

• U



C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Acompanhamento da instalação de sistemas de AVAC e avaliação de soluções alternativas ao projeto

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

Autor

Alexandre Herculano Pereira Lopes

Orientadores

Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas

Júri:

Presidente Professor Divo Augusto Alegria Quintela

Vogal Professor António Manuel Mendes Raimundo

Colaboração Institucional



Coimbra, Setembro, 2013

Dedico esta dissertação ao meu pai, que estará sempre comigo.

Agradecimentos

À minha mãe, irmão, Sofia e família, agradeço todo o apoio e conforto que deram, permanecendo a meu lado e fazendo-me continuar nos últimos tempos de maior dificuldade.

Aos meus orientadores, Adélio e Francisco, que me possibilitaram esta oportunidade e me orientaram na elaboração desta dissertação. Sem eles, a elaboração desta dissertação não seria possível.

À empresa Tecnozem, por me ter recebido como estagiário no passado semestre e ajudado a desenvolver conhecimentos práticos na minha área de especialização.

Agradeço ainda ao projetista, que me disponibilizou o modelo em *DesignBuilder* da empreitada.

A todos o meu muito obrigado...

Resumo

Atualmente, a eficiência energética tem cariz de elevada importância. O conceito associa-se à preocupação de construir um edifício que corresponda ao melhor custo-benefício. O investimento inicial de um sistema de AVAC é, muitas vezes, determinante na escolha dos equipamentos preconizados em projeto. Contudo, é a fase de exploração que acarreta maiores custos, já que os consumos dos equipamentos de AVAC são responsáveis por grande parte dos custos da exploração do edifício. Assim, é fundamental o estudo dos consumos energéticos de modo a alcançar a solução mais viável, atendendo ao ciclo de vida do edifício. Neste enquadramento, a presente dissertação é dedicada à descrição e discussão da fase de instalação de um sistema de AVAC num edifício destinado a um lar para idosos, sendo também realizada uma análise da eficiência energética relativamente diferentes alternativas de sistemas de climatização.

Antes de qualquer análise dos sistemas AVAC, foi feita uma abordagem técnica dos mais importantes equipamentos associados, como: unidades de tratamento de ar novo, bomba de calor, chiller e caldeiras. Foram ainda introduzidas as várias etapas da obra de maneira a enquadrar a apresentação das alternativas ao sistema de AVAC a instalar no edifício em estudo.

Posteriormente apresentam-se e discutem-se as alternativas apresentadas pelo projetista e pelo diretor de obra, no sentido de alguma contenção de custos, mas sem apresentação de quaisquer estudos de viabilidade económica. Assim, no presente trabalho, realizaram-se estudos de simulações energéticas em *DesignBuilder*, para avaliar o desempenho energético das várias possibilidades em discussão e as suas implicações nos custos de operação. No final conclui-se que as alternativas do empreiteiro apresentam menores valores a curto e longo prazo, mas maiores valores técnicos comparativamente à alternativa apresentada pelo projetista.

Palavras-chave: AVAC, Edifício, Simulação, Acompanhamento, Obra.

Abstract

Currently, energy efficiency has a great role in building construction. The concept is associated with the concern of building within the most cost-effective approach. Because HVAC is one of the systems that carry the most exploration and installation cost, special attention to it is given. The initial investment of the HVAC system is often decisive in the choice of equipment recommended in the design phase. However, it is the exploration phase which carries the higher costs. The consumption of HVAC equipment is responsible for most of the costs associated with the building operating. Therefore, it is essential to study the energy consumption in order to achieve the most viable solution, given the life cycle of the building.

Before any analysis was made, the most important HVAC equipments were introduced by their technical specifications. These equipments include: air handling units, heat pump, chiller and boilers (natural gas and biomass).

In addition, the phases of construction were introduced, in order to frame the presented alternatives.

In the initial stage of the building execution, the owner requests project alteration in order to contain the global cost of the construction. The designer presents his alternative project, this time with different requirements. In a posterior phase, the constructor presents a more economical alternative and the owner opts to go with this last one. However, there was not made any study on the economic viability in both short and long term, by the fiscal policies. Due to this fact, the student tests the economic viability of each case, comparing each situation by simulation on *DesignBuilder*.

Subsequently, the alternatives presented, by both designer and constructor, are presented and discussed in order to accomplish some cost containment, nonetheless, without presentation of a viability study of any kind. Therefore, in the present work, were carried out energetic simