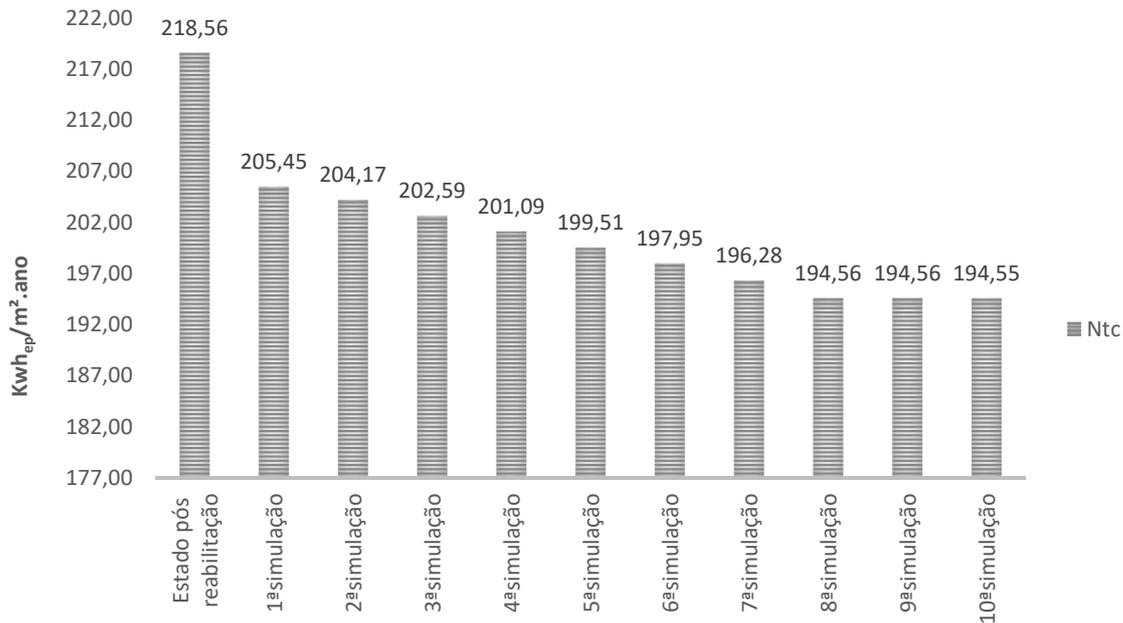


Figura 68 - Valores do índice -  $N_{tc}$  por simulação

Na Figura 68, estão representados os valores do índice  $N_{tc}$  por simulação, e pode-se observar que existe um acentuado decréscimo nas necessidades de aquecimento por aplicação da metodologia logo na primeira simulação. O valor deste índice apresenta decréscimos mais contidos com o avanço da simulação até que se verifica uma estagnação dos valores do índice a partir da 8ª simulação. Refere-se que as escolhas destes valores correspondem ao mínimo valor das necessidades totais garantindo o cumprimento dos requisitos mínimos, ou seja, os valores de cálculo obrigatoriamente são valores inferiores aos de referência.

Por forma a ser mais intuitivo apresenta-se sob a forma de figura resumo um gráfico, Figura 69, que expressa os valores iniciais tendo em conta o edifício no estado após aplicação de medidas de melhoria (correção) e os valores obtidos no final da aplicação desta metodologia.

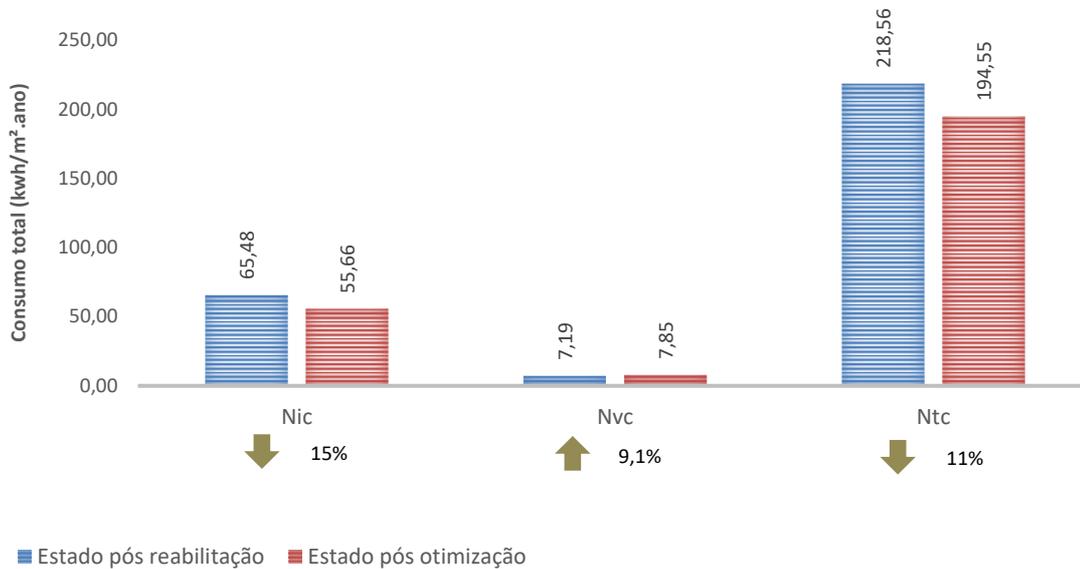


Figura 69 - Comparativo dos índices energéticos

Por observação da

Figura 69, pode constatar-se que os índices energéticos registaram as seguintes alterações após a aplicação da 2ª metodologia:

- $N_{ic}$  necessidades de aquecimento uma diminuição na ordem dos 15% (9,82 kWh/m². ano);
- $N_{vc}$  necessidades de arrefecimento um aumento na ordem dos 9,1% (0,66 kWh/m². ano);
- $N_{tc}$  necessidades totais uma diminuição na ordem dos 11% (24,01 kWh/m². ano).

É de notar que as flutuações percentuais são referentes ao valor inicial de cada índice, antes da aplicação da metodologia. Isto para que se possa atender a que um aumento de 9,1% nas necessidades de arrefecimento representam um aumento no valor em (0,66 kWh/m². ano) baixo. No que toca aos valores dos índices  $N_{ic}$  e  $N_{tc}$  por aplicação desta metodologia a este caso de estudo, vem indicar que existe uma diminuição considerável dos consumos energéticos totais.

Como referido no início deste capítulo, a aplicação desta metodologia tem como base perceber quais os valores referentes às áreas, ao coeficiente de transmissão térmica e ao fator solar, que

depois de combinados, são definidos como ótimos, ou seja, que conduzam a uma redução dos consumos energéticos por aplicação de variação dos parâmetros referidos.

