



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Caracterização energética e estudo de medidas para um Hotel nZEB. Avaliação do desempenho do sistema de AQS.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Raúl Alves Mota

Orientadores

Adélio Manuel Rodrigues Gaspar (DEM-FCTUC)

António Mexia Santos (Hotel TRYP Coimbra)

Júri

Presidente	Professor Doutor José Joaquim da Costa Professor da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo Professor da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar Professor da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Hotel TRYP Coimbra

Coimbra, Julho, 2015

Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar, pela disponibilidade e polos esclarecimentos prestados na realização da tese.

Quero agradecer também ao Hotel TRYP Coimbra, pela autorização à realização deste trabalho, bem como ao Dr. António Larisch Mexia Santos e ao Sr. Luís Cunha por toda a disponibilidade e ajuda no estudo do sistema e equipamentos abordados.

Deixo igualmente uma palavra de apreço a todos os docentes, funcionários e alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra.

Aos meus colegas e amigos feitos durante o percurso académico, que me acompanharam, partilhando comigo várias histórias que ficarão guardadas para a vida.

À minha família, em particular aos meus pais e à minha irmã, por todos os princípios de vida inculcados que me fizeram crescer e tornar na pessoa que sou hoje, permitindo-me ter chegado até aqui.

À minha namorada, pelo carinho, pelo incentivo e por nunca deixar de acreditar em mim.

RESUMO

No contexto atual em que a eficiência energética dos edifícios é um tópico de importância crescente, a caracterização adequada das formas de uso de energia nos hotéis é fundamental para se conseguir uma crescente utilização racional da energia.

O conforto proporcionado pelas unidades hoteleiras é essencial para o seu desenvolvimento. Como tal, a hotelaria é um sector onde o uso da energia tem especial relevo nos custos totais da atividade.

Neste contexto, as ferramentas de simulação computacional disponíveis, como o TRNSYS têm grandes potencialidades associadas e podem assumir um papel relevante na avaliação e otimização do desempenho energético de edifícios.

O presente trabalho tem como objetivo a realização de uma análise ao comportamento do sistema de AQS do Hotel TRYP Coimbra, recorrendo ao TRNSYS. Decidiu-se focar o estudo no sistema de AQS, dado que é um dos sistemas que impõe um consumo de energia apreciável, e que, neste caso de estudo apresentava algumas dificuldades ao nível da otimização de funcionamento.

Na análise do sistema de AQS estudaram-se, mais concretamente, algumas medidas de possível melhoria do sistema, tais como a alteração dos *setpoints* dos depósitos, dos coletores solares térmicos e das caldeiras, de forma a racionalizar os consumos de energia e potenciar ao máximo a utilização de energia renovável (coletores solares térmicos).

Os resultados das simulações das diversas possibilidades de melhoria definidas, mostraram que é expectável conseguirem-se poupanças de energia de cerca de 19%.

Palavras-chave: Água quente sanitária, coletores solares térmicos, TRNSYS, simulação energética de edifícios, eficiência energética.

ABSTRACT

In the current context, in which the energy efficiency of buildings is a topic of growing importance, the proper characterization of the forms of energy use in hotels is critical to achieve an increasing rational use of energy.

The comfort provided by the hotel units is essential for their development. As such, the hotels are a sector where energy use has special importance in the total costs of the activity.

In this context, the computer simulation tools available, such as TRNSYS have great potential associated and can play a relevant role in the evaluation and optimization of the energy performance of buildings.

This paper aims to conduct an analysis of the behavior of the water heating system present in Hotel Tryp Coimbra, using the TRNSYS. It was decided to focus the study on the water heating system, since it is one of the systems that requires a considerable energy consumption, and in this case study presented some difficulties with operation optimization.

In the analysis of water heating system were studied, specifically, some measures that can improve the system, such as changing the setpoints of the deposits, solar thermal collectors and the boiler in order to rationalize energy consumption and enhance the most the use of renewable energy (solar thermal collectors).

The simulation results of the various defined possibilities of improvement, have shown that it is expected to achieve energy savings of about 19%.

Keywords Water heating, solar thermal collectors, TRNSYS, energetic simulation of buildings, energy efficiency

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas.....	viii
Simbologia e Siglas.....	ix
Simbologia	ix
Siglas.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura.....	3
2. ESTADO DA ARTE.....	4
2.1. Unidades hoteleiras.....	4
2.2. Produção de água quente sanitária.....	5
2.3. Sistemas solares térmicos	6
2.3.1. Coletores solares.....	9
2.3.2. Acumulação e permuta de calor	12
2.3.3. Outros componentes do sistema de AQS	14
2.3.4. Regulação e controlo	16
2.4. Tratamento anti-bacteriano	17
2.5. Simulação energética de sistemas térmicos	18
3. CASO EM ESTUDO	20
3.1. Descrição do edifício	20
3.2. Sistemas e uso de energia	20
3.3. Sistema de preparação de AQS.....	21
3.4. Modelo de simulação do sistema produção de AQS	27
3.5. Condições atuais e alterações a realizar.....	28

4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	30
5.	CONCLUSÃO	40
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Desagregação dos consumos energéticos, de unidades hoteleiras portuguesas de 4 e 5 estrelas por utilização final (DGEG, 2002)	2
Figura 2.1. Sistema de distribuição de AQS por recirculação em anel (Plumbingproducts, 2015).....	6
Figura 2.2. Sistema por termossifão (Vulcano, 2013).....	7
Figura 2.3. Sistema por circulação forçada (Vulcano, 2013)	7
Figura 2.4. Acumulação centralizada (Vulcano, 2013).....	8
Figura 2.5. Acumulação distribuída (Vulcano, 2013)	8
Figura 2.6. Componentes do coletor solar térmico (Vulcano, 2013)	9
Figura 2.7. Coletor de tubos de vácuo (SolarPanelPlus, 2014).....	10
Figura 2.8. Concentrador parabólico composto (PSA, 2013).....	11
Figura 2.9. Depósito de AQS (TISST, 2015)	12
Figura 2.10. Permutador de serpentina (TISST, 2015).....	13
Figura 2.11. Permutador de camisa (TISST, 2015).....	13
Figura 2.12. Permutador de placas (TISST, 2015).....	13
Figura 2.13. Balanço energético no permutador de calor (Wang, et al., 2015).....	13
Figura 2.14. Tubagens e ligações (TISST, 2015).....	14
Figura 2.15. Bomba circuladora (Grundfos, 2013)	15
Figura 2.16. Ponto de funcionamento da bomba (Loureiro, 2008)	15
Figura 2.17. Vaso de expansão (Solaire Thermique, 2010)	16

Figura 2.18. Dispositivo de dióxido de cloro (Grundfos, 2013)	18
Figura 3.1. Desagregação de consumos do Hotel TRYP Coimbra (Gaspar, et al., 2011)...	21
Figura 3.2. Campo de coletores solares	22
Figura 3.3. Dados de consumo ao longo das horas	22
Figura 3.4. Esquema de princípio do sistema de AQS do Hotel TRYP Coimbra	24
Figura 3.5. Sistema de tratamento de água	27
Figura 3.6. Modelo de simulação do sistema de AQS e sistema solar	27
Figura 4.1. Temperatura prevista dos três depósitos de AQS no ensaio base	30
Figura 4.2. Temperatura no depósito 3 em função da variação do <i>setpoint</i> das caldeiras ..	34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Componentes principais do sistema de AQS.....	24
Tabela 3.2. Medidas de possível melhoria e condições atuais do sistema	29
Tabela 4.1. Energia total para preparação de AQS em função da estratégia do retorno do anel de recirculação	31
Tabela 4.2 Energia total para preparação de AQS em função da disposição dos permutadores	33
Tabela 4.3 Energia total para preparação de AQS em função do <i>setpoint</i> das caldeiras.....	33
Tabela 4.4 Energia total para preparação de AQS em função dos <i>setpoints</i> dos depósitos 1 e 2	34
Tabela 4.5 Energia total para preparação de AQS em função dos <i>setpoints</i> dos coletores .	35
Tabela 4.6 Energia total para preparação de AQS em função dos volumes dos depósitos .	36
Tabela 4.7 Energia total para preparação de AQS em função da área dos painéis solares .	36
Tabela 4.8 Energia total para preparação de AQS em função da implementação do equipamento de dióxido de cloro	37
Tabela 4.9 Energia total para preparação de AQS no ano de 2014.....	38
Tabela 4.10 Energia total para preparação de AQS tendo em conta todas as alterações positivas	39

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

A – Área do coletor [m^2]

a – Coeficiente de transferência de calor [W/m^2K]

a_1 – Coeficiente linear de transferência de calor [W/m^2K]

a_2 – Coeficiente quadrático de transferência de calor [W/m^2K]

cp – Calor específico [J/kgK]

F_R – Fator de perda térmica do coletor

F'_R – Fator de perda térmica do permutador

G_{\perp} – Radiação incidente no coletor [W/m^2]

$k(\theta)$ – Modificador do ângulo incidente

$Q_{perdas,cond}$ – Perdas por condução [W]

$Q_{perdas,conv}$ – Perdas por convecção [W]

$Q_{perdas,ót}$ – Perdas óticas [W]

$Q_{perdas,rad}$ – Perdas por radiação [W]

$Q_{útil}$ – Fluxo de energia útil [W]

T – Temperatura [$^{\circ}C$]

ε – Eficácia do permutador [-]

τ – Transmitância [-]

α – Absortividade [-]

η – Rendimento o coletor [-]

η_0 – Eficiência ótica [-]

Siglas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Água quente sanitária

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CPC – Concentrador parabólico composto

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DGS – Direção-Geral da Saúde

GEE – Gases com efeito de estufa

UTA – Unidade de tratamento de ar

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A energia é um recurso imprescindível para o conforto humano, bem como para o desenvolvimento económico e social das populações. Contudo, a utilização de energia, caso provenha de uma fonte não renovável, gera sempre impactos negativos sobre o ambiente.

Uma das consequências mais preocupantes resultante do atual consumo de energia é o aumento do efeito de estufa com origem nas elevadas emissões de gases poluentes para a atmosfera. Os efeitos negativos das emissões são cada vez mais visíveis a nível das alterações climáticas globais e regionais.

Atualmente, a satisfação das necessidades energéticas do mundo ainda assenta fundamentalmente no uso dos combustíveis fósseis. Contudo com o aumento das necessidades e a escassez das reservas deste recurso é imprescindível adotar um novo modelo com base na eficiência energética e na expansão das energias renováveis (EDP, 2011).

Uma das atividades que mais contribui para o desenvolvimento económico dos países é o turismo que se expandiu após a 2ª Guerra Mundial, maioritariamente nos países em desenvolvimento. Desde essa altura, o turismo tem crescido à escala mundial movido pelo investimento e pelo aumento da circulação de pessoas, o qual desenvolve as sociedades e as economias locais. Porém, esta expansão do turismo também tem consequências negativas para o ambiente, nomeadamente no que diz respeito ao consumo de energia (Costa, 2012).

A evolução recente do ramo informático, e potencialidades associadas permitiu o desenvolvimento de uma nova área de avaliação do comportamento térmico de edifícios, onde a realização de simulações computacionais em ferramentas específicas permite uma

análise crítica das soluções elaboradas e respetivo desempenho energético dos edifícios. Devido à capacidade de processamentos em simultâneo, as ferramentas informáticas possibilitam a análise dos fenómenos em regime dinâmico, nas quais se efetuam interações contínuas entre o interior da habitação e a envolvente ambiental exterior ao longo do período de análise.

Diversas ferramentas computacionais são utilizadas na avaliação e otimização do comportamento energético dos edifícios e dos sistemas energéticos, tais como o Energy Plus, o TRNSYS, o Energy-10, entre outros. Selecionou-se para a elaboração deste projeto o TRNSYS como instrumento de simulação, com base nas boas referências internacionais e projetos elaborados.

Na literatura encontram-se definidos vários parâmetros para avaliar a desagregação de consumos energéticos em função da utilização final. Com o objetivo de obter um conjunto de dados que caracterizassem o setor a nível energético, a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia) realizou um estudo no qual agregou as unidades hoteleiras com um número de quartos superior a 100, das categorias 4 e 5 estrelas, localizadas no Continente, Região Autónoma dos Açores e Região Autónoma da Madeira (Figura 1.1). Neste estudo concluiu-se que a utilização final de energia com valores mais elevados de consumo de energia é correspondente aos sistemas de aquecimento e cozinha, sendo que o sistema de AQS corresponde a 14% dos gastos (DGEG, 2002).

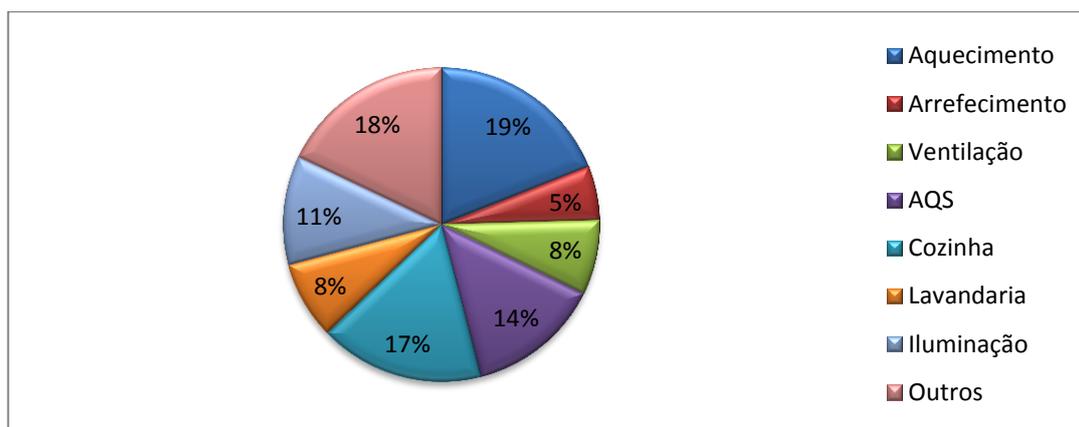


Figura 1.1. Desagregação dos consumos energéticos, de unidades hoteleiras portuguesas de 4 e 5 estrelas por utilização final (DGEG, 2002)

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo, avaliação e otimização do desempenho energético do sistema de preparação de AQS, do Hotel TRYP Coimbra, recorrendo ao programa de simulação energética TRNSYS.

Enquadrado neste objetivo principal, definiram-se ainda os seguintes objetivos específicos:

1. Avaliação do desempenho energético do sistema de preparação de AQS em função de alterações de configuração e estratégias de controlo.
2. Estudo da viabilidade económica de um sistema de tratamento de Legionella por dióxido de cloro.

1.3. Estrutura

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo feita neste primeiro capítulo a apresentação do tema. No segundo capítulo são apresentadas as informações teóricas relativas ao tema do trabalho, tais como sistemas de AQS e os seus componentes. No terceiro capítulo descreve-se o caso de estudo, as condições iniciais assumidas e as medidas de melhoria adotadas. No quarto capítulo estão presentes os cálculos realizados, a análise e a discussão dos resultados. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado, as possíveis medidas a implementar no hotel e propostas de trabalho futuro.

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentada uma resenha bibliográfica sobre o tema e metodologias usadas neste trabalho, nomeadamente no que diz respeito a estudos semelhantes realizados.

2.1. Unidades hoteleiras

A eficiência energética de edifícios, especificamente edifícios hoteleiros, está dependente de vários fatores, desde as características de construção, passando pela utilização de meios naturais para ventilação, aproveitamento da radiação solar, até às tecnologias utilizadas para aquecimento, arrefecimento e preparação de água quente sanitária (AQS). É a gestão conjugada e eficiente de todos estes aspetos que permite reduzir os custos de energia associados.

As necessidades energéticas relativas à climatização, à AQS e à iluminação de um estabelecimento hoteleiro dependem sempre do comportamento dos utilizadores, grau de exigência, das características físicas do próprio edifício, nomeadamente da sua envolvente, arquitetura, tipologia e localização, e da eficiência energética dos equipamentos tecnológicos utilizados.

Na generalidade existe um grande potencial de poupança de energia em hotéis, porque existem procedimentos estabelecidos que promovem desperdício de energia. Por exemplo, é prática frequente nos hotéis ser dado aos hóspedes o controlo total sobre as configurações do termostato e das unidades de ar condicionado individual, deixando ao critério de cada um a preocupação com a conservação de energia. Porém as janelas e as portas são, muitas vezes abertas juntamente com a operação do arrefecimento ou do aquecimento. Verifica-se ainda que muitos quartos alugados permanecem desocupados por longos períodos de tempo, cerca de 60 - 65 % do dia, permanecendo os sistemas de climatização em execução ou em modo stand-by.

Assim, de modo a tornar um hotel energeticamente eficiente é necessário conjugar as necessidades dos clientes com as características arquitetónicas do edifício, o que implica que sejam tomadas medidas para este efeito desde a raiz do projeto, ou seja, desde a construção do edifício. No caso de estabelecimentos hoteleiros já existentes é necessário fazer uma avaliação das suas características de modo a definir linhas de ação para uma melhoria significativa tanto a nível ambiental como nos custos (HotelEnergySolutions, 2011).

2.2. Produção de água quente sanitária

Um sistema de preparação de água quente sanitária (AQS) tem como finalidade o aquecimento de águas sanitárias (águas para banhos, higiene e cozinha). Pode-se diferenciar os sistemas de preparação AQS em sistemas instantâneos (com esquentadores a gás ou elétricos e caldeiras), e sistemas de acumulação (com um depósito acumulador de água quente).

Os sistemas instantâneos, devido ao facto dos aparelhos utilizados não funcionarem em contínuo, trazem algumas desvantagens como, o elevado desperdício de energia e água para se obter a temperatura desejada no ponto de consumo. Além do mais, são sistemas com maior limitação no débito de água quente e, assim, mais limitados no número de pontos que conseguem abastecer em simultâneo.

Nos sistemas de acumulação a água é aquecida e armazenada para uso posterior num tanque acumulador isolado. Este tipo de sistemas tem a vantagem de trabalhar em contínuo, ao contrário dos sistemas instantâneos, tornando-o mais eficiente e permitindo que a utilização da água quente seja feita em simultâneo, num número superior de pontos de consumo do edifício.

Pode-se ainda distinguir os sistemas de distribuição de AQS em dois tipos, com ou sem recirculação. No conceito básico da recirculação (estrutura em anel) a água quente circula entre o depósito e os pontos de consumo (Figura 2.1), com o objetivo de se diminuir o tempo de espera de chegada de água quente e, conseqüentemente, diminuir as perdas de água relativas a este tempo de espera. As maiores desvantagens deste sistema são

a necessidade de um circuito de retorno, e o facto de haver uma maior dissipação de energia através dos tubos devido ao movimento da água dentro deles.

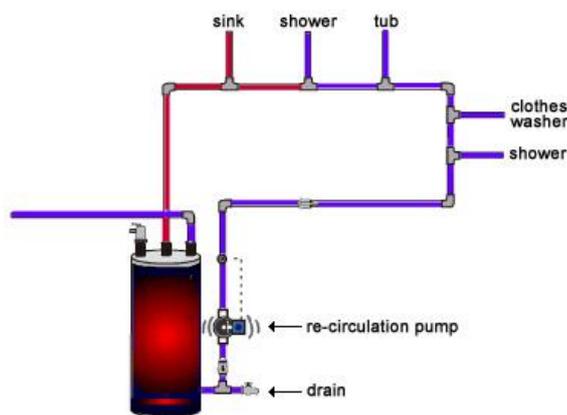


Figura 2.1. Sistema de distribuição de AQS por recirculação em anel (Plumbingproducts, 2015)

2.3. Sistemas solares térmicos

Uma instalação convencional para preparação de água quente sanitária baseia-se apenas em fazer passar a água fria por um sistema convencional de aquecimento (esquentador, caldeira). Ao incorporar um sistema de energia solar térmica faz-se com que uma parte da energia necessária para o aquecimento seja proveniente de energia solar, assim sendo, converte-se o sistema convencional num sistema de apoio que garanta a temperatura final da água no caso de não haver energia solar suficiente.

A eficiência de um sistema solar térmico está dependente de vários fatores, que se podem separar em diferentes grupos, tais como o clima, os parâmetros intrínsecos ao sistema, bem como as interações dos utilizadores (Wang, et al., 2015).

Os parâmetros do sistema, tais como a área de coletores solares térmicos, o tipo de fluido, o caudal nos coletores, o volume dos tanques de AQS, o material das tubagens, bem como o isolamento das tubagens e dos depósitos devem ser considerados aquando do planeamento e construção do sistema.

A interação dos utilizadores também é um fator importante, sendo que deve existir uma manutenção cuidada e constante do sistema de modo a mantê-lo em perfeitas condições de funcionamento.

De acordo com o sistema de circulação do circuito solar, as instalações podem ser classificadas como sistemas naturais e sistemas forçados.

Nos sistemas de circulação natural (termossifão) a circulação no circuito primário solar é efetuado por convecção natural (Figura 2.2). O fluido do circuito sobe como resultado do aquecimento no coletor solar e, ao atingir o acumulador posicionado acima do coletor, transfere o seu calor, arrefecido, regressa ao coletor solar. Trabalha, portanto, sem bombas ou controlos. Exige um dimensionamento muito cuidado e montagem que minimize as perdas de energia, já que o depósito está exposto ao ambiente exterior. Este sistema é normalmente utilizado apenas em edifícios residenciais.

Nos sistemas forçados (Figura 2.3) uma bomba força a circulação da água no circuito solar. As bombas são ativadas em função da temperatura da água nos depósitos. Estes circuitos possuem então um sistema de regulação, o que significa que temos um controlo preciso do sistema. Dependendo da temperatura do reservatório e dos *setpoints* definidos, o sistema de bomba entra em funcionamento. Dado que não é necessária a proximidade entre os depósitos e os coletores solares, ter-se-á uma melhor distribuição arquitetónica do sistema. No entanto, este tipo de sistema tem um custo mais elevado de instalação, operação e manutenção. Este sistema pode ser utilizado em todo o tipo de edifícios, desde edifícios domésticos a grandes superfícies.

