



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estudo Comparativo de Soluções de Climatização e de Produção de AQS no Âmbito da Certificação Energética de Edifícios (RCCTE)

Nicolau André Rodrigues Teixeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva
Co-orientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, Junho de 2011

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva, agradeço a oportunidade, o incentivo, as orientações e a disponibilidade sempre demonstradas.

Ao Professor Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno, agradeço a disponibilidade e orientações demonstradas, principalmente ao nível do RCCTE.

A todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para eu alcançar o meu objectivo.

A todos, obrigado.

Resumo

A presente dissertação foi realizada com o intuito de analisar o impacto de diferentes sistemas de climatização e de produção de águas quentes sanitárias, na certificação energética dos edifícios, no âmbito do RCCTE.

Para efectuar o estudo pretendido foi necessário recorrer a uma folha de cálculo existente, que permitia avaliar o desempenho térmico de um edifício ao abrigo da legislação existente actualmente em Portugal (RCCTE). Partindo da folha de cálculo existente, foram acrescentadas algumas funcionalidades, das quais se destaca a possibilidade de efectuar o fraccionamento energético do edifício em estudo.

Na segunda parte do trabalho foi avaliado o impacto, na classificação do edifício, de diferentes combinações de equipamentos para aquecimento, arrefecimento e AQS. Foi também avaliado o impacto em termos de factura energética anual e período simples de retorno, das diferentes combinações propostas com e sem fraccionamento energético.

Finalmente foi analisada a viabilidade da utilização de um sistema solar térmico para o apoio ao aquecimento ambiente, tendo em conta que este sistema seria independente do utilizado para a produção de AQS.

Abstract

The present dissertation was realized with the aim of analyse the impact, in the energetic certification of buildings (RCCTE), of different air conditioning and DHW systems.

To realize this study it was necessary to use a existing spreadsheet, which allow to determine the building thermal performance under the actual Portuguese legislation (RCCTE). By starting with the existing spreadsheet new features was added, which stands out the possibility of energy fractionation in the studied building.

In the second part of the study a combination set of equipments for heating, cooling and DHW were evaluated in order to see the effect in the building classification. It was also evaluated the impact of the combination set, on the energetic bill and payback period.

Finally it was analyzed the practicability for using a solar system for backing up the heating system, taking into account that this solar system was independent from the one used for DHW production.

Índice

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PERSPECTIVA GERAL	1
1.2 PROBLEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA	2
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
1.4 OBJECTIVOS E CONTRIBUIÇÃO DA TESE	6
1.5 VISÃO GERAL DA ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	7
CAPÍTULO 2 - ENERGIA E EDIFÍCIOS	8
2.1 PERSPECTIVAS MUNDIAIS	8
2.2 PORTUGAL.....	13
2.3 EDIFÍCIOS	18
2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL.....	20
2.5 RCCTE - DECRETO-LEI Nº 80/2006	22
2.6 CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA	26
CAPÍTULO 3 - SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS	28
3.1 COLECTORES SOLARES	28
3.2.1 <i>Colector Simple</i>	29
3.2.2 <i>Colector Solar Plano</i>	29
3.2.3 <i>Colector Evacuado</i>	31
3.2.4 <i>Concentradores Solares</i>	31
3.2 TERMOACUMULADORES.....	32
3.2.1 <i>Acumuladores não pressurizados</i>	34
3.2.2 <i>Acumuladores pressurizados</i>	34
3.3 BOMBA DE CALOR	38
3.3.1 <i>Funcionamento</i>	38
3.3.2 <i>Equipamento emissor</i>	40
3.4 CALDEIRAS.....	41
3.4.1 <i>Funcionamento</i>	41
3.4.2 <i>Equipamento emissor</i>	42
CAPÍTULO 4 - ALGORITMO DE CÁLCULO	43
4.1 FOLHA DE CÁLCULO	43
4.1.1 <i>Separador “Climatização”</i>	43
4.1.2 <i>Separador “AQS Convencional”</i>	46
4.1.3 <i>Cálculo de N_{tc}</i>	47
4.2 EQUIPAMENTOS	48

4.2.1	<i>Classificação energética</i>	51
4.2.2	<i>Apoio solar</i>	51
4.2.4	<i>Fraccionamento energético</i>	53
CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASOS		55
5.1	EDIFÍCIO	55
5.1.1	<i>Necessidades de aquecimento</i>	56
5.1.2	<i>Necessidades de arrefecimento</i>	56
5.1.3	<i>Águas quentes sanitárias</i>	56
5.1.4	<i>Energia primária</i>	57
5.2	CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA	57
5.3	FRACCIONAMENTO ENERGÉTICO	60
5.4	APOIO SOLAR	62
5.5	ANÁLISE DE RESULTADOS	66
5.5.1	<i>Classificação energética</i>	66
5.5.2	<i>Fraccionamento energético</i>	67
5.5.3	<i>Apoio solar</i>	68
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES		70
6.1	CONCLUSÕES	70
6.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72

Lista de Figuras

- Figura 2.1** - Evolução mundial do número de habitantes
- Figura 2.2** - Evolução das emissões de GEE
- Figura 2.3** - Evolução da procura de matéria-prima
- Figura 2.4** - Evolução do crescimento anual de consumo de electricidade, por sector
- Figura 2.5** - Evolução do consumo de electricidade, por sector
- Figura 2.6** - Independência energética de Portugal e dos países da OCDE Europa
- Figura 2.7** - Relação entre produção total e consumo final total de energia
- Figura 2.8** - Importações de recursos energéticos no ano de 2009
- Figura 2.9** - Consumo energético em Portugal, por sector, no ano de 2007
- Figura 2.10** - Comparação entre consumo e produção total de electricidade em Portugal
- Figura 2.11** - Evolução do consumo de electricidade *per capita* em Portugal
- Figura 2.12** - Contribuição das energias renováveis para a produção eléctrica
- Figura 2.13** - Evolução do índice de hidraulicidade
- Figura 2.14** - Consumo de electricidade por sector, em Portugal
- Figura 2.15** - Repartição dos consumos de energia no sector doméstico
- Figura 3.1** - Componente gerais de um colector solar
- Figura 3.2** - Aspecto genérico de um colector plano
- Figura 3.3** - Sistema solar térmico
- Figura 3.4** - Sistema termossifão
- Figura 3.5** - Sistema solar com tanque pressurizado
- Figura 3.6** - Termoacumulador com uma serpentina
- Figura 3.7** - Termoacumulador com duas serpentinas
- Figura 3.8** - Relação entre energia produzida e fornecida
- Figura 3.9** - Circuito interno de uma bomba de calor
- Figura 4.1** - Formulário referente ao aquecimento
- Figura 4.2** - Formulário referente ao arrefecimento
- Figura 4.3** - Formulário referente à preparação de AQS
- Figura 4.4** - Formulário referente à descrição dos colectores solares

Lista de Tabelas

- Tabela 2.1 - Valores máximos do índice N_i
- Tabela 2.2 - Valores máximos do índice N_v
- Tabela 2.3 - Escala de classificação dos edifícios
- Tabela 4.1 - Lista de equipamentos e respectivas características
- Tabela 4.2 - Potências térmicas de aquecimento
- Tabela 4.3 - Custos associados aos equipamentos emissores
- Tabela 4.4 - Combinações de equipamentos, propostas
- Tabela 4.5 - Características do colector
- Tabela 4.6 - Energia para diferentes percentagens de apoio solar
- Tabela 4.7 - Sistema de apoio solar ao aquecimento
- Tabela 4.8 - Conjunto de combinações propostas
- Tabela 5.1 - Zonas existentes no edifício e respectivas áreas
- Tabela 5.2 - Necessidades de aquecimento
- Tabela 5.3 - Necessidades de arrefecimento
- Tabela 5.4 - Necessidades de AQS
- Tabela 5.5 - Necessidades de energia primária
- Tabela 5.6 - Combinações dos diferentes equipamentos
- Tabela 5.7 - Resultados da classificação energética
- Tabela 5.8 - Factores de conversão
- Tabela 5.9 - Custos, poupança e período de retorno
- Tabela 5.10 - Conjunto de combinações propostas
- Tabela 5.11 - Resultados do fraccionamento energético
- Tabela 5.12 - Custos, poupança e período de retorno
- Tabela 5.13 - Custos associados ao sistema solar
- Tabela 5.14 - Custos para suprir necessidades de aquecimento
- Tabela 5.15 - Preços utilizados nas simulações
- Tabela 5.16 - Poupança em relação ao caso de referência
- Tabela 5.17 - Custos associados aos sistemas propostos
- Tabela 5.18 - Resultados do aumento do preço da electricidade em 20%
- Tabela 5.19 - Resultados do aumento do preço do gás natural em 20%
- Tabela 5.20 - Resultados do aumento generalizado dos preços em 10%

Lista de Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
APREN	Associação de Energias Renováveis
AQS	Água Quente Sanitária
DGGE	Direcção Geral de Energia e Geologia
DHW	Domestic Hot Water
EEA	European Environment Agency
GEE	Gases Efeito Estufa
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
RCCTE	Regulamento da Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética

Capítulo 1- Introdução

1.1 Perspectiva geral

Previsões efectuadas pela *International Energy Agency* (IEA) e a OCDE indicam que o número de habitantes no nosso planeta irá inevitavelmente aumentar. Esse aumento da população mundial tem consequências directas no aumento das necessidades energéticas e por consequência no aumento das emissões de CO₂, responsável por grande parte dos problemas climáticos associados ao aumento da temperatura média na superfície terrestre (efeito de estufa).

As alterações climáticas estão cada vez mais na ordem do dia, devido aos seus efeitos devastadores a vários níveis. Tendo em conta esse problema ambiental, foi assinado em 1997 o protocolo de Quioto, com o objectivo da diminuição dos gases de efeito estufa por parte dos países que assinaram o acordo. Apesar de nem todos os países do mundo terem assinado o acordo, a verdade é que a maioria o fez e essa atitude foi um passo importante para tentar resolver a problemática ambiental.

Para reduzir as emissões de CO₂ acordadas em Quioto, os países tiveram de tomar medidas de eficiência energética em diversos sectores (indústria, transportes, edifícios). Como a presente dissertação está relacionada com a eficiência energética nos edifícios, será dedicada maior atenção a este sector.

A União Europeia tem demonstrado grande preocupação com as questões ambientais e em consequência disso criou a Directiva 2002/91/CE com o intuito de introduzir medidas de eficiência energética nos edifícios. Esta directiva terá de ser transposta para a “realidade” energética de cada um dos Países Membros.

Com o objectivo de cumprir a referida directiva em Portugal, os responsáveis políticos criaram um conjunto de Decretos-Lei, a saber: 78/2006, 79/2006 e 80/2006. O âmbito da presente dissertação fica enquadrado maioritariamente no Decreto-Lei 80/2006 (RCCTE), que está direccionado para edifícios residenciais e pequenos edifícios de serviços (área de pavimento inferior a 1000 m² e equipamentos de climatização com potências inferiores a 25 kW).

A legislação referida (RCCTE) tem como principal objectivo, a introdução de medidas construtivas nos edifícios com o intuito de reduzir as necessidades energéticas anuais, por unidade de área, mas também contempla as fontes de energia e a eficiência dos equipamentos de climatização e AQS e o recurso a energias renováveis. As questões relacionadas com a qualidade do ar interior estão inseridas no RCCTE através da

obrigatoriedade de se implementar soluções construtivas que garantam uma taxa de renovação horária do ar interior (no mínimo de 0,6 renovações por hora) de modo a garantir a qualidade do ar interior.

1.2 Problema em estudo e sua relevância

Desde a alteração em 2006 do RCCTE que os intervenientes ligados à certificação energética têm tomado medidas para que os edifícios obtenham boas classificações, de modo a melhorar o conforto dos futuros proprietários e a diminuir as emissões de GEE.

O facto de um edifício possuir um conjunto de soluções construtivas e tecnológicas eficientes permite também, em alguns casos, diminuir os custos associados à factura energética a ser paga mensalmente pelas famílias.

Este conjunto de possíveis benefícios, levaram a que as entidades nacionais e internacionais prestassem uma especial atenção à eficiência energética nos edifícios, de modo a conseguir melhorar a qualidade dos edifícios actuais e existentes.

Com o previsível aumento das necessidades energéticas mundiais e correspondente aumento de emissões de GEE, o sector dos edifícios toma um lugar de relevo devido ao seu peso em termos de consumo energético e ao seu potencial de melhoramento.

1.3 Revisão Bibliográfica

Tendo em conta que o tema geral da presente dissertação está relacionado com a temática da eficiência energética e medidas a ser tomadas para melhorar o desempenho dos edifícios, optou-se por efectuar uma pesquisa bibliográfica mais geral e abrangente.

Vítor Leal [et al.] (2008) efectuaram um estudo comparativo entre os resultados obtidos através da legislação vigente em Portugal (RCCTE) e um programa de simulação dinâmica (ESP-r). Após ter introduzido os dados, os autores verificaram que existia uma boa correlação entre os valores obtidos para as necessidades energéticas de aquecimento. Essa boa correlação já não se verificou nas necessidades de arrefecimento, sendo esta conclusão atenuada pelo facto das necessidades de arrefecimento serem muito inferiores, quando comparadas com as necessidades de aquecimento, para o mesmo edifício.

Outra conclusão das simulações efectuadas dizia respeito ao tempo em que as condições de conforto (no inverno) seriam mantidas. Os autores concluíram que quanto mais baixo fosse o valor das necessidades de aquecimento ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$), maior seria o tempo em que as condições de conforto interior seriam mantidas.

Finalmente os autores concluíram que as necessidades de arrefecimento poderiam ser praticamente supridas, caso o regulamento fosse alterado, no sentido de se evitar os erros de construção existentes.

Hélder Ferreira (2008) efectuou um estudo com vista a comparar o desempenho energético obtido, de uma moradia unifamiliar e um conjunto de apartamentos, através da legislação em vigor (RCCTE) e um *software* de simulação dinâmica de edifícios (ESP-r). Os objectivos prendiam-se com o analisar a relação entre as duas formas de cálculo aplicadas (RCCTE e ESP-r) e analisar as diferenças obtidas quando consideramos as temperaturas em regime de flutuação livre (*free float*) em contraponto com o regime condicionado.

Nas simulações em regime condicionado, o autor observou que existia uma relação linear significativa para as necessidades de aquecimento, dos resultados obtidos pelo RCCTE e pelo ESP-r. Para as necessidades de arrefecimento o autor também observou uma proporcionalidade directa clara.

Nas simulações efectuadas em *free float* o autor verificou que existia uma relação moderada entre as necessidades (aquecimento e de arrefecimento) e o número de horas de conforto determinadas, ambas determinadas através do ESP-r.

Duarte Borges (2008) efectuou um estudo para analisar o impacto de sistemas solares térmicos na produção de águas quentes sanitárias e no apoio à climatização, em diferentes zonas climáticas existentes no RCCTE. Foram efectuadas simulações dinâmicas com o *software* TRNSYS de modo a modelar termicamente os edifícios em estudo.

Dos estudos efectuados, o autor concluiu que a utilização de sistemas solares térmicos para o apoio à climatização de edifícios novos abrangidos pelo RCCTE, têm uma influência pouco significativa nas necessidades globais de energia primária.

O autor verificou que a regra instituída pelo RCCTE de 1 m^2 de colector/habitante para AQS, produzia excesso de energia que poderia ser aproveitada para apoio à climatização. Também verificou que as localizações com maior exposição solar saíam mais beneficiados em termos de consumo energético, uma vez que o sistema solar térmico tem uma contribuição maior.

Em termos de eficiência dos colectores solares térmicos, o autor concluiu que os colectores planos selectivos apresentavam uma melhor relação entre a energia captada e desperdiçada,

em contraponto com os colectores de vácuo que apresentaram valores elevados de energia desperdiçada.

Sebastião Carvalho (2008) efectuou um trabalho em que pretendia analisar a relação entre a classificação energética e as soluções construtivas e tecnológicas de edifícios residenciais em Portugal. O estudo foi executado em dois edifícios novos e em 7 localizações diferentes.

O autor concluiu que seria importante escolher um equipamento com boa eficiência, para as necessidades de aquecimento, uma vez que estas têm um maior peso quando comparadas com as de arrefecimento ou AQS. Só nos locais mais frios, segundo o autor, é que seria necessário escolher colectores solares de elevada eficiência para fazer face às necessidades de AQS, uma vez que nos locais mais quentes um colector de eficiência média seria suficiente.

Relativamente à envolvente, o autor observou que a escolha da mesma e a sua orientação são de extrema importância, para se obter classificações energéticas A+. As paredes deverão possuir uma elevada espessura de isolamento para minimizar as perdas na estação de aquecimento.

Os envidraçados, a sua orientação e os sombreamentos são factores também muito importantes na classificação energética do edifício. O autor propõe para a estação de aquecimento, que os envidraçados sejam orientados a sul sem nenhuma protecção, de modo a maximizar os ganhos térmicos. Esta grande exposição a sul de envidraçados deve ser compensada no verão (estação de arrefecimento) com a utilização de sombreamentos exteriores.

Pedro Silva [et al.] (2009) efectuaram um estudo muito semelhante ao que foi descrito anteriormente. Como tal, efectuaram o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento, utilizando o RCCTE e um programa de simulação dinâmica (eQuest). Os autores concluíram que nas zonas I1 e I2 existia uma boa correlação entre os valores obtidos por ambos os métodos, em termos de aquecimento e arrefecimento. Para a zona I3 verificou-se que o RCCTE tem dificuldades em se aproximar dos valores obtidos pela simulação dinâmica.

O estudo serviu para os autores concluírem que o RCCTE tem precisão suficiente para comparar o comportamento térmico de edifícios, mas que não é indicado para prever a eficiência do mesmo edifício. O RCCTE não foi criado para a função de prever a eficiência de edifícios, uma vez que para esse efeito a legislação portuguesa prevê a utilização de um método simplificado de simulação dinâmica (STE-RSECE) ou a utilização de software de simulação dinâmica (EnergyPlus, ESP-r, etc.).

Ana González [et al.] (2010) efectuaram um estudo, com o objectivo de apresentar um índice geral para a classificação energética dos edifícios na União Europeia. No final os autores concluíram que o novo índice apresentava algumas vantagens interessantes, entre elas, a capacidade de o referido índice ser actualizado constantemente com a ajuda de dados estatísticos fornecidos por entidades competentes. O novo índice também tem a vantagem de promover as medidas de eficiência energética, uma vez que um edifício novo é sempre comparado com um existente (mesma tipologia) mas com os consumos energéticos ou as emissões, devidamente actualizadas.

A grande dificuldade que os autores detectaram está relacionada com a dificuldade em obter os dados necessários para a determinação correcta deste novo índice. Os autores referem que todos os países deveriam seguir o exemplo dos Estados Unidos, no que respeita à disponibilização de dados relevantes para análises deste tipo.

Raquel Brito (2010) efectuou um estudo em que se propôs a analisar um conjunto de melhorias propostas pela ADENE e verificar o impacto na classificação energética dos edifícios. As melhorias estudadas estavam relacionadas com aspectos construtivos, de climatização e de preparação de AQS.

A autora concluiu que cerca de 47% dos edifícios estudados não satisfaziam os requisitos inscritos no RCCTE e que essa percentagem diminuiu para 43% quando aplicadas melhorias a nível da envolvente (cobertura e envidraçados). Também foi verificado que a medida que permite a obtenção de uma excelente classificação energética (A+) era a intervenção ao nível dos sistemas de produção de AQS, uma vez que permitem também um rápido retorno do investimento inicial.

Cláudia Pacheco (2010) efectuou um estudo com o intuito de perceber o impacto de diferentes sistemas de climatização e de AQS, na classificação energética dos edifícios. A autora propôs-se a estudar um edifício existente e analisar de que modo diferentes combinações de equipamentos para climatização e AQS afectariam a classificação do edifício, em comparação com uma combinação base. Foi também efectuado um estudo económico relativamente ao retorno simples de investimento.

Após a realização dos estudos a autora chegou a algumas conclusões: entre elas o facto de que uma boa classificação energética corresponde a uma baixa emissão de CO₂. Valores baixos na factura energética de climatização, não implicam necessariamente uma boa classificação energética.

A factura energética associada ao aquecimento é a que mais contribui para a factura anual conjunta. Também foi verificado que a solução que apresentava o valor mais baixo no período

de retorno simples implicava uma boa classificação energética e por consequência, um baixo valor de emissões de CO₂.

Samar Jaber [et al.] (2011) apresentaram um estudo relacionado com edifícios inseridos na zona do mediterrâneo. O estudo consistia na optimização de alguns parâmetros, com vista a determinar quais as melhores opções a utilizar. Os autores analisaram a melhor orientação para uma fachada passiva, qual a área de envidraçado que deveria ser aplicada e qual a espessura de isolamento recomendada.

Após efectuadas as simulações, os autores concluíram que a orientação mais indicada para a fachada passiva deveria ser Sul, pois era a que permitia conseguir maiores poupanças a nível energético. Relativamente à área de envidraçado, verificaram que a Sul a área deveria ser 30% da área da envolvente (parede) nessa direcção, a Este essa percentagem deveria ser de 20%, a Norte e a Oeste a percentagem deveria ser de 10%. Em relação ao isolamento concluíram que deveria ser de 13 cm nas paredes e 20 cm no tecto. Todas estas opções combinadas de forma correcta poderiam significar redução na ordem dos 25% nos consumos energéticos anuais.

1.4 Objectivos e contribuição da tese

A presente dissertação tem como objectivo estudar a influência, na classificação energética de um edifício já existente, de diferentes combinações de equipamentos energéticos (caldeiras, bomba de calor, etc.) utilizados para o aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias. Para tal foi necessário o apoio de uma folha de cálculo já existente e que é utilizada para verificar se um determinado edifício cumpre com a legislação em vigor.

A parte inicial do trabalho estava relacionada com a alteração da já referida folha de cálculo com o intuito de permitir ao projectista ou perito qualificado, que utilizará a folha de cálculo, uma maior rapidez na análise do desempenho energético. Neste sentido, a contribuição da presente dissertação está relacionada com a possibilidade do fraccionamento energético das necessidades de aquecimento ambiente e sua influência na factura energética.

Na parte seguinte do trabalho foi efectuada uma comparação entre diferentes opções de equipamentos, com o objectivo de tentar perceber qual será a melhor opção em termos financeiros e energéticos, para fazer face às necessidades energéticas para aquecimento. Nesta segunda parte a presente dissertação contribuiu com a análise de um sistema solar de baixa temperatura para o apoio ao aquecimento ambiente através de, por exemplo, piso radiante.

1.5 Visão geral da organização da tese

Neste tópico descreve-se a sequência, organização e conteúdo dos diferentes capítulos que constituem a presente dissertação.

No capítulo 2 é efectuado um enquadramento energético, assim como uma apresentação mais detalhada sobre a aplicação e verificação do RCCTE.

No capítulo 3 são apresentados conceitos relacionados com a energia solar.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia (algoritmo) utilizada para a realização da presente dissertação, quer na parte de alteração da folha de cálculo, quer na parte de análise de opções de equipamentos.

No capítulo 5 são apresentados os resultados e as respectivas análises.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais e propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Energia e edifícios

Ao longo deste capítulo vão ser apresentados dados referentes às questões energéticas e as perspectivas, sendo que de início a ênfase será colocada a nível mundial e posteriormente irá em direcção aos edifícios em concreto.

No final do capítulo será apresentada a legislação relacionada com os edifícios em vigor no nosso país desde 2006, mais concretamente: SCE, RCCTE, RSECE.

2.1 Perspectivas Mundiais

As questões energéticas têm surgido com muita frequência na última década. A preocupação que a maioria dos países do mundo demonstra em relação à sustentabilidade do nosso planeta, tem originado algumas medidas com o objectivo de reduzir drasticamente as emissões de gases com efeito de estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂).

Tanto a nível mundial como europeu, foram assinados acordos em que os países se comprometiam a diminuir as suas emissões de CO₂ ao longo de um período de tempo pré-determinado.

Em 2006 a *International Energy Agency* (IEA) produziu um relatório, em que apresenta as perspectivas para as evoluções energéticas até 2050. Com base neste documento serão apresentadas de seguida, algumas das projecções efectuadas pelo referido organismo.

Uma das grandes preocupações das entidades responsáveis pelas questões ambientais e energéticas, está relacionada com a evolução demográfica mundial, isto porque um aumento em termos de população implica necessariamente um aumento nas necessidades energéticas e por consequência, um aumento nas emissões de GEE.

Como se pode verificar na Figura 2.1, a evolução mundial do número de habitantes tem vindo em crescendo desde 1990. Com esta tendência crescente, a IEA espera que em 2030 existirão cerca de 8236 milhões de habitantes, que representa um aumento de 25% em comparação com a população existente em 2007.

O facto de existir este aumento de população, não implica que as necessidades energéticas ou alimentares cresçam nas mesmas proporções. As necessidades energéticas de países em

desenvolvimento serão distintas das necessidades de um país desenvolvido, uma vez que utilizam a energia para fins diferentes.

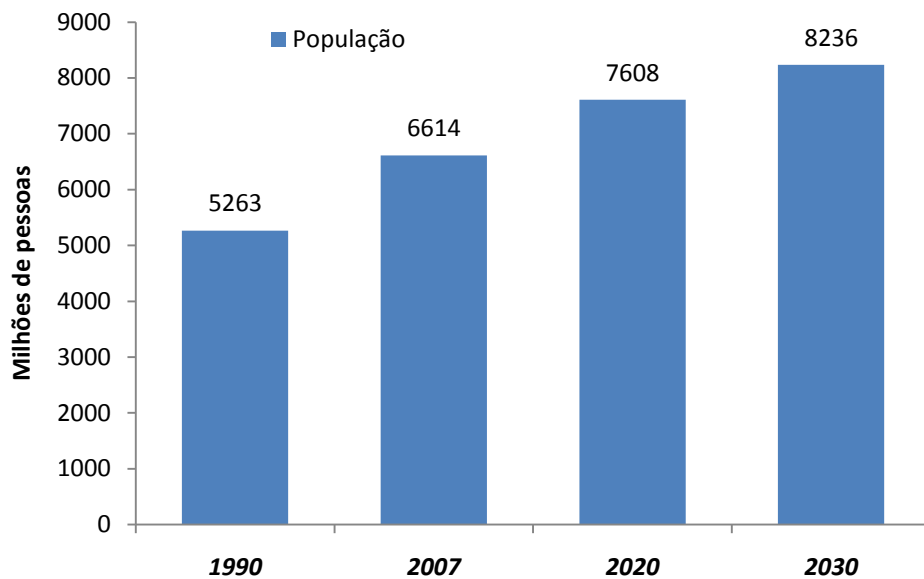


Figura 2.1 - Evolução mundial do número de habitantes [fonte: OCDE]

Outra questão importante é a forma como a energia é obtida, isto é, através de que tipo de tecnologias a energia (eléctrica, térmica, etc.) é obtida. Esta relação entre necessidades e tecnologia originará emissões de CO₂ diferente, uma vez que existem tecnologias mais “limpas” tais como painéis solares, em contraponto com tecnologias que recorrem sobretudo ao carvão como fonte primária de energia e que emitem maiores quantidades de GEE.

O que se percebe através da Figura 2.2 é que os países da OCDE tenderão a diminuir as emissões de GEE, muito por culpa de medidas de eficiência energética adoptadas pelos diferentes sectores (transportes, residencial e indústria) de cada país. Estas medidas de eficiência só são possíveis porque os países da OCDE atingiram, em teoria e na generalidade, a maturidade energética em termos de desenvolvimento e de disponibilidade energética aos diferentes sectores.

Em situação diferente estão os países em desenvolvimento, uma vez que os recursos energéticos terão objectivos distintos. Enquanto os países ditos desenvolvidos, se podem preocupar com a adopção de medidas de eficiência energética, os países em desenvolvimento têm de se preocupar em produzir energia suficiente para fazer face às necessidades dos seus cidadãos, ou então em desenvolver a sua indústria para que esta seja mais competitiva de modo a permitir o desenvolvimento do país.

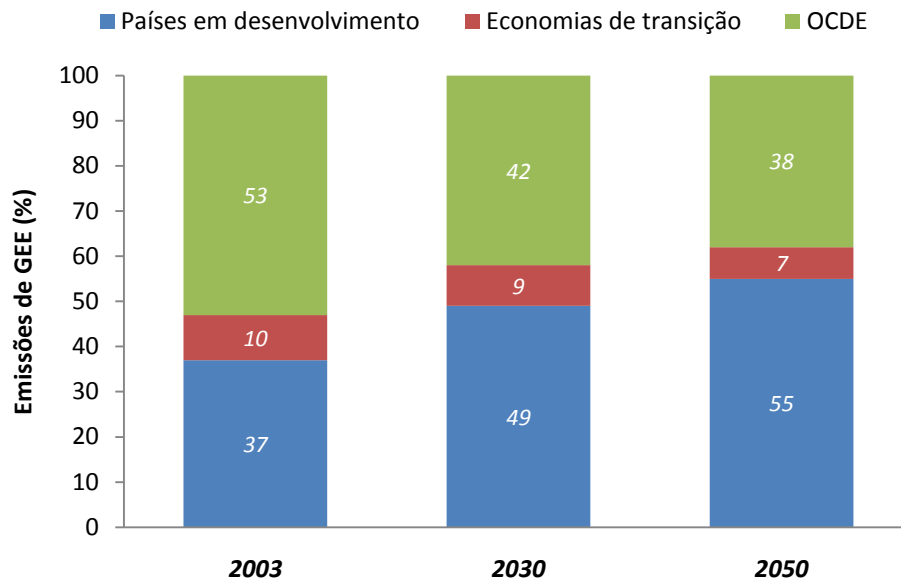


Figura 2.2 - Evolução das emissões de GEE [fonte: OCDE]

A diferença ao nível das emissões de GEE entre os países da OCDE e os que estão em desenvolvimento, prende-se sobretudo com a utilização do carvão como fonte de energia primária, que origina um aumento brutal nas emissões de gases com efeito de estufa, mais propriamente o CO₂.

Um factor que também tem e terá uma grande influência no futuro é a relação entre a procura de matéria-prima (Carvão, Gás Natural e Petróleo) para fins energéticos e a disponibilidade dessa mesma matéria-prima.

A procura ou a necessidade de matéria-prima para fins energéticos terá, tal como o número de habitantes, tendência a crescer durante as próximas décadas (Figura 2.3).

O que se observa é que em 2050 a procura de carvão ultrapassará a procura de petróleo. A IEA (2006) apresenta três razões para esse aumento brutal da procura de carvão:

- **Em primeiro lugar**, a necessidade de petróleo fará com que os preços de produtos derivados do petróleo aumentem, dando desta forma a oportunidade para desenvolvimentos tecnológicos ao nível de combustíveis sintéticos à base de carvão.
- **Em segundo lugar**, o aumento na utilização de gás natural, exercerá uma grande pressão nas reservas deste recurso natural o que levará a um aumento no preço do gás natural e que implicará um aumento na utilização do carvão para a produção de electricidade.

- **Em terceiro lugar**, com o desenvolvimento industrial em países como a China ou Índia, a necessidade energética é enorme. Estes dois países possuem grandes reservas de carvão, em contraponto com as reservas de petróleo e gás natural, o que levará a que a necessidades energéticas sejam supridas nestes países, maioritariamente através do uso de carvão. Este uso excessivo de carvão levará ao aumento de emissões de GEE analisado na Figura 2.2.

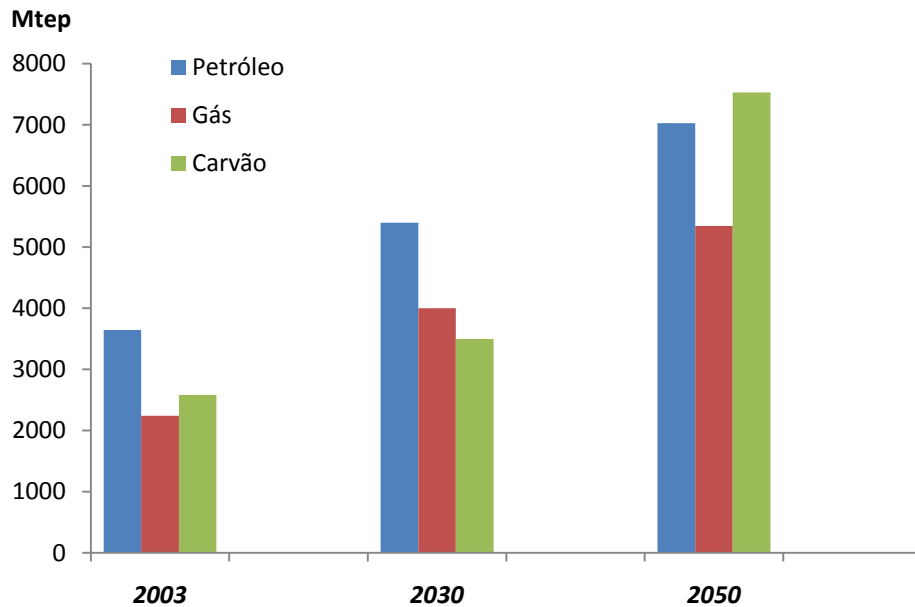


Figura 2.3- Evolução da procura de matéria-prima [fonte: OCDE]

A mesma entidade (IEA, 2006) prevê, relativamente ao petróleo, que os combustíveis líquidos irão ter um aumento na procura, em média, de 1,9% no sector dos transportes, de 1,3% no sector residencial (edifícios) e de 1,1% no sector industrial. Estes aumentos na procura são explicados, em grande parte, pelo aumento previsto da população e que por arrasto trará um aumento no número de veículos, de habitações e das necessidades energéticas.

Relativamente ao gás natural, a IEA (2006) fez uma previsão de crescimento médio anual na procura deste recurso, de 1,9%. Facto interessante na análise efectuada pelo referido organismo está relacionado com a utilização do gás natural no período de tempo 2003-2050, em que, tanto nos países da OCDE como nos países em desenvolvimento, cerca de metade da quantidade de gás natural “procurada”, será utilizada para a produção de energia eléctrica.

Como seria de esperar, a procura de energia eléctrica apresenta uma tendência crescente ao longo dos anos. Este aumento de procura está directamente ligado ao aumento demográfico da população mundial, ao uso cada vez maior de dispositivos que utilizam electricidade e

finalmente aos processos industriais, que utilizam cada vez mais a energia eléctrica como energia “motora”.

A Figura 2.4 é elucidativa, quanto aos sectores em que o crescimento da procura de electricidade se faz mais sentir, sendo que o sector residencial e de serviços estão claramente destacados do sector industrial. Esta selectividade é originada pelos factores que foram apresentados no parágrafo anterior, relacionados sobretudo com a evolução do número de habitantes do nosso planeta e com a cada vez maior necessidade que as pessoas têm, de se sentir confortáveis no interior dos edifícios, sejam eles residenciais ou de serviços.

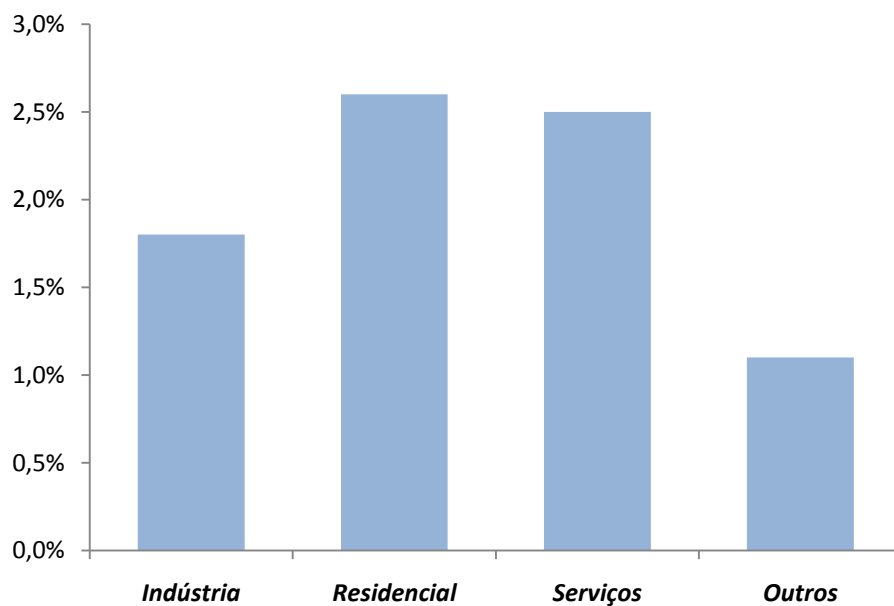


Figura 2.4- Evolução do crescimento anual do consumo de electricidade, por sector [fonte: OCDE].

O conforto no interior dos edifícios é conseguido, principalmente em países com climas mais severos, através de sistemas de climatização que utilizam maioritariamente a energia eléctrica, como principal fonte de alimentação.

A Figura 2.5 apresenta a evolução do consumo e/ou procura de energia eléctrica por sector da sociedade. O que se pode observar é o aumento dos consumos no sector residencial e dos serviços, em contraponto com a diminuição acentuada (cerca de 9%) no consumo relativo ao sector industrial.

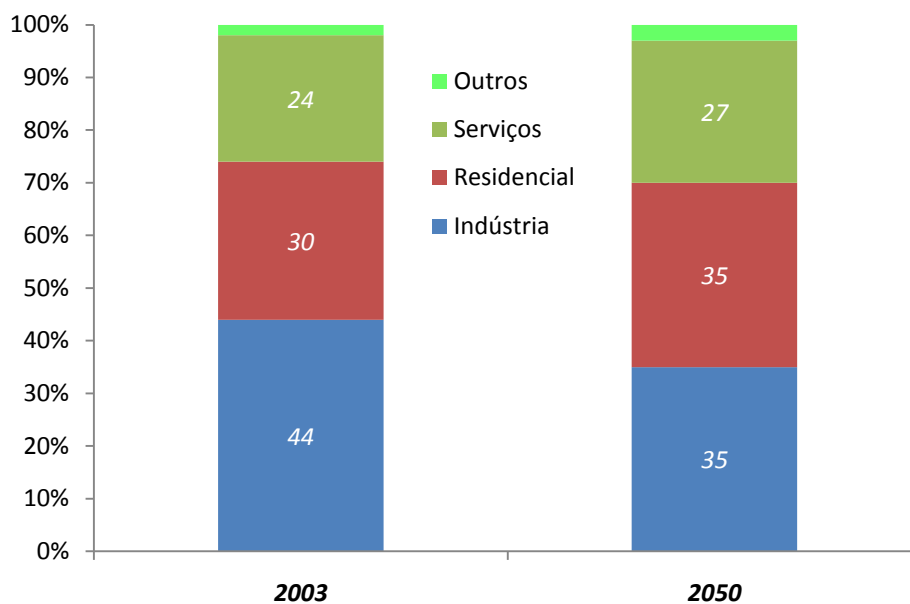


Figura 2.5- Evolução do consumo de electricidade, por sector [fonte: OCDE]

2.2 Portugal

Portugal também está numa posição pouco confortável, uma vez que apresenta uma dependência do exterior, muito significativa quando comparada com os restantes membros da União Europeia. Esta situação é bem visível na Figura 2.6, em que é apresentada a independência de Portugal em comparação com a média dos países da Europa pertencentes à OCDE.

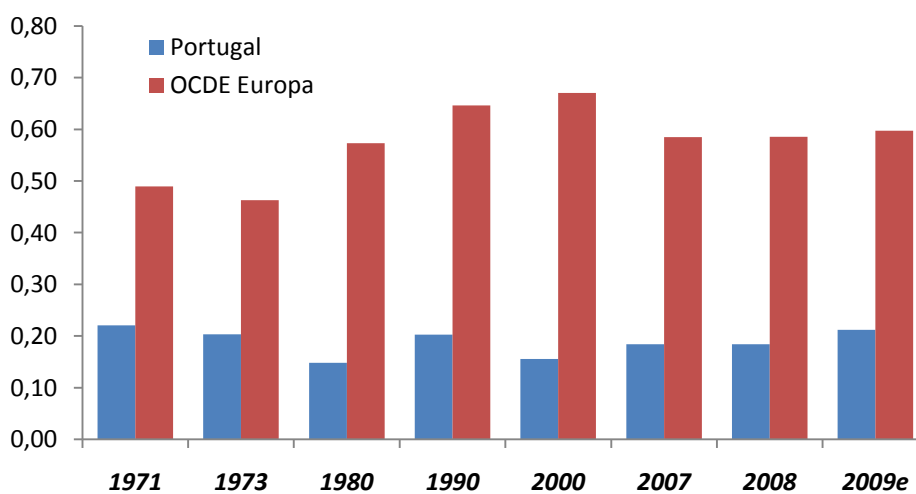


Figura 2.6- Independência energética de Portugal e dos países da OCDE Europa [fonte: OCDE]

Apesar de algumas iniciativas na área das energias renováveis, a verdade é que o problema português parece estar longe da resolução, uma vez que a dependência do exterior é muito elevada, situando-se desde o ano 2000 em cerca de 80% (Figura 2.7). Este problema da dependência externa poder-nos-á causar grandes incertezas em termos de sustentabilidade energética, uma vez que não produzimos a totalidade da energia que consumimos.

O facto de Portugal ser muito dependente do petróleo, origina uma flutuação enorme nos valores despendidos (euros) na importação deste recurso, uma vez que o preço do barril de petróleo tem sofrido enormes variações nos últimos anos e que afectam enormemente a factura paga pelo nosso país ao exterior.

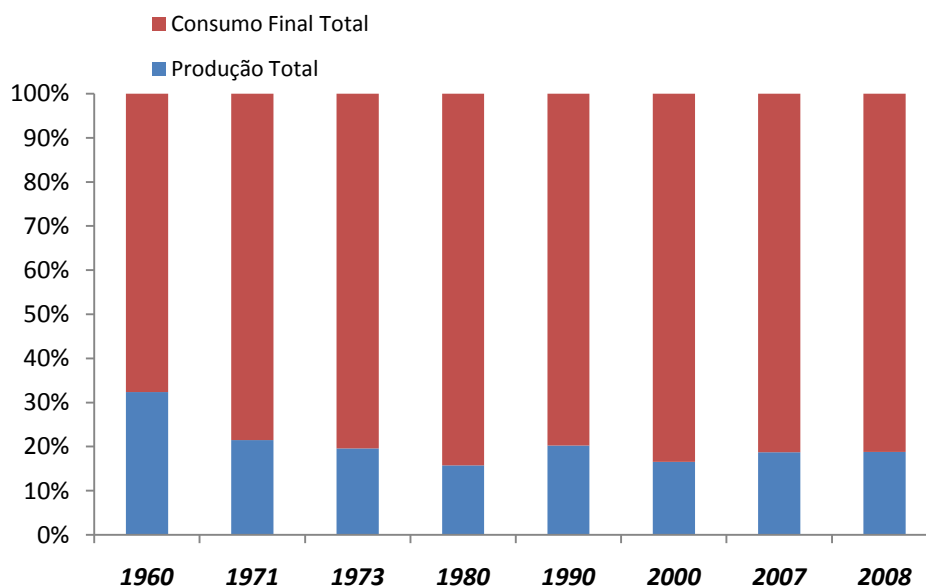


Figura 2.7- Relação entre produção total e consumo final total de energia [fonte: OCDE]

Importante também, é sabermos em que sectores da actividade nacional a energia é consumida e em que percentagens. Para tal, e recorrendo à DGEG (2007) foi possível verificar que o sector que mais energia consome no nosso país é o sector dos transportes, seguido de muito perto pelo sector industrial (Figura 2.9). Outro facto que não será de desprezar é a percentagem conjunta do sector doméstico e serviços (29%) que perfaz quase um terço da energia consumida em Portugal e que se refere maioritariamente ao sector residencial.

A constatação da existência destes três grandes grupos de consumo (transportes, indústria e residencial) levou as entidades governamentais a lançarem diferentes programas (entre eles o PNAEE) com o objectivo de propor medidas para a melhoria da eficiência energética destes sectores. Pretende-se que, caso as medidas sejam bem implementadas, que possa diminuir o consumo energético em Portugal e por consequência, a diminuição de GEE.

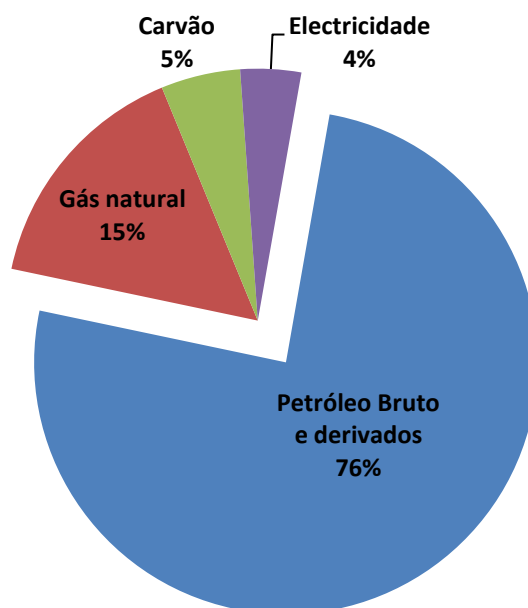


Figura 2.8- Importações de recursos energéticos no ano de 2009 [fonte: DGEG]

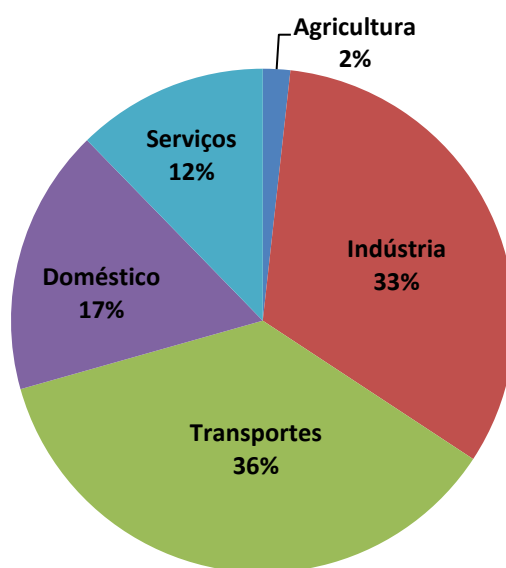


Figura 2.9- Consumo energético em Portugal, por sector, no ano de 2007 [fonte: DGEG]

A necessidade que as populações têm de se sentirem cada vez mais confortáveis em suas casas ou nos seus locais de trabalho, originou um aumento da procura e utilização de mecanismos que permitam climatizar as diferentes fracções existentes num determinado edifício. Se bem que existam alguns mecanismos de climatização praticamente auto-suficientes devido ao uso de energias renováveis, a verdade é que a grande maioria dos

equipamentos utilizados na climatização de espaços (split, bombas de calor, etc.) utilizam como fonte de energia, a electricidade.

O que se tem verificado em Portugal, na evolução anual do consumo de electricidade *versus* a produção de electricidade, é que o aumento na produção de electricidade não é suficiente para fazer face às necessidades cada vez maiores da população (Figura 2.10). Se até ao ano 2000 a produção era maior que o consumo, chegados a 2007 a produção já não é suficiente para os níveis de consumo existentes.

Estas diferenças entre produção e consumo têm como consequência uma necessidade maior de importar a energia “em falta” para que deste modo os habitantes e as empresas (indústria) não tenham problemas de abastecimento energético e possam executar as suas actividades.

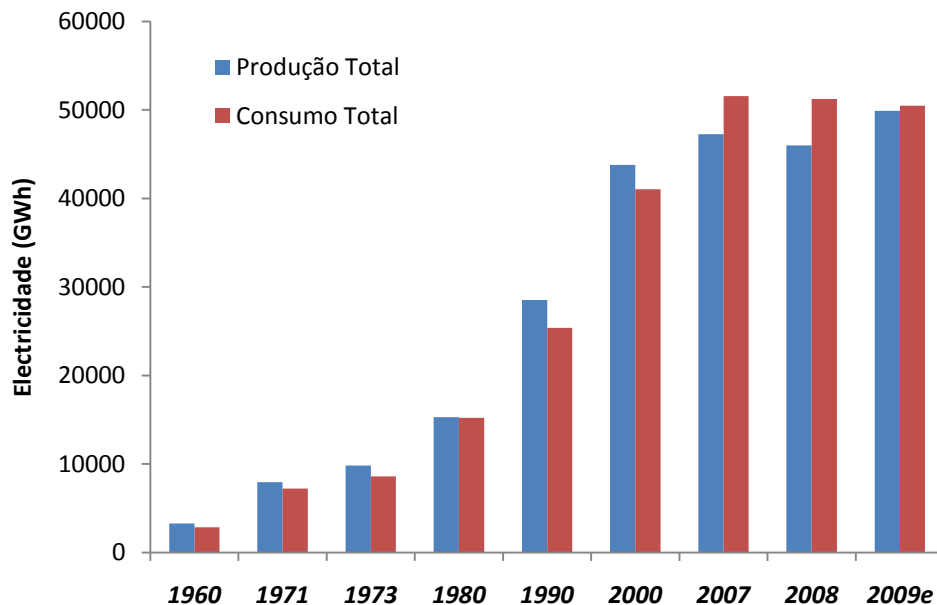


Figura 2.10- Comparação entre consumo e produção total de electricidade, em Portugal [fonte: OCDE]

Toda a evolução energética do nosso país está, directa ou indirectamente, ligada ao consumo de electricidade por parte da população. Na Figura 2.11 observa-se a evolução sempre crescente até 2007, do consumo de electricidade *per capita*. A partir de 2007 o consumo estabilizou em redor do valor de 4800 kWh, sendo que de 2007 a 2009 existiu uma ligeira descida, na ordem dos 100 kWh por pessoa.

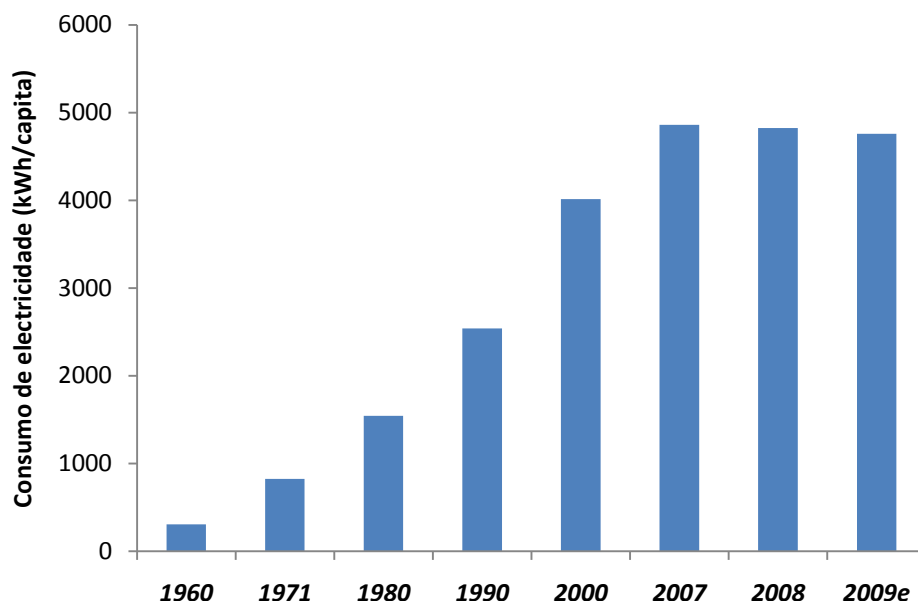


Figura 2.11- Evolução do consumo de electricidade *per capita*, em Portugal [fonte: OCDE]

As energias renováveis, que no nosso país têm vindo a ganhar muito protagonismo mediático nos últimos anos, têm tido uma quota importante no que toca à produção de energia eléctrica. Como se pode observar na Figura 2.12, Portugal tem superado largamente a média dos países da OCDE, no que diz respeito à utilização de energias renováveis na produção de electricidade, apenas ficando abaixo da média da OCDE no ano de 2005.

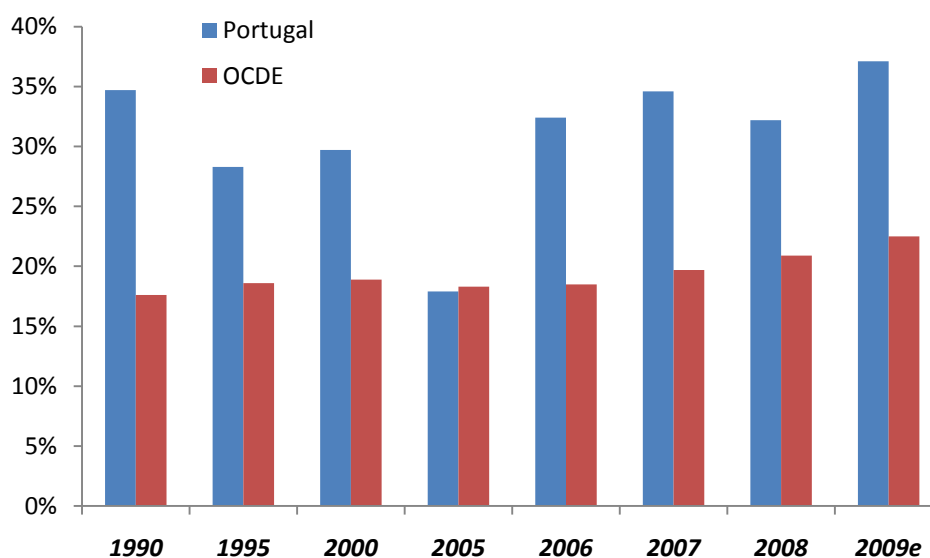


Figura 2.12- Contribuição das energias renováveis para a produção eléctrica [fonte: OCDE]

Até ao ano de 2005 a maior parte, para não dizer a totalidade, da percentagem de energia renovável utilizada para gerar electricidade provinha das barragens (energia hídrica) instaladas no nosso país. A maior ou menor percentagem da contribuição estava e ainda está, muito relacionada com o índice de hidraulicidade (Figura 2.13).

Ao analisar as Figuras 2.12 e 2.13, observamos que no ano de 2005, que correspondeu a um ano de baixa pluviosidade (baixo índice de hidraulicidade), a percentagem de energias renováveis para a produção de electricidade foi também baixo. O índice de hidraulicidade igual a “1” corresponde a um ano de pluviosidade média.

Nos anos seguintes a 2005, a percentagem de energias renováveis foi mais distribuída por duas fontes, em concreto: energia hidroeléctrica e energia eólica. Segundo a APREN, no ano de 2009 a percentagem de energias renováveis na produção de electricidade, era cerca de 40%, sendo que desse valor, 20% tinha origem hidroeléctrica e 15% tinha origem eólica. Este aumento da energia eólica está relacionado com políticas adoptadas, recentemente, pelos governantes do nosso país.

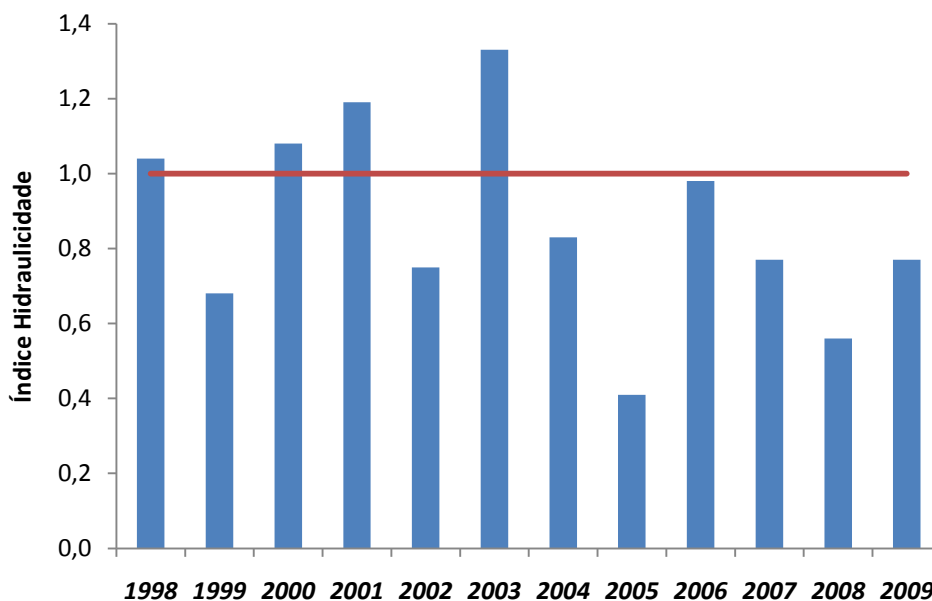


Figura 2.13- Evolução do índice de hidraulicidade [fonte: APREN]

2.3 Edifícios

Tendo em conta o propósito deste trabalho, torna-se importante saber como é consumida a energia nos edifícios portugueses. Como se pôde observar na Figura 2.9, cerca de um terço da

energia consumida em Portugal (29%) está directamente ligada aos edifícios, através do sector residencial e de serviços.

Na Figura 2.14 está representado o consumo de electricidade em cada sector de actividade, em Portugal. Estes valores foram obtidos através da DGEG, no seu balanço energético de 2005. Observa-se que o sector residencial em conjunto com o de serviços perfaz uma percentagem de 62% do consumo eléctrico em Portugal. Como estes dois sectores estão relacionados com os edifícios, podemos afirmar que os edifícios em Portugal são responsáveis pelo consumo de 62% da electricidade.

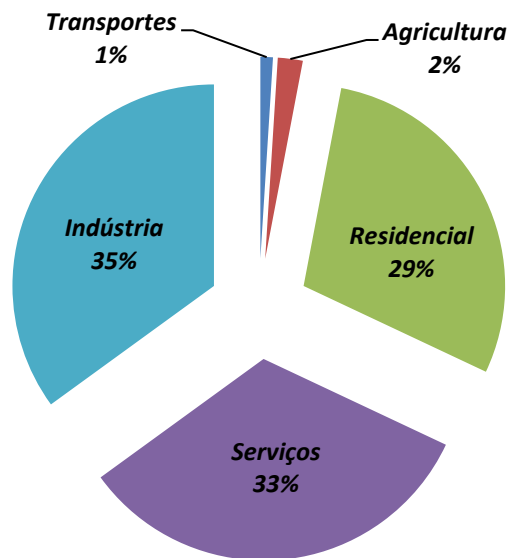


Figura 2.14- Consumo de electricidade por sector, em Portugal [fonte: DGEG]

É devido ao valor do consumo eléctrico ser tão elevado, que os dirigentes políticos decidiram adoptar medidas para tentar diminuir a percentagem de electricidade consumida nos edifícios. Algumas dessas medidas estão relacionadas com uma melhor utilização dos recursos disponibilizados (eficiência energética) e com a qualidade construtiva dos novos edifícios e dos existentes.

Nesse sentido, surgiu em 2006 uma revisão da legislação que regulava a certificação energética dos edifícios. Foi então que surgiram os novos Decreto-Lei nº 78/2006 (SCE), 79/2006 (RSECE) e o 80/2006 (RCCTE). Neste trabalho irá apenas ser abordado o RCCTE, sendo que todos irão ser descritos posteriormente.

Para se saber em que área se deve aplicar medidas de eficiência energética num edifício é necessário conhecer as tipologias de consumo desse mesmo edifício. Na Figura 2.15 é apresentado um gráfico onde se pode observar que, segundo a EEA, cerca de 80% da energia consumida numa habitação está relacionada com o aquecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias.

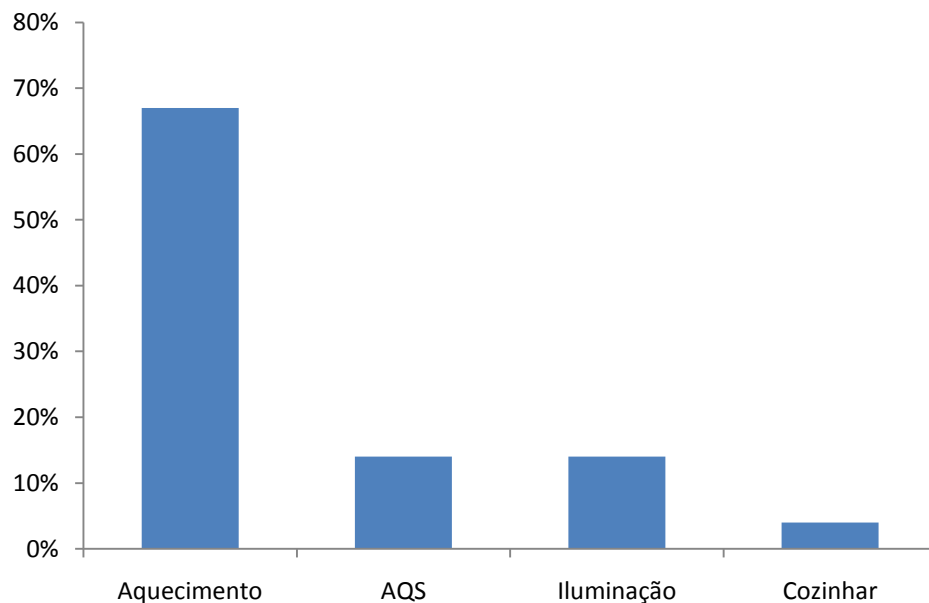


Figura 2.15- Repartição dos consumos de energia no sector doméstico [fonte: EEA]

2.4 Enquadramento Legal

Desde algum tempo que a União Europeia se tem vindo a preocupar com as questões ambientais e energéticas. Foi então que a 4 de Janeiro de 2003 foi publicada a Directiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta directiva estabelece alguns requisitos, a saber:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energéticos de novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes, que sejam alvos de obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tiverem mais de 15 anos.

Como as directivas europeias necessitam de ser transpostas para as ordens jurídicas de cada estado membro, surgiu a 4 de Abril de 2006, em Portugal, os Decreto-Lei 78/2006, 79/2006 e 80/2006.

O **Decreto-Lei nº 78/2006**, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), tem como objectivos:

- Assegurar que os regulamentos são aplicados, nomeadamente no que diz respeito às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências inscritas no RCCTE e RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas de melhoria e/ou correctivas de desempenho energético aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos (caldeiras e equipamentos de ar condicionado).

O **Decreto-Lei nº 79/2006**, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), estabelece:

- As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos em termos de conforto térmico, tratamento, renovação e qualidade do ar interior. Estas condições devem ser asseguradas através da adequada selecção de equipamentos e a sua organização em sistemas;
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular para climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes, que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- Os termos de concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal, incluindo os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os principais intervenientes e a observância dos princípios da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;
- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior.

O Decreto-Lei nº 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

- As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento e de ventilação para garantia de qualidade do ar interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial de impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

2.5 RCCTE - Decreto-Lei nº 80/2006

Uma vez que a presente dissertação incide principalmente sobre o SCE na vertente RCCTE, vai ser descrito mais em pormenor de seguida.

Em relação ao campo de aplicação, a verificação do RCCTE é necessária nos diferentes casos: A cada uma das fracções autónomas de todos os novos edifícios de habitação e pequenos edifícios de serviços (com área útil inferior ou igual a 1000 m²), em ambos os casos sem sistemas de climatização centralizados ou com sistema de potência igual ou inferior a 25 kW; grandes intervenções de remodelação ou alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de AQS; ampliações de edifícios existentes, exclusivamente na zona ampliada.

A caracterização do comportamento térmico é realizada através da quantificação de índices e parâmetros. Com este regulamento são determinadas as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento e aquecimento, as quais são comparadas com os valores limites máximos de referência. São também quantificadas as necessidades energéticas para a preparação de água quente sanitária e as necessidades energéticas globais decorrentes dos diversos consumos.

