

RESUMO

O presente estudo pretende avaliar o desempenho energético e rentabilidade do uso de equipamento de climatização para o aquecimento ambiente de uma casa sénior, através de sistemas tradicionais de produção de água aquecida, como a caldeira e a tradicional bomba de calor, e um sistema apoiado num equipamento de produção solar térmico.

Perante uma determinada arquitectura, foram calculados os caudais de ar novo, de forma a garantir a qualidade do ar interior, cumprindo os requisitos da actual legislação - RSECE. Com recurso ao programa de cálculo e simulação HAP – Hourly Analysis Program – foram determinadas as necessidades térmicas para conforto de cada espaço em análise, e traçou-se o perfil de consumo energético anual do edifício. Com os valores obtidos das cargas térmicas a colmatar em cada hora do mês, ao longo de um ano, e com o auxílio de um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos – SolTerm – foi optimizado um sistema solar para o caso de estudo.

Analisando o rendimento e desempenho de cada tipo de equipamento e sistema, bem como os custos de instalação e de exploração, foram determinadas as poupanças energéticas na factura e o período de retorno de investimento, para cada um dos casos.

Foi possível concluir que a aplicação de um sistema de produção com o auxílio de um sistema solar térmico não é viável, visto que o período de retorno demora mais de 26 anos, o que é superior ao seu tempo de vida útil. Ou seja, a poupança energética pelo sistema solar em estudo não é significativa. No entanto, a aplicação do sistema convencional a bomba de calor apresenta um período de retorno de 3,5 anos face ao sistema convencional a caldeira a gás, para as mesmas necessidades de aquecimento.

Palavras-chave: Aquecimento ambiente, Produção de água aquecida, Sistema Convencional Sistema Solar Térmico, Análise Energética

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the energy performance and profitability of the use of different air conditioning systems for space heating, in a senior home, normally a hot water conventional system, a gas boiler and a heat pump, and a system supported by thermal solar equipment.

Due to a particular architecture, the fresh air volume was calculated in order to ensure the indoor air quality, fulfilling the current legislation requirements - RSECE. Using the HAP - Hourly Analysis Program - to calculate and simulate the thermal comfort needs for each space, it was possible to trace an annual energy consumption profile for the building. With the values obtained from the thermal loads to fill every hour of the month, over a year, and with the aid of a software performance analysis for solar thermal systems - SolTerm - a solar system was optimized to meet the loads of the case study

Analyzing the yield and performance of each type of equipment, as well as the related costs of installation and operation, the energy savings were determined for the invoice period and return on investment for each case.

It was concluded that the installation of a production system with the aid of a solar heating system is not viable because the return period takes more than 26 years, which is greater than the equipment lifetime. In other words, the energy savings through the solar system applied in the case study are not significant. However, installing a conventional heat pump has a payback period for 3.5 years compared to conventional gas boiler, for the same heating needs.

Keywords: Space Heating, Hot water, Solar Thermal System, Conventional System, Energy Analysis

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Prof. Doutora Cláudia Casaca e Prof. Francisco Severo, não só pelo inesgotável apoio, motivação e interesse, mas também por toda a disponibilidade mostrada ao longo do desenvolvimento deste trabalho

Um especial agradecimento ao meu colega e amigo Miguel Santiago, pelas várias horas dedicadas a esta dissertação, por todas as soluções propostas e boa disposição necessária para ultrapassar todos os obstáculos.

Agradeço ainda a todos os meus amigos que, directa ou indirectamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, ou que simplesmente estiveram presentes nos tão necessários momentos de descontração, com especial enfoque para Bruno Teixeira, Simão Pereira e Luís Santos.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a energia
AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
COP	Coefficient of performance
HAP	Hourly Analysis Program
QAI	Qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE de Edifícios	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética
U	Coefficiente global de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
UTANN	Unidade de tratamento de ar novo neutralizado

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE IMAGENS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. OBJECTIVOS	4
2. TECNOLOGIAS AVAC	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AQUECIMENTO	6
2.2.1. CALDEIRA	6
2.2.2. BOMBA DE CALOR	9
2.2.3. APOIO SOLAR TÉRMICO	11
2.3. UNIDADE TERMINAL: VENTILOCONVECTORES	15
3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. DESCRIÇÃO DA CASA SÉNIOR	18
3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ENVOLVENTES	21
3.3.1. ENVOLVENTES EXTERIORES E INTERIORES OPACAS	21
3.3.2. ENVOLVENTES ENVIDRAÇADAS	22
3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AVAC	22
3.4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	23
3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	23
3.5. CONDIÇÕES BÁSICAS DE CÁLCULO	26
3.5.1. CONDIÇÕES INTERIORES	26

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

3.5.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE AR NOVO	26
3.5.3.	CARACTERIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ILUMINAÇÃO.....	27
4.	METODOLOGIA	29
4.1.	INTRODUÇÃO	29
4.2.	INTRODUÇÃO AO HAP.....	30
4.3.	VARIÁVEIS SOLICITADAS NO HAP	30
4.3.1.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	31
4.3.2.	CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS	36
4.3.3.	CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS	37
4.4.	INTRODUÇÃO AO SOLTERM	38
4.5.	VARIÁVEIS SOLICITADAS NO SOLTERM.....	39
4.5.1.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	39
4.5.2.	CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	41
4.6.	CUSTOS	42
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS	45
5.1.	INTRODUÇÃO	45
5.2.	RESULTADOS HAP.....	45
5.3.	RESULTADOS SOLTERM	47
5.4.	ANÁLISE ECONÓMICA.....	51
6.	CONCLUSÕES.....	57
6.1.	TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	ANEXOS (disponível em versão digital).....	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Arquitectura Piso 0	18
Tabela 2 Arquitectura Piso 1	19
Tabela 3 Arquitectura Piso -1	20
Tabela 4 Clima corrigido – Design.....	31
Tabela 5 Dados climáticos do HAP para Lisboa	34
Tabela 6 Radiação do HAP para Lisboa.....	35
Tabela 7 Valores climatológicos mensais associados ao SCE	40
Tabela 8 Custos de energia primária	42
Tabela 9 Desempenho energético do sistema solar	50
Tabela 10 Custo dos sistemas de produção	51
Tabela 11 Comparação de custos entre sistemas	52
Tabela 12 Novo desempenho energético do sistema solar	53
Tabela 13 Custo dos sistemas de produção para o no sistema de aquecimento solar ..	55
Tabela 14 Nova comparação de custos entre sistemas	56

ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1 Representação de uma caldeira convencional e uma caldeira de condensação; fonte: Vulcano.....	7
Imagem 2 Variação da eficiência de diferentes tipos de caldeira em função da carga de operação; fonte: CIBSE Guide 2	8
Imagem 3 Objectivo da Bomba de Calor; fonte: McGraw-Hill	9
Imagem 4 Esquema de princípio de uma Bomba de Calor, em regime de aquecimento	10
Imagem 5 Esquema de princípio de uma Bomba de Calor, em regime de arrefecimento	11
Imagem 6 Radiação solar global e suas componentes: fonte: Solar Térmico	12
Imagem 7 Composição de colector solar plano; fonte: Solar Térmico	13
Imagem 8 Sistema solar de circulação forçada e permutação indirecta; fonte: Manual SolTerm	15
Imagem 9 Exemplos de ventiloconvectores: unidade embutida em tecto falso e unidade de parede.....	15
Imagem 10 Vista geral do programa de cálculo HAP	30
Imagem 11 Variação de temperatura do clima Design, ao longo do ano	32
Imagem 12 Variação da temperatura ao longo do ano pelo <i>simulation</i>	34
Imagem 13 Variação da radiação solar ao longo do ano pelo <i>simulation</i>	35
Imagem 14 Vista geral do SolTerm.....	38
Imagem 15 Variação anual de temperatura exterior, pelo SolTerm	39
Imagem 16 Variação anual de radiação solar pelo SolTerm	40
Imagem 17 Esquema do sistema solar resultante do programa SolTerm	41

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Imagem 18 Relatório da capacidade de aquecimento do edifício, pelo HAP	46
Imagem 19 Variação do consumo de energia térmica em aquecimento ao longo de um ano	47
Imagem 20 Variação de Fração Solar em função da capacidade do depósito	49
Imagem 21 Energia fornecida pelo sol e energia necessária para o aquecimento ambiente	50
Imagem 22 Variação de Fração Solar em função da capacidade do novo depósito ...	53
Imagem 23 Energia fornecida por 25 colectores e energia necessária para o aquecimento ambiente	54
Imagem 24 Energia fornecida por 70 e 25 colectores	55

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) utilizados, quer em edifícios residenciais quer em edifícios de serviços, hoje em dia, são mormente aplicados para colmatar um maior grau de exigência em termos de conforto humano nos espaços ocupados e manter um bom nível de qualidade ar interior (QAI), utilizando sistemas energeticamente eficientes.

Os sistemas de climatização constituem uma fatia significativa dos consumos nacionais de energia, pelo que ganha especial importância a execução de um projecto que garanta elevadas condições de conforto, em termos de temperatura, qualidade do ar e nível de ruído, com o menor consumo de energia possível.

1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

“Os edifícios representam 40 % do consumo de energia total na União [Europeia]. O sector está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa.” Para que se possa traçar um futuro em que se atinja a sustentabilidade energética, ou seja, produzir em igual quantidade consumida, a Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, revendo a anterior Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002, veio estabelecer os requisitos mínimos, quer sejam edifícios novos ou reabilitados.

Estes requisitos mínimos centram-se nos elementos construtivos que façam parte da envolvente de um edifício e que tenham um impacto significativo no desempenho energético da mesma, nas condições climáticas exteriores locais, nas exigências em matéria de clima interior, na metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das fracções autónomas e na certificação destes, na inspecção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado dos edifícios, pretendendo desta forma aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia.

A mesma Directiva indica: *“conjugadas com uma utilização de energia proveniente de fontes renováveis, as medidas tomadas para reduzir o consumo de energia na União permitirão à União cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, e honrar o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20 % em relação aos níveis de 1990.”*

Para os novos edifícios, os Estados-Membros asseguram que, antes do início da construção, seja estudada e tida em conta a viabilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos de elevada eficiência, tais como: sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis, cogeração, redes urbanas ou colectivas de aquecimento ou arrefecimento (preferencialmente, baseadas em energia proveniente de fontes renováveis) e bombas de calor.

Os compromissos internacionais assumidos por Portugal relativos às emissões de gases de estufa levaram ao incentivo do aproveitamento da energia solar – fonte renovável, não poluente e inesgotável – dada a sua posição privilegiada.

Através de incentivos, financeiros e fiscais, e a entrada dos novos regulamentos, Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), os sistemas solares tiveram uma grande expansão.

No anterior RSECE foram estabelecidas medidas de racionalização energética das instalações de sistemas de climatização e fixados limites de potência máxima dos

sistemas a instalar, porém não eram requisitados mínimos de renovação de ar ou manutenção adequada ou imputação de responsabilidade técnica.

Com o novo regulamento, Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril, são agora considerados e legislados novos aspectos, tais como: definição das condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios em consonância com as respectivas funções, melhoramento da eficiência energética global dos edifícios através de menores consumos energéticos dos sistemas a instalar num edifício, implementação de regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e monitorização regular das práticas de manutenção dos sistemas de climatização

Por outro lado, o RCCTE pretende salvaguardar o comportamento térmico dos edifícios, através da melhoria da qualidade construtiva, satisfazendo as condições de conforto térmico dentro dos mesmos, sem necessidades excessivas de energia adicional. O regulamento obriga à *“contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, (...), com um objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.”*

Segundo o regulamento: *“O recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1m² de colector por ocupante convencional previsto”*. Esta obrigatoriedade gerou alguma controvérsia, como foi confrontado por *Martins et al, 2009*, não só pelas bases de cálculo existentes, perfis de consumo e valores de consumo diário estabelecidos pelo regulamento – 40 l a 60°C de AQS por pessoa entre as 17h e as 18h -, mas também pela limitação de diversos sistemas de apoio, para a preparação de águas quentes sanitárias, permitidos para o cálculo energético de desempenho dos sistemas solares térmicos.

A par desta obrigatoriedade, a melhoria de eficiência energética começou a gerar algumas questões, que se espera responder através desta tese, como por exemplo, até que ponto será rentável a utilização de sistemas solares para o aquecimento da água a ser utilizada pelos sistemas de climatização? Esta questão prende-se pelo facto da radiação solar ser mais baixa durante o inverno, ou seja, na altura em que as necessidades de aquecimento são maiores.

No final desta dissertação espera-se encontrar resposta a esta questão, que muita curiosidade despertou em vários sectores, desde os projectistas, empreiteiros e donos de obra.

1.2. OBJECTIVOS

Pretende-se com o presente trabalho comparar sistemas de produção de água aquecida para a alimentação de um determinado sistema de climatização, aplicado a uma casa sénior, tendo presente o enquadramento legal no panorama actual português.

Através da análise de consumos energéticos, realizada por programas de cálculo acreditados, entre sistemas convencionais de produção, como a caldeira e a bomba de calor, e outro apoiado num sistema solar térmico, verificar qual o mais rentável e economicamente viável de ser implementado no caso de estudo.

2. TECNOLOGIAS AVAC

2.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento desempenham um papel essencial nas habitações e são os que têm maior impacto no conforto ambiente. Ao mesmo tempo, são também responsáveis por uma parte significativa da factura energética da habitação e pelas emissões de gases poluentes para a atmosfera, daí que a sua eficiência energética seja fundamental.

A eficiência energética de um sistema de aquecimento e/ou arrefecimento, num edifício, é tanto mais elevada quanto menor for o seu consumo de energia para manter as condições de ambiente o mais estáveis possíveis, proporcionando assim o bem-estar das pessoas.

As exigências requeridas a um sistema de aquecimento dependem do tipo de edifício e da sua estrutura. Ainda em fase de projecto, várias opções poderão ser estudadas e avaliadas, de acordo com certos requisitos do cliente, permitindo decidir qual a solução mais adequada a adoptar para a produção e fornecimento de aquecimento térmico para conforto.

Um sistema bem conseguido é aquele que garante as temperaturas interiores exigidas, que opera com maior eficiência, de forma a minimizar os custos energéticos e de emissões de gases que promovem o efeito de estufa, além de manter o seu desempenho ao longo do seu período de vida expectável com pouca necessidade de manutenção e substituição de componentes.

2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AQUECIMENTO

Uma vez que o corpo humano troca calor, tanto por convecção como por radiação, com o meio que o rodeia, torna-se necessário que haja sistemas de aquecimento para manter as condições térmicas de conforto do ser humano. Nas zonas ou partes do edifício que normalmente não são ocupadas por pessoas, pode não ser necessário manter as temperaturas de conforto, no entanto o aquecimento pode ser necessário para controlar temperatura.

A escolha dos sistemas de produção de água aquecida, considerados no presente trabalho, foram ponderadas tendo em conta as características intrínsecas do equipamento bem como os seus consumos energéticos. Este capítulo pretende ser genérico e ajudar à compreensão de cada um dos sistemas.

2.2.1. CALDEIRA

As caldeiras a gás, tradicionais ou as mais avançadas e de alta eficiência, têm uma vasta gama de potências e tipos de funcionamento, e quase todos os sistemas hidrónicos que necessitem de aquecimento são muitas vezes assegurados por um ou mais equipamentos destes.

