

PROJECTO DE COMPORTAMENTO TÉRMICO

Estudo sobre optimização da espessura de isolamento térmico da parte opaca de forma a minimizar o custo global (investimento inicial e custo de exploração)

PEDRO MIGUEL TEIXEIRA PINTO

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

FEVEREIRO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

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

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

AGRADECIMENTOS

Embora o presente documento seja apresentado como o resultado de um trabalho individual, é na verdade, o corolário resultante de um conjunto de ensinamentos que o autor foi adquirindo no decorrer do seu processo de aprendizagem. Nesse sentido, todo o trabalho de formação, de construção de conhecimentos, assim como a obtenção dos objectivos propostos, não seriam possíveis sem o apoio e incentivo de várias pessoas.

Deste modo, fica o meu mais sincero agradecimento:

Ao Prof. Doutor Vasco Peixoto de Freitas, por toda a disponibilidade demonstrada, úteis esclarecimentos e conhecimentos transmitidos, e ainda pela insuperável paciência para todas as dúvidas suscitadas;

Ao Eng. Manuel Aroso da Aroso & Associados, pela tolerância e disponibilidade demonstradas, durante o período de realização deste trabalho;

Aos meus colegas da cadeira de Projecto, pela partilha de conhecimentos e pelo agradável convívio que proporcionaram;

A todos os meus amigos, que directa ou indirectamente contribuíram para a finalização deste trabalho;

À Filipa, pela compreensão, entusiasmo e carinho com que sempre incentivou a realização deste trabalho;

À minha irmã Patrícia, pelo apoio incondicional, carinho e amizade.

Aos meus pais, pelo apoio constante, em todos os sentidos, para a concretização e conclusão deste trabalho;

A todos que atrás foram mencionados, e a todos aqueles que de alguma forma ajudaram à realização deste estudo, e que por um imperdoável esquecimento não foram aqui referidos, o mais profundo obrigado.

RESUMO

O crescente custo da energia e a escassez dos combustíveis fósseis, impõem a concepção de edifícios energeticamente eficientes, pois estes são responsáveis por uma parcela considerável das necessidades energéticas totais dos países mais desenvolvidos. Nesse contexto, tornou-se necessária uma adaptação dos diplomas regulamentares, às novas exigências no campo do desempenho energético dos edifícios.

No que se refere ao desempenho energético dos edifícios, a envolvente opaca representa um papel fundamental nas condições de durabilidade e conforto das habitações.

Como os isolantes térmicos são os materiais que mais contribuem para a resistência térmica da envolvente opaca exterior, é fundamental avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista económico, de acordo com o horizonte temporal definido, sendo para isso necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais com os custos de exploração.

Foi então realizado um estudo técnico económico, a partir de dados constantes de 41 fracções autónomas, que assim constituíram a base de dados deste trabalho. Esse estudo consistiu numa primeira fase, em simulações da alteração do nível de qualidade térmica da envolvente opaca das diferentes fracções autónomas, de acordo com 4 níveis exigenciais (N1 a N4), tendo em conta 3 tipos diferentes de isolantes térmicos e 5 soluções construtivas. Posteriormente analisou-se a viabilidade económica destas alterações, nomeadamente os períodos de retorno dos respectivos investimentos iniciais, para numa fase final tecerem-se as devidas conclusões.

Com o objectivo de promover igualmente um melhor desempenho energético dos edifícios, a instalação de colectores solares para produção de água quente sanitária ao abrigo do novo RCCTE, tornou-se obrigatória (com excepções), com o intuito de favorecer a penetração de sistemas de que recorram a energias renováveis, em detrimento do recurso às energias convencionais.

Assim este documento, contém adicionalmente uma reflexão sobre o período de retorno do investimento, na aplicação dum equipamento solar térmico tipo numa habitação unifamiliar convencional, onde se fez variar a localização geográfica e as energias convencionais substituídas, para assim se poder concluir, quais as situações mais ou menos vantajosas.

PALAVRAS-CHAVE: térmica, eficiência energética, isolamento, colectores solares.

ABSTRACT

The growing cost of energy and scarcity of fossils fuels, impose the conception of energetically efficient buildings, since these, are responsible for a considerable amount of the total energetic necessities of most developed countries. In this context, it has become necessary to adapt the regulations, to the new requirements in the field of building's energetic performance.

Regarding to the building's energetic performance, the opaque involving represents a key role, in terms of durability and comfort of the dwellings.

Since the thermal insulating materials, are those who contribute more to the thermal resistance of constructive elements, it's fundamental to evaluate the most advantageous thickness of the insulating material from an economic point of view, according to the timeframe set. In order to do so, it's necessary to assess the overall associated cost, which results from the composition of the initial costs with the costs of exploration.

A technical-economic study was then fulfilled, considering data from 41 autonomous fractions, which formed the database of this work. This study consisted initially, in simulations of the alteration of the thermal quality level of the involving opaque, in accordance with 4 levels (from N1 to N4), taking into account 3 different types of thermal insulating materials and 5 constructive solutions. Subsequently the economical viability of these changes was analysed, namely the return periods of the respective initial investments, for achieving the proper conclusions in a final phase.

In order to also promote better building's energy performances, the installation of solar collectors for production of hot sanitary water, became mandatory (with exceptions), directly under the new RCCTE, with the intention of favoring the penetration of systems that use renewable energies, rather than, the use of conventional energy.

So this document additionally contains a reflection on the return period of an investment in the implementation of thermal solar equipment in a conventional type house. This reflection includes the variation of the geographical location, as well as the conventional energies substituted, in order to be possible to conclude, which situations are more or less advantageous.

KEYWORDS: thermal, energy efficiency, insulation, solar collectors.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. EVOLUÇÃO LEGISLATIVA	2
1.3. OBJECTIVOS.....	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS QUE CONSTITUEM A ENVOLVENTE OPACA DOS EDIFÍCIOS	5
2.1.1. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA	5
2.1.1.1. Valores declarados.....	6
2.1.1.2. Valores medidos experimentalmente.....	6
2.1.2. RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	11
2.1.2.1. Resistência Térmica Total.....	11
2.1.2.2. Resistência térmica de um elemento construtivo constituído por camadas heterogéneas.....	12
2.1.3. COMPARAÇÃO DOS COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U DEFINIDOS NA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA COM OS DEFINIDOS NA LEGISLAÇÃO ESPANHOLA	14
2.1.3.1. Introdução	14
2.1.3.2. Zonas Climáticas.....	14
2.1.3.3. Verificação do Regulamento	15
2.1.3.4. Coeficientes de Transmissão Térmica Máximos Admissíveis e de Referência	15
2.1.4. IMPORTÂNCIA DO POTENCIAL SOBREAQUECIMENTO DERIVADO DO AUMENTO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO TÉRMICO.....	16
2.2. COLECTORES SOLARES.....	18
2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA EM PORTUGAL	18
2.2.2. CONSTITUIÇÃO DUM SISTEMA SOLAR TÉRMICO	20
2.2.3. NORMAS APLICÁVEIS	23
2.2.4. INTEGRAÇÃO EM EDIFÍCIOS	24
2.2.5. CERTIFICAÇÃO E GARANTIAS	24

3. BASE DE DADOS	25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	25
3.2. PARÂMETROS DE REFERÊNCIA	26
4. ESTUDO DE SENSIBILIDADE	27
4.1. OBJECTIVOS	27
4.1.1. ANÁLISE DO CUSTO GLOBAL.....	27
4.1.1.1. Custo Global, C_g	28
4.1.1.2. Custo Inicial, C_0	28
4.1.1.3. Custo de Exploração, C_{EXP}	29
4.1.1.4. Coeficiente de Transmissão Térmica (U).....	30
4.1.1.5. Custo da Energia	31
4.2. ESTUDO TÉCNICO-ECONÓMICO DO AUMENTO DA ESPESSURA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLVENTE OPACA	33
4.2.1. PRINCÍPIO.....	33
4.2.2. CUSTO INICIAL	36
4.2.2.1. Custo dos Isolamentos Térmicos	37
4.2.2.2. Custo do Contorno do Vão	41
4.2.2.3. Custo da Perda de Área Habitável	41
4.2.3. CUSTO DE EXPLORAÇÃO	42
4.2.4. CUSTO GLOBAL	47
4.3. COLECTORES SOLARES	54
4.3.1. INTRODUÇÃO	54
4.3.2. PROGRAMA SOLTERM	54
4.3.3. CONSIDERAÇÕES EFECTUADAS	55
4.3.4. ESTUDO TÉCNICO ECONÓMICO.....	56
4.3.4.1. Análise Energética.....	57
4.3.4.2. Análise Económica	58
4.3.4.3. Benefícios Ambientais	63
5. CONCLUSÕES	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Desagregação dos consumos finais de energia em Portugal	1
Fig.1.2 – Desagregação dos consumos de energia eléctrica em Portugal.....	2
Fig.1.3 – Desagregação da oferta da energia no sector residencial no Concelho do Porto	2
Fig.2.1 – HOLOMETRIX GHP-300 do LFC.....	7
Fig.2.2 – Configuração ‘single-specimen symmetrical’.....	8
Fig.2.3 – Configuração esquemática da ‘guarded hot box’	9
Fig.2.4 – Secções e camadas de um elemento termicamente heterogéneo	12
Fig.2.5 – Zonas Climáticas de Inverno em Espanha	14
Fig.2.6 – Percentagem de horas com desconforto, no Verão, para uma habitação situada em Évora, com ventilação mínima, em função de variados níveis de isolamento da envolvente e factores solares dos envidraçados	17
Fig.2.7 – Mapas da radiação solar incidente no plano horizontal na Europa.....	18
Fig.2.8 – Mapas da radiação solar em Portugal	18
Fig.2.9 – Sistema de circulação natural (termossifão).....	20
Fig.2.10 – Sistema de circulação forçada.....	21
Fig.2.11 – Constituição dum colector plano	21
Fig.2.12 – Constituição dum sistema solar térmico.....	22
Fig.4.1 – Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica.....	27
Fig.4.2 – Variação anual da taxa de inflação em Portugal nos últimos anos, de acordo com o Eurostat.....	31
Fig.4.3 – Evolução do preço de aquisição de energia eléctrica para um consumidor doméstico - tipo DC (baixa tensão).....	32
Fig.4.4 – Estimativa de evolução do preço de aquisição de Gás Natural – tarifa natural 3 da Portgás	33
Fig.4.5 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes duplas das moradias.....	38
Fig.4.6 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade térmica no caso das paredes duplas dos apartamentos.....	38
Fig.4.7 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo fachada ventilada das moradias	39
Fig.4.8 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo fachada ventilada dos apartamentos.....	39
Fig.4.9 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo ETICS das moradias	39
Fig.4.10 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo ETICS dos apartamentos.....	39

Fig.4.11 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das coberturas das moradias	40
Fig.4.12 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das coberturas dos apartamentos ..	40
Fig.4.11 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das coberturas das moradias	40
Fig.4.12 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso dos pavimentos das moradias.....	40
Fig.4.13 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso dos pavimentos dos apartamentos .	40
Fig.4.14 – Custo do contorno do vão, em função do nível de qualidade térmica	41
Fig.4.15 – Custo da redução da área habitável, em função do nível de qualidade térmica.....	41
Fig.4.16 – Necessidades nominais de aquecimento médias anuais para cada Nível de Qualidade Térmica, nas moradias.....	42
Fig.4.17 – Necessidades nominais de aquecimento médias anuais para cada Nível de Qualidade Térmica, nos apartamentos	42
Fig.4.18 – Custo médio de exploração anual por m ² , em função do nível de qualidade térmica	43
Fig.4.19 – Poupança anual por m ² dos custos de exploração dos diferentes níveis de qualidade térmica em relação a N1.....	43
Fig.4.20 – Custos de exploração anual para o ano de 2007, em função do nível de qualidade térmica.....	44
Fig.4.21 – Poupança no ano de 2007 dos custos de exploração dos diferentes níveis de qualidade térmica em relação a N1.....	44
Fig.4.22 – Evolução dos custos de exploração médios anuais, em função de nível de qualidade térmica, no caso das moradias	45
Fig.4.23 – Evolução dos custos de exploração médios anuais, em função de nível de qualidade térmica, no caso dos apartamentos	46
Fig.4.24 – Custos de exploração médios acumulados, em função do nível de qualidade, para as moradias	46
Fig.4.25 – Custos de exploração médios acumulados, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos	47
Fig.4.26 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Electricidade).....	48
Fig.4.27 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Electricidade).....	49
Fig.4.28 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Electricidade)	49
Fig.4.29 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Electricidade)	50
Fig.4.30 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Gás Natural)	50
Fig.4.31 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Gás Natural)	51
Fig.4.32 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Gás Natural).....	51

Fig.4.33 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Gás Natural)	52
Fig.4.34 – Configuração do sistema solar térmico adoptado – ‘kit’ solar térmico.....	54
Fig.4.35 – Análise económica de retorno do investimento para o exemplo fornecido	60
Fig.4.36 – Resumo dos preços do equipamento para obtenção de determinados períodos de retorno	61
Fig.4.37 – Custo do equipamento térmico solar e respectivo período de retorno, nas diversas localidades tendo em conta que a energia substituída é a Electricidade.....	62
Fig.4.38 – Custo do equipamento térmico solar e respectivo período de retorno, nas diversas localidades tendo em conta que a energia substituída é o Gás Natural	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores convencionais de condutibilidade térmica de acordo com o ITE 50	6
Quadro 2.2 – Métodos experimentais para determinação da condutibilidade térmica	7
Quadro 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis em Espanha	15
Quadro 2.4 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis em Portugal.....	15
Quadro 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Espanha.....	16
Quadro 2.6 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Portugal.....	16
Quadro 2.7 – Normas Europeias para Sistemas Solares Térmicos e Componentes.....	23
Quadro 3.1 – Considerações efectuadas para verificação do RCCTE	26
Quadro 4.1 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para fachadas.....	29
Quadro 4.2 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para coberturas.....	29
Quadro 4.3 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para pavimentos	29
Quadro 4.4 – Características técnicas dos isolantes térmicos.....	31
Quadro 4.5 – Níveis de Qualidade Térmica da envolvente opaca	32
Quadro 4.6 – Coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) dos diferentes elementos da envolvente, em função do nível de qualidade térmica	32
Quadro 4.7 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U , em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes duplas	35
Quadro 4.8 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U , em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes simples – sistema de fachada ventilada.....	36
Quadro 4.9 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U , em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes simples – sistema ETICS	36
Quadro 4.10 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U , em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das coberturas invertidas	37
Quadro 4.11 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U , em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso dos pavimentos com isolamento pelo exterior	37
Quadro 4.12 – Combinações de soluções construtivas adoptadas.....	48
Quadro 4.13 – Períodos de retorno do investimento efectuado na melhoria do nível de qualidade térmica e poupança relativamente a N1	53
Quadro 4.14 – Inclinações óptimas do colector solar de acordo com a respectiva localização	55
Quadro 4.15 – Preços dos diferentes tipos de energia e respectivas fontes de informação	56
Quadro 4.16 – Desempenho energético do sistema solar térmico.....	57
Quadro 4.17 – Desempenho energético do sistema solar térmico nas diferentes localidades	58
Quadro 4.18 – Exemplo de análise económica efectuada para o sistema térmico solar	59

Quadro 4.19 – Impactes ambientais evitados 63

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

R – resistência térmica dum elemento construtivo [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{si} – resistência superficial interior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{se} – resistência superficial exterior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

U – coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

U_{max} – coeficiente de transmissão térmica máximo admissível [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

U_{ref} – coeficiente de transmissão térmica de referência [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

U_m – coeficiente de transmissão térmica médio [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

λ – condutibilidade térmica [$W/m \cdot ^\circ C$]

R_T' – limite superior da resistência térmica total [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_T" – limite inferior da resistência térmica total [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

Ψ – coeficiente de transmissão térmica linear [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

g – factor solar do vidro

F_h – factor de sombreamento no horizonte

F_g – fracção envidraçada

α - coeficiente de absorção da superfície externa da parede

C_g – Custo Global [€]

C₀ – Custo Inicial [€]

C_{exp} – Custo de Exploração [€]

N_{ic} – Necessidades nominais de aquecimento [$kWh/m^2 \cdot ano$]

N_{vc} – Necessidades nominais de arrefecimento [$kWh/m^2 \cdot ano$]

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

GEE – Gases com Efeito de estufa

SCE – Sistema de Certificação de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

ISO – International Standards Organization

EN – Normas Europeias

CEN – Comité Europeu de Normalização

NP – Normas Portuguesas

CT – Comissão Técnica

CTE – Código Técnico de la Edificación

DB-HE – Documento Básico Ahorro de Energia

LIDER – Limitación de la Demanda Energética

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AQP – Águas Quentes de Processo

tep – tonelada equivalente de petróleo (conteúdo energético de uma tonelada de petróleo indiferenciado)

CPC – concentradores parabólicos compostos

CERTIF – Associação para a Certificação de Produtos

XPS – Poliestireno Extrudido

EPS – Poliestireno Expandido

PIB – Produto Interno Bruto

EUROSTAT – Organismo Estatístico Europeu

INE – Instituto Nacional de Estatística

ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems* (solução de revestimento delgado ou espesso aplicado sobre placas de isolante térmico fixadas directamente à parede)

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado

IRC – Imposto sobre Rendimentos Colectivos

IRS – Imposto sobre Rendimentos Singulares

CO2 – Dióxido de carbono

1

INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

Os edifícios definem espaços onde as pessoas passam grande parte do tempo das suas vidas, pelo que devem oferecer as adequadas condições de conforto e de qualidade do ar interior. Neste contexto, os consumos energéticos associados à satisfação daquelas condições assumem valores de tal forma importantes, que o sector dos edifícios, englobando as vertentes dos serviços e residencial, constituem um dos principais sectores consumidores de energia nos países membros da União Europeia, sendo responsáveis por mais de 40% dos consumos finais de energia. [1]

Nessa medida os consumos energéticos das populações, nomeadamente os consumos energéticos derivados da utilização dos edifícios, tiveram que ser acautelados através de legislação apropriada pois correspondem a uma importante parcela dos consumos totais de energia nas sociedades mais desenvolvidas, contribuindo de forma significativa para a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) e com consequências no aquecimento global.

Segundo dados de 2005, disponibilizados pela Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), em Portugal os sectores doméstico e de serviços correspondem a 29% do consumo final de energia e a 60% do consumo nacional de electricidade (Figura 1.1 e 1.2). Para além disso, verificou-se entre 1990 e 2004, naqueles dois sectores, uma taxa de crescimento média anual do consumo final de energia de 1,9% e 8,6%, respectivamente.

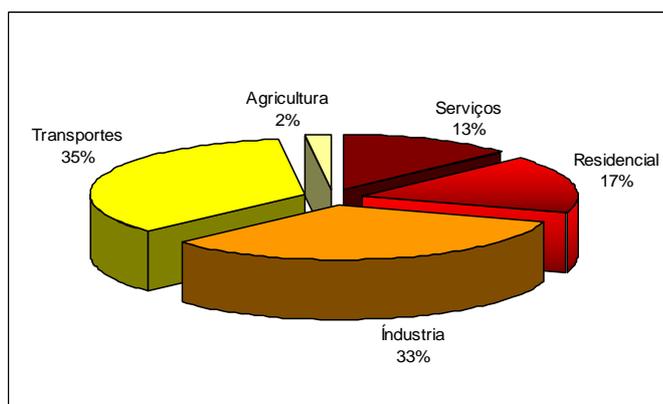


Figura 1.1 – Desagregação dos consumos finais de energia em Portugal [2]

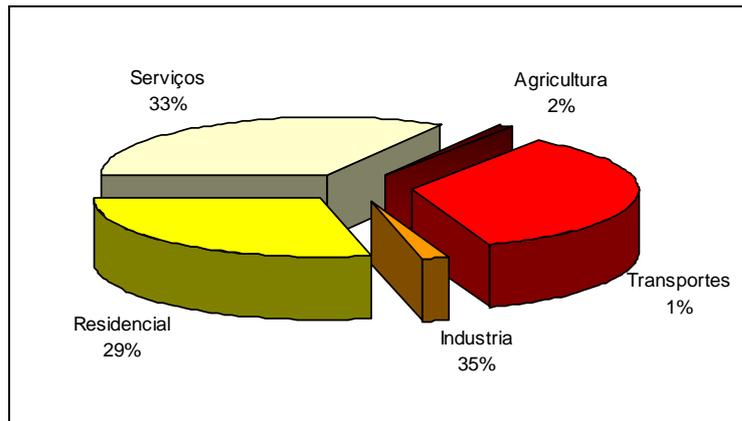


Figura 1.2 – Desagregação dos consumos de energia eléctrica em Portugal [2]

Estima-se que os consumos de energia nos edifícios residenciais, tenham a seguinte distribuição aproximada: cozinhas e águas quentes sanitárias – 50%, iluminação e equipamentos – 25% e climatização (aquecimento e arrefecimento) – 25%. [1]

A título de exemplo, apresenta-se na figura seguinte, a desagregação da oferta de energia no sector residencial no Concelho do Porto, onde se verifica uma grande preponderância da utilização da energia eléctrica (78%).

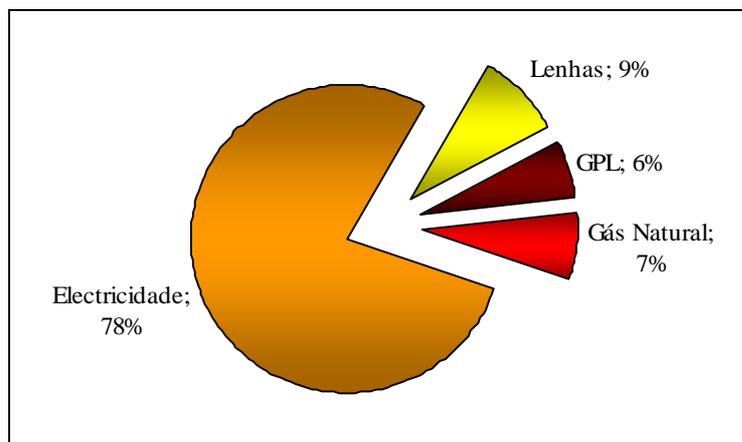


Figura 1.3 – Desagregação da oferta da energia no sector residencial no Concelho do Porto [3]

1. 2. EVOLUÇÃO LEGISLATIVA

A necessidade de aumentar a eficiência energética nos edifícios, para fazer face à escassez de alguns recursos e de cumprir os limites impostos aos países signatários do Protocolo de Quioto, relativos às emissões de GEE para a atmosfera, torna imperativa a necessidade duma maior eficiência energética dos edifícios e consequente contenção dos consumos energéticos.

Para que sejam atingidos estes objectivos, a Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 [4], relativa ao desempenho energético dos edifícios, impõe aos Estados-Membros da União Europeia, requisitos relativamente ao desempenho energético dos edifícios em matéria de:

- Adopção de uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado nos edifícios;
- Designação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de reabilitação (área útil superior a 1 000 m²), que deverão ser revistos em intervalos regulares não superiores a cinco anos e, se necessário, actualizados a fim de reflectir o progresso técnico no sector da construção dos edifícios;
- Introdução da certificação energética obrigatória dos edifícios, com uma validade não superior a dez anos, para que no momento da sua transacção seja possível obter informação sobre o seu desempenho energético;
- Inspeções regulares de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios.
- Qualificação profissional adequada dos técnicos que irão emitir certificados energéticos e efectuar auditorias e inspecções.

Os principais diplomas que transpõem para a legislação nacional as recomendações da Directiva 2002/91/CE são:

- O SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 04 de Abril; [5]
- O RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04 de Abril; [6]
- O RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 04 de Abril. [7]

O Decreto-Lei n.º 80/2006 (RCCTE) é o instrumento fundamental no controlo do desempenho energético dos edifícios e na avaliação da “qualidade térmica” da sua envolvente. Este veio alterar alguns dos pressupostos que existiam no Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro.

O regulamento de 1990 foi o primeiro instrumento legal que em Portugal introduziu aspectos térmicos e energéticos no estudo e projecto dos edifícios, definindo requisitos construtivos mínimos para a envolvente dos mesmos, de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios, sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão. A nível europeu foi mesmo pioneiro na introdução de requisitos mínimos ao nível do sombreamento para evitar sobreaquecimentos no Verão, isto para além de estabelecer coeficientes de transmissão térmica máximos, que visavam minimizar fenómenos de condensações interiores. Embora pouco exigente, o primeiro RCCTE conduziu ao recurso, mais ou menos generalizado, do isolamento térmico na construção.

A evolução tecnológica que se verificou desde então, aliada às preocupações ambientais já referidas, justificaram uma contabilização mais realista de consumos energéticos que possam ocorrer, evoluindo assim na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. *“Esta nova versão do RCCTE assenta portanto no pressuposto de que uma parte dos edifícios terão meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais existência e uso.”* [7]

O mais recente RCCTE tem como principais objectivos:

- *“Satisfazer as exigências de conforto térmico nos edifícios, sejam elas de aquecimento ou arrefecimento, e de ventilação para garantia da qualidade do ar interior, bem como as necessidades de água quente sanitária, sem dispêndio excessivo de energia;”*

- *“Minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacte negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.” [7]*

1.3. OBJECTIVOS

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, quer sejam as perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente no Inverno, quer os ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos no Verão, são fenómenos que muito influenciam o comportamento térmico dos edifícios, e para minimizar estes efeitos em ambas as estações, deve-se aumentar a resistência térmica dos elementos construtivos.

Os isolantes térmicos desempenham um papel fundamental neste contexto, na medida em que são os materiais com maior influência no coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca exterior. A escolha e aplicação dos materiais mais adequados a cada elemento construtivo, assim como a definição da sua espessura, devem obedecer a critérios objectivos, pois estes serão fundamentais na melhoria do desempenho energético do edifício.

Nessa medida este estudo tem como objectivo analisar a viabilidade técnico económica do aumento da espessura do isolamento térmico da envolvente opaca dos edifícios, de acordo com o horizonte temporal definido, sendo para isso necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais com os custos de exploração, tendo por base um conjunto de habitações que constituirão a base de dados deste trabalho.

Igualmente com o objectivo de promover um melhor desempenho energético dos edifícios, a instalação de colectores solares para produção de água quente sanitária ao abrigo do novo RCCTE, tornou-se obrigatória com o intuito de favorecer a penetração de sistemas de que recorram a energias renováveis, em detrimento do recurso às energias convencionais.

Assim este estudo, contém adicionalmente uma reflexão sobre o período de retorno do investimento num equipamento solar térmico, tendo por base uma habitação unifamiliar tipo.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS QUE CONSTITUEM A ENVOLVENTE OPACA DOS EDIFÍCIOS

Quando se refere a necessidade indispensável de aumento da eficiência energética dos edifícios, devido aos benefícios que daí advêm, tanto para os utilizadores, como para o meio ambiente, a selecção exigencial de materiais de construção que os compõem torna-se fundamental. Esta, implica a caracterização exaustiva das suas propriedades e a quantificação do desempenho dos componentes e sistemas, nos quais os materiais se inserem.

Dessas propriedades, revestem-se de especial importância, a condutibilidade térmica dos isolantes térmicos e a resistência térmica dos elementos que constituem a envolvente opaca, pois tratam-se de coeficientes que influenciam o desempenho térmico global do edifício. Neste sentido, o conhecimento e utilização das várias normas existentes, ao nível nacional e internacional, assume importância extrema e serão descritos nos pontos que se seguem.

2.1.1. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

De acordo com a definição que se encontra no RCCTE: “*Condutibilidade térmica é uma propriedade térmica típica de um material homogéneo, que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces*”. (W/m.°C). [7]

Esta é a propriedade primordial num isolante térmico, e de seguida apresentam-se algumas considerações acerca do modo de determinação desta propriedade, e das normas que lhe são aplicáveis.

No que se refere ao modo de determinação deste coeficiente, este pode ser obtido a partir de um número bastante vasto de testes. A escolha do mais apropriado depende das características do elemento a analisar.

A norma **EN ISO 10456** [8] indica três métodos laboratoriais para determinação dos valores de condutibilidade térmica para materiais de construção termicamente homogéneos, juntamente com os procedimentos para converter valores obtidos sob um conjunto de condições, válido para outro

conjunto de condições. Estes procedimentos são válidos para temperaturas ambientes projectadas entre -30°C e $+60^{\circ}\text{C}$.

Fornecer igualmente dados em tabelas, para utilização nos cálculos transferência de calor e humidade, para materiais termicamente homogéneos e produtos usualmente usados na construção de edifícios.

O valor da condutibilidade térmica de um determinado material, pode ser obtidos a partir de valores declarados, valores medidos ou valores tabulados.

2.1.1.1. Valores declarados

No caso dos valores declarados, estes representam um valor expectável da condutibilidade térmica de um material ou produto, nas seguintes condições convencionais: [9]

- Determinado com base em resultados de ensaios realizados em condições definidas de referência (temperatura média e teor de água de equilíbrio em ambiente normalizado);
- Correspondente a um percentil e nível de confiança definidos;
- Representativo de uma vida útil aceitável, em condições normais de utilização.

No caso dos isolamentos térmicos, os valores declarados pelos fabricantes no âmbito da marcação CE, são os valores da condutibilidade térmica que, com um nível de confiança de 90%, em média não são ultrapassados por 90% do produto colocado no mercado. Os valores de base são referenciados a uma temperatura média de ensaio de 10°C e a um teor de água de equilíbrio num ambiente com 23°C de temperatura e 50% de humidade relativa. A vida útil assumida é de 25 anos, pelo que o valor declarado, de alguns produtos de isolamento térmico que perdem características ao longo do tempo é definido com base em resultados de ensaios submetidos a um “*envelhecimento acelerado*” prévio. [9]

No Quadro seguinte apresentam-se de acordo com o ITE 50, os valores convencionais da condutibilidade térmica de alguns materiais.

Quadro 2.1 – Valores convencionais de condutibilidade térmica de acordo com o ITE 50 [9]

Condutibilidade térmica, λ [W/(m.°C)]	0,014	0,037	0,13	1,4	1,65	2,8	380
Material	Anidrido Carbónico (CO ₂)	Poliestireno expandido moldado	Borracha Natural	Vidro de quartzo	Betão Normal	Granito	Cobre

2.1.1.2. Valores medidos experimentalmente

No caso dos valores medidos laboratorialmente, os métodos aplicáveis para determinação das propriedades térmicas dos materiais, nomeadamente do valor de condutibilidade térmica, são os seguintes:

Quadro 2.2 – Métodos experimentais para determinação da condutibilidade térmica

Método experimental	Normas aplicáveis
'Guarded Hot Plate'	ISO 8302: 1991
	EN 12667: 2001
	EN 12939: 2000
	EN 1946-2: 1999
'Heat Flow Meter'	ISO 8301: 1991
	EN 12667: 2001
	EN 12939: 2000
	EN 1946-3: 1998
'Hot Box'	ISO 8990: 1996
	EN 12946-4: 2000

- Método 'Guarded Hot Plate' [10, 11, 12]

Neste método a quantidade de fluxo de calor é obtida a partir da medição da potência aplicada na unidade de aquecimento na zona de medição.

Existem dois tipos de aparelhos que se baseiam nos princípios deste método:

- Com duas amostras (e uma unidade de aquecimento no centro);
- Com apenas uma amostra.

Na Figura 2.2, é apresentado o aparelho pertencente ao LFC (Laboratório de Física de Construções), que se baseia neste método para a determinação da condutibilidade térmica em laboratório.



Figura 2.1 – HOLOMETRIX GHP-300 do LFC [13]

Para a obtenção do valor de condutibilidade térmica dum determinado material é utilizada a fórmula seguinte:

$$\lambda = \frac{\phi \times d}{A \times (T_1 - T_2)} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}) \quad (1)$$

onde,

- Φ – média de potência aplicada na unidade de aquecimento;
- T_1 – temperatura média do lado quente da(s) amostra(s);
- T_2 – temperatura média do lado frio da(s) amostra(s);
- A – área de medição, no caso do teste ser realizado com duas amostras a área deverá ser multiplicada por dois;
- d – espessura média da amostra.

- Método ‘Heat Flow Meter’ [11, 14, 15]

Neste método, a quantidade de fluxo de calor é medido no aparelho através de um ou dois medidores de fluxo de calor, colocados contra a (s) amostra (s).

As configurações dos aparelhos baseados neste método, podem variar bastante mas a configuração geral definida na norma, consiste em: uma unidade de aquecimento, um ou dois medidores do fluxo de calor, uma ou duas amostras e uma unidade de arrefecimento. Na figura seguinte apresenta-se a configuração esquemática dum aparelho designado por ‘single specimen symmetrical’.

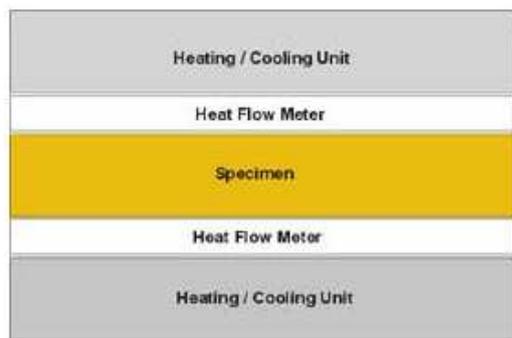


Figura 2.2 – Configuração ‘single-specimen symmetrical’ [16]

Segundo este método, a obtenção do valor de condutibilidade térmica dum determinado material, é conseguido através da seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{f \times e_h \times d}{(T_1 - T_2)} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}) \quad (2)$$

onde,

- f – factor de calibração do medidor do fluxo de calor;
- e_h – resultado obtido pelo medidor do fluxo de calor;
- T_1 – temperatura média do lado quente da(s) amostra(s);
- T_2 – temperatura média do lado frio da(s) amostra(s);
- d – espessura média da amostra.