O RCCTE estabelece também os requisitos mínimos de qualidade térmica. Nesta categoria inclui-se os seguintes parâmetros: coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente e o factor solar dos vãos envidraçados. Se os parâmetros apresentados anteriormente, não estiverem dentro dos valores limites, implica a não conformidade com o actual regulamento (RCCTE). Para além dos requisitos mínimos de qualidade térmica, o RCCTE impõe que as soluções preconizadas pelos projectistas devem garantir

obrigatoriamente uma taxa horária de renovação do ar, de pelo menos 0,6 renovações por hora.

Em termos de requisitos energéticos, o RCCTE impõe algumas limitações nos seguintes índices:

- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) \leq Valor limite (N_i);
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) \leq Valor limite (N_v);
- Necessidades nominais anuais de energia para produção de água quente sanitária (N_{ac}) \leq Valor limite (N_a).

As necessidades nominais anuais (N_i , N_{ic} , N_v , N_{vc} , N_a , N_{ac}) são dadas em [kWh/m².ano]

A soma ponderada dos índices referidos anteriormente origina um novo índice, que também não poderá exceder um valor limite máximo, a saber:

- Necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}) \leq Valor limite (N_t), dado em [kgep/m².ano]

O valor de N_{tc} , relativo às necessidades nominais de energia primária, calcula-se da seguinte maneira:

$$N_{tc} = 0,1 \times \left(\frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) \times F_{pui} + 0,1 \times \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \text{ [kgep/m}^2 \cdot \text{ano]} \quad (2.1)$$

Onde:

- η_i e η_v são, respectivamente, as eficiências nominais dos equipamentos utilizados para aquecimento e arrefecimento;
- F_{pu} são os factores de conversão de energia útil em energia primária, tendo em conta a fonte de energia.

Os valores limites para as necessidades nominais de arrefecimento, aquecimento e AQS, são dados da seguinte forma:

Na Tabela 2.1 estão representados os valores máximos do índice N_i , que estipula as necessidades nominais máximas de energia útil para aquecimento. Estas necessidades

máximas (N_i) são dependentes dos graus-dia (GD) do concelho em que se localiza o edifício em estudo e do factor de forma do edifício que pode ser obtido através do quociente entre a área da envolvente (interior e exterior) e o respectivo volume interior.

Tabela 2.1- Valores máximos do índice N_i

N_i (kWh/m ² .ano)	FF
$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	$FF < 0,5$
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$	$0,5 < FF < 1,0$
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$	$(1,2 - 0,2 \text{ FF}) \text{ } 1,0 < FF < 1,5$
$N_i = 4,5 + 0,06885 \text{ GD}$	$FF > 1,5$

Para que as necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) estejam de acordo com o regulamento, é necessário que não ultrapassem os valores apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2- Valores máximos do índice N_v

Zona Climática	N_v (kWh/m ² .ano)
V1 (N)	16
V1 (S)	22
V2 (N)	18
V2 (S)	32
V3 (N)	26
V3 (S)	32
Açores	21
Madeira	23

Finalmente, para se determinar o valor máximo para as necessidades de energia na preparação de águas quentes sanitárias, teremos de utilizar a seguinte expressão.

$$Na = \frac{0,081 \times M_{AQS} \times nd}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (2.2)$$

Onde:

- M_{AQS} é o consumo médio diário de referência de AQS;
- nd é o número de dias de consumo de AQS;
- A_p é a área útil de pavimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento (N_{ic}) é determinado da seguinte forma:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (2.3)$$

Onde:

- Q_t representa as perdas de calor por condução, através da envolvente;
- Q_v representa as perdas de calor devidas à renovação de ar;
- Q_{gu} representa os ganhos de calor úteis resultantes, da iluminação, equipamentos, ocupantes e ganhos solares através dos envidraçados;
- A_p representa a área útil de pavimentos.

Por seu turno, o valor das necessidades nominais anuais de energia útil de arrefecimento (N_{vc}) é determinado da seguinte forma:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \cdot (1 - \eta)}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (2.4)$$

Onde:

- Q_g representa os ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma;
- η representa o factor de utilização dos ganhos;
- A_p representa a área útil de pavimentos.

O valor das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias é calculado pela expressão:

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a - E_{solar} - E_{ren}}{\eta_a}}{A_p} \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (2.5)$$

Onde:

- Q_a representa a energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação AQS;

- η_a representa a eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS;
- E_{solar} representa a contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS;
- E_{ren} representa a contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;
- A_p representa a área útil de pavimento.

Finalmente, é necessário determinar o valor limite para as necessidades nominais globais de energia primária, que é calculado da seguinte forma:

$$N_t = 0,9 (0,01 N_i + 0,01 N_v + 0,15 N_a) \quad [kg_{ep}/m^2 \cdot ano] \quad (2.6)$$

2.6 Classificação Energética

A certificação de um edifício deverá ser efectuada por técnicos devidamente autorizados pela ADENE, uma vez que é esta entidade que está responsável pela aplicação e coordenação do processo de certificação dos edifícios.

A classificação energética é efectuada através do seguinte rácio:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2.7)$$

A escala representativa da qualidade do edifício é constituída por 9 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), em que a classe “A+” representa o edifício com o melhor desempenho energético em contraponto com a classe “G”, que representa o edifício com o pior desempenho energético (Tabela 2.3).

Existe uma diferença na classificação energética de edifícios novos e edifícios existentes, relativo às classes aplicáveis a ambos os casos. Nos edifícios novos as classes energéticas variam apenas entre as classes “A+” e “B-”. Os edifícios existentes à data da entrada em vigor do SCE podem ser classificados por qualquer uma das classes (de A+ a G).

Depois de analisado o edifício, o perito qualificado pode emitir dois tipos de documentos: a declaração de conformidade regulamentar (DCR) e/ou o certificado energético (CE). O DCR é necessário para se obter a licença de construção enquanto o CE é necessário para se obter

licença de utilização ou, no caso de edifícios existentes, para se poder efectuar a venda ou arrendamento do edifício.

Tabela 2.3- Escala de classificação dos edifícios

		Classe energética	R
Edifício Existente	Edifício Novo	A+	$R \leq 0,25$
		A	$0,25 < R \leq 0,50$
		B	$0,50 < R \leq 0,75$
		B-	$0,75 < R \leq 1,00$
		C	$1,00 < R \leq 1,50$
		D	$1,50 < R \leq 2,00$
		E	$2,00 < R \leq 2,50$
		F	$2,50 < R \leq 3,00$
		G	$R > 3,00$

A diferença entre estes dois documentos está principalmente na validade, uma vez que o DCR não tem validade temporal e o CE tem data de validade definida de 10 anos. Em termos jurídicos ou processuais, no caso de edifícios novos, o DCR representa a conformidade regulamentar e a avaliação do desempenho energético e da qualidade de ar interior (QAI) durante a fase de projecto, enquanto o CE refere-se ao final da obra. Não existindo alterações muito significativas ao projecto inicial, é de esperar que o CE emitido seja muito semelhante à DCR. De referir que no caso de edifícios existentes, só é emitido o CE.

O certificado energético contém informação relevante para a descrição do edifício, não só em termos energéticos. De entre essas informações podemos destacar: Identificação do imóvel, identificação do perito qualificado, classe de desempenho energético, validade do certificado, indicadores de desempenho regulamentares, descrição resumida do imóvel, incluindo as soluções construtivas adoptadas.

O certificado energético fornece também, medidas de melhoria do desempenho energético que o proprietário pode implementar, sendo que essas medidas não são de implementação obrigatória. As medidas de melhoria indicadas são acompanhadas da previsão de classe obtida, caso venham a ser implementadas, assim como uma previsão dos custos de implementação e da poupança prevista na factura energética.

Capítulo 3 - Sistemas de climatização e AQS

Ao longo deste capítulo vão ser apresentadas as características mais relevantes sobre os equipamentos utilizados nas simulações efectuadas no âmbito da presente dissertação, no que diz respeito à climatização e à produção de AQS. Serão descritos alguns componentes relacionados com a energia solar (colectores e acumuladores) e serão descritos os equipamentos mais utilizados para o aquecimento ambiente (bomba de calor e caldeiras).

3.1 Colectores Solares

Para se poder captar a energia oriunda do sol é necessário que o equipamento utilizado para esse fim (colector solar) tenha algumas características específicas, para que a captação energética seja a mais elevada e eficiente possível.

Um colector tem de possuir necessariamente um absorsor, que é o componente que absorve a radiação (energia) e a transfere para um fluído de “trabalho”. O material constituinte do absorsor deve ter a maior absorvidade possível e a menor emissividade possível, para que desta forma a energia fique contida no colector.

O colector também possui também uma cobertura (vidro) e uma caixa termicamente isolada. A cobertura deve ter um alto valor de transmissividade, para permitir a passagem da energia (radiação) sem grandes resistências. Por seu lado, o isolamento deve ser capaz de suportar temperaturas elevadas, uma vez que o colector poderá atingir temperaturas elevadas, quando não está em funcionamento.

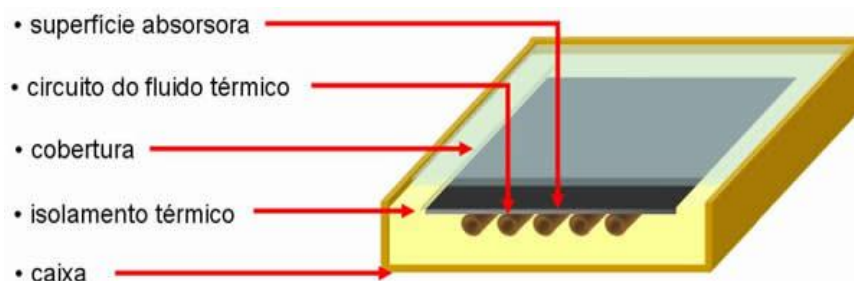


Figura 3.1- Componentes gerais de um colector solar [fonte: portugalrenovaveis.com]

No mercado actual existem diferentes soluções relacionadas com os painéis solares, sendo que em todos eles existe um absorvedor e um fluido circulante. Para analisar o desempenho dos colectores solares foram criados vários parâmetros. Para Roriz (2010) os mais relevantes são:

- Eficiência do colector (η) - razão entre a energia convertida em calor e a radiação incidente no colector.
- Eficiência óptica (η_0) - representa a percentagem de radiação incidente no colector que pode ser convertida em calor e é dada pelo produto da transmissividade da cobertura, com a absorvidade do absorvedor.
- Factor de perda de calor (η_K) - é a perda de calor, em percentagem, devida ao desenho e ao isolamento térmico do colector.
- Temperatura de estagnação - é a temperatura máxima que o absorvedor pode atingir e tem lugar, quando as perdas de calor para a atmosfera forem iguais ao calor absorvido pelo absorvedor.

Apesar de não existir uma classificação aceite universalmente, para os colectores solares, a verdade é que alguns autores (Roriz [et al.], 2010) sugerem uma divisão em 4 tipos: colectores simples, colectores planos, colectores evacuados (tubos de vácuo) e concentradores solares.

3.2.1 Colector Simples

Este tipo de colector é o mais simples de todos, sendo constituídos apenas pelo absorvedor. A configuração típica destes colectores é representada por um conjunto de tubos flexíveis ligados em paralelo.

Embora se mostrem pouco eficiente quando utilizados para aquecer o fluido térmico a temperaturas elevadas (devido às elevadas perdas térmicas), apresentam como vantagens, a sua fácil aplicação e o seu mais baixo custo por m^2 , quando comparados com os restantes tipos de colectores.

Quando se pretende aplicações em que a temperatura exigida seja próxima da temperatura ambiente, as perdas térmicas são reduzidas e a eficiência situa-se próxima da eficiência óptica, tornando este tipo de colector, particularmente indicado para o aquecimento de piscinas.

3.2.2 Colector Solar Plano

É muito provavelmente o colector mais utilizado no mercado actual (Roriz, 2010). O tipo de absorvedor varia consoante cada fabricante, desde a sua composição até à sua geometria. Os

absorvedores podem ser de chapa moldada, tubos prensados ou tubos soldados, sendo que neste último caso, os tubos podem ser soldados (geralmente a laser) numa configuração em harpa ou em serpentina.

A maior ou menor eficiência deste tipo de coletor está relacionada com os seguintes factores:

- Propriedades radiativas da superfície absorvedora;
- Propriedades radiativas do vidro de cobertura;
- Nível de isolamento térmico;
- Percorso do fluido de “trabalho” no painel.

Os tipos de isolamento mais utilizados são a lã de vidro e a lã de rocha, uma vez que não sofrem grandes alterações nas propriedades mecânicas, quando sujeitas a temperaturas na ordem dos 150°C, que é um valor médio para a temperatura de estagnação, neste tipo de coletor.

Para a tubagem do coletor é utilizado o cobre, devido à sua elevada condutibilidade térmica. Para a caixa do coletor diferentes materiais são utilizados, entre eles, o alumínio, aço ou plástico. Por regra, todos os fabricantes tentam criar diferentes combinações de todas estas condições, de forma a obter uma ampla variedade de produtos, adaptados aos diferentes sistemas comercializados.

Relativamente a temperaturas, os colectores solares planos podem ser designados de alta e baixa temperatura. Quando a temperatura pretendida no fluido térmico de “trabalho” for inferior a 80°C, os colectores dizem-se de baixa temperatura. Quando a temperatura for superior aos 80°C, dizem-se de alta temperatura.

Nos sistemas de AQS, em que se pretende temperaturas a rondar os 60°C, faz todo o sentido utilizar colectores solares de baixa temperatura. Quando se pretender que o fluido térmico sirva para aquecimento ambiente e AQS, a opção por colectores de alta temperatura deverá ser encarada como uma opção benéfica. O facto de os colectores de alta temperatura poderem atingir temperaturas na ordem dos 100°C, levanta a possibilidade da sua utilização, no fornecimento de calor a um sistema frigorífico de absorção que trabalhe, por exemplo, com uma mistura água - brometo de lítio. Alguns autores (Roriz, 2010) também classificam este tipo de colectores (alta temperatura) como colectores de alta eficiência, uma vez que a eficiência óptica pode ser igual ou superior a 0,80.

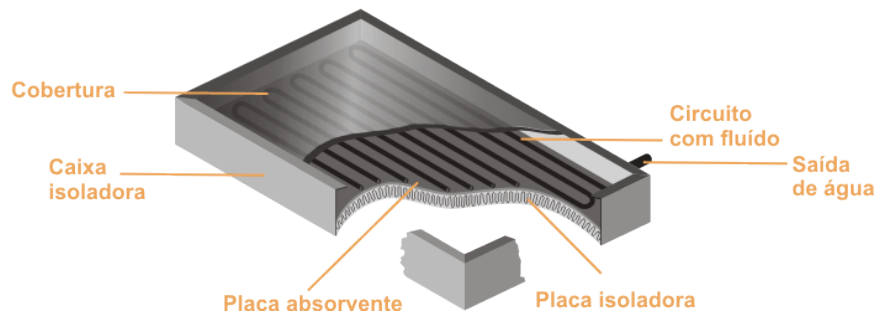


Figura 3.2- Aspecto genérico de um coletor solar plano [fonte: www.recet.pt]

3.2.3 Coletor Evacuado

Este tipo de colectores, também designados por colectores de tubos de vácuo, são colectores planos em que o fluído de “trabalho” circula no interior de tubos concêntricos sendo que, o interior será de cor escura para absorver a radiação solar e o exterior de vidro transparente, para deixar passar a radiação solar e ao mesmo tempo tem de ser opaco à própria radiação. Entre os dois tubos (interior e exterior) existirá vácuo. O vácuo tem por objectivo diminuir as perdas de calor do fluído térmico, para o ambiente. A troca de calor entre o fluído de “trabalho” e o ar exterior, será apenas por radiação.

Este tipo de colectores permitem atingir temperaturas na ordem dos 100°C, o que torna este tipo de dispositivos indicados, não só para aquecimento de AQS como de aquecimento ambiente. A possibilidade de aquecimento do gerador constituente de um sistema frigorífico de absorção. Outra característica importante é o facto da temperatura de estagnação, neste tipo de colectores, ser da ordem dos 200°C.

Existem 2 tipos de painéis utilizando tubos evacuados (Roriz, 2010): os designados por painéis de tubos de vácuo com fluxo directo e os de tubos de vácuo com separação de fluidos. No primeiro caso, o fluído de “trabalho” que circula no interior dos tubos de vácuo é o mesmo que circula no restante circuito hidráulico. No segundo caso, o fluído que se encontra no tubo de calor nunca entra em contacto com o fluído do restante sistema hidráulico, daí a designação de “separação de fluidos”.

3.2.4 Concentradores Solares

Como o próprio nome indica, este tipo de colectores têm uma configuração que permite a concentração dos raios solares, devido à forma parabólica da zona de captação. Este tipo de colectores pode obter temperaturas que ultrapassam os 300°C, fazendo com que este tipo de dispositivo não seja recomendado para aquecimento de edifícios ou AQS.

Neste tipo de colectores a temperatura de estagnação ultrapassa os 200°C. Os materiais utilizados para o isolamento são a lã de rocha e a lã de vidro. Os CPC (*Compound Parabolic Concentrator*) apresentam uma eficiência óptica muito semelhante à verificada em colectores planos (cerca de 0,70) mas apresentam um melhor isolamento térmico.

3.2 Termoacumuladores

Tendo em conta a cada vez maior utilização de sistemas solares (Figura 3.3), para sistemas de aquecimento de águas quentes e aquecimento ambiente, torna-se necessário conhecer e escolher da melhor forma os dispositivos (termoacumuladores) utilizados para armazenar a energia captada. Como tal, é de grande importância descrever os diferentes tipos de acumuladores solares, uma vez que é um componente muito importante num sistema solar térmico.

A importância dos termoacumuladores é ainda mais visível, quando nos recordamos que durante uma grande parte do ano as instalações solares, não poderão funcionar porque estarão às escuras. Com estas condicionantes, é importante que os termoacumuladores sejam devidamente escolhidos, para se poder efectuar melhorias significativas em termos de eficiência e de poupança energética.

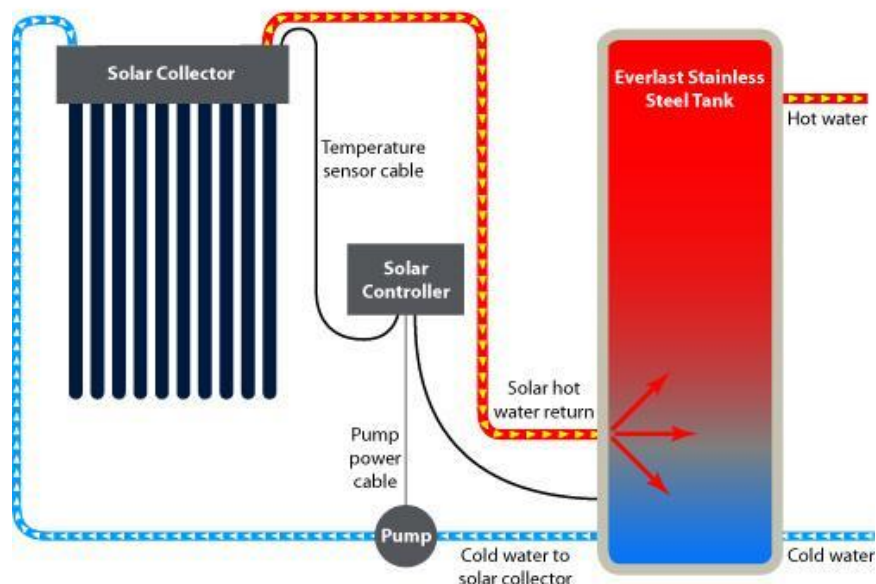


Figura 3.3 - Sistema solar térmico [fonte: Solarguys]

Normalmente, o projecto e a escolha do termoacumulador é muito negligenciado aquando da projecção de um sistema solar térmico. Convém não esquecer que a escolha do termoacumulador tem muita influência nos custos, eficiência e fiabilidade de um sistema térmico.

O termoacumulador tem duas funções importantes, num sistema térmico solar, a saber:

- I. Aproveitamento da energia solar “colhida”, providenciando capacidade térmica, quando ocorrerem picos de carga ou quando existe uma falha de energia solar.
- II. Melhoramento da eficiência do sistema, ao prevenir que o fluido de transferência de calor, atinja rapidamente temperaturas elevadas e que origina uma diminuição da eficiência do colector.

Neste capítulo apenas vão ser referidos os termoacumuladores em que a energia é armazenada em líquidos (água). Convém referir que a energia térmica poderia ser armazenada em fluidos gasosos ou em materiais de mudança de fase.

O facto de se utilizar água como meio mais utilizado traz inúmeras vantagens, desde logo:

- Preço;
- Toxicidade baixa;
- Boa capacidade térmica;
- Facilidade de bombeamento.

Os termoacumuladores podem ser divididos em dois grandes grupos, os pressurizados e não pressurizados. A grande diferença é que os pressurizados utilizam uma bomba para fazer circular o fluido, enquanto os não pressurizados fazem a circulação do fluido, basicamente por gravidade.

Em ambos os casos, os termoacumuladores podem ter uma resistência incorporada que serve de meio de apoio quando a energia solar for insuficiente para aquecer a água até aos valores pretendidos.