A Figura 70, representa os valores iniciais e finais (ótimos) dos parâmetros (área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar dos vãos envidraçados para cada orientação após aplicação da 2ª metodologia. Observa-se que relativamente à orientação sul a área dos vãos envidraçados mais que duplicou, relativamente à orientação norte a área teve tendência decrescente e registou menos de metade da área inicial. As áreas a, Este 8 e Oeste 10/12 apresentam um ligeiro aumento, a Este 9 e Oeste 11 apresentam pequenas flutuações. O coeficiente de transmissão térmica apresenta tendência decrescente, quase metade do valor inicial, já no que toca ao fator solar do vidro este sofre um pequeno ajuste. Estes dados da 10ª simulação correspondem aos melhores valores por forma a obter um melhor desempenho térmico do edifício, salienta-se que devido às limitações do número de combinações a introduzir na ferramenta de cálculo, os valores referentes ao coeficiente de transmissão térmica e fator solar são comuns em todas as orientações.

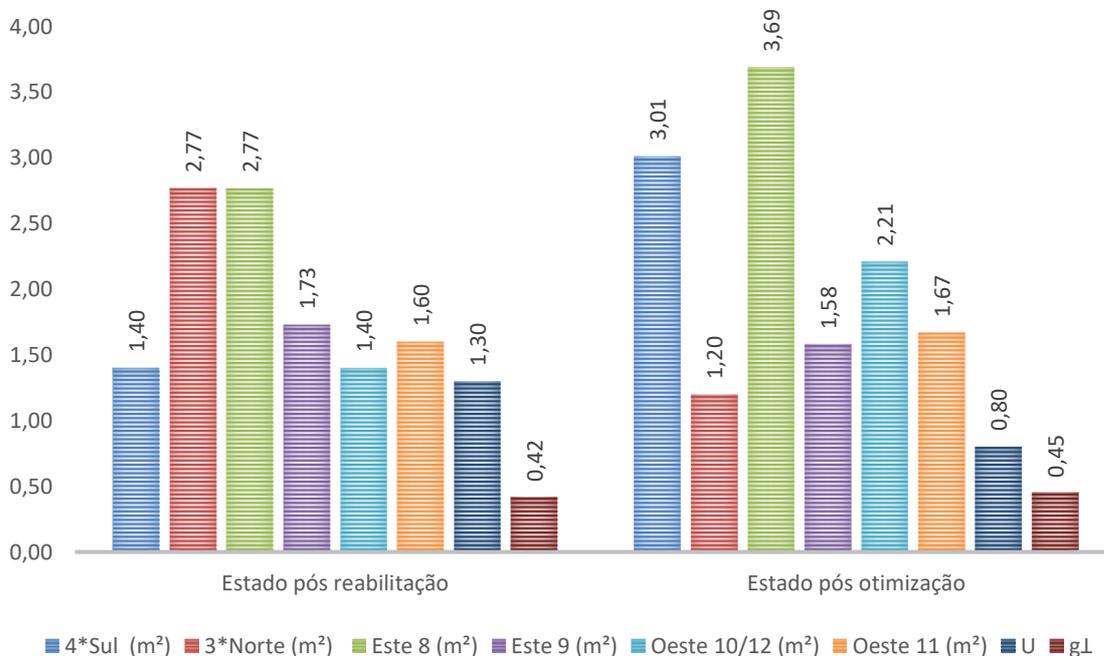


Figura 70 - Progressão da metodologia, valores de áreas, coeficiente de transmissão térmica e fatores solares

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS 1ª E 2ª ANÁLISE

### 6.1 Resultados 1ª análise

A análise de resultados da aplicação da 1ª análise deste objeto de estudo tem como objetivo interpretar os dados decorrentes de todo o processo de aplicação da metodologia. Importa entender qual a importância ou influência que as variações das áreas dos vãos envidraçados por orientação exercem sobre os valores dos índices energéticos.

Importa ressaltar que esta análise não seguiu o percurso inicialmente previsto. O facto de ter-se iniciado esta análise simulando primeiramente a orientação norte levou a que se optasse por interpretar os resultados obtidos de uma forma crítica.

Conforme foi descrito ao longo do 4º Capítulo, verificou-se tendo em conta a geometria solar, que seria pouco razoável admitir correto que quanto às necessidades de aquecimento, estas tivessem um comportamento decrescente em função de um incremento da área de vãos envidraçados com a orientação norte conforme pode ser observado graficamente através da Figura 62.

Optou-se então, em vez de prosseguir e avaliar as influências das áreas dos vãos envidraçados relativos a outras orientações, por identificar possíveis problemas que pudessem justificar este comportamento do índice necessidades de aquecimento. Observou-se a equação que calcula este índice  $N_{ic}$  equação (4.3), e interpretando-a, concluiu-se que se torna possível este comportamento se o conjunto das perdas (quer por transmissão quer por ventilação) for superado pelo conjunto de ganhos (interno e externo).

A variação dos vãos envidraçados, tem influência quer nas perdas por transmissão quer nos ganhos externos. Mas o que justifica o comportamento da Figura 62, é uma prevalência nos valores dos ganhos externos relativamente às perdas por transmissão. Assim, por análise da equação que calcula os ganhos externos (Equação 4.7), identificou-se que um dos parâmetros regulamentares, o fator de orientação  $X_j$  possa ser o responsável por este comportamento.

Entendeu-se ser importante perceber qual o comportamento do índice  $N_{ic}$ , impondo a variação do fator de orientação conjugando a variação dos vãos envidraçados com a orientação norte e mantendo todas as outras variáveis regulamentares constantes. Elaborada esta simulação, pode ser observado através da Figura 64, o comportamento do índice segundo a imposição dos vários fatores de orientação. O valor para este fator que acompanha a tendência de que quanto maior a área de envidraçados maiores serão as necessidades energéticas na estação de aquecimento é o fator de orientação igual a 0,23.

## 6.2 Resultados 2ª análise

A análise de resultados da aplicação da 2ª análise deste objeto de estudo tem como objetivo interpretar os dados decorrentes de todo o processo de aplicação da metodologia. Importa entender qual a validade e vantagens da aplicação desta metodologia nos consumos energéticos do edifício em estudo, pois entende-se que estes consumos têm uma relação direta com impactos económicos e ambientais. A Tabela 29, representa as mudanças ocorridas ao nível dos parâmetros descritos e ao longo da aplicação das metodologias.

Tabela 29 - Valores dos vários parâmetros, para os vários estados do edifício em estudo

|                                     | Estado atual |              |              |              | Estado pós reabilitação |              |              |              | Estado pós otimização |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | Norte        | Sul          | Este         | Oeste        | Norte                   | Sul          | Este         | Oeste        | Norte                 | Sul          | Este         | Oeste        |
| $U$<br>paredes                      | 1,16<br>1,17 | 1,16<br>1,17 | 1,16<br>1,17 | 1,16<br>1,17 | 0,32<br>0,33            | 0,32<br>0,33 | 0,32<br>0,33 | 0,32<br>0,33 | 0,32<br>0,33          | 0,32<br>0,33 | 0,32<br>0,33 | 0,32<br>0,33 |
| $U$<br>pontes<br>térmicas<br>planas | 3,14         | 3,14         | 3,14         | 3,14         | 0,39                    | 0,39         | 0,39         | 0,39         | 0,39                  | 0,39         | 0,39         | 0,39         |
| $U$<br>pavimento                    | 0,43         | 0,43         | 0,43         | 0,43         | 0,32                    | 0,32         | 0,32         | 0,32         | 0,32                  | 0,32         | 0,32         | 0,32         |
| $U$<br>cobertura                    | 0,37         | 0,37         | 0,37         | 0,37         | 0,23                    | 0,23         | 0,23         | 0,23         | 0,23                  | 0,23         | 0,23         | 0,23         |
| Área dos<br>envidraçados<br>$m^2$   | 8,31         | 5,6          | 4,5          | 4,58         | 8,31                    | 5,6          | 4,5          | 4,58         | 3,6                   | 12,04        | 5,27         | 6,09         |
| $U$<br>envidraçados                 | 3,9          | 3,9          | 3,9          | 3,9          | 1,3                     | 1,3          | 1,3          | 1,3          | 0,8                   | 0,8          | 0,8          | 0,8          |
| $g_l$<br>envidraçados               | 0,88         | 0,88         | 0,88         | 0,88         | 0,42                    | 0,42         | 0,42         | 0,42         | 0,45                  | 0,45         | 0,45         | 0,45         |

Como já foi referido anteriormente e pode ser constatado pela tabela anterior, o edifício original apresentava elevados coeficientes de transmissão térmica tanto da envolvente opaca como envidraçada, o que veio confirmar após uma análise energética o seu fraco desempenho. Passando assim a ser necessário para prosseguir o estudo proposto, reduzir estes parâmetros

tornando-os no mínimo cumpridores do regulamento, a aplicação destas medidas de melhoria ou (correção) transformaram um edifício com classificação energética D em B-. A aplicação da 2ª metodologia tinha como base um ajuste de parâmetro respeitante aos vãos envidraçados por orientação, esperando numa redução das necessidades energéticas totais. Como pode ser observado, houve somente mudanças de uma etapa para outra ao nível dos envidraçados.

O desenvolvimento desta metodologia destina-se a projetos de grande intervenção (reabilitação), por forma a perceber se os parâmetros relacionados com os vidros não podem ser otimizados. É certo que o ajuste da área dos envidraçados numa etapa de reabilitação tem implicações arquitetónicas e económicas no ato de intervenção. Mas, se houver um benefício ambiental e o retorno de investimento se verificar, não é descabido pensar-se em uma reabilitação de fundo, crítica dos parâmetros dos envidraçados adotados e pensar se não poderão ser otimizados.

### 6.2.1 Otimização energética

A eficiência energética dos edifícios tem uma relação direta com os seus consumos, sempre que o edifício tenha um melhor desempenho térmico os consumos serão cada vez menores. Assim, por forma a contabilizar o somatório da redução energética das necessidades nominais anuais de aquecimento e arrefecimento ( $\text{kwh/m}^2 \cdot \text{ano}$ ), ocorridas após as várias fases de análise deste trabalho, aplicadas em particular a este caso prático de estudo, apresenta-se na, Figura 71, que compara consumos de energia entre:

- Consumo atual do edifício;
- Consumo após aplicação de medidas de melhoria (correção) na envolvente por forma a tornar o edifício regulamentar do ponto de vista da classificação energética;
- Consumo após aplicação da 2ª metodologia (conjugação da otimização das áreas dos vãos envidraçados, coeficiente de transmissão térmica e fator solar por orientação).

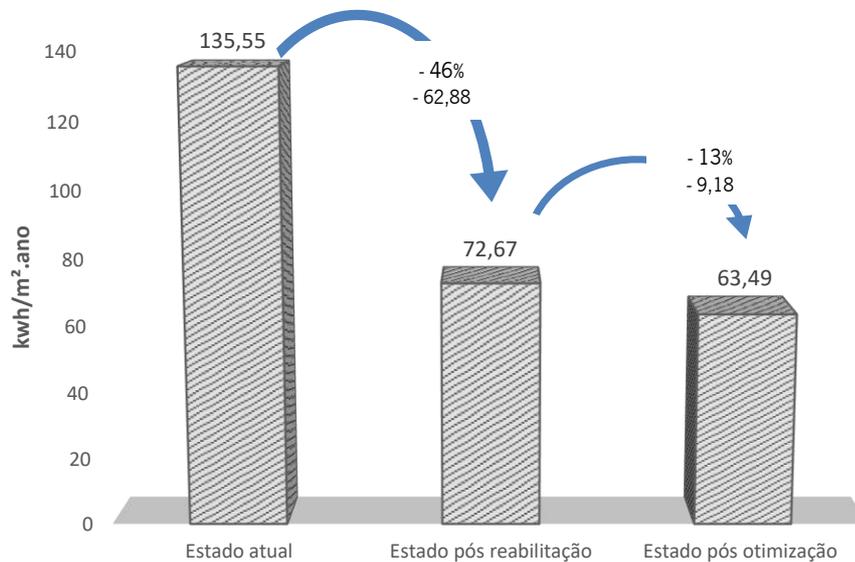


Figura 71 - Comparação do somatório dos consumos energéticos para efeitos de aquecimento e arrefecimento, entre os vários estados do edifício

A Figura 71, representa o somatório da redução energética das necessidades nominais anuais de aquecimento e arrefecimento (kwh/m<sup>2</sup>. ano) por cada metro quadrado, para cada estado do edifício tendo em conta todas as implementações introduzidas ao longo deste trabalho. Observa-se que existe uma redução de cerca de 46% nos consumos da passagem do estado original para o estado em que se implementaram medidas de melhoria (correção) ao nível da envolvente. Esta redução é justificada por uma diminuição dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e envidraçada e redução do fator solar dos envidraçados, conforme poderá ser consultado segundo a Tabela 29.

Constata-se ainda que é possível melhorar o comportamento energético do edifício em cerca de 13% relativamente ao estado (com medidas de melhoria (correção)) por ajuste e conjugação de parâmetros tais como: área, coeficiente de transmissão térmica e fatores solares do vidro por orientação. A justificação para esta redução deve-se a uma variação das áreas dos envidraçados de forma mais significativa a norte e a sul, passando a representar a sul 30% e norte 10 % da área da fachada. As fachadas este e oeste também carecem de um ligeiro aumento na área de envidraçado relativamente à fachada conforme pode ser constatado na Tabela 29. Verifica-se ainda relativamente aos envidraçados uma redução do coeficiente de transmissão térmica de 61% e um aumento do fator solar de 4%. Tais conjugações como o aumento da área de

envidraçados a sul, pequeno aumento a este e oeste e a redução a norte conjugadas com os parâmetros referentes aos vidro, pelo que se verifica implicar em um aumento da capacidade recetora dos ganhos solares, diminuindo as necessidades de aquecimento conforme pode ser constatados na Figura 66, é um facto que, se for feita uma análise às necessidades de aquecimento Figura 67, estas sofrem um aumento não significativo mas, que no global se torna necessário para o contributo de baixar as necessidades totais.