- Método ‘Hot Box’ [17, 18]

As normas **ISO 8990** e **EN 1946-4**, definem critérios para a aplicação de um outro método, designado por ‘hot box’, o que traduzido livremente significa método da caixa quente.

As normas definem dois tipos de métodos ‘hot-box’ – o método ‘*guarded hot-box*’ (um método absoluto, ilustrado na Figura 2.3) e o ‘*calibrated hot box*’ (um método semelhante, similar em forma, mas que requer calibração utilizando painéis ou materiais com condutância térmica conhecida). Ambos os métodos são usados à temperatura ambiente, para medir o desempenho térmico dos elementos da envolvente do edifício.

As ‘hot-boxes’ medem o fluxo de calor (normalmente no estado estacionário, embora a ‘*calibrated hot-box*’ também poderá fazer medições dinâmicas), que passa através de estruturas heterogéneas e de grandes dimensões.

O princípio de medição é simples: partindo duma amostra com determinadas dimensões, (geralmente com mais de 1,5 x 2,5 (m)) e com uma forma de construção típica, procede-se à instrumentação em cada superfície com sensores de temperatura dispostos a fornecer uma distribuição da temperatura representativa de toda a superfície do painel. A amostra é colocada entre as câmaras fria e quente que funcionam em condições controladas de temperatura, humidade relativa e fluxo de ar. Sensores de temperatura são colocados em posições opostas, aos que são colocados na amostra, para assim se obter a correspondente temperatura do ar.

A energia necessária para manter a diferença de temperatura entre os ambientes externos, é medida em conjunto com as temperaturas do ar, com as temperaturas das superfícies em troca por radiação com a amostra e com as temperaturas da superfície da amostra.

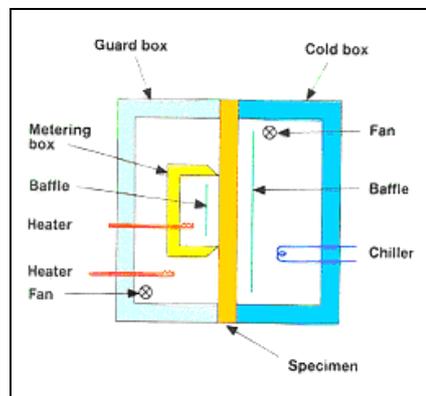


Figura 2.3 – Configuração esquemática da ‘guarded hot box’ [19]

No caso da ‘*guarded hot box*’, uma caixa central de medição que abrange uma área representativa do painel, é rodeada por uma caixa de guarda exterior (daí o nome *guarded*). A temperatura do ar e as condições de fluxo dentro da caixa de guarda, estão dispostos de modo a reduzir o fluxo de calor através das paredes da caixa de medição para níveis desprezáveis.

No caso da ‘*calibrated hot-box*’ não há caixa de medição interior. As paredes exteriores da câmara quente são feitas com uma grande espessura de isolamento, de modo a minimizar as perdas por condução. Idealmente, os dois tipos de aparelhos devem ser concebidos de modo a que as medições podem ser feitas em com uma série de orientações, a fim de incluir os importantes efeitos de convecção, que podem ser significativos no contexto das transferências de calor.

A norma **EN 12667** [11], é a norma mais utilizada pelos fabricantes de isolamentos térmicos para a caracterização das respectivas condutibilidades térmicas, pois fornece todas as informações necessárias para testes de rotina no que se refere aos métodos ‘*heat flow meter*’ e ‘*guarded hot plate*’.

Os requisitos pormenorizados para todas as condições de teste possíveis da resistência térmica de qualquer amostra compatível plana, são dados nas:

- ISO 8302 e EN 1946-2 para o método ‘*guarded hot plate*’;
- ISO 8301 e EN 1946-3 para o método ‘*heat flow meter*’.

Esta norma providencia a informação geral sobre os aparelhos, todos os limites impostos para o equipamento e respectivo manuseamento, e também fornece as especificações dos procedimentos de teste para materiais que possuam uma resistência térmica média e alta.

Especifica também, os princípios e os procedimentos de teste para a determinação, através dos métodos ‘*heat flow meter*’ e ‘*guarded hot plate*’ da resistência térmica de amostras com resistências térmicas não menores a 0,5 (m².°C/W). Por outro lado, não fornece procedimentos gerais de concepção dos equipamentos, análise de erros, verificação da performance dos equipamentos nem a avaliação da precisão dos equipamentos.

Tanto o método ‘*guarded hot plate*’ como o ‘*heat flow meter*’, têm a intenção de estabelecer dentro de amostras homogéneas com superfícies planas paralelas, uma quantidade de fluxo de calor unidireccional e constante. A zona do aparelho onde isto acontece com aceitável precisão, é junto ao centro, daí os aparelhos serem divididos numa secção central onde as medições são efectuadas, e uma circundante de guarda.

Com o estabelecimento dum estado estacionário na zona de colocação da amostra a quantidade de fluxo de calor, q , é determinada pela medição do fluxo de calor, Φ , e a área que o fluxo de calor atravessa, A .

A diferença de temperatura que ocorre na amostra, ΔT , é medida através de sensores de temperatura fixados na superfície do aparelho em contacto com a amostra e/ou nas próprias amostras, quando for apropriado.

A aplicação destes métodos é limitada pela capacidade do aparelho em manter uma quantidade de fluxo de calor unidireccional e constante na amostra, associada à capacidade para medir a potência temperatura e dimensões para o limite de precisão requerido.

Está também limitada pela forma da(s) amostra(s) e pelo grau de semelhança de espessura e uniformidade da sua estrutura.

A norma **EN 12939** [20], serve como complemento à norma EN 12667, pois refere-se especificamente a problemas que ocorrem em testes, nomeadamente o ‘*heat flow meter*’ e o ‘*guarded hot plate*’, quando se testam produtos espessos de média e alta resistência térmica.

Esta norma indica os procedimentos para a determinação da resistência térmica de produtos com uma espessura que excede a espessura máxima permitida nos aparelhos destes métodos.

Neste documento são fornecidas as orientações para a avaliação da relevância do efeito da espessura, isto é, estabelecem-se as condições para que a resistência térmica de um produto espesso possa ou não ser calculada, como a soma de resistências térmicas de secções cortadas a partir do produto. Estas orientações complementam as indicações fornecidas na ISO 8302.

Esta norma descreve ainda, as condições dos testes que previnem a ocorrência de convecção, que pode ocorrer em certos materiais dentro de determinadas gamas de temperatura e de espessura.

2.1.2. RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

De acordo com a definição que se encontra no RCCTE: “*resistência térmica dum elemento construtivo é o inverso da quantidade de calor por unidade de tempo e por unidade de área que atravessa o elemento de construção por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces*”. ($m^2 \cdot ^\circ C/W$). [7]

A norma **EN ISO 6946** [21] indica o método de cálculo da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica de elementos construtivos dum edifício, excluindo portas, janelas e vidros e componentes que envolvam transferência de calor para o solo.

O método de cálculo previsto na norma, baseia-se na concepção adequada das condutibilidades térmicas dos materiais e produtos envolvidos, cujo modo de determinação se viu mais atrás, e aplica-se aos elementos constituídos por camadas termicamente homogéneas (incluindo camadas de ar), mas também fornece um método aproximado que pode ser utilizado para elementos que contenham camadas não homogéneas.

O princípio do método de cálculo é o seguinte:

- a) obter a resistência térmica de cada parte termicamente homogénea do componente;
- b) combinar estas resistências individuais, de modo a obter a resistência térmica total do componente, incluindo (quando apropriado), o efeito de resistências superficiais.

No caso de ser fornecida a condutibilidade térmica, as resistências térmicas individuais são obtidas a partir de:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

onde,

- d - espessura da camada de material do elemento construtivo;
- λ - condutibilidade térmica do material (analisado anteriormente).

2.1.2.1. Resistência Térmica Total

A resistência térmica total R_T dum elemento construtivo plano, dum edifício constituído por camadas termicamente homogéneas, perpendicular ao fluxo de calor deve ser calculado pela seguinte expressão:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se} \quad (4)$$

onde,

- R_{si} - resistência superficial interior;
- R_1, R_2, \dots, R_n - resistências térmicas de cada camada;
- R_{se} - resistência superficial exterior.

2.1.2.2. Resistência térmica de um elemento construtivo constituído por camadas heterogéneas

O método para calcular a resistência térmica de elementos construtivos constituídos por camadas termicamente heterogéneas a seguir apresentado, não é aplicável a casos que incluam elementos metálicos.

Um resultado mais preciso do que o fornecido pela Norma EN ISO 6946, poderá ser obtido através de um método numérico conforme a norma ISO 10211 – Pontes térmicas na construção de edifícios – fluxos de calor e temperaturas superficiais – cálculos pormenorizados.

A resistência térmica total, R_T , de um elemento construtivo constituído por camadas termicamente heterogéneas paralelas à superfície, é calculada como a média aritmética dos valores limite superior e inferior da resistência:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad (5)$$

onde,

R_T' - limite superior da resistência térmica total;

R_T'' - limite inferior da resistência térmica total.

O cálculo dos limites superior e inferior deve ser realizado considerando o elemento dividido em secções e camadas, como mostra a Figura 2.4, de tal forma que o componente é dividido em partes m_j , que são elas próprias, termicamente homogéneas.

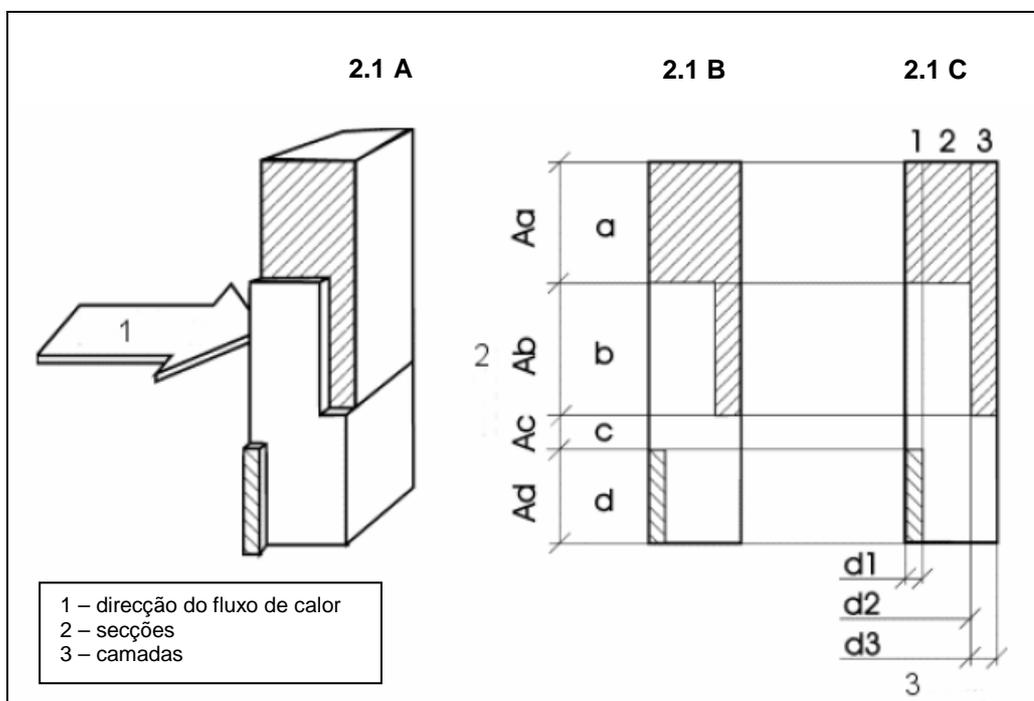


Figura 2.4 – Secções e camadas de um elemento termicamente heterogéneo [8]

O elemento construtivo (Figura 2.1A) é considerado cortado em secções (Figura 2.1B) e em camadas (Figura 2.1C).

Para uma mais fácil distinção destas duas situações, as secções serão designadas pela letra “*m*” enquanto que as camadas serão designadas por “*j*”.

As secções *m* (*m* = *a*, *b*, *c*,...*n*) perpendiculares à superfície do elemento, têm uma área correspondente *f_m*.

As camadas *j* (*j* = 1, 2,... *n*) paralelas à superfície do elemento, tem espessura *d_j*.

Assim, a parte *m_j* (constituída pela associação de uma determinada secção com uma determinada camada) tem condutibilidade térmica *λ_{m_j}*, espessura *d_j*, área correspondente *f_m* e resistência térmica *R_{m_j}*.

A área fraccionária de uma secção é a sua proporção da área total.

Assim: *f_a* + *f_b* + ... + *f_z* = 1.

Limite superior da Resistência Térmica Total (*R_T'*)

O limite superior da resistência térmica total, é determinado assumindo-se um fluxo de calor unidimensional perpendicular à superfície do elemento. É dado pela seguinte expressão:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_z}{R_{Tz}} \quad (6)$$

onde,

R_{Ta}, *R_{Tb}*, ..., *R_{Tz}* – resistências térmicas totais de ambiente para ambiente para cada secção calculada utilizando a fórmula (2);

f_a, *f_b*, ..., *f_z* – áreas correspondentes para cada secção.

Limite inferior da Resistência Térmica Total (*R_T''*)

O limite inferior da resistência térmica total, é determinado assumindo-se que todas as superfícies do elemento são superfícies isotérmicas.

Calcula-se uma resistência térmica equivalente *R_j*, para cada camada termicamente heterogénea utilizando o seguinte expressão:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_z}{R_{zj}} \quad (7)$$

O limite inferior é então determinado da seguinte forma:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (8)$$

2.1.3. COMPARAÇÃO DOS COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U DEFINIDOS NA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA COM OS DEFINIDOS NA LEGISLAÇÃO ESPANHOLA

2.1.3.1. Introdução

Torna-se interessante analisar a situação regulamentar no que respeita ao desempenho energético dos edifícios em Espanha, e compará-la com a de Portugal.

De salientar que esta análise tem que ser efectuada com as devidas cautelas, pois não é possível em todos os casos, proceder à transposição directa e acrítica dos seus resultados para o caso português.

De qualquer forma o regulamento espanhol, designado por *Código Técnico de la Edificación* (CTE) é formado por seis Documentos Básicos (DB). Desses seis, o DB-HE (Documento Básico HE – Ahorro de Energia), é o diploma responsável pelo controlo do desempenho energético dos edifícios e pela avaliação da ‘qualidade térmica’ da sua envolvente. [22]

O DB-HE está dividido em 5 secções, que estabelecem regras e procedimentos para um uso racional de energia nos edifícios, reduzindo o seu consumo a limites sustentáveis e promovendo as fontes de energia renovável.

- HE 1: *Limitación de demanda energética*
- HE 2: *Rendimiento de las instalaciones térmicas*
- HE 3: *Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación*
- HE 4: *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*
- HE 5: *Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica*

A primeira secção, HE 1, é o documento que avalia e regula a envolvente dos edifícios e a partir do qual se irá basear a análise que se segue.

2.1.3.2. Zonas Climáticas

Tal como o que está previsto no regulamento português, o documento espanhol define que as exigências energéticas dos edifícios dependem do clima da região onde se inserem. Neste país estão estabelecidas 5 zonas climáticas de Inverno (Figura 2.5) identificadas mediante uma letra (A, B, C, D, E), enquanto que em Portugal estão definidas 3 zonas climáticas de Inverno.



Figura 2.5 – Zonas Climáticas de Inverno em Espanha [23]

2.1.3.3. Verificação do regulamento

Existem dois procedimentos alternativos para a verificação do regulamento espanhol:

- *Opção Simplificada:* procedimento baseado no controlo indirecto das exigências energéticas dos edifícios mediante a limitação dos parâmetros característicos da envolvente exterior e interior. A verificação faz-se mediante a comparação dos valores de cálculo obtidos, com os valores limites permitidos.
- *Opção Geral:* baseada na avaliação das exigências energéticas dos edifícios mediante a comparação desta com a correspondente a um edifício de referência, que define a própria opção através dum programa informático oficial denominado LIDER (Limitación de la Demanda Energética), ou de outro programa informático de referência. A limitação desta opção, é a de que se optar pela utilização de soluções construtivas inovadoras, estas possivelmente não poderão ser introduzidas no programa.

2.1.3.4. Coeficientes de Transmissão Térmica Máximos Admissíveis e de Referência

De seguida apresentam-se os quadros com os requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios no que se refere aos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência, tanto na legislação espanhola como na portuguesa, para posterior comparação:

Quadro 2.3 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis em Espanha (adaptação do regulamento espanhol) [22]

Envolvente e elementos interiores	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Coberturas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Paredes exteriores, paredes interiores e primeiro metro de fachada em contacto com o solo	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Pavimentos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62

Quadro 2.4 – Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis em Portugal (adaptação do regulamento português) [7]

Elemento da envolvente		Zona Climática		
		I1	I2	I3
Elementos exteriores em zona corrente	Zonas opacas verticais	1,8	1,6	1,45
	Zonas opacas horizontais	1,25	1,0	0,90
Elementos interiores em zona corrente	Zonas opacas verticais	2,0	2,0	1,90
	Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

Da comparação dos dois últimos quadros, verifica-se uma maior exigência por parte do regulamento espanhol, facto que acontece para todos os tipos de elementos da envolvente dos edifícios, com especial incidência para o caso do coeficiente de transmissão térmico das coberturas, que no caso português, é aproximadamente 2 vezes superior ao exigido nos edifícios espanhóis.

Quadro 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Espanha (adaptação do regulamento espanhol) [22]

Envolvente e elementos interiores	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Coberturas	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35
Paredes exteriores	0,67	0,58	0,52	0,47	0,43
Pavimentos	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48
Envolvente em contacto com o solo	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57

Quadro 2.6 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Portugal (adaptação do regulamento português) [7]

Elemento da envolvente		Zona Climática		
		I1	I2	I3
Elementos exteriores em zona corrente	Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50
	Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,40
Elementos interiores em zona corrente	Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,0
	Zonas opacas horizontais	1,0	0,90	0,80

No caso dos valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência previstos, verifica-se uma significativa semelhança entre os valores regulamentares dos dois países, mas ainda assim com uma ligeira maior exigência por parte do documento espanhol.

2.1.4. IMPORTÂNCIA DO POTENCIAL SOBREAQUECIMENTO DERIVADO DO AUMENTO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO TÉRMICO

A tendência para a prescrição de restrições cada vez mais rigorosas para o isolamento da envolvente nos edifícios nas regulamentações europeias, provoca um aumento da espessura do isolamento que é benéfica numa situação típica de Inverno (quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica, menores serão as perdas pela envolvente, e conseqüentemente, menor o gasto com necessidades energéticas de aquecimento), mas que no Verão, no caso de uma envolvente fortemente isolada, pode dificultar a dissipação do calor para o exterior, causando um aumento da temperatura interior acima do limite de conforto.

Neste estudo, o facto de se estar a aumentar o isolamento da envolvente opaca para níveis elevados poderia conduzir então a um potencial sobreaquecimento no Verão.

Segundo o estudo efectuado por Chvatal [24], no caso dos edifícios habitacionais, torna-se necessário controlar os ganhos solares pois quando estes são muito altos, o aumento do isolamento da envolvente pode resultar no aumento do desconforto no Verão, tal como se pode observar pelo exemplo apresentado na Figura 2.6.

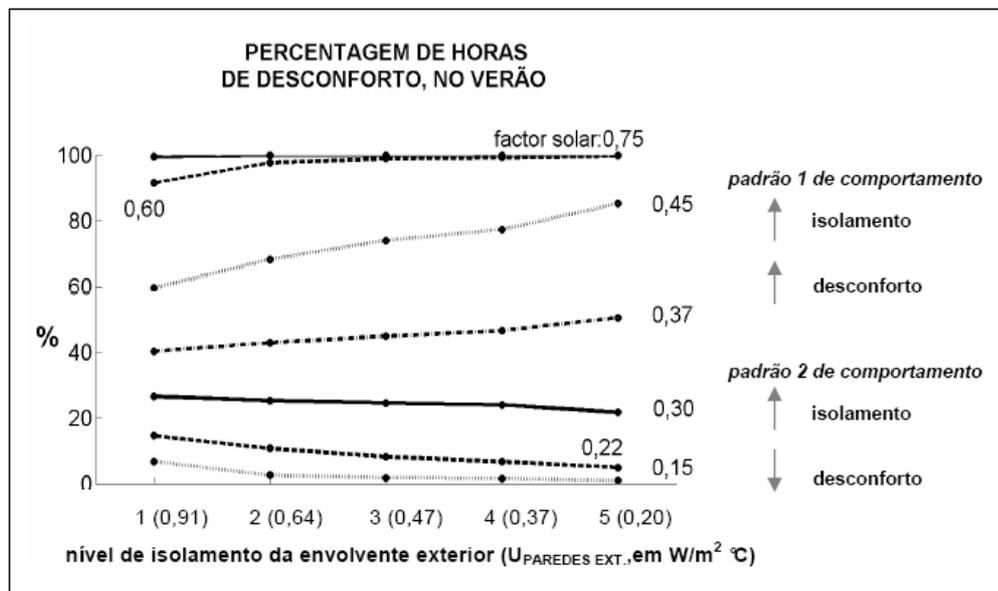


Figura 2.6 – Percentagem de horas com desconforto, no Verão, para uma habitação situada em Évora, com ventilação mínima, em função de variados níveis de isolamento da envolvente e factores solares dos envidraçados [24]

No caso de existirem condições adequadas para a ventilação natural o risco de sobreaquecimento é bastante reduzido, facto que se presumiu na análise das fracções que constituem a base de dados.

O conforto nos edifícios habitacionais pode ser obtido de forma natural desde que as taxas de ganhos internos não sejam muito elevadas, pois uma envolvente altamente isolada pode trazer economia de energia para o Inverno, sem elevação do sobreaquecimento no Verão, caso haja adequado controlo dos ganhos solares nesse período.

2.2. COLECTORES SOLARES

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA EM PORTUGAL

Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar (Figura 2.7), e no entanto, este recurso endógeno, gratuito e que pode proporcionar uma importante poupança para os seus utilizadores e contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono, tem sido subaproveitado para usos energéticos quando comparado com outros países europeus, para isso bastará verificar alguns dos números relativos à difusão dos colectores solares na Europa (Anexo 1).

Ao contrário do que é comum pensar-se, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal (aproveitada por um sistema solar para aquecimento de águas) não é significativa, cifrando-se em apenas 18% de diferença entre o Porto e Faro (Figura 2.8).

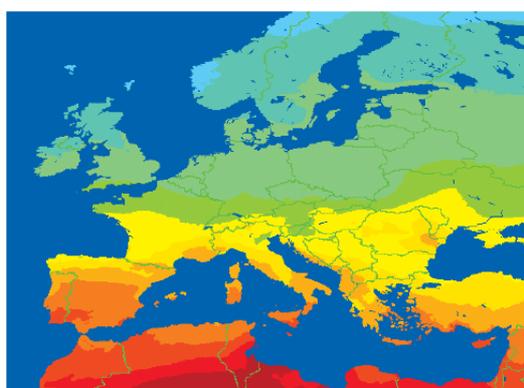


Fig.2.7 – Mapas da radiação solar incidente no plano horizontal na Europa [25]

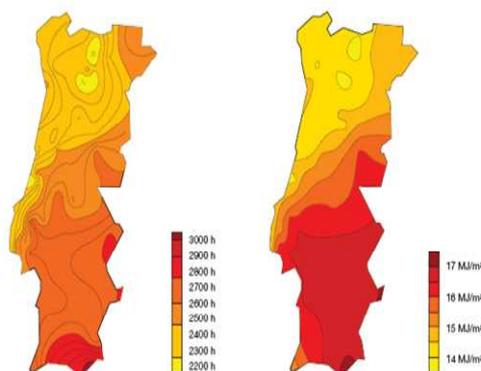


Fig.2.8 – Mapas da radiação solar em Portugal [26]

No sector doméstico, a água quente é utilizada essencialmente em duchas e banhos de imersão, na lavagem de louça e da roupa. Os equipamentos convencionais mais comuns utilizados no aquecimento da água são os esquentadores e caldeiras murais a gás e os termoacumuladores a gás e eléctricos. Estes aparelhos são responsáveis por cerca de 50% do consumo de energia no sector doméstico, com o correspondente peso na factura energética mensal das famílias e nessa medida, a utilização de colectores solares em larga escala poderá contribuir para a redução substancial dessa factura e do peso do sector no balanço energético global. [27]

Com vista ao desenvolvimento deste sector, foi lançado em finais de 2001, através da Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro, o *Programa E4*, o qual reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal, entre as quais a promoção do recurso a colectores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria.

De referir ainda que o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios (RCCTE) introduziu novas exigências, com vista ao cumprimento de Directivas Comunitárias relativas à segurança de abastecimento energético e à minimização de impactes ambientais, as quais dão um papel de relevo à energia solar.

No novo RCCTE, “os edifícios têm obrigatoriamente que recorrer a sistemas de colectores térmicos para aquecimento de águas sanitárias sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1 m² de colector por habitante convencional previsto (...) entende-se como exposição solar adequada a

existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre sudeste e sudoeste, que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do sol e termina duas horas antes do ocaso.” [7]

O recurso a colectores solares para produção de AQS é assim, uma forma de conseguir satisfazer os requisitos do RCCTE. De salientar que como os edifícios passarão também a ter um "certificado energético", o aquecimento de águas sanitárias com colectores vai tornar os edifícios melhor classificados em termos de consumos de energia, o que como consequência lhes dará um maior valor comercial.

Ao proceder ao aproveitamento deste potencial endógeno, Portugal dará um passo importante para:

- a redução da sua dependência energética, aumentando a contribuição das energias renováveis no balanço energético nacional;
- a redução das emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis;
- a criação e desenvolvimento de uma nova actividade económica;
- a melhoria da qualidade de vida, conforto e poupança individual de cada cidadão;
- a criação de uma nova oportunidade para exportação a prazo de tecnologia, equipamentos e serviços.

Em Portugal, o mercado do solar térmico tem tido uma reduzida expressão no passado recente, fruto porventura de:

- algumas más experiências no primeiro período de expansão do solar na década de 80, associadas à falta de qualidade dos equipamentos e, sobretudo, das instalações, o que afectou negativamente a sua imagem;
- falta de promoção e divulgação de informação específica sobre as razões do interesse e as possibilidades desta tecnologia junto dos seus potenciais utilizadores;
- custo do investimento inicial elevado, desencorajando a adopção de uma solução que afinal, pode competir com as alternativas convencionais;
- barreiras técnicas e tecnológicas à inovação ao nível da indústria da construção e da instalação de equipamentos térmicos;
- insuficiência e inadequação das medidas de incentivo.

A título comparativo, a Alemanha, onde o recurso “radiação solar” é muito inferior ao nosso (pouco mais de metade em termos médios anuais), é hoje o líder na Europa na instalação de colectores solares. A Grécia, país muito semelhante a Portugal em termos económicos, energéticos e populacionais, tem um mercado interno anual de solar térmico mais de 30 vezes superior ao nosso, ultrapassando os 3 milhões de m² de colectores instalados. [28]

Apesar do contraste evidente entre o mercado do solar térmico em Portugal e em alguns países da União Europeia, já existem hoje alguns colectores solares de tecnologia portuguesa, havendo indústria nacional que pode contribuir com o fabrico de equipamentos de qualidade e existindo competência na área da engenharia e capacidade de instalação de sistemas, bem como de controlo e certificação da sua qualidade.

No relatório do Grupo Temático “Solar Térmico” do Fórum “Energias Renováveis em Portugal” demonstra-se que a contribuição máxima do solar térmico activo em Portugal para produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) e Águas Quentes de Processo (AQP), se poderia estimar em cerca de 15 milhões de m² de colectores solares (aproximadamente 52% no sector doméstico e serviços e 48% na

indústria). A contribuição total, em termos energéticos, daqueles colectores solares seria superior a 0,91 Mtep (1) de energia útil, ou seja, ~1,5 Mtep de energia final e ~2,2 Mtep de energia primária. [29]

O objectivo do Programa "Água Quente Solar" que se lançou, visa a meta de criar um mercado sustentado de 150 000 m² de colectores solares instalados por ano o que, tendo em conta as naturais inércias do processo de lançamento de um programa como este, dependente do envolvimento de uma vasta e dispersa gama de intervenientes, poderia conduzir a um número da ordem de 1 milhão de m² de colectores instalados e operacionais até 2010, o que não representará mais de 7% do potencial explorável.

Este objectivo traduz-se numa contribuição de 0,1 Mtep para a energia final, ou ainda 0,15 Mtep de energia primária, que, na sua maior parte, deixa de ser importada e aproximadamente 0,8% de redução de emissões de gases com efeito de estufa no ano de 2010, percentagem calculada em relação aos valores totais de referência de 1990, correspondendo a 0,5 Mton de CO₂ equivalente evitado.

De referir que o esperado aumento de mercado, possa reflectir numa diminuição dos custos referentes ao investimento inicial, pelo que há um potencial elevado para que o aquecimento de água com colectores solares se possa tornar ainda mais atractivo nos anos mais próximos.

(1) tep: tonelada equivalente de petróleo (conteúdo energético de uma tonelada de petróleo indiferenciado)
1 tep = $41,86 \times 10^9$ Joule = 11628 kWh; 1 Mtep = 1 milhão de tep

2.2.2. CONSTITUIÇÃO DUM SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Um sistema solar pode ser definido, em termos bastante simplistas, como um equipamento que aquece a água a partir do Sol. Tem dois componentes essenciais: o colector solar para captação da energia solar e o depósito para armazenamento da água quente. Estes dois componentes podem ser interligados com ou sem bomba circuladora, dependendo da possibilidade de colocar ou não o depósito de acumulação a um nível mais elevado que o(s) colector(es) solar(es). No caso da não existência de bomba circulatória, o sistema possui a denominação de circulação natural ou termossifão, enquanto que no caso da bomba circulatória ser parte integrante do sistema, este tem a designação de circulação forçada.

No sistema de circulação natural (termossifão), o colector fornece energia ao longo do dia ao depósito e o depósito acumulador acumula energia ao longo do dia em forma de água quente. Este depósito é termicamente isolado e possui um apoio auxiliar (resistência eléctrica).

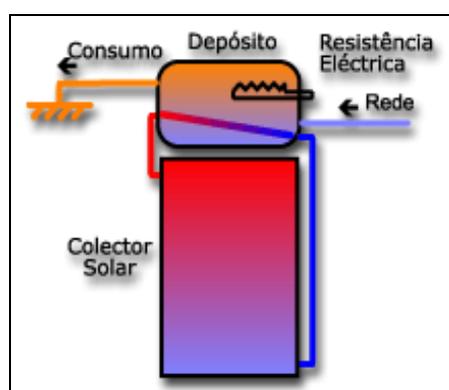


Figura 2.9 – Sistema de circulação natural (termossifão) [30]

No caso do sistema de circulação forçada além dos constituintes já mencionados, possui ainda uma bomba electrocirculadora que faz circular o fluido térmico dos colectores quando o termosifão não é possível e também um comando diferencial que controla a bomba através do diferencial de temperatura da sonda no colector e da sonda no depósito.

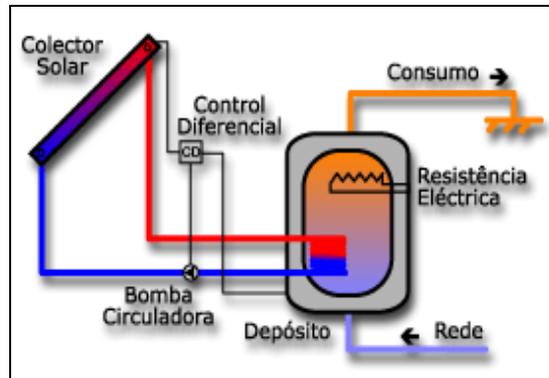


Figura 2.10 – Sistema de circulação forçada [30]

No que se refere especificamente aos colectores solares, existem vários tipos de colectores: planos, concentradores, concentradores parabólicos compostos (CPC) e de tubo de vácuo. Dado que a produção de água quente para fins sanitários, objecto de estudo neste trabalho, é uma aplicação que requer baixas temperaturas ($< 70^{\circ}\text{C}$) o tipo de colector mais utilizado é o colector plano. Este tipo de colector é formado por:

- *Cobertura transparente*: para provocar o efeito de estufa e reduzir as perdas de calor e ainda assegurar a estanqueidade do colector.
- *Placa absorvedora*: serve para receber a energia e transforma-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou serpentina. Para obter maiores rendimentos existem superfícies selectivas que absorvem como um corpo negro mas perdem menos radiação.
- *Caixa isolada*: serve para evitar perdas de calor uma vez que deverá ser isolada termicamente, para dar rigidez e proteger o interior do colector, dos agentes externos.

Ao fazer circular o fluido térmico através dos tubos dos colectores, retira-se calor destes, podendo aproveitar este calor para aquecer um depósito de água.

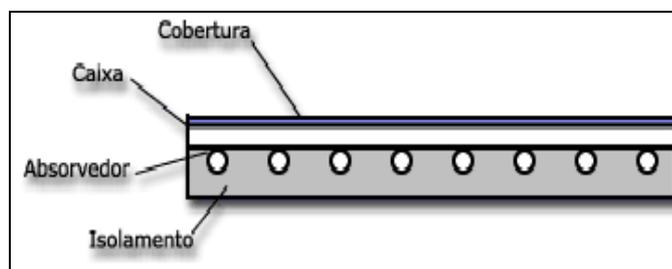


Figura 2.11 – Constituição dum colector plano [30]

Nestas gamas de temperatura, existe uma tecnologia bem desenvolvida e madura, tanto no caso dos colectores assim como nos depósitos de armazenamento de água quente, onde existem regras de arte bem precisas para o dimensionamento e instalação de sistemas solares destinados a estas aplicações. [31]

Os sistemas solares mais utilizados para aquecimento solar de águas sanitárias, no sector doméstico são:

- *monoblocos* - sistemas compactos em que a captação e o armazenamento formam uma unidade, com ou sem utilização de bomba circuladora; estes sistemas destinam-se a satisfazer as necessidades de água quente de uma família.
- *sistemas colectivos* - que servem mais do que uma família num mesmo edifício.

Independentemente da sua dimensão, os componentes básicos de um sistema solar para aquecimento de águas são os seguintes:

- *Captador* - um ou mais colectores que transformam a radiação solar incidente em energia térmica, mediante aquecimento do fluido de transferência de calor que nele(s) circula.
- *Armazenamento* - um depósito que acumula a água quente até que esta seja necessária para consumo.
- *Permutador* - efectua a transferência da energia térmica captada pelos colectores (circuito primário) para a água quente de consumo (opcional).
- *Circuito hidráulico* - tubagens, bombas, válvulas, etc..
- *Regulação e controlo* - elementos mecânicos e electromecânicos que asseguram o correcto funcionamento da instalação.
- *Apoio energético* - para fazer face a períodos de menor insolação ou sem Sol, é utilizado um equipamento convencional de apoio (caldeiras, termoacumuladores, resistência eléctrica) que deve, no entanto, ser instalado de forma a dar sempre prioridade ao bom funcionamento do sistema solar.

A figura seguinte mostra a integração dos diversos componentes num sistema solar.

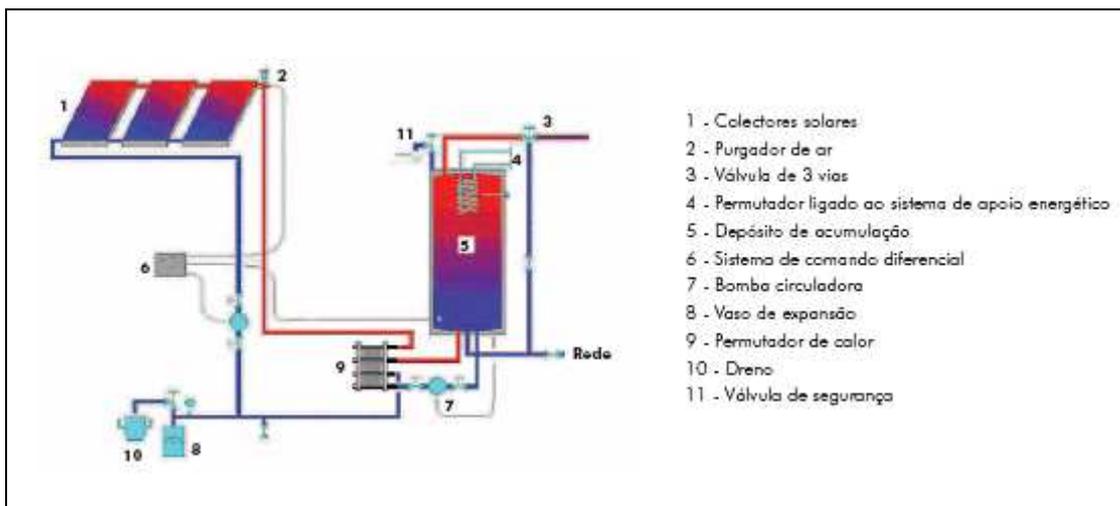


Figura 2.12 – Constituição dum sistema solar térmico [28]

2.2.3. NORMAS APLICÁVEIS

Em Portugal existem, desde 1985, Normas Portuguesas para o Ensaio de Colectores Solares (NP 1802) e inclusivamente uma Norma de Segurança de instalações solares (NP 1803). Estas Normas foram desenvolvidas no âmbito da Comissão Técnica CT 54 – Colectores Solares.

Desde meados dos anos 90 que se desenvolve trabalho a nível Europeu para o estabelecimento de Normas Europeias que foram aprovadas em 2000.

A estruturação das normas foi feita em três grandes grupos:

- Colectores
- Sistemas tipo “kit”, designados por “*factory made systems*”
- Sistemas “feitos por medida”, designados por “*custom built systems*”

Esta estruturação resulta de, por um lado, o colector se apresentar como o componente mais importante do sistema solar, por outro lado, a existência de duas formas distintas de mercado de sistemas solares, uma normalmente associada a pequenos sistemas, comercializados sob a forma de “kits”, mais divulgados na Europa do Sul, e outra associada a sistemas de maior dimensão, “feitos por medida” porque são desenhados especificamente para cada caso e utilizando como componentes colectores e depósitos, muitas vezes de fabricantes distintos.

No Quadro 2.7 é apresentado resumidamente o conteúdo das normas de ensaio para colectores e sistemas. Em qualquer dos casos as normas de ensaio podem dividir-se em dois grupos:

- Normas para determinação do comportamento térmico dos componentes (colector e depósito) ou do sistema;
- Normas de qualificação dos componentes (colector) ou de verificação de aspectos de segurança e boa prática na instalação (sistema)

Quadro 2.7 – Normas Europeias para Sistemas Solares Térmicos e Componentes [29]

Grupo	Normas de requisitos	Normas de Ensaios
Colectores	EN 12975-1: Thermal solar systems and components – Collectors Part 1: General Requirements	EN 12975-2: Thermal solar systems and components – Collectors Part 2: Test Methods
Sistemas “Factory Made”	EN 12976-1: Thermal solar systems and components – Factory made systems Part 1: General Requirements	EN 12976-2: Thermal solar systems and components – Factory made systems Part 2: Test Methods
Sistemas “Custom Built”	EN 12977-1: Thermal solar systems and components – Custom Built systems Part 1: General Requirements	EN 12977-2: Thermal solar systems and components – Custom Built systems Part 1: Test methods

Na Norma EN 12975-2, que contém as normas de ensaio de colectores, interessa destacar os métodos de ensaio para determinação do rendimento dos colectores. O aspecto inovador contido neste documento em relação às normas ISO 9806-1 e ISO 9806-3, surge na introdução de um novo método de ensaio de colectores, designado por método quasi-dinâmico. Neste ensaio pretende-se caracterizar o colector quanto ao rendimento, determinando em simultâneo os diferentes parâmetros de que este depende: rendimento óptico para incidência normal e modificador de ângulo, perdas térmicas, influencia do vento no rendimento do colector, assim como capacidade térmica do colector.

2.2.4. INTEGRAÇÃO EM EDIFÍCIOS

A instalação dum sistema solar térmico envolve, além das questões de custos e rentabilidades, questões arquitectónicas pois estes sistemas integram alguns equipamentos em locais que podem ficar visivelmente transformados. Torna-se então necessário que sejam tomadas medidas que minimizem os impactos arquitectónicos gerados.

O sistema pode instalar-se respeitando a inclinação do telhado da casa (isto minimiza o impacto visual do sistema na arquitectura do imóvel), assegurando um ângulo mínimo de 8°.

A instalação de sistemas do tipo monobloco é a opção que, em princípio, se apresenta como a mais prática para habitações unifamiliares. A simplicidade de instalação em terraços e telhados orientados a Sul e a integração do depósito e do colector numa unidade compacta são vantagens importantes deste tipo de sistema. Nos casos em que esta opção de sistema monobloco não seja exequível, tanto em termos de instalação como em termos estéticos, a opção mais adequada deverá ser a utilização de sistemas não compactos (colectores e depósito separados). [27]

2.2.5. CERTIFICAÇÃO E GARANTIAS

A certificação é um processo que permite dar uma maior garantia ao utilizador final, visto que o produto certificado apresenta características de qualidade comprovada relativamente a produtos não certificados, designadamente:

- o produto foi sujeito a ensaios rigorosos e passou nos critérios de aceitação/rejeição da norma de requisitos;
- a produção é controlada através de um sistema implementado pelo fabricante e inspeccionado pela entidade certificadora, o que garante que o produto ensaiado é representativo do produto colocado no mercado pelo fabricante.

Os utilizadores destes equipamentos devem escolher apenas dentre colectores certificados que correspondem a equipamento que foi ensaiado em laboratório acreditado e cuja continuada qualidade de produção é assegurada por ensaios periódicos de unidades seleccionadas aleatoriamente pelo *CERTIF*, uma entidade integrada no Sistema Português de Qualidade. [32]

Para contribuir para a sustentabilidade do mercado e uma nova imagem do produto, os profissionais credenciados do sector só instalam equipamentos certificados e oferecem garantias de 6 anos, contra todos os defeitos de fabrico e de instalação, incluindo a manutenção dos equipamentos instalados durante o mesmo período.

3

BASE DE DADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A fim de se obter uma análise mais fidedigna das necessidades energéticas das habitações, recorreu-se ao estudo de diversos projectos de Térmica de Edifícios, que constituíram a base de dados deste estudo.

A base de dados é então constituída por um conjunto de 5 habitações unifamiliares e 12 habitações multifamiliares.

No caso das fracções autónomas das habitações multifamiliares (apartamentos), estas foram inicialmente estudadas para uma situação em que se considerou que estas se situavam num piso intermédio, para posteriormente fazer-se variar a sua localização relativa no edifício para a cobertura e para o piso térreo, de modo a se obter uma série de resultados que abranjam a totalidade de situações de necessidades energéticas que podem ocorrer num apartamento. Sendo assim os 12 apartamentos transformam-se em 36 tendo então a base de dados um total de 41 fracções autónomas (36+5).

De referir que os projectos de térmica de edifícios das fracções analisados estavam de acordo com o antigo RCCTE, e foi necessário efectuar numa primeira fase, novas medições e tecer algumas considerações que foram aplicadas de igual forma a todas as fracções, de modo a poder efectuar-se o estudo de desempenho térmico à luz do novo RCCTE.

Como o número de fracções a estudar era vasto, tornou-se necessário dividi-las por 5 alunos com temas de projectos semelhantes, de forma a agilizar o processo. No final das respectivas análises, a informação foi partilhada entre todos.

Os desenhos esquemáticos das fracções autónomas que se encontram no Anexo 2, têm um determinado tipo de designação que identifica, o autor através das suas iniciais. Desse modo:

- PP – Pedro Pinto
- PT – Patrícia Torres
- FF – Filipe Freitas
- NF – Nuno Fernandes
- FE – Francisco Esteves

Numa segunda fase, e já com a informação de todas as fracções autónomas constituintes da base de dados disponível, efectuaram-se as simulações adequadas ao objectivo do estudo.

3.2. PARÂMETROS DE REFERÊNCIA

Os valores dos parâmetros de referência adoptados, são apresentadas no Quadro que se segue:

Quadro 3.1 – Parâmetros de referência utilizados

Parâmetros		Valores adoptados
Localidade		Porto
Coef. Transmissão térmico dos elementos exteriores (W/m ² .°C)	Zonas Opacas Verticais	0,6
	Zonas Opacas Horizontais	0,45
Coef. Transmissão térmico dos elementos interiores (W/m ² .°C)	Zonas Opacas Verticais	1,2
	Zonas Opacas Horizontais	0,9
Coef. Transmissão térmico dos envidraçados (W/m ² .°C)		3,3
Coef. Transmissão térmico de pontes térmicas planas (W/m ² .°C)		1,2
Coef. Transmissão térmico das portas (W/m ² .°C)		3,5
Coef. Transmissão térmico linear, ψ (W/m ² .°C)		0,5
τ		0,7
Tipo de Ventilação		Natural
Taxa de renovação horária (r.p.h.)		0,85
Tipo de Vidro		Duplo Incolor
Factor Solar do Vidro, g		0,75
Factor de sombreamento no horizonte, F_h		1
Fracção envidraçada, F_g		0,7
Inércia térmica interior (kg/m ²)		Forte - 3
Coef. absorção da superfície externa da parede, α		0,4
Tipo de protecção do Vidro		Estore pelo exterior – 0,04

4

ESTUDO DE SENSIBILIDADE

4.1. OBJECTIVOS

O incremento de isolamento térmico da envolvente duma habitação, reduz as necessidades energéticas da habitação, o que implica menores gastos por parte dos consumidores na factura energética anual. No entanto, esta melhoria só se torna economicamente rentável para o consumidor, a partir do momento em que os custos do investimento inicial duma solução termicamente superior, sejam inferiores à poupança acumulada que a diferença de consumos energéticos entre as diferentes soluções construtivas proporciona.

A resistência térmica dos elementos construtivos é especialmente condicionada pela espessura dos isolantes térmicos que fazem parte da sua composição. Por isso, importa avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista económico, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (cuja composição se verá mais adiante) com os custos de exploração (consumo de energia).

É de realçar, que o custo crescente da energia pode fazer com que o investimento inicial seja mais rapidamente amortizado, e numa perspectiva de custo global, mais económico.

4.1.1. ANÁLISE DO CUSTO GLOBAL

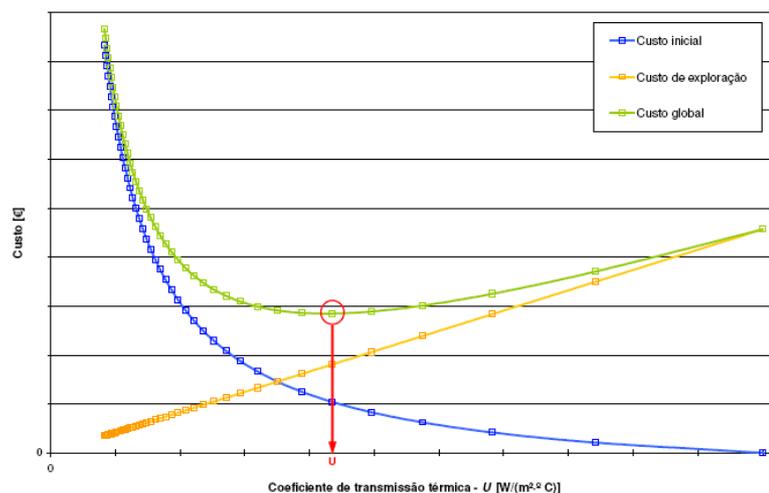


Figura 4.1 – Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica [1]

“A redução do coeficiente de transmissão térmica, resultante do aumento da espessura de isolamento térmico, corresponde a um crescente investimento inicial e por seu lado a menores consumos energéticos durante a exploração a habitação. A partir do valor mínimo da curva de custos globais é possível identificar o valor do coeficiente de transmissão térmico que traduz a espessura de isolamento térmico economicamente mais vantajosa.” [1]

Nos próximos pontos, é apresentada a definição dos diferentes custos associados ao incremento de isolamento da envolvente opaca, assim como as diferentes considerações adoptadas.

4.1.1.1. Custo Global, C_g

O Custo Global, tal como foi referido anteriormente, resulta da soma dos Custos Iniciais com os Custos de Exploração para um horizonte temporal considerado de 25 anos.

$$C_g = C_o + C_{exp} \quad [€] \quad (9)$$

em que,

- C_g – Custo Global do incremento de isolamento térmico da envolvente opaca;
- C_o – Custo Inicial da solução adoptada que resulta da composição do custo do isolamento térmico escolhido com os custos inerentes à perda de área habitável (no caso de paredes duplas) e também com os custos do contorno do vão;
- C_{exp} – Custo de Exploração que corresponde as necessidades de aquecimento do ambiente interior associado à solução adoptada.

Neste estudo os custos de manutenção não foram incluídos, mas deverão ser tidos em conta num estudo mais aprofundado, pois quanto maior for o incremento de isolamento térmico, maiores serão os gastos em trabalhos de limpeza e pequenas reparações.

4.1.1.2. Custo Inicial, C_o

O custo inicial, como já foi referido, é o custo que a implementação de cada solução acarreta (investimento no ano 0).

O custo inicial varia de solução para solução de acordo com os materiais e técnicas empregues e, dentro da mesma solução, de acordo com o Nível de Qualidade (definido mais à frente) exigido, que está por sua vez relacionado com a espessura do isolamento térmico a aplicar e o seu respectivo valor comercial. Todos os custos iniciais que serão descritos de seguida, têm como referência um determinado nível de qualidade, que corresponde ao valor do coeficiente de transmissão térmico de referência previsto no RCCTE.

No caso duma solução construtiva de parede dupla, existe um **custo derivado da perda de área habitável**, que não pode ser desprezado e que se contabilizou da seguinte forma:

$$C_{perda\ de\ área} = k \times P_m \times esp_{isol} \quad [€] \quad (10)$$

em que,

- $C_{\text{perda de área}}$ – Custo da perda de área habitável;
- k – Valor médio por m² duma habitação na cidade do Porto – 1500€/m²;
- P_m – Perímetro médio das habitações que constituem a base de dados, fazendo a distinção entre apartamentos e moradias;
- $esp_{\cdot\text{isol}}$ – diferença de espessura de isolamento térmico da solução adoptada em relação à situação inicial de referência.

O **custo do contorno do vão** foi contabilizado tendo em conta um valor médio por m² (medido em planta no caso dos peitoris e padieiras e em corte no caso das ombreiras) de cada um dos elementos que constitui um vão envidraçado, nomeadamente peitoril, ombreira, e padieira. Estes valores incluem todos os trabalhos e materiais necessários à realização dos ditos elementos construtivos e foram determinados.

Assim admitiu-se que:

- Custo médio peitoril: 100 €/m²;
- Custo médio ombreira: 50 €/m²;
- Custo médio padieira: 100 €/m².

Ao multiplicar os custos médios dos elementos dum vão envidraçado pela espessura de isolamento adoptada de acordo com o Nível de Qualidade pretendido, e por último com o valor médio da dimensão respectiva dos envidraçados existente numa habitação (recorrendo à base de dados e novamente fazendo a distinção entre moradias e apartamentos), obtém-se o custo do contorno do vão.

Como as base de dados contém inúmeros tipos de envidraçados, e de modo a obter-se uma uniformização de resultados, considerou-se como dimensões representativas do vão envidraçado aplicável a todas as habitações: 1,50 x 1,80 m².

Dando o exemplo da metodologia utilizada para o cálculo do custo do peitoril, de forma a tornar a explicação deste custo mais perceptível, temos que, para a obtenção do custo do contorno do vão referente aos peitoris nas moradias, efectuou-se o seguinte cálculo:

$$C_{\text{peitoril}} = k \times esp_{\cdot\text{isol}} \times l_{\text{médio}} \quad [€] \quad (11)$$

onde,

- k – custo médio do peitoril – 100 €/m²;
- $esp_{\cdot\text{isol}}$ – espessura de isolamento térmico da fachada de acordo com o Nível de Qualidade Térmica pretendido;
- $l_{\text{médio}}$ – comprimento médio do peitoril das habitações unifamiliares que constituem a base de dados, obtido através da divisão da área de envidraçado existente na habitação pela dimensão (1,80 m) do envidraçado tipo.

Aplicando o mesmo procedimento com as necessárias adaptações, para os diferentes elementos que constituem o contorno do vão, e somando os diferentes custos no final, obtém-se o custo do contorno do vão.

4.1.1.3. Custo de Exploração, C_{EXP}

Para o cálculo da parcela do custo de exploração, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$C_{EXP} = Nic_{m\u00e9dio} \times C_e \times A_{m\u00e9dia} \quad [€/ano] \quad (12)$$

sendo que,

- $Nic_{m\u00e9dio}$ – valor m\u00e9dio das necessidades nominais de aquecimento das frac\u00e7\u00f5es aut\u00f3nomas que constam da base de dados, obtidas a partir das folhas de c\u00e1lculo do RCCTE e que se encontram no Anexo 3 para an\u00e1lise mais pormenorizada [kWh/m².ano];
- C_e – custo do kWh para determinado tipo de energia (ser\u00e1 analisado mais \u00e0 frente) [€/kWh]
- $A_{m\u00e9dia}$ – \u00e1rea m\u00e9dia para cada tipo de habita\u00e7\u00e3o (moradia ou apartamento), de acordo com os dados constantes da base de dados [m²]

4.1.1.4. Coeficiente de Transmiss\u00e3o Térmica (U)

O coeficiente de transmiss\u00e3o térmica de um elemento, \u00e9 um par\u00e2metro definidor do comportamento térmico de cada elemento de constru\u00e7\u00e3o, que exprime o fluxo de calor que atravessa o elemento, por unidade de \u00e1rea e por \u00b0C de diferen\u00e7a entre o exterior e o interior. Este coeficiente \u00e9 representado pela letra U e a unidade \u00e9 o W/(m².\u00b0C).

O RCCTE apresenta para o coeficiente de transmiss\u00e3o térmica, dois valores a ter em conta aquando da execu\u00e7\u00e3o de projectos:

- U_{max} – valores m\u00e1ximos admiss\u00edveis;
- U_{ref} – valores de refer\u00eancia.

Os valores m\u00e1ximos s\u00e3o importantes para ajudar no controlo de condensac\u00f5es superficiais. Os valores de refer\u00eancia, que ser\u00e3o utilizados neste estudo, n\u00e3o s\u00e3o obrigat\u00f3rios mas pretendem ser um indicativo sobre a qualidade m\u00ednima do ponto de vista térmico da envolvente dos edif\u00edcios.

Por forma a encontrar um crit\u00e9rio objectivo que permita uma segmenta\u00e7\u00e3o de patamares de qualidade térmica da envolvente dos edif\u00edcios, atendeu-se \u00e0 Nota de Informa\u00e7\u00e3o Técnica 001 do LFC [33], que define quatro n\u00edveis de qualidade térmica para o U dos elementos em fun\u00e7\u00e3o dos valores de refer\u00eancia (U_{ref}) preconizados no RCCTE.

Quadro 4.5 – N\u00edveis de Qualidade Térmica da envolvente opaca [33]

N\u00edvel de Qualidade Térmica	Limites de U
N1	$U = U_{ref}$
N2	$U = 0,75 \times U_{ref}$
N3	$U = 0,6 \times U_{ref}$
N4	$U = 0,5 \times U_{ref}$

No Quadro que se segue, apresentam-se os valores do coeficiente de transmiss\u00e3o térmica dos diferentes elementos da envolvente opaca, calculados de acordo com os n\u00edveis de qualidade definidos no Quadro anterior.

Quadro 4.6 – Coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) dos diferentes elementos da envolvente, em função do nível de qualidade térmica

Elemento da Envolvente Opaca		Nível de Qualidade			
		N1	N2	N3	N4
		U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]			
Exterior	Vertical	0,60	0,45	0,36	0,30
	Horizontal	0,45	0,34	0,27	0,23
Interior	Vertical	1,20	0,90	0,72	0,60
	Horizontal	0,90	0,68	0,54	0,45
Pontes térmicas planas		1,20	0,90	0,72	0,60
Portas		3,50	2,63	2,10	1,75

4.1.1.5. Custo da Energia

Este estudo considera apenas os consumos energéticos para aquecimento do ambiente anterior (Nic), pois os valores referentes ao arrefecimento (Nvc) são substancialmente inferiores aos primeiros, e portanto considerados desprezáveis para os cálculos referentes a este estudo.

Considerou-se inicialmente apenas o recurso a sistemas eléctricos com uma eficiência nominal de 100%, para numa fase posterior estender-se este estudo a sistemas de gás natural, com uma eficiência nominal igualmente de 100%.

As projecções económicas feitas pelas entidades especializadas alcançam poucos anos no futuro e frequentemente verificam-se afastadas da realidade (basta lembrar as projecções do PIB ou do preço do petróleo). Daí que para este estudo foi necessário proceder a previsões mais ou menos grosseiras do preço da energia para um horizonte temporal de 25 anos. Para essa previsão, e dado que são inúmeros os factores que podem fazer variar os preços da energia procedeu-se à indexação da variação desse preço à taxa de variação anual da inflação com base em dados dos últimos anos.

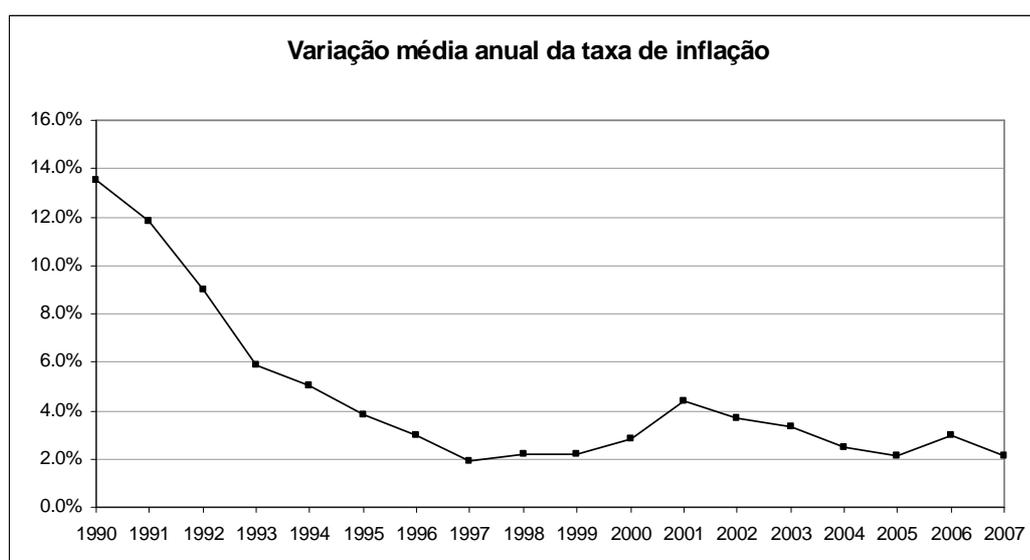


Figura 4.2 – Variação anual da taxa de inflação em Portugal nos últimos anos, de acordo com o Eurostat [34]

Na Figura 4.2, é apresentada a variação anual da taxa de inflação em Portugal nos últimos anos (1990-2007) sendo que o valor de 2007, à data de realização deste estudo representava ainda uma previsão do Governo não tendo ainda sido validado pelo INE (Instituto Nacional de Estatística). A partir da análise do gráfico verifica-se uma tendência de normalização nos últimos dez anos da taxa de inflação, rondando os 2,5% – 3%.

Assim, para as projecções efectuadas tendo um horizonte temporal de 25 anos, considerou-se uma taxa de crescimento anual do preço da energia de **2,5%**.

De salientar que esta previsão não está desfasada da evolução no passado do preço da energia. Para tal dá-se o exemplo da tarifa da energia eléctrica que se apresenta na figura seguinte.

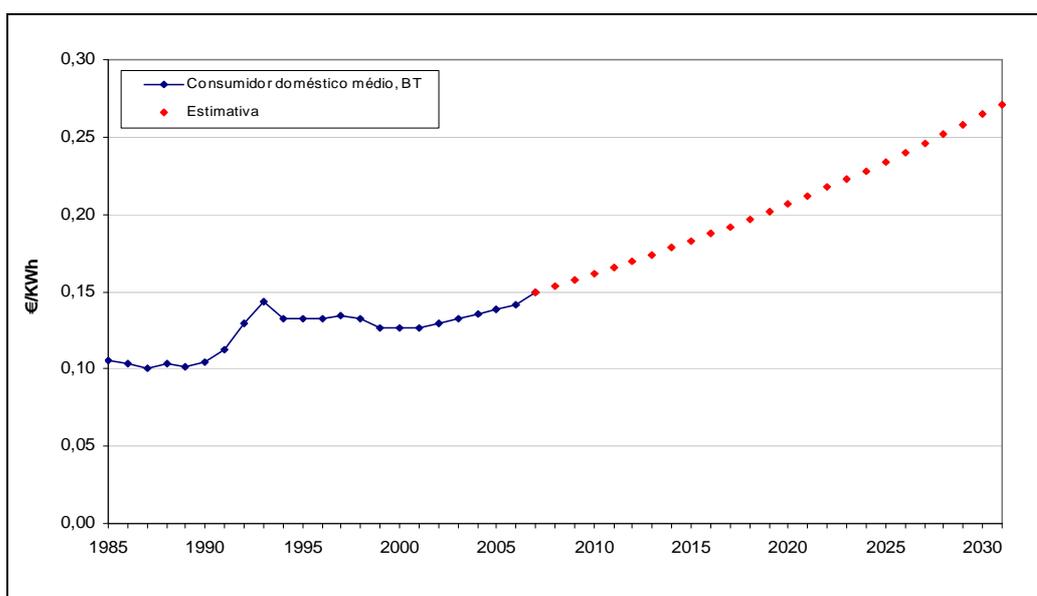


Figura 4.3 – Evolução do preço de aquisição de energia eléctrica para um consumidor doméstico - tipo DC (baixa tensão)

Na figura anterior, é apresentada a evolução do preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumidores domésticos (baixa tensão) – tipo DC, entre 1985 e 2007 de acordo com o Eurostat, e as previsões de evolução do preço desta energia para o futuro. Ao adoptar-se o valor de 2,5% para a taxa de crescimento anual do preço da energia, verifica-se que esta não se distancia muito da tendência de evolução das tarifas dos últimos anos para este tipo de energia eléctrica.

De realçar, que os valores apresentados representam somente um cenário possível, não devendo por isso ser tomados como vinculativos.

No caso do preço do Gás Natural atendeu-se à tarifa indicada pela empresa Portgás para a denominada Tarifa Natural 3, mais indicada para utilizações domésticas (cozinha + águas quentes sanitárias + aquecimento central) em Dezembro de 2006. O valor considerado foi 0,077 €/kWh. Tal como para o caso da electricidade foi aplicada uma taxa de crescimento anual do **2,5%** para um horizonte temporal de 25 anos.

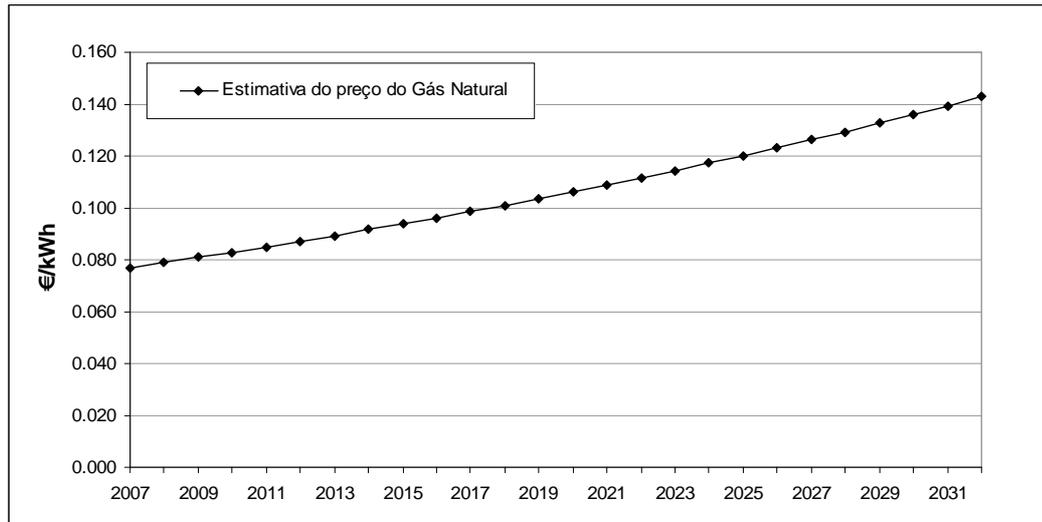


Figura 4.4 – Estimativa de evolução do preço de aquisição de Gás Natural – tarifa natural 3 da Portugás

4.2. ESTUDO TÉCNICO-ECONÓMICO DO AUMENTO DA ESPESSURA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DA ENVOLVENTE OPACA

4.2.1. PRINCÍPIO

Neste trabalho foram estudadas 3 soluções construtivas para o caso das paredes de fachada:

- Parede dupla;
- Parede simples com sistema de fachada ventilada;
- Parede simples com sistema tipo ETICS.

No caso das coberturas foi estudada apenas a solução que corresponde a uma cobertura horizontal (em terraço) com a camada de isolamento térmico sobre a impermeabilização, definindo uma solução correntemente designada de cobertura invertida.

No caso dos pavimentos foi estudado igualmente uma única solução construtiva denominada de pavimento sobre espaço interior não aquecido com isolamento térmico pelo exterior.

Para cada uma destas soluções foi simulada a aplicação de 3 tipos de isolamento térmico, nomeadamente: Poliestireno Extrudido (XPS), Poliestireno Expandido (EPS), e Lã Mineral. De notar que nos casos da parede simples com sistema ETICS apenas se considerou adequada a aplicação de EPS, e no casos da cobertura invertida apenas o XPS, tal como está previsto no ITE 50 do LNEC. [33]

Foram escolhidos apenas 3 tipos de isolamentos térmicos de forma a ‘balizar’ em certa medida este trabalho, pois a variedade de isolamentos térmicos existentes no mercado é ampla e além do mais foram escolhidos estes isolamentos pois considerou-se serem representativos da realidade da construção civil em Portugal.

De seguida, apresenta-se a constituição mais detalhada de cada uma das soluções construtivas e também os valores do coeficiente de transmissão térmica correspondentes aos Níveis de Qualidade Térmica da envolvente opaca (N1 a N4) definidos anteriormente, que resultam da variação da espessura de cada tipo de isolamento térmico:

De referir ainda que, apesar do ITE 50 não prever, no caso dos isolantes térmicos escolhidos determinadas condutibilidades térmicas que são empregues nos cálculos subsequentes, estas foram mesmo assim utilizadas, pois correspondem aos valores declarados pelos fabricantes.

- **Parede Dupla**

Considerou-se que as paredes duplas apresentam a seguinte composição:

- Revestimento exterior aderente (reboco, pedra, ...);
- Pano exterior em alvenaria de tijolo ($e \geq 150$ mm);
- Espaço de ar com drenagem ($e \geq 15$ mm);
- Isolante térmico fixado ao pano interior;
- Pano interior em alvenaria de tijolo ($e \geq 110$ mm);
- Revestimento interior.

Quadro 4.7 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U, em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes duplas

	XPS		EPS		Lã Mineral	
	Esp. (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Esp. (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Esp. (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
N1	30	0,57	30	0,57	30	0,57
N2	50	0,43	50	0,43	50	0,43
N3	70	0,34	70	0,34	70	0,34
N4	80	0,31	80	0,31	80	0,31

- **Sistema de fachada ventilada**

Considerou-se que as paredes simples com isolamento pelo exterior apresentam a seguinte configuração:

- Acabamento exterior de fachada ventilada;
- Espaço de ar ventilado ($e \geq 20$ mm);
- Isolante térmico;
- Pano em alvenaria de tijolo ($e \geq 220$ mm);
- Revestimento interior.

Quadro 4.8 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U, em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes simples – sistema de fachada ventilada

	XPS		EPS		Lã Mineral	
	Espessura (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Espessura (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Espessura (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
N1	30	0,59	30	0,59	30	0,59
N2	50	0,44	50	0,44	50	0,44
N3	70	0,35	70	0,35	70	0,35
N4	90	0,29	90	0,29	100	0,27

- **Sistema ETICS**

Considerou-se que as paredes simples com isolamento térmico pelo exterior com revestimento aplicado sobre o isolante (ETICS) apresentam a seguinte configuração:

- Revestimento exterior aderente;
- Isolante térmico;
- Pano em alvenaria de tijolo ($e \geq 220$ mm);
- Revestimento interior.

Quadro 4.9 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U, em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das paredes simples – sistema ETICS

EPS		
	Espessura (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
N1	30	0,61
N2	50	0,45
N3	70	0,36
N4	90	0,30

- **Cobertura Horizontal (em terraço) – cobertura invertida**

Considerou-se que as coberturas horizontais (em terraço) apresentam a seguinte configuração:

- Protecção exterior da cobertura;
- Geotêxtil;
- Isolamento térmico;
- Sistema de impermeabilização;
- Camada de forma;
- Estrutura resistente (laje maciça ou aligeirada);
- Revestimento interior.

Quadro 4.10 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U, em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso das coberturas invertidas

XPS		
	Espessura (mm)	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
N1	60	0,47
N2	80	0,34
N3	100	0,26
N4	130	0,23

- **Pavimento sobre espaço interior não aquecido (isolamento exterior)**

Considerou-se que os pavimentos sobre espaços não úteis, com isolamento pelo exterior, apresentam a seguinte configuração:

- Revestimento exterior;
- Espaço de ar;
- Isolamento térmico;
- Estrutura de suporte;
- Camada de forma;
- Revestimento de piso.

Quadro 4.11 – Espessura de isolamento e respectivo valor de U, em função do Nível de Qualidade e do tipo de isolamento aplicado no caso dos pavimentos com isolamento pelo exterior

	XPS		EPS		Lã Mineral	
	Espessura (mm)	U (W/m2.°C)	Espessura (mm)	U (W/m2.°C)	Espessura (mm)	U (W/m2.°C)
N1	60	0,47	60	0,47	60	0,47
N2	80	0,34	80	0,34	80	0,34
N3	110	0,27	110	0,27	110	0,27
N4	130	0,23	130	0,23	130	0,23

Para cada combinação de soluções construtivas (parede + cobertura + pavimento), é feita uma projecção dos respectivos custos globais num horizonte temporal de 25 anos, para diferentes níveis de exigência de qualidade térmica da envolvente opaca.

Como as combinações possíveis são vastas, e os resultados a que dariam origem seriam extensos, optou-se por apresentar somente os resultados dos custos globais da combinação de soluções construtivas mais económica e da mais dispendiosa, em termos de investimento inicial. Esta caracterização, será analisada com maior detalhe mais à frente.

De salientar que neste estudo, foi necessário distinguir os dados referentes às moradias, dos dados referentes aos apartamentos, pois estes apresentam características diferentes que se reflectem em necessidades energéticas distintas. Por esse motivo, para cada solução construtiva são apresentados pares de gráficos, representando em separado, moradias e apartamentos.

Com os custos globais obtidos para estas combinações é feita uma análise técnico económica comparativa e tiradas as respectivas conclusões.

4.2.2. CUSTO INICIAL

Apresentam-se neste ponto, os resultados que representam os custos iniciais das diferentes soluções construtivas de acordo com o nível de qualidade térmica pretendido.

Numa primeira fase serão analisados os custos relacionados com os isolamentos térmicos, de seguida os custos relacionados com o contorno do vão, e por último os custos derivados da redução de área habitável.

4.2.2.1. Custo dos Isolamentos Térmicos

De seguida, apresentam-se os diferentes tipos de isolamentos escolhidos assim como as respectivas características e preços de venda ao público fornecidos pelos fabricantes (IVA incluído).

Quadro 4.1 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para fachadas [35, 36]

Designação comercial	Espessura das placas (mm)	Preço de venda (€/m ²)
"XPS FIBRAN ECO WL" da <i>Iberfibran</i>	30	5,99
	50	9,98
	70	13,98
	80	15,97
	90	17,96
"EPS 150" da <i>Sotecnisol</i>	30	4,10
	50	6,84
	70	9,57
	80	10,94
	90	12,31
Lã mineral "PN 55" da <i>Sotecnisol</i>	30	3,55
	50	5,92
	70	8,34
	80	9,51
	100	11,91

Quadro 4.2 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para coberturas [36]

Designação comercial	Espessura das placas (mm)	Preço de venda (€/m ²)
"XPS FIBRAN ECO RF" da <i>Iberfibran</i>	30	6,21
	40	8,28
	50	10,35
	60	12,42
	70	14,49
	80	16,57

Quadro 4.3 – Preços de venda dos isolamentos térmicos para pavimentos [35, 37]

Designação comercial	Espessura das placas (mm)	Preço de venda (€/m ²)
"Floormate 200" da <i>Dow</i>	60	15,52
	80	20,68
	110	28,42
	130	33,54
	60	10,20
"EPS 150" da <i>Sotecnisol</i>	80	12,94
	110	17,05
	130	19,79
	60	14,36
Lã mineral "LF 110" da <i>Sotecnisol</i>	80	16,76
	110	21,55
	130	26,34

No Quadro que segue, apresenta-se um resumo das características técnicas de cada um dos isolamentos térmicos utilizados. De referir que todos estes valores foram retirados a partir das fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes e a ausência de informação em alguns campos é da responsabilidade dos mesmos.

Quadro 4.4 – Características técnicas dos isolantes térmicos [35, 36, 37]

Isolamento Térmico	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Resistência à Compressão (kPa)	Resistência à difusão do vapor de água (μ)	Densidade nominal (kg/m ³)
XPS Fibran Eco WL	0,035	> 200	-	-
XPS Fibran Eco RF	0,036	> 300	-	-
EPS 150	0,035	150	30 - 70	-
Lã de Rocha Painel PN 55	0,035	-	1,3	55
Lã de Rocha B50	0,035	-	1,3	150
Lã Rocha LF 110	0,035	-	1,3	110
Floormate 200	0,035	200	80 - 180	30

A escolha do fabricante e do próprio isolante térmico foi efectuada, tendo em conta o produto que melhor se adequa ao elemento construtivo em causa e também o facto de o preço de venda ao público ter sido disponibilizado para consulta.

Os valores do investimento inicial necessário para cada solução aumentam, tal como seria de prever, com o aumento da espessura de isolamento necessária para satisfazer o nível de exigência pretendido.

Estes valores apenas têm em conta o isolamento térmico, não estando contabilizado qualquer tipo de trabalhos inerentes à execução deste tipo de transformação da envolvente opaca.

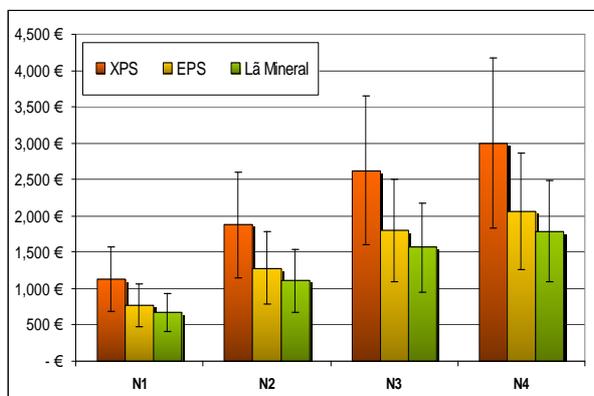


Figura 4.5 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes duplas das moradias

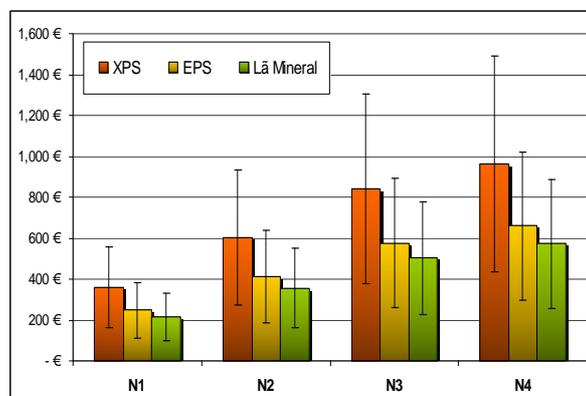


Fig.4.6 – Custo do isolamento em função do nível de qualidade no caso das paredes duplas dos apartamentos

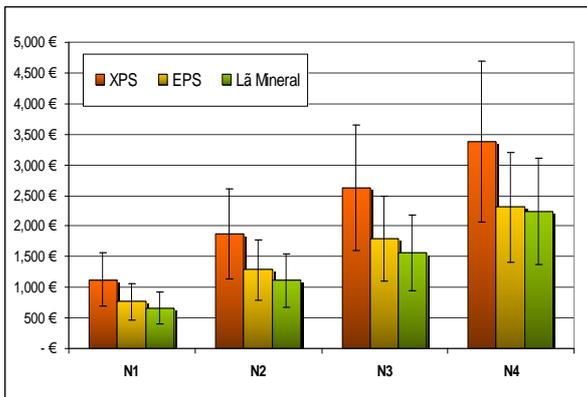


Figura 4.7 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo fachada ventilada das moradias

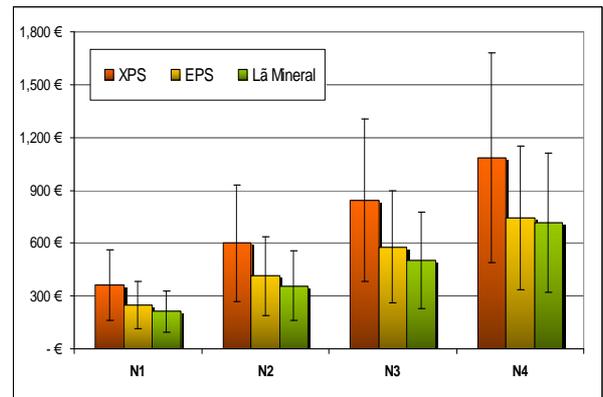


Fig.4.8 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo fachada ventilada dos apartam.

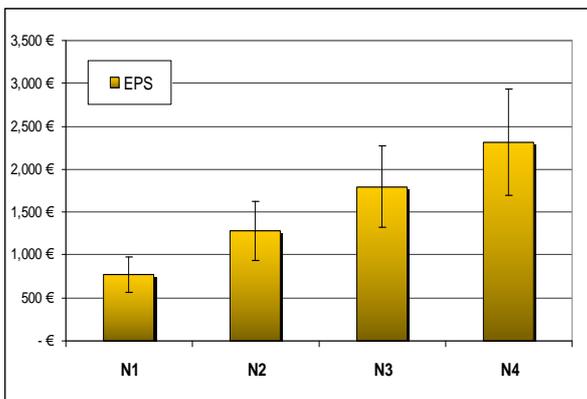


Figura 4.8 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das paredes tipo ETICS das moradias

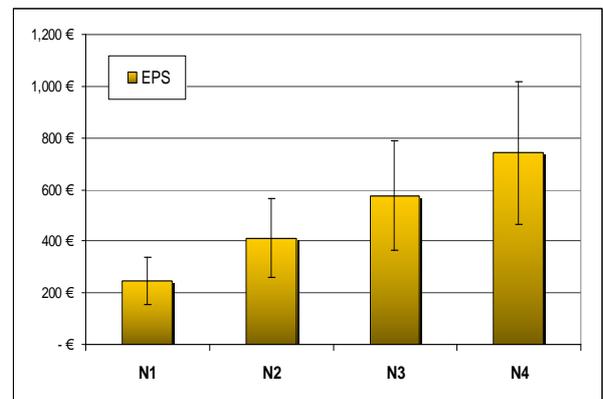


Fig.4.9 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das paredes do tipo ETICS dos apartamentos

A partir destes gráficos e partindo do princípio que os dados fornecidos pelo fabricante ainda são aplicáveis, verifica-se que a utilização de Lã Mineral nas paredes de fachada, nos casos em que a solução construtiva assim o permita (não é adequada a sua utilização nas fachadas do tipo ETICS), é a mais económica.

Constata-se que os preços da Lã Mineral são em média 15% inferiores em relação ao Poliestireno Expandido e 30% inferior ao Poliestireno Extrudido, tornando estes últimos na hipótese mais dispendiosa e menos atractiva do ponto de vista financeiro.

Dando como exemplo a utilização de Lã Mineral em moradias, verifica-se que para o nível de qualidade N1, o custo médio do isolamento das fachadas fica na ordem dos 700 euros enquanto que no extremo oposto para N4 esse custo aumenta para aproximadamente 2000 euros. Já no caso dos apartamentos para o nível N1 o valor seria de 200 euros e para N4, 650 euros.

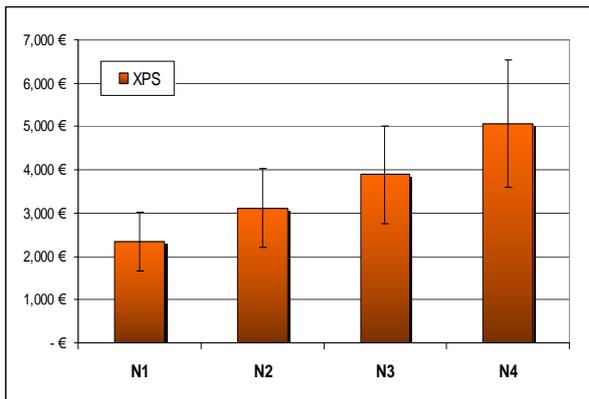


Figura 4.10 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das coberturas das moradias

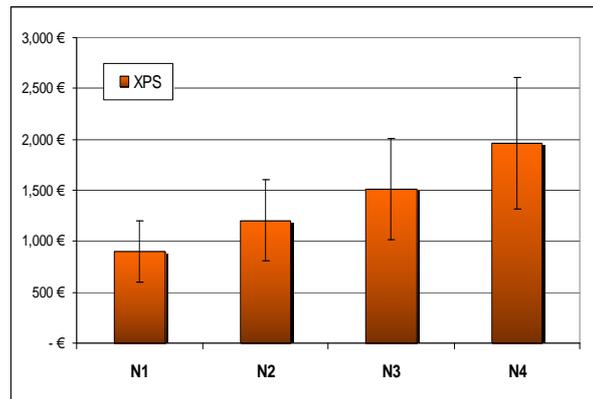


Figura 4.11 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso das coberturas dos apartamentos

Neste caso, como é óbvio, não é possível fazer uma comparação entre os diferentes isolamentos térmicos, pois de acordo com o ITE 50 do LNEC, só está prevista a utilização de Poliestireno Extrudido neste tipo de solução construtiva.

O custo de se alterar o isolamento dum pavimento deste tipo do nível N1 para o nível N4 situa-se aproximadamente nos 2700 euros no caso das moradias e 1000 euros no caso dos apartamentos.

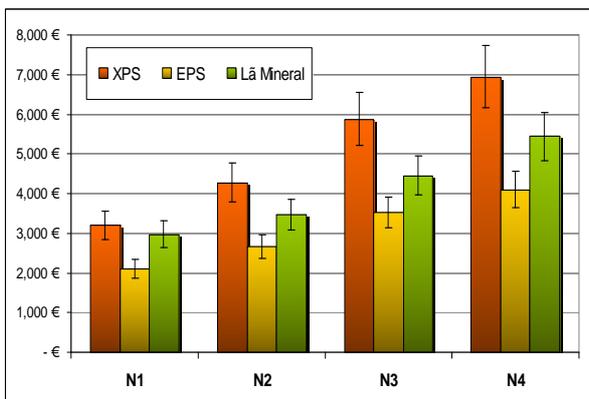


Figura 4.12 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso dos pavimentos das moradias

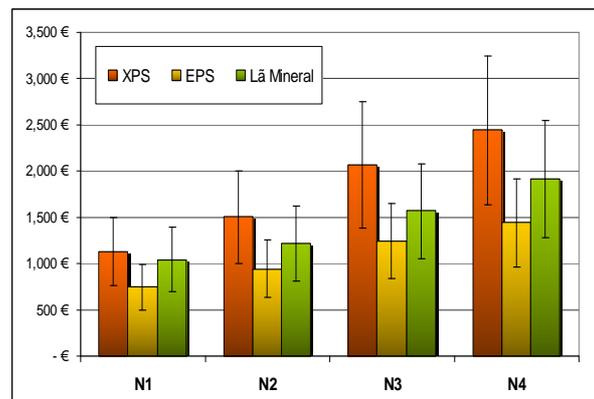


Figura 4.13 – Custo do isolante em função do nível de qualidade no caso dos pavimentos dos apartamentos

No caso dos pavimentos, verifica-se que o isolamento térmico Poliestireno Expandido é cerca de 25-30% mais económico que a Lã Mineral e 35-40% mais económico do que o Poliestireno Extrudido.

Tomando como exemplo, a utilização de EPS para isolamento dos pavimentos, constata-se que o custo alteração de N1 para N4 é de 2000 euros no caso das moradias e de 750 euros no caso dos apartamentos.

Não foi estudada qualquer tipo de solução de pavimento sobre espaços exteriores, pois de acordo com as fracções autónomas que constituem a base de dados, este tipo de solução é praticamente inexistente e desse modo, desprezável para este estudo.

4.2.2.2. Custo do Contorno do Vão

De seguida apresentam-se os gráficos referentes aos custos inerentes ao aumento da espessura dos peitoris, ombreiras e padieiras dos vãos envidraçados. Para esse efeito, foi necessário proceder à medição dos vãos envidraçados das diferentes fracções autónomas que compõem a base de dados, para posteriormente se poder obter valores médios dos seus comprimentos, tanto para as moradias como para os apartamentos. Com estes valores, multiplicando-os pela espessura de isolamento térmico de cada Nível de Qualidade Térmica e pelos preços médios referidos anteriormente, obtém-se o valor total do custo do contorno do vão.

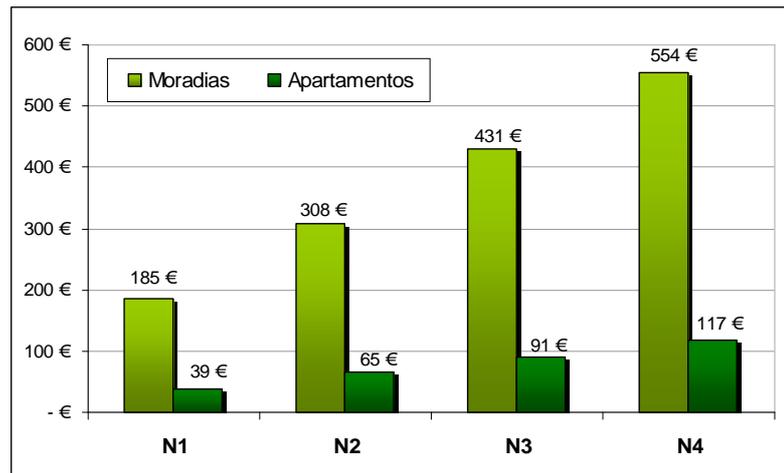


Figura 4.14 – Custo do contorno do vão, em função do nível de qualidade térmica

4.2.2.3. Custo da Perda da Área Habitável

Este custo tal, como foi referido anteriormente, está associado apenas à solução construtiva – parede dupla de fachada – pois nas outras soluções de fachada o aumento da espessura de isolamento é feito sem intervenção no interior da habitação. Ao valor de 1500 €/m², representativo do preço médio por m² numa habitação na cidade do Porto, foi multiplicado o perímetro médio obtido a partir da base de dados tanto das moradias como dos apartamentos.

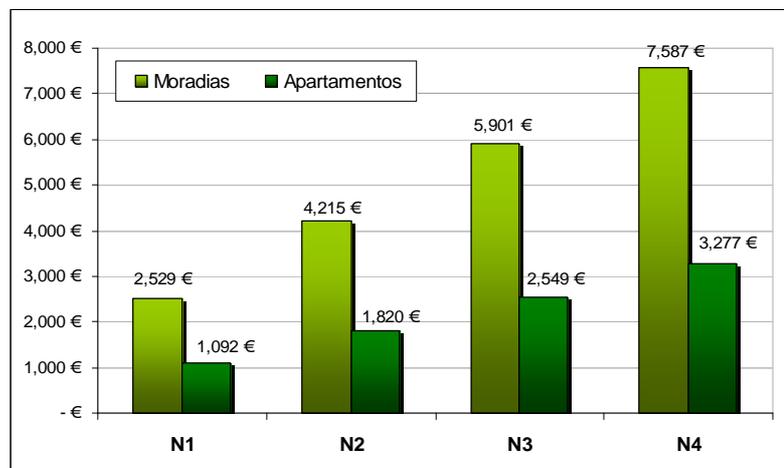


Figura 4.15 – Custo da redução da área habitável, em função do nível de qualidade térmica

4.2.3. CUSTO DE EXPLORAÇÃO

Nos gráficos que se seguem, são apresentadas as necessidades médias anuais de aquecimento para cada um dos Níveis de Qualidade Térmica, obtidas a partir das folhas de cálculo do RCCTE.

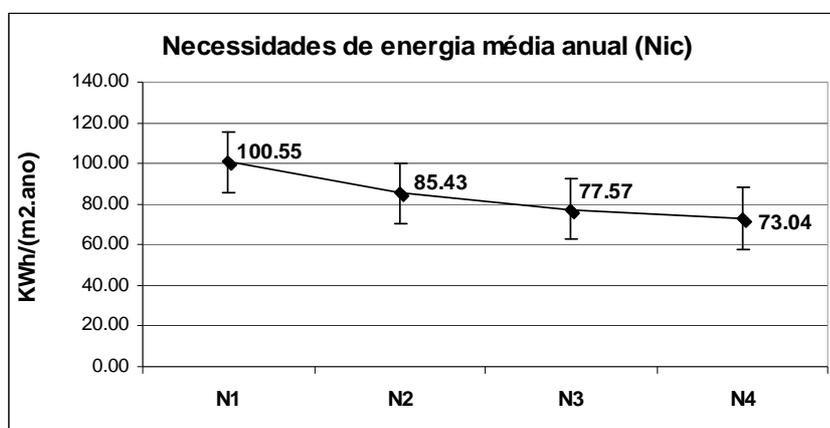


Figura 4.16 – Necessidades nominais de aquecimento médias anuais para cada Nível de Qualidade Térmica, nas moradias

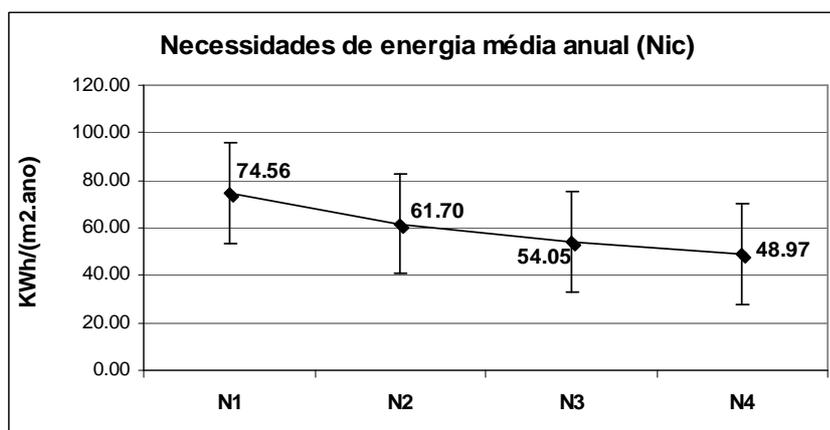


Figura 4.17 – Necessidades nominais de aquecimento médias anuais para cada Nível de Qualidade Térmica, nos apartamentos

É a partir da análise destes gráficos que se justifica a necessidade de separação do tipo de habitação, entre moradias e apartamentos, porque como se observa, os valores correspondentes às necessidades de aquecimento anuais destes últimos são aproximadamente 25% inferiores aos das moradias.

O aumento do Nível de Qualidade Térmica da envolvente de N1 para N2 provoca uma diminuição das necessidades de aquecimento anuais na ordem dos 15% no caso das moradias e de 20% no caso dos apartamentos. No caso extremo de se aumentar de N1 para N4, o decréscimo das necessidades energéticas é de 27% e 35% respectivamente para as moradias e para os apartamentos.

Numa primeira fase o estudo baseou-se no recurso a sistemas eléctricos para suprir as necessidades de aquecimento e as figuras que se seguem, baseiam-se nessa condição.

A figura seguinte resulta da aplicação da expressão:

$$C_{exp} = Nic_{medio} \times C_e \quad [€/m^2.ano] \quad (13)$$

A partir dos valores das Figuras 4.16 e 4.17 e multiplicando pelo valor da tarifa de energia eléctrica no ano de 2007, obtêm-se os resultados que podem ser observados na Figura 4.18. Estes são os valores de referência para o ano em que se efectua o investimento num aumento de isolamento térmico da envolvente opaca.

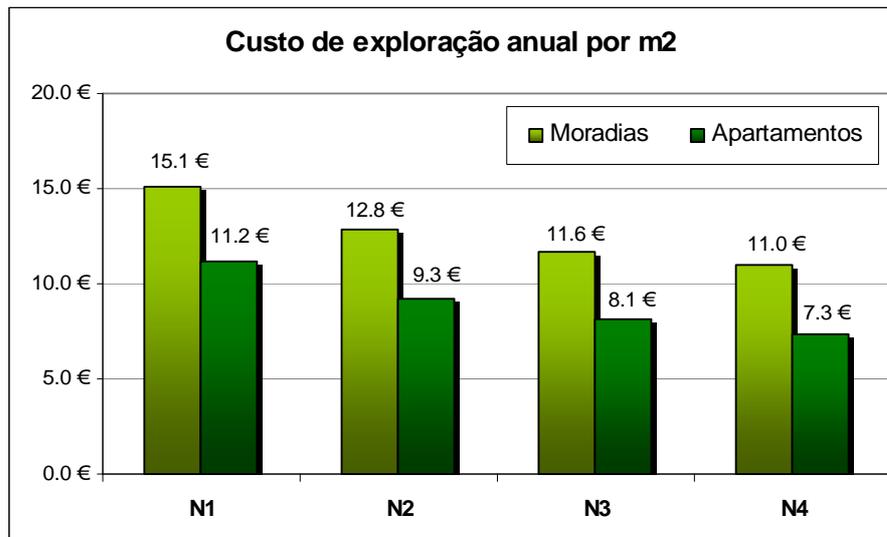


Figura 4.18 – Custo médio de exploração anual por m², em função do nível de qualidade térmica

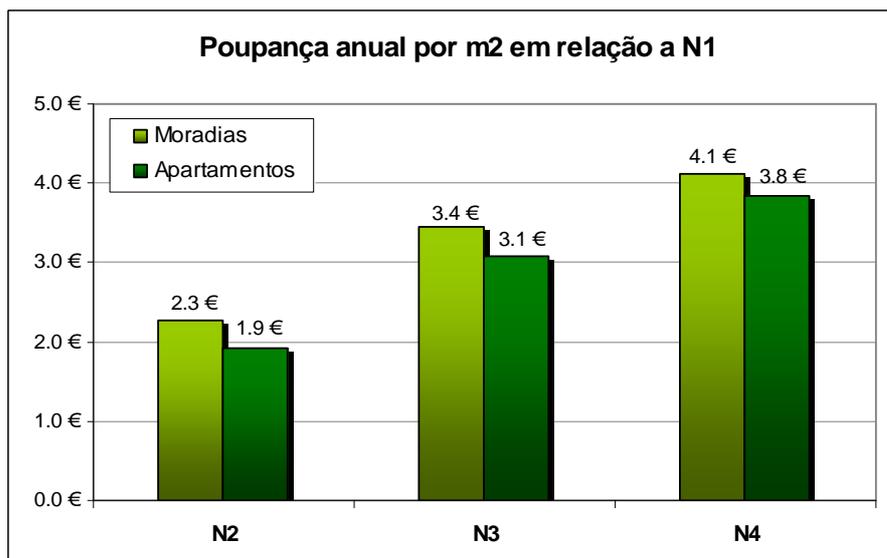


Figura 4.19 – Poupança anual por m² dos custos de exploração dos diferentes níveis de qualidade térmica em relação a N1

A transição da Figura 4.18 para a Figura 4.19 é feita com recurso a uma simples subtração para se salientar a poupança anual por m2 que se consegue obter quando se melhora o Nível de Qualidade Térmica da envolvente opaca, tomando como base os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica previstos no RCCTE

Interessa agora, no sentido duma percepção mais imediata da realidade, multiplicar estes custos de exploração por m2 pelas áreas médias tanto das moradias como dos apartamentos:

- A_{media} das moradias – 206,85 m²;
- A_{media} dos apartamentos – 72,74 m².

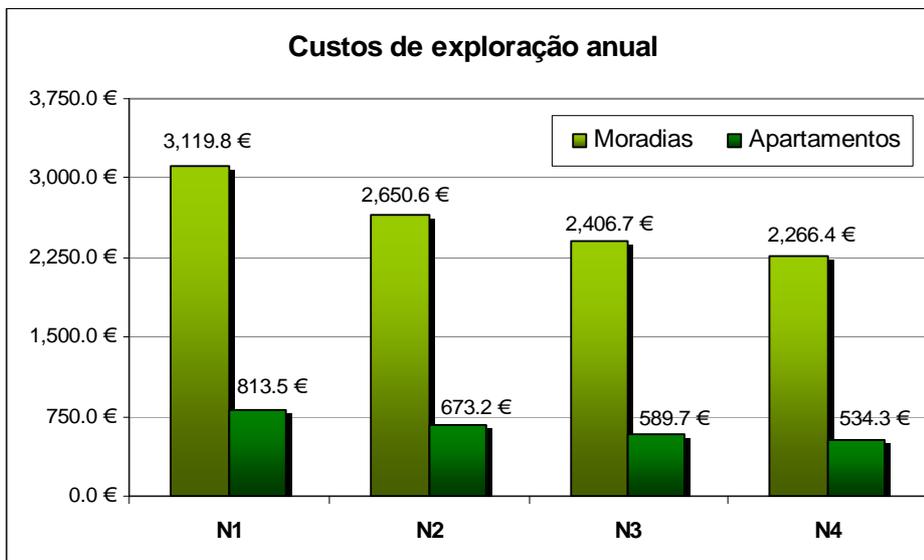


Figura 4.20 – Custos de exploração anual para o ano de 2007, em função do nível de qualidade térmica

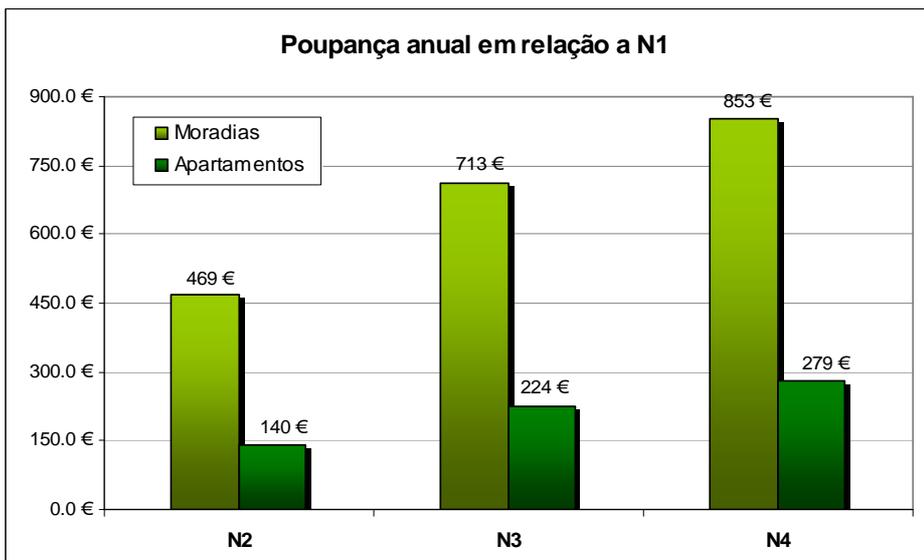


Figura 4.21 – Poupança no ano de 2007 dos custos de exploração dos diferentes níveis de qualidade térmica em relação a N1

Nas duas últimas figuras verifica-se uma grande discrepância entre os valores referentes às moradias e os valores referentes aos apartamentos, fruto das fracções que constituem a base de dados deste estudo, pois os valores das áreas médias de cada tipo de habitação são muito distintos. De qualquer modo, é interessante verificar-se que é possível obter-se uma poupança na ordem dos 800 euros no caso das moradias e de cerca de 300 euros no caso dos apartamentos quando aumentamos a qualidade térmica da envolvente opaca da habitação de N1 para N4.