Actualmente, a maioria dos termoacumuladores pressurizados possuem no seu interior um ou dois permutadores de calor, que têm o mesmo efeito da resistência descrita no parágrafo anterior.

Normalmente e em ambos os tipos de termoacumuladores, é pretendido que ocorra o fenómeno de estratificação do líquido no seu interior. Este facto faz com que a colocação das válvulas de admissão de água fria e saída de água quente tenham localizações definidas.

3.2.1 Acumuladores não pressurizados

Este tipo de acumuladores é utilizado normalmente, acoplados aos painéis solares, sendo que o sistema termosifão é o mais conhecido e utilizado.

Neste tipo de sistemas, a água é aquecida nos painéis solares e encaminhada para o acumulador, onde sofre o fenómeno de estratificação. A água a temperatura mais elevada é então encaminhada para o utilizador final, enquanto a água a temperatura mais baixa é reencaminhada novamente para os painéis, para voltar a ser aquecida (Figura 3.4).

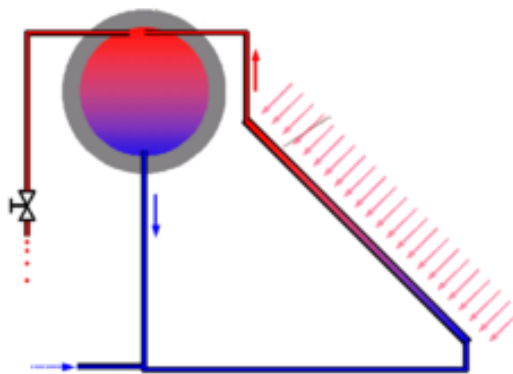


Figura 3.4 - Sistema termosifão [fonte: Mais Energias]

Em alguns sistemas deste tipo, pode ser colocado um permutador de calor no interior do acumulador, para poder ser utilizado um fluido com uma maior capacidade calorífica, no circuito do painel solar.

3.2.2 Acumuladores pressurizados

Neste tipo de acumuladores de água, o depósito é colocado separadamente dos painéis. Devido a este facto, é necessário o uso de uma bomba para se fazer a circulação do fluido de trabalho do sistema solar.

Dentro dos termoacumuladores, existem três tipos diferentes, sendo que a diferença apenas se prende com o permutador. Portanto temos:

- Termoacumulador, com um permutador de calor interno;
- Termoacumulador, com dois permutadores de calor internos;
- Termoacumulador, com permutador de calor externo;
- Termoacumulador com resistência eléctrica.

Na Figura 3.5 é perceptível que o termoacumulador possui dois permutadores internos, sendo que um é colocado no fundo e o outro no topo do tanque. Mais à frente veremos a razão desta disposição dos permutadores.

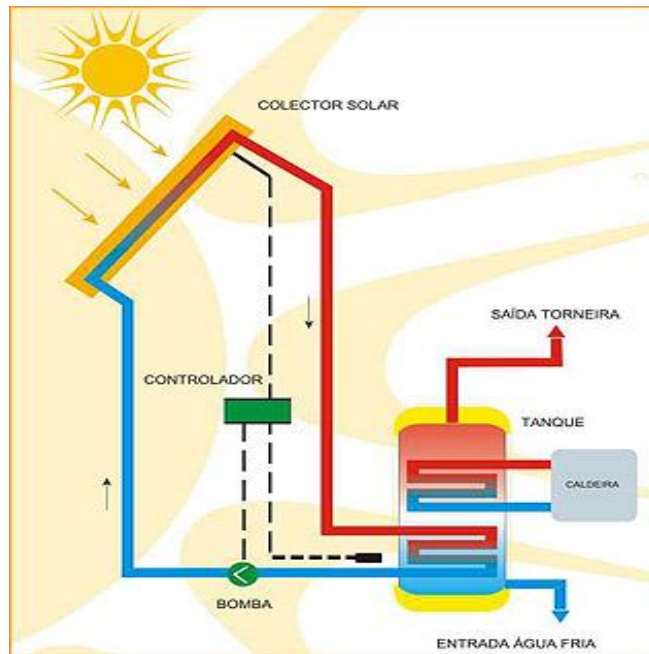


Figura 3.5 - Sistema solar com tanque pressurizado [fonte: HRCA]

Termoacumulador com um permutador

Como o próprio nome indica, este tipo de termoacumulador possui uma serpentina no seu interior onde circula um fluido térmico, que pode ser água ou um fluido com uma maior capacidade térmica.

A serpentina do permutador de calor, geralmente é colocada no fundo do depósito (Figura 3.6), para que desta forma a água quente suba até à parte superior, devido à mais baixa densidade quando comparada com a água fria. Este fenómeno permite uma estratificação da água no interior do termoacumulador. Esta estratificação permite, *grosso modo*, a existência de água a três temperaturas diferentes.



Figura 3.6 - Termoacumulador com uma serpentina [fonte: Wagner Solar].

Como a água à temperatura mais elevada se encontra no topo do depósito, é fácil de entender que a saída para o consumidor final, se encontrará também no topo. A admissão de água fria é efectuada pela base do depósito, muito perto do permutador de calor.

Este tipo de termoacumulador, comparado com os que não possuem permutador de calor, tem a grande vantagem de se poder utilizar um fluido, no circuito solar, com uma capacidade térmica superior à água, aumentando deste modo a captação da energia proveniente do sol. Por outro lado, é necessário ter cuidado com possíveis fugas, para que a água potável do interior do depósito, não seja contaminada.

Termoacumulador com dois permutadores

O funcionamento deste tipo de termoacumulador é idêntico ao apresentado anteriormente. A única diferença prende-se com a existência de dois permutadores, em vez de um.

A serpentina colocada do fundo do depósito (Figura 3.7) tem o mesmo objectivo da apresentada na Figura 3.6, isto é, permitir a troca de calor entre o fluido de trabalho solar e o fluido de consumo final (água potável).

A grande diferença está na utilização da segunda serpentina do termoacumulador, que normalmente está acoplada a um sistema de apoio, que pode ser caldeira, bomba de calor ou esquentador e que permite aumentar pontualmente a temperatura da água que se pretende enviar para o consumidor. Este tipo de disposição é importante sobretudo, quando o sistema solar não está em funcionamento. Por muito bom que seja o depósito, é inevitável a existência de perdas para o meio ambiente, sendo que essas perdas têm uma consequência

directa na temperatura da água no interior do depósito, fazendo com que a mesma chegue aos consumidores a temperaturas mais baixas, que as pretendidas.

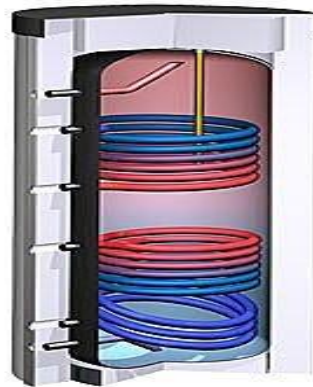


Figura 3.7 - Termoacumulador com duas serpentinas [fonte: Wagner Solar].

Ao colocar-se um permutador de calor dependente de um sistema de apoio, estamos a garantir que a temperatura da água entregue ao consumidor terá aproximadamente, sempre o mesmo valor. Claro que todas estas vantagens têm implícito, custos mais elevados em termos energéticos.

Termoacumulador com permutador externo

Este tipo de sistema funciona da mesma maneira que os sistemas descritos anteriormente. A única diferença está na colocação do permutador de calor. Nos dois exemplos que foram apresentados, o(s) permutador(es) de calor eram colocados no interior do termoacumulador.

Em termos práticos, a diferença é que este sistema de permutador externo permite a escolha do depósito e do permutador de calor separadamente e de forma independente, podendo desta forma, adequar melhor os equipamentos às necessidades dos consumidores.

A grande desvantagem é o custo associado a este tipo de sistema, uma vez que é necessário adquirir dois equipamentos separadamente. Em certos casos, é necessário entrar em linha de conta com a introdução de uma bomba de circulação extra, que trará obrigatoriamente um incremento nos custos de funcionamento.

Termoacumulador com resistência eléctrica

Este tipo de termoacumulador é em tudo semelhante aos apresentados anteriormente, sendo que a única diferença prende-se com a forma como o fluido no seu é aquecido. Nos exemplos

anteriores observamos que o aquecimento do fluido poderia ser obtido maioritariamente através da energia solar, tendo em vista a criação de soluções mais amigas do ambiente. No caso concreto dos termoacumuladores eléctricos, o aquecimento do fluido é conseguido através de uma resistência eléctrica colocada no interior do acumulador.

Tanto a capacidade do acumulador como a potência da resistência variam consoante a necessidade de cada habitação.

3.3 Bomba de calor

As bombas de calor são um equipamento que permite transferir calor da temperatura baixa para a temperatura alta. A grande vantagem das bombas de calor está em grande parte relacionada com a sua eficiência superior a 1,0 (em geral ronda os 4,0) o que permite obter uma determinada quantidade de energia térmica com somente um quarto da energia eléctrica que normalmente seria necessário, caso o equipamento tivesse um rendimento de 100%. Essa proporção é observável na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Relação entre energia produzida e fornecida [fonte: Daikin]

3.3.1 Funcionamento

Este tipo de equipamento é normalmente constituído por um circuito fechado, no qual circula um fluido de trabalho que é continuamente comprimido e expandido. A cada compressão e a cada expansão, o fluido de trabalho retira um pouco de energia (calor) ao fluido frio e devolve-o ao fluido quente. Na Figura 3.9 Está representado o circuito de funcionamento de uma bomba de calor.

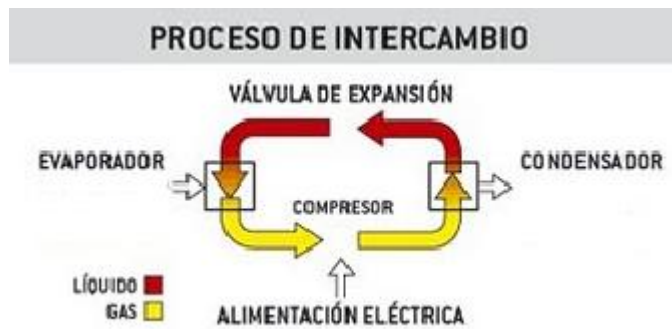


Figura 3.9 - Circuito interno de uma bomba de calor [fonte: consultorianalise]

O circuito apresentado na Figura 3.9 funciona da seguinte forma:

- a. No compressor o fluido de trabalho (vapor) é comprimido e dessa forma a temperatura e a pressão do fluido é aumentada;
- b. No condensador o fluido de trabalho sofre uma mudança de fase e passa de vapor a líquido, perdendo desta forma calor para o meio envolvente;
- c. Na válvula de expansão o fluido (líquido) sofre um abaixamento de temperatura e pressão;
- d. No evaporador o fluido de trabalho sofre uma nova mudança de fase (líquido para vapor) e que implica uma absorção de calor existente no meio envolvente.

Um facto importante e que não deve ser desvalorizado, é a possibilidade que as bombas de calor permitem não só fornecer calor mas também frio, através da possibilidade de algumas bombas de calor em inverter o sentido de funcionamento do circuito. Com esta possibilidade o condensador passará a funcionar como evaporador e vice-versa. Esta possibilidade poderá ser um factor importante aquando da escolha de equipamentos a utilizar num edifício.

Para se “alimentar” o lado frio das bombas de calor, de onde se vai extrair o calor, podem ser utilizados diferentes tipos de fontes. A escolha do tipo de fonte está relacionada com diversos aspectos, entre os quais se pode destacar: características do ambiente exterior, rendimentos pretendidos, custo de instalação e limitações de ordem legislativa.

Designações comuns para as bombas de calor são:

- Bomba de calor Ar-Ar;
- Bomba de calor Ar-Água;
- Bomba de calor Água-Água;
- Bomba de calor Geotérmica.

Como fonte de calor poder-se-á utilizar o ar. O ar exterior estará sempre disponível e não requer normalmente nenhuma autorização para a sua captação. O único senão deste tipo de fonte é a temperatura do ar exterior que, se for demasiada baixa, pode implicar o abaixamento do rendimento da bomba de calor.

As águas do mar, lagos ou rios também podem ser utilizadas como fonte de calor. Tal como o ar é necessário ter em atenção as temperaturas baixas que poderão surgir durante os meses mais frios, pois esse facto terá implicações sérias na eficiência da bomba de calor.

Uma fonte também importante de energia é o subsolo, pois nele estão armazenadas quantidades consideráveis de energia oriunda da radiação solar e da geotermia. Obter calor através da energia geotérmica requer a instalação de equipamento próprio para a sua captação, entre os quais podemos destacar colectores horizontais, sondas verticais e águas de furo ou poço.

Como se pode observar a variedade de fontes de calor é grande e cabe ao projectista oferecer a solução adequada e mais eficiente ao cliente.

3.3.2 Equipamento emissor

Para se poder fornecer o calor que é produzido pela bomba de calor ao local que é necessário aquecer e/ou climatizar, é necessário que na divisão em questão seja instalado um equipamento emissor. Segundo a empresa Caleffi (2009) as bombas de calor podem utilizar 4 tipos de equipamentos emissores:

- Piso radiante;
- Radiadores;
- Ventiloinvectores;
- Instalações com ar.

O piso radiante é uma boa opção para quem pretender utilizar a bomba de calor, uma vez que funciona com temperaturas baixas entre 40°C e os 45°C. Deste modo e atendendo a que as bombas de calor não produzem água quente a elevadas temperaturas, a combinação com o piso radiante torna-se uma boa solução.

Em relação à utilização de radiadores com bomba de calor, a combinação já não é tão favorável uma vez que os radiadores funcionam com temperaturas a rondar os 70°C. O facto de a bomba de calor não produzir uma temperatura tão elevada, implicaria a necessidade de implementar um sistema demasiado grande de radiadores, o que causaria um enorme transtorno em termos de espaço ocupado.

Outra limitação apontada à utilização de radiadores com bomba de calor é a impossibilidade de os radiadores não funcionarem como emissores de frio, uma vez que a bomba de calor pode efectuar aquecimento e arrefecimento em diferentes épocas do ano.

Uma forma de contornar o problema apresentado nos radiadores, em relação à emissão de frio, é a utilização de ventiloconvectores. Este tipo de equipamento é bastante utilizado para climatizar loja, escritórios e residências uma vez que permite a versatilidade de funcionar na época de aquecimento e de arrefecimento.

Relativamente à utilização de bomba de calor com instalações de ar, verifica-se que será também uma boa solução, pois permite a utilização de dois tipos de bomba de calor. Se for utilizada uma bomba de calor ar-ar, poder-se-á insuflar directamente nas condutas o ar quente proveniente da bomba de calor. Se por outro lado se utilizar uma bomba de calor do tipo ar-água, a água quente produzida através da bomba de calor poderá ser enviada para as baterias de aquecimento de ar dispostas ao longo das condutas.

3.4 Caldeiras

As caldeiras são equipamentos utilizados para aumentar a temperatura de um fluído (água) para que possa ser transportado até ao local onde é necessário. É um dos equipamentos mais utilizados nos edifícios, para aquecimento ambiente.

3.4.1 Funcionamento

Existem diferentes formas de classificar as caldeiras (Roriz, 2007) entre elas: utilização prevista, tipo de fluído a aquecer, fonte de energia de trabalho e concepção. Na presente dissertação utilizaram-se nas simulações, caldeiras murais (normais e de condensação) e caldeiras de chão. Os combustíveis utilizados foram o gás butano, gás natural, gasóleo (fuelóleo) e biomassa.

Com a propagação das instalações de gás natural nos edifícios, sobretudo nos meios urbanos, as caldeiras que utilizam este tipo de combustível têm vindo a ganhar vantagem, comparativamente às que utilizam gasóleo. Este facto também pode ser explicado por algumas razões relacionadas com os custos de investimento e manutenção, a saber:

- As caldeiras a gás natural não necessitam de equipamentos auxiliares como depósitos para combustível, filtros, bombas, etc.;

- Por necessitarem de menos equipamentos auxiliares, os custos de manutenção também serão mais reduzidos;
- Menores custos de manutenção da própria caldeira, uma vez que a queima de gás é mais “limpa” que a queima de gasóleo;

Outro factor a ter em conta é o depósito de resíduos no permutador interno, que ocorre devido à combustão de gasóleo e que pode implicar uma redução de rendimento a longo prazo.

As caldeiras convencionais libertam os gases de combustão a uma temperatura elevada para se evitar a condensação do vapor de água existente nos gases de combustão, que dessa foram dariam origem a compostos (NO_x e SO_x) que formariam ácido capaz de danificar a caldeira.

A verdade é que existem caldeiras (condensação) que aproveitam o fenómeno da condensação para aumentarem a sua eficiência, quando comparadas com caldeiras convencionais. Este aproveitamento é efectuado através da colocação de um permutador (ar/água) antes da chaminé de forma a arrefecer os gases de escape (condensação do vapor de água) e a aquecer a água que retorna à caldeira.

O facto de este tipo de caldeiras apresentar valores de eficiência superiores a 100% é explicado pela utilização do Poder Calorífico Inferior (PCI) como base para definir o rendimento, ou seja o calor resultante da queima considerando que o vapor de água dos gases de escape não condensa.

As caldeiras de chão têm um princípio de funcionamento idêntico às caldeiras, isto é, utilizam uma combustível de queima, para fornecer energia a um fluído (água). Uma das novidades na utilização das caldeiras de chão está relacionada com o uso de biomassa como fonte de energia para a queima, uma vez que a biomassa é uma energia renovável e como tal, amiga do ambiente.

3.4.2 Equipamento emissor

O equipamento emissor utilizado para as caldeiras é em tudo semelhante ao que foi apresentado anteriormente para as bombas de calor. A única diferença é que com as caldeiras não se pode utilizar ventiloconvectores, mas sim todos os restantes (ver capítulo 3.3.3).

Capítulo 4 - Algoritmo de cálculo

O presente capítulo está dividido em duas partes. A parte inicial está relacionada com a alteração de uma folha de cálculo existente, utilizada para analisar se um determinado edifício verifica o regulamento (RCCTE). O objectivo principal na alteração da folha de cálculo estava relacionado com o fraccionamento energético das necessidades de aquecimento, isto é, dentro da mesma fracção poderem ser utilizadas duas fontes de energia térmica diferentes.

A segunda parte está relacionada com as simulações energéticas. Foram efectuados alguns estudos comparativos com o intuito de se entender em que medida, certas opções energéticas (equipamentos) podem ser ou não, vantajosas. Também foram efectuadas simulações para se obter a classificação energética do edifício em estudo, com base em diferentes combinações de equipamentos, tipos de combustíveis e eficiências.

4.1 Folha de cálculo

A folha de cálculo utilizada na presente dissertação, já existe e é utilizada para verificar o cumprimento do RCCTE, de uma determinada fracção. O intuito do presente trabalho consistia em introduzir algumas alterações de forma e de conteúdo. Em termos de forma o objectivo era criar separadores próprios para a climatização e para a energia solar, com as respectivas funcionalidades. Em relação ao conteúdo o principal objectivo prendia-se com a questão do fraccionamento energético na parte do aquecimento, uma vez que é o que tem necessidades energéticas maiores, como exposto na revisão bibliográfica.

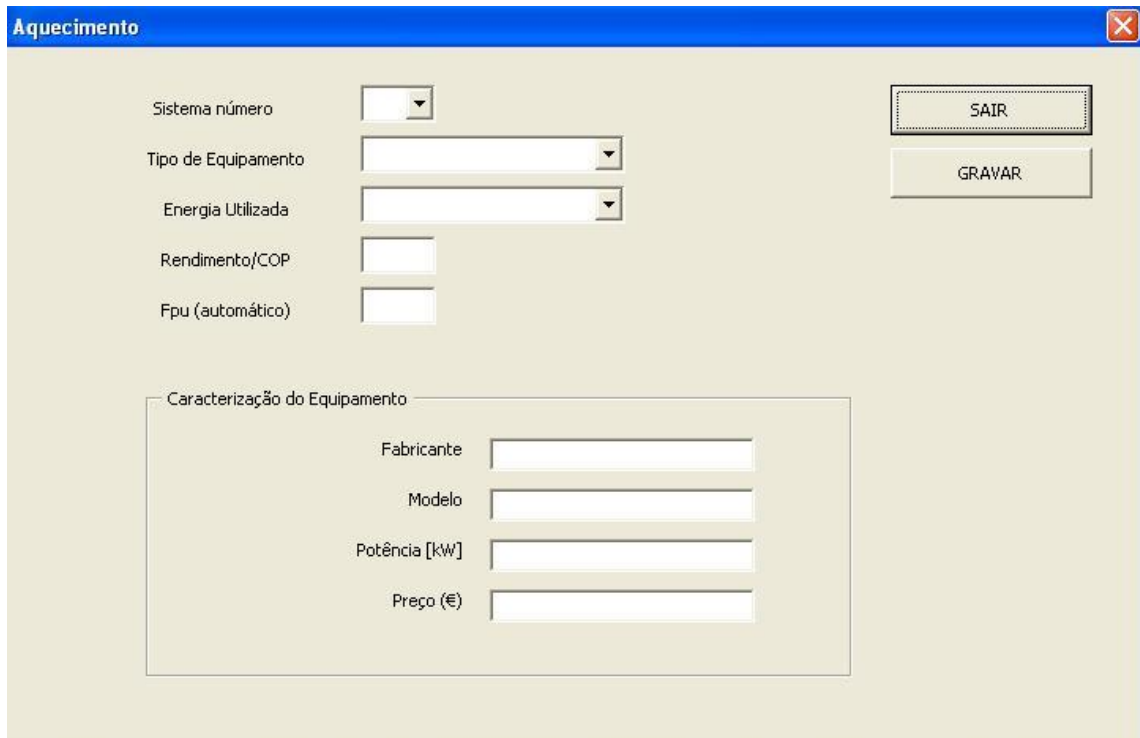
4.1.1 Separador “Climatização”

A intenção deste separador é o de conter toda a informação necessária para definir completamente todos os equipamentos pretendidos, para que as necessidades de aquecimento e arrefecimento sejam devidamente supridas. O RCCTE pretende ter um carácter indicativo e nunca definitivo, isto é, a solução final da escolha dos equipamentos utilizados deve ser deixada a cargo de uma empresa qualificada para o dimensionamento de sistemas de climatização.