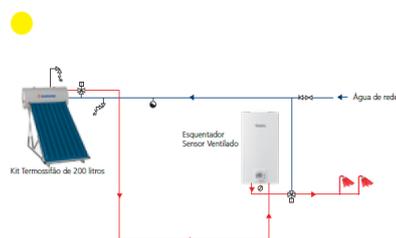


Figura 2.2. Sistema por termossifão (Vulcano, 2013)

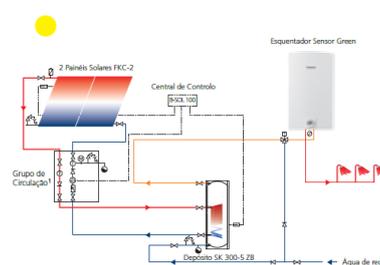


Figura 2.3. Sistema por circulação forçada (Vulcano, 2013)

Através da sua configuração, podem distinguir-se os sistemas de preparação de AQS, em acumulação centralizada e distribuída.

Nos sistemas de acumulação centralizada (Figura 2.4) o fluido aquecido nos coletores solares transfere a energia para um armazenador central através de permutadores. A partir deste depósito central, o fluido é distribuído a cada uma das divisões através de uma rede de distribuição. Em cada uma das divisões, existe um sistema de apoio convencional.

Nos sistemas de acumulação distribuída (Figura 2.5) cada divisão possui o seu próprio depósito acumulador. Esta configuração é escolhida quando são apresentados problemas de espaço para um local de armazenamento central ou quando se entende que o utilizador final prefere ter um acumulador na sua própria casa (no caso de um prédio). O calor gerado pelos painéis é transferido através de permutadores de calor e armazenado nos tanques de cada habitação. Neste formato, o custo de utilização é mais elevado do que o descrito acima, porque o somatório das perdas dos depósitos individuais é superior à energia dissipada por um depósito central, embora esta configuração ofereça uma segurança acrescida contra a legionella e manutenção muito fácil. De referir também que o custo inicial será maior, já que no lugar de apenas um tanque de grandes dimensões, teremos um tanque por cada habitação (Ayompe, et al., 2011).

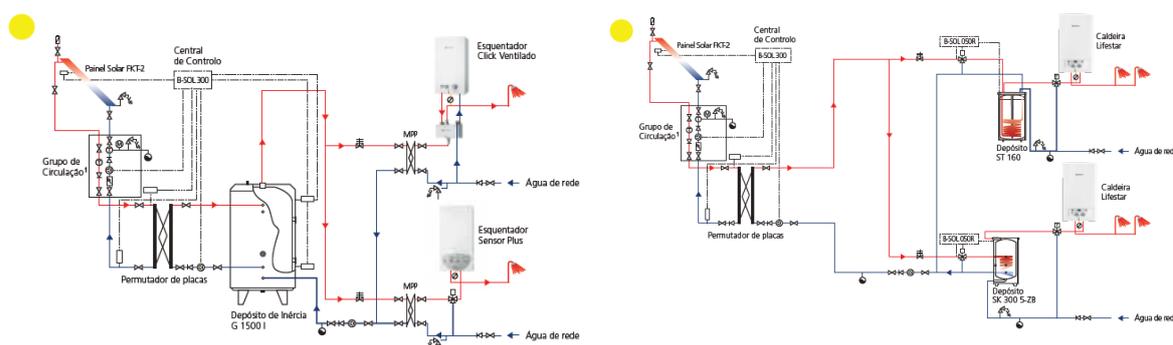


Figura 2.4. Acumulação centralizada (Vulcano, 2013) Figura 2.5. Acumulação distribuída (Vulcano, 2013)

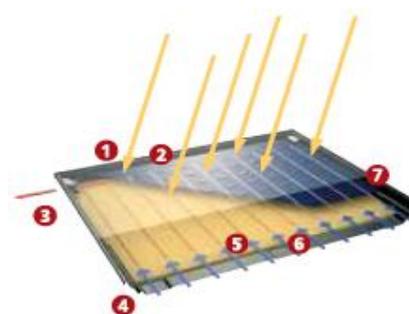
Para que seja exequível, para cada uma das soluções solares referidas são necessários, para além dos equipamentos solares propriamente ditos, coletores solares térmicos e depósitos acumuladores, os grupos de circulação, equipamentos de proteção e segurança, tais como vasos de expansão e válvulas de segurança, além da tubagem, isolamentos e diversos acessórios de instalação, tais como válvulas de corte, purgadores, entre outros. Como esquema base de um sistema solar térmico pode-se considerar o da Figura 2.3.

2.3.1. Coletores solares

Todos os projetos solares térmicos têm o objetivo comum de converter a radiação solar em calor com o maior rendimento possível e fornecê-lo eficientemente ao consumo. Os tipos dos coletores variam consideravelmente relativamente à eficiência, desempenho, construção e custo.

Na escolha de um coletor solar térmico deve ter-se em conta a resistência a condições externas, a resistência a temperaturas baixas e elevadas, a estabilidade dimensional e tempo de vida, a facilidade de montagem e o fator de conversão de energia.

Um coletor solar térmico (Figura 2.6) é constituído essencialmente por uma placa absorvente, uma cobertura transparente, isolamento térmico e uma caixa. A placa absorvente é onde ocorre a absorção da radiação solar. Normalmente é construída de metal e coberta por uma pintura ou um tratamento negro com uma alta capacidade de absorção de radiação solar. A cobertura transparente consiste numa chapa de vidro que permite a reunião das condições necessárias para que se crie o efeito de estufa, sendo que, deixa passar a maior parte (alta transmitância) da radiação solar e evita a saída (baixa transmitância) de radiação infravermelha. O



- 1 Bainha para sensor de temperatura
- 2 Vidro de segurança solar
- 3 Saída de líquido solar quente
- 4 Caixa em fibra de vidro (SMC)
- 5 Grelha de tubos
- 6 Isolamento
- 7 Absorvedor altamente seletivo (PVD)

Figura 2.6. Componentes do coletor solar térmico (Vulcano, 2013)

isolamento térmico serve para reduzir a perda de calor através da face traseira e laterais do coletor solar térmico. A caixa contém todos os elementos do coletor e serve para a proteção contra fatores externos.

Em relação à superfície do coletor solar diferenciam-se três áreas distintas: a área total que é a área máxima do coletor, a área de abertura que é área máxima através da qual a radiação penetra e a área de absorção que consiste na área máxima absorvente (área útil).

Existem três tipos principais de coletores solares térmicos: o coletor solar plano, o coletor de tubos de vácuo e o coletor concentrador parabólico composto.

O coletor solar plano é o tipo mais comum porque tem uma estrutura robusta e simples, e uma relação favorável entre preço e desempenho.

O coletor de tubos de vácuo (Figura 2.7) é utilizado para reduzir a perda de calor por condução e convecção entre o painel e a cobertura de vidro, eliminando o ar. Tem por isso eficiências superiores e capacidade de atingir temperaturas consideravelmente mais elevadas do que os coletores planos, embora com um custo mais elevado.



Figura 2.7. Coletor de tubos de vácuo (SolarPanelPlus, 2014)

Num coletor concentrador parabólico composto (CPC) (Figura 2.8) uma pequena concentração de radiação solar representa maior eficiência energética, devido aos espelhos curvos focalizados, sem aumentar significativamente os custos de produção e utilização, comparativamente com os coletores solares planos.



Figura 2.8. Concentrador parabólico composto (PSA, 2013)

Balanço de energia de um coletor solar térmico

Pode-se realizar um balanço energético de um coletor solar térmico sendo que a energia de entrada (radiação incidente) no coletor é igual à de saída (energia útil + perdas) (Gaspar, 2014).

$$AG_{\perp} = \dot{Q}_{\text{útil}} + \dot{Q}_{\text{perdas,ót}} + \dot{Q}_{\text{perdas,cond}} + \dot{Q}_{\text{perdas,rad}} + \dot{Q}_{\text{perdas,conv}} \quad (2.1)$$

Curva de rendimento

O parâmetro principal que caracteriza a eficiência de um coletor solar térmico é a sua curva de rendimento. Em geral, define-se o desempenho de um coletor (η), como a razão entre o fluxo de energia incidente (isto é, radiação solar) e a energia útil transmitida ao fluido.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{AG_{\perp}} \quad (2.2)$$

Assim, o rendimento do coletor (η) varia de acordo com a radiação incidente (G_{\perp}), a temperatura da água que entra no coletor (T_m), a temperatura ambiente (T_a), e materiais utilizados no fabrico do painel (Peuser, et al., 2005).

$$\eta = k(\theta)\eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G_{\perp}} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G_{\perp}} \quad (2.3)$$

2.3.2. Acumulação e permuta de calor

Os depósitos acumuladores de AQS (Figura 2.9) são componentes vitais ao funcionamento de qualquer sistema solar térmico. Desempenham a função de armazenamento de água quente e podem ser responsáveis pela permuta de calor entre o fluido do circuito primário e a água de consumo, caso possua permutador interno. Existem depósitos de AQS constituídos por vários materiais, tais como aço inoxidável, cobre ou aço vitrificado. Os depósitos de AQS devem estar equipados com uma válvula de segurança, no caso de haver um grande aumento de pressão (Rodríguez-Hidalgo, et al., 2007).

Um depósito acumulador deve ter baixas perdas térmicas, elevada capacidade específica de acumulação, estratificação térmica, vida útil elevada, baixo custo, boas propriedades higiénicas e elevada resistência à pressão.



Figura 2.9. Depósito de AQS (TISST, 2015)

Permutadores de calor

Os permutadores de calor servem para transferir energia térmica entre os diferentes fluidos, sem que haja contacto direto entre eles. São utilizados em instalações onde o calor deve ser transferido a partir do fluido anticongelante (água e glicol) do circuito primário para a água quente sanitária ou para a água proveniente do depósito acumulador.

Os principais tipos de permutadores são (TISST, 2015):

– Permutadores internos (tanques com serpentina) são utilizados em pequenos e médios volumes, possuem média eficiência de permuta de calor e promovem a estratificação térmica (Figura 2.10).

– Permutadores de camisa são utilizados em pequenos volumes, possuem baixa eficiência de troca de calor e não permitem a estratificação térmica da água (Figura 2.11).

– Permutadores externos (de placas) são utilizados em grandes volumes e são muito eficientes na permuta de calor (Figura 2.12).

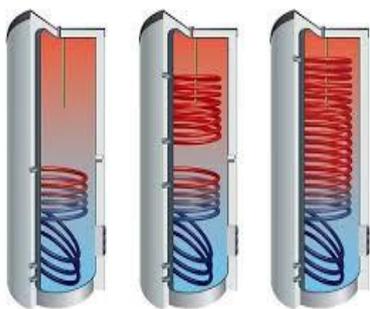


Figura 2.10. Permutador de serpentina (TISST, 2015)

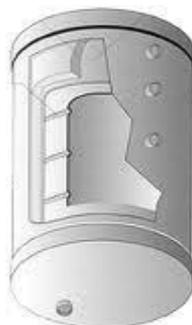


Figura 2.11. Permutador de camisa (TISST, 2015)



Figura 2.12. Permutador de placas (TISST, 2015)

Redução de energia útil devido à instalação de um permutador

Quando um permutador de calor (Figura 2.13) é instalado entre o coletor e o local de acumulação, o desempenho do sistema solar térmico será afetado pela eficácia do permutador de calor (ϵ). (Wang, et al., 2015)

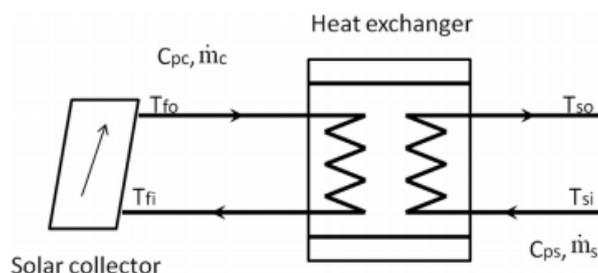


Figura 2.13. Balanço energético no permutador de calor (Wang, et al., 2015)

2.3.3. Outros componentes do sistema de AQS

Tubagens

Para a seleção do material utilizado nas tubagens deve-se considerar a compatibilidade com o tipo de comportamento de fluido usado, o comportamento dentro dos limites de pressão, a resistência à temperatura, a resistência à corrosão, a estabilidade em relação a tensões mecânicas e térmicas, a durabilidade e a facilidade de instalação (Figura 2.14).