As últimas quatro figuras, têm como referência o valor da tarifa da energia eléctrica em 2007, segundo dados do Eurostat, mas como este é um estudo com um horizonte temporal de 25 anos, é de vital importância estudar a evolução dos valores atrás apresentados ao longo do tempo, porque só assim é que se poderá inferir sobre a viabilidade económica do aumento da qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

Os valores apresentados de seguida (custos de exploração médios anuais no caso das moradias e dos apartamentos) são obtidos a partir da seguinte fórmula:

$$C_x = C_{x-1} (1+i) \quad [€/ano] \quad (14)$$

em que,

- C_x – Custo de exploração associado a um determinado ano ;
- C_{x-1} – Custo de exploração do ano anterior;
- i – taxa de actualização da tarifa energética (2,5%).

Nestes cálculos não foi incluída uma taxa de actualização de modo a poder efectuar-se uma actualização de todos os valores para o mesmo ano, neste caso, o ano de 2007. Ao invés, a comparação dos resultados para os diferentes níveis de qualidade térmica, tem de ser efectuada ano a ano

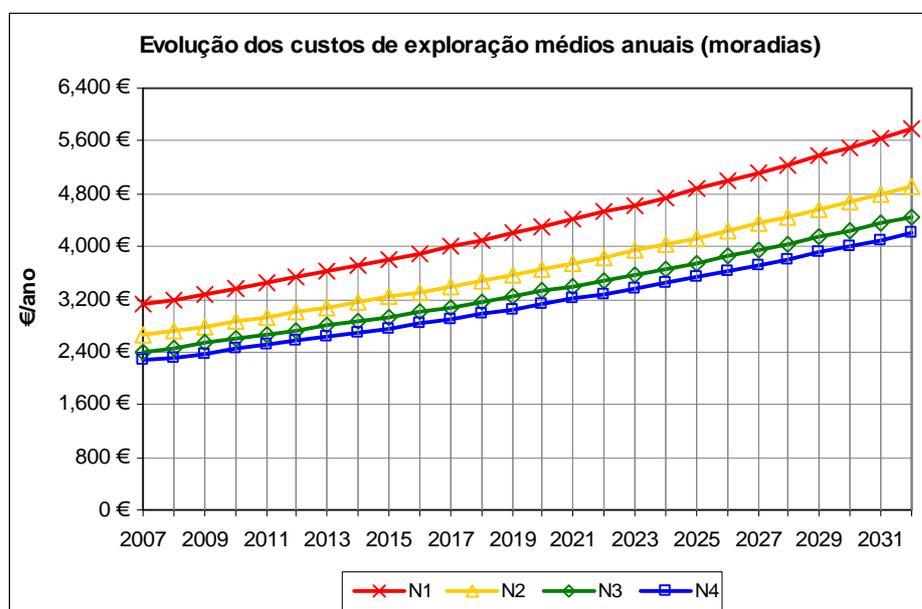


Figura 4.22 – Evolução dos custos de exploração médios anuais, em função de nível de qualidade térmica, no caso das moradias

Enquanto que em 2007, ano 0 deste estudo, os valores dos custos de exploração médios anuais encontram-se entre os 2300€ e os 3200€ (N4 e N1, respectivamente), já 25 anos depois, as previsões efectuadas apontam para valores entre 4200 e os 5800€ (N4 e N1, respectivamente).

Isto representa em 25 anos, um aumento de cerca de 85% da factura energética anual. De salientar que as estimativas realizadas para a evolução do preço da electricidade (taxa de variação anual de 2,5%), são bastante optimistas pois a tendência será no sentido dum maior agravamento, em relação ao considerado, dos custos de exploração ao longo do tempo. Nesse caso a adopção de níveis de qualidade térmica mais elevados trará maiores benefícios económicos, pois reflectir-se-ão numa maior redução dos custos de exploração ao longo do tempo.

No caso dos apartamentos (Figura 4.23) os custos de exploração médios anuais são substancialmente inferiores em relação à situação das moradias, variando para o ano 2007 entre os 530€ e os 810€ (N4 e N1, respectivamente) e no limite para o ano 2032 entre 1000€ e os 1500€ (N4 e N1, respectivamente). O aumento de 85 % da factura energética anual verificado nas moradias, reflecte-se igualmente nos apartamentos pois o preço da energia considerado é igual para os dois casos.

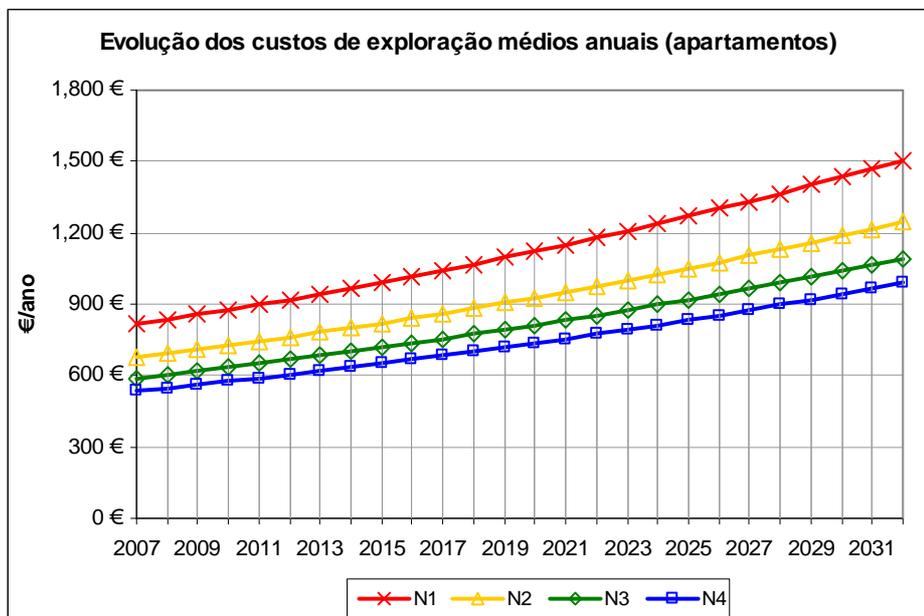


Figura 4.23 – Evolução dos custos de exploração médios anuais, em função de nível de qualidade térmica, no caso dos apartamentos

Nas duas figuras seguintes, são apresentados os custos de exploração médios acumulados para as moradias (Figura 4.24) e para os apartamentos (Figura 4.25). Nestes casos, ao custo de exploração médio anual dum determinado ano (ano x), é adicionado o valor de todos os custos de exploração anuais desde 2007 (ano em que é realizado o investimento na melhoria da qualidade térmica da habitação) até ao referido ano x. Adoptando esta estratégia para todos os 25 anos do nosso horizonte temporal, temos:

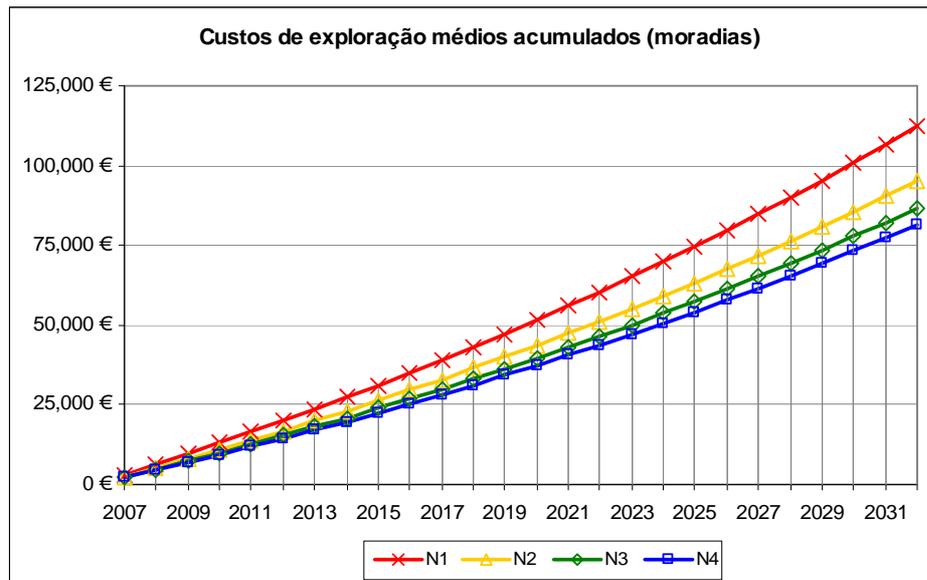


Figura 4.24 – Custos de exploração médios acumulados, em função do nível de qualidade, para as moradias

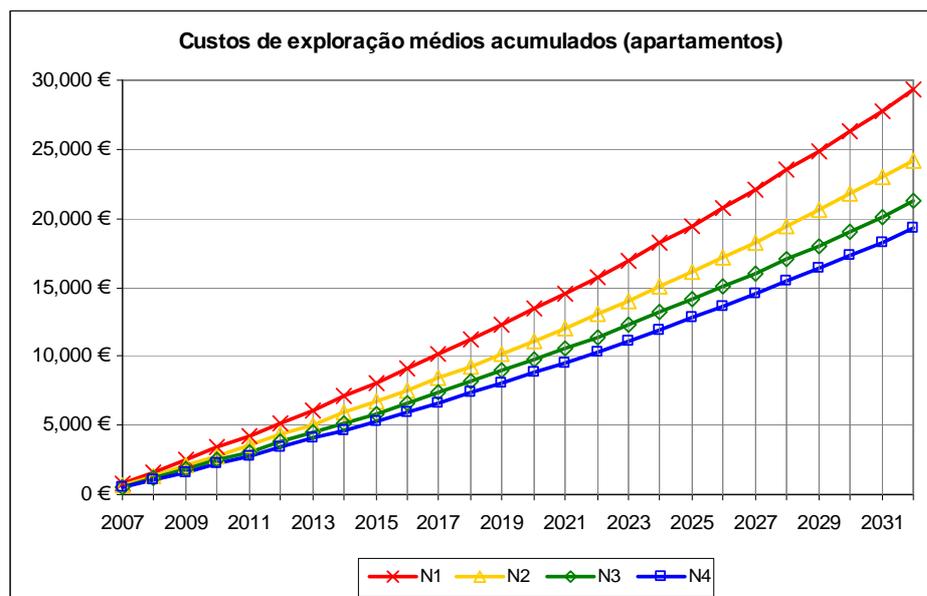


Figura 4.25 – Custos de exploração médios acumulados, em função do nível de qualidade, para os apartamentos

No caso das habitações unifamiliares, ao fim de 25anos prevê-se um custo de exploração médio acumulado para cada um dos Níveis de Qualidade Térmica de:

- **N1** – 112 341 €;
- **N2** – 95 324 €;
- **N3** – 86 563 €;
- **N4** – 81 521 €.

No caso das fracções autónomas das habitações multifamiliares, no final do horizonte temporal de 25 anos, prevê-se um custo de exploração médio acumulado para os mesmos níveis de:

- N1 – 29 294 €;
- N2 – 24 241 €;
- N3 – 21 234 €;
- N4 – 19 239 €.

4.2.4. CUSTO GLOBAL

De acordo com a equação (9) descrita anteriormente, para obtermos o custo global duma intervenção na envolvente duma habitação, necessitamos de adicionar aos custos iniciais, que resultam do acréscimo de isolamento térmico, os custos de exploração relativos aos consumos de energia.

Como para o cálculo do custo inicial, as combinações possíveis de paredes de fachada, pavimentos e coberturas com os diferentes tipos de isolamentos são inúmeras, apresentam-se os resultados obtidos para os custos globais num horizonte de 25anos, da combinação de soluções construtiva mais económica e da mais dispendiosa, para dessa forma não sobrecarregar este estudo com gráficos.

Apresentam-se no Quadro 4.13, as combinações de soluções construtivas que originam um menor esforço económico (Solução nº1) e por oposição um maior esforço económico (Solução nº2).

Quadro 4.12 – Combinações de soluções construtivas adoptadas

	Parede	Cobertura	Pavimento	Custo associado à redução da área habitável
Solução nº1	Parede com sistema de fachada ventilada com isolamento Lã Mineral	Cobertura plana invertida com isolamento XPS	Pavimento com isolamento pelo exterior do tipo EPS	Não
Solução nº2	Parede dupla com isolamento do tipo XPS	Cobertura plana invertida com isolamento XPS	Pavimento com isolamento pelo exterior do tipo XPS	Sim

Os resultados dos Custos Globais obtidos para estas duas situações, são apresentados sob a forma de 4 gráficos. Novamente para cada combinação de soluções, é feita a diferenciação entre moradias e apartamentos.

De salientar que estes resultados têm como condição a utilização de energia eléctrica para suprir as necessidades energéticas de aquecimento. Numa fase posterior serão apresentados os resultados, quando a energia considerada for o Gás Natural.

Para cada combinação de soluções construtiva (nº1 e nº2), foi estudado o Custo Global para cada nível de exigência térmica. Quando a linha gráfica de um determinado nível (por ex. N2) intersecta outra linha dum nível exigencial inferior (por ex. N1), significa que nesse ano (abscissa correspondente à intersecção) a intervenção nessa melhoria da qualidade térmica, torna-se economicamente vantajosa, por outras palavras, a partir desse ano, a adopção do nível térmico superior torna-se mais económico do que o nível que o precedeu.

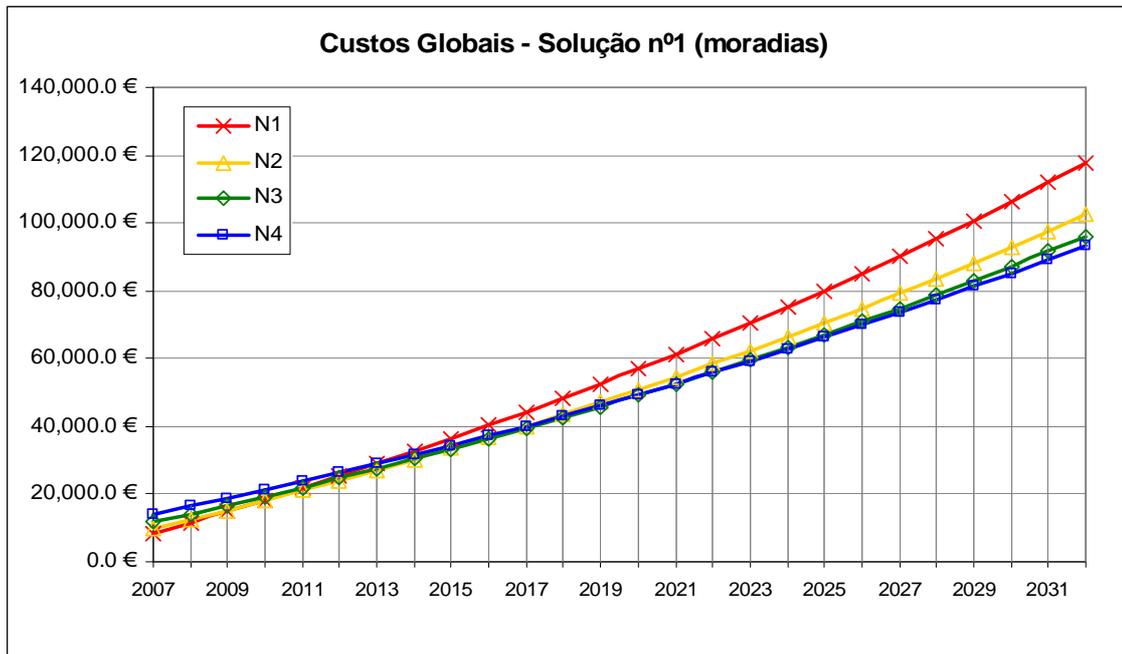


Figura 4.26 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Electricidade)

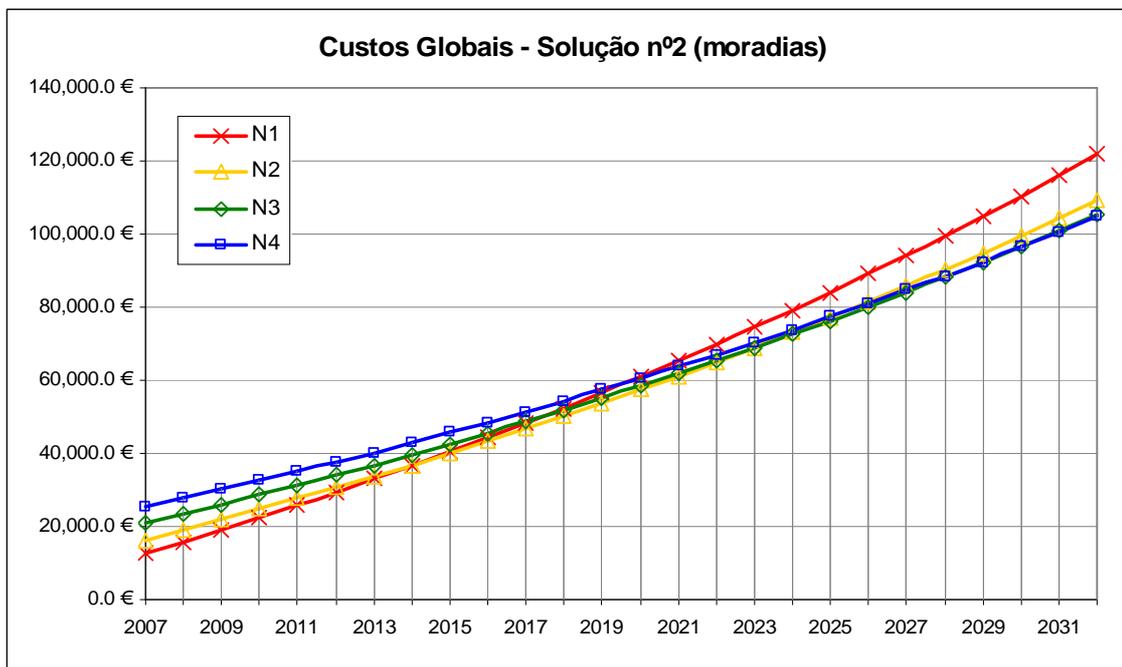


Figura 4.27 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Electricidade)

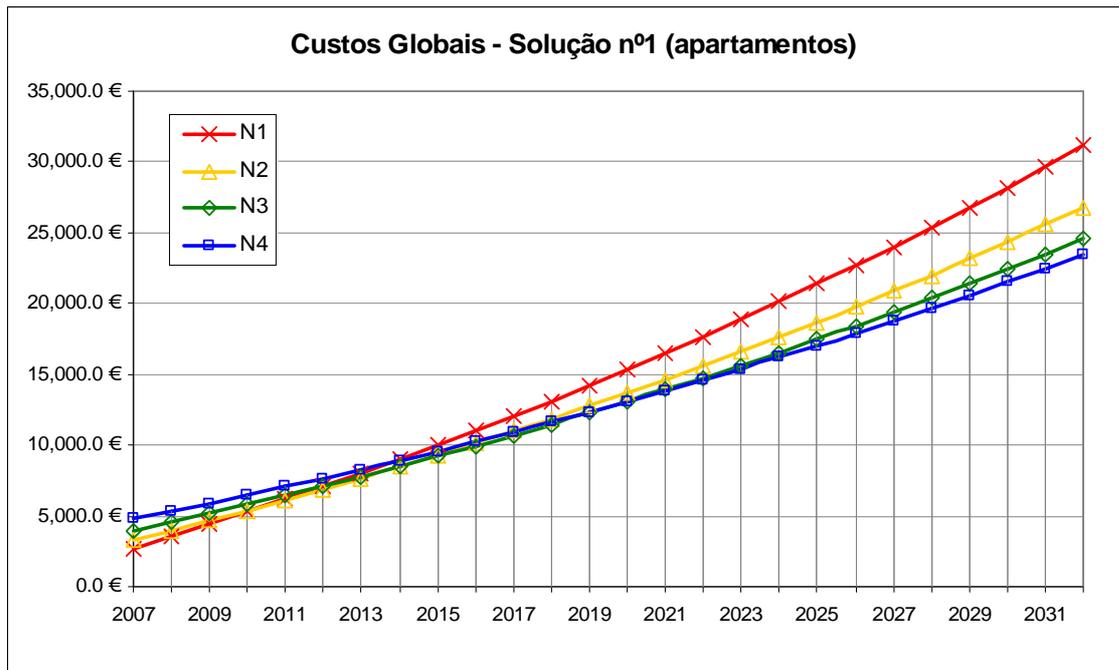


Figura 4.28 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Electricidade)

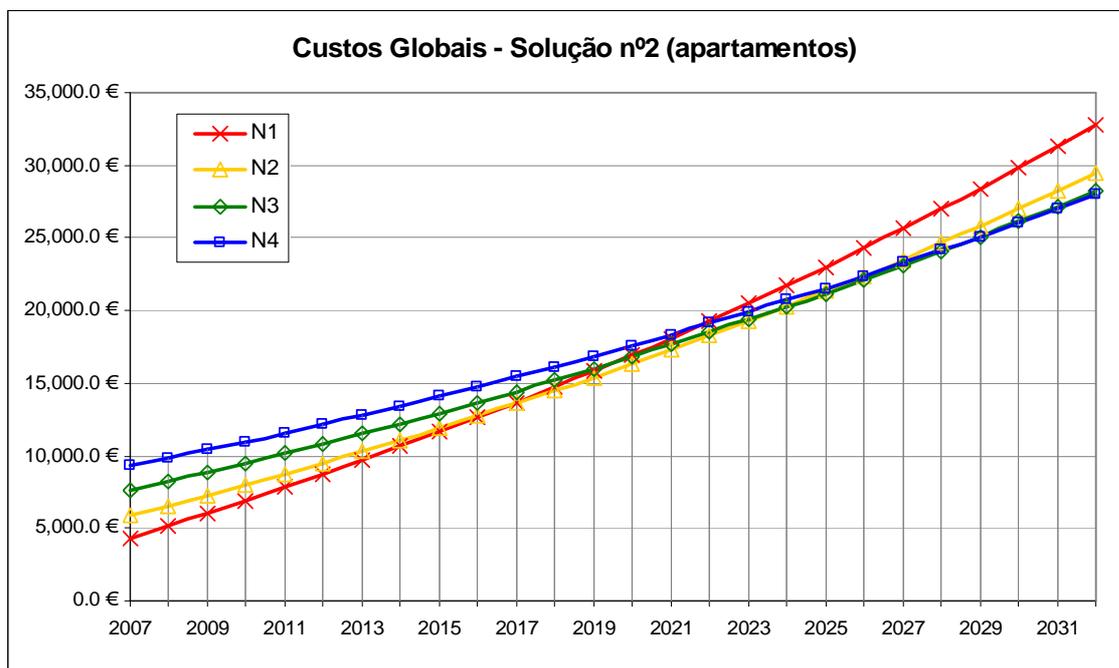


Figura 4.29 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Electricidade)

De seguida apresentam-se os resultados dos Custos Globais, sob a forma de gráficos, mas desta vez considerando o Gás Natural como responsável pela supressão das necessidades energéticas de aquecimento das habitações.

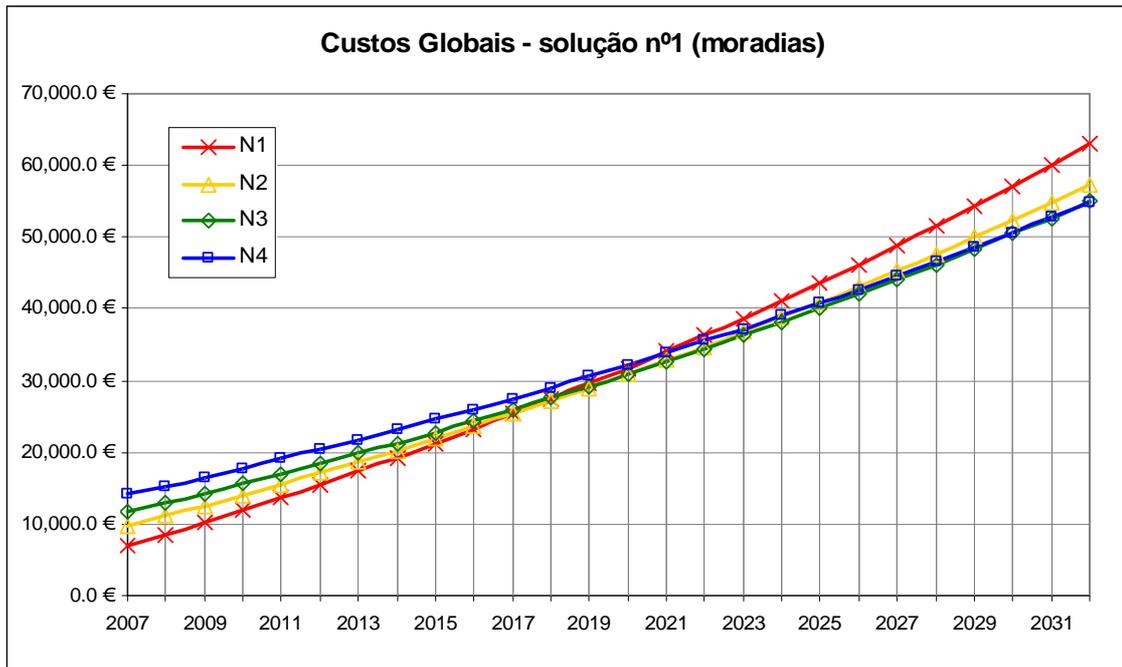


Figura 4.30 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Gás Natural)

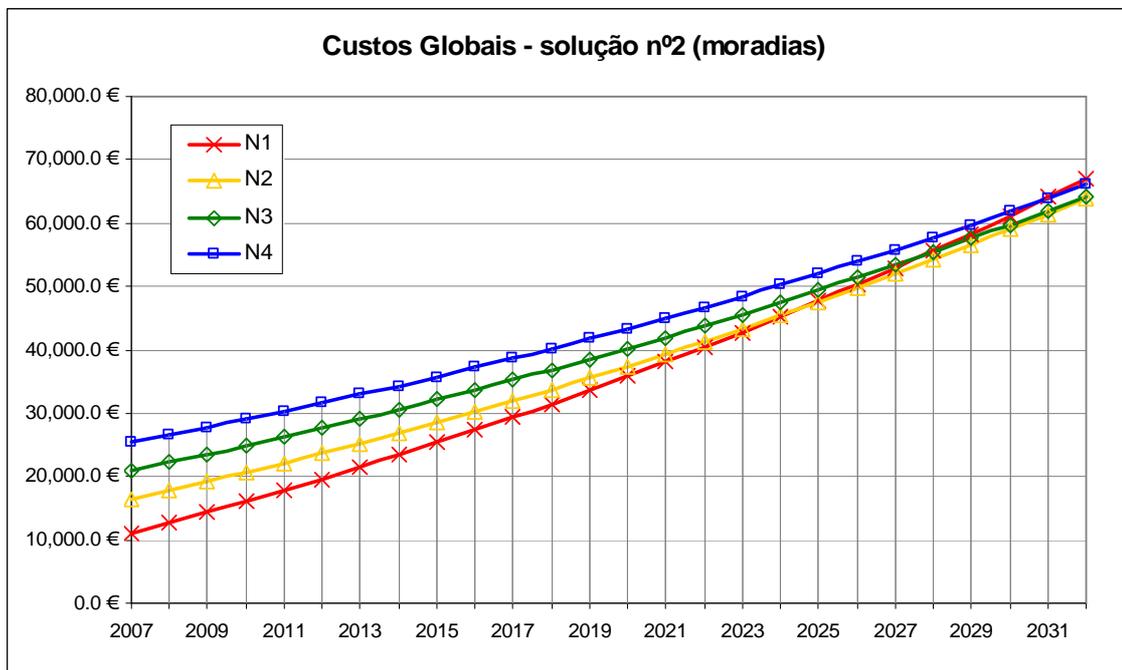


Figura 4.31 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para as moradias (Gás Natural)

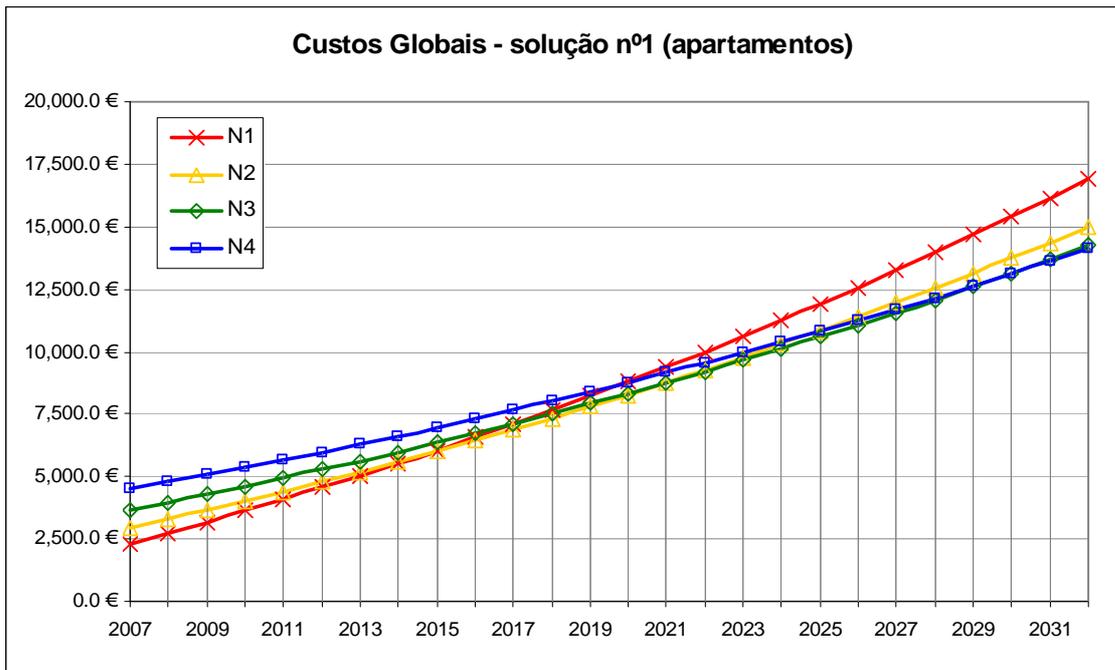


Figura 4.32 – Custos Globais da combinação de soluções nº1, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Gás Natural)

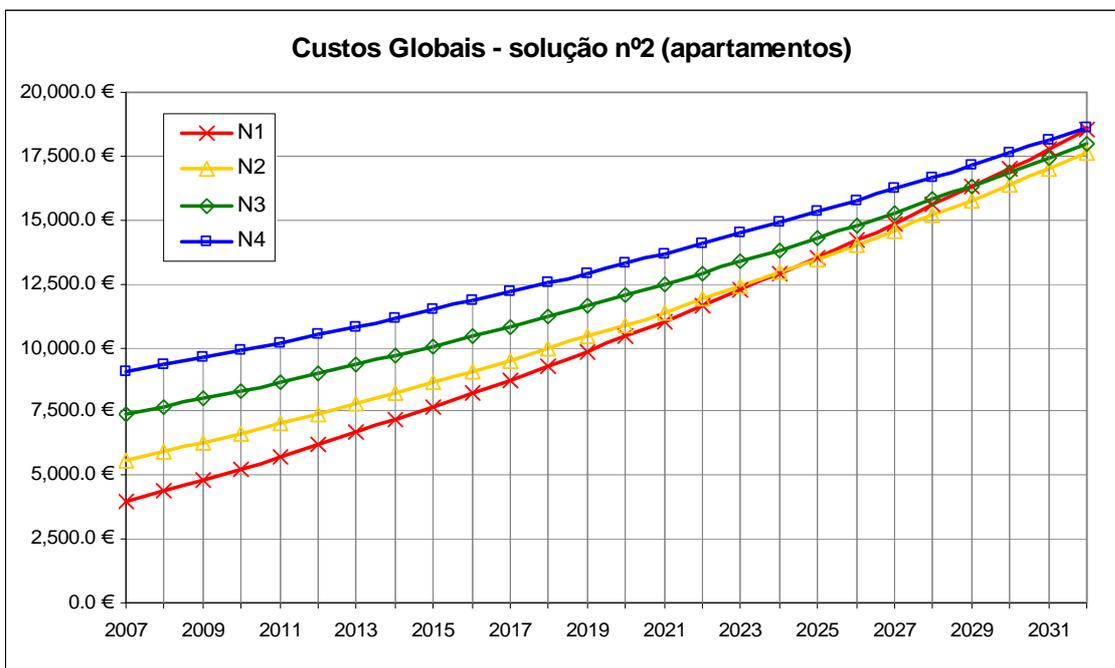


Figura 4.33 – Custos Globais da combinação de soluções nº2, em função do nível de qualidade térmica, para os apartamentos (Gás Natural)

Fazendo uma análise comparativa entre todos os gráficos representativos dos Custos Globais, verificamos que os períodos de retorno do investimento realizado relativamente a N1, são significativamente mais rápidos no caso de as habitações recorrerem a energia Eléctrica, do que se

recorrerem a Gás Natural. Esta ocorrência deriva do facto do preço do Gás Natural ser consideravelmente inferior ao valor da tarifa da energia eléctrica.

Entre moradias e apartamentos não se verifica uma grande disparidade de resultados, pois os períodos de retorno do investimento são muito semelhantes para os diferentes graus de exigência térmica, se bem que nos casos dos apartamentos verifica-se um ligeiro aumento do período de retorno em comparação com as moradias.