Na parte do aquecimento estão disponíveis os resultados para o caso de o utilizador pretender utilizar dois tipos de energia dentro da mesma fracção (fraccionamento energético), uma vez

que o futuro proprietário da fracção poderá ter este tipo de exigências energéticas e como tal, o regulamento deverá ser capaz de catalogar a fracção.

Na Figura 4.1 é possível observar o formulário que é activado quando se pressiona o botão de Aquecimento, no separador *Climatização*. Neste formulário o utilizador pode escolher o número do sistema que vai definir, o equipamento que vai utilizar e a energia utilizada pelo referido equipamento. O valor de F_{pu} é colocado automaticamente, uma vez que depende do tipo de energia utilizada pelo equipamento (RCCTE).



The image shows a software window titled "Aquecimento" with a close button in the top right corner. The window contains the following elements:

- A dropdown menu for "Sistema número".
- A dropdown menu for "Tipo de Equipamento".
- A dropdown menu for "Energia Utilizada".
- Text input fields for "Rendimento/COP" and "Fpu (automático)".
- A section titled "Caracterização do Equipamento" containing four text input fields: "Fabricante", "Modelo", "Potência [kW]", and "Preço (€)".
- Two buttons on the right: "SAIR" and "GRAVAR".

Figura 4.1 - Formulário referente ao aquecimento

Na parte inferior do formulário o utilizador pode inserir mais informação referente ao equipamento escolhido e/ou proposto. Nesse caso, pode ser definido o fabricante do equipamento, o modelo, a potência, o preço.

Para efectuar o fraccionamento energético foi proposto o seguinte método: no primeiro separador da folha de cálculo, designado por *Caracterização*, o utilizador pode definir o tipo de sistema que pretende utilizar em cada uma das divisões da fracção. Para tal bastará apenas colocar o número do sistema à frente de cada uma das divisões e automaticamente, o valor total do volume útil aparecerá no final.

Para determinar a percentagem de energia que deverá ser suprida por cada um dos sistemas é efectuado o rácio entre o volume total dos compartimentos afectos a cada um dos sistemas pelo volume total dos compartimentos a climatizar. Deste modo é possível fraccionar a energia para cada um dos sistemas definidos pelo utilizador ou, caso só exista um sistema, a percentagem de fraccionamento atribuída a esse sistema será de 100%.

Na Figura 4.2 pode-se observar o formulário referente ao arrefecimento. Este formulário é em tudo semelhante ao descrito anteriormente para o aquecimento. Do mesmo modo o utilizador pode inserir os dados referentes ao tipo de equipamento, à energia utilizada pelo equipamento e o respectivo rendimento. O facto de não existir fraccionamento nas necessidades de arrefecimento, implica que não seja necessário introduzir o número do sistema.

The image shows a software window titled "Arrefecimento" (Cooling). The window has a blue title bar with a close button in the top right corner. The main content area is light beige. On the left side, there are four input fields: "Tipo de Equipamento" (a dropdown menu), "Energia Utilizada" (a dropdown menu), "Rendimento" (a text input field), and "Fpu (automático)" (a text input field). On the right side, there are two buttons: "SAIR" (with a dashed border) and "GRAVAR" (with a solid border). Below these fields and buttons is a section titled "Caracterização do Equipamento" (Equipment Characterization) enclosed in a thin border. This section contains four text input fields: "Fabricante" (Manufacturer), "Modelo" (Model), "Potência [kW]" (Power in kW), and "Preço (€)" (Price in Euros).

Figura 4.2 - Formulário referente ao arrefecimento

Na parte inferior do referido formulário pode também ser inserida informação mais concreta, relativamente ao equipamento escolhido e/ou proposto. A informação adicional poderá ser o fabricante do equipamento, o modelo, a potência e o preço.

Em ambos os casos, aquecimento e arrefecimento, a informação inscrita no respectivo formulário é automaticamente guardada na folha de cálculo, nas células definidas para tal.

Para efectuar essa gravação, bastará apenas pressionar o botão GRAVAR existente em ambos os formulários.

4.1.2 Separador “AQS Convencional”

Outro objectivo do trabalho de alteração da folha de cálculo prendia-se com a criação de mais um separador com o nome AQS Convencional, que vai conter a informação relativa ao sistema convencional definido para aquecimento de águas sanitárias.

Tal como referido nos casos anteriores, este formulário (Figura 4.3) pretende facilitar a introdução de dados referentes à preparação de águas quentes sanitárias. Neste caso é permitido ao utilizador introduzir o equipamento utilizado, a energia utilizada pelo equipamento e o rendimento. Neste caso, também é possível introduzir a espessura de isolamento das tubagens, caso exista. A espessura de isolamento é importante para a obtenção final do valor do rendimento, já que caso o valor de isolamento seja baixo, o RCCTE indica que o rendimento deve sofrer uma redução.

The image shows a software window titled "Preparacao AQS". The window has a blue title bar with a close button. The main area is light beige and contains the following elements:

- On the left side, a vertical list of input fields:
 - "Tipo de Equipamento": a dropdown menu.
 - "Energia Utilizada": a dropdown menu.
 - "Rendimento": a text input field.
 - "Fpu (automático)": a text input field.
 - "Existe isolamento nas tubagens?": two radio buttons labeled "Sim" and "Não".
 - "Espessura [mm]": a text input field.
- On the right side, two buttons: "SAIR" (top) and "GRAVAR" (bottom).
- At the bottom, a section titled "Caracterização do Equipamento" enclosed in a thin border, containing six text input fields:
 - "Fabricante"
 - "Modelo"
 - "Potência [kW]"
 - "Isolamento do Termoacumulador [mm]"
 - "Rendimento (Caldeiras)"
 - "Preço (€)"

Figura 4.3 - Formulário referente ao sistema convencional de preparação de AQS

Na parte inferior do formulário é possível introduzir mais informação sobre o equipamento seleccionado inicialmente.

Finalmente foi introduzido um formulário que permite a introdução de informação referente às características dos colectores solares utilizados e/ou propostos para a captação da energia solar, tendo em conta o RCCTE. Como se pode observar da Figura 4.4, o utilizador pode introduzir o nome do fabricante do colector, o modelo e as características físicas e térmicas do referido colector.

Com a introdução destes formulários é pretendido que o perito tenha a maior quantidade de informação possível sobre os equipamentos relacionados com aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias. O separador final *Análise Económica* foi alterado de forma a poder absorver toda a informação relativa ao fraccionamento energético, oferecendo deste modo mais informação que poderá ser útil, para a escolha do equipamento a utilizar na fracção em análise.



Figura 4.4 - Formulário referente à descrição dos colectores solares

4.1.3 Cálculo de N_{tc}

Uma vez que o algoritmo permite a possibilidade de fraccionamento energético das necessidades de aquecimento, é necessário efectuar as alterações adequadas na equação de cálculo das necessidades globais de energia primária (N_{tc}). Recordando a expressão apresentada no capítulo 3:

$$Ntc = [0,1 \times \left(\frac{Nic}{\eta_i}\right) \times Fpui] + 0,1 \times \left(\frac{Nvc}{\eta_v}\right) \times Fpuv + Nac \times Fpua \quad [kgep/m^2.ano] \quad (4.1)$$

A parte da expressão 4.1 que será alterada é a representada a negrito e entre parênteses rectos, uma vez que é a parte representativa das necessidades de aquecimento.

$$Ntc = \left[0,1 \times \left(\frac{Nic1}{\eta_{i1}}\right) \times Fpui(1) \times \%(1)\right] + \left[0,1 \times \left(\frac{Nic2}{\eta_{i2}}\right) \times Fpui(2) \times \%(2)\right] + (\dots) \quad [kgep/m^2.ano] \quad (4.2)$$

O que se pode observar na expressão 4.2 é o fraccionamento energético, associado a cada um dos sistemas definidos na folha de cálculo do RCCTE. Cada um dos sistemas é representado por um índice (1,2 ou 3) e os valores das percentagens relativos a esses mesmos sistemas. Como já foi referido anteriormente, todos estes valores representados na expressão 4.2 são obtidos e inseridos automaticamente na folha de cálculo, sendo que apenas se pretendeu expor a equação que deu origem aos resultados encontrados na folha de cálculo em análise.

4.2 Equipamentos

De forma a se poder efectuar o conjunto de simulações pretendidas, torna-se necessário a escolha de equipamentos para climatização e produção de AQS que permitam fazer face às diversas necessidades energéticas do edifício em estudo. Como tal foram seleccionados uma gama de equipamentos que estão descritos na Tabela 4.1.

Para obter as informações necessárias relativas aos equipamentos foram contactados os representantes de diferentes empresas, sendo que as empresas seleccionadas foram as que disponibilizaram a informação em tempo útil.

Os equipamentos apresentados são provenientes de 3 empresas distintas e com uma boa implementação em Portugal. Os equipamentos 6,7 e 11 foram consultados na empresa Zantia. O equipamento 9 na empresa OLI e os restantes equipamentos foram consultados na empresa Baxiroca.

O termoacumulador (9) não dispunha no catálogo do fabricante, de informação sobre a eficiência do equipamento e assim sendo, a eficiência teve de ser atribuída com a ajuda do RCCTE. Como a espessura de isolamento do termoacumulador é superior a 50 mm e inferior a 100mm, implica que a eficiência será de 0,90.

Tabela 4.1 - Lista de equipamentos e respectivas características

	Equipamento	Combustível	η	Aquec.	Arref.	AQS	Pot. (kW)	Preço s/ IVA
1	Caldeira Mural	G. Natural	0,93	x		x	24	1.562,00 €
2	Caldeira Mural	G. Butano	0,90	x		x	24,4	2.077,00 €
3	C. Condensação	G. Natural	1,08	x		x	24	1.791,00 €
4	Caldeira Chão	Gasóleo	0,91	x			25	1.066,00 €
5	Caldeira Chão	Biomassa	0,90	x			25	6.324,00 €
6	Bomba de Calor	Electricidade	4,37	x			19	4.089,44 €
7	Bomba de Calor	Electricidade	3,61/ 3,22	x	x		10,5	3.808,60 €
8	Máq. Frigorífica (RCCTE)	Electricidade	3,00		x		25	400,00€
9	Termoacumulador	Electricidade	0,90			x	5	2.157,00 €
10	Esquentador	G. Butano	0,87			x	22	588,00 €
11	Bomba de Calor	Electricidade	3,19			x	1,5	1618,64

Em termos de equipamentos emissores (radiadores e ventiloconvectores) tiveram de ser encontradas soluções nas empresas atrás referidas. Para efectuar o dimensionamento em termos de potência de aquecimento para cada divisão da fracção em estudo, utilizou-se o valor de 80 W por m² de área útil. Este valor surgiu após o contacto com empresas que habitualmente dimensionam este tipo de soluções e com a consulta dos fabricantes de equipamentos para climatização.

De referir que nas mesmas fontes, surgiu um valor para dimensionamento de 30 W por m³ de volume útil, que apresentava diferenças reduzidas, quando comparadas com as potências de aquecimento obtidas por 80 W/m².

Na Tabela 4.2 apresenta-se os valores referentes a cada uma das divisões da fracção em estudo. A primeira coluna diz respeito às potências utilizando a regra dos 80 W/m², a segunda coluna a regra dos 30 W/m³ e a terceira coluna refere-se à conversão dos valores da primeira coluna para Kcal/h, que é a unidade utilizada nos catálogos da Baxiroca, para a determinação do número de radiadores.

Na Tabela 4.3 estão representados os custos associados aos equipamentos utilizados para climatizar as diferentes divisões da fracção. Neste quadro estão apresentados apenas as divisões em que é necessário aquecimento e/ou arrefecimento, excluindo a despensa, roupeiro, instalações sanitárias e acesso à garagem.

No caso dos radiadores foi escolhido o modelo Dubal 80 da Baxiroca, que emite 189,9 Kcal/h de energia por barra. Na Tabela 4.3 é possível observar o preço e o número de barras necessários, por cada divisão.

Tabela 4.2 - Potências térmicas de aquecimento

W (área)	W (volume)	Kcal/h	Divisão
856,0	770,4	737,9	Circulações (acesso à garagem)
1640,0	1599,0	1413,8	Cozinha
240,0	234,0	206,9	Despensa
1800,0	1755,0	1551,7	Circulações (incluindo a escada)
552,0	538,2	475,9	Instalação sanitária 1
3520,0	3432,0	3034,5	Sala
1352,0	1318,2	1165,5	Escritório
1496,0	1458,6	1289,7	Quarto 1
1544,0	1505,4	1331,0	Quarto 2
1496,0	1458,6	1289,7	Quarto 3
1376,0	1341,6	1186,2	Quarto 4
320,0	312,0	275,9	Roupeiro
432,0	421,2	372,4	Instalação sanitária 2
480,0	468,0	413,8	Instalação sanitária 3
1276,0	1244,1	1100,0	Circulações (incluindo a escada)

Tabela 4.3 - Custos associados aos equipamentos emissores

Divisão	Watt	kcal/h	Radiador [Dubal 80]			
			Kcal/h	Preço	Ventiloconvectores	
			189,9	17,80 €	Preço	Potência
Cozinha	1640	1413,8	8	147,25 €	309,00 €	1,9 kW
Sala	3520	3034,5	16	284,43 €	495,10 €	3,9 kW
Escritório	1352	1165,5	6	109,25 €	309,00 €	1,9 kW
Quarto 1	1496	1289,7	7	120,88 €	309,00 €	1,9 kW
Quarto 2	1544	1331,0	7	124,76 €	309,00 €	1,9 kW
Quarto 3	1496	1289,7	7	120,88 €	309,00 €	1,9 kW
Quarto 4	1376	1186,2	6	111,19 €	309,00 €	1,9 kW
Hall (R/C)	1800	1551,7	8	145,45 €	309,00 €	1,9 kW
Hall (1º andar)	1276	1100,0	6	103,11 €	309,00 €	1,9 kW

Em relação aos ventiloconvectores foram escolhidos dois modelos da Zantia. O primeiro, referente à potência de 1,9kW, foi um ventiloconvector tangencial de 2 tubos. Para a potência de 3,9 kW foi escolhido um modelo em cassete de 4 vias e 2 tubos. Os valores de potência aqui apresentados estão relacionados apenas com as necessidades de aquecimento, uma vez que, como se verá mais à frente, são responsáveis pela maior percentagem de custos na factura energética.

4.2.1 Classificação energética

De seguida vão ser apresentadas as diferentes combinações dos equipamentos da Tabela 4.1, propostas para simulação na folha de cálculo utilizada na presente dissertação, com o intuito de analisar em que medida a classificação energética do edifício pode ser alterada. A Tabela 4.4 apresenta as 15 combinações propostas.

Tabela 4.4 - Combinações de equipamentos, propostas

	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>
1	C. Mural	RCCTE	Caldeira Mural	0,93	3,00	0,93	G. Natural	Electricid.	G. Natural
2	C. Mural	RCCTE	Caldeira Mural	0,90	3,00	0,90	G. Butano	Electricid	G. Butano
3	Condensação	RCCTE	Condensação	1,08	3,00	1,08	G. Natural	Electricid	G. Natural
4	Caldeira Chão	RCCTE	Termoac.	0,91	3,00	0,90	Gasóleo	Electricid	Electricid
5	Caldeira Chão	RCCTE	Esquentador	0,91	3,00	0,87	Gasóleo	Electricid	G. Butano
6	Caldeira Chão	RCCTE	Termoac.	0,90	3,00	0,90	Biomassa	Electricid	Electricid
7	Caldeira Chão	RCCTE	Esquentador	0,90	3,00	0,87	Biomassa	Electricid	G. Butano
8	Bomba Calor	RCCTE	Termoac.	4,37	3,00	0,90	Electricidade	Electricid	Electricid
9	Bomba Calor	RCCTE	Esquentador	4,37	3,00	0,87	Electricidade	Electricid	G. Butano
10	Bomba Calor	B Calor	Termoac.	3,61	3,22	0,90	Electricidade	Electricid	Electricid
11	Bomba Calor	B Calor	Esquentador	3,61	3,22	0,87	Electricidade	Electricid	G. Butano
12	Caldeira Chão	RCCTE	Condensação	0,90	3,00	1,08	Biomassa	Electricid	G. Natural
13	Caldeira Chão	RCCTE	Condensação	0,91	3,00	1,08	Gasóleo	Electricid	G. Natural
14	Caldeira Chão	RCCTE	Bomba Calor	0,90	3,00	3,19	Biomassa	Electricid	Electricid
15	Bomba Calor	B Calor	Bomba Calor	3,61	3,22	3,19	Electricidade	Electricid	Electricid

4.2.2 Apoio solar

De forma a possibilitar que o algoritmo de cálculo avalie a utilização de energia solar, efectuou-se um estudo relacionado com o apoio de energia solar para suprir parte das necessidades de aquecimento. Este apoio será efectuado através de água quente fornecida por uma sistema de colectores solares, que será enviada para um sistema de piso radiante hidráulico.

Para efectuar este estudo foi seleccionado um colector solar da empresa Baxiroca, com as características apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Características do colector

BAXIROCA	
<i>Modelo</i>	Sol 250
<i>Área (m²)</i>	2,37
<i>η</i>	0,814
<i>a₁ (W/m²K)</i>	3,639
<i>a₂ (W/m²K²)</i>	0,0089
<i>Mod. Ang.</i>	0,93
<i>Preço</i>	720,00 €

Após seleccionado o colector, utilizou-se o programa Solterm (INETI) para determinar a quantidade de energia que o sistema solar poderia fornecer de apoio. Para que os resultados encontrados tivessem alguma validade, foi necessário inserir no Solterm, perfis de consumo correspondentes aos objectivos que eram pretendidos. Foi assumido que o apoio solar seria capaz de fornecer diferentes percentagens de necessidades de aquecimento, a saber: 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Para inserir os perfis no Solterm foi necessário converter a energia necessária (kWh/ano) para Litros/dia. Para esse efeito foi utilizada a seguinte expressão, presente no RCCTE:

$$M_{AQS} = \frac{Q \times 3600000}{4187 \times \Delta T \times n_d} \quad (4.3)$$

Em que

- Q é a energia diária necessária;
- ΔT é a diferença de temperatura;
- n_d é o número de dias.

Tendo em conta que as necessidades anuais (100%) são de 20613 kWh/ano, ΔT = 30 e n_d = 212, as necessidades energéticas para as percentagens em estudo foram calculadas. Na Tabela 4.6 estão representados os valores para cada uma das percentagens.

Depois de conhecidos os consumos diários de água quente (45°C) e depois de introduzidos no Solterm todos os dados necessários, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.6 - Energia para diferentes percentagens de apoio solar

Apoio Solar		Cálculos médios	
		Litros/dia	kWh/ano
%	10	278	2061,2
	20	556	4122,5
	30	834	6183,7
	40	1112	8245,0
	50	1390	10306,2

Tabela 4.7 - Sistema de apoio solar ao aquecimento

Apoio		Solterm (kWh/ano)			Colectores (Sol 250)			Depósito
		Desperdício	Fornecido	Carga	Qtd	Área (m ²)	Preço unit.	Capacidade (L)
%	10	43	2059	2192	3	7,11	720,00 €	800
	20	270	4114	4395	6	14,22	720,00 €	1000
	30	533	6142	6499	9	21,33	720,00 €	1500
	40	1359	8300	8692	12	28,44	720,00 €	1500
	50	2556	10201	10749	16	37,92	720,00 €	1500

Da análise das Tabelas 4.6 e 4.7, verifica-se que a diferença entre os valores calculados para as necessidades de aquecimento e os obtidos pelo Solterm (carga), não é muito grande e é devida à capacidade do programa do INETI, que possui na sua base de dados as temperaturas da água da rede ao longo dos diferentes meses. Essa diferença na temperatura da rede não é contabilizada nos cálculos médios apresentados na Tabela 4.6.

A capacidade máxima do depósito foi fixada nos 1500 litros, uma vez que a partir deste volume o depósito tornar-se-ia difícil de acomodar no interior de uma habitação.

4.2.4 Fraccionamento energético

O algoritmo de cálculo permite a possibilidade de utilizar simultaneamente, numa fracção autónoma, mais do que um sistema de aquecimento (fraccionamento energético).