### 6.2.2 Análise do impacto ambiental (CO<sub>2</sub>)

Tendo em conta os dados observados no Subcapítulo anterior, referentes aos consumos de energia primária para a satisfação das necessidades nos vários estados do edifício, pressupõe-se que, por defeito, o regulamento use energias como a elétrica para suprir as necessidades de inverno usando aquecedores e verão o ar condicionado.

A energia final utilizada nos edifícios resulta na sua maioria da combustão de energias primárias de proveniência fóssil. O processo de produção da energia elétrica é um processo também poluidor e apresenta um elevado impacto ambiental devido aos gases poluentes libertados para a atmosfera. Para poder quantificar as quantidades de (kgCO<sub>2</sub>) libertadas para a atmosfera pelo uso destas quantidades de energia, teve-se em conta o (Despacho nº 15793D, 2013) que atribui fatores de conversão de energia primária para emissões de CO<sub>2</sub>. No que respeita à energia elétrica esta emite 0,144 (kgCO<sub>2</sub>/kWh)

As quantidades de (kgCO<sub>2</sub>) emitidas para a atmosfera tem uma relação direta com o tipo de energia e as quantidades usadas, apresentando-se assim através da Figura 72, as quantidades de (kgCO<sub>2</sub>) emitidas ao longo de um ano. Estas quantidades foram obtidas recorrendo a fatores de conversão e quantidades de energia já referenciados nos vários estados do edifício.

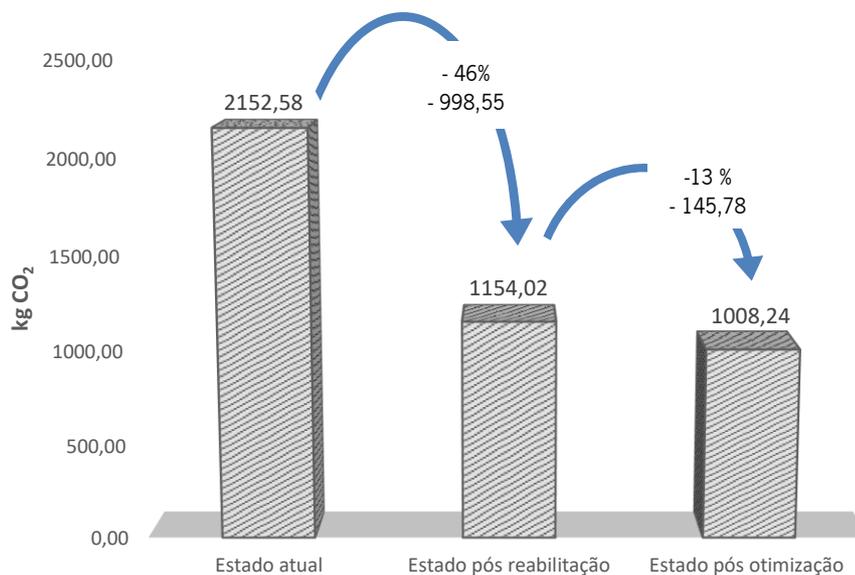


Figura 72 - Comparativo de emissões de (kgCO<sub>2</sub>) em energia para a efeitos de aquecimento e arrefecimento entre os vários estados do edifício

Por observação da Figura 72, é possível evidenciar uma redução acentuada nos níveis de produção de CO<sub>2</sub>, cerca de (- 998,55 (kgCO<sub>2</sub>)) por ano, com a aplicação de medidas de melhoria (correção) ao nível da envolvente, paredes, envidraçados, pavimento e cobertura, conforme explicado no Subcapítulo 3.2.

Verifica-se também uma redução de (- 145,78 (kgCO<sub>2</sub>)), devido à otimização ou ajuste da área, do coeficiente de transmissão térmica e ao fator solar dos vãos envidraçados por orientação.

### 6.2.3 Análise do impacto económico

Os vários níveis de eficiência energética dos edifícios traduzem-se em custos associados à necessidade de usar determinadas quantidades de energia para satisfazer as necessidades de conforto dos ocupantes dos edifícios. Referenciando as quantidades de energia necessárias para cada estado do edifício, Figura 71, são apresentados através da Figura 73, os custos anuais com energia elétrica para atingir o conforto dos ocupantes. Foi estimado um custo de referência, comum a pagar na zona de implantação do edifício em cerca de 0,17 €/kWh.

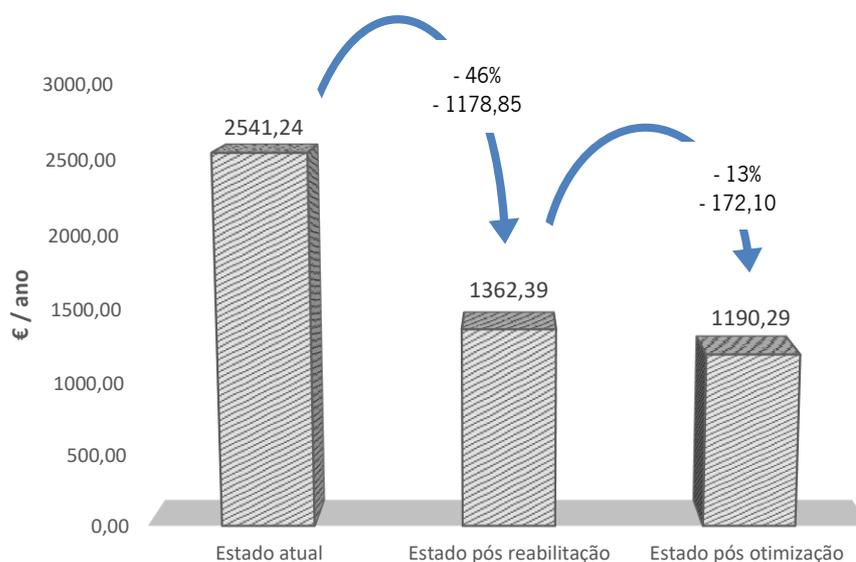


Figura 73 - Comparação de custos com energia para a efeitos de aquecimento e arrefecimento entre os vários estados do edifício

Verifica-se, pelos valores representados no gráfico da Figura 73, que o edifício no seu estado original apresenta consumos energéticos elevados o que justificam a sua classificação energética D. Quando o edifício se torna alvo de medidas de melhoria (correção) automaticamente, torna-se menos consumidor de energia e conseqüentemente mais económico na sua fase de utilização em cerca de 46% comparativamente com o edifício original. Relativamente ao ajuste dos parâmetros dos envidraçados estes vem apresentar uma redução relativamente ao anterior estado em 13% o que é ainda considerável. Este decréscimo percentual deve-se somente ao ajuste dos referidos parâmetros pois todo o resto se manteve constante, isto traduz-se em uma poupança de 172,10€ anuais para efeitos de aquecimento e arrefecimento do ambiente.