Entre as duas combinações de soluções construtivas estudadas, verifica-se uma grande diferença de resultados, sendo que em média a solução nº2 demora mais 7 anos a ter o investimento inicial recuperado quando se passa de N1 para N2, 8 anos de N1 para N3, e 9 anos de N1 para N4, do que a solução nº1.

Esta diferença é em grande parte justificada pelo facto de que no caso da solução nº2, o investimento inicial incluir o custo associado à redução da área habitável devido à utilização de parede dupla, facto que não ocorre na solução nº1.

Nem todos os casos analisados, conseguem ter o investimento recuperado dentro do horizonte temporal considerado, pois como se observa na Fig.4.23, o esforço financeiro necessário para passar de N1 para N4 não é recuperado até ao ano de 2032.

Devido ao facto de em certos gráficos, a identificação do período de retorno para determinado nível de qualidade térmica ser pouco perceptível, apresenta-se de seguida um quadro resumo dos vários períodos de retorno do investimento, de acordo com o tipo de energia, tipo de habitação, nível de qualidade térmica e combinação de soluções construtivas adoptado.

Quadro 4.13 – Períodos de retorno do investimento efectuado na melhoria do nível de qualidade térmica e poupança relativamente a N1

Tipo de Energia	Tipo de Habitação	Combinação de soluções construtivas	Nível de qualidade térmica	Período de retorno relativamente a N1 [anos]	Poupança relativamente a N1		
					10 Anos [€/m ²]	15 Anos [€/m ²]	20 Anos [€/m ²]
Electricidade	Moradia	Solução nº 1	N2	3	28,3	43,0	51,5
		Solução nº 2		8			
		Solução nº 1	N3	5	44,0	66,8	80,0
		Solução nº 2		11			
		Solução nº 1	N4	7	61,7	93,7	112,1
		Solução nº 2		13			
	Apartamento	Solução nº 1	N2	4	24,1	37,4	52,4
		Solução nº 2		10			
		Solução nº 1	N3	6	38,4	59,6	83,6
		Solução nº 2		13			
		Solução nº 1	N4	7	47,9	74,4	104,4
		Solução nº 2		15			
Gás Natural	Moradia	Solução nº 1	N2	11	14,5	22,6	31,7
		Solução nº 2		18			
		Solução nº 1	N3	12	22,1	34,3	48,1
		Solução nº 2		21			
		Solução nº 1	N4	14	26,4	41,0	57,6
		Solução nº 2		24			
	Apartamento	Solução nº 1	N2	8	12,4	19,2	29,6
		Solução nº 2		18			
		Solução nº 1	N3	11	19,7	30,6	42,9
		Solução nº 2		23			
		Solução nº 1	N4	13	24,6	38,2	53,6
		Solução nº 2		> 25			

4.3. COLECTORES SOLARES

4.3.1. INTRODUÇÃO

Este estudo adicional, tem como objectivo a determinação do período de retorno do investimento num sistema solar térmico para efeitos de aquecimento das águas quentes sanitárias numa habitação.

Dado que são inúmeras as variantes possíveis, tornou-se necessário tomar em conta algumas considerações de forma a balizar em certa medida este trabalho e que mais à frente serão apresentadas.

Este estudo é referente a um abastecimento de águas quentes sanitárias para uma habitação unifamiliar onde residem 4 habitantes. De acordo com o disposto no artigo nº 7, ponto 2) do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de 2006 (1 m² de colector por habitante convencional), foi adoptado um sistema com um colector solar 4 m² de área de captação e um reservatório de 350 L.

O sistema solar analisado foi o “kit solar” – onde os componentes colector, permutador e depósito estão todos integrados – denominado ‘Ao Sol 350’ do distribuidor ‘Ao Sol – Energias Renováveis, Lda.’.

Este foi o equipamento escolhido para ser objecto de estudo pois faz parte da lista de equipamentos certificados pelo *CERTIF* – condição indispensável, responde às exigências de consumo energético da família e encontra-se na base de dados do programa *Solterm*, programa esse que é utilizado para analisar o desempenho energético dos sistemas solares.

Este sistema possui um coeficiente de perdas térmicas de 2,4 W/°C. [38]

Inicialmente foi estudado o período de amortização de investimento num sistema solar deste tipo para a cidade do Porto tem em conta diversos tipos de energia de apoio, sendo posteriormente alargado a outras localidades, nomeadamente Lisboa, Bragança e Faro.

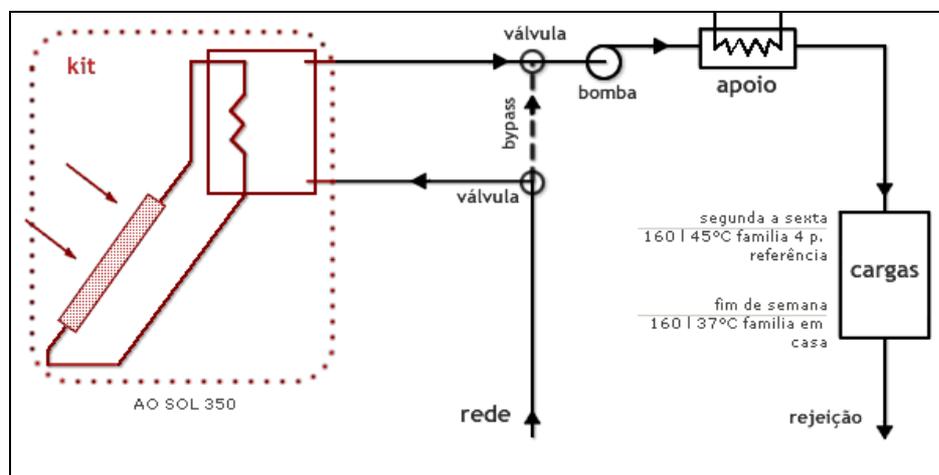


Figura 4.34 – Configuração do sistema solar térmico adoptado – ‘kit’ solar térmico [38]

4.3.2. PROGRAMA SOLTERM

O *Solterm* é um programa de análise de desempenho de sistemas solares especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal.

Esta análise de desempenho de um sistema solar é feita via simulação energética sob condições quasi-estacionárias, isto é, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos (10 minutos) durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema.

Este é o software imposto pelo RCCTE na contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios.

Para a realização das simulações são usadas informações sobre:

- Configuração do sistema;
- Estratégias de controlo e operação;
- Radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária;
- Obstruções e sombreamentos;
- Características técnicas dos componentes;
- Consumo do sistema em base horária média mensal.

Na base de dados do programa estão incluídos os dados meteorológicos de referência para 308 concelhos do país, bem como, características de diversos componentes do sistema.

O software disponibiliza também uma análise técnico económica e outra ferramenta útil deste programa refere-se à componente ambiental, designadamente ao cálculo de benefícios ambientais, designadamente das emissões de gases com efeito de estufa evitadas.

4.3.3. CONSIDERAÇÕES EFECTUADAS

Neste estudo admitiu-se que não existem sombreamentos e obstruções do horizonte que possam diminuir a eficiência do sistema.

A orientação escolhida foi a Sul pois é a que oferece melhores condições para aproveitamento da radiação solar e o ângulo que o colector solar faz com a horizontal é diferente consoante a localização estudada.

Para cada localização foi determinado com o auxílio do programa Solterm o ângulo óptimo que assim melhor aproveita a radiação incidente, tendo como resultado as seguintes orientações:

Quadro 4.14 – Inclinações óptimas do colector solar de acordo com a respectiva localização [38]

Porto	Lisboa	Bragança	Faro
46° - 49°	47° - 50°	47° - 53°	45° - 52°

O consumo diário médio de referência de águas quentes sanitárias adoptado foi de 40 L / ocupante, ou seja, 160 L / dia para um aumento de temperatura necessário à preparação das águas quentes sanitárias de 45° (valor de referência preconizado no RCCTE).

Analisou-se a viabilidade económica da instalação dum sistema deste tipo tendo como contraponto os custos de quatro energias alternativas:

- Electricidade
- Gás natural
- Gás propano
- Gás butano.

O preço destas energias por kWh é apresentado na tabela seguinte, assim como as fontes a partir das quais foram obtidos os valores (valores obtidos em 2007):

Quadro 4.15 – Preços dos diferentes tipos de energia e respectivas fontes de informação

Energia	Electricidade	Gás Natural	Gás Propano	Gás Butano
Preço (€/kWh)	0,150	0,077	0,171	0,143
Fonte	<i>Eurostat</i>	<i>Portgás</i>	<i>DGEG</i>	<i>DGEG</i>

De seguida apresentam-se as considerações que deram origem a estas tarifas de energia:

- **Electricidade:** consumidor tipo DC (3500 kWh / ano);
- **Gás Natural:** tarifa tipo 2; rendimento de queima - 75%; Poder Calorífico Inferior – 10,53 kWh / m³;
- **Gás Propano:** rendimento de queima – 75%; Poder Calorífico Inferior – 13,26 kWh / kg;
- **Gás Butano:** rendimento de queima – 75%; Poder Calorífico Inferior – 12,67 kWh / kg.

As considerações referentes à análise económica foram as seguintes:

- Vida útil do sistema – 15 anos;
- Manutenção anual – 1,0 %;
- Renovação dos componentes – 5,0 %;
- Valor Residual – 5,0 %;
- Inflação dos preços da energia substituída – 2,5 %.

Apesar destes valores serem meramente indicativos e por essa razão bastante discutíveis, de qualquer forma pensa-se que são minimamente credíveis, baseados em critérios de bom-senso e indispensáveis à obtenção dos resultados a que o estudo se propõe.

O estudo abrangeu 4 localidades com intensidades de radiação solar bastantes distintas, nomeadamente:

- Porto
- Lisboa
- Bragança
- Faro

4.3.4. ESTUDO TÉCNICO-ECONÓMICO

O estudo incidiu inicialmente sobre a instalação do sistema solar numa habitação situada na cidade do Porto e será esse o caso onde serão apresentados os resultados mais pormenorizados desse estudo. Posteriormente alargou-se o estudo às restantes localidades (Lisboa, Bragança e Faro), mas nesses casos apenas serão mostrados os resultados finais.

Para cada uma das localidades e aplicando para todas os mesmos pressupostos, foi efectuada numa primeira fase uma análise energética, seguida duma análise económica e numa fase final uma análise comparativa acerca da aplicabilidade da instalação destes sistemas nas diferentes localidades.

4.3.4.1. Análise energética

Ao aplicar-se todas as considerações descritas anteriormente no programa *Solterm*, obtiveram-se os resultados do desempenho do sistema térmico, que se apresentam no Quadro 4.56:

Quadro 4.16 – Desempenho energético do sistema solar térmico [38]

	Rad. Horiz. (kWh/m ²)	Rad. Inclín. (kWh/m ²)	Desperdiçado (kWh)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Janeiro	51	85	0,5	80	176	96
Fevereiro	69	104	1,2	103	156	53
Março	105	130	5,5	117	167	49
Abril	144	152	14,2	134	158	23
Mai	173	160	16,6	139	158	19
Junho	185	162	11,0	131	141	10
Julho	205	185	20,3	135	143	8
Agosto	183	183	25,6	140	143	4
Setembro	129	153	15,3	129	140	11
Outubro	95	134	13,2	124	157	32
Novembro	60	101	4,7	93	161	68
Dezembro	49	89	0,5	85	172	88
Anual	1449	1637	128,7	1410	1871	461

Este quadro apresenta colunas de valores mensais que interessa descrever: [39]

- **Rad. Horiz.** – energia acumulada da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m²);
- **Rad. Inclín.** – energia acumulada da radiação solar global à face dos colectores solares por unidade de área (kWh/m²), ou seja, num plano inclinado;
- **Desperdiçado** – energia acumulada que o sistema recolhe mas tem de dissipar, frequentemente devido por se ultrapassarem os limites de temperatura de armazenamento de água em situações que o consumo é reduzido ou nulo;
- **Fornecido** – energia acumulada que o sistema efectivamente fornece para consumo (kWh). O valor anual desta energia é o designado E_{solar} do RCCTE que é necessário contabilizar para os cálculos de verificação do regulamento,
- **Carga** – valor acumulado da energia solicitada para consumo (kWh);
- **Apoio** – energia acumulada entregue para o sistema pelo sistema de apoio, para complementar a energia fornecida pelo sistema solar (kWh).

Da análise do desempenho energético deste sistema solar, verificamos, um aspecto com especial relevo que é facto de que em nenhum mês o sistema solar conseguir abastecer as necessidades energéticas de águas quentes sanitárias da habitação, sendo sempre necessário recorrer ao sistema de

apoio. Esta energia de apoio é, tal como seria de esperar, mais necessária nos meses de Inverno e significativamente inferior nos meses de Verão, quando chega a ser quase nula.

A fracção solar deste sistema – percentagem de energia útil fornecida para consumo a partir de radiação solar – situa-se nos 75,3%, valor esse que nos indica que o sistema nem está subdimensionado (< 40%), nem sobredimensionado (> 90%). [39]

A produtividade do sistema – razão entre a energia fornecida pelo sistema e a área do painel, em valores anuais – é de 353 kWh/m² colector. É necessário ter em atenção que este índice é muito dependente dos detalhes do consumo, pois valores altos não são garantia de um bom dimensionamento do sistema, pois é possível obter uma elevada produtividade subdimensionando o painel e sobredimensionando o reservatório.

No Quadro 4.17 apresentam-se os resultados anuais dos diferentes indicadores energéticos para cada uma das localidades:

Quadro 4.17 – Desempenho energético do sistema solar térmico nas diferentes localidades [38]

	Rad. Horiz. (kWh/m ²)	Rad. Inclín. (kWh/m ²)	Desperdiçado (kWh)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)	Fracção Solar (%)	Produtividade (kWh/m ² colector)
Porto	1449	1637	128,7	1410	1871	461	75,3	353
Lisboa	1649	1812	166,2	1442	1716	274	84,0	361
Bragança	1508	1701	150,9	1455	1947	492	74,7	364
Faro	1731	1911	223,3	1408	1644	236	85,6	352

A partir destes resultados, verifica-se que a energia fornecida pelo sistema solar é bastante idêntica, independentemente da sua localização geográfica. Já o valor da energia necessária para aquecimento das águas quentes sanitárias, é inversamente proporcional à radiação solar incidente em cada uma das localidades, o que resulta numa maior necessidade de energia de apoio nos casos das localidades com menor radiação solar e consequentemente maior factura energética.

Constata-se igualmente que é sempre necessária energia de apoio (na totalidade dos meses) para suprir as necessidades energéticas, pois o sistema solar não as consegue completar na totalidade em qualquer das localidades estudadas.

4.3.4.2. Análise económica

Na análise económica, foi admitido que o horizonte temporal de funcionamento dum sistema solar térmico deste tipo, é de 15 anos.

Ao longo desse tempo, ao custo do investimento inicial serão adicionados os custos referentes às manutenções e possíveis reparações do sistema solar térmico assim como os custos com as necessidades energéticas convencionais de apoio ao equipamento solar. Os custos de manutenção e reparação só são contabilizados a partir do sexto ano após a compra do equipamento, pois como se trata dum equipamento certificado, tem obrigatoriamente de oferecer uma garantia de 6 anos que abranja este tipo de encargos financeiros.

Por outro lado, ao adoptar-se um sistema como este, que recorre a energias renováveis, está-se a evitar os encargos decorrentes da utilização de energia convencional necessária para o aquecimento das águas quentes sanitárias.

Dado que para adquirir este tipo de sistemas é necessário um significativo esforço financeiro, o Governo, de modo a tentar agilizar o processo de implementação desta tecnologia no nosso país, criou medidas de incentivo fiscal (além de outras medidas de carácter não financeiro), nomeadamente:

A nível de **IRC**, que se traduz na possibilidade de amortização do investimento no sistema solar em apenas 4 anos, para efeito do cálculo daquele imposto

A nível do **IRS**, a possibilidade de dedução à colecta de 30% das importâncias dispendidas com a aquisição de equipamentos novos até um limite máximo dedutível de 700 euros. Este último incentivo, para particulares, é de especial importância para este estudo como se verá mais adiante.

Como a disponibilidade para divulgação dos preços dos equipamentos por parte dos fabricantes, foi francamente insuficiente, tomou-se a decisão de, ao invés de partindo dum determinado valor do equipamento obter-se o respectivo período de retorno do investimento, calcular-se os diferentes valores necessários para se obter o investimento restituído em 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos.

Para essa análise foi necessário efectuar várias simulações de preços do equipamento. Para demonstrar a metodologia utilizada apresenta-se o seguinte exemplo:

Além das considerações comuns descritas anteriormente, admite-se o seguinte:

- Localização: Porto;
- Orientação do Colector: 45° Sul;
- Energia auxiliar: Electricidade;
- Preço do sistema solar: 2500 €, incentivo fiscal correspondente 700 € (máximo dedutível).

Quadro 4.18 – Exemplo de análise económica efectuada para o sistema térmico solar

	Custos energéticos evitados	Custos energéticos do apoio	Manutenção	Reparações	Custos	Aproveitamento económico	
						C/incentivos	S/incentivos
2007	211.5 €	69.2 €	-	-	2,569.2 €	911.50 €	211.50 €
2008	216.8 €	70.9 €	-	-	2,640.0 €	1,128.29 €	428.29 €
2009	222.2 €	72.7 €	-	-	2,712.7 €	1,350.49 €	650.49 €
2010	227.8 €	74.5 €	-	-	2,787.1 €	1,578.26 €	878.26 €
2011	233.5 €	76.3 €	-	-	2,863.5 €	1,811.71 €	1,111.71 €
2012	239.3 €	78.2 €	-	-	2,941.7 €	2,051.01 €	1,351.01 €
2013	245.3 €	80.2 €	-	-	3,021.9 €	2,296.28 €	1,596.28 €
2014	251.4 €	82.2 €	25.0 €	13.9 €	3,143.0 €	2,547.69 €	1,847.69 €
2015	257.7 €	84.3 €	25.6 €	14.2 €	3,267.1 €	2,805.38 €	2,105.38 €
2016	264.1 €	86.4 €	26.3 €	14.6 €	3,394.3 €	3,069.52 €	2,369.52 €
2017	270.7 €	88.5 €	26.9 €	15.0 €	3,524.7 €	3,340.25 €	2,640.25 €
2018	277.5 €	90.7 €	27.6 €	15.3 €	3,658.4 €	3,617.76 €	2,917.76 €
2019	284.4 €	93.0 €	28.3 €	15.7 €	3,795.4 €	3,902.20 €	3,202.20 €
2020	291.6 €	95.3 €	29.0 €	16.1 €	3,935.8 €	4,193.76 €	3,493.76 €
2021	298.8 €	97.7 €	29.7 €	16.5 €	4,079.7 €	4,492.60 €	3,792.60 €
2022	306.3 €	100.1 €	30.5 €	16.9 €	4,227.3 €	4,798.92 €	4,098.92 €

No Quadro 4.18 a coluna com a designação “Custos” refere-se à soma do custo do investimento inicial (neste exemplo 2500 euros) com os custos acumulados associados ao apoio energético convencional.

Quando o aproveitamento económico resultante dos custos energéticos evitados é superior à totalidade de custos associados a um equipamento deste tipo, significa que o investimento inicial foi recuperado. Neste exemplo esse facto encontra-se salientado pelos valores a amarelo.

No caso do preço do equipamento ser **2500 euros**, temos então o retorno do investimento em 12 anos no caso de existirem incentivos fiscais (caso actual) e em mais de 15 anos (fora do intervalo de vida útil do equipamento considerado neste estudo) no caso de estes não existirem.

De notar que com o incentivo fiscal, o retorno do investimento é realizado num período muito mais reduzido quando comparado com o caso de não existirem incentivos fiscais. Para este exemplo, esse facto adia o retorno do investimento em mais de 3 anos, um valor significativo que realça a importância deste tipo de incentivos de forma a tornar este tipo de equipamentos economicamente atractivos e assim encorajar a sua massificação no parque habitacional português.

Os mesmos resultados são apresentados sob a forma de gráficos na Figura 4.35 para uma percepção mais intuitiva da realidade.

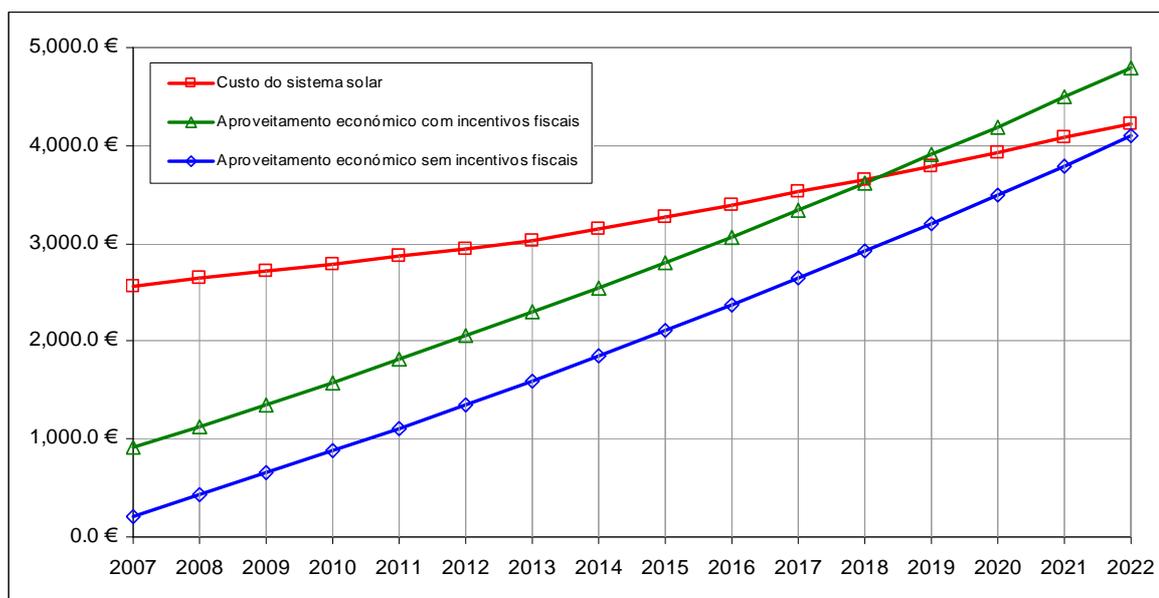


Figura 4.35 – Análise económica de retorno do investimento para o exemplo fornecido

Durante os primeiros 6 anos o custo do sistema solar (linha a vermelho) tem um crescimento inferior ao verificado para os anos seguintes, pois os custos de manutenção e de reparação do equipamento só são contabilizados a partir dessa data fruto do fim da garantia.

Este exemplo aqui apresentado foi repetido, para as várias localizações que este estudo abrange, assim como para os diferentes tipos de energia considerados adoptando diversos preços até encontrar-se o valor que representa um determinado período de retorno do investimento.

Os resultados finais para o caso da cidade do Porto, assim como uma metodologia para avaliação da viabilidade económica dum investimento num equipamento destes, são apresentados de seguida:

Estes resultados têm incluído o incentivo fiscal referido anteriormente.

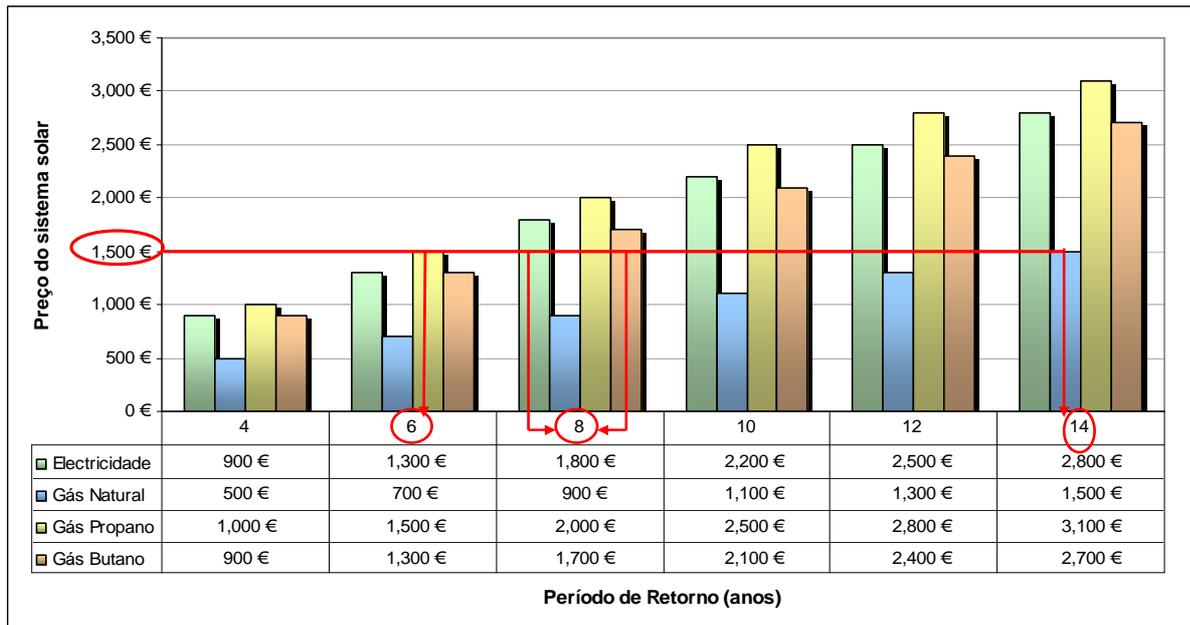


Figura 4.36 – Resumo dos preços do equipamento para obtenção de determinados períodos de retorno, para a cidade do Porto

Esta figura indica-nos os valores máximos do custo deste tipo de equipamento tendo em conta o tipo de energia que é substituída (electricidade, gás natural, gás propano e gás butano) para aquecimento das águas quentes sanitárias, para determinados períodos de retorno, designadamente 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos.

Propõe-se agora uma metodologia baseada na Figura 4.36 para determinação do previsível período de retorno deste equipamento, quando o fabricante indica um determinado preço:

- 1) No eixo das ordenadas marca-se o valor do equipamento;
- 2) Traça-se uma linha horizontal até intersectar a coluna representante do tipo de energia que é utilizado na habitação;
- 3) No caso de ocorrer intersecção (pode não ocorrer, caso o preço do equipamento seja muito elevado), verificar o valor da abcissa correspondente e esse será o período de retorno máximo do investimento num sistema solar térmico com as mesmas características das especificadas neste estudo.

No exemplo representado na Figura 4.36, para um preço de 1500 euros do sistema térmico solar, caso a energia utilizada seja o gás propano o período de retorno será no máximo de 8 anos no caso do gás butano, do gás propano e da electricidade, e 14 anos no caso do gás natural.

Caso na habitação seja utilizado gás natural, verifica-se que a instalação dum equipamento térmico solar é financeiramente pouco interessante, porque como o preço deste tipo de energia ainda é relativamente económico a poupança na factura energética é reduzida resultando por isso, num período de retorno do investimento muito extenso. Por outras palavras, para se obter um período de retorno não muito extenso, seria necessário que o preço do sistema térmico solar indicado pelo fabricante fosse bastante reduzido, facto não condizente com a realidade actual.

Esta situação já não se verifica para os restantes tipos de energia, porque apesar de neste exemplo terem apresentado todas o mesmo período de retorno, pode-se observar tanto no gráfico como na tabela subsequente que a utilização do gás propano, é a situação onde o investimento é mais rapidamente recuperado, seguido da electricidade e do gás butano, estes dois últimos com valores praticamente idênticos.

Apresentam-se agora os resultados da viabilidade económica dum investimento num equipamento solar para as diversas localidades tendo como contraponto a utilização de electricidade ou de gás natural.

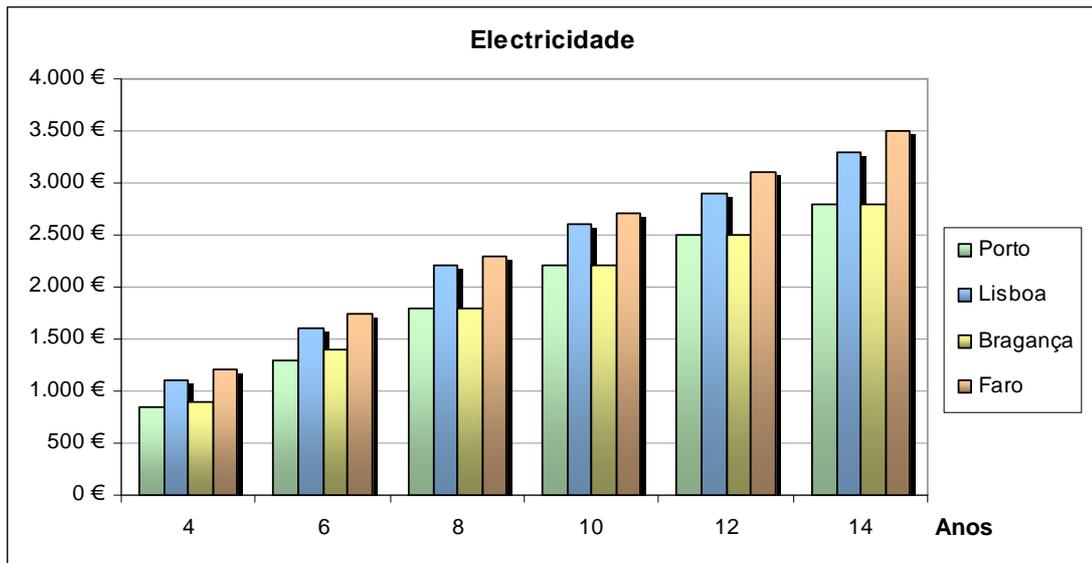


Fig.4.37 – Custo do equipamento térmico solar e respectivo período de retorno, nas diversas localidades tendo em conta que a energia substituída é a Electricidade

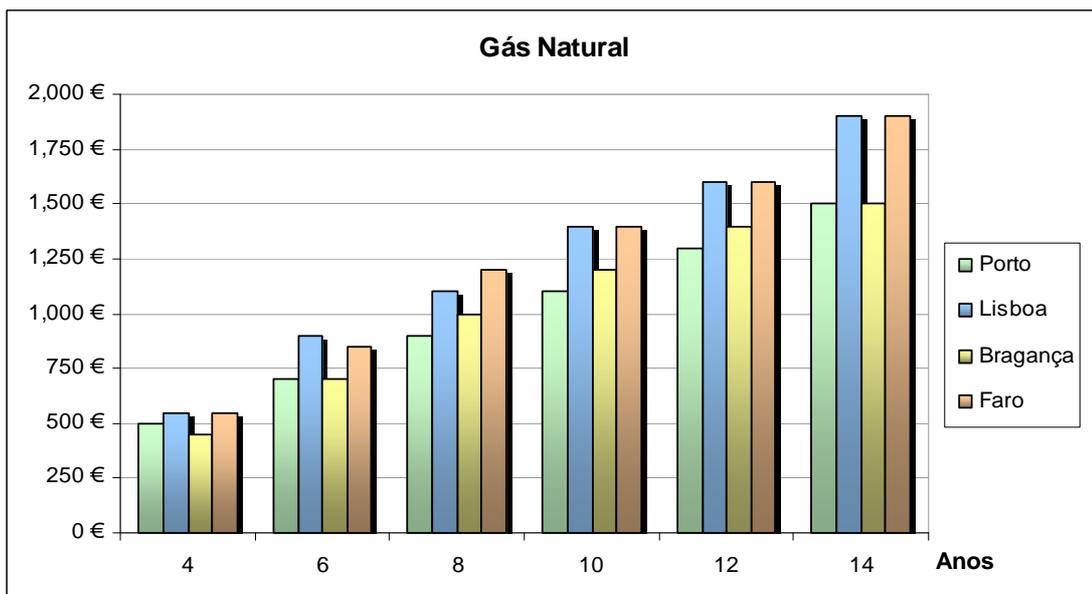


Fig.4.38 – Custo do equipamento térmico solar e respectivo período de retorno, nas diversas localidades tendo em conta que a energia substituída é o Gás Natural

Os gráficos apresentados demonstram que nos casos do Porto e de Bragança, a rentabilidade económica num investimento deste tipo não é tão vantajosa como no caso de Lisboa e Faro. Estes resultados, são fruto dos desempenhos energéticos expostos no Quadro 4.17, aonde se tinha verificado uma menor necessidade de apoio de energia convencional para suprir as necessidades de água quente sanitária, destas duas últimas localidades em detrimento das do Porto e de Bragança.

4.3.4.3. Benefícios ambientais

Além das razões económicas, também os benefícios ambientais deverão ter um papel importante parcela na decisão de implementação dum equipamento térmico solar para aquecimento de águas quentes sanitárias. Daí apresentar-se no Quadro 4.19, de acordo com cada uma das soluções estudada, a redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Quadro 4.19 – Impactes ambientais evitados [38]

Localidade	Tipo de energia convencional substituída	Impactes evitados
		(kg CO ₂ equivalente / ano) [Dados: Solterm]
Porto	Electricidade	1000
	Gás Natural	448
	Gás Propano	434
	Gás Butano	441
Lisboa	Electricidade	1100
	Gás Natural	452
	Gás Propano	444
	Gás Butano	451
Bragança	Electricidade	1100
	Gás Natural	462
	Gás Propano	448
	Gás Butano	455
Faro	Electricidade	1000
	Gás Natural	447
	Gás Propano	433
	Gás Butano	440

No caso da electricidade, admitiu-se 39% de electricidade de origem renovável na rede eléctrica.

5

CONCLUSÕES

O acréscimo de eficiência energética dos edifícios é um imperativo decorrente dos compromissos internacionais assumidos por Portugal no âmbito do Tratado de Quioto para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e da necessidade de redução da dependência energética do país em relação ao exterior.

Este acréscimo conduz a benefícios para os utilizadores, designadamente, um maior conforto térmico nos edifícios e a redução dos custos de exploração associados aos consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento das habitações.

Como os isolantes térmicos são os materiais que mais contribuem para a resistência térmica da envolvente opaca exterior, tornou-se fundamental avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista económico, sendo para isso necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (aplicação de isolante térmico, custo do contorno do vão e custo associado à redução de área habitável) com os custos de exploração (consumos energéticos).

No Capítulo 4 é apresentado o estudo técnico económico referente à optimização de espessura do isolamento térmico da envolvente dos edifícios (representada por 5 soluções construtivas), em função de diferentes níveis de qualidade térmica da envolvente (N1 a N4) que conduzem a coeficientes de transmissão térmica distintos e tendo em conta a aplicação de três tipos de isolantes térmicos (XPS, EPS e Lã Mineral).

Daí conclui-se que o período de retorno do investimento na aplicação de uma maior espessura de isolamento térmico, considerando apenas os consumos de energia para aquecimento para os custos de exploração, é muito variável em função do tipo de energia utilizado, da solução construtiva adoptada, do nível de qualidade térmica pretendido e do próprio tipo de isolamento eleito. Não deixa todavia de ser uma intervenção onde o investimento consegue ser recuperado, salvo raras excepções, dentro do horizonte temporal considerado, ou seja, a longo prazo, esta é uma intervenção rentável.

Com o objectivo de promover igualmente um melhor desempenho energético dos edifícios, a instalação obrigatória de colectores solares para produção de água quente sanitária ao abrigo da legislação vigente, mereceu uma reflexão adicional sobre o período de amortização dum investimento referente à instalação dum sistema térmico solar para aquecimento de águas quentes sanitárias numa habitação unifamiliar tipo com 4 residentes.

Desse estudo, conclui-se que o período de retorno do investimento na instalação deste tipo de equipamento é bastante variável em função do tipo de energia substituída, sendo o caso economicamente menos vantajoso o da utilização do Gás Natural em alternativa à energia solar.

De salientar que os incentivos fiscais existentes são uma ajuda fundamental para uma maior celeridade do retorno do investimento, e assim favorecer a penetração destes sistemas que recorrem a energias renováveis em detrimento do recurso às energias convencionais.

Conclui-se ainda, que é economicamente mais vantajoso a aplicação deste equipamento em localidades com maior radiação solar, de que são exemplo neste estudo Lisboa e Faro, pois as necessidades energéticas para consumo de águas quentes sanitárias são inferiores, resultando assim numa menor necessidade dum apoio energético convencional.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de *Seleção Técnico-Económica da Espessura de Isolantes Térmicos a Aplicar na Envolvente Exterior Opaca dos Edifícios – Poliestireno Extrudido*, S.A..Iberfibran, Porto, 2007
- [2] DGEG, *Balanço Energético de 2005*. Sessão de Informação – Certificação Energética e Ar interior – Edifícios, 4 de Outubro de 2007, Auditório da Biblioteca Municipal Almeida Garrett, 20, ADENE, Porto
- [3] Fernandes, Eduardo de Oliveira, *A Energia nos Edifícios e o Papel das Agências de Energia*. Apresentação inserida na sessão de informação sobre o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior, 4 Outubro de 2007, Auditório da Biblioteca Municipal Almeida Garrett, 2, AdEPorto, Porto
- [4] Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L1, pp. 65 a 71
- [5] *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril). Diário da Republica nº 67, I SÉRIE-A, pp. 2411 a 2415
- [6] *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios* (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril). Diário da Republica nº 67, I SÉRIE-A, pp. 2416 a 2468
- [7] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril). Diário da Republica nº 67, I SÉRIE-A, pp. 2468 a 2513
- [8] CEN / ISO – *Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*, 1999. EN ISO 10456
- [9] Santos, C. A. P. dos, Matias, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, ITE 50, Lisboa, LNEC, 2006
- [10] ISO – *Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Guarded hot plate apparatus*, 1991. ISO 8302
- [11] CEN – *Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow methods – Products of high and medium thermal resistance*, 2001. EN 12667
- [12] CEN – *Thermal performance of building products and components – Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties – Part 2 – Measurements by guarded hot plate methods*, 1999. EN 1946-2
- [13] http://paginas.fe.up.pt/sccwww/lfc/Ensaios/body_ensaios.htm. 15/01/2008
- [14] ISO – *Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Heat flow meter*, 1991. ISO 8302
- [15] CEN – *Thermal performance of building products and components – Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties – Part 3 – Measurements by guarded hot plate methods*, 1998. EN 1946-3
- [16] <http://www.appliedp.sk/en/hfm8301.htm>. 01/02/2008
- [17] ISO – *Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Calibrated and guarded hot box*, 1996. ISO 8990

- [18] CEN – *Thermal performance of building products and components – Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties – Part 4 – Measurements by hot box methods*, 2000. EN 1946-4
- [19] <http://evitherm.athena.as>. 01/02/2008
- [20] CEN – *Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow methods – Thick products of high and medium thermal resistance*, 2000. EN 12939
- [21] CEN / ISO – *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method*, 1996. EN ISO 6946
- [22] *Código Técnico de la Edificación*, Março 2006, Espanha
- [23] Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de *Aplicación de “Poliestireno Extrudido” en la Envolvente de Los Edificios*. Iberfibran, Porto, Maio de 2007
- [24] Chvatal, K. M. S., *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edificios e o potencial de sobreaquecimento no Verão*, Doutoramento, FEUP, 2007
- [25] Scharmer, K., Greif, J. *The European Solar Radiation Atlas*, 110pp., Presses de l’École des Mines de Paris, Paris, 2000
- [26] Aguiar, R. *Software of Project P-CLIMA – Meteorological Data for Renewable Energies and Rational Use of Energy in Portugal*, Altener, 1998
- [27] ADENE. *Utilização de colectores solares para aquecimento de água no sector doméstico*, Junho 2003. <http://www.aguaquentesolar.com/noticiaseventos/Brochuras>. 01/02/2008
- [28] ADENE. *Água Quente Solar para Portugal*, Novembro 2001. http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/15/Brochura_AQS.pdf 01/02/2008
- [29] Carvalho, M. J., Pereira, M. C. *Solar Térmico Activo – Energias Renováveis em Portugal*, 2000. http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/17/FORUM_GT_Solar_Termico_Activo.pdf. 01/02/2008
- [30] http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/solar_tecnologias.asp. 01/02/2008
- [31] Carvalho, M. J., Pereira, M. C., Mendes, J. F., Miguel, R. L. *Sistemas solares para produção de água quente, Vol. I e II*. Altener, 1996
- [32] ADENE. *Certificação de equipamentos solares térmicos – colectores solares e sistemas do tipo “kit”*. 2004. <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/3/certificacaoEquipamentos.pdf>. 01/02/2008
- [33] Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de *Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos – Nota de Informação Técnica 001*, LFC, Porto, 1997
- [34] <http://europa.eu.int/comm/eurostat/>. 01/02/2008
- [35] http://www.sotecnisol.pt/materiais.php?area_id=4. 01/02/2008
- [36] <http://www.iberfibran.pt/index.asp>. 01/02/2008
- [37] <http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/proddata/xps/index.htm>. 01/02/2008
- [38] Aguiar, R., Carvalho, M. J. *Programa de Software SolTerm, Versão 5.02*. 27 Abril 2007

[39] Aguiar, R. *Manual de Instalação e Utilização do software SolTerm*. Instituto Nacional de Engenharia – Departamento de Energias Renováveis, Lisboa, Maio 2007

ANEXOS

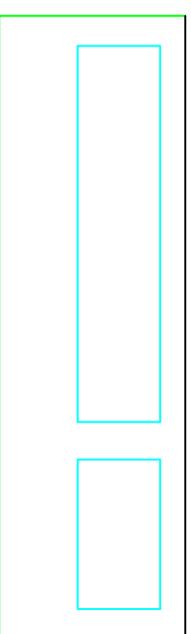
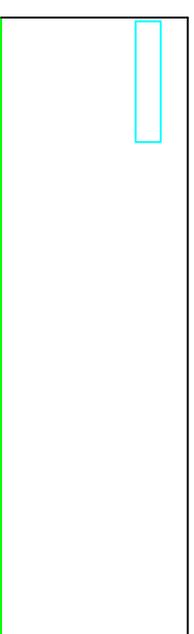
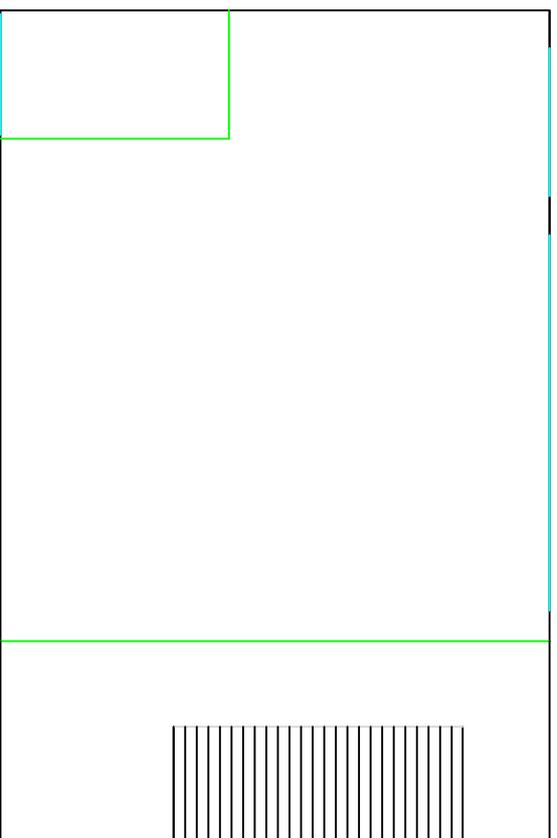
A1. MERCADO EUROPEU DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA

O quadro seguinte mostra a evolução do mercado de energia solar (2004-2006) em diferentes países europeus, de acordo com os dados divulgados pelo ESTIF – European Solar Thermal Industry Federation

País	Instalado em 2004	Instalado em 2005	Instalado em 2006	Total instalado até 2006	Previsão para 2007
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
Alemanha	750 000	950 000	1 500 000	8 054 000	1 500 000
Áustria	182 594	233 470	292 669	2 611 627	350 000
Bélgica	14 700	20 234	35 636	104 118	45 000
Dinamarca	20 000	21 250	25 300	362 280	32 000
Espanha	90 000	106 800	175 000	702 166	325 000
Finlândia	1 630	2 383	3 400	16 493	4 500
França	52 000	121 500	220 000	615 600	275 000
Grécia	215 000	220 500	240 000	3 287 200	300 000
Holanda	26 300	20 248	14 685	318 441	18 000
Itália	97 738	127 059	186 000	855 230	285 000
Portugal	10 000	16 000	20 000	180 950	24 000
Reino Unido	25 000	28 000	54 000	250 920	70 000
Suécia	20 058	22 621	28 539	236 929	34 000

A2. DESENHOS ESQUEMÁTICOS DAS FRACÇÕES AUTÓNOMAS QUE CONSTITUEM A BASE DE DADOS

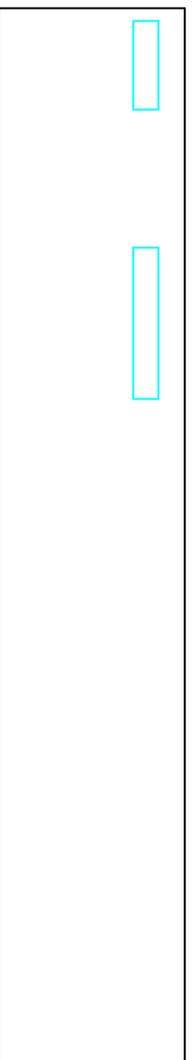
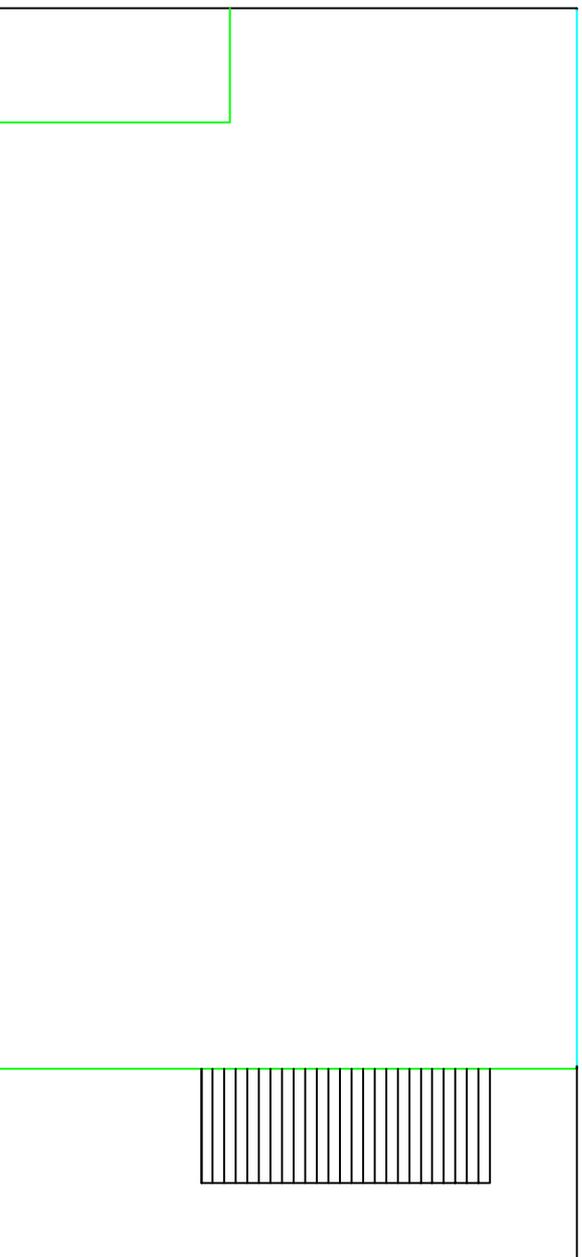
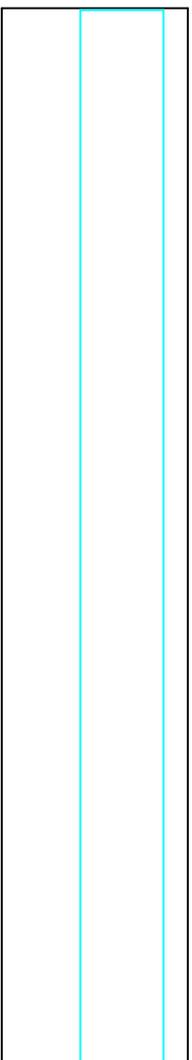
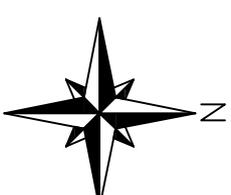
FE01 - Apartamento



-  área envidraçada
-  Envolvente exterior
-  Separação entre zonas aquecidas de não aquecidas

Escala 1/100

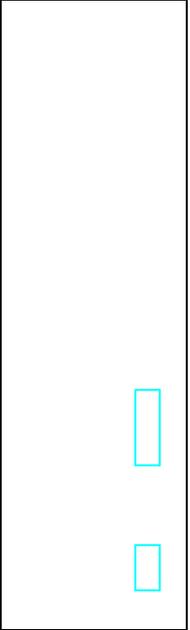
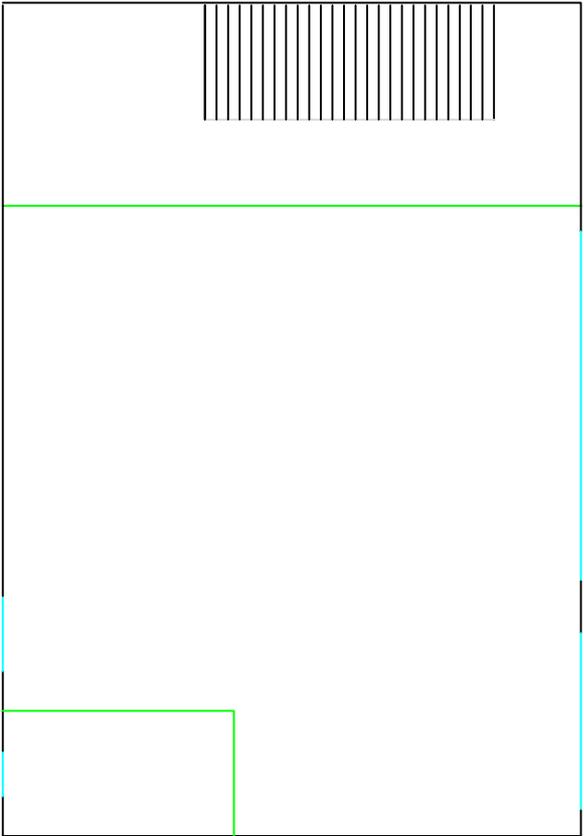
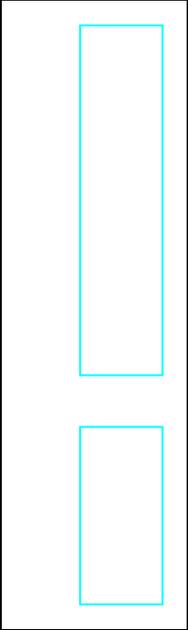
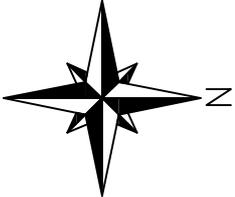
FE02 - Moradia



-  área envidraçada
-  Envolvente exterior
-  Separação entre zonas aquecidas de não aquecidas

Escala 1/100

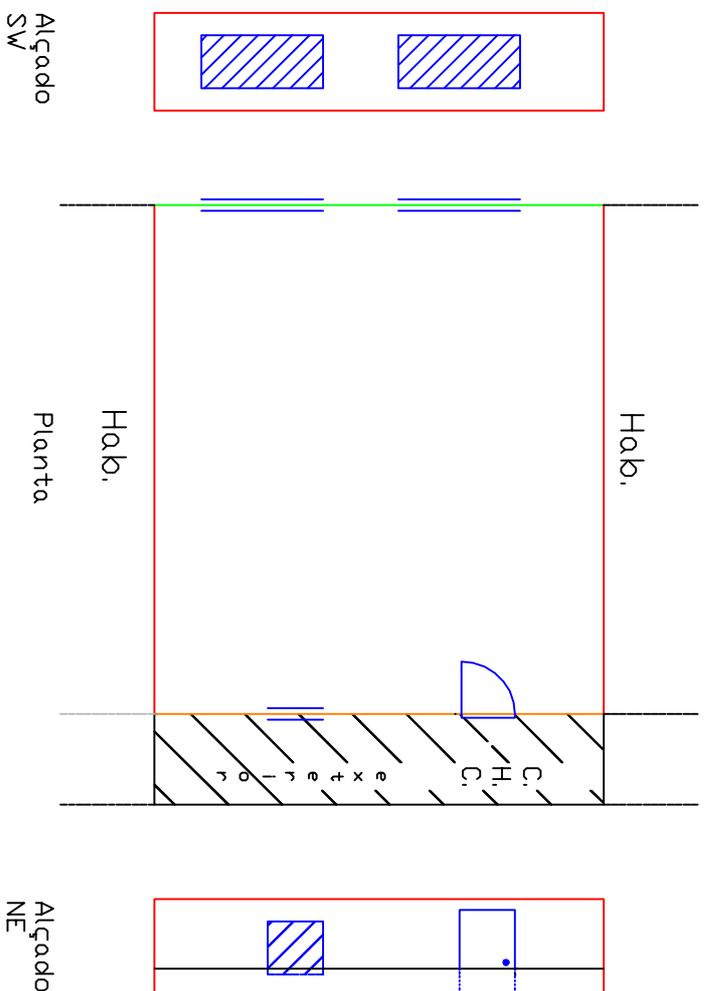
FE03-Apartamento



	Área envidraçada
	Envolvente exterior
	Separação entre zonas aquecidas de não aquecidas

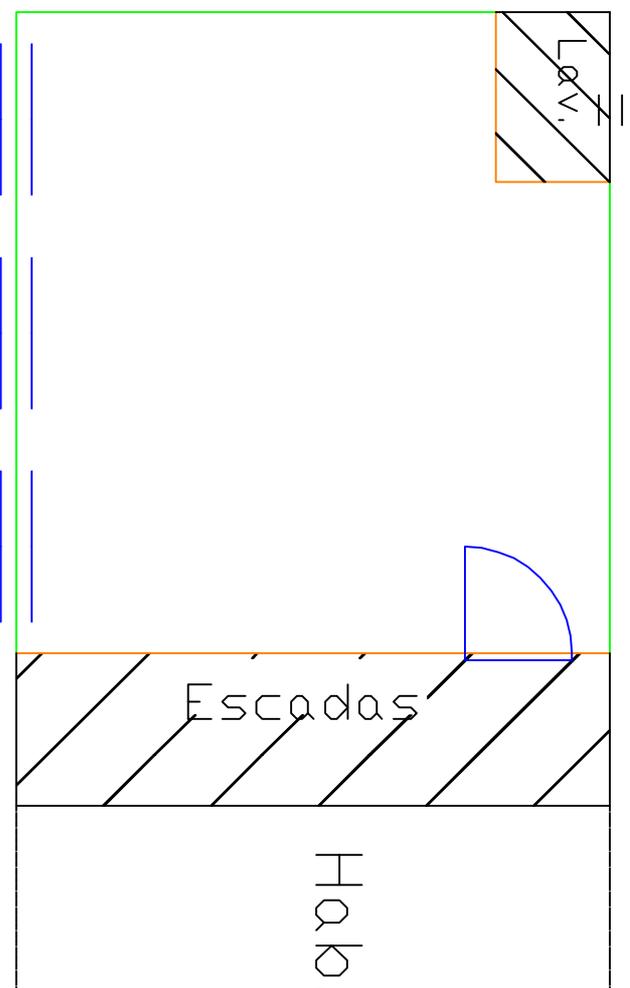
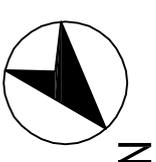
Escala 1/100

FF01 – Apartamento



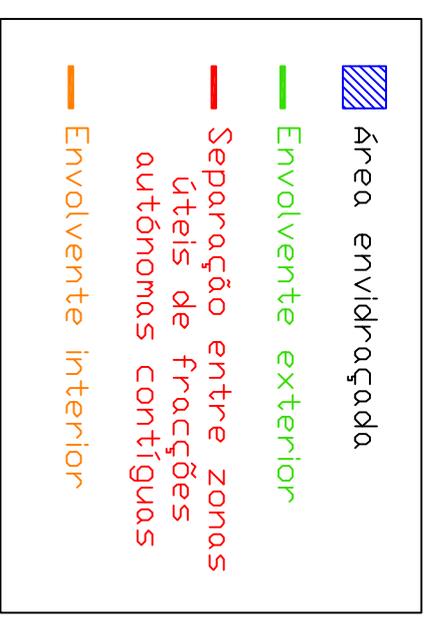
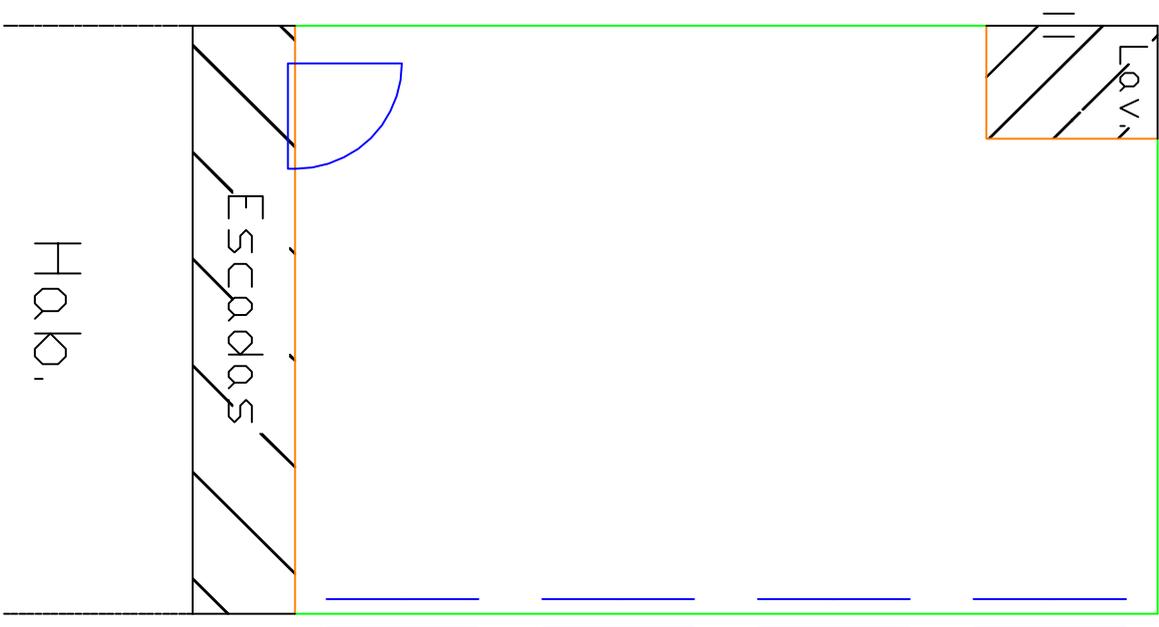
- Área envidraçada
- Envolvente exterior
- Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas
- Envolvente interior

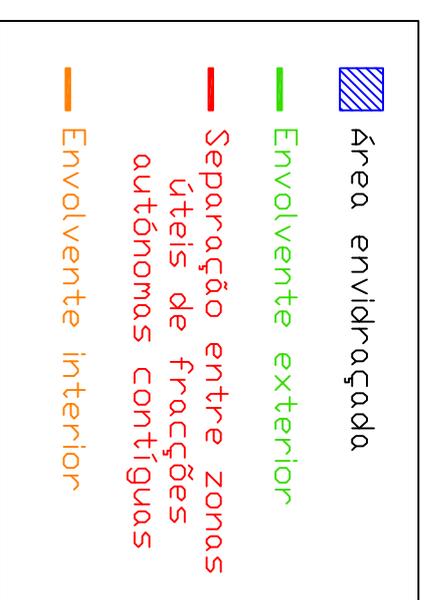
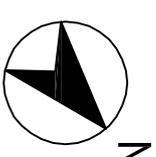
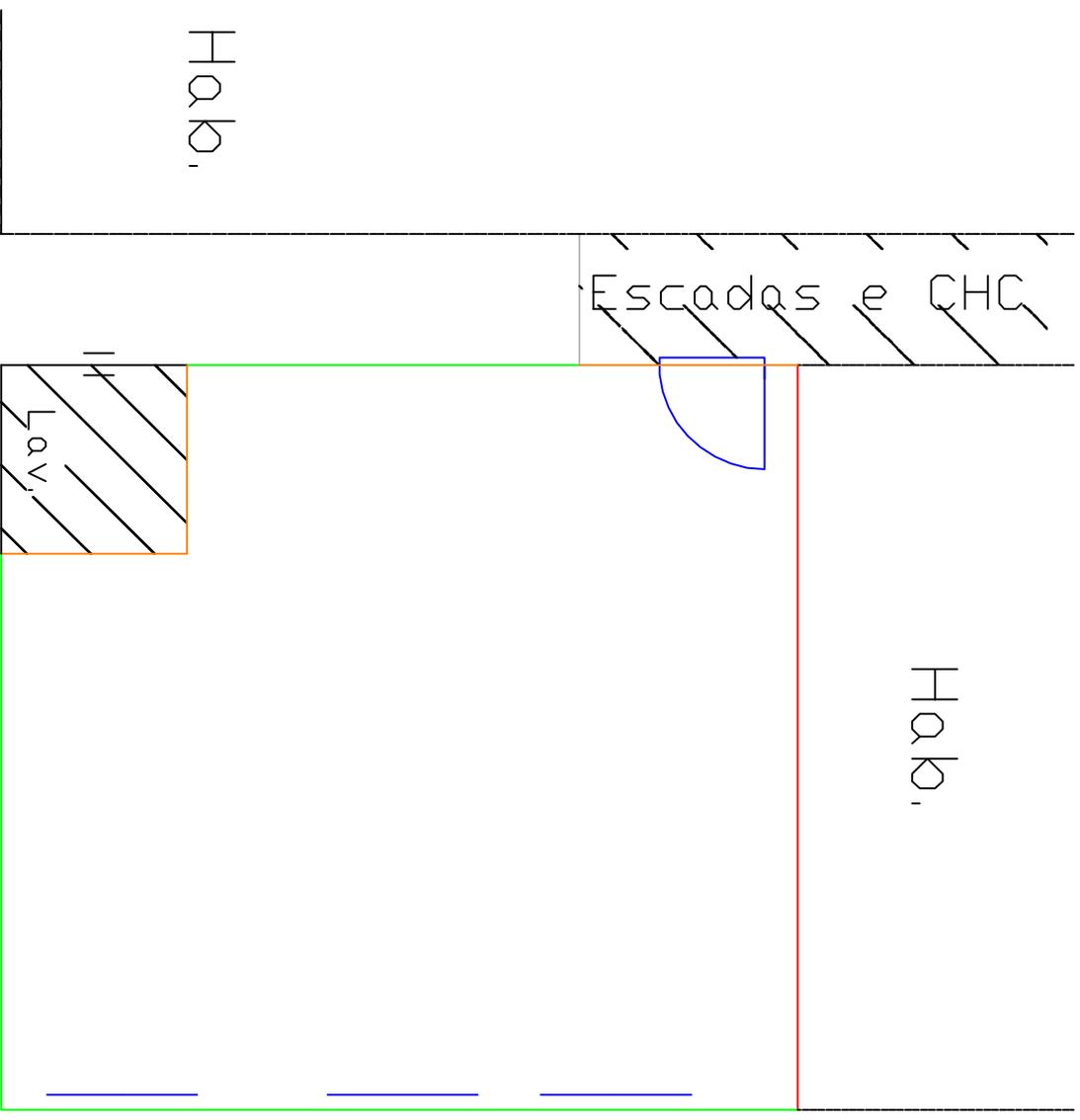
FF02 - Apartamento



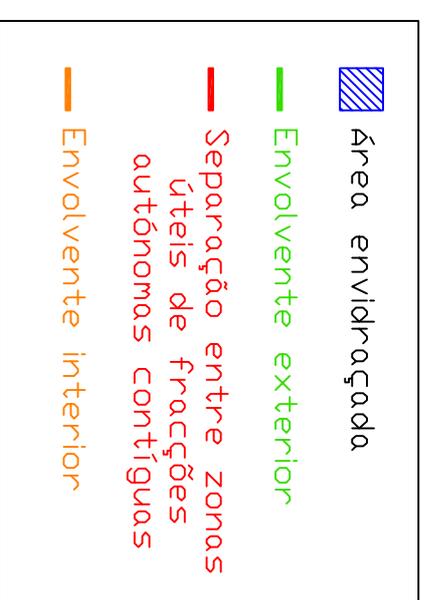
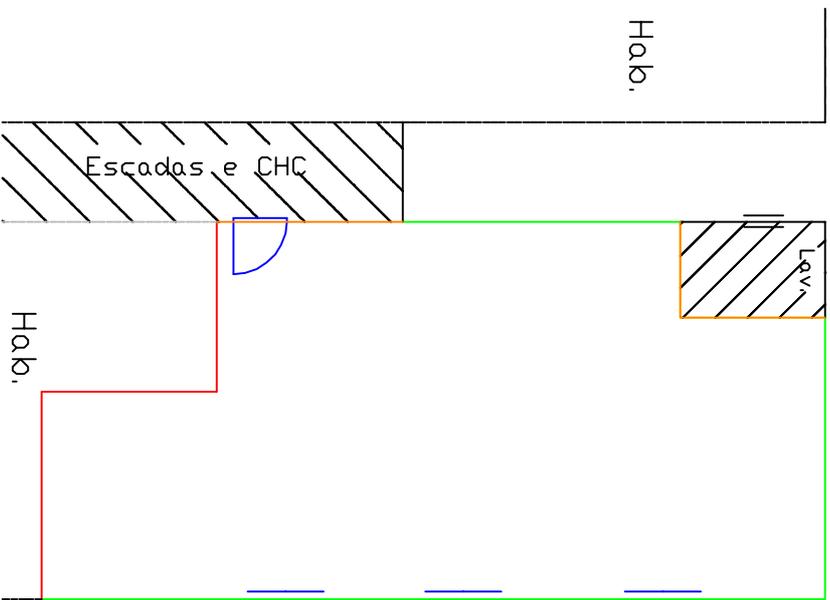
-  Área envidraçada
-  Envolvente exterior
-  Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas
-  Envolvente interior