Para testar as implicações do fraccionamento foram utilizados dois critérios distintos:

1. Utilizar um sistema de aquecimento nas instalações sanitárias e outro nas restantes divisões;

2. Utilizar dois sistemas de aquecimento distintos em cada um dos pisos do edifício em estudo.

Também foi assumido que para as necessidades de arrefecimento seria sempre utilizada uma bomba de calor com eficiência de 3. Em relação ao apoio à produção de águas quentes sanitárias será utilizada sempre uma caldeira mural de condensação a gás natural, com uma eficiência de carga parcial igual a 1,08.

Para estudar o fraccionamento energético e tendo em conta os equipamentos seleccionados anteriormente, foi criada um conjunto de combinações. A Tabela 4.8 apresenta essas combinações.

Tabela 4.8 - Conjunto de combinações propostas

	<i>Sistema1</i>	<i>Sistema2</i>	<i>AQS</i>	<i>Sist.1</i>	<i>Sist.2</i>	<i>AQS</i>	<i>Sistema1</i>	<i>Sistema2</i>	<i>AQS</i>
1	Caldeira Chão	Resistência	Condensação	0,91	1,00	1,08	Gasóleo	Electricidade	G Natural
2	Caldeira Chão	Resistência	Condensação	0,90	1,00	1,08	Biomassa	Electricidade	G Natural
3	Condensação	Resistência	Condensação	1,08	1,00	1,08	Gás Natural	Electricidade	G Natural
4	Bomba Calor	Resistência	Condensação	4,37	1,00	1,08	Electricidade	Electricidade	G Natural
5	Caldeira Chão	Bomba Calor	Condensação	0,90	4,37	1,08	Biomassa	Electricidade	G Natural
6	Caldeira Chão	Condensação	Condensação	0,90	1,08	1,08	Biomassa	Gás Natural	G Natural
7	Bomba Calor	Condensação	Condensação	4,37	1,08	1,08	Electricidade	Gás Natural	G Natural
8	Bomba Calor	Resistência	Condensação	4,37	1,00	1,08	Electricidade	Electricidade	G Natural

O equipamento utilizado para o aquecimento de águas quentes sanitárias foi mantido constante em todas as opções, uma vez que o objectivo é analisar a influência do fraccionamento no aquecimento ambiente.

As primeiras quatro combinações apresentadas dizem respeito à primeira condição, isto é, só as instalações sanitárias são aquecidas pelo sistema 2. Os quatro restantes exemplos dizem respeito à segunda condição, em que se pretendia aquecer os dois pisos do edifício com sistemas distintos em ambos os pisos.

Capítulo 5 - Estudo de casos

Este capítulo encontra-se dividido em duas partes distintas. Na parte inicial será apresentado o edifício analisado em termos de áreas e necessidades energéticas. Na segunda parte do capítulo serão apresentados os resultados obtidos das simulações e a respectiva análise.

5.1 Edifício

De seguida vai ser descrito o edifício utilizado para o estudo. O edifício situa-se no concelho da Covilhã, freguesia de Conceição, a uma altitude de 490 m. A zona climática é I3 - V2 Norte.

De acordo com o apresentado na Tabela 5.1, o edifício possui uma área útil de pavimento igual a 229,75 m². O pé-direito médio considerado, em ambos os pisos, é de 2,59 m.

Tabela 5.1 - Zonas existentes no edifício e respectivas áreas

Piso	Compartimento da fracção autónoma	Área [m²]
Cave	<i>Circulações (acesso à garagem)</i>	10,70
R/C	<i>Cozinha</i>	20,50
R/C	<i>Despensa</i>	3,00
R/C	<i>Circulações (incluindo a escada)</i>	22,50
R/C	<i>Instalação sanitária 1</i>	6,90
R/C	<i>Sala</i>	44,00
R/C	<i>Escritório</i>	16,90
1º Andar	<i>Quarto 1</i>	18,70
1º Andar	<i>Quarto 2</i>	19,30
1º Andar	<i>Quarto 3</i>	18,70
1º Andar	<i>Quarto 4</i>	17,20
1º Andar	<i>Roupeiro</i>	4,00
1º Andar	<i>Instalação sanitária 2</i>	5,40
1º Andar	<i>Instalação sanitária 3</i>	6,00
1º Andar	<i>Circulações (incluindo a escada)</i>	15,95

Como o edifício em questão foi construído recentemente e obteve a classificação A+, foi assumido que as características construtivas da envolvente interior e exterior são as mais

adequadas e correctas. Como o objectivo da presente dissertação está na comparação de diferentes equipamentos, para fazer face às diferentes necessidades (aquecimento, arrefecimento e AQS), a descrição das características das envolventes interiores e exteriores será omissa, pressupondo que estão de acordo com o RCCTE.

5.1.1 Necessidades de aquecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter o seu interior em condições de referência (temperatura de 20°C), N_{ic} , é indicada na Tabela 5.2, onde também é apresentado o valor máximo admissível para as necessidades nominais de aquecimento, N_i .

Tabela 5.2 - Necessidades de aquecimento

N_{ic}	N_i
[kWh/m ² ano]	[kWh/m ² ano]
89,72	107,17

5.1.2 Necessidades de arrefecimento

De acordo com a metodologia descrita no anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma para manter o seu interior à temperatura de referência de 25°C, N_{vc} , é indicada na Tabela 5.3

Tabela 5.3 - Necessidades de arrefecimento

N_{vc}	N_v
[kWh/m ² ano]	[kWh/m ² ano]
2,72	18,00

5.1.3 Águas quentes sanitárias

De acordo com o RCCTE a contribuição de energia fornecida por colectores solares térmicos para a preparação de águas quentes sanitárias, deverá ser determinada utilizando o programa SOLTERM disponibilizado pelo INETI. Assim, de acordo com o referido programa, a energia fornecida por um sistema solar com área de captação de 7,1m² e constituído por colectores

planos ($\eta_0= 0,79$; $a_1=3,750 \text{ W/m}^2/\text{K}$; $a_2= 0,014 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$) é de 3804 kWh/ano para o concelho da Covilhã.

No cálculo das necessidades de aquecimento para águas quentes sanitárias, definiu-se como sistema de apoio, uma caldeira mural a gás natural com eficiência de 87%. Na Tabela 5.4 são apresentados os valores das necessidades para águas quentes sanitárias.

Tabela 5.4 - Necessidades de AQS

N_{ac}	N_a
[kWh/m ² ano]	[kWh/m ² ano]
6,38	30,88

5.1.4 Energia primária

Na tabela 5.5 estão indicadas as necessidades globais anuais de energia primária e o seu valor máximo admissível, nos termos regulamentares. Para os cálculos de energia primária, foi considerado o seguinte:

- Aquecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 4.
- Arrefecimento realizado por intermédio de uma bomba de calor, com uma eficiência nominal de 3.

Tabela 5.5 - Necessidades de energia primária

N_{tc}	N_t
[kgep/m ² ano]	[kgep/m ² ano]
1,23	5,30

5.2 Classificação energética

Com o intuito de facilitar a comparação dos diferentes resultados obtidos para a classificação energética da fracção em estudo, optou-se por voltar a apresentar a tabela 4.9 do capítulo anterior, que será reproduzida na Tabela 5.6.

Com este conjunto de combinações estudou-se não só o seu efeito na classificação energética do edifício, como as suas consequências em termos de factura energética média a ser paga pelos proprietários. Os valores correspondentes à factura energética são meramente indicativos e não devem ser assumidos como “verdade absoluta”.

Tabela 5.6 - Combinações dos diferentes equipamentos

	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>	<i>Nic</i>	<i>Niv</i>	<i>AQS</i>
1	Caldeira Mural	RCCTE	Caldeira Mural	0,93	3,00	0,93	G. Natural	Electricid	G. Natural
2	Caldeira Mural	RCCTE	Caldeira Mural	0,90	3,00	0,90	G. Butano	Electricid	G. Butano
3	Condensação	RCCTE	Condensação	1,08	3,00	1,08	G. Natural	Electricid	G. Natural
4	Caldeira Chão	RCCTE	Termoacum	0,91	3,00	0,90	Gasóleo	Electricid	Electricidade
5	Caldeira Chão	RCCTE	Esquentador	0,91	3,00	0,87	Gasóleo	Electricid	G. Butano
6	Caldeira Chão	RCCTE	Termoacum	0,90	3,00	0,90	Biomassa	Electricid	Electricidade
7	Caldeira Chão	RCCTE	Esquentador	0,90	3,00	0,87	Biomassa	Electricid	G. Butano
8	Bomba Calor	RCCTE	Termoacum	4,37	3,00	0,90	Electricidade	Electricid	Electricidade
9	Bomba Calor	RCCTE	Esquentador	4,37	3,00	0,87	Electricidade	Electricid	G. Butano
10	Bomba Calor	B Calor	Termoacum	3,61	3,22	0,90	Electricidade	Electricid	Electricidade
11	Bomba Calor	B Calor	Esquentador	3,61	3,22	0,87	Electricidade	Electricid	G. Butano
12	Caldeira Chão	RCCTE	Condensação	0,90	3,00	1,08	Biomassa	Electricid	G. Natural
13	Caldeira Chão	RCCTE	Condensação	0,91	3,00	1,08	Gasóleo	Electricid	G. Natural
14	Caldeira Chão	RCCTE	Bomba Calor	0,90	3,00	3,19	Biomassa	Electricid	Electricidade
15	Bomba Calor	B Calor	Bomba Calor	3,61	3,22	3,19	Electricidade	Electricid	Electricidade

Na Tabela 5.7 são apresentados as classificações resultantes das diferentes combinações, assim como os valores indicativos para a factura energética.

A primeira linha de resultados com a referência “B” é representativa da combinação de diferentes equipamentos que servirá de base de comparação, com as restantes soluções propostas. A combinação de referência é constituída pelos seguintes equipamentos:

- Resistência eléctrica com eficiência de 1, para o aquecimento;
- Máquina frigorífica com eficiência de 3, para o arrefecimento;
- Esquentador a gás natural com eficiência de 0,50, para apoio a AQS.

O conjunto destas três opções é o mais prejudicial como se pode observar da tabela 5.7 e como tal, servirá como referência e/ou base para as restantes opções, principalmente no que diz respeito à factura energética. Na Tabela 5.8 são apresentados os factores de conversão utilizados neste estudo.

Convém ter em atenção que os preços dos combustíveis têm vindo a aumentar o que origina implicações ao nível dos custos. Naturalmente os valores encontrados na Tabela 5.8 podem ser actualizados na base de dados do algoritmo.

Tabela 5.7 - Resultados da classificação energética

	Classificação	R	EMISSÕES teq CO ₂ /ano	FACTURA ENERGÉTICA (€/ano)				FACTURA ENERGÉTICA (%)		
				Aquecim.	Arrefecim.	AQS	TOTAL	Aquecim.	Arrefecim.	AQS
B	B-	0,88	1,28	2.432,0 €	25,0 €	306,0 €	2.765,2 €	88,0%	0,9%	11,1%
1	A+	0,24	0,35	1.263,0 €	25,0 €	64,0 €	1.352,6 €	93,4%	1,8%	4,7%
2	A	0,26	0,38	3.000,0 €	25,0 €	169,0 €	3.194,6 €	93,9%	0,8%	5,3%
3	A+	0,17	0,25	1.088,0 €	25,0 €	25,0 €	1.138,4 €	95,6%	2,2%	2,2%
4	A	0,49	0,69	1.857,0 €	25,0 €	152,0 €	2.035,2 €	91,2%	1,2%	7,5%
5	A	0,27	0,39	1.857,0 €	25,0 €	192,0 €	2.074,7 €	89,5%	1,2%	9,3%
6	A	0,31	0,46	939,0 €	25,0 €	152,0 €	1.116,8 €	84,1%	2,2%	13,6%
7	A+	0,11	0,16	939,0 €	25,0 €	192,0 €	1.156,3 €	81,2%	2,2%	16,6%
8	A	0,42	0,62	557,0 €	25,0 €	152,0 €	735,0 €	75,8%	3,4%	20,7%
9	A+	0,22	0,32	557,0 €	25,0 €	192,0 €	774,5 €	71,9%	3,2%	24,8%
10	A	0,45	0,65	674,0 €	23,0 €	152,0 €	850,1 €	79,3%	2,7%	17,9%
11	A+	0,24	0,36	674,0 €	23,0 €	192,0 €	889,6 €	75,8%	2,6%	21,6%
12	A+	0,04	0,05	939,0 €	25,0 €	25,0 €	989,1 €	94,9%	2,5%	2,5%
13	A+	0,20	0,29	1.857,0 €	25,0 €	25,0 €	1.907,5 €	97,4%	1,3%	1,3%
14	A+	0,06	0,09	939,0 €	25,0 €	29,0 €	993,2 €	94,5%	2,5%	2,9%
15	A+	0,20	0,29	674,0 €	23,0 €	29,0 €	726,5 €	92,8%	3,2%	4,0%

Tabela 5.8 - Factores de conversão

Factores de conversão de energia

Electricidade:	0,1180	Euros/kwh
Biomassa:	0,0410	Euros/kwh
Gasóleo:	0,0820	Euros/kwh
Gás natural:	0,0570	Euros/kwh
Gás propano:	0,1350	Euros/kwh
Gás butano:	0,1310	Euros/kwh

Na Tabela 5.9 estão representados os valores relativos ao estudo financeiro das opções energéticas propostas. Para o cálculo do tempo de retorno, apenas foi efectuada a divisão dos custos totais, relativos aos equipamentos, pela poupança anual. O custo de equipamento igual a zero indica que o equipamento está repetido na mesma linha, isto é, para duas funções distintas temos o mesmo equipamento.

Refere-se novamente que os valores obtidos para o tempo de retorno, apenas servem para a comparação efectuada na presente dissertação, uma vez que não entra em linha de conta, por exemplo, com a evolução dos preços dos combustíveis ao longo dos anos.

Tabela 5.9 - Custos, poupança e período de retorno

	Classificação	R	Poupança Anual	CUSTO EQUIPAMENTO					Retorno Anos
				Aquecim.	Arrefecim.	AQS	Emissores	TOTAL	
B	B-	0,88	2.765,2 €						
1	A+	0,24	1.412,6 €	1.562,00 €	400,00 €	0,00 €	1.385,51 €	3.347,51 €	2,4
2	A	0,26	-429,5 €	2.077,00 €	400,00 €	0,00 €	1.385,51 €	3.862,51 €	-9,0
3	A+	0,17	1.626,7 €	1.791,00 €	400,00 €	0,00 €	1.385,51 €	3.576,51 €	2,2
4	A	0,49	730,0 €	1.066,00 €	400,00 €	2.157,00 €	1.385,51 €	5.008,51 €	6,9
5	A	0,27	690,5 €	1.066,00 €	400,00 €	588,00 €	1.385,51 €	3.439,51 €	5,0
6	A	0,31	1.648,4 €	6.324,00 €	400,00 €	2.157,00 €	1.385,51 €	10.266,51 €	6,2
7	A+	0,11	1.608,9 €	6.324,00 €	400,00 €	588,00 €	1.385,51 €	8.697,51 €	5,4
8	A	0,42	2.030,1 €	4.089,44 €	400,00 €	2.157,00 €	3.276,10 €	9.922,54 €	4,9
9	A+	0,22	1.990,6 €	4.089,44 €	400,00 €	588,00 €	3.276,10 €	8.353,54 €	4,2
10	A	0,45	1.915,1 €	3.808,60 €	0,00 €	2.157,00 €	3.276,10 €	9.241,70 €	4,8
11	A+	0,24	1.875,6 €	3.808,60 €	0,00 €	588,00 €	3.276,10 €	7.672,70 €	4,1
12	A+	0,04	1.776,1 €	6.324,00 €	400,00 €	1.791,00 €	1.385,51 €	9.900,51 €	5,6
13	A+	0,20	857,7 €	1.066,00 €	400,00 €	1.791,00 €	1.385,51 €	4.642,51 €	5,4
14	A+	0,06	1.772,0 €	6.324,00 €	400,00 €	1.618,64 €	1.385,51 €	9.728,15 €	5,5
15	A+	0,20	2.038,7 €	3.808,60 €	0,00 €	1.618,64 €	3.276,10 €	8.703,34 €	4,3

5.3 Fraccionamento energético

Tal como no exemplo anterior a tabela referente às combinações dos diferentes equipamentos utilizados no estudo, vai ser apresentada novamente para uma mais fácil análise dos resultados.

Com as combinações definidas, voltou-se a recorrer à folha de cálculo (RCCTE) actualizada com a possibilidade de fraccionamento energético e simulou-se as opções apresentadas na Tabela 5.10 na fracção em estudo. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 5.11.

Tabela 5.10 - Conjunto de combinações propostas.

	Sistema1	Sistema2	AQS	Sistema1	Sistema2	AQS	Sistema1	Sistema2	AQS
1	C. Chão	Resistência	Condens.	0,91	1,00	1,08	Gasóleo	Electricidade	G Natural
2	C. Chão	Resistência	Condens.	0,90	1,00	1,08	Biomassa	Electricidade	G Natural
3	Condens.	Resistência	Condens.	1,08	1,00	1,08	Gás Natural	Electricidade	G Natural
4	B. Calor	Resistência	Condens.	4,37	1,00	1,08	Electricidade	Electricidade	G Natural
5	C. Chão	B. Calor	Condens.o	0,90	4,37	1,08	Biomassa	Electricidade	G Natural
6	C. Chão	Condens	Condens.	0,90	1,08	1,08	Biomassa	Gás Natural	G Natural
7	B. Calor	Condens	Condens.	4,37	1,08	1,08	Electricidade	Gás Natural	G Natural
8	B. Calor	Resistência	Condens.	4,37	1,00	1,08	Electricidade	Electricidade	G Natural

Tabela 5.11 - Resultados do fraccionamento energético

Classific.	R	EMISSIONES teq CO ₂ /ano	FACTURA ENERGÉTICA (€/ano)				FACTURA ENERGÉTICA (%)			
			Sistema 1	Sistema 2	AQS+Nvc	TOTAL	Sistema 1	Sistema 2	AQS+Nvc	
1	A+	0,22	0,33	1.709,0 €	194,0 €	50,0 €	1.953,6 €	87,5%	9,9%	2,6%
2	A+	0,08	0,11	864,0 €	194,0 €	50,0 €	1.108,2 €	78,0%	17,5%	4,5%
3	A+	0,20	0,29	1.195,0 €	194,0 €	50,0 €	1.439,5 €	83,0%	13,5%	3,5%
4	A+	0,18	0,26	512,0 €	194,0 €	50,0 €	756,4 €	67,7%	25,6%	6,6%
5	A+	0,09	0,13	507,0 €	256,0 €	50,0 €	813,2 €	62,3%	31,5%	6,1%
6	A+	0,10	0,14	507,0 €	500,0 €	50,0 €	1.057,2 €	48,0%	47,3%	4,7%
7	A+	0,16	0,23	301,0 €	500,0 €	50,0 €	851,4 €	35,4%	58,7%	5,9%
8	A	0,32	0,47	301,0 €	1.118,0 €	50,0 €	1.469,8 €	20,5%	76,1%	3,4%

Em termos de custos, poupanças e tempo de retorno, foi efectuada uma análise semelhante à efectuada na subsecção anterior. Na Tabela 5.12 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 5.12 - Custos, poupanças e período de retorno

Classific.	R	Poupança Anual	CUSTO EQUIPAMENTO			EMISSORES		TOTAL	Retorno anos
			Sistema 1	Sistema 2	AQS+Nvc	Sistema 1	Sistema 2		
1	A+	811,6 €	1.066,00 €	200,00 €	2.191,00 €	1.267,21 €	0,00 €	4.724,21 €	5,8
2	A+	1.657,0 €	6.324,00 €	200,00 €	2.191,00 €	1.267,21 €	0,00 €	9.982,21 €	12,3
3	A+	1.325,7 €	1.791,00 €	200,00 €	2.191,00 €	1.267,21 €	0,00 €	5.449,21 €	6,7
4	A+	2.008,7 €	4.089,44 €	200,00 €	2.191,00 €	2.967,10 €	0,00 €	9.447,54 €	11,6
5	A+	1.951,9 €	6.324,00 €	4.089,44 €	2.191,00 €	731,00 €	1.751,00 €	15.086,44 €	18,6
6	A+	1.707,9 €	6.324,00 €	1.791,00 €	2.191,00 €	731,00 €	654,52 €	11.691,52 €	14,4
7	A+	1.913,8 €	4.089,44 €	1.791,00 €	2.191,00 €	1.525,10 €	654,52 €	10.251,06 €	12,6
8	A	1.295,4 €	4.089,44 €	200,00 €	2.191,00 €	1.525,10 €	0,00 €	8.005,54 €	9,9

5.4 Apoio solar

Antes de se poder começar os estudos pretendidos, foi necessário recolher informação sobre os custos associados ao sistema solar, para apoio ao aquecimento ambiente. Como resultado dessa pesquisa são apresentados na Tabela 5.13 os custos associados.

Tabela 5.13 - Custos associados ao sistema solar

Apoio Solar		Depósito <i>Capacidade (L)</i>	Colectores (Baxi-Sol 250)			Depósito <i>Preço unit.</i>	CUSTOS TOTAIS
			<i>Qtd</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Preço unit.</i>		
%	10	800	3	7,11	720,00 €	1.937,00 €	4.097,00 €
	20	1000	6	14,22	720,00 €	2.133,00 €	6.453,00 €
	30	1500	9	21,33	720,00 €	3.709,00 €	10.189,00 €
	40	1500	12	28,44	720,00 €	3.709,00 €	12.349,00 €
	50	1500	16	37,92	720,00 €	3.709,00 €	15.229,00 €

Depois de estabelecidos os custos do sistema solar, partiu-se para o estudo relativo aos custos que estariam associados às necessidades de aquecimento que faltariam suprir, consoante o apoio fornecido pelo sistema solar. Para tal construiu-se a Tabela 5.14, onde se pode observar diferentes valores associados a custos. Os valores que aparecem dentro de parênteses, dizem respeito às eficiências. Os preços energéticos utilizados para efectuar os cálculos estão apresentados na Tabela 5.15.