A aplicação de medidas de melhoria e posterior simulação com o ajuste dos parâmetros referentes aos envidraçados indicam uma redução dos custos com a energia para a obtenção do conforto, mas não deve ser entendido como um fator decisor, deve ser feita uma análise do investimento ao longo do período de vida útil para o edifício após intervenção, o que para este caso de estudo foi considerado 25 anos.

Após elaborar orçamentos com previsão dos custos de investimento e quantificar a poupança energética com a aplicação das já referidas medidas, determinou-se o período de retorno do investimento para cada estado do edifício.

A previsão de custos de investimento foi determinada a partir de um gerador de preços (CIP), tendo em conta todas as tarefas e custos materiais, bem como custos associados à manutenção. Pode ser observado através da Tabela 30, que por vezes um superior investimento inicial não significa má escolha, pois este é superado pela poupança energética atingindo um período de retorno inferior.

Tabela 30 - Análise de investimento

| Estado do edifício      | Custo de investimento (€) | Poupança energética (€/Ano) | Período retorno do investimento (Anos) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Estado pós reabilitação | 14907,59                  | 1178,85                     | 12,65                                  |
| Estado pós otimização   | 17008,02                  | 1350,95                     | 12,59                                  |

A Figura 74, representa o acumular em termos económicos de cada estado do edifício. São comparados por ano os custos acumulados com investimentos iniciais e custos energéticos do edifício. Observa-se que o edifício no seu estado atual não apresenta investimento inicial, mas este tem consumos energéticos consideráveis, o que o torna menos interessante do ponto de vista da opção considerando o tempo de vida útil. No caso da implementação de medidas de melhoria por forma a tornar o edifício regulamentar, este apresenta um investimento inicial intermédio, mas o seu benefício energético não é o melhor, pois pode verificar-se que por um investimento ligeiramente superior pode-se obter retornos energéticos superiores compensando ao fim do tempo de vida útil o investimento inicial em medidas de melhoria ao nível do ajuste dos parâmetros referidos constantes da aplicação da 2ª análise.

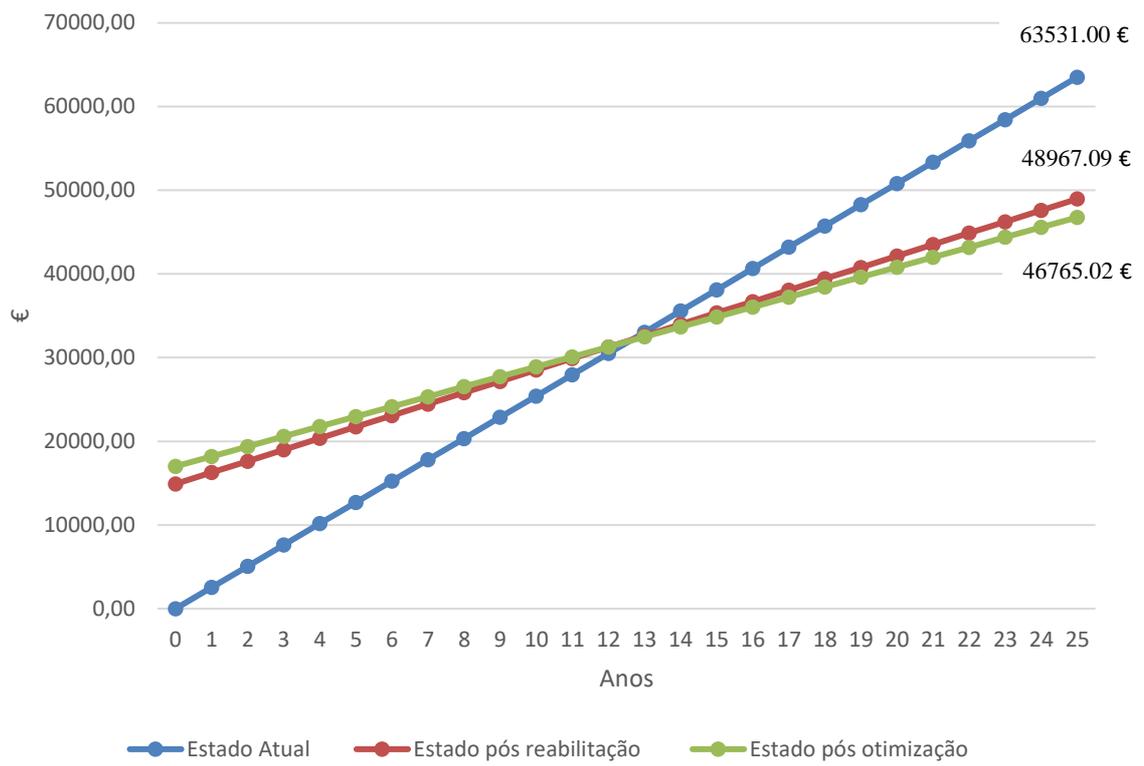


Figura 74 - Custos acumulados, custo inicial de investimento e anual energético por estado do edifício



## 7. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

### 7.1 Conclusões

O presente trabalho de dissertação intervém no quadro da conclusão do mestrado integrado em Engenharia Civil e foca um estudo que pretende agregar o conjunto de saberes e metodologias inerentes à formação adquirida. Este teve como objetivo principal o estudo de medidas de melhoria a implementar na envolvente de edifícios no ato da sua reabilitação. As medidas de melhoria propostas referem-se a ajustes nos parâmetros dos vãos envidraçados e tem como finalidade expor de que forma a sua implementação pode contribuir favoravelmente para o desempenho energético dos edifícios.

Foi inicialmente feita uma revisão de bibliografia de forma a estabelecer o estado da arte no que ao âmbito do trabalho diz respeito. Esta permitiu perceber e estabelecer de que modo estão relacionados temas como o desenvolvimento sustentável e estado do edificado. Compreende-se assim as razões que sustentam as preocupações com o edificado não adaptado aos critérios de conforto dos seus ocupantes ou ainda a edifícios devolutos e passíveis de reabilitação. A sua reestruturação e reabilitação adequada irá permitir um contributo muito significativo para o comportamento energético, o impacto ambiental e económico das famílias.

A caracterização do parque habitacional e a identificação do seu consumo energético permitiu interpretar as principais anomalias justificativas de elevados consumos de energia destinados à climatização dos espaços. O problema do excessivo consumo energético aliado ao problema do aquecimento global levou a que se tentasse adotar um método que aplicado a um projeto de melhoria da eficiência energética já concluído, permitisse uma melhoria das medidas inicialmente tomadas referentes aos vãos envidraçados por meio do ajuste dos parâmetros área, coeficiente de transmissão térmica e fator solar. Verifica-se na validação do método utilizado, uma redução incidente importante nos consumos energéticos, e consequentemente com impacto em termos ambientais e económicos.