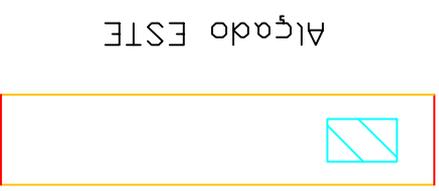
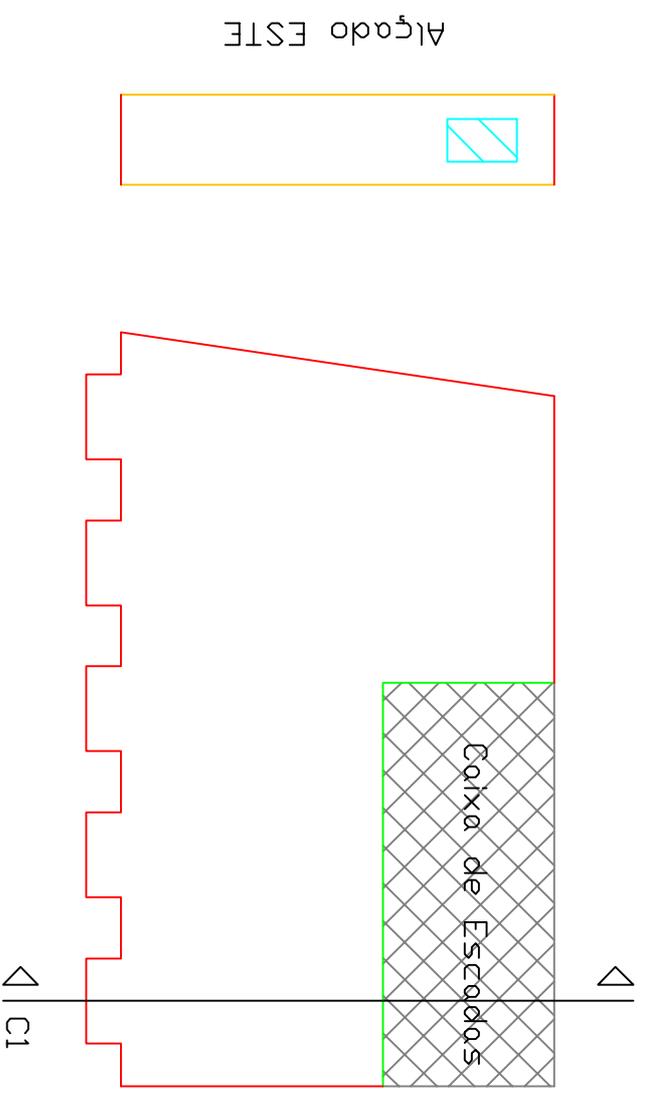
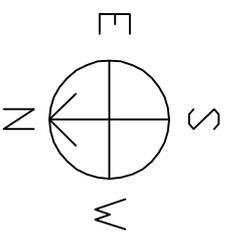
FF03 – Apartamento





FF05 - Apartamento





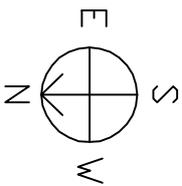
Corte C1

	Área envidraçada
	Área não útil
	Envolvente exterior
	Envolvente interior
	Separação entre zonas úteis de frações autónomas contíguas

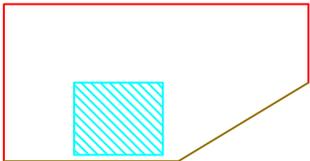
NF02 - Moradia

	Área envidraçada
	Área não útil
	Envolvente exterior
	Envolvente interior
	Separação entre zonas úteis de frações autónomas contíguas
	Envolvente em contacto com o solo

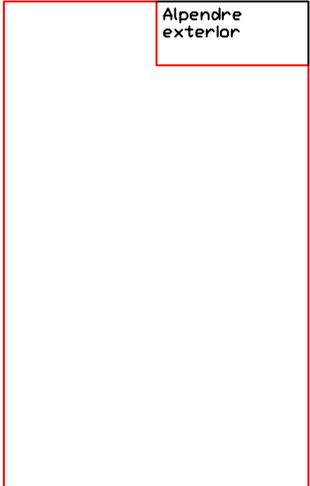
TMS opo51N



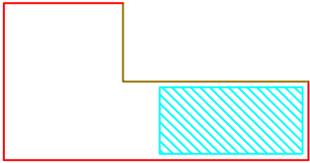
Alçado OESTE



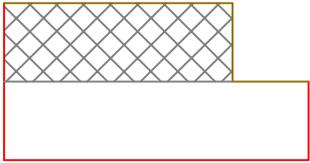
Planta piso 2



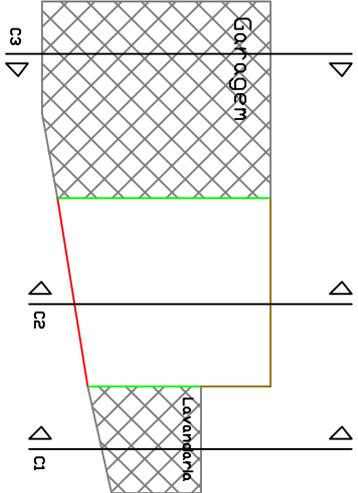
Alçado ESTE



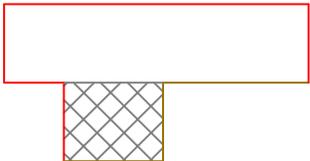
Corte C3



Planta piso 1



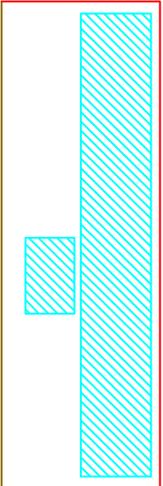
Corte C1



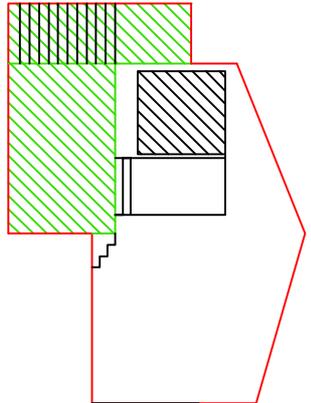
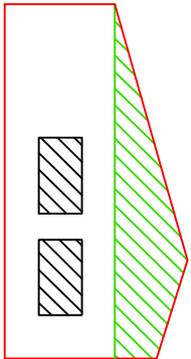
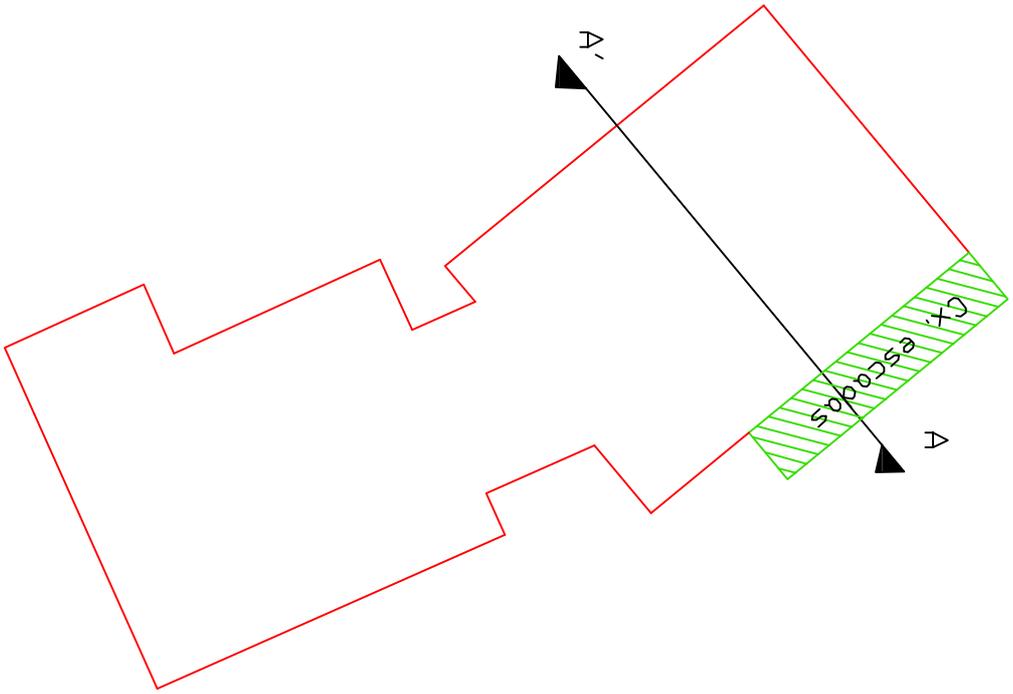
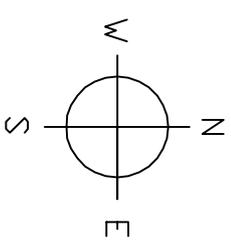
Corte C2



Alçado NORTE



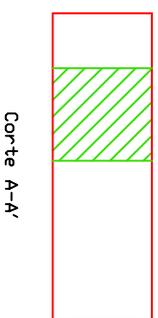
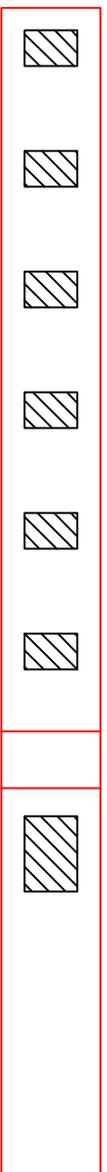
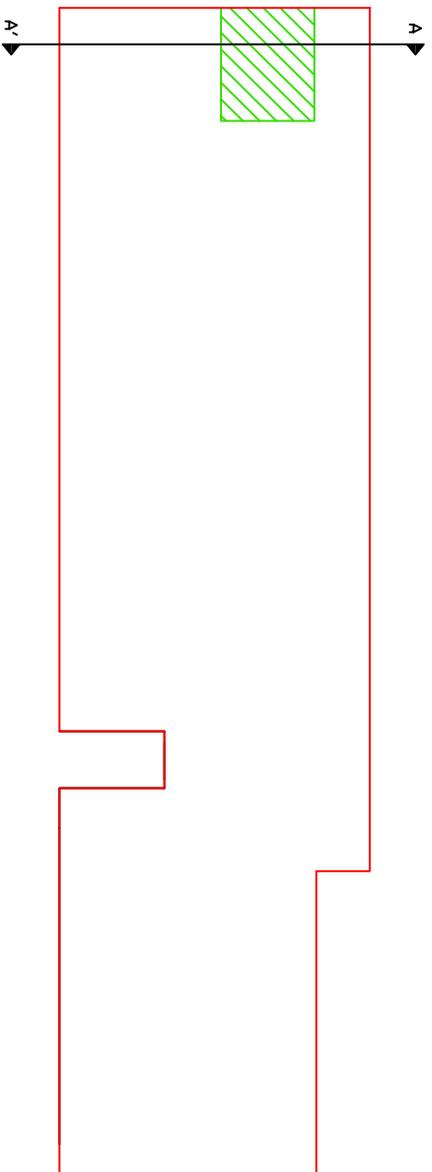
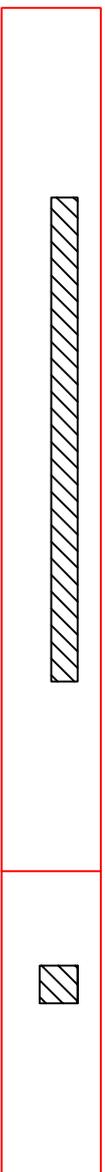
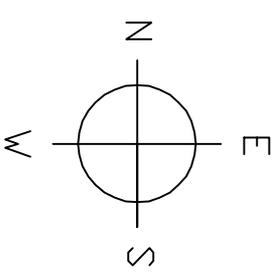
PP01 - Moradia



-  área envidraçada
-  área não útil
-  Envolvente exterior
-  Envolvente interior
-  Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas

Escala 1/100

PP02 - Moradia

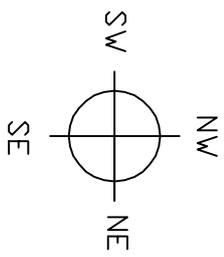


-  Área envidraçada
-  Área não útil
-  Envolvente exterior
-  Envolvente interior
-  Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas

Escala 1/200

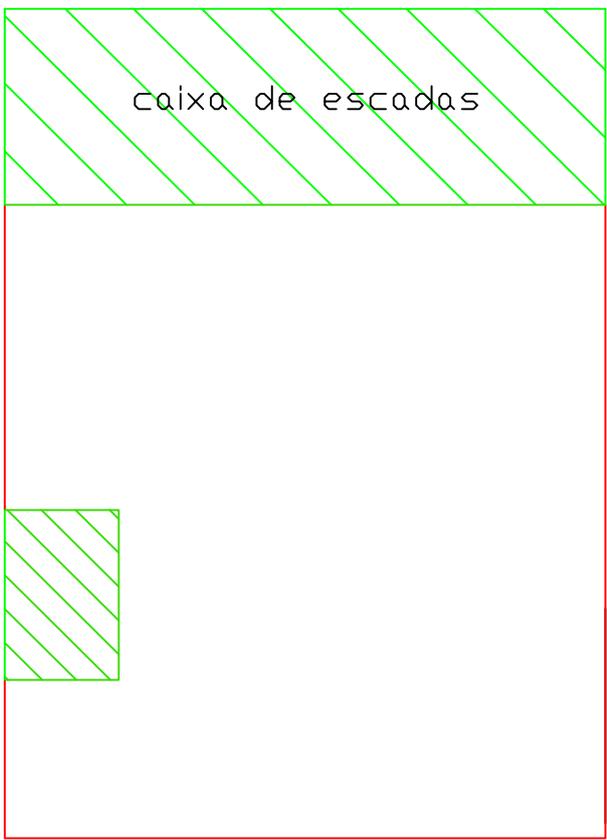
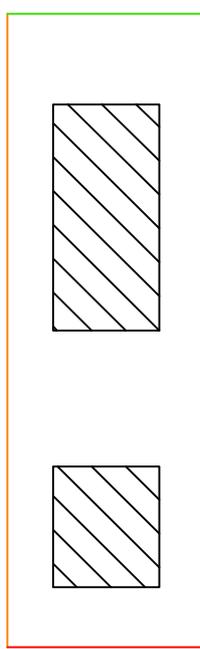
PP03 – Apartamento

T1 (empena)

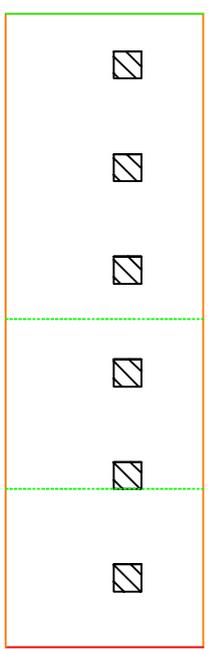


- Área envidraçada
- Área não útil
- Envolvente exterior
- Envolvente interior
- Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas

alçado NW



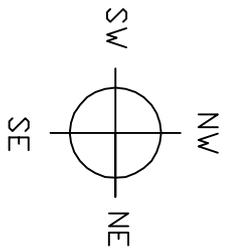
alçado SE



Escala 1/100

PP04 - Apartamento

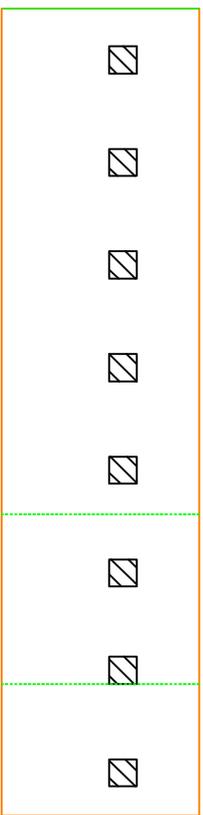
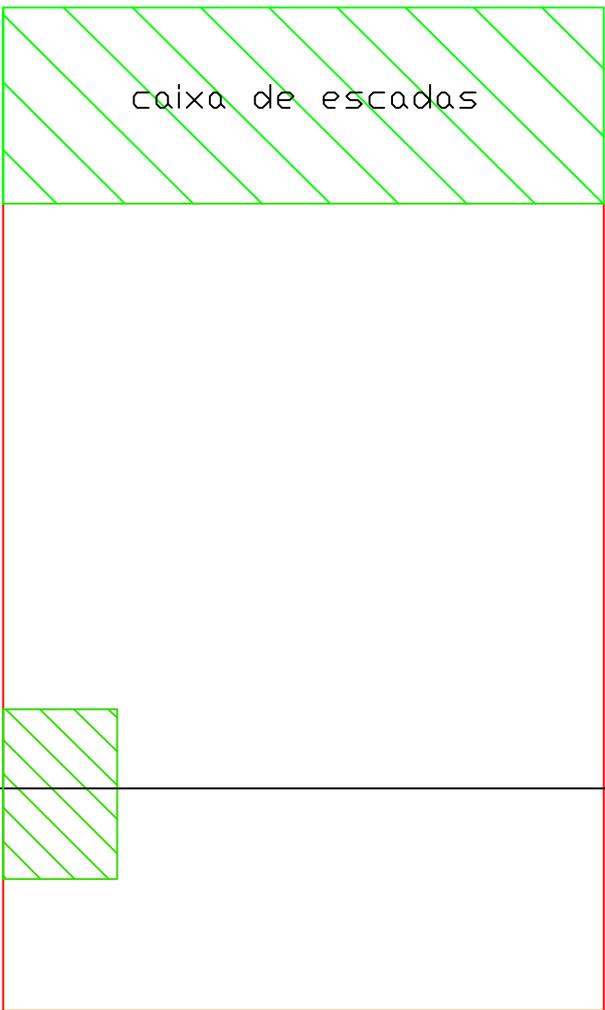
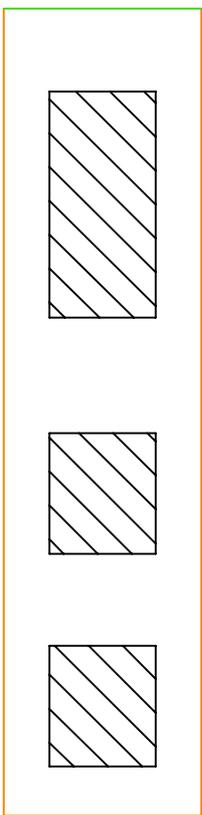
T2



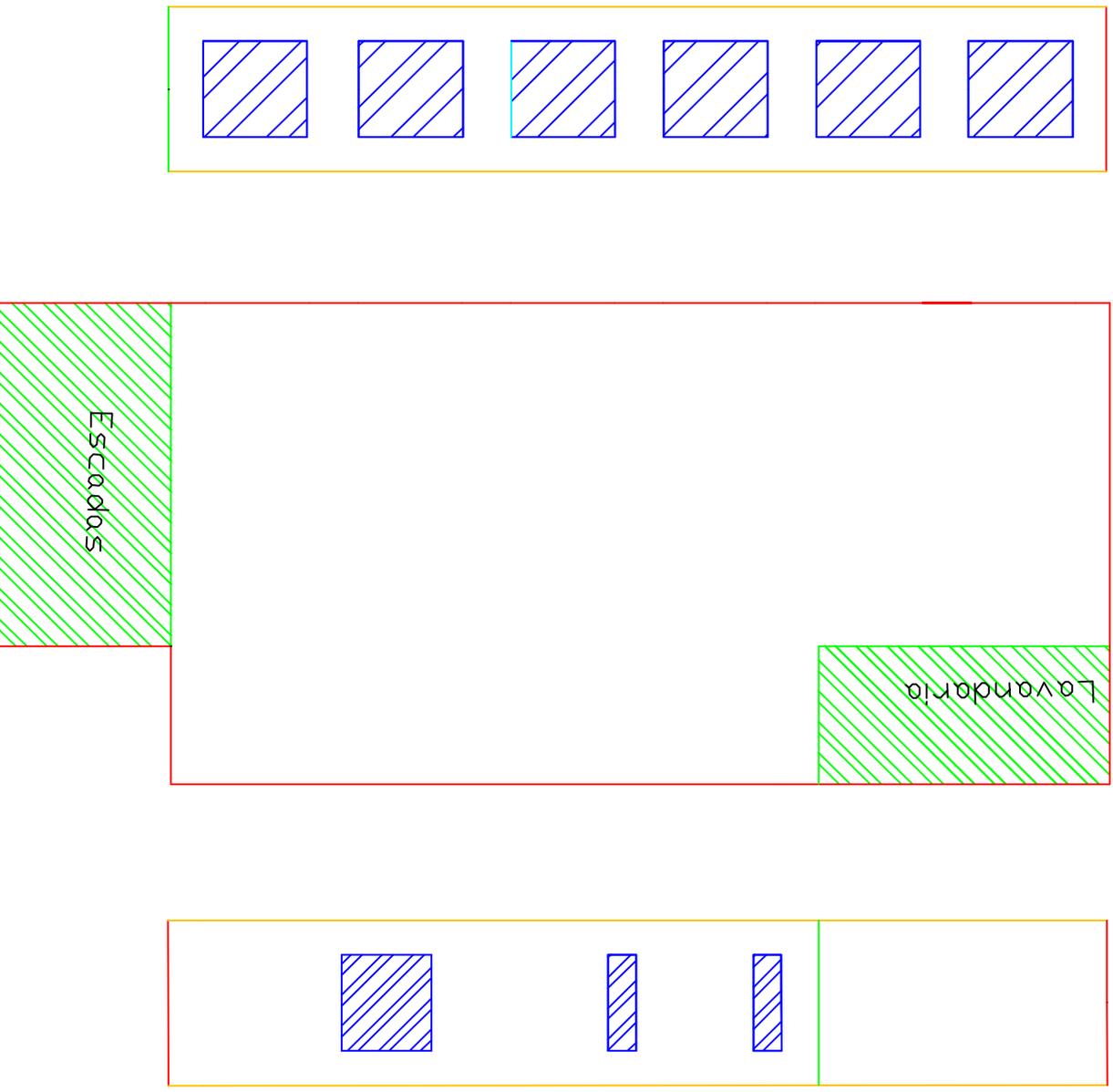
Corte A-A'

	Área envidraçada
	Área não útil
	Envolvente exterior
	Envolvente interior
	Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas

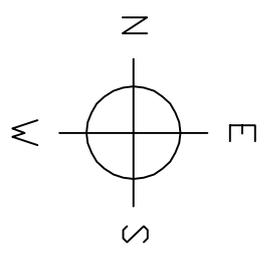
Escala 1/100



PT01-Apartamento



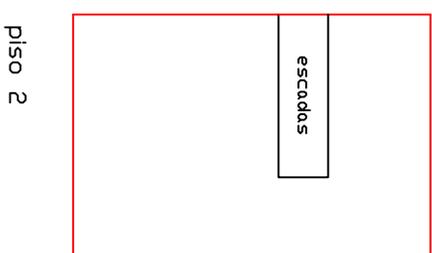
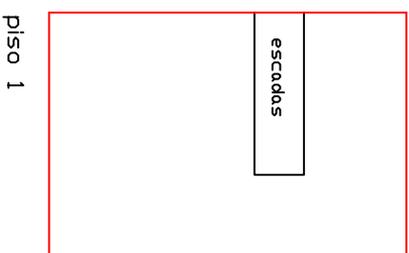
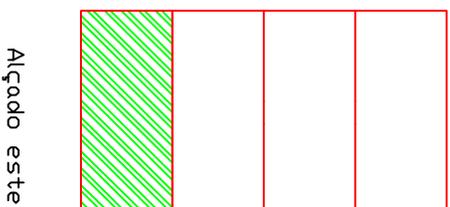
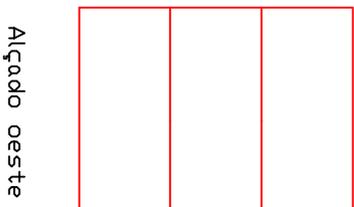
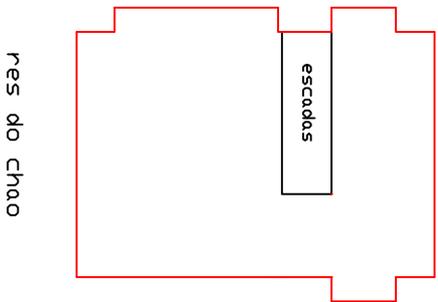
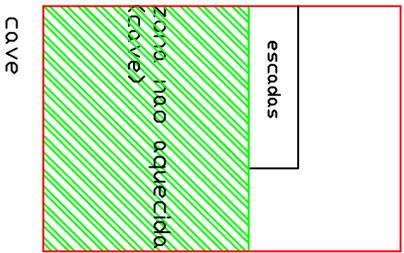
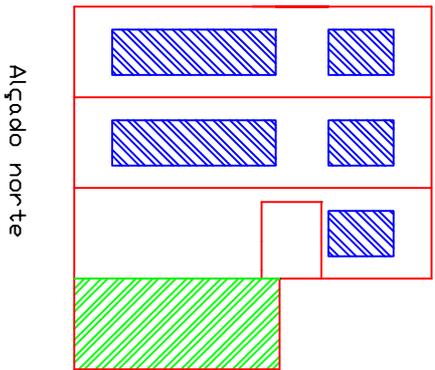
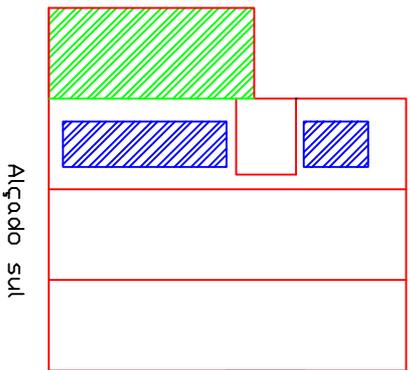
Alçado sul



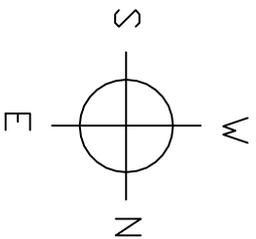
-  Área envidraçada
-  Área não útil
-  Envolvente exterior
-  Envolvente interior
-  Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas

Escala 1/100

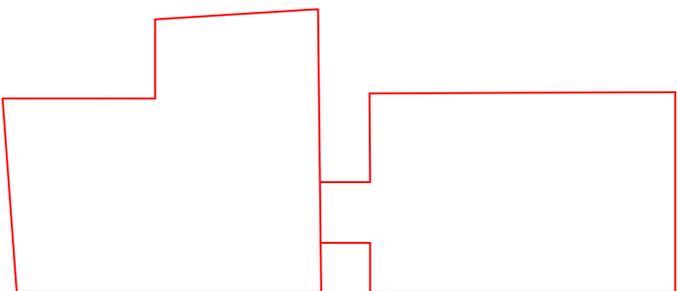
PT02-Moradia



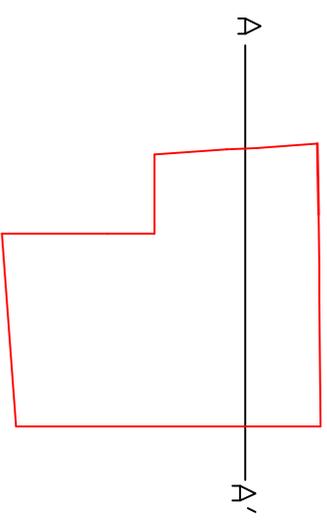
-  área envidraçada
-  área nao util
-  Envolvente exterior
-  Envolvente interior
-  Separacao entre zonas uteis de fracções autonomas contiguas



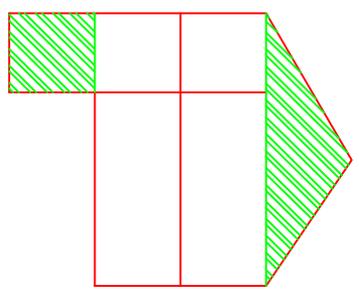
PT03-Moradia



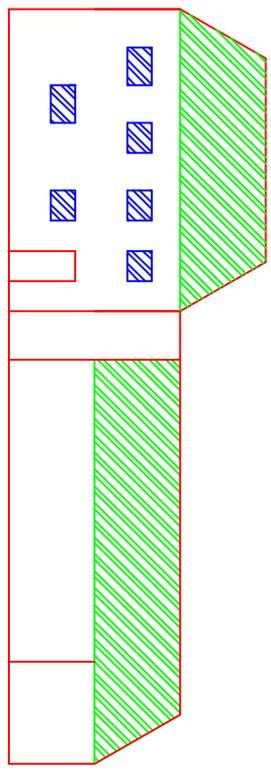
Planta do R/C



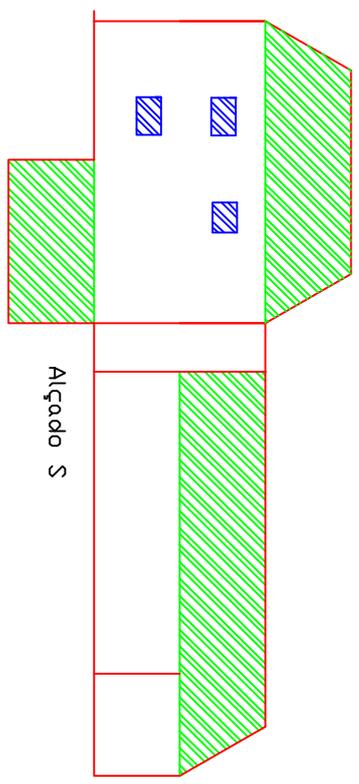
Planta do 1º piso



Corte AA'

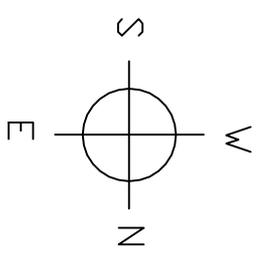


Alçado N



Alçado S

	Área envidraçada
	Área não útil
	Envolvente exterior
	Envolvente interior
	Separação entre zonas úteis de fracções autónomas contíguas



Escala 1/200

A3. NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO

No Quadro seguinte são apresentados os valores das necessidades nominais de aquecimento das várias fracções tipos que constituem a base de dados em função do nível de qualidade térmica.

	Designação da Fracção-autónoma	N1		N2		N3		N4	
		Nic (kWh/m ² .ano)	Total energia kWh/ano	Nic (kWh/m ² .ano)	Total energia kWh/ano	Nic (kWh/m ² .ano)	Total energia kWh/ano	Nic (kWh/m ² .ano)	Total energia kWh/ano
Moradias (5)	PP01	111.14	19449.5	98.56	17248.0	90.12	15771.0	86.07	15062.3
	PP02	85.22	16721.9	74.71	14659.6	67.27	13199.7	64.30	12616.9
	PT02	74.74	17220.1	63.70	14676.5	57.13	13162.8	52.77	12158.2
	PT03	127.95	30280.6	96.24	22776.2	85.24	20172.9	77.91	18438.2
	NF02	103.69	20322.2	93.92	18407.4	88.07	17260.8	84.17	16496.5
Apartamentos (36)	PP03	71.33	3545.1	59.70	2967.1	52.76	2622.2	48.17	2394.0
	PP03_a	92.68	4606.2	75.64	3759.3	65.45	3252.9	58.69	2916.9
	PP03_b	101.25	5032.1	82.04	4077.4	70.56	3506.8	62.93	3127.6
	PP04	50.86	3407.6	43.30	2901.1	38.80	2599.6	35.84	2401.3
	PP04_a	71.61	4797.9	58.72	3934.2	51.02	3418.3	45.95	3078.7
	PP04_b	79.97	5358.0	64.95	4351.7	55.99	3751.3	50.05	3353.4
	PT01	72.53	6941.1	62.16	5948.7	55.97	5356.3	51.87	4964.0
	PT01_a	89.78	8591.9	75.03	7180.4	66.22	6337.3	60.37	5777.4
	PT01_b	96.70	9254.2	80.20	7675.1	70.34	6731.5	63.79	6104.7
	FF01	33.43	2068.6	30.43	1883.0	28.66	1773.5	27.49	1701.1
	FF01_a	49.83	3083.5	42.52	2631.1	38.21	2364.4	35.36	2188.1
	FF01_b	56.56	3499.9	47.50	2939.3	42.13	2607.0	38.60	2388.6
	FF02	71.74	3565.5	60.02	2983.0	53.03	2635.6	48.39	2405.0
	FF02_a	89.02	4424.3	72.91	3623.6	63.29	3145.5	56.91	2828.4
	FF02_b	95.95	4768.7	78.09	3881.1	67.42	3350.8	60.33	2998.4
	FF03	63.88	4280.0	53.94	3614.0	48.04	3218.7	44.14	2957.4
	FF03_a	81.03	5429.0	66.70	4468.9	58.16	3896.7	52.51	3518.2
	FF03_b	87.93	5891.3	71.83	4812.6	62.24	4170.1	55.88	3744.0
	FF04	68.97	3655.4	56.15	2976.0	48.49	2570.0	43.42	2301.3
	FF04_a	86.30	4573.9	69.09	3661.8	58.80	3116.4	51.96	2753.9
	FF04_b	93.23	4941.2	74.28	3936.8	62.94	3335.8	55.40	2936.2
	FF05	51.85	5133.2	43.79	4335.2	38.99	3860.0	35.82	3546.2
	FF05_a	69.08	6838.9	56.62	5605.4	49.19	4869.8	44.26	4381.7
	FF05_b	76.00	7524.0	61.79	6117.2	53.30	5276.7	47.67	4719.3
	NF01	63.01	7781.7	53.59	6618.4	47.96	5923.1	44.22	5461.2
	NF01_a	80.33	9920.8	66.55	8218.9	58.29	7198.8	52.81	6522.0
	NF01_b	87.28	10779.1	71.74	8859.9	62.44	7711.3	56.25	6946.9
	FE01	71.89	3844.3	61.72	3300.5	55.64	2975.3	51.60	2759.3
	FE01_a	89.04	4761.4	74.54	3986.0	65.86	3521.9	60.10	3213.8
	FE01_b	95.92	5129.3	79.68	4260.9	69.97	3741.6	63.51	3396.2
FE02	50.87	2720.3	42.41	2267.9	37.43	2001.6	34.16	1826.7	
FE02_a	67.66	3618.1	54.18	2897.3	47.20	2524.0	42.19	2256.1	
FE02_b	74.44	3980.7	59.84	3199.9	51.17	2736.3	45.47	2431.5	
FE03	53.72	5340.6	46.45	4617.8	41.80	4155.5	38.85	3862.3	
FE03_a	70.84	7042.6	59.00	5865.5	51.93	5162.6	47.25	4697.4	
FE03_b	77.72	7726.5	64.13	6375.5	56.02	5569.2	50.64	5034.4	