A eficiência das caldeiras tem evoluído de forma significativa nas últimas décadas, evolução essa que se deveu ao aparecimento de novos materiais que permitiram novas formas de funcionamento, nomeadamente sistemas de condensação, sistemas de modulação da chama de forma a melhorar a eficiência da combustão, e a modularização de forma a otimizar o dimensionamento dos sistemas. Os desenvolvimentos que se têm vindo a realizar ao longo dos anos resultaram num melhoramento considerável no desempenho e consumo de cargas parciais, beneficiando a eficiência energética dos sistemas.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

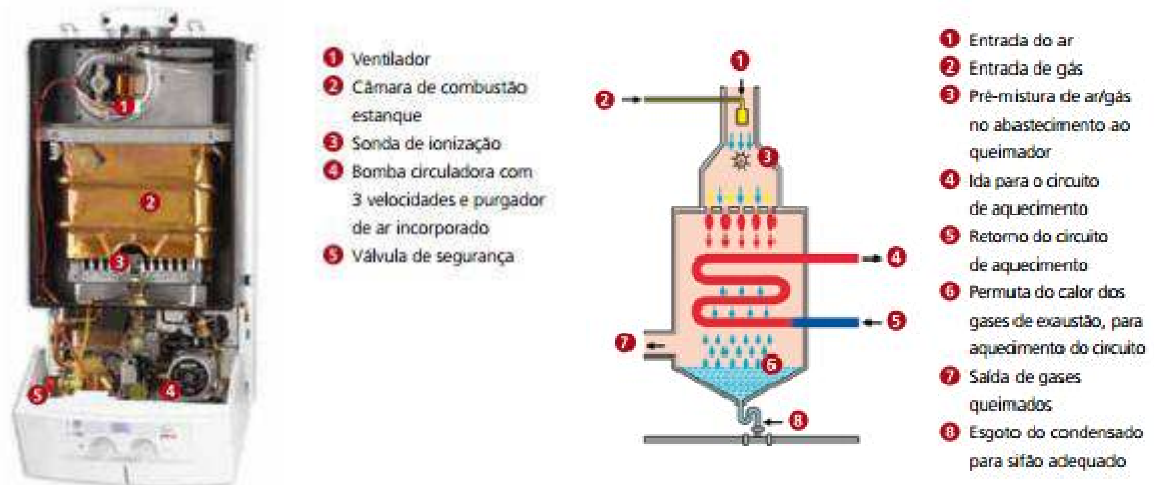


Imagem 1 | Representação de uma caldeira convencional e uma caldeira de condensação; fonte: Vulcano

Muitas caldeiras têm uma eficiência menor quando operam com cargas parciais, em especial aquelas que funcionam em modo on/off. Além do período de pré-aquecimento, uma caldeira passa a maior parte da sua vida operacional em carga parcial, o que levou a popularizar sistemas com recurso a múltiplas caldeiras a funcionarem em plena carga, em vez de uma única grande caldeira a funcionar a carga parcial. A utilização de caldeiras em cascata tem vindo a crescer devido à sua facilidade de montagem e instalação e, quando combinadas em regimes parciais, proporcionarem um maior número de escalões de funcionamento.

Na Imagem 2.pode-se observar a variação da eficiência de diferentes tipos de caldeira consoante a carga em operação.

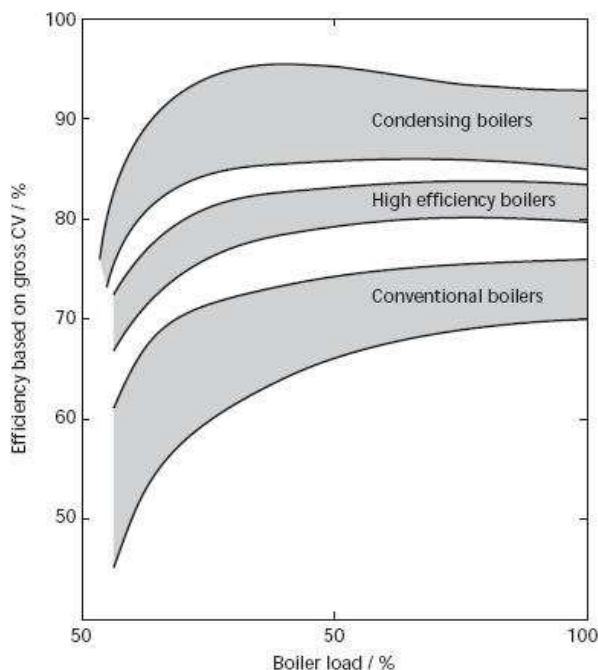


Imagem 2 | Variação da eficiência de diferentes tipos de caldeira em função da carga de operação;
fonte: CIBSE Guide 2

Quando o gás natural, composto por 70 a 90% de metano (CH_4), arde e reage com o oxigénio presente no ar, produz-se dióxido de carbono (CO_2) e água sob a forma de vapor (H_2O), conforme equação de combustão do metano [1].



Quando o vapor é arrefecido, volta ao estado líquido, libertando uma enorme quantidade de energia - calor de condensação – que poderá ser utilizada para o aquecimento de água ou do ambiente. Nas instalações de aquecimento convencionais a energia contida no vapor de água perde-se com a exaustão do gás queimado, enquanto nos aparelhos de condensação essa energia é aproveitada para o aquecimento ambiente.

As caldeiras de condensação operam com máxima eficiência quando a temperatura de retorno da água é mais baixa, aumentando o grau de condensação pelo aproveitamento do calor residual dos gases de combustão. Isto pode ocorrer quer a caldeira esteja ou não em plena carga.

2.2.2. BOMBA DE CALOR

Uma transferência de calor ocorre na natureza, sem necessidade de qualquer dispositivo, desde o meio a alta temperatura para o meio a baixa temperatura. O processo inverso ocorre apenas com recurso a dispositivos especiais e por meio de um fluido operante – frigorigénio utilizado no ciclo frigorífico.

A utilização de bombas de calor tem por objectivo manter um espaço interior aquecido através da absorção de calor de uma fonte a baixa temperatura, como representado na Imagem 3. No caso de bombas de calor ar-água, por meio de um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, é conseguida a produção de água aquecida para o aquecimento ambiente.

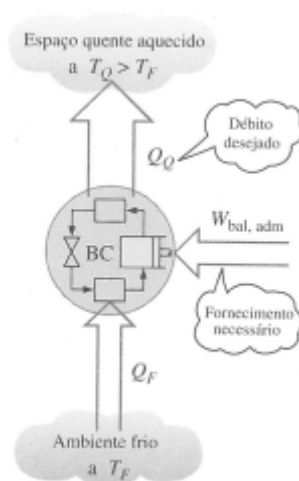


Imagem 3 | Objectivo da Bomba de Calor; fonte: McGraw-Hill

As bombas de calor têm sido exploradas para diferentes fins com necessidades de água aquecida a baixa temperatura. Em todo o mundo a sua utilização tem-se massificado devido à sua versatilidade, uma vez que no caso das bombas de calor reversíveis, estas podem ser produtoras de água arrefecida ou água aquecida, se adicionada uma válvula de inversão de ciclo, conforme Imagens 4 e 5. Este tipo de unidades são tipicamente utilizadas quando os edifícios necessitam de água arrefecida e aquecida embora, actualmente, a sua capacidade de produção de água aquecida esteja limitada a temperaturas a rondar os 65°C.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

A designação do índice COP (coeficiente de performance) quantifica o rácio entre a energia de aquecimento gerada e a quantidade de energia eléctrica absorvida pelo equipamento de climatização.

Em Portugal, os sistemas de bomba de calor têm sido utilizados na substituição de caldeiras devido à sua eficiência. Estes sistemas conseguem atingir índice de COP em aquecimento, na ordem dos 4, o que se traduz num rendimento equivalente de 400%. Neste tipo de sistema produtor de energia, o valor do seu rendimento está intimamente ligado à temperatura verificada no exterior, de onde se retira energia. O que leva a que o valor de COP varie ao longo do ano – eficiência sazonal. No Inverno, as bombas de calor que utilizam o ar exterior como fonte de calor em locais que apresentam climas frios, o rendimento do equipamento desce consideravelmente. Nestes casos, por vezes é recomendada a utilização de outro tipo de bombas de calor, por exemplo geotérmicas

A eficiência sazonal - HSPF (heating season performance factor), mede a capacidade de aquecimento durante a estação de aquecimento de uma bomba de calor a ar. Quando mais baixa for a temperatura exterior, menor será a eficiência sazonal de aquecimento do equipamento, quando a carga requerida será maior. Em alguns casos, e devido ao clima favorável do país, é possível reduzir os valores da factura energética ao substituir os sistemas de caldeira para sistemas de bomba de calor, mesmo considerando que o custo da electricidade é superior ao do gás natural.

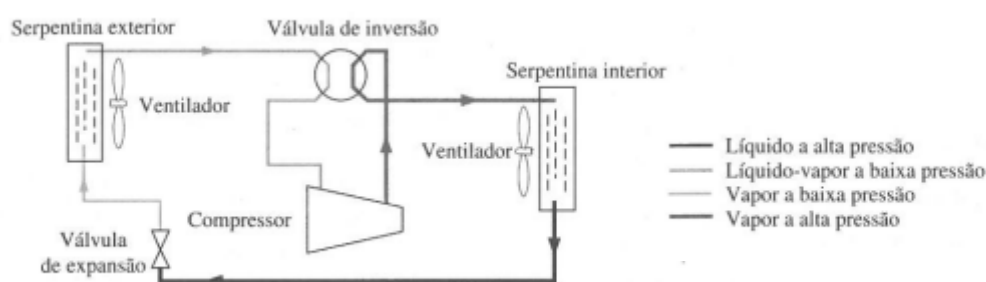


Imagem 4 | Esquema de princípio de uma Bomba de Calor, em regime de aquecimento

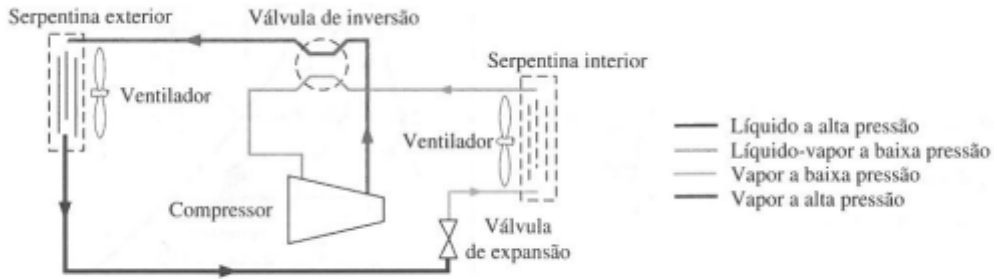


Imagem 5 | Esquema de princípio de uma Bomba de Calor, em regime de arrefecimento

2.2.3. APOIO SOLAR TÉRMICO

Os colectores solares para aquecimento de água são amplamente utilizados em todo o mundo para fornecer água aquecida, especialmente nos casos em que o sol é abundante e os preços de outras energias são relativamente altos. Mas raramente são utilizados para aquecimento do ar ambiente, sendo aproveitada a energia da radiação solar para a preparação das AQS.

No centro do Sol, os núcleos de átomos de hidrogénio fundem-se originando núcleos de hélio. A sua superfície atinge uma temperatura de perto dos 6.000°K. A energia resultante desta reacção é radiada para o espaço, e parte dela atinge a atmosfera terrestre com uma densidade de cerca de 1.373 W/m². Uma vez que parte da energia inicial é reflectida ou absorvida pela atmosfera, num dia de céu claro é possível medir junto a superfície terrestre num plano perpendicular à radiação, cerca de 1.000 W/m². O sol emite radiação electromagnética que se decompõe em infravermelhos, visível e ultravioleta.

A radiação solar que incide sobre uma superfície dentro da atmosfera terrestre, tem duas componentes: a radiação solar directa, E_{dir} , proveniente do sol, que atinge a terra sem qualquer mudança de direcção e a radiação difusa, E_{dif} , que chega aos olhos do observador através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó. A radiação difusa inclui também a radiação reflectida pela superfície terrestre - albedo, Imagem 6. A soma da radiação difusa e directa equivale à radiação solar global EG [2].

$$EG = E_{dir} + E_{dif} \quad [2]$$

Esta equação, caso não sejam referidas outras condições, refere-se à radiação sobre uma superfície horizontal. A radiação global representa, nas condições já referidas, cerca de 1.000 W/m^2 . Para Lisboa, num plano inclinado (cerca de 40°) e orientado a Sul, o valor médio diário de potência da radiação solar global directa pode atingir os 414 W/m^2 .

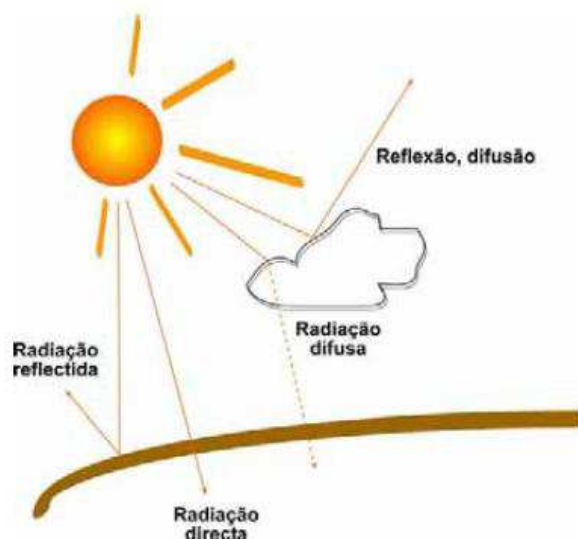


Imagem 6 | Radiação solar global e suas componentes: fonte: Solar Térmico

Em geral, os equipamentos solares não garantem a totalidade dos consumos energéticos, pelo que, é necessário o apoio de uma instalação convencional que assegure as necessidades energéticas não cobertas pelo sistema solar.

Contrariamente ao critério de dimensionamento seguido para os equipamentos convencionais, os equipamentos solares não se dimensionam para as condições extremas (inverno, baixa radiação solar) de certos dias do ano, mas sim para as necessidades energéticas médias anuais. Para este tipo de equipamentos não se considera a ponta máxima previsível de consumo energético, mas o balanço médio anual.

A análise da rentabilidade económica dos equipamentos solares baseia-se na poupança de energia ou combustível obtido num ano médio de funcionamento.

Os colectores solares têm como função converter a radiação solar disponível em calor e transferi-la com o mínimo de perdas para um sistema. Existem diversos tipos de

colectores para diferentes aplicações, com custos e desempenhos específicos. Os colectores convertem a luz que penetra através dos vidros, radiação de onda-curta, em calor. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro – placa absorsora. Na placa absorsora, está incorporado um sistema de tubos que transfere o calor gerado para o fluido de transferência térmica, que por sua vez flui para o permutador de calor e depósito.

O fluido que transporta o calor absorvido pelos colectores solares é, geralmente, uma mistura de água e glicol (anti-congelante) para protecção do congelamento dos colectores.

O controlo é efectuado através de um sistema de comando diferencial, que tem como função activar a bomba de circulação do circuito solar, quando o diferencial de temperatura entre o colector e o depósito atingir um valor pré-estabelecido. Quando este valor é atingido, a bomba de circulação é accionada e o fluido de transferência térmica no colector circula para o depósito ou para o permutador de calor, onde se dá a transferência de calor para a água.

Os colectores solares podem ser de diversas tecnologias, a saber: em colector plano, colector a tubos de vácuo, colector concentrador e colector parabólico composto.

Colectores Solares Planos Selectivos

Os colectores planos são constituídos por absorsores metálicos inseridos no interior de uma caixa rectangular plana, isolada termicamente nas paredes laterais e na parte inferior. A parte superior da caixa é composta por uma cobertura transparente, como representado na Imagem 7.

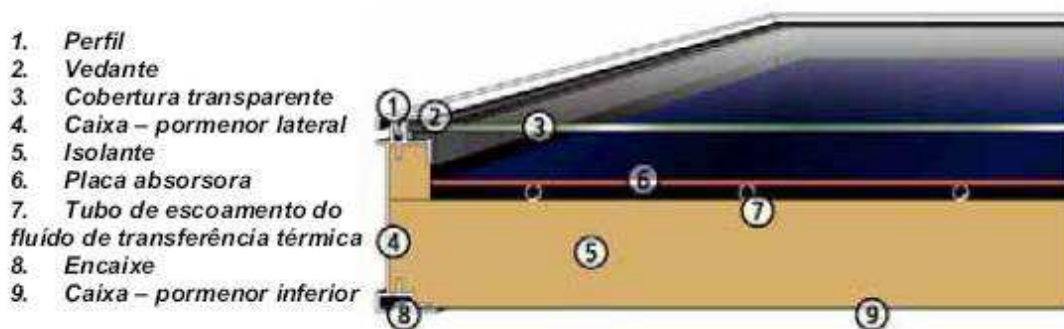


Imagem 7 | Composição de colector solar plano; fonte: Solar Térmico

A cobertura transparente deve ter uma boa transparência, cerca de 90%, de modo a promover o efeito de estufa no interior da caixa, que reduz as perdas de calor por convecção, melhorando o rendimento do colector. Esta cobertura também acaba por assegurar a estanquicidade do colector às intempéries.

O isolamento entre a caixa e o absorvedor pretende reduzir as perdas de calor por condução térmica para o ambiente. O material utilizado (lã de vidro ou rocha, poliuretano, aglomerado de cortiça) não deve fundir, encolher ou libertar gases, uma vez que pode dar origem a condensações no interior do colector ou provocar corrosão das superfícies metálicas.

A placa absorvedora é a peça principal de um colector plano e consiste numa chapa metálica com uma capacidade de absorção de calor elevada (alumínio ou cobre), que permite uma elevada capacidade de absorção e reduzida emissividade térmica. No caso do colector plano selectivo, o revestimento da placa é constituído por uma estrutura com diferentes camadas, que melhora a conversão de radiação solar de onda-curta, ou seja, reduz as perdas por emissividade. Um conjunto de tubos de transferência de calor, geralmente de cobre, está ligado ao absorvedor, transferindo a energia solar absorvida para fluido solar.

Sistema Tipo de Instalação Solar

Para instalações maiores, do que uma normal habitação unifamiliar, são utilizados sistemas de circulação forçada, por intermédio de uma bomba que promove o transporte do fluido entre os colectores e o depósito – circuito primário.

A permutação de calor entre o circuito primário e o secundário é geralmente efectuada de forma indirecta, através de um permutador de calor que permite separar a água de consumo do fluido térmico de transferência, criando assim um circuito fechado no circuito primário, conforme Imagem 8.

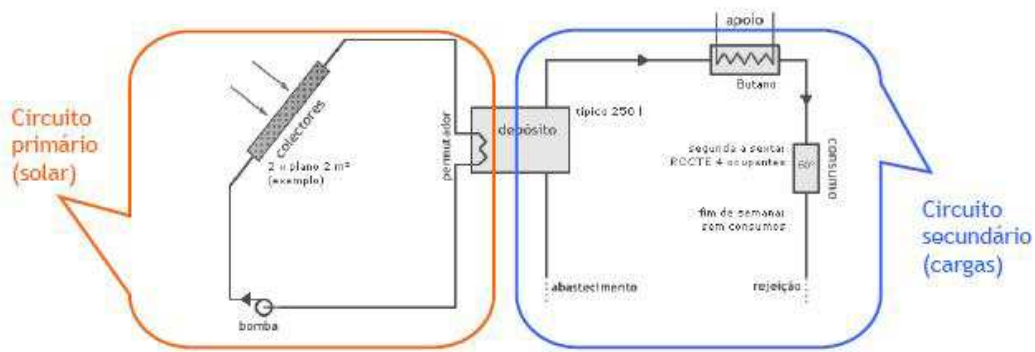


Imagem 8 | Sistema solar de circulação forçada e permutação indirecta; fonte: Manual SolTerm

2.3. UNIDADE TERMINAL: VENTILOCONVECTORES

Os ventiloconvectores (*fan-coils*) são equipamentos que quando montados dentro de um determinado espaço, permitem a sua climatização. O aquecimento ou arrefecimento ocorre mediante a circulação de água aquecida ou arrefecida no ventiloconvector, proveniente do sistema central de climatização. São constituídos por uma bateria ou serpentina, onde circula a água aquecida ou arrefecida, e um ventilador que força a circulação do ar ambiente, que pode ter alguma mistura de ar novo, e insufla o ar no espaço em que se insere às condições desejadas.

Os ventiloconvectores são extremamente rápidos a atingir a temperatura pretendida no ambiente e, dada a vasta gama de potências e modelos, cobrem facilmente todas as necessidades de aquecimento e arrefecimento.



Imagem 9 | Exemplos de ventiloconvectores: unidade embutida em tecto falso e unidade de parede

3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo pretende caracterizar todos os elementos que influenciam o cálculo do balanço térmico de um edifício, tendo presente a legislação em vigor, nomeadamente o RSECE, Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril [3].

$$Q_{hc} = Q_v + Q_w + Q_{em} + Q_g [3]$$

Em que,

- Q_{hc} – Energia necessária para a climatização (aquecimento ou arrefecimento, conforme o resultado do balanço energético do espaço);
- Q_v – Ganho ou perda de calor correspondente à renovação de ar;
- Q_w – Ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através dos vãos envidraçados;
- Q_{em} – Ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através da envolvente opaca (sem considerar os efeitos da radiação solar incidente);

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Q_g – Ganhos totais, incluindo ganhos derivados da ocupação, equipamentos, iluminação, ganhos solares através de radiação nos envidraçados e envolvente opaca.

3.2. DESCRIÇÃO DA CASA SÉNIOR

A Casa Sénior em estudo localiza-se em Lisboa, zona climática IIV2, e encontra-se isolada, ou seja, não existem outros prédios confinantes. O edifício apresenta fachadas com orientação a Norte, Sul, Este e Oeste, e subdivide-se em 3 pisos - Piso -1, Piso 0 e Piso 1, sendo a sua entrada principal realizada ao nível do Piso -1 na fachada a Este.

Catorze quartos singles e dez quartos duplos, encontram-se distribuídos pelos Pisos 0, todos com a sua instalação sanitária completa. Em ambos os pisos existe uma sala de estar/copa. As Tabelas 1 a 3 resumem os espaços existentes e suas características gerais de arquitectura, que condensam a informação presente nas plantas de arquitectura, ANEXO A.

Tabela 1 | Arquitectura Piso 0

SALA Nº	DESIGNAÇÃO	ÁREA ÚTIL [m ²]	PÉ DIREITO [m]	VOLUME [m ³]
00.01	Circulação 2	44,6	2,7	120,4
00.02	Suite (single) 00.01	12,9	2,7	34,8
00.03	I.S. 00.01	4,5	2,7	12,2
00.04	Suite (single) 00.02	12,7	2,7	34,3
00.05	I.S. 00.02	4,5	2,7	12,2
00.06	Suite (single) 00.03	12,7	2,7	34,3
00.07	I.S. 00.03	4,5	2,7	12,2
00.08	Suite (single) 00.04	13,1	2,7	35,4
00.09	I.S. 00.04	4,5	2,7	12,2
00.10	Suite (single) 00.05	13,1	2,7	35,4
00.11	I.S. 00.05	4,5	2,7	12,2
00.12	Suite (double) 00.06	19,8	2,7	53,5
00.13	I.S. 00.06	4,5	2,7	12,2
00.14	Suite (double) 00.07	16,6	2,7	44,8
00.15	I.S. 00.07	4,5	2,7	12,2

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

00.16	Suite (double) 00.08	16,9	2,7	45,6
00.17	I.S. 00.08	4,5	2,7	12,2
00.18	Suite (double) 00.09	19,9	2,7	53,7
00.19	I.S. 00.09	4,5	2,7	12,2
00.20	Suite (single) 00.10	13	2,7	35,1
00.21	I.S. 00.10	4,5	2,7	12,2
00.22	Circulação 3	21,2	2,7	57,2
00.23	Suite (single) 00.11	13	2,7	35,1
00.24	I.S. 00.11	4,5	2,7	12,2
00.25	Suite (double) 00.12	16,1	2,7	43,5
00.26	I.S. 00.12	4,5	2,7	12,2
00.27	Rouparia comum 0.1	3,0	2,7	8,1
00.28	Zona de sujos 0.1	3,0	2,7	8,1
00.29	Circulação 4	3,0	2,7	8,1
00.30	I.S./Banho de ajuda 0.1	10,0	2,7	27,0
00.31	Sala de Estar/Copa 0.1	25,6	2,7	69,1
TOTAL		344,2		929,3

Tabela 2 | Arquitectura Piso 1

SALA Nº	DESIGNAÇÃO	ÁREA ÚTIL [m ²]	PÉ DIREITO [m]	VOLUME [m ³]
01.01	Circulação 5	44,6	2,7	120,4
01.02	Suite (single) 01.01	12,9	2,7	34,8
01.03	I.S. 01.01	4,5	2,7	12,2
01.04	Suite (single) 01.02	12,7	2,7	34,3
01.05	I.S. 01.02	4,5	2,7	12,2
01.06	Suite (single) 01.03	12,7	2,7	34,3
01.07	I.S. 01.03	4,5	2,7	12,2
01.08	Suite (single) 01.04	13,1	2,7	35,4
01.09	I.S. 01.04	4,5	2,7	12,2
01.10	Suite (single) 01.05	13,1	2,7	35,4
01.11	I.S. 01.05	4,5	2,7	12,2
01.12	Suite (double) 01.06	19,8	2,7	53,5
01.13	I.S. 01.06	4,5	2,7	12,2
01.14	Suite (double) 01.07	16,6	2,7	44,8
01.15	I.S. 01.07	4,5	2,7	12,2
01.16	Suite (double) 01.08	16,9	2,7	45,6
01.17	I.S. 01.08	4,5	2,7	12,2
01.18	Suite (double) 01.09	19,9	2,7	53,7
01.19	I.S. 01.09	4,5	2,7	12,2
01.20	Suite (single) 01.10	13	2,7	35,1
01.21	I.S. 01.10	4,5	2,7	12,2

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

01.22	Circulação 6	21,2	2,7	57,2
01.23	Suite (single) 01.11	13	2,7	35,1
01.24	I.S. 01.11	4,5	2,7	12,2
01.25	Suite (double) 01.12	16,1	2,7	43,5
01.26	I.S. 01.12	4,5	2,7	12,2
01.27	Rouparia comum 1.1	3,0	2,7	8,1
01.28	Zona de sujos 1.1	3,0	2,7	8,1
01.29	Circulação 7	3,0	2,7	8,1
01.30	I.S./Banho de ajuda 1.1	10,0	2,7	27,0
01.31	Sala de Estar/Copa 1.1	17,7	2,7	47,8
TOTAL		336,3		908,0

O Piso -1 compõe-se por espaços de convívio, tais como salas de refeições e de estar, bem como de gabinetes, cozinha que fornece um serviço de *catering*, espaços técnicos e de arrumos.

Tabela 3 | Arquitectura Piso -1

SALA Nº	DESIGNAÇÃO	ÁREA ÚTIL [m ²]	PÉ DIREITO [m]	VOLUME [m ³]
-01.01	Recepção e área de circulação	40,0	2,6	104,0
-01.02	Gabinete - Director	10,1	2,6	26,3
-01.03	Sala de Reuniões	10,4	2,6	27,0
-01.04	I.S. (visitantes)	4,0	2,6	10,4
-01.05	Gabinete - Saúde	12,4	2,6	32,2
-01.06	I.S. Gab. Saúde	4,0	2,6	10,4
-01.07	I.S. feminino	4,0	2,6	10,4
-01.08	I.S. masculino	4,0	2,6	10,4
-01.09	Gabinete - Administração	11,2	2,6	29,1
-01.10	Sala de Estar	60,2	2,6	156,5
-01.11	Sala de Refeições 1	28,0	2,6	72,8
-01.12	Sala de Refeições 2	33,1	2,6	86,1
-01.13	Cozinha	11,2	2,6	29,1
-01.14	Circulação 1	9,6	2,6	25,0
-01.15	Dispensa de dia	8,1	2,6	21,1
-01.16	Qímicos/Detergentes	1,4	2,6	3,6
-01.17	Vasilhame	1,5	2,6	3,9
-01.18	Armazém gen. alimentares	1,9	2,6	4,9

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

-01.19	Sala de Pessoal	10,4	2,6	27,0
-01.20	Distribuição	16,0	2,6	41,6
-01.21	Rouparia de Sujos	3,0	2,6	7,8
-01.22	I.S./Balneário feminino	6,0	2,6	15,6
-01.23	I.S./Balneário masculino	6,0	2,6	15,6
-01.24	Área técnica 1	10,6	2,6	27,6
-01.25	Área técnica 2	13,4	2,6	34,8
-01.26	Depósito de Lixo	8,4	2,6	21,8
TOTAL		328,9		855,1

3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ENVOLVENTES

A transferência de energia entre o ambiente exterior e o ambiente interior de um edifício pode ser significativa, dependendo do tipo de materiais de construção, espessuras, isolamentos e exposição. Para o presente trabalho foram adoptadas características construtivas correntes em Portugal e optou-se por utilizar os valores de coeficiente de transmissão térmica propostos por *SANTOS et al, ITE 50, LNEC, Lisboa 2006*.

Para o cálculo do balanço térmico de um edifício é necessário contabilizar a troca de calor da sua envolvente. A envolvente é composta por paredes, cobertura, pavimento, janelas ou portas. A transferência de calor pode ser definida como energia em trânsito entre corpos materiais causada pela diferença de temperaturas e pode ocorrer segundo três mecanismos: condução através de superfícies opacas, convecção nas superfícies exteriores e interiores, e radiação através de superfícies transparentes.

De seguida apresenta-se detalhadamente a caracterização das envolventes do caso de estudo.

3.3.1. ENVOLVENTES EXTERIORES E INTERIORES OPACAS

Parede exterior – Constituída por parede dupla de tijolo de 11cm, com caixa-de-ar de 5cm, isolamento térmico (XPS) de 6cm, revestida exteriormente a reboco e interiormente a estuque. Coeficiente global de transmissão térmica de $0,393\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$.

Parede interior – Constituída por parede simples de tijolo de 11cm, com estuque projectado em ambas as faces. Coeficiente global de transmissão térmica (U) de 1,678 W/m².°C.

Cobertura plana – Constituída por betão armado, com a respectiva membrana de impermeabilização e isolamento térmico, e no interior revestida a estuque. U= 0,404 W/m².°C.

Pavimento sobre exterior – Foi adoptado o valor de 1,930 W/m².°C para U, valor que vem por defeito no programa *HAP*.

Pavimento interior – No pavimento de um espaço climatizado que esteja por cima de um espaço não climatizado, foi adoptado o valor sugerido de U pelo *HAP*, que é o mesmo valor no pavimento sobre o exterior.

3.3.2. ENVOLVENTES ENVIDRAÇADAS

Vão envidraçado 1, com caixilharia de alumínio e correcção de ponte térmica, com cortina interior semi-opaca de cor clara – Vidro duplo incolor (6mm + 6mm) com caixa-de-ar de 6mm, com U= 3,049 W/m².°C.

Vão envidraçado 2, com caixilharia de alumínio e correcção de ponte térmica, com cortina interior translúcida – Vidro duplo incolor (6mm + 6mm) com caixa-de-ar de 6mm, com U= 3,064 W/m².°C.

Vão envidraçado3, com caixilharia de alumínio e correcção de ponte térmica, sem protecção solar interior – Vidro duplo incolor (6mm + 6mm) com caixa-de-ar de 6mm, com U= 3,674 W/m².°C.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AVAC

O objectivo dos sistemas de climatização é a promoção de condições de conforto térmico e de qualidade do ar interior (QAI), aceitáveis para o ser humano. É necessário que haja um equilíbrio entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido pelo mesmo.

3.4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

O volume de ar exterior necessário, para efeitos de renovação, será captado por uma unidade de tratamento de ar novo e neutralizado (UTANN), localizada na cobertura da Casa, com 100% de ar novo que será entregue directamente em todos os locais, com ponto de insuflação de ar, a uma temperatura constante de 20°C, por esta ser a temperatura mínima de conforto. Não são admitidas readmissões de ar extraído na captação de ar exterior.

A ventilação de espaços como instalações sanitárias, balneários e rouparia de sujos, é garantida através da extracção de ar proveniente de espaços adjacentes, controlando assim a migração de odores desagradáveis para o seu exterior.

Áreas técnicas e compartimento de lixos têm sistemas de ventilação independentes que não constam no presente trabalho, visto não terem influência directa ou indirecta com os sistemas de climatização em análise.

3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Os sistemas de produção de água aquecida em estudo no presente trabalho dividem-se em duas categorias: convencional e convencional com apoio ao solar térmico.

Para casos convencionais, foram analisados uma caldeira a gás natural e uma bomba de calor, a serem utilizadas na alimentação de água à UTANN e das unidades terminais – ventiloconvectores. Deste modo consegue-se estabelecer uma comparação entre sistemas convencionais.

No caso convencional com apoio ao solar térmico, recorreu-se a um conjunto de colectores solares planos selectivos para a produção de água aquecida para o mesmo sistema de climatização dos casos anteriores, permitindo a análise comparativa entre todos os equipamentos de produção. Na ausência de radiação ou outro motivo que não permita o normal funcionamento dos colectores, entrará em funcionamento um sistema de apoio.

Uma vez que o ar tratado pela UTANN é entregue directamente nos espaços à temperatura de conforto no Inverno, 20°C segundo Artigo 14º do RCCTE, Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril, p.2474, os ventiloconvectores presentes em cada espaço compensarão as perdas de calor pela envolvente e farão a climatização de ar nos espaços em que estão presentes.

Para que a análise destes três diferentes casos seja facilmente comparável, adoptaram-se os valores de referência para a eficiência nominal de cada equipamento de produção de água aquecida indicados no Artigo 18º do RCCTE, Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril, p.2475.

Caldeira a gás natural

A eficiência considerada para este equipamento é de 0,87 e o regime de temperaturas seleccionado para a utilização de água aquecida, que irá promover o aquecimento e conforto térmico, é de 80°C à saída da caldeira e 60°C no retorno ($\Delta T=20^\circ\text{C}$).

Bomba de Calor

A eficiência deste equipamento (COP) foi considerada constante, apesar de variar com a temperatura exterior do local em que se insere, e foi tomado o valor de 4, e um regime de temperaturas seleccionado para a utilização de água aquecida de 50°C à saída da bomba de calor e 45°C no retorno ($\Delta T=5^\circ\text{C}$).

Para uma carga térmica a ser compensada num determinado espaço, quanto maior for o diferencial de temperatura (ΔT) de saída e entrada de água, menor será o caudal a passar pela bateria ou permutador de calor do equipamento terminal, conforme equação da quantidade de energia [4]. No presente estudo os cálculos serão feitos para dois sistemas distintos de produção de água aquecida, o que implica que o diferencial térmico seja diferente, como atrás referido. Este facto implica que o caudal de água aquecida a circular pelo edifício seja diferente e os sistemas de bombagem dos mesmos tenham características distintas.

$$Q=m.c_p.(T_s-T_e) \quad [4]$$

Em que,

Q – Quantidade de energia[J];

m – Massa de água [kg];

c_p – Calor específico da água [J/(kg.°C)];

T_s – Temperatura de saída de um dado elemento do sistema (ex. caldeira, bomba de calor) [°C];

T_e – Temperatura de entrada de um dado elemento do sistema (ex. caldeira, bomba de calor) [°C];

O calor específico da água (c_p) foi considerado ao longo do trabalho como constante, com o valor de 4,186 kJ/kg.K, visto a sua variação com a temperatura, para as temperaturas utilizadas em cada sistema, ser muito pequena, sendo por esse motivo desprezada.

Colectores solares

O colector solar seleccionado para o estudo é do tipo plano e de superfície selectiva, visto ser aquele que possui a melhor relação entre rendimento e investimento inicial. É indicado para temperaturas de utilização inferiores a 60°C, possui elevada absorptância e menores perdas por radiação.

Visto não ser possível controlar a temperatura do fluido térmico dentro dos colectores, uma vez que esta depende da radiação solar, no circuito primário da instalação é colocado um permutador de calor, garantindo o regime de temperaturas a serem utilizadas em cada um dos equipamentos atrás definidos.

Dada a dimensão da instalação, o transporte do fluido entre colectores e o depósito é realizada por meio de uma bomba – circulação forçada.

Para o cálculo das necessidades de cada espaço, fez-se uma comparação entre os valores de caudal de acordo com o Artigo 29º do RSECE, Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril, p.2427, e os exigidos pela Norma EN 15251:2007, optando-se por adoptar como caudal de ar novo de projecto, o maior valor entre estes.

Pelo ANEXO B.1 verifica-se que por norma o caudal de ar adoptado é o da Norma EN 15251, com excepção nos espaços “Sala de Estar” e as duas “Sala de Estar/Copa” em que o valor de RSECE por ocupante é superior. No ANEXO B.2 resumem-se a distribuição de ar novo pelos diferentes espaços, pontos de extracção localizados, fugas e infiltrações.

3.5.3. CARACTERIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ILUMINAÇÃO

Os equipamentos e iluminação considerados encontram-se assinalados no ANEXO B.2, sendo que os valores adoptados são os sugeridos em *ASHRAE – HVAC Fundamentals Handbook, 2009*.

No ANEXO B.3 é apresentado a distribuição por espaço de todas as cargas internas (ganhos térmicos) presentes no edifício: iluminação, equipamento, ocupação e caudal de ar novo.

4. METODOLOGIA

4.1. INTRODUÇÃO

Com base nos pressupostos anteriormente referidos, o caso em estudo – Casa Sénior – é considerado um edifício de serviços, com a tipologia de Estabelecimento e Saúde com Internamento, com mais de 1000 m² de área útil, estando obrigado a cumprir o RSECE.

Uma vez que as necessidades de produção de água aquecida e para climatização neste tipo de edifícios são muito elevadas, para fazer face às necessidades de conforto térmico e tratamento de ar, a aplicação de painéis solares será única e exclusivamente utilizada para este fim, ficando as AQS fora do contexto deste trabalho, pretendendo-se averiguar se estes conseguem ter um contributo significativo na poupança de energia primária ao longo do ano. Caso o consumo de água aquecida, utilizado na climatização, seja inferior à produção de água pelo sistema solar, o excesso poderia ser utilizado nas AQS.

No presente capítulo, será apresentada a abordagem de cálculo pelo programa HAP para a determinação da carga de aquecimento necessária para o conforto térmico dos diferentes espaços, que o sistema de aquecimento central deverá colmatar. Seguidamente proceder-se-á ao estudo do sistema de produção com apoio solar térmico, recorrendo ao programa SolTerm. E por fim será efectuado o tratamento de dados associados aos custos dos diferentes sistemas.

4.2. INTRODUÇÃO AO HAP

O Hourly Analysis Program é uma ferramenta de cálculo que permite, através da estimativa das necessidades térmicas para arrefecimento e aquecimento, auxiliar o planeamento e dimensionamento dos componentes e sistemas de climatização e ventilação em edifícios, por meio de simulação horária anual e cálculo de potências.

Traçado o perfil de consumo anual, é possível determinar o custo de energia dedicado à climatização. A base de cálculo do programa para a determinação das cargas térmicas é baseada no método de cálculo da ASHRAE e estes são detalhados hora a hora permitindo a análise de consumo energia.

No programa HAP, Imagem 10, é construído um modelo virtual do edifício em estudo, através de dados introduzidos pelo utilizador, permitindo a modelação da geometria e compartimentação dos espaços. Apenas os espaços interiores climatizados são considerados para efeitos de cálculo.

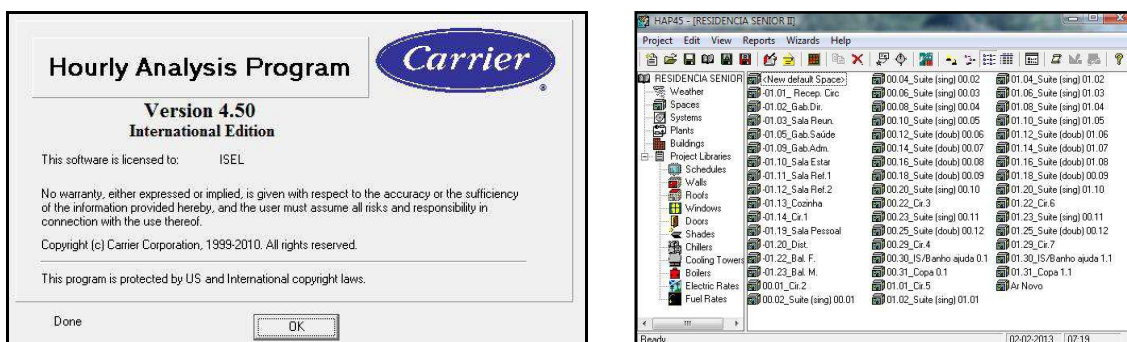


Imagem 10 | Vista geral do programa de cálculo HAP

4.3. VARIÁVEIS SOLICITADAS NO HAP

Ao analisar o comportamento térmico do edifício considera-se que este é dividido em unidades referidas como *spaces* - espaços. Cada espaço representa uma divisão e é constituído por um certo número de *elementos*, tais como: paredes, telhados, janelas e ganhos internos de calor, que influenciam a transferência de calor para dentro e para fora do espaço.

Espaços que estejam todos ligados ao mesmo sistema de climatização definem-se como *zones*. Quando se efectua a simulação de um determinado sistema, o programa assume os dados de todos os espaços associados a essa *zona*.

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O programa informático HAP (*v 4.50*), da empresa Carrier Corporation, permite que o cálculo das cargas térmicas seja efectuado de duas formas distintas, dependendo do tipo de situação e valores que se pretende obter. Essas duas vias de cálculo utilizam dados climáticos diferentes.

Clima Design

Esta forma de abordagem ao separador do clima (*weather properties*) no programa, chamado de *design*, permite que seja o utilizador a definir o clima em que está inserido o seu caso de estudo.

Para o presente trabalho foi criado um clima específico, Tabela 4, para a cidade de Lisboa, tendo por base as normais climatológicas da publicação *Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus Dias*, do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

Tabela 4 | Clima corrigido – Design

	Temp. Bolbo Seco (°C)		Temp. Bolbo Húmido (°C)	
	MÁX.	MIN.	MÁX.	MIN.
JAN.	20,5	13,5	13,5	9,8
FEV.	24,8	17,3	19,0	15,2
MAR.	26,7	18,4	20,3	16,8
ABR.	29,8	20,8	20,6	17,2
MAI.	33,0	23,4	21,1	17,8
JUN.	33,0	28,8	21,9	18,7
JUL.	33,0	29,2	21,9	18,7
AGO.	33,0	28,0	21,9	18,7
SET.	33,0	27,8	21,3	18,1
OUT.	33,0	24,2	20,8	17,5
NOV.	28,0	20,4	20,1	16,5
DEZ.	20,4	13,4	19,0	13,4

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Os valores de temperatura máxima de bolbo seco correspondem ao valor de temperatura máxima das máximas das normais climatológicas. Porém, para os meses em que a temperatura máxima ultrapassa os 33°C (meses de Maio a Outubro), temperatura de projecto segundo RCCTE, foi considerado esse valor como máximo, sendo representado na Imagem 11 como a parte plana da curva de tendência da variação de temperatura máxima.

A amplitude térmica, da temperatura média da máxima e da temperatura média da mínima das Normais, foi respeitada para a determinação da temperatura mínima de bolbo seco do clima a utilizar no Design.

Com recurso à carta psicométrica e os valores referenciados nas normais climatológicas para a humidade relativa de três diferentes horas do dia (6h, 12h e às 18h), foi possível determinar a humidade absoluta para cada uma dessas horas. O valor menor de humidade absoluta correspondente a essas três horas foi o utilizado para a determinação das temperaturas de bolbo húmido do clima Design.

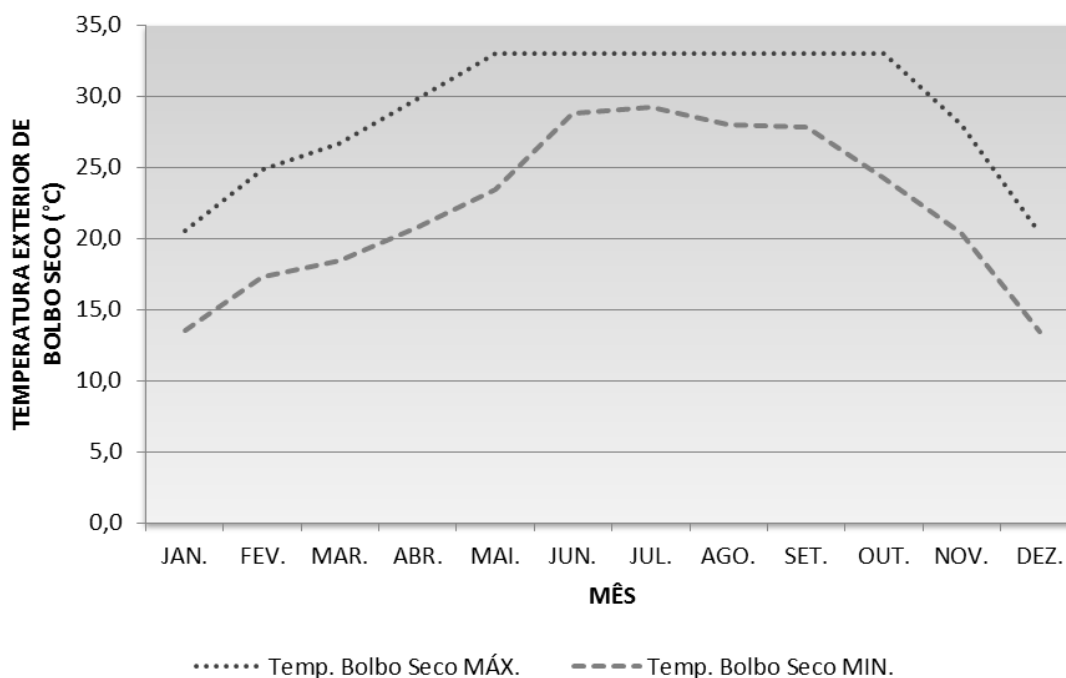


Imagem 11 | Variação de temperatura do clima Design, ao longo do ano

Para finalizar a caracterização do clima a utilizar pelo programa, falta definir o factor de correcção solar para cada mês e que irão multiplicar aos valores de fluxo solar, para Lisboa, dados por defeito pelo HAP.

O factor multiplicativo advém do quociente entre os valores de radiação global fornecido pelos mapas de radiação solar do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica - *Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus Dias*. Esta metodologia permite impor ao programa os valores de radiação solar segundo estes mapas.

O cálculo executado com os dados definidos pelo utilizador – *Design* - analisa as condições de pico, isto é, para o pior caso. Ou seja, em aquecimento, não são considerados os ganhos térmicos pela iluminação, equipamento, actividade das pessoas e radiação (Q_g). Este método de cálculo apenas contabiliza as perdas de calor pela envolvente para uma determina temperatura exterior de pico, neste caso é considerada a temperatura de projecto de inverno - 4°C. Deste modo, o programa consegue calcular a potência térmica máxima necessária para cobrir a pior situação possível, que irá permitir o correcto dimensionamento do equipamento a utilizar.

Clima Simulation

Ao optar por se fazer uma simulação energética hora-hora ao longo de um ano, o programa utiliza um ficheiro de dados meteorológicos, ANEXO C.1, o qual está fechado e não possibilita a alteração de dados.

A Imagem 12 apresenta a variação da temperatura exterior, seca e húmida, considerada pelo programa, com base nos valores do ficheiro *data*. A Tabela 5 apresenta os valores máximos e médios de temperatura seca para cada mês do ano.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

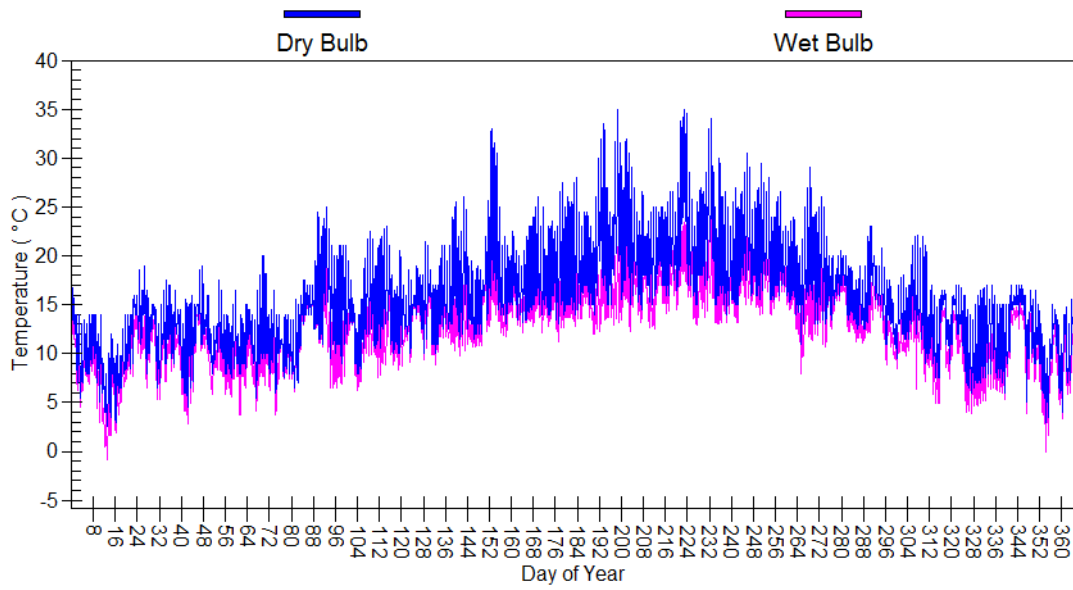


Imagem 12 | Variação da temperatura ao longo do ano pelo *simulation*

Tabela 5 | Dados climáticos do HAP para Lisboa

	Temp. Bolbo Seco (°C)				
	Máx. Abs.	Méd Máx.	Méd. Méd.	Méd. Min.	Min. Abs.
JAN.	19,0	13,6	10,8	8,1	2,5
FEV.	19,0	15,2	11,8	9,1	4,5
MAR.	24,5	15,6	12,2	9,5	5,5
ABR.	25,0	19,9	15,1	11,2	8,0
MAI.	26,0	19,8	15,7	12,4	10,0
JUN.	33,0	23,9	18,7	14,5	13,0
JUL.	35,0	26,8	20,8	16,1	14,0
AGO.	35,0	27,2	21,4	17,0	14,0
SET.	30,5	25,4	19,8	15,7	11,0
OUT.	25,0	19,0	16,0	13,6	9,5
NOV.	22,1	16,8	12,9	9,9	6,0
DEZ.	17,0	14,7	11,7	8,9	3,0

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

A Imagem 13 resulta dos valores de radiação solar, directa e total horizontais, considerados pelo programa (ficheiro data) e a Tabela 6 apresenta os valores máximos e médios de radiação solar directa e radiação solar total, por cada mês do ano.

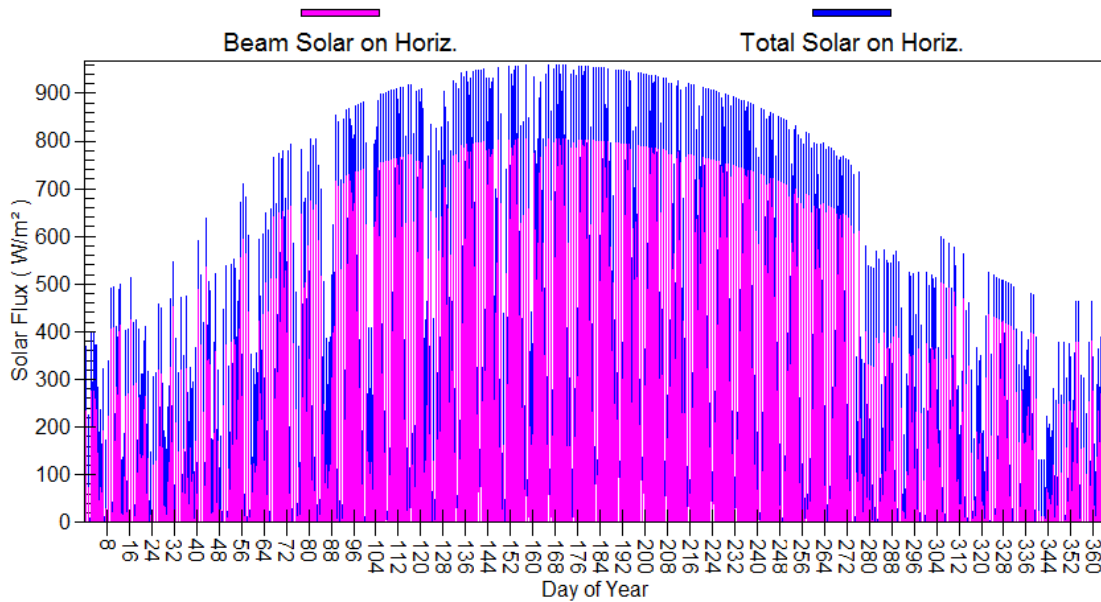


Imagem 13 | Variação da radiação solar ao longo do ano pelo *simulation*

Tabela 6 | Radiação do HAP para Lisboa

Month	Daily Total Solar on Horizontal (kJ/m ²)			Daily Clearness Number (dimensionless)		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
January	9941,6	6621,4	3123,3	0,637	0,410	0,182
February	16416,0	9510,8	4026,4	0,682	0,444	0,187
March	21142,2	13388,3	7070,4	0,659	0,470	0,279
April	25712,6	21348,6	10033,1	0,697	0,606	0,288
May	28330,0	22353,1	10745,2	0,697	0,560	0,281
June	29180,2	25856,7	14351,5	0,697	0,619	0,344
July	29052,3	26231,3	18815,0	0,697	0,644	0,459
August	26686,4	23493,0	17808,2	0,688	0,637	0,456
September	23102,7	19037,8	15750,4	0,687	0,617	0,490
October	16418,9	10345,7	4323,4	0,602	0,436	0,190
November	13209,4	8926,8	3788,4	0,663	0,509	0,215
December	9387,2	5861,7	2635,3	0,627	0,402	0,180

Todos os dados climáticos de Lisboa utilizados na simulação do programa HAP, tiveram como base a série horária meteorológica TRY (Typical Reference Year)

executada pelo LNEG (ex-INETI) com os dados meteorológicos de 1951-1980 do ex-INMG, actual IPMA.

Os valores resultantes da simulação horária – carga térmica de aquecimento necessária para conforto - foram tratados numa folha de cálculo de modo a se conseguir médias de consumo de água aquecida por cada hora do dia de um dia tipo de cada mês, de modo a colmatar as necessidades térmicas. Este passo foi necessário para que a introdução dos consumos no SolTerm seja o mais precisa possível, de acordo com os valores obtidos pela simulação.

4.3.2. CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS

Após a caracterização climática do local onde se insere o edifício em estudo e conhecidas as diferenças das duas formas de abordagem ao programa, segue-se a caracterização dos diferentes espaços climatizados na Casa através da introdução dos seguintes dados:

- Características gerais: referenciação do espaço de forma a ser facilmente identificado, a área útil, o pé direito, o tipo de construção e o caudal de ar novo requerido (Tabelas 1, 2 e 3).
- Ganhos internos: definição do tipo e potência da iluminação e dos equipamentos. Também são contabilizados o número de pessoas e tipo de actividade que praticam, gerando um determinado valor de ganhos sensíveis e latentes. Todos estes parâmetros estão dependentes de padrões de referência de utilização (“horários”) específicos que foram criados com base no RSECE.
- Ganhos externos: definição de paredes, janelas, portas, cobertura, pavimentos e sombreamentos. São fixadas áreas e orientação solar. Se o espaço em definição for climatizado e estiver por cima de outro espaço também climatizado, o programa despreza a transferência de calor pelo pavimento.
- Separações ou divisórias: informação da transferência de calor através de paredes e tectos que estão em contacto com espaços não climatizados ou climatizadas parcialmente ou adjacentes a espaços com um diferencial de temperaturas significativo.

Definição das áreas em contacto, coeficiente global de transferência térmica e diferença de temperaturas em cada um dos dois espaços.

4.3.3. CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS

Para a caracterização e dimensionamento de um sistema, o programa tem diversos passos de procedimento de cálculo até à determinação dos valores de ganhos, ou perdas, de calor que terão de ser compensados pelas baterias de frio e calor, das unidades de tratamento de ar e das unidades terminais.

Com base nesse cálculo, o programa finalmente simula o funcionamento do sistema de climatização definido para o perfil de consumo que foi traçado hora a hora, para todos os dias do mês incluídos na análise, produzindo um relatório de simulação horária com os resultados das cargas térmicas a vencer.

No presente estudo, foram considerados 365 dias por ano, visto tratar-se de um edifício de serviço permanente, e dois sistemas independentes: um exclusivamente dedicado à cozinha e outro para o restante edifício.

Sistema Geral

Este sistema é composto de unidades terminais do tipo ventiloconvector a 4 tubos, ou seja, o edifício tem a possibilidade de estar a aquecer e arrefecer diferentes espaços ao mesmo tempo. Este sistema serve 4 zonas – Piso 0, Piso 1, Piso -1 escritórios e Piso -1 - com um sistema de ventilação comum a caudal constante. A água arrefecida tem origem num chiller e à saída da UTANN o ar é entregue a 20°C através de uma rede de condutas.

Foi caracterizado um chiller para a produção de água arrefecida, por imposição do programa, uma vez que este sé um parâmetro essencial na definição da UTANN. O chiller funciona num regime de $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$.

Sistema Cozinha

Para a cozinha foi definido um sistema independente, a volume de ar constante, sem que com ele haja grande precisão na temperatura interior do espaço. Ou seja, pretende-se

garantir o conforto dos seus utentes, mas dada a actividade praticada (o serviço é de catering) e a dimensão do espaço, não se justifica despende tanta energia para assegurar as temperaturas usuais de conforto.

4.4. INTRODUÇÃO AO SOLTERM

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal.

A análise de desempenho de um sistema solar é feita no SolTerm através de simulação energética sob condições quasi-estacionárias: isto é, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos (5 minutos), durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema.

O SolTerm foi constituído como referência para cálculo de incentivos governamentais à energia solar e actualmente é o programa utilizado na contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios, no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios.

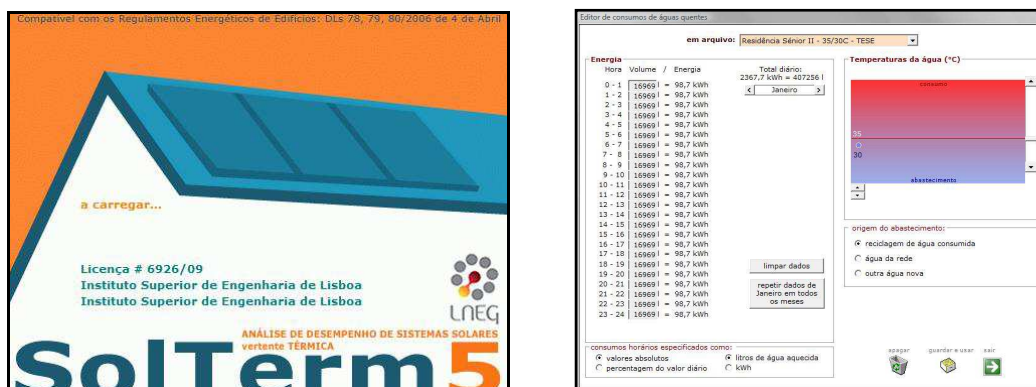


Imagem 14 | Vista geral do SolTerm

4.5. VARIÁVEIS SOLICITADAS NO SOLTERM

4.5.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O dados utilizados que definem o Clima a ser aplicado à análise energética do sistema solar a testar, são os que estão pré-definidos pelo programa e especificamente compatibilizados com as exigências do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, tal como especificado nos Decretos-Lei n.ºs. 78, 79 e 80 / 2006 de 4 de Abril. Ou seja, são utilizados os dados da série horária meteorológica TRY, tal como no programa HAP, mas os parâmetros utilizados são diferentes. No caso do SolTerm, a radiação contabilizada para o cálculo energético são a difusa e a directa horizontal, não entrando em linha de conta com o albedo.

A partir dos valores climatológicos mensais, constantes do ANEXO D.1, associados aos regulamentos energéticos para edifícios (Dec. Lei 78/79 e 80/2006 de 4 de Abril), apresentados na Tabela 7, resultam as Imagens 15 e 16 com a variação de temperatura exterior e de radiação sola, respectivamente.

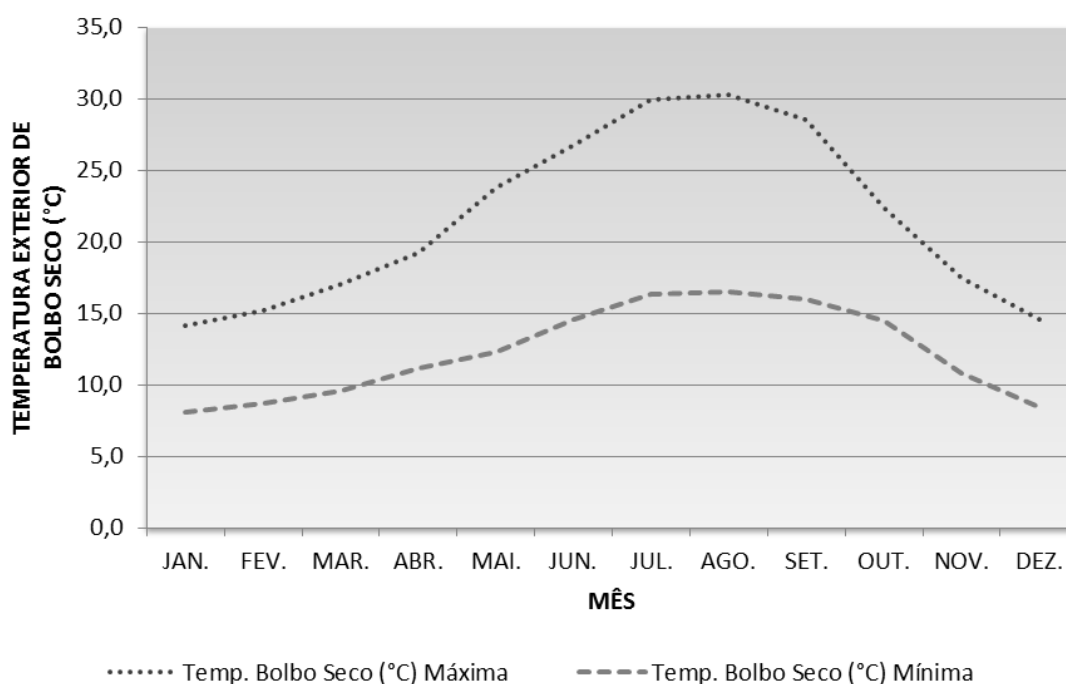


Imagem 15 | Variação anual de temperatura exterior, pelo SolTerm

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

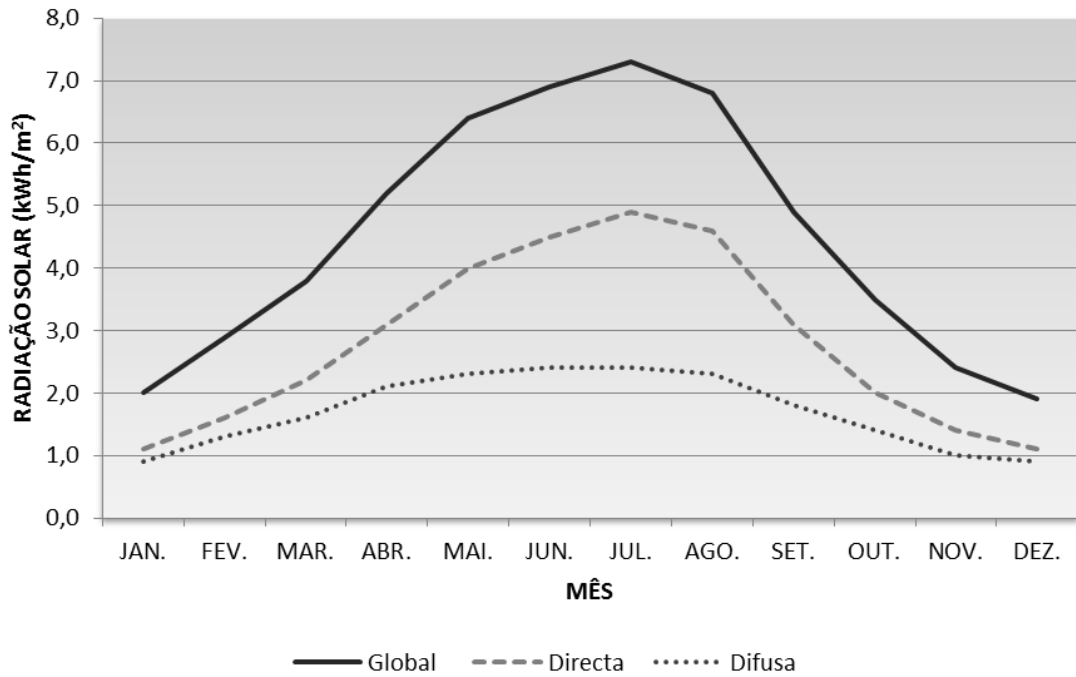


Imagem 16 | Variação anual de radiação solar pelo SolTerm

Tabela 7 | Valores climatológicos mensais associados ao SCE

	Radiação solar (kWh/m ²)			Temp. Bolbo Seco (°C)			HR (%)
	Global	Directa	Difusa	Máxima	Média	Mínima	
JAN.	2,0	1,1	0,9	14,1	10,6	8,1	81
FEV.	2,9	1,6	1,3	15,2	11,5	8,7	79
MAR.	3,8	2,2	1,6	17,0	12,8	9,6	76
ABR.	5,2	3,1	2,1	19,2	14,6	11,2	72
MAI.	6,4	4,0	2,3	23,8	17,3	12,3	71
JUN.	6,9	4,5	2,4	26,8	20,1	14,6	69
JUL.	7,3	4,9	2,4	29,9	22,3	16,3	66
AGO.	6,8	4,6	2,3	30,3	22,6	16,5	64
SET.	4,9	3,1	1,8	28,5	21,3	16,0	69
OUT.	3,5	2,0	1,4	22,4	17,8	14,5	74
NOV.	2,4	1,4	1,0	17,5	13,6	10,8	80
DEZ.	1,9	1,1	0,9	14,6	11,0	8,4	80

4.5.2. CARACTERIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema solar térmico definido no programa de cálculo SolTerm tem uma configuração básica, conforme Imagem 17, em que o circuito primário de uma bateria de colectores alimenta em energia um depósito, via permutador externo. Do depósito é retirada energia consoante as necessidades de utilização, segundo o perfil de consumo gerado pelo cálculo do HAP, que vai alimentar a UTANN e os ventilo-convectores num regime operativo de 80/60°C.

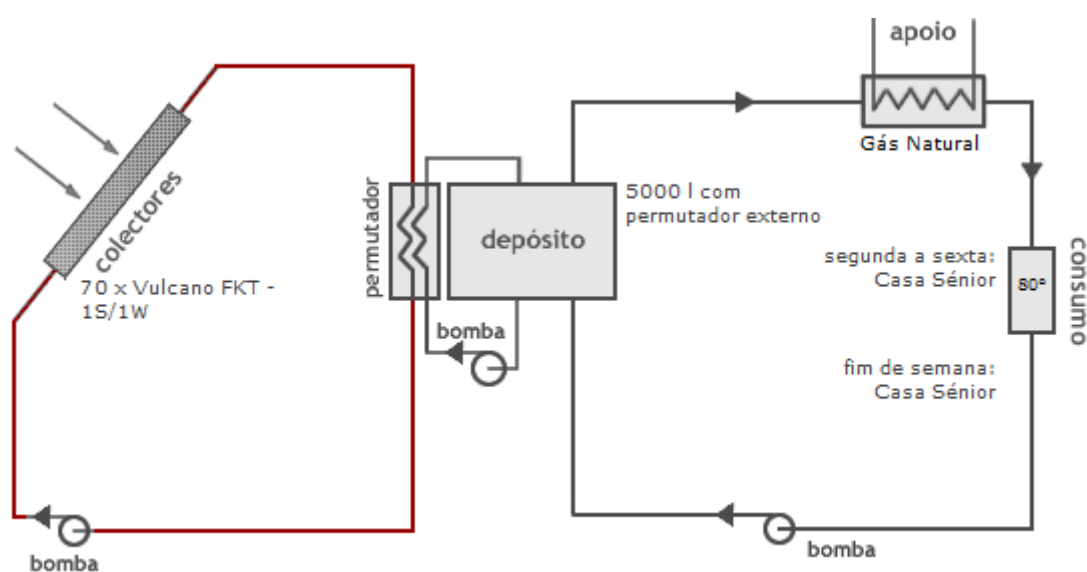


Imagem 17 | Esquema do sistema solar resultante do programa SolTerm

Seleccionados os colectores solares atrás definidos, do tipo plano selectivo, de uma qualquer marca, e tendo em conta a dimensão de cada unidade e a disponibilidade na cobertura, respeitando a distância necessária entre cada bateria de colectores, de forma a não provocar sombreamentos, foi determinado que o número máximo de colectores que seria possível instalar será 95.

Foram realizadas algumas experiências a fim de se verificar qual a orientação e inclinação mais favoráveis. Com a ajuda do programa na optimização destes parâmetros, foi definida a direcção sul com inclinação de 40° relativa ao plano horizontal, como a que promove um maior valor de energia fornecida pelo sol.

Um depósito com capacidade 5.000 litros encontra-se montado no interior do edifício e foi assumido um rendimento de 75% no permutador de calor exterior ao depósito - valor por defeito do programa para este tipo de permutador.

A energia de apoio ao solar é a caldeira a gás natural definida anteriormente para o caso convencional de produção de água aquecida, sendo esta dimensionada para o pico de necessidade de aquecimento.

4.6. CUSTOS

Para que a comparação e análise dos três sistemas descritos possa estar concluída, é necessário que todos estejam associados a um único factor transversal e palpável: o seu custo monetário e período de retorno.

Foi solicitado um orçamento para o equipamento, montagem e custos de manutenção, para cada um dos sistemas.

Tendo presente os tarifários de energia eléctrica e de gás natural, (Tabela 8), ainda em vigor, para a cidade de Lisboa, foram determinadas as tarifas fixas, iguais todos os meses ao longo de um ano, e as tarifas variáveis consoante o perfil de consumo. No caso da electricidade, visto tratar-se de um edifício de serviço com potência contratada superior a 41,4kVA, este está fortemente dependente do horário de consumo (horas de supervazio, vazio, ponta e carga), perfil (semanal) e período do ano (Inverno ou Verão).

Tabela 8 | Custos de energia primária

GÁS NATURAL, Lisboa Gás 2013
Tarifas de venda:
- Leitura mensal
- Consumo (Escalão 4) 1001-100000 m3/ano
- Termo tarifário fixo: 6,80 €/mês
- Energia: 0,0772 €/kWh

ENERGIA ELÉCTRICA, EDP 2013
Tarifa de venda a clientes finais em BTE
Tarifa de médias utilizações
Tarifa Fixa: 33,94 €/mês; 1,1162 €/dia
Energia activa
Períodos:
Ponta - 0,2613 €/kWh
Cheias - 0,1443 €/kWh
Vazio - 0,0994 €/kWh
Supervazio - 0,0894 €/kWh

A energia térmica, $kWh_{(t)}$, do consumo horário calculado no programa HAP é convertida em energia eléctrica $kWh_{(e)}$ e energia de gás natural $kWh_{(g)}$, dividindo o valor de consumo horário pelo COP ou rendimento do equipamento correspondente. A estes valores de energia, eléctrica e gás natural, é aplicada a respectiva tarifa, ficando determinado o custo variável, em kWh, de cada tipo de energia.

Perante todos os custos envolvidos em cada sistema, é possível determinar qual o mais rentável no presente caso de estudo através do período de retorno simples:

$$PRS = \text{Investimento } (\Delta\text{custo}) / \text{Poupança } (\Delta\text{consumo})$$

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo são apresentados os resultados de cada programa de cálculo, bem como análise dos mesmos, promovendo a comparação entre os sistemas de produção de água aquecida, para o aquecimento de conforto ambiente da Casa Sénior, através da análise de custos.

5.2. RESULTADOS HAP

Seguindo a metodologia de introdução de dados das variáveis solicitadas no programa HAP, caracterizada anteriormente no capítulo 4, pode-se obter um conjunto de resultados.

Pela via de cálculo *Design*, que analisa as condições de pico para a temperatura de projecto de inverno - 4°C, obteve-se como potência térmica máxima de aquecimento de 75kW térmicos. Conforme Imagem 18, comprovada pelo relatório em ANEXO C.2, o sistema de aquecimento deverá cobrir este valor de forma a garantir o conforto térmico em qualquer altura do ano, mesmo a mais extrema. Este valor representa apenas as perdas de calor pela envolvente.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

1. Plant Information:		
Plant Name	Central Quente	
Plant Type	Hot Water Boiler Plant	
Design Weather	Lisbon, Portugal	
2. Heating Plant Sizing Data:		
Maximum Plant Load	75,0	kW
Load occurs at	Winter Design	
W/m ²	90,9	W/m ²
Floor area served by plant	824,4	m ²
3. Coincident Air System Heating Loads for Winter Design		
		System Heating Coil Load (kW)
Air System Name	Mult.	
Sistema Cozinha	1	1,2
Sistema Geral	1	73,7

Imagem 18 | Relatório da capacidade de aquecimento do edifício, pelo HAP

Ainda pelo *Design* é possível obter os valores de aquecimento térmico a compensar em cada espaço, permitindo o correcto dimensionamento das unidades terminais ventiloconvectoras. Estas potências de aquecimento, que neutralizam as perdas térmicas pela envolvente, encontram-se nos ANEXOS C.3 e C.4.

Pela simulação horária anual do edifício, obtiveram-se os valores que figuram no relatório do ANEXO C.5 e que correspondem à energia térmica consumida a cada hora do ano. O programa também possibilita analisar as necessidades térmicas de aquecimento, de uma forma mais expedita e generalista, através dos valores médios mensais presentes no relatório em ANEXO C.6. Com base nesses valores foi construído o gráfico da Imagem 19, que representa a variação da carga térmica de aquecimento, ao longo de um ano, da Casa Sénior

Conforme explicado anteriormente, os valores obtidos pela simulação energética foram tratados numa folha de cálculo apenas para tornar a introdução dos consumos de aquecimento no SolTerm o mais correcta possível, de modo a obter-se a média de energia térmica consumida por cada hora do dia de um dia tipo de cada mês, ANEXO C7.

Conforme seria de esperar, as necessidades de aquecimento no Verão, do edifício em estudo, são muito pequenas face às necessidades térmicas de aquecimento no Inverno. No entanto, estas nunca chegam a ser nulas devido à imposição do ar novo neutralizado a 20°C e por o ficheiro climático que corre no programa considerar, na estação de

arrefecimento, temperaturas nocturnas muito baixas, tendo necessariamente que se contabilizar com o funcionamento da central de aquecimento nessa situação.

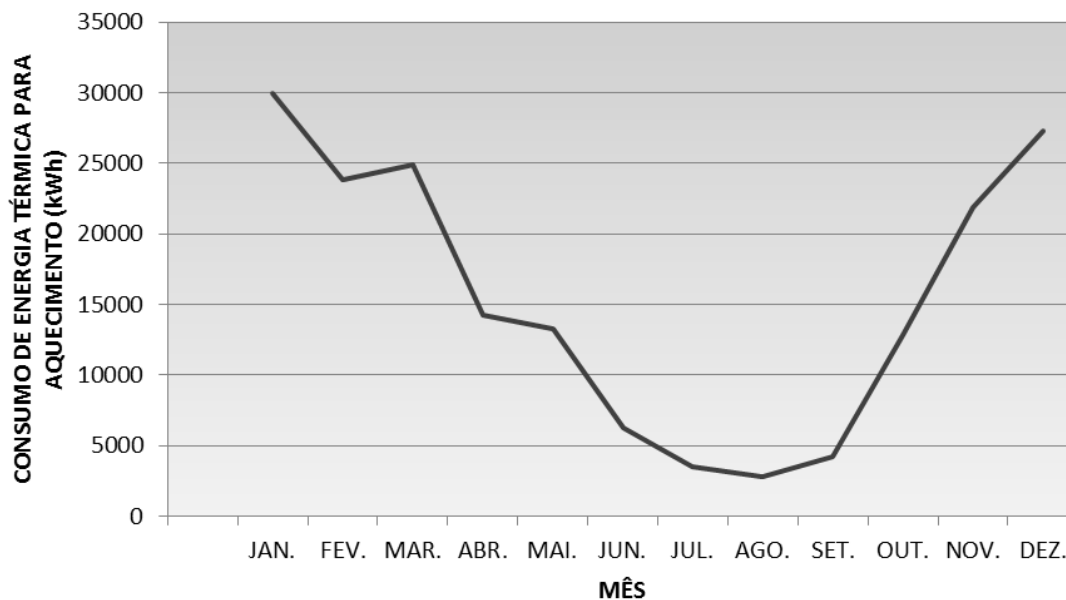


Imagem 19 | Variação do consumo de energia térmica em aquecimento ao longo de um ano

5.3. RESULTADOS SOLTERM

O programa SolTerm permite calcular a quantidade de energia mensal, e consecutivamente anual, fornecida pelo Sol, assim como a fracção solar para todos os concelhos de Portugal.

Para conseguir um bom pré-dimensionamento tem de se usar um processo iterativo, alternando sucessivamente entre simulação e afinamento dos detalhes do projecto. Inicia-se a simulação com a maior quantidade de colectores possíveis de se instalar, neste caso 95 colectores, e após análise energética dos valores obtidos vai-se diminuindo o número de colectores e ajustando a capacidade de acumulação de modo a obter-se um sistema o mais eficiente possível.

O programa indica quatro valores mensais relativos a balanços energéticos, para o estudo em causa:

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

- Fornecido (kWh) – energia fornecida pelo Sol. Trata-se de energia final útil, efectivamente entregue. Este valor é designado por E_{solar} nos Regulamentos Energéticos para Edifícios.

- Carga (kWh) – valor acumulado da energia solicitada para consumo, corresponde aos valores calculados previamente no HAP.

- Apoio (kWh) – energia entregue para consumo pelo sistema de apoio auxiliar (caldeira), para complementar a energia fornecida pelo sistema solar. Corresponde à diferença entre a carga e o fornecido pelo sol:

$$\text{Apoio} = \text{Carga} - \text{Fornecido} \text{ [kWh]}$$

- Desperdiçado (kWh) – energia que o sistema solar recolhe mas que tem de dissipar. O desperdício de energia recolhida surge sempre que se ultrapassem os limites de temperatura de armazenamento de água ou em situações em que o consumo é pequeno ou nulo. Este valor não corresponde às perdas térmicas em depósitos, tubagens, etc.

Ainda na análise do desempenho energético do sistema em estudo, o programa também indica três índices anuais que permitem ao utilizador perceber o seu comportamento

- Fração solar – relação entre a contribuição do sistema solar e o consumo solicitado (carga). Relação. Uma fracção solar anual de 0,5 ou 50%, significa que metade da energia térmica necessária para aquecimento da água é fornecida pelo Sol, a restante terá que ser dada por uma energia de apoio, que neste caso será a caldeira a gás.

$$\text{FS} = \text{Fornecido}/\text{Carga}$$

- Rendimento global anual do sistema – razão entre a energia de origem solar fornecida para consumo e a disponível à face dos colectores, em valores anuais. É uma medida da eficácia do sistema solar em transferir energia da radiação solar para a carga.

$$\text{Rendimento} = \text{Fornecido}/(\text{Rad.Inclin.} \times \text{área do painel})$$

- Produtividade – representa a energia de origem solar fornecida para o aquecimento por unidade de área dos colectores. Este índice, apesar de estar fortemente dependente dos detalhes de consumo e da unidade de área dos colectores, é útil na comparação de soluções para o mesmo sistema.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

$$\text{Produtividade} = \text{Fornecido} / \text{Área de colectores} [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{colector})]$$

Foi determinado um volume de armazenamento de 5000 l para o depósito de forma a minimizar a energia desperdiçada, quando o consumo é menor, e otimizar a fracção solar de 70 colectores. Pela observação da Imagem 20, a partir dos 5000 l de capacidade do depósito já não se apresentam benefícios significativos para o índice de fracção solar.

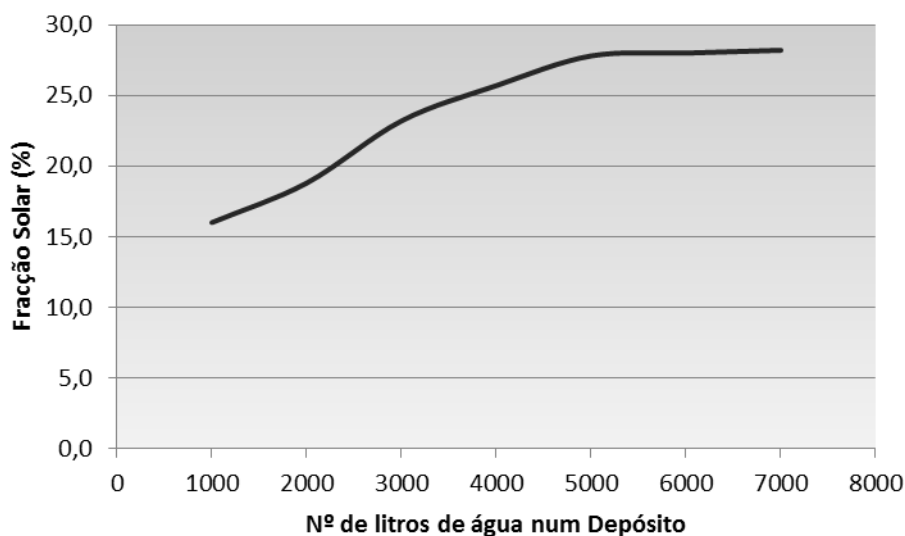


Imagem 20 | Variação de Fracção Solar em função da capacidade do depósito

A Tabela 9 apresenta os valores de simulação óptimos, por processo iterativo, do programa SolTerm para o desempenho energético do sistema solar em estudo, em valores mensais e anuais de energia fornecida, carga, energia de apoio e energia desperdiçada. Na Imagem 21, está representada graficamente a quantidade de energia mensal fornecida pelo sistema com apoio solar e a quantidade de energia requerida para o aquecimento térmico do edifício em estudo. Observa-se que a carga térmica necessária para o aquecimento da Casa Sénior é muito superior à quantidade de energia fornecida pelo sistema de apoio solar, tendo que recorrer à caldeira, todos os meses, para compensar o diferencial energético.

Pode-se ainda observar que a direcção e inclinação dos colectores solares foi otimizada de modo a obter melhores resultados em meses de maiores necessidades térmicas e não para os meses de Verão em que a radiação solar é maior.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Tabela 9 | Desempenho energético do sistema solar

MÊS	DESPERDIÇADO (kWh)	FORNECIDO (kWh)	CARGA (kWh)	APOIO (kWh)	FS
JAN.	0	3778	30008	26230	0,13
FEV.	0	4037	23828	19790	0,17
MAR.	35	5236	25017	19781	0,21
ABR.	29	5234	14310	9076	0,37
MAI.	70	5496	13175	7679	0,42
JUN.	16	4377	6390	2013	0,68
JUL.	28	3693	3844	151	0,96
AGO.	37	3003	3038	35	0,99
SET.	24	3777	4380	603	0,86
OUT.	33	4894	12803	7909	0,38
NOV.	0	4399	22020	17621	0,20
DEZ.	0	3736	27342	23606	0,14
TOTAL	272	51660	186155	134494	0,28

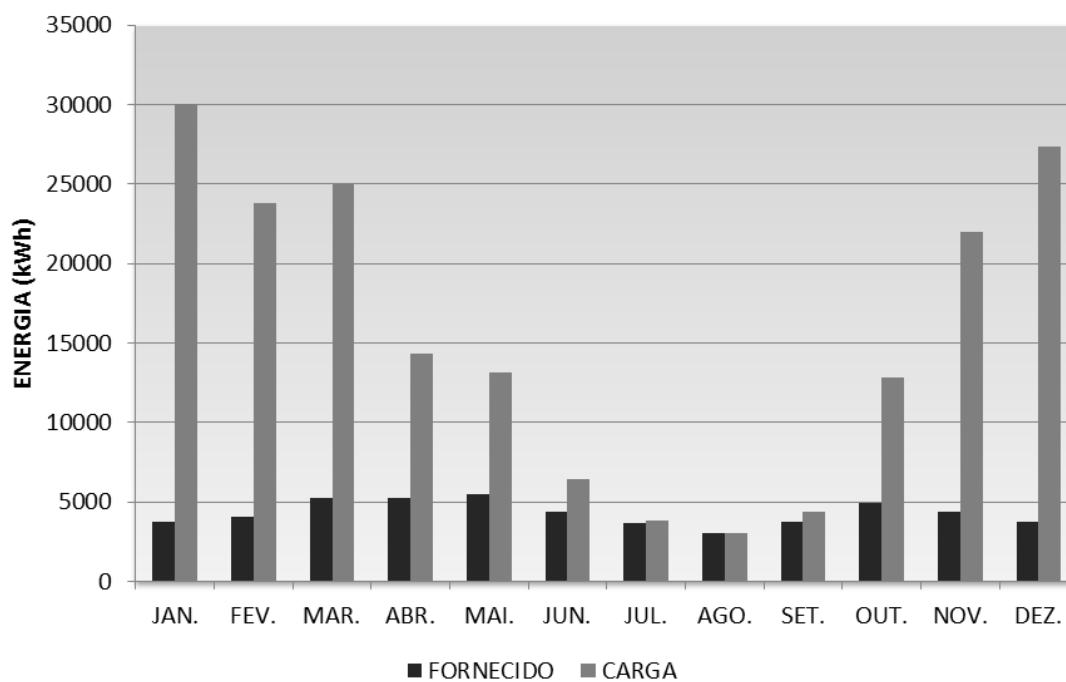


Imagem 21 | Energia fornecida pelo sol e energia necessária para o aquecimento ambiente

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Da análise energética sobre este sistema resultou uma fracção solar de 27,8%, um rendimento de 18% e uma produtividade de 328 kWh/m² de colector, conforme se apresenta no relatório do programa em ANEXO D.2.

5.4. ANÁLISE ECONÓMICA

Atendendo aos valores de energia térmica calculados pelos programas informáticos, e estando estes separados para os diferentes cenários de actuação, será possível proceder à análise económica e viabilidade de cada um dos sistemas, tendo presente os custos de energia primária da Tabela 8 e a folha de cálculo no ANEXO E.1, a eficiência dos diferentes equipamentos de produção de água aquecida e o custo associado a cada sistema apresentado na Tabela 10.

Não foram contabilizados os custos dos equipamentos comuns a todos os sistemas de produção, tais como UTANN, ventiloconvectores, depósito e tubagem de cobre entre depósito e unidades terminais, uma vez que o custo associado será igual.

Tabela 10 | Custo dos sistemas de produção

	TRADICIONAL CALDEIRA		TRADICIONAL BOMBA DE CALOR		SOLAR + CALDEIRA	
CUSTO EQUIPAMENTO	6.425,00	€	27.060,00	€	101861,00	€
CUSTO MONTAGEM (30% do equipamento)	1.928,00	€	8.118,00	€	30.558,00	€
CUSTO TOTAL DE EQUIPAMENTO	8.353,00	€	35.178,00	€	132.419,00	€
CUSTO ENERGIA ELÉCTRICA CONSUMIDA	-	€/ano	6.662,00	€/ano	-	€/ano
CUSTO GÁS NATURAL CONSUMIDO	14.366,00	€/ano	0	€/ano	10.464,48	€/ano
CUSTO TOTAL NO 1º ANO (∑ custo equipamento e custo energia consumida)	22.719,00	€	41.840,00	€	376656,00	€

Perante todos os custos envolvidos em cada sistema de aquecimento, é possível proceder à análise económica por comparação do período de retorno simples, ou seja, pela avaliação do tempo decorrido entre o investimento inicial do equipamento e o momento no qual a poupança energética iguala esse investimento, conforme Tabela 11.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Tabela 11 | Comparação de custos entre sistemas

	BOMBA DE CALOR FACE À CALDEIRA	SISTEMA SOLAR FACE À CALDEIRA	SISTEMA SOLAR FACE À BOMBA C.
DIFERENÇA DE CUSTO DE EQUIPAMENTO ENTRE SISTEMAS (€)	+ 26.826,00	+ 124.066,00	+ 97.241
DIFERENÇA DE CUSTO ENERGÉTICO ENTRE SISTEMAS (€)	- 7.705,00	- 3.902,00	+ 3.803
PERÍODO DE RETORNO SIMPLES (anos)	3,5	31,8	não tem retorno

O estudo mostra a viabilidade de instalação da bomba de calor, que apesar de ter um custo inicial muito superior à caldeira, tem um custo energético menor (mesmo sendo uma energia primária mais cara) uma vez que a eficiência do equipamento é maior. A bomba de calor custa 4 vezes mais que a caldeira e consegue obter uma poupança de 46% na factura energética anual.

Verifica-se também que o sistema solar caracterizado anteriormente, em que se tenta colmatar através da energia solar o máximo possível da carga térmica requerida pelo edifício, nunca é um bom investimento.

Perante o elevado tempo de retorno do sistema solar (31,8 anos face à caldeira e 25,6 anos face à bomba de calor), é proposta uma nova estratégia para a sua implementação. Numa tentativa de viabilizar o projecto solar terá de se baixar o custo de investimento inicial, que se reflecte numa diminuição do número de colectores solares, tubagem de cobre e outros acessórios, e na capacidade do depósito de acumulação.

Para um conjunto de 25 colectores solares planos selectivos e um depósito de acumulação de 3000 litros (justificado de modo igual ao estudo anterior e representado na Imagem 22), obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 12 e que se traduzem na Imagem 23.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

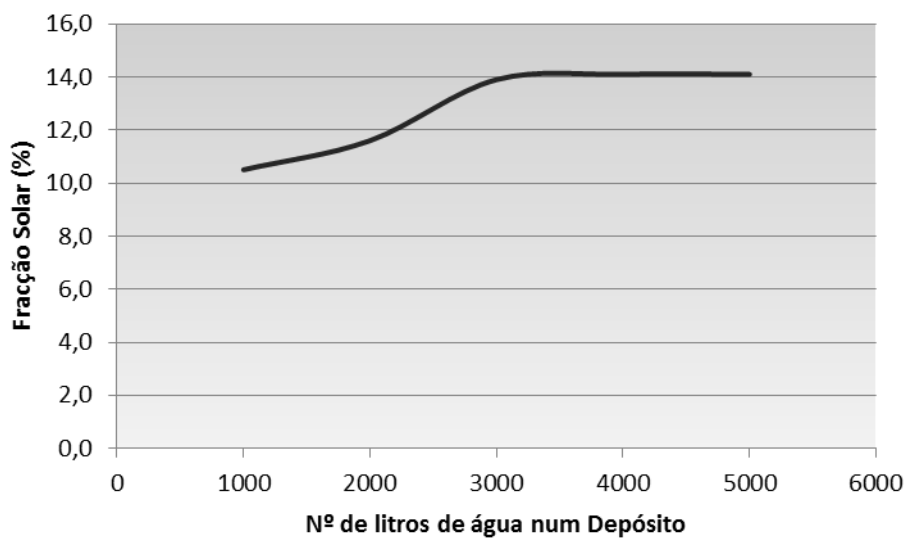


Imagem 22 | Variação de Fração Solar em função da capacidade do novo depósito

Tabela 12 | Novo desempenho energético do sistema solar

MÊS	DESPERDIÇADO (kWh)	FORNECIDO (kWh)	CARGA (kWh)	APOIO (kWh)	FS
JAN.	0	1359	30008	28648	0,05
FEV.	0	1522	23828	22305	0,06
MAR.	0	2181	25017	22836	0,09
ABR.	0	2367	14310	11943	0,17
MAI.	0	2798	13175	10377	0,21
JUN.	1	2487	6390	3903	0,39
JUL.	5	2814	3844	1030	0,73
AGO.	12	2658	3038	380	0,87
SET.	5	2524	4380	1856	0,58
OUT.	0	2220	12803	10583	0,17
NOV.	0	1666	22020	20354	0,08
DEZ.	0	1336	27342	26005	0,05
TOTAL	23	25932	186155	160220	0,14

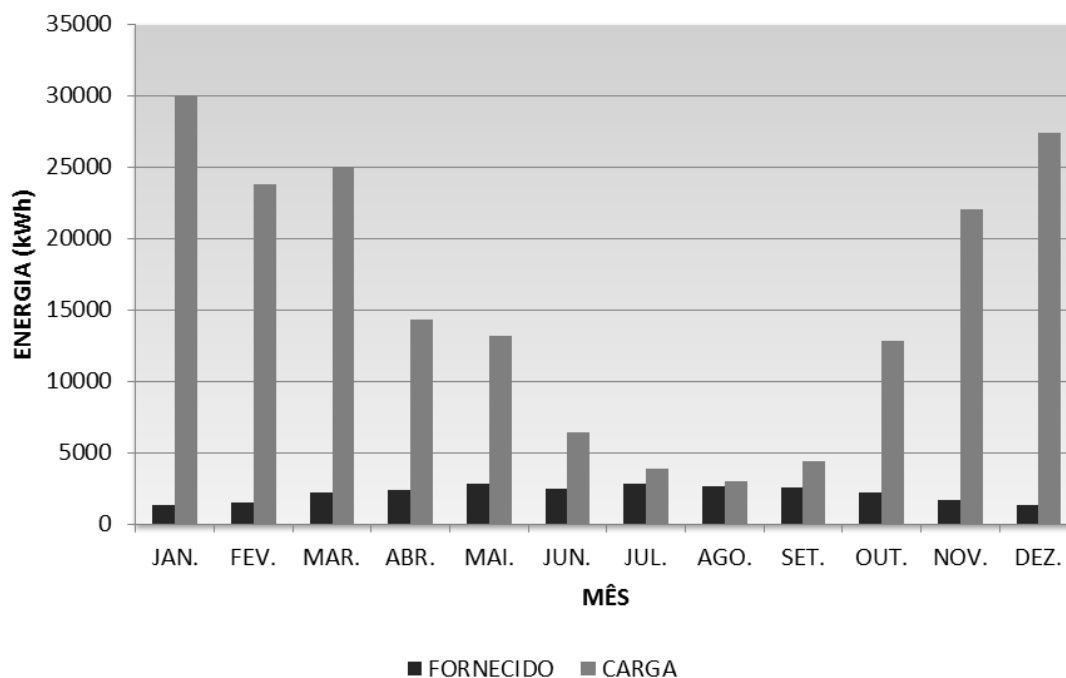


Imagem 23 | Energia fornecida por 25 colectores e energia necessária para o aquecimento ambiente

Da análise energética sobre este novo sistema resultou uma fracção solar de 13,9%, um rendimento de 25% e uma produtividade de 460 kWh/m² de colector, conforme se apresenta no relatório do programa em ANEXO D.3.

Conforme seria de esperar, o valor de fracção solar diminui face à drástica redução do número de colectores e consequente redução da energia fornecida pelo sol. A Imagem 24 representa a variação de energia fornecida por 70 e 25 colectores solares. O facto da energia fornecida não variar de igual forma nos dois casos, deve-se a um menor desperdício de energia para o caso da aplicação de um sistema com 25 colectores.

Rectificando os custos de equipamento e consumos energéticos, ANEXO E.2, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 13, e que conduziram a um novo período de retorno simples, Tabela 14.

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

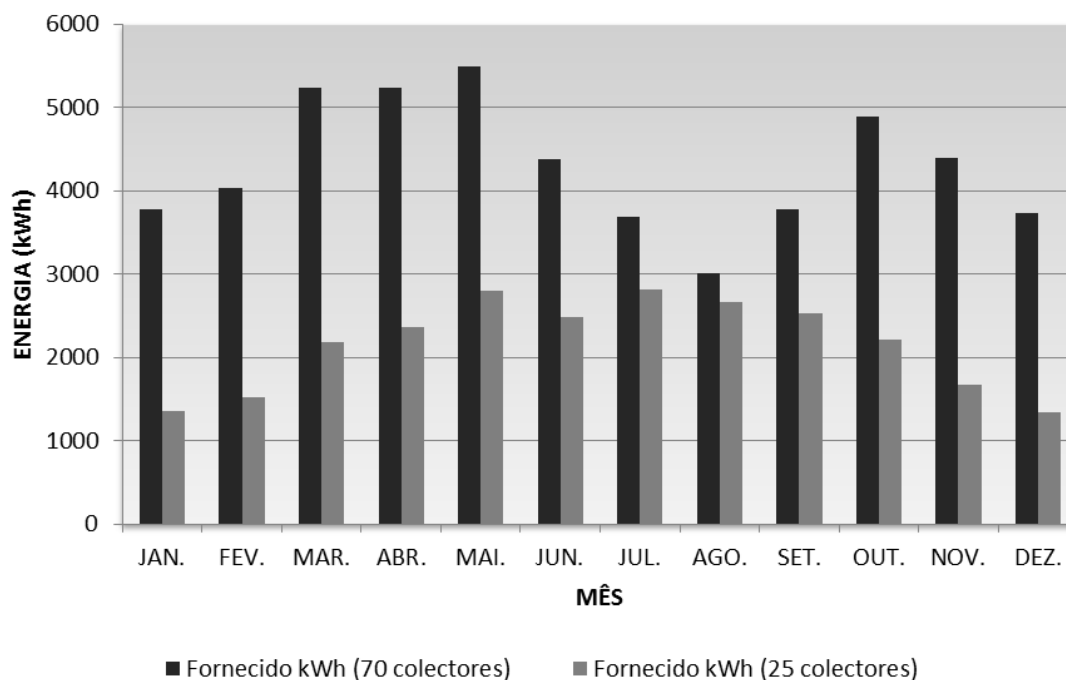


Imagem 24 | Energia fornecida por 70 e 25 coletores

Tabela 13 | Custo dos sistemas de produção para o no sistema de aquecimento solar

	TRADICIONAL CALDEIRA		TRADICIONAL BOMBA DE CALOR		SOLAR + CALDEIRA	
CUSTO EQUIPAMENTO	6.425,00	€	27.060,00	€	45.077,00	€
CUSTO MONTAGEM (30% do equipamento)	1.928,00	€	8.118,00	€	13.523,10	€
CUSTO TOTAL DE EQUIPAMENTO	8.353,00	€	35.178,00	€	58.600,00	€
CUSTO ENERGIA ELÉCTRICA CONSUMIDA	0	€/ano	6.662,00	€/ano	0	€/ano
CUSTO GÁS NATURAL CONSUMIDO	14.366,00	€/ano	0	€/ano	12.451	€/ano
CUSTO TOTAL NO 1º ANO (∑ custo equipamento e custo energia consumida)	22.719,00	€	41.840,00	€	71.051,00	€

Estudo comparativo de sistemas em aquecimento

Tabela 14 | Nova comparação de custos entre sistemas

	BOMBA DE CALOR FACE À CALDEIRA	SISTEMA SOLAR FACE À CALDEIRA	BOMBA DE C. FACE AO SOLAR
DIFERENÇA DE CUSTO DE EQUIPAMENTO ENTRE SISTEMAS (€)	+ 26.826,00	+ 50.248,00	+ 23.422
DIFERENÇA DE CUSTO ENERGÉTICO ENTRE SISTEMAS (€)	- 7.705,00	- 1.916,00	+ 5.789
PERÍODO DE RETORNO SIMPLES (anos)	3,5	26,2	não tem retorno

O novo estudo mostra que o período de retorno do sistema solar face ao sistema de aquecimento por caldeira tradicional passa de 31,8 anos, com 70 colectores, para 26,2 anos, com 25 colectores. Este facto acontece devido à fraca poupança na factura de gás natural, € 1.916,00, pois o sistema de apoio do caso de estudo solar acaba por estar quase sempre em funcionamento e a diferença de custo de equipamento continua a ser muito elevada (€ 50.248,00).

Também é possível verificar que período de retorno do sistema solar face ao sistema de aquecimento por bomba de calor não tem retorno, visto que o equipamento solar é mais caro e tem uma factura energética com o dobro do valor da bomba de calor.

6. CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu determinar a rentabilidade e viabilidade de aplicação de sistemas convencionais, como a caldeira a gás e a bomba de calor, e sistemas solar térmicos aplicados ao aquecimento de ar para conforto de um edifício de serviços com permanente ocupação.

Pela análise comparativa dos três sistemas em estudo é possível concluir que, para esta Casa Sénior, com uma potência de aquecimento instalada de 75kW, não é recomendável a instalação de um sistema solar térmico para apoio do aquecimento ambiente. O sistema solar térmico só começa a rentabilizar o seu investimento inicial ao fim de 32 anos, quando comparado com a caldeira tradicional, no caso da instalação de 70 colectores. Para o caso de 25 colectores instalados, o sistema solar térmico rentabiliza o investimento inicial face à caldeira ao fim de 26 anos. Em ambos os casos é ultrapassado o tempo de vida útil destes equipamentos, que geralmente ronda os 20 anos.

O sistema solar térmico quando comparado com a instalação de aquecimento por bomba de calor, independentemente de serem 70 ou 25 colectores, nunca tem retorno visto o custo de investimento inicial ser muito elevado e o custo energético ser superior ao da bomba de calor. Visto que o sistema solar em estudo está associado a uma caldeira a gás, cujo custo de energia primária é inferior ao da electricidade, o consumo energético apresenta-se superior ao da bomba de calor uma vez que o rendimento da caldeira é de 87% e a bomba de calor tem um coeficiente de performance de 4.

Ainda analisando os resultados, conclui-se que ao fim de três anos e meio o custo de investimento inicial da bomba de calor, quando comparado com o da caldeira, é liquidado através do que seria a poupança na factura energética anual. É portanto viável

e recomendável a instalação de uma bomba de calor para cobrir todas as necessidades de aquecimento térmico requeridas por este edifício.

6.1. TRABALHOS FUTUROS

De futuro, seria proveitoso estudar a viabilidade de aplicação de sistemas solares para o caso de um edifício de serviços (escritórios), que tem um perfil de consumo virado para as horas de maior rentabilidade solar, pois de noite não existe ocupação, mas que no Verão não tem necessidades de aquecimento.

Também o estudo de um edifício semelhante ao anterior, seria interessante de ser analisado, se voltado para o arrefecimento solar através de um chiller de adsorção, que permite utilizar uma fonte de calor a baixa temperatura e ser utilizado em sistemas solares térmicos, o que, combinado com o aquecimento ambiente no inverno, tornam estas aplicações muito interessantes, quer do ponto de vista ambiental com a redução de consumo de energia primária, quer do ponto de vista económico, com a rentabilização total do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE – Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, ADENE, versão 2.0 - Maio 2011

AGUIAR, RICARDO, COELHO, RICARDO ENCARNAÇÃO. - Manual SolTerm versão 5.1. – INETI, 2010

ASHRAE – HVAC Fundamentals Handbook, ASHRAE, USA, 2009

CIBSE – Heating, ventilating, air conditioning and refrigeration, CIBSE guide B, 2005

Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A. – Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw-Hill

Decreto-Lei N°78/06 – Certificação Energética de Edifícios, 4 de Abril de 2006

Decreto-Lei N°79/06 – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), 4 de Abril de 2006

Decreto-Lei N°80/06 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de Abril de 2006

Directiva 2002/91/UE do Parlamento Europeu e do Conselho - Desempenho energético dos edifícios, 16 de Dezembro de 2002

Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho - Desempenho energético dos edifícios (reformulação), 19 de Maio de 2010

EN 15251:2007 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Maio de 2007

Energia Solar Térmica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação, 2004

G. MARTINS, C. LISBOA, J. V. FRADE - Energia Solar Térmica. Uma contribuição para a melhoria do RCCTE – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – 2009

J. Casimiro Mendes, M. Rita Guerreiro, Pina dos Santos, J. Vasconcelos Paiva - Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-dias – LNEC, 1995

PEREZ LEBEÑA E., CRUZ COSTA J. - Conversão Térmica da Energia Solar - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação – 2008

SANTOS, P.; MATIAS, L. – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – Versão Actualizada 2006, ITE 50, LNEC, Lisboa, 2006

ANEXOS (disponível em versão digital)

Lista de Anexos:

ANEXO A – Plantas de Arquitectura

ANEXO B – Caracterização do edifício

B.1 – Caudais de ar novo adoptados

B.2 – Distribuição de ar, equipamentos e iluminação

B.3 – Definição de iluminação e equipamentos

ANEXO C – Resultados HAP

C.1 – Dados climáticos horários de Lisboa

C.2 – Potência de aquecimento

C.3 – Necessidades térmicas – Sistema Geral

C.4 – Necessidades térmicas – Sistema Cozinha

C.5 – Simulação horária anual – Central Quente

C.6 – Simulação mensal – Central Quente

C.7 – Consumo de energia térmica horária

ANEXO D – Resultados SolTerm

D.1 – Climatologia

D.2 – Relatório do sistema de apoio solar

D.3 – Relatório do sistema de apoio solar optimizado

ANEXO E – Custos de exploração

E.1 – Custos de exploração, com 70 colectores

E.2 – Custos de exploração, com 25 colectores