Para atingir estes objetivos, inicialmente por meio da aplicação de uma 1ª análise, pretendia-se interpretar o comportamento dos índices energéticos. Posteriormente, por aplicação da 2ª

análise pretendia-se interpretar e demonstrar a partir do comportamento dos índices energéticos que é possível melhorar o comportamento térmico do edifício por meio do ajuste da área, do coeficiente de transmissão e do fator solar dos vãos envidraçados.

Como caso prático de estudo, foi selecionado um edifício habitacional unifamiliar com construção na década de 80. Este foi selecionado pelo facto de apresentar um elevado potencial de melhoria através de um processo de reabilitação e ser representativo de uma parte considerável do parque habitacional Português. Este passou por várias fases de estudo:

Inicialmente, elaborou-se um levantamento tanto dimensional como de todas as características dos materiais envolvidos na sua construção. Com recurso ao uso da ferramenta de cálculo disponibilizada pelo IteCons caracterizou-se o edifício como um edifício ineficiente do ponto de vista térmico (Classificação energética D).

Posteriormente, foram propostas medidas de melhoria ao nível da envolvente opaca e envidraçada por forma a verificar que a sua implementação conduziria a um aumento da eficiência energética tornando-o um edifício regulamentar energeticamente. Esta tarefa representa o que na maioria dos casos é implementado de forma a obter um aumento da eficiência energética, sem realmente colocar a problemática da otimização.

Após a aplicação de medidas de melhoria ao nível da envolvente e classificação energética regulamentar foram introduzidas as análises referidas anteriormente com o objetivo de interpretar melhorias ao nível dos índices por meio da sua aplicação. Esta aplicação tem como base o ajuste de áreas, coeficientes de transmissão térmica e fatores solares dos vãos envidraçados, aproveitando energias solares passivas como fonte para minimizar os índices energéticos de aquecimento e arrefecimento.

Analisando as várias fases do caso de estudo conclui-se que:

- Edifícios que apresentem uma envolvente que não cumpra requisitos térmicos mínimos, terão associados elevados consumos energéticos em especial na estação de aquecimento devido às perdas de energia pela envolvente. Na estação de arrefecimento poderão ser mínimos os consumos, devido à média das temperaturas exteriores ser inferior à interior, sendo favorável o fluxo de calor. Aplicação de medidas de melhoria na envolvente dos

edifícios não regulamentares energeticamente, por forma a que seja garantido o cumprimento de parâmetros de transmissão térmica implica uma redução significativa das necessidades de aquecimento e um ligeiro agravamento das necessidades de arrefecimento;

- Concluiu-se, que com os valores adotados de caracterização térmica para a aplicação de medidas de melhoria, implica que por meio de uma variação (incremento) da área dos vãos envidraçados com a orientação norte, seja verificado um comportamento dos índices energéticos, em particular as necessidades de aquecimento, algo que é contraditório ao defendido por vários autores;
- Identificou-se como possivelmente desajustado o valor 0,27, adotado pelo regulamento térmico para o fator de orientação. Após várias simulações identifica-se uma necessária redução do valor para 0,23; mais adequado para ir de encontro a que um incremento de área de envidraçado com a orientação norte conduza a um aumento das necessidades de aquecimento (como defendido por vários autores);
- Por aplicação da segunda análise, verifica-se possível uma considerável otimização dos consumos energético por meio do ajuste da área, do coeficiente de transmissão térmica e fator solar dos vãos envidraçados;
- A opção de reabilitar o edifício tendo em conta a metodologia proposta na segunda análise, conduz a um custo inicial superior, maior investimento, mas que a curto prazo é recuperado pelo nível da poupança energética anual. É de considerar ainda o fator ambiental pois esta opção seria 13% menos poluente que a opção de reabilitar o edificado considerando ótimas as medidas de melhoria.

Assim, este estudo vem reforçar a ideia de que o caminho da sustentabilidade e do aumento da eficiência energética do edificado Português passa por atribuir uma responsabilidade extra aos intervenientes e decisores em projetos de reabilitação. O parque habitacional depois de uma reabilitação cuidada e consciente poderá contribuir para uma poupança de energia, e tornará o

país menos dependente energeticamente. Acredita-se assim que os objetivos podem contribuir favoravelmente para o alcance das metas impostas pela União Europeia. Importa ainda ressaltar que as análises descritas podem ser aplicadas a qualquer caso pratico, mesmo se os valores considerados neste trabalho dizem respeito ao estudo de um edifício em particular.

## 7.2 Desenvolvimentos futuros

Procura-se ao investigar um problema, compreende-lo, e apresentar medidas para que possa ser compreendido e minimizado. A eficiência térmica dos edifícios é um assunto de relevância nos dias de hoje, e este trabalho de dissertação apresentado pretende contribuir para o seu melhoramento.

Sendo a área da eficiência térmica dos edifícios vasta, entende-se que seria interessante desenvolver em trabalhos futuros os seguintes pontos:

- Análise dos índices energéticos, por meio de variações da área dos vãos envidraçados conjugadas com a variação do coeficiente de transmissão térmica do vidro;
- Análise dos índices energéticos, por meio de variações da área dos vãos envidraçados conjugadas com a variação do fator solar do vidro;
- Analisar a influência da variação do fator solar na quantificação dos ganhos solares;
- Ajuste do processo da 2ª análise por forma a diminuir os tempos de simulação e aumentar o número de combinações possíveis a introduzir.

Por outro lado, o conjunto de simulações realizadas ficou condicionado pelo facto de se ter de considerar um número restrito de cenários simulados. Tal se deve a um crescimento exponencial das combinações de parâmetros que caracterizam cada cenário. Assim, em colaboração com as entidades responsáveis pela manutenção e atualização da ferramenta do ITeCons, o estudo poderia vir a ser refinado de forma simplificar o conjunto de iterações necessárias ao processo de otimização.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Adene. (2016). *Isolamento de Paredes*. Obtido de <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-01-isol-paredes-1.pdf>
- Adene. (2016). *Janelas Eficientes*. Obtido de [https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-03\\_janelas-efic-1.pdf](https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-03_janelas-efic-1.pdf)
- Adene. (2016). *Proteções Solares*. Obtido de <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-04-prot-solares-1.pdf>
- Agopyan, V., & John, V. M. (2011). *O desafio da sustentabilidade na construção civil*. São Paulo: Blucher.
- Appleton, J. (2014). Reabilitação de Edifícios: princípios e práticas. *Jornadas da Especialização em Direção e Gestão da Construção*. Lisboa, Portugal: Ordem dos Engenheiros .
- Arana, A. R. (2016). *Política ambiental integrada*. Curitiba, Brasil: Appris Editora e Livraria Eireli.
- Barbosa, G. S. (2008). O Desafio do desenvolvimento sustentável. *Revista Visões 4ª Edição*, 11.
- Camelo, S., Santos, C. P., Ramalho, Á., Horta, C., Gonçalves, H., & Maldonado, E. (2006). *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Lisboa, Portugal: INETI.
- Campanhoni, A., & Romero, M. B. (2010). Influencia da orientação no desempenho dos edificios em agua claras ., (p. 10).
- Cóias, V. (2007). Reabilitação: a melhor via para a construção sustentável. 23.
- Comini, R., Clement, F., Puente, F., Orlandi, A., Oliveira, I., Lima, P., & Beirão, D. (2008). *Eficiencia energética nos edificios residenciais*. Lisboa, Portugal.
- DGEG, D. G. (2015). *Energia em Portugal*. Lisboa, Portugal.
- DGEG, D. G. (2017). *Produção e consumo de energia* . Lisboa, Portugal.
- Edificações, C. d. (18 de 10 de 2018). Obtido de <http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>
- Estrangeiros, M. d. (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, por ocasião da Apresentação Nacional Voluntária no Fórum Político de Alto Nível das Nações Unidas*. PORTUGAL. NOVA IORQUE.
- Europeia, C. (12 de 2012). *Comissão Europeia-Europa 2020*. Obtido de <https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy->

coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy\_pt

Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (1987). *Manual do conforto térmico*. São Paulo, Brasil: Studio Nobel.

Geologia, Direção-Geral de Energia. (06 de 09 de 2018). Eficiência Energética-Edifícios.

Gomes, M. M., Pires, V. A., & Moura, R. O. (2015). *Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Gonçalves, J. C., & Bode, K. (2015). *Edifício Ambiental*. São Paulo, Brasil: Oficina de textos .

INE. (2011). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. Lisboa; Portugal: Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010.

INE. (2013). *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação*. Lisboa, Portugal.

INE. (2016). *Estatísticas da Construção e Habitação 2016*. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I. P.

INE. (2018). *Estatísticas da Construção e Habitação 2017*.

Karpinsk, L. A., Pandolfo, A., Reinehr, R., Kurek, J., Pandolfo, L., & Guimarães, J. (2009). *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil*. Porto Alegre : Edipucrs.

LNEC, L. N. (2010). *Sustentabilidade Ambiental da Habitação*. Lisboa, Portugal: I&D EDIFÍCIOS.

Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista á sustentabilidade da coantrução*. Guimarães, Portugal.

Moita, F. (1985). *Energia solar passiva*. Lisboa, Portugal: Imprensa nacional - casa da moeda.

Oliveira, C., & Pinto, A. R. (2011). Características de sustentabilidade de materiais de construção renováveis . *Revista Arquitectura Lusíada*, pp. 63 - 75.

Portugal, G. d. (2014). *Estratégia Europa 2020, Ponto de Situação das Metas em Portugal*. Lisboa, Portugal.

Romeiro, A. R. (2012). Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva económico-ecológica. *estudos avançados*, (pp. 65-92).

Sachs, J. D. (2017). *A Era do Desenvolvimento Sustentável*. Lisboa, Portugal: Conjuntura Atual Editora .

Silva, B. A. (2003). *Contabilidade e meio ambiente: considerações teóricas e práticas sobre o controle dos gastos ambientais*. São Paulo, Brasil: Annablume.

Tavares, M. C. (2012). *Sistemas Solares Passivos na Arquitectura em Portugal, Os Envidraçados nos Edifícios Residenciais em Lisboa*. Lisboa, Portugal: UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, Faculdade de Arquitectura.

- Teixeira, A. P. (1984). *Energia solar passiva* . Lisboa, Portugal: Platano Editora .
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos materiais de construção* . Portugal: TecMinho.
- Urbana, I. I. (2015). *Estratégia Nacional para a Habitação, Desafios e Mudanças* . Lisboa, Portugal.
- WBCSD, E. E. (2009). *Realidades empresariais e oportunidades*. Lisboa, Portugal.



## ANEXO I – PARÂMETROS CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA (ESTADO ATUAL)

### Coefficiente transmissão térmica U

| Coefficiente transmissão térmica U, Parede exterior - PDE 1 |               |                                                           |                             |                            |                          |                          |                                                       |
|-------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Materiais                                                   | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
| Reboco estanhado                                            | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |
| Tijolo vazado                                               | 0,15          | catálogo                                                  |                             |                            | 0,39                     |                          |                                                       |
| Caixa de ar                                                 | 0,03          | 0,00, ITE 50                                              | 0,04                        | 0,13                       | 0,00                     | 1,17                     | Não verifica                                          |
| Tijolo vazado                                               | 0,11          | catálogo.                                                 |                             |                            | 0,27                     |                          |                                                       |
| Reboco de cimento                                           | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |

| Coefficiente transmissão térmica U, Parede exterior - PDE 2 |               |                                                           |                             |                            |                          |                          |                                                       |
|-------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Materiais                                                   | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
| Azulejo cerâmico                                            | 0,01          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |
| Reboco estanhado                                            | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |
| Tijolo vazado                                               | 0,15          | catálogo                                                  |                             |                            | 0,39                     |                          |                                                       |
| Caixa de ar                                                 | 0,03          | 0,00, ITE 50                                              | 0,04                        | 0,13                       | 0,00                     | 1,16                     | Não verifica                                          |
| Tijolo vazado                                               | 0,11          | catálogo                                                  |                             |                            | 0,27                     |                          |                                                       |
| Reboco de cimento                                           | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |

| Coefficiente transmissão térmica U, Portas exteriores |               |                                                           |                             |                            |                          |                          |                                                       |
|-------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Materiais                                             | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
| Madeira densa                                         | 0,03          | 0,23, ITE 50                                              | 0,04                        | 0,13                       | 0,13                     | 5,88                     | Não verifica                                          |

### Coeficiente transmissão térmica U, Vãos envidraçados

| Material      | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
|---------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Vidro simples | 0,004         | Catálogo                                                  | 0,04                        | 0,13                       | Catálogo                 | 5,88                     | Não verifica                                          |

### Coeficiente transmissão térmica U, Parede interior - PDI 1

| Material         | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
|------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Reboco estanhado | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |
| Tijolo vazado    | 0,15          | catálogo                                                  | 0,04                        | 0,13                       | 0,27                     | 2,16                     | Não verifica                                          |
| Reboco estanhado | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |

### Coeficiente transmissão térmica U, Ponte térmica plana - PTPPDE 1

| Material          | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
|-------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Reboco estanhado  | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |
| Pilar betão       | 0,25          | 2,00, ITE 50                                              | 0,04                        | 0,13                       | 0,13                     | 3,14                     | Não verifica                                          |
| Reboco de cimento | 0,02          | 1,30, ITE 50                                              |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |

### Coeficiente transmissão térmica U, Pavimento interior - PVI 1

| Material             | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica $\lambda$ (W/m.°C) | R se (m <sup>2</sup> .°C/W) | Rsi (m <sup>2</sup> .°C/W) | R (m <sup>2</sup> .°C/W) | U (W/m <sup>2</sup> .°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
|----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Azulejo cerâmico     | 0,010         | 0,34 ITE 50                                               |                             |                            | 0,03                     |                          |                                                       |
| Argamassa de cimento | 0,06          | 1,30 ITE 50                                               |                             |                            | 0,05                     |                          |                                                       |
| Laje aligeirada      | 0,170         | ITE 50                                                    | 0,04                        | 0,17                       | 2,03                     | 0,43                     | Não verifica                                          |
| Reboco estanhado     | 0,015         | 1,30 ITE 50                                               |                             |                            | 0,01                     |                          |                                                       |

| Coeficiente transmissão térmica U, Cobertura interior - CBI 1 |               |                                                 |                |               |             |             |                                                       |
|---------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| Materiais                                                     | Espessura (m) | Coeficiente de condutibilidade térmica (W/m.°C) | R se (m2.°C/W) | Rsi (m2.°C/W) | R (m2.°C/W) | U (W/m2.°C) | U <sub>max</sub> Tabela I.05B Portaria n.º 379-A/2015 |
| Argamassa de cimento                                          | 0,04          | 1,30 ITE 50                                     |                |               | 0,03        |             |                                                       |
| Laje aligeirada                                               | 0,170         | ITE 50                                          | 0,04           | 0,10          | 2,50        | 0,37        | Não verifica                                          |
| Reboco estanhado 1,5 cm                                       | 0,015         | 1,30 ITE 50                                     |                |               | 0,01        |             |                                                       |

### Coeficiente transmissão térmica ponte linear $\psi$

| Ponte térmica linear $\psi$               |                 |                                    |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Tipo de ligação entre os elementos        | Comprimento (m) | Calculado de acordo com            |
| Fachada com o exterior ou ENU             | 48,27           | Tabela 07 Despacho nº 15793K, 2013 |
| Fachada com cobertura                     | 48,27           |                                    |
| Duas paredes verticais em angulo saliente | 8,34            |                                    |
| Fachada com caixilharia                   | 72,92           |                                    |

**Inercia térmica  $I_t$** 
**EL1 - Elementos da envolvente exterior**
**Paredes exteriores**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi    | r    | A*Msi*r  |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------|------|----------|
| PDE1                          | 18,88                  | 124,42                           | 124,42 | 1,00 | 2349,05  |
| PDE2                          | 13,82                  | 144,12                           | 144,12 | 1,00 | 1991,74  |
| PTPPDE1                       | 1,40                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 210,00   |
| PTPPDE1                       | 1,40                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 210,00   |
| PDE1                          | 19,75                  | 124,42                           | 124,42 | 1,00 | 2457,30  |
| PDE2                          | 4,57                   | 144,12                           | 144,12 | 1,00 | 658,63   |
| PTPPDE1                       | 1,26                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 189,00   |
| PTPPDE1                       | 0,63                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 94,50    |
| PDE1                          | 2,05                   | 124,42                           | 124,42 | 1,00 | 254,44   |
| PDE2                          | 5,52                   | 144,12                           | 144,12 | 1,00 | 794,82   |
| PTPPDE1                       | 0,63                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 94,50    |
| PDE1                          | 1,83                   | 124,42                           | 124,42 | 1,00 | 227,69   |
| PDE2                          | 17,39                  | 144,12                           | 144,12 | 1,00 | 2506,25  |
| PTPPDE1                       | 1,26                   | 214,75                           | 150,00 | 1,00 | 189,00   |
|                               |                        |                                  | 0,00   |      |          |
| TOTAL                         |                        |                                  |        |      | 12226,91 |

**Pavimentos exteriores**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|---|---------|
|                               |                        |                                  | 0,00 |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |   | 0,00    |

**Coberturas exteriores**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|---|---------|
|                               |                        |                                  | 0,00 |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |   | 0,00    |

**EL1 - Elementos da envolvente interior**
**Paredes em contacto com espaços não úteis**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r    | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|------|---------|
| PDI1                          | 9,26                   | 2,50                             | 2,50 | 1,00 | 23,15   |
| PDI1                          | 1,08                   | 2,50                             | 2,50 | 1,00 | 2,70    |
| VOI1                          | 1,60                   | 2,50                             | 2,50 | 1,00 | 4,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |      |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |      | 29,85   |

**Paredes em contacto com edifícios adjacentes**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|---|---------|
|                               |                        |                                  | 0,00 |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |   | 0,00    |

**Pavimentos sobre espaços não úteis**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi    | r    | A*Msi*r  |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------|------|----------|
| PVII                          | 3,51                   | 413,00                           | 150,00 | 1,00 | 526,50   |
| PVII                          | 17,84                  | 413,00                           | 150,00 | 1,00 | 2676,00  |
| PVII                          | 10,05                  | 413,00                           | 150,00 | 1,00 | 1507,50  |
| PVII                          | 38,02                  | 413,00                           | 150,00 | 1,00 | 5703,00  |
| PVII                          | 34,32                  | 413,00                           | 150,00 | 1,00 | 5148,00  |
|                               |                        |                                  | 0,00   |      |          |
| TOTAL                         |                        |                                  |        |      | 15561,00 |

**Coberturas interiores (sob espaços não úteis)**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi    | r    | A*Msi*r  |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------|------|----------|
| CBI1                          | 154,89                 | 394,00                           | 150,00 | 0,50 | 11616,75 |
|                               |                        |                                  | 0,00   |      |          |
| TOTAL                         |                        |                                  |        |      | 11616,75 |

**EL1 - Elementos em contacto com outra fracção autónoma**
**Paredes em contacto com outra fracção autónoma**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|---|---------|
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |   | 0,00    |

**Pavimentos em contacto com outra fracção autónoma**

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi  | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|------|---|---------|
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  | 0,00 |   | 0,00    |
| TOTAL                         |                        |                                  |      |   | 0,00    |

EL2 - Elementos da envolvente em contacto com o solo

Paredes enterradas

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----|---|---------|
|                               |                        |                                  |     |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |     |   | 0,00    |

Pavimentos enterrados

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----|---|---------|
|                               |                        |                                  |     |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |     |   | 0,00    |

Pavimentos térreos

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----|---|---------|
|                               |                        |                                  |     |   |         |
| TOTAL                         |                        |                                  |     |   | 0,00    |

EL3 - Elementos de compartimentação

Paredes de compartimentação

| Designação do tipo de solução | Área (m <sup>2</sup> ) | Massa total (kg/m <sup>2</sup> ) | Msi | r | A*Msi*r |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----|---|---------|
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
|                               |                        |                                  |     |   | 0,00    |
| TOTAL                         |                        |                                  |     |   | 0,00    |