Os tubos que contêm água quente para consumo humano devem ser de cobre, aço inoxidável, aço galvanizado, aço negro ou de plástico.



Figura 2.14. Tubagens e ligações (TISST, 2015)

Isolamento e revestimento

Os tubos devem ser devidamente isolados para reduzir a perda de calor. As propriedades mais relevantes a considerar no isolamento são o coeficiente de condutividade térmica, o comportamento perante o fogo, a resistência ao envelhecimento, o facto de ser constituído por materiais livres de elementos prejudiciais para o ambiente e o custo do produto (Corado, 2007).

Bomba de circulação

A bomba de circulação (Figura 2.15) é o dispositivo eletromecânico responsável por fazer circular o fluido de trabalho através do circuito hidráulico. É um dos principais

componentes do circuito hidráulico de um sistema solar de circulação forçada. Os parâmetros-chave a serem considerados na seleção da bomba a ser usada numa instalação são o caudal de circulação e a diferença de pressões que tem que superar.

A curva do sistema descreve a resistência que existe na tubagem ao movimento do fluido. Uma vez que o sistema de circulação é, normalmente, um sistema em circuito fechado, não existe altura menométrica, sendo apenas necessário ultrapassar as perdas por fricção. Estas perdas de carga numa tubagem estão diretamente relacionadas com o quadrado da velocidade. Sendo por isso importante escolher a tubagem adequada e as dimensões corretas relativamente ao caudal (Loureiro, 2008).

A curva da bomba (curva QH) mostra as propriedades da bomba e indica a relação entre o caudal debitado e a altura manométrica que tem consegue vencer.

O ponto de funcionamento é o ponto onde a curva da bomba e a curva do sistema se intercetam (Figura 2.16).



Figura 2.15. Bomba circuladora (Grundfos, 2013)

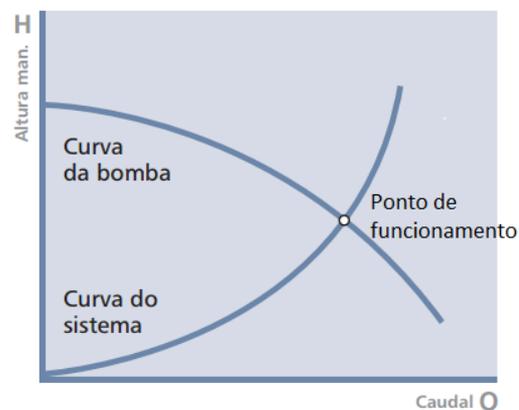


Figura 2.16. Ponto de funcionamento da bomba (Loureiro, 2008)

Vaso de expansão

O vaso de expansão (Figura 2.17) é utilizado para absorver a expansão e a contração do fluido conforme as variações de temperatura do fluido no circuito. A utilização deste elemento evita a perda de fluido (água + glicol) que ocorre em caso de ativação da válvula

de segurança. Isto poderá suceder quando se alcançam temperaturas muito elevadas no circuito nos períodos de maior radiação e ausência de consumo.

O vaso de expansão consiste num depósito metálico, dividido em duas partes por uma membrana elástica impermeável. Cada parte tem um fluido diferente: o ar ou gás inerte à pressão de trabalho, localizada por baixo da membrana e o fluido de trabalho, posicionado por cima da membrana, que entra no depósito de modo a diminuir a pressão no circuito (Solaire Thermique, 2010).

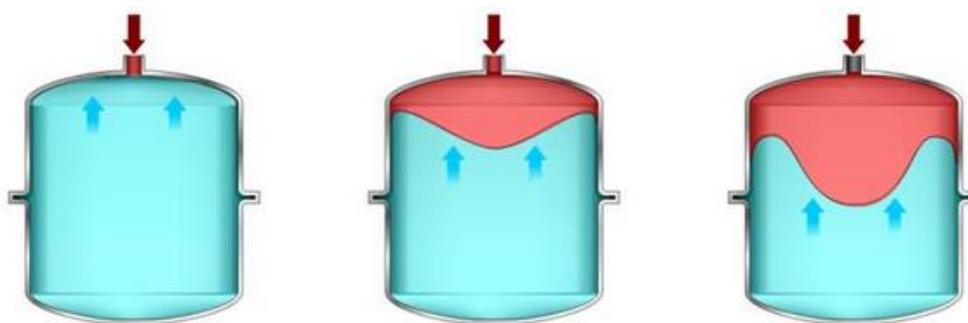


Figura 2.17. Vaso de expansão (Solaire Thermique, 2010)

2.3.4. Regulação e controlo

O circuito de controlo é uma das unidades principais num sistema de preparação de AQS com circulação forçada. No circuito primário, o controlador diferencial compara a temperatura de saída dos coletores com a do depósito acumulador, sendo que quando atingida uma certa diferença de temperatura, a bomba circuladora é ativada, iniciando-se assim o processo de acumulação térmica. No circuito de apoio, o controlador diferencial ativa a bomba de circulação quando a temperatura do tanque diminui até um ponto predefinido, para que a água no depósito se mantenha à temperatura mínima desejada.

Os elementos constituintes do sistema de regulação e controlo são os sensores, os controladores e os atuadores.

Os sensores consistem em sondas que detetam a temperatura do fluido. Os controladores têm como objetivo manter ou controlar uma temperatura ou uma diferença de temperaturas predefinida. O controlo parte da informação dada pelo sensor e consequentemente ativa ou desativa um relé (ou qualquer outro dispositivo que funcione

com a bomba, a resistência elétrica, a válvula, etc). Os atuadores acionam dispositivos de alta potência (bombas, resistências elétricas ou válvulas), ou servem como intermediários entre o controlador eletrônico e os dispositivos que ele controla.

Os sistemas de controlo podem ser distribuídos ou centralizados.

Nos sistemas distribuídos o controlo é efetuado por um sistema diferente em cada circuito.

Nos sistemas centralizados todos os sensores são ligados a uma unidade de controlo que verifica todos os sensores, integrando o sinal de todos eles, executando o programa de ação e convertendo o sinal analógico para a distribuição entre os diferentes atuadores (Corado, 2007).

2.4. Tratamento anti-bacteriano

Atualmente tem-se vindo a dar maior relevância a esta temática das infeções bacterianas, uma vez que estas podem ser muito prejudiciais à saúde humana.

De modo a precaver uma possível proliferação bacteriana nos depósitos de AQS deve-se armazenar o mínimo de água possível para evitar longos tempos de retenção. A gama de temperaturas entre 30° e 50° C representa uma maior suscetibilidade de desenvolvimento bacteriano, particularmente no caso da Legionella.

A Legionella pneumophila é uma bactéria que está presente em pequenas quantidades na água e têm a capacidade de reproduzir-se idealmente a uma temperatura de cerca de 35°C. Embora esta bactéria quando ingerida pelo ser humano não constitua qualquer risco para o sistema gastrointestinal, quando inalada, por exemplo, durante o duche, pode causar graves problemas pulmonares, provocando sintomas semelhantes à pneumonia e até ser fatal.

Portanto, as instalações de água quente sanitária devem atender aos requisitos da DGS de forma a evitar a proliferação desta bactéria. É imperativo que a temperatura da água seja sempre superior a 50° C, mesmo no ponto mais desfavorável do circuito de

retorno, sendo que a água nos depósitos deve estar a uma temperatura de 60° C. É também aconselhável a realização de queimas semanais programadas acima dos 70° C.

De forma a combater a formação de bactérias como a legionella nos depósitos de AQS, existe um mecanismo de diluição de dióxido de cloro, que permite que a água esteja a uma temperatura mais baixa do que os 60° C, sem que haja o risco de proliferação da legionella e de agentes patogénicos presentes no sistema de AQS, impedindo também que haja reinfestação (Figura 2.18).

Este equipamento produz dióxido de cloro utilizando soluções diluídas de cloreto de sódio (7,5% NaClO₂) e ácido clorídrico (HCl 9%). A solução de dióxido de cloro produzida é armazenada num depósito e adicionada ao circuito de AQS, usando uma bomba doseadora. A dose máxima de dióxido de cloro na água é de 0,4mg/L (Grundfos, 2013).



Figura 2.18. Dispositivo de dióxido de cloro (Grundfos, 2013)

2.5. Simulação energética de sistemas térmicos

A utilização destas ferramentas em fase de projeto pode conduzir a uma optimização do comportamento térmico para determinados locais, com consequências positivas que se podem traduzir numa redução dos consumos energéticos ao longo da vida útil do edifício.

O TRNSYS (pronuncia-se 'tran-sis") é um *software* de simulação energética extremamente flexível usado para simular o comportamento de sistemas térmicos em regime transiente. Esta ferramenta permite a associação de diversos componentes individuais para a criação do sistema em estudo e sua análise, apresentando um componente específico na definição de um edifício e introdução dos parâmetros associados às respetivas soluções construtivas.

O TRNSYS é composto por duas partes. A primeira consiste num motor de cálculo (o chamado kernel) que lê, processa o ficheiro de entrada (circuito ou edifício) de forma iterativa, fornece ferramentas que (entre outras características) realizam matrizes, regressões lineares e interpolam dados externos. A segunda parte do TRNSYS engloba uma vasta biblioteca de componentes. A biblioteca padrão do programa inclui cerca de 150 modelos que vão desde bombas, edifícios, turbinas eólicas, processadores de dados ao longo do tempo e equipamentos AVAC. Estes modelos são construídos de tal forma que os utilizadores possam modificar componentes existentes ou escrever o seu próprio código, ampliando as capacidades do programa (TRNSYS, 2015).

3. CASO EM ESTUDO

Neste capítulo será realizada a descrição do Hotel TRYP Coimbra e dos seus sistemas, sendo caracterizado com mais detalhe o sistema de preparação de AQS.

3.1. Descrição do edifício

O edifício em que se baseia este estudo foi construído em 1994 e constitui um hotel de 4 estrelas pertencente ao grupo Meliã.

O edifício é constituído por um único corpo de forma paralelepípedica, com o maior eixo alinhado segundo a direção norte-sul. O edifício possui 2 fachadas envidraçadas, a nascente e poente. Possui também 13 pisos, onde há um total de 120 quartos, 13 suítes, 4 salas de reunião e um restaurante. A área útil do edifício é de 6.531 m², aos quais se somam 3.443 m² de estacionamento e 596 m² de área não útil, perfazendo um total de 10.571 m².

A última certificação energética realizada no edifício em questão foi feita em 2011, em que este obteve a avaliação de classe energética A. Na Figura 3.1 mostra-se a desagregação de consumos por utilização final, de acordo com a certificação energética realizada em 2011 (Gaspar, et al., 2011). Após este período, de forma a melhorar a eficiência energética do hotel foram realizadas algumas alterações nas instalações, tal como a instalação de 30 coletores solares térmicos para produção de AQS e bombas circuladoras de caudal regulável.

3.2. Sistemas e uso de energia

O sistema de climatização do hotel é alimentado por 3 caldeiras a gás natural, uma delas de condensação. Para o arrefecimento, o edifício dispõe de um grupo de produção de água arrefecida do tipo chiller, com potência de 260,6 kW. Estão também instaladas 19

unidades do tipo “split”, com potência de 167,8 kW para arrefecimento e 183,8 kW para aquecimento.

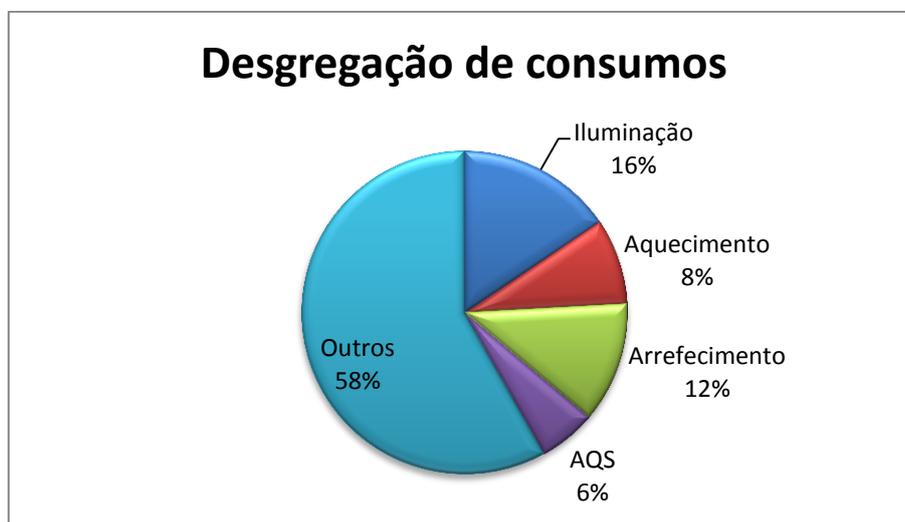


Figura 3.1. Desagregação de consumos do Hotel TRYP Coimbra (Gaspar, et al., 2011)

A climatização é também realizada através de 4 UTA's com ventiladores de velocidade variável para a climatização dos espaços da receção, restaurante, salas polivalentes, sala de fumadores e business center. Existe também um sistema com água aquecida que serve ventilo-convectores presentes nos quartos do hotel e ainda a receção e o backoffice. Está instalado ainda um sistema de fluido frigorígeno, constituído por unidades individuais de climatização (“splits”) que servem o restaurante, bastidor informático, sala de internet, contabilidade, backoffice, refeitório pessoal, gabinete do diretor, administração do restaurante, hall e sala de fumadores.

A iluminação do hotel é feita recorrendo a 4.037 luminárias, com potência de 53.684 W, sendo que 140 estão no exterior com potência de 9.846 W.

3.3. Sistema de preparação de AQS

No circuito solar, o líquido é aquecido nos coletores solares, representado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, que posteriormente aquece a água que se dirige para os tanques através de um permutador. A água do circuito de AQS é circulada entre os depósitos de acumulação e os permutadores usando duas bombas de caudal

regulável e dirige-se para o respetivo tanque acumulador. Este circuito alimenta o primeiro e segundo depósitos.



Figura 3.2. Campo de coletores solares

Devido ao facto de apenas existirem dados de consumo diários fez-se uma estimativa dos valores horários, tendo como base os consumos diários de água no hotel, a variação da temperatura nos depósitos de AQS e os consumos de gás natural obtidos nas simulações de modo a validar o sistema, resultando no perfil de consumo de água fria presente na Figura 3.3.

O sistema de AQS é constituído por dois circuitos distintos, um circuito alimentado por 30 coletores solares térmicos e outro por duas caldeiras a gás natural, sendo a acumulação realizada por três tanques sem serpentina de 4000 litros cada. Na Figura 3.4 apresenta-se o esquema de princípio do sistema de preparação de AQS do Hotel TRYP Coimbra.

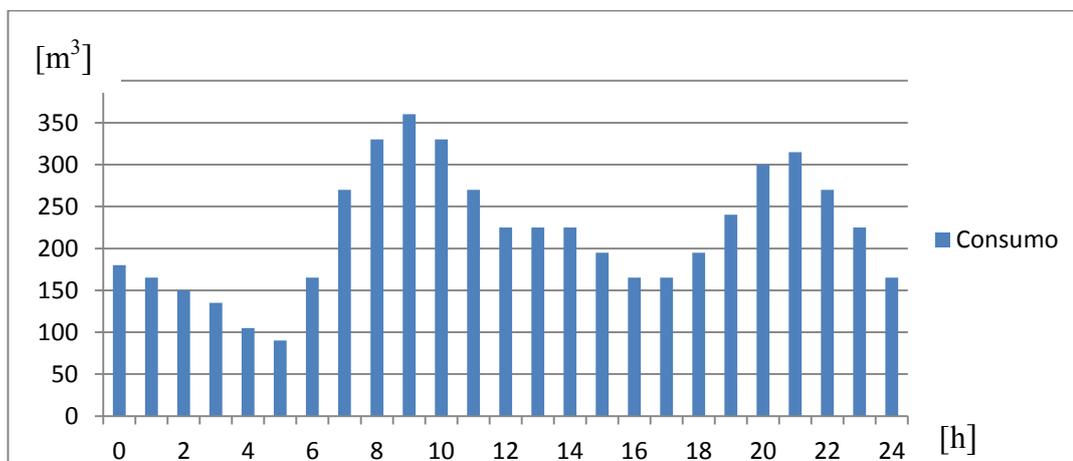


Figura 3.3. Dados de consumo ao longo das horas

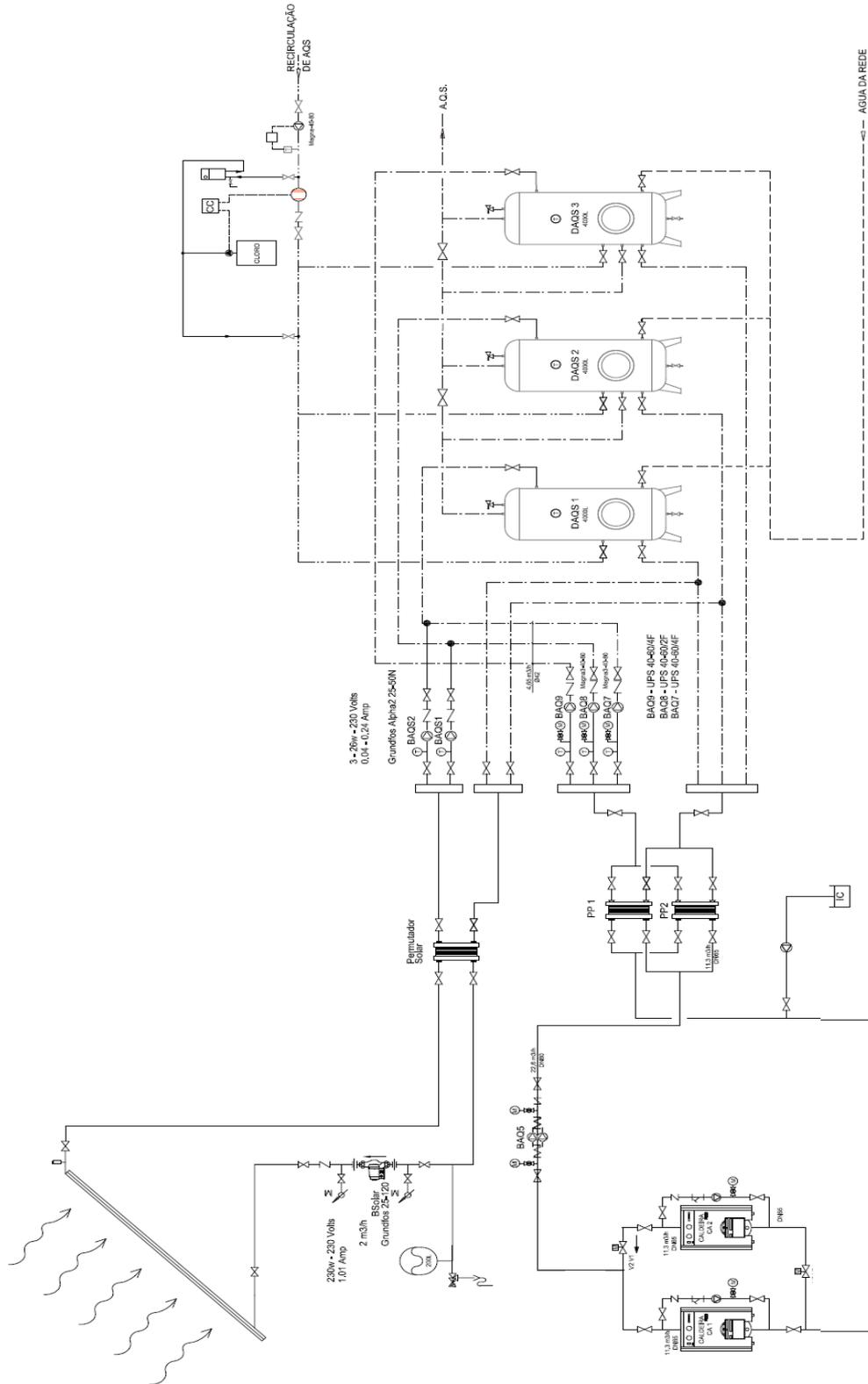
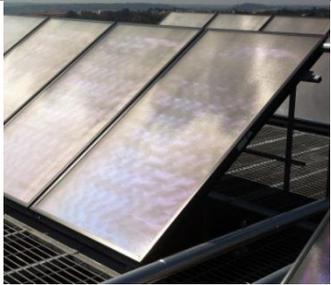


Figura 3.4. Esquema de princípio do sistema de AQS do Hotel TRYP Coimbra

Na **Erro! Auto-referência de marcador inválida.** são apresentados os principais componentes de todo o sistema de AQS, bem como as suas principais características.

Tabela 3.1. Componentes principais do sistema de AQS

Componente	Marca/Modelo	Características	Figura ilustrativa
Coletores solares térmicos	TiSUN – FM-S	Coletor solar térmico de placas planas, com coeficiente de absorção de 94%, área individual de 2,55 m ² e área total de 76,5 m ² .	
Permutador de placas	Alfa-Laval – M3-FG	Permutador com direção de fluidos contra-corrente, com 41 placas e com coeficiente de transferência de calor limpo de 6.196 W/m ² .K.	
Bomba circuladora do circuito solar	Grundfos – BSolar 25-120	Com caudal mássico máximo de 4 m ³ /h e potência máxima de 230 W.	

Bomba circuladora do circuito das caldeiras	Grundfos Magna1 40-80	–	Com caudal até cerca de 19 m ³ /h e potência até 260 W.	
Bomba circuladora de AQS proveniente do solar	Grundfos – Alpha2 25-50N		Com caudal mássico máximo de 2,75 m ³ /h e potência máxima de 32 W.	
Bomba circuladora de AQS proveniente das caldeiras	Grundfos Magna3 40-80	–	Com caudal mássico máximo de 18 m ³ /h e potência máxima de 265 W.	
Caldeiras	Roca - NTD 200		Caldeira a gás natural, com potência útil de 263,7 kW	
Depósitos de AQS	Enermatos – 02V-01		Depósito vertical, com volume de 4 m ³ , temperatura máxima admissível de 80° C.	