A fase seguinte na avaliação do apoio solar prendia-se com a poupança conseguida, em relação ao caso de referência (RCCTE) apresentado na Tabela 5.14. O valor da poupança obtido será importante para a determinação do tempo de retorno.

Tabela 5.14 - Custos para suprir necessidades de aquecimento

	10%	20%	30%	40%	50%
<i>Nic (kWh/ano)</i>	20613,17	20613,17	20613,17	20613,17	20613,17
<i>Apoio Solar (kWh/ano)</i>	2059	4114	6142	8300	10201
<i>Nic – Apoio Solar</i>	18554,2	16499,2	14471,2	12313,2	10412,2
<i>RCCTE (1) Referência</i>	2.189,40 €	1.946,91 €	1.707,60 €	1.452,96 €	1.228,64 €
<i>C. Mural (1,08)[Gás Natural]</i>	979,25 €	870,79 €	763,76 €	649,86 €	549,53 €
<i>C. Chão (0,90)[Biomassa]</i>	845,25 €	751,63 €	659,24 €	560,93 €	474,33 €
<i>C. Chão (0,91)[Gasóleo]</i>	1.671,92 €	1.486,74 €	1.304,00 €	1.109,54 €	938,24 €
<i>B. Calor (4,37)[Electricidade]</i>	501,01 €	445,52 €	390,76 €	332,48 €	281,15 €

Tabela 5.15 - Preços utilizados nas simulações

ENERGIA	PREÇO
Electricidade	0,118 €/kWh
Biomassa	0,041 €/kWh
Gasóleo	0,082 €/kWh
Gás Natural	0,057 €/kWh

Tabela 5.16 - Poupanças em relação ao caso referência

	10%	20%	30%	40%	50%
Caldeira Condens. (1,08)	1.210,15 €	1.076,11 €	943,84 €	803,09 €	679,11 €
Caldeira Chão (0,90)	1.344,15 €	1.195,28 €	1.048,36 €	892,02 €	754,31 €
Caldeira Chão (0,91)	517,48 €	460,16 €	403,60 €	343,42 €	290,40 €
Bomba Calor (4,37)	1.688,39 €	1.501,39 €	1.316,85 €	1.120,47 €	947,49 €

Tabela 5.17 - Custos associados aos sistemas propostos.

	10%	20%	30%	40%	50%
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
C. Condens. (G Natural)	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €
TOTAL	7.273,51 €	9.629,51 €	13.365,51 €	15.525,51 €	18.405,51 €
Retorno (anos)	6,0	8,9	14,2	19,3	27,1
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
C. Chão (Biomassa)	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €
TOTAL	11.806,51 €	14.162,51 €	17.898,51 €	20.058,51 €	22.938,51 €
Retorno (anos)	8,8	11,8	17,1	22,5	30,4
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
C. Chão (Gasóleo)	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €
TOTAL	6.548,51 €	8.904,51 €	12.640,51 €	14.800,51 €	17.680,51 €
Retorno (anos)	12,7	19,4	31,3	43,1	60,9
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Ventiloconvetor	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €
B.C. (Electricidade)	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €
TOTAL	11.462,54 €	13.818,54 €	17.554,54 €	19.714,54 €	22.594,54 €
Retorno (anos)	6,8	9,2	13,3	17,6	23,8

Após ter efectuado o estudo do apoio solar, em termos de retorno do investimento, sem ter em atenção a evolução do preço da energia utilizada pelos diferentes equipamentos, entendeu-se que seria útil analisar o efeito que teria nos períodos de retorno, um aumento de 20% no preço da electricidade e do gás natural, como também um aumento de 10% em todas as energias. Os resultados são apresentados na Tabela 5.18 à Tabela 5.20.

Tabela 5.18 - Resultados do aumento do preço da electricidade em 20%.

	10%	20%	30%	40%	50%
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Condens. (1,08)	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €
TOTAL	7.273,51 €	9.629,51 €	13.365,51 €	15.525,51 €	18.405,51 €
Retorno (anos)	4,4	6,5	10,4	14,1	19,8
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão (0,90)	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €
TOTAL	11.806,51 €	14.162,51 €	17.898,51 €	20.058,51 €	22.938,51 €
Retorno (anos)	6,6	8,9	12,8	16,9	22,8
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão(0,91)	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €
TOTAL	6.548,51 €	8.904,51 €	12.640,51 €	14.800,51 €	17.680,51 €
Retorno (anos)	6,8	10,4	16,8	23,2	32,7
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Ventiloconvector	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €
Bomba Calor (4,37)	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €
TOTAL	11.462,54 €	13.818,54 €	17.554,54 €	19.714,54 €	22.594,54 €
Retorno (anos)	5,6	7,6	11,1	14,6	19,8

Tabela 5.19 - Resultados do aumento do preço do gás natural em 20%.

	10%	20%	30%	40%	50%
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Condens. (1,08)	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €
TOTAL	7.273,51 €	9.629,51 €	13.365,51 €	15.525,51 €	18.405,51 €
Retorno (anos)	7,1	10,6	16,8	22,9	32,1
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão (0,90)	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €
TOTAL	11.806,51 €	14.162,51 €	17.898,51 €	20.058,51 €	22.938,51 €
Retorno (anos)	8,8	11,8	17,1	22,5	30,4
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão(0,91)	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €
TOTAL	6.548,51 €	8.904,51 €	12.640,51 €	14.800,51 €	17.680,51 €
Retorno (anos)	12,7	19,4	31,3	43,1	60,9
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Ventiloconvector	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €
Bomba Calor (4,37)	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €
TOTAL	11.462,54 €	13.818,54 €	17.554,54 €	19.714,54 €	22.594,54 €
Retorno (anos)	6,8	9,2	13,3	17,6	23,8

Tabela 5.20 - Resultado do aumento generalizado dos preços em 10%.

	10%	20%	30%	40%	50%
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Condens. (1,08)	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €	1.791,00 €
TOTAL	7.273,51 €	9.629,51 €	13.365,51 €	15.525,51 €	18.405,51 €
Retorno (anos)	5,5	8,1	12,9	17,6	24,7
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão (0,90)	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €	6.324,00 €
TOTAL	11.806,51 €	14.162,51 €	17.898,51 €	20.058,51 €	22.938,51 €
Retorno (anos)	8,0	10,7	15,5	20,4	27,5
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Radiadores	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €	1.385,51 €
Caldeira Chão(0,91)	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €	1.066,00 €
TOTAL	6.548,51 €	8.904,51 €	12.640,51 €	14.800,51 €	17.680,51 €
Retorno (anos)	11,3	17,4	28,1	38,7	54,6
Sistema Solar	4.097,00 €	6.453,00 €	10.189,00 €	12.349,00 €	15.229,00 €
Ventiloconvector	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €	3.276,10 €
Bomba Calor (4,37)	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €	4.089,44 €
TOTAL	11.462,54 €	13.818,54 €	17.554,54 €	19.714,54 €	22.594,54 €
Retorno (anos)	6,2	8,4	12,1	16,0	21,6

5.5 Análise de resultados

5.5.1 Classificação energética

Da análise da Tabela 5.7 foi possível chegar a algumas conclusões, que a seguir se enumeram:

- i. Das 15 simulações efectuadas na fracção autónoma, 9 obtiveram a classificação A+ e as restantes 6 a classificação A.
- ii. Os melhores resultados em termos de classificação foram obtidos para os casos 12 e 14, com um valor de “R” igual a 0,04 e 0,06 respectivamente.
- iii. Os piores resultados em termos de classificação foram obtidos nos casos 4, 8, 10 com um valor de “R” igual a 0,69, 0,62 e 0,65 respectivamente.
- iv. Em termos de factura energética, o melhor resultado foi obtido na solução 15 e o pior resultado com a solução 2.
- v. Melhores classificações energéticas implicam necessariamente uma menor emissão de dióxido de carbono.
- vi. A grande percentagem da factura energética anual está associada às necessidades de aquecimento.
- vii. O facto de uma fracção obter uma classificação de A+, não significa necessariamente que a factura energética anual é a mais baixa. Comparando os resultados da solução 8 (A) com a solução 12 (A+), confirma-se a afirmação anterior.

Da análise da Tabela 5.9 foi possível concluir o seguinte:

- i. A solução 2 é insustentável, uma vez que não apresenta poupança na factura energética, quando comparada com a solução de referência.
- ii. A maior poupança verifica-se nas soluções 15 (A+) e 8 (A), o que implica necessariamente que as maiores poupanças não são sinónimo de uma melhor classificação energética.
- iii. As soluções que apresentaram valores mais baixos de poupança são a 2, 5, 4. Ambas as soluções originaram a classificação (A).
- iv. O valor mais elevado, no que diz respeito aos custos totais de equipamentos, foi verificado na solução 6 (A) e 12 (A+), revelando o não relacionamento dos custos elevados com a classificação energética mais fraca.
- v. Os valores menos elevados nos custos totais de equipamento foram encontrados nas soluções 1 (A+) e 5 (A). Este resultado revela que uma melhor classificação não implica necessariamente custos menos elevados.
- vi. O tempo de retorno mais baixo foi verificado nas soluções 3 (A+) e 1 (A+), revelando uma certa tendência entre baixo retorno e classificação energética boa.
- vii. O tempo de retorno mais longo foi verificado nas soluções 4 (A) e 6 (A).

5.5.2 Fraccionamento energético

Como foi explicado no capítulo anterior, nas primeiras quatro soluções o sistema 2 serve apenas para aquecer as instalações sanitárias. Nas restantes soluções os sistemas são utilizados para o aquecimento de pisos distintos, isto é, o sistema 1 aquece o rés-do-chão e o sistema 2 aquece o primeiro andar.

De referir que as poupanças são efectuadas em relação ao caso de referência.

Analisando a Tabela 5.11 verifica-se o seguinte:

- i. Nas 4 soluções iniciais verifica-se que a fracção com a melhor classificação ($R=0,08$) não é a que apresenta a factura energética mais baixa.
- ii. Por outro lado, a solução que apresenta a factura energética mais elevada é a que tem a pior classificação ($R=0,22$).
- iii. No que diz respeito às quatro soluções restantes, verificou-se que a factura energética mais baixa era obtida para a fracção com a melhor classificação ($R=0,09$).
- iv. A factura energética mais elevada é obtida para a fracção com a pior classificação ($R=0,32$).
- v. De todas as simulações efectuadas (8) apenas uma delas obteve uma classificação diferente de A+.

Analisando a Tabela 5.12 da mesma maneira que foi efectuada para a Tabela 5.11, concluiu-se o seguinte:

- i. O custo total mais elevado relacionado com os equipamentos, é observado para a fracção com a classificação melhor ($R=0,08$).
- ii. O custo menos elevado é verificado na fracção com a pior classificação energética ($R=0,22$), das quatro analisadas.
- iii. A poupança mais elevada não é verificada na fracção mais eficiente, mas a poupança mais baixa está relacionada com a fracção menos eficiente.
- iv. Relativamente à segunda parte da tabela, verifica-se o mesmo fenómeno descrito nas alíneas anteriores, isto é, os custos mais elevados estão relacionados com a fracção energeticamente melhor classificada e os custos mais baixos estão relacionados com a fracção com classificação inferior.
- v. Relativamente às poupanças, a fracção com a melhor eficiência é a que apresenta a poupança maior e a poupança mais baixa é verificada na fracção com a pior classificação energética.
- vi. Em ambas as partes da tabela o período de retorno mais baixo é verificado nas fracções com a classificação mais baixa.

5.5.3 Apoio solar

Da análise da Tabela 5.16 podemos verificar que o equipamento que permite maior poupança é a bomba de calor seguida da caldeira de biomassa, caldeira de condensação e em último lugar a caldeira a gásóleo.

Da análise da Tabela 5.17 e considerando o limite máximo admissível (viabilidade) de 15 anos no período de retorno, pode-se retirar as seguintes conclusões:

- i. Os tempos de retorno mais baixos são observados para a caldeira de condensação a gás natural até 20% de apoio solar, sendo que a partir deste valor a bomba de calor apresenta períodos de retorno mais baixos.
- ii. A solução menos favorável é a que está relacionada com a caldeira a gásóleo.
- iii. As soluções que apresentam maior viabilidade, tendo em conta a percentagem de apoio solar, são a caldeira de condensação e a bomba de calor, com valores inferiores a 15 anos até aos 30% de apoio solar.

Da análise da Tabela 5.18 referente ao aumento do preço da electricidade, conclui-se:

- i. Descida generalizada dos períodos de retorno em todas as soluções apresentadas.
- ii. A solução da caldeira de condensação apresenta os períodos de retorno mais baixos em todas as percentagens de apoio, sendo apenas igualada nos 50% pela bomba de calor.
- iii. Na solução mais vantajosa, o valor verificado na descida dos períodos de retorno aumenta em função do aumento de apoio solar. Com 10% de apoio a descida foi de 1,6 anos, enquanto nos 50% a descida foi de 7,3 anos.
- iv. Nas soluções mais vantajosas (caldeira mural e bomba de calor) a viabilidade aumentou dos 30% para os 40%, quando comparadas com a Tabela 5.12.

Da análise da Tabela 5.19 apenas se verificou um aumento nos períodos de retorno relacionados com a caldeira de condensação, deixando de ser a melhor solução e perdendo esse lugar para a solução bomba de calor. Desse aumento resultou uma diminuição da viabilidade do apoio solar de 30% para 20%.

Da análise da Tabela 5.20 retirou-se o seguinte:

- i. Descida ligeira em todos os períodos de retorno, tendo como comparação os valores apresentados na Tabela 5.17.
- ii. Até aos 20% de apoio solar a solução mais vantajosa é a caldeira mural, sendo que a partir desse valor a bomba de calor passa a ser a melhor solução.

- iii. A viabilidade em termos de apoio solar volta a cifrar-se nos 30%, tanto para a caldeira de condensação como para a bomba de calor.

Capítulo 6 - Conclusões

Ao longo deste capítulo vão ser apresentadas as conclusões principais do trabalho efectuado na presente dissertação. Serão também apresentadas propostas para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

O trabalho da presente dissertação consistiu em analisar o impacto de diferentes soluções de climatização e produção de AQS, na classificação energética de edifícios. Para efectuar este estudo recorreu-se a uma folha de cálculo existente, na qual foram efectuadas alterações com o intuito de aumentar as suas funcionalidades, mais concretamente a nível energético.

Depois de devidamente alterada a folha de cálculo, seleccionou-se um conjunto de equipamentos para climatização e simularam-se diferentes combinações dos mesmos. Com as combinações criadas foram obtidas diferentes classificações energéticas, para o edifício em estudo.

Posteriormente foi estudado o fraccionamento energético das necessidades de aquecimento e sua implicação na classificação energética do referido edifício. Finalmente foi analisada a viabilidade da utilização de um sistema solar térmico, para apoio ao aquecimento ambiente.

Relativamente à classificação energética, observou-se que um edifício com uma classificação excelente (A+) não é sinónimo de uma factura energética mais baixa, quando comparada com uma classificação (A). As fracções com classificações excelentes são as que apresentam emissões de CO₂ mais baixas.

Verificou-se também que a factura energética associada às necessidades de aquecimento é a que tem maior peso na factura total. A média percentual, das 15 simulações efectuadas, da factura associada às necessidades de aquecimento ronda os 87,4%, as necessidades de arrefecimento os 2,2% e a preparação de AQS os 10,4%.

Na análise de custos associados aos equipamentos e período de retorno simples, observou-se que uma fracção com a classificação A+ não é sinónimo de custos mais baixos nem de períodos de retorno mais baixos. No período de retorno, quando duas soluções apresentam o mesmo valor, dever-se-á utilizar o valor de “R” como factor diferenciador, de modo a penalizar as soluções mais poluentes.

Na questão do fraccionamento energético foram introduzidos dois sistemas de aquecimento em duas situações diferentes. Numa das situações só as instalações sanitárias eram aquecidas pelo sistema 2. Na outra situação o sistema 1 aquecia o rés-do-chão e o sistema 2 aqueceria o 1º andar da fracção em estudo.

Em ambas as situações verificou-se que uma classificação melhor (“R” mais baixo) não implicava uma factura energética mais baixa. Verificou-se também que as classificações com valores de “R” mais elevados foram as que obtiveram facturas energéticas mais elevadas. Relativamente aos custos associados aos equipamentos utilizados nas diferentes soluções propostas, verificou-se em ambas as situações que uma melhor classificação não é sinónimo de custos mais baixos.

No que diz respeito ao tempo de retorno simples, no fraccionamento energético, verificou-se que os valores mais baixos foram encontrados nas soluções que apresentavam valores de “R” mais elevados, em ambas as situações.

Finalmente, no que diz respeito à análise efectuada ao apoio solar, foram efectuados estudos com diferentes percentagens de apoio solar (10% a 50%). Foi utilizado o programa Solterm (INETI) para se obter o apoio (kWh/ano) fornecido pelo sistema solar.

Depois de analisar os resultados verificou-se que, tendo em conta um prazo de 15 como período de retorno máximo (viabilidade), um apoio solar de 50 % nunca seria viável pois o melhor que se obteve foi um valor de 30%, como viável. Este valor de 30% foi obtido na solução com bomba de calor e/ou caldeira de condensação.

Com o aumento de 20% no valor pré-definido do custo da electricidade, verificou-se que a percentagem viável de apoio solar aumentava para os 40%, com os mesmos equipamentos referidos no parágrafo anterior. Já o aumento do preço do gás natural não trouxe nenhuma vantagem a nenhum dos sistemas propostos.

Com o aumento generalizado do preço de todos os combustíveis envolvidos (gás natural, electricidade, gasóleo e biomassa) verificou-se uma descida em todos os tempos de retorno das diferentes soluções propostas. Contudo a percentagem viável de 30% para o apoio solar não foi melhorada.

6.2 Propostas para trabalhos futuros

Tendo em conta o trabalho efectuado ao longo da presente dissertação, seria interessante estudar os seguintes aspectos:

- Utilização de outros equipamentos de climatização, possivelmente de outras empresas e com características diferentes das utilizadas, para se obter uma variedade maior de resultados.
- Aplicar o estudo efectuado na presente dissertação a diferentes zonas climáticas.
- Analisar a implicação de um sistema solar com uma configuração diferente da utilizada no presente estudo.

Referências bibliográficas

Aguiar, R.; Carvalho, M. (2007) - **Manual de instalação e Utilização do Solterm**. INETI- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

Baxiroca (2011) - **Catálogo Geral**.

Borges, D. B. (2008); Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica - **Avaliação do impacto solar térmico para a produção de AQS e apoio à climatização no âmbito da nova regulamentação**.

Brito, R. M. (2010); Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - **Avaliação de custos associados à melhoria da classe energética de moradias**.

Carvalho, S. M. (2008); Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica - **Estudo exploratório da correspondência entre soluções tecnológicas e a classificação energética de edifícios residenciais no SCE**.

DGGE (2009) - **Saldo importador 2009**. Ministério da Economia.

Ferreira, H. D. (2008); Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica - **Estudo exploratório sobre a utilização do RCCTE na avaliação do desempenho passivo de edifícios residenciais**.

González, A.; Díaz, J.; Caamaño, A.; Wilby, M. - **Towards a universal energy efficiency index for buildings**. Energy and Buildings 43 (2010) 980-987.

Gonçalves, H.; Maldonado, E. (2007) - **Manual de apoio à aplicação do RCCTE**. INETI- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

Jaber, S.; Ajib, S. - **Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region**. Energy and Buildings 43 (2011) 1829-1834.

Leal, V.; Fernandes, E. O. (2008) - **Relating energy indicators of regulations to passive comfort in residential buildings**. PLEA Conference; Dublin, Ireland.

OECD (2006) - **Energy technology perspectives, scenarios and strategies to 2050**. IEA publications.

OECD (2009) - **How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen**. IEA publications.

OECD (2010) - **Energy statistics of OECD countries**. IEA publications.

OLI (2011) - **Catálogo Aquecimento 2011**.

Pacheco, C. F. (2010); Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - **Impacto dos sistemas de climatização e AQS na certificação energética de edifícios no âmbito do RCCTE: Caso de estudo**.

RCCTE (2006) - **Regulamento da Características de Comportamento Térmico dos Edifícios**. Decreto-Lei Nº 80/2006 de 4 de Abril, Diário da República.

Rodrigues, A. M.; Canha, A. P.; Braga, A. M. (2009) - **Térmica de Edifícios**. Edições Orion, Amadora, Portugal.

SCE (2006) - **Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios**. Decreto-Lei Nº 78/2006 de 4 de Abril, Diário da República.

Silva, P.; Silva, S.; Almeida, M.; Bragança, L. (2009) - **Accuracy of the portuguese EPDB implemented thermal performance calculation procedure - RCCTE**. IBPSA Conference; Glasgow, Scotland.

Zantia (2009) - **Catálogo de Informação Técnica**.