Os depósitos estão dispostos em série, sendo que a água quente passa do primeiro para o segundo tanque, do segundo para o terceiro e, finalmente, a partir do terceiro é consumida. A água fria da rede entra no primeiro tanque. Como se trata de um hotel, existe recirculação de água quente (estrutura em anel), para que a água chegue à temperatura desejada ao cliente o mais rapidamente possível. Esta recirculação pode ser regulada, podendo entrar em qualquer um dos três tanques acumuladores.

O circuito das caldeiras é composto por 2 caldeiras que funcionam a gás natural. Das duas caldeiras, apenas uma está a funcionar de cada vez, sendo que existe um espaçamento de 100 horas entre a alternância de funcionamento das caldeiras. Quando a energia proveniente do sistema solar não é suficiente para aquecer a água dos tanques até nível do respetivo *setpoint*, uma das caldeiras (temperatura de 75° C), alternativamente, é ligada. Quando a água no circuito das caldeiras atinge uma temperatura 5° C superior à temperatura dos depósitos, liga-se a bomba circuladora e o calor é transferido para os depósitos acumuladores através de dois permutadores contra-corrente dispostos em paralelo.

Os *setpoints* dos tanques, relativamente ao circuito das caldeiras são os seguintes:

- Tanque 1: temperatura mínima de 30° C, com ΔT de 5° C;
- Tanque 2: temperatura mínima de 40° C, com ΔT de 5° C;
- Tanque 3: temperatura mínima de 51° C, com ΔT de 5° C.

Existe ainda um sistema de cloro para água quente sanitária (Figura 3.5), sendo um sistema de segurança a somar-se aos cuidados com as queimas programadas e temperatura de retorno elevada.

Relativamente ao circuito solar, quando a temperatura dos coletores é 8° C superior à temperatura do primeiro ou do segundo depósito, a bomba circuladora e a bomba correspondente ao tanque são ativadas. Existe ainda uma temperatura limite, que quando atingida desativa a bomba do circuito solar, para que a temperatura da água nos depósitos não seja demasiado elevada, já que os depósitos têm uma temperatura de acumulação máxima de 80° C.



Figura 3.5. Sistema de tratamento de água

3.4. Modelo de simulação do sistema produção de AQS

Recorrendo ao TRNSYS desenvolveu-se um modelo de simulação do sistema de produção de AQS e sistema solar do Hotel TRYP Coimbra. A representação esquemática com os componentes e interligações é apresentada na Figura 3.6.

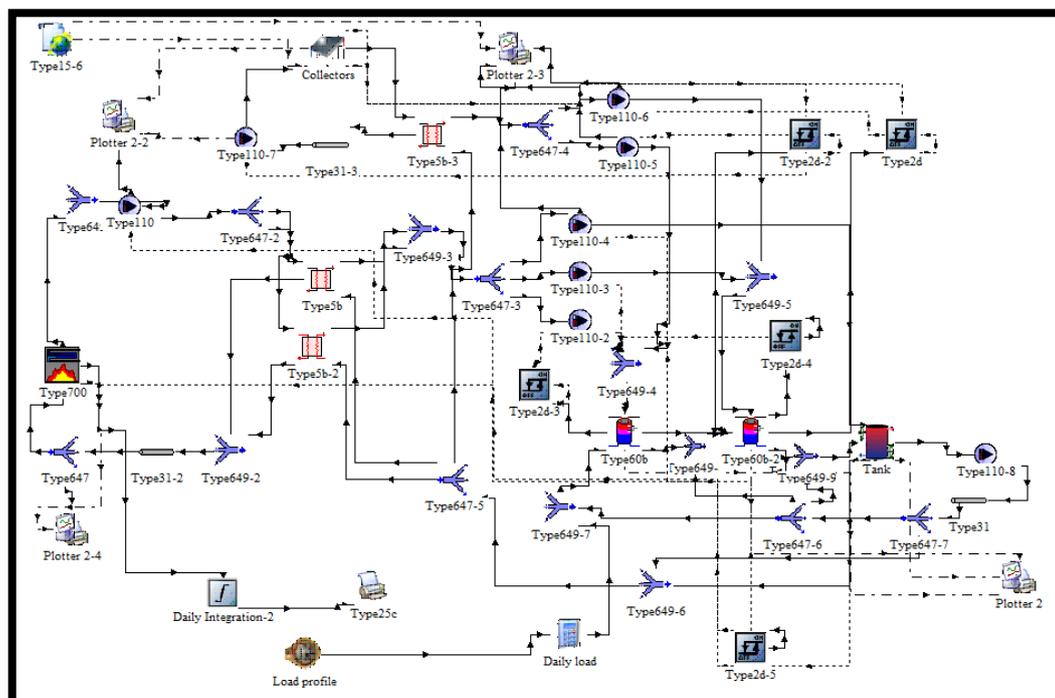


Figura 3.6. Modelo de simulação do sistema de AQS e sistema solar

Este modelo de simulação é a base de todo este trabalho. De modo a realizar este modelo foi necessário entender e estudar o *software*, bem como os seus componentes, para que se conseguisse obter um modelo com configurações e funcionamento próximo do real. Como se pode observar na Figura 3.6, o modelo de simulação apresenta uma disposição similar à do esquema de princípio representado na Figura 3.4, com o circuito solar, o circuito das caldeiras e os depósitos dispostos em série. Foi também realizada a caracterização de cada um dos componentes com os valores reais, bem como a utilização do perfil do consumo mostrado na Figura 3.3.

3.5. Condições atuais e alterações a realizar

De forma a otimizar o sistema foi definido um fator, segundo o qual se supunha o aumento ou diminuição da qualidade do sistema. O fator definido foi a quantidade de energia consumida de modo a aquecer a água, ou seja, a quantidade de gás queimado nas caldeiras. Na

Tabela 3.2 são apresentadas as medidas para possível melhoria e as condições iniciais que se irão alterar nas várias simulações no TRNSYS.

Em relação ao local de entrada da água de retorno, dos *setpoints* dos depósitos e dos *setpoints* dos coletores solares, são um tópico sobre os quais havia algumas dúvidas por parte dos responsáveis do Hotel TRYP e segundo os quais foram feitos pequenos ajustes com o objetivo de tentar perceber quais as melhores configurações. Relativamente ao *setpoint* das caldeiras, foi realizado o estudo de modo a perceber de que forma a diminuição deste *setpoint* iria afetar os gastos de gás, a temperatura nos depósitos e conseqüentemente, a sua possível aplicabilidade. Os estudos da disposição dos permutadores no circuito das caldeiras, do volume dos depósitos de AQS e da área do campo de coletores solares térmicos foram estudos adicionais, realizados para estudar de

que forma estas alterações poderiam melhorar a eficiência no sistema, mas que dificilmente seriam aplicados.

Tabela 3.2. Medidas de possível melhoria e condições atuais do sistema

Medidas para possível melhoria	Condições atuais
Local de entrada da água de retorno	Recirculação no primeiro depósito
Disposição dos permutadores no circuito das caldeiras	Permutadores em paralelo
<i>Setpoint</i> das caldeiras	Temperatura de 75° C
<i>Setpoints</i> dos depósitos acumuladores relativamente ao circuito das caldeiras	Tanque 1: Temperatura mínima de 30° C, com ΔT de 5° C; Tanque 2: Temperatura mínima de 40° C, com ΔT de 5° C; Tanque 3: Temperatura mínima de 51° C, com ΔT de 5° C.
<i>Setpoints</i> dos coletores solares	ΔT de 8° C, com temperatura máxima de 100° C
Volume dos depósitos	Volume de 4 m ³ cada
Área do campo de coletores solares térmicos	Área de 76,5 m ²

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após a obtenção dos resultados do modelo de simulação realizado no TRNSYS compararam-se estes com os dados reais, tendo como base dois parâmetros, nomeadamente a temperatura nos três depósitos de AQS e a quantidade de energia consumida nas caldeiras. Na Figura 4.1 mostra-se a variação da temperatura nos três depósitos ao longo de 720 horas (1 mês) de simulação e durante a meia estação.

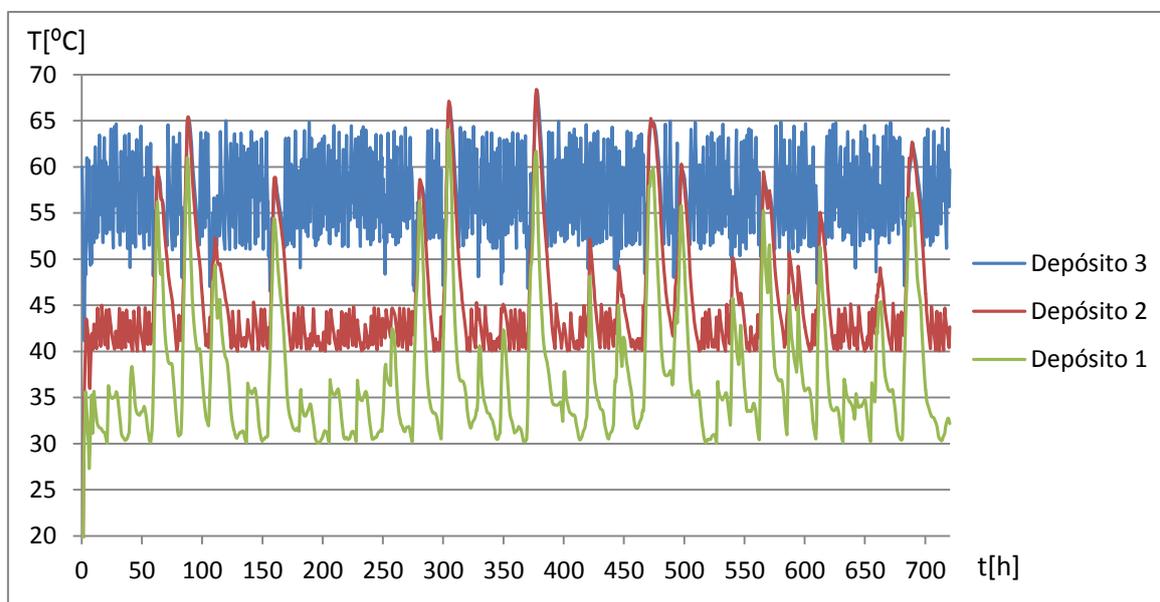


Figura 4.1. Temperatura prevista dos três depósitos de AQS no ensaio base

A partir dos resultados obtidos pode afirmar-se que a simulação computacional constitui um método similar ao do funcionamento real do sistema. Observa-se particularmente que no depósito 3 a água se mantém na gama entre os 51 e os 65° C, tal como sucede no funcionamento real da instalação. Verifica-se nesse mesmo depósito, que quando a temperatura da água desce até aos 51° C, logo a seguir há uma subida brusca da temperatura. Por vezes a temperatura da água no depósito 3 desce abaixo dos 51° C, devido ao tempo de ativação da caldeira.

Nos depósitos 1 e 2 podem observar-se picos ao longo do tempo, uma vez que a bomba do circuito solar é ativada e o calor dos coletores solares é transmitido para os

depósitos. De notar também que, quando a temperatura no tanque 2 desce até aos 40° C, a temperatura sobe imediatamente, tal como acontece no depósito 3, mostrando um fornecimento frequente de energia da caldeira a este depósito. Em relação ao depósito 1, dificilmente arrefecido até aos 30° C, a ativação do circuito das caldeiras devido a este tanque é esporádica, devido ao facto de receber a água do retorno.

Seguidamente mostrar-se-ão os resultados conforme as medidas de melhoria referidas no capítulo anterior, bem como uma discussão para cada um dos casos, comparando com a situação de referência apresentada anteriormente.

Avaliou-se o comportamento do sistema ao longo de 8760 horas (1 ano), para que houvesse uma maior conformidade de dados, utilizando como parâmetro de cálculo a quantidade de energia (GJ) consumida durante um ano nas caldeiras. O valor obtido na simulação, ou seja, o valor de referência do gasto de energia anual foi estimado em 1035GJ. Relativamente à situação real, os dados obtidos do Hotel TRYP Coimbra do ano de 2014, que mostram um gasto anual de cerca de 1067 GJ, pode-se dizer que o valor obtido no *software* é bastante plausível, dado que há uma variação de apenas 3%. O cálculo da quantidade de energia consumida pelo Hotel foi realizado a partir do valor do volume de gás consumido nas caldeiras, que corresponde a cerca de 32000 m³, sabendo que o PCI do gás natural é 37,9 MJ/m³ e que o rendimento da caldeira é de 88%:

$$E_{consumida} = PCI \times V \times \eta$$

Na primeira simulação, realizaram-se ensaios, nos quais a água do retorno entra nos diferentes depósitos. A coluna “retorno do anel” refere-se à relação entre a quantidade de água que entra em cada tanque e o caudal total de recirculação. Apresentam-se os consumos de gás anuais correspondentes a cada situação, bem como os consumos num mês de verão e num mês de inverno. Os resultados são apresentados na **Erro! Auto-referência de marcador inválida.**

Tabela 4.1. Energia total para preparação de AQS em função da estratégia do retorno do anel de recirculação

Entrada da recirculação	Energia consumida num ano (GJ)	Variação (%)	Energia consumida num mês de Inverno (GJ)	Variação (%)	Energia consumida num mês de Verão (GJ)	Variação (%)
1 – 0 – 0	1035	-	91	-	84	-
0 – 1 – 0	967	-6,5	86	-5,9	79	-6,9
0 – 0 – 1	999	-3,5	94	+2,2	73	-13,3
1/2 – 0 – 1/2	1035	+0,1	90	-1,6	86	+2,3
1/3 – 1/3 – 1/3	1080	+4,4	91	+0,1	92	+9,5

Constatou-se deste modo que a simulação, em que a água de retorno entra no depósito 2 é a mais apropriada, para que haja menores consumos de gás. Isto sucede devido ao facto de normalmente a temperatura da água de retorno ser cerca de 50° C e a temperatura no tanque 2 ser geralmente inferior a 50°C, aproveitando-se o calor dessa água. Pode-se observar ainda que na estação de inverno, a entrada da água de retorno no depósito 2 é a melhor opção. Contudo, no verão, a melhor opção seria a colocação da água do retorno no depósito 3. Uma vez que nesta estação do ano se aproveita mais o calor proveniente dos coletores solares, o que permite que os depósitos 1 e 2 estejam a uma temperatura mais elevada do que a água de retorno, sendo que o calor da água de retorno não é aproveitado.

Na demonstração seguinte (Tabela 4.2), realizaram-se ensaios para testar a disposição dos dois permutadores do circuito das caldeiras em paralelo e em série, sendo que neste ponto a configuração atualmente usada é em paralelo. Através dos resultados inerentes a esta simulação pode-se concluir que a disposição dos permutadores tem pouca influência nos consumos de gás.

Tabela 4.2 Energia total para preparação de AQS em função da disposição dos permutadores

Disposição dos permutadores	Energia consumida num ano (GJ)	Variação (%)
Paralelo	1035	-
Série	1037	+0,2

Na simulação seguinte (Tabela 4.3), pretendia observar-se a variação da energia consumida, em função da variação *setpoint* das caldeiras, sendo que o *setpoint* real é de 75° C.

Tabela 4.3 Energia total para preparação de AQS em função do *setpoint* das caldeiras

<i>Setpoints</i> das caldeiras	Energia consumida num ano (GJ)	Variação (%)
65° C	669	-35,4
70° C	842	-18,8
75° C	1035	-
80° C	1234	+19,3

Como expectável, verificou-se que a energia consumida anualmente diminuía com o decréscimo do *setpoint* da caldeira, sendo que o caso mais favorável seria o *setpoint* de 65°C, com uma diminuição face ao funcionamento atual em 35,4%. Contudo, se se baixar demasiado este *setpoint*, a gama de temperatura dos depósitos diminui para valores que podem comprometer o conforto dos clientes, bem como promover a proliferação de bactérias como a legionella (Figura 4.2).

Selecionando o *setpoint* de 65° C, verifica-se que uma única caldeira não tem a capacidade de manter a água à temperatura desejada. Sendo assim, conclui-se que a temperatura ideal para o *setpoint* das caldeiras é de 70° C, já que deste modo consegue-se baixar a quantidade de gás consumida, não comprometendo a temperatura da água nos tanques de acumulação.

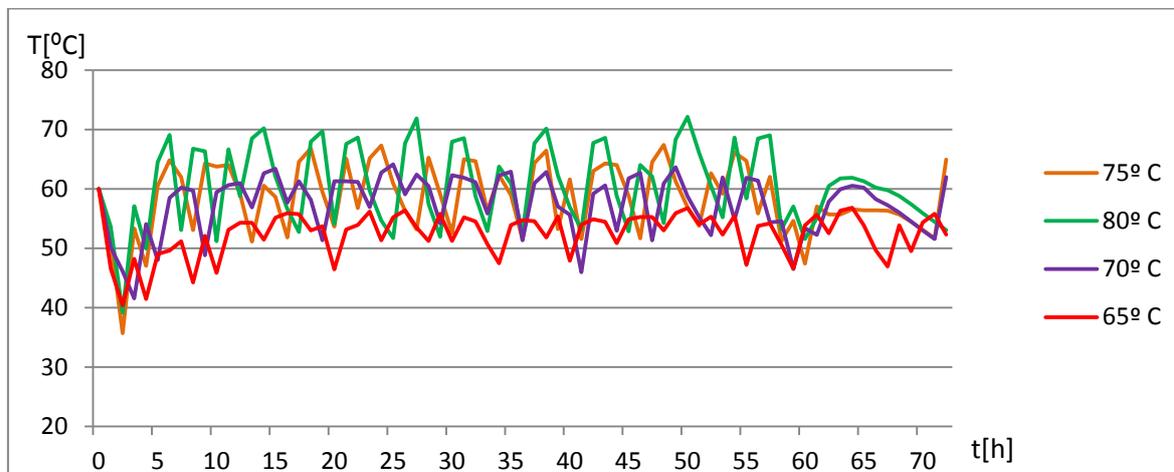


Figura 4.2. Temperatura no depósito 3 em função da variação do *setpoint* das caldeiras

Na demonstração seguinte (Tabela 4.4), alteraram-se os *setpoints* dos depósitos 1 e 2, ou seja, a temperatura mínima, correspondentes à ativação do circuito das caldeiras, de modo a registar as alterações nos gastos anuais de gás.

Tabela 4.4 Energia total para preparação de AQS em função dos *setpoints* dos depósitos 1 e 2

<i>Setpoints</i> dos depósitos	Energia consumida num ano (GJ)	Variação (%)	Energia consumida num mês de Inverno (GJ)	Variação (%)	Energia consumida num mês de Verão (GJ)	Variação (%)
$T_1=30^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$ $T_2=40^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$	1725	-	152,24	-	140,25	-
$T_1=25^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$ $T_2=35^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$	1749	+1,4	155	+1,5	138	-1,8
$T_1=35^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$ $T_2=45^\circ\text{C}$, $\Delta T=5^\circ\text{C}$	1700	-1,5	155	+1,9	135	-3,5

Através dos resultados apresentados é de enfatizar que a simulação mais vantajosa é a terceira, no caso em que se aumentam os *setpoints* em 5°C . Esta é a melhor opção já que, apesar de se consumir mais energia no aquecimento da água nos depósitos 1 e 2, como os depósitos estão dispostos em série, a água seguidamente desloca-se para o depósito 3, sendo que estará a uma temperatura mais elevada. Como se referiu anteriormente, o

depósito 3 é o que tem o setpoint mais elevado (51°C), ou seja, este é o depósito que tem mais tendência a ser a causa da ativação do circuito das caldeira e, conseqüentemente se receber água mais quente, a energia consumida para aquecer a água neste depósito será menor, bem como a energia total gasta pelo sistema. A justificação não é totalmente evidente e necessita de um estudo mais aprofundado e detalhado.

Na demonstração seguinte (Tabela 4.5.), alteraram-se os *setpoints* segundo os quais se ativa a bomba do circuito solar, bem como as bombas correspondentes aos depósitos 1 e 2 da água proveniente dos coletores.

Tabela 4.5 Energia total para preparação de AQS em função dos *setpoints* dos coletores

Setpoint dos coletores	Energia consumida num ano (GJ)	Variação (%)
$\Delta T=8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$	1035	-
$\Delta T=8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=90^{\circ}\text{C}$	1110	+6,6
$\Delta T=10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$	1032	-1,1
$\Delta T=10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=90^{\circ}\text{C}$	1119	+7,3
$\Delta T=8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$, 2→1	967	-7,5
$\Delta T=10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$, 2→1	962	-7,9

Analisando a tabela acima, verifica-se que a melhor opção é a última, que corresponde a um $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$ e $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$, com o pormenor adicional de que o circuito solar é ativado quando temos uma diferença de temperatura de 10°C entre os coletores e a água nos tanques 1 ou 2, sendo que o depósito 2 é prioritário. Desta maneira, inicialmente apenas o depósito 2 é aquecido e só quando este atinge 45°C a bomba correspondente ao depósito 1 é ativada, sendo os dois aquecidos em simultâneo. A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que é desejável um $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$, já que, com uma maior diferença de temperatura este torna-se mais eficiente.

Na simulação seguinte (Tabela 4.6), foram realizados testes, nos quais se alteraram valores correspondentes ao volume dos depósitos acumuladores, para verificar o peso deste fator na quantidade de gás consumida.

Tabela 4.6 Energia total para preparação de AQS em função dos volumes dos depósitos

Volumes dos depósitos	Energia consumida (kJ)	Variação (%)
$V_1=4\text{m}^3; V_2=4\text{m}^3; V_3=4\text{m}^3$	1035	-
$V_1=2\text{m}^3; V_2=2\text{m}^3; V_3=4\text{m}^3$	1063	+2,7
$V_1=2\text{m}^3; V_2=2\text{m}^3; V_3=2\text{m}^3$	961	-7,1
$V_1=4\text{m}^3; V_2=4\text{m}^3; V_3=2\text{m}^3$	991	-4,3

Com estes dados, considera-se que a terceira opção é a melhor, na qual os depósitos têm 2m^3 de volume. Estes resultados são inconclusivos, dado que a única correlação existente é entre o volume do depósito 3 e a energia consumida. Com a diminuição do volume do depósito 3, observa-se um decréscimo da energia consumida.

Na demonstração seguinte (Tabela 4.7), alterou-se a área total dos coletores solares térmicos, de modo a averiguar de que forma a energia consumida nas caldeiras diminuía com o aumento da área dos coletores solares.

Tabela 4.7 Energia total para preparação de AQS em função da área dos painéis solares

Área dos painéis	Energia consumida (kJ)	Variação (%)
$A_p=76,5\text{m}^2$	1035	-
$A_p=80\text{m}^2$	1033	-0,2
$A_p=100\text{m}^2$	1032	-0,3
$A_p=200\text{m}^2$	1030	-0,4

Como se pode apurar, com o aumento da área dos painéis há uma diminuição do gasto de gás, sendo esta diminuição muito baixa. Esta pequena diminuição do gasto de energia pode ser explicada pelo facto de o campo de $76,5 \text{ m}^2$ ser um valor próximo do ótimo, com isto, durante os meses com maiores períodos de radiação solar, a percentagem da energia solar fornecida ao sistema de AQS em relação à energia total aproxima-se dos 100%.

Na simulação seguinte (Tabela 4.8), avaliou-se a viabilidade da implementação de um sistema de dióxido de cloro no combate da proliferação de bactérias no sistema de AQS. Sendo assim, é possível baixar a temperatura dos depósitos, desde que o conforto dos clientes não seja afetado.

Tabela 4.8 Energia total para preparação de AQS em função da implementação do tratamento com dióxido de cloro

Setpoint dos depósitos	Energia consumida (GJ)	Energia consumida (kWh)	Quantidade de gás (m^3)	Varição (%)
$T_2=40^\circ \text{C}$, $\Delta T=5^\circ \text{C}$ $T_3=51^\circ \text{C}$, $\Delta T=5^\circ \text{C}$	1035	287582	30259	-
$T_2=35^\circ \text{C}$, $\Delta T=5^\circ \text{C}$ $T_3=45^\circ \text{C}$, $\Delta T=5^\circ \text{C}$	989	274804	28914	-4,4

Com estes resultados, verifica-se a ocorrência de uma diminuição de cerca de 4,4% nos gastos de gás, aquando da diminuição das temperaturas dos *setpoints* dos tanques 2 e 3.

Sabendo que o custo de implementação deste tipo de equipamento é de 11.000€ e que a tarifa de gás natural é de 0,0482877€/kWh, calculou-se o período de retorno simples do investimento deste equipamento. Aplicando a variação obtida na simulação nos gastos anuais reais do hotel no ano de 2014 apresenta-se os seguintes resultados (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 Energia total para preparação de AQS no ano de 2014

Mês	Energia consumida (kWh)	Energia consumida com poupança de 4,4% (kWh)	Gastos de gás natural (€)	Gastos de gás natural com poupança de 4,4% (€)
Janeiro	76861 kWh	73479 kWh	3.476,02 €	3.323,08 €
Fevereiro	82083 kWh	78471 kWh	3.713,89 €	3.550,48 €
Março	63056 kWh	60282 kWh	2.853,00 €	2.727,47 €
Abril	41465 kWh	39641 kWh	1.876,11 €	1.793,56 €
Maió	26649 kWh	25476 kWh	1.205,00 €	1.151,98 €
Junho	19707 kWh	18840 kWh	891,00 €	851,80 €
Julho	15701 kWh	15010 kWh	721,00 €	689,28 €
Agosto	14380 kWh	13747 kWh	515,00 €	492,34 €
Setembro	17718 kWh	16938 kWh	814,00 €	778,18 €
Outubro	18555 kWh	17739 kWh	862,00 €	824,07 €
Novembro	41414 kWh	39592 kWh	1.925,00 €	1.840,30 €
Dezembro	59347 kWh	56736 kWh	2.759,00 €	2.637,60 €
Gasto anual	476936 kWh	455951 kWh	21.611,01 €	20.660,13 €

Analisando a tabela anterior, estimou-se que se pouparia anualmente 951€ e que o período de retorno simples seria de 11,6 anos, o que é um período de retorno um pouco elevado.

Considerando as soluções individuais que apresentaram melhores resultados, realizou-se um exercício considerando a aplicação destas em conjunto (Tabela 4.10):

- Retorno da água do anel a entrar no depósito 2;
- *Setpoint* da caldeira de 70° C;
- *Setpoint* dos coletores solares com $\Delta T=10^{\circ}$ C, $T_{\text{máx}}=100^{\circ}$ C e com prioridade de aquecimento ao depósito 2;
- *Setpoint* dos depósitos: $T_2=35^{\circ}$ C, $\Delta T=5^{\circ}$ C e $T_3=45^{\circ}$ C, $\Delta T=5^{\circ}$ C.

Sendo assim, apenas se aplicaram as alterações que não necessitavam de novos equipamentos, considerando apenas o dispositivo de dispersão de NaCl₂.

Tabela 4.10 Energia total para preparação de AQS tendo em conta todas as alterações positivas

Situações	Energia consumida (GJ/ano)	Energia consumida (kWh/ano)	Quantidade de gás (m ³ /ano)	Variação (%)
Situação melhorada	842	233908	24586	-
Situação melhorada com dióxido de cloro	802	222913	23418	-4,7
Situação melhorada (setpoint das caldeiras de 65°C)	679	188763	19827	-19,3

Nesta simulação usa-se como base a situação com as melhorias referidas anteriormente. Aplicando o sistema de dióxido de cloro, bem como a diminuição dos *setpoints* dos depósitos 2 e 3 em 5° C, obteve-se uma diminuição de cerca de 4.7% de consumo de gás natural. Se a este fator, se adicionar a diminuição do setpoint das caldeiras de 70° C para 65° C, consegue-se obter uma poupança de cerca de 19,3%. Como foi dito anteriormente, não se pode diminuir demasiado a temperatura da caldeira para não colocar em causa o bom funcionamento do sistema. Contudo, neste caso, como se diminui a temperatura dos depósitos em 5° C, pode-se diminuir o *setpoint* das caldeiras em 5° C, mantendo a mesma diferença de temperatura entre as caldeiras e os depósitos.

Aplicando estas modificações e confrontando a diminuição de 19,3% nos consumos anuais com os valores de gás natural consumido no Hotel TRYP Coimbra em 2014, conseguiu-se diminuir o período de retorno simples do investimento para cerca de 2,6 anos, um período de retorno muito aceitável.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo, o estudo pormenorizado do sistema de produção de águas quentes sanitárias do Hotel TRYP Coimbra, bem como a investigação de possíveis medidas de melhoria a implementar de forma a otimizar o sistema.

Foram realizadas simulações de modo a avaliar algumas medidas de possível melhoria, tais como, o local de entrada da água do retorno, a disposição dos permutadores, o valor do *setpoint* das caldeiras, o valor do *setpoint* dos depósitos, o valor dos *setpoint* dos coletores solares térmicos, a variação dos volumes dos depósitos e a variação da área total do campo de coletores solares.

Através das medidas de melhoria estudadas e com recurso ao TRNSYS, prevê-se uma redução de cerca de 19% nos consumos de gás, o que se traduz num ganho substancial da eficiência do sistema. Este aumento da eficiência foi calculado, com base nas alterações realizadas nos *setpoints* das caldeiras e dos coletores solares, bem como no local de entrada da água de retorno.

Outro ponto avaliado neste trabalho foi a análise da instalação de um sistema de dispersão de dióxido de cloro na água, bem como o período de retorno deste investimento. Apurou-se então que apenas com a instalação deste equipamento, se conseguia obter menores gastos de gás, cerca de 4,4% inferiores aos iniciais, mas com alterações adicionais se conseguiria atingir 19,3%. Consequentemente seria possível reaver o investimento em cerca de 2,6 anos.

Para estudos futuros sugere-se a análise da instalação de painéis fotovoltaicos, bem como outras alternativas que implementadas permitem a diminuição dos gastos energéticos do hotel. A realização de um balanço energético pormenorizado a todo o hotel, ou até o estudo de possíveis medidas de melhoria do sistema de climatização, tal como a instalação de uma bomba de calor para aquecimento dos espaços, constituem alguns pontos ainda suscetíveis de ser otimizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayompe, L., et al. 2011. Validated TRNSYS Model for Forced Circulation Solar Water Heating Systems. *Applied Thermal Engineering*. Junho de 2011, pp. 1536-1542.

Corado, Juan Ramón de la Cuesta. 2007. *Diseño de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria. Aplicación a un edificio de viviendas*. Sevilla : s.n., 2007.

Costa, Francisco da Silva. 2012. *Desempenho energético de edifícios*. Lisboa : s.n., 2012.

DGEG. 2002. Eficiência energética em edifícios. [Online] 2002. <http://lge.deec.uc.pt/ensino/geei/Docs/ProgramaEffEdifícios.pdf>.

EDP. 2011. [Citação: 2015 de 3 de 23.] http://ws.cgd.pt/blog/pdf/guia_edp.pdf.

Gaspar, Adélio e Costa, José. 2011. *Certificado de desempenho energético e qualidade do ar interior*. Coimbra : s.n., 2011. CE0000037832427.

Gaspar, Adélio M. Rodrigues. 2014. Low temperature solar thermal systems. 2014.

Grundfos. 2013. [Citação: 4 de 4 de 2015.] <https://pt.grundfos.com/produtos/find-product/magna1.html>.

Grundfos. 2013. Oxypermpro [Citação: 4 de Abril de 2015.] <http://net.grundfos.com/ApplyWebCAPS/LiteratureDetail?documentid=466338&litlanguage=USA&typecode=&appcode=&pdfid=5235708&language=USA#>.

HotelEnergySolutions. 2011. *Analysis on energy use by European hotels: online survey and desk*. Madrid : s.n., 2011.

Loureiro, Mário. 2008. [Citação: 20 de 4 de 2015.] <http://www.marioloureiro.net/tecnica/canalizacao/LowaraClimatEdif.pdf>.

Peuser, Felix, Remmers, Heinz e Schauss, Martin. 2005. *Sistemas solares térmicos: diseño y instalación*. s.l. : S.A. ProgenSA, 2005.

Plumbingproducts. 2015. [Citação: 4 de 4 de 2015.] <http://www.plumbingproducts.com/hot-water-recirculation-systems.html>.

PSA. 2013. [Citação: 4 de 4 de 2015.]
<https://www.psa.es/webeng/instalaciones/quimica.php>.

Rodriguez-Hidalgo, M.C., et al. 2007. Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. 2007.

Solaire Thermique. 2010. [Citação: 3 de Abril de 2015.]
http://www.solairethermique.guidenr.fr/V_dimensionnement-installation-thermosiphon-vase-expansion.php.

SolarPanelPlus. 2014.[Citação: 4 de 4 de 2015.]
<http://www.solarpanelsplus.com/products/evacuated-tube-collectors/>.

TISST. 2015. [Citação: 20 de 4 de 2015.] <http://www.tisst.net/documentos/sistemas-solares-termicos/grupo-de-controle/>.

TRNSYS. 2015. [Citação: 5 de 3 de 2015.] <http://www.trnsys.com/>.

Vulcano. 2013. [Citação: 15 de Maio de 2015.] http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/solar/NET_Catalogo_Solar_Trmico~1.pdf.

Wang, Zhangyuan, et al. 2015. Solar water heating: From theory, application, marketing and research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* . 41, 2015, pp. 68-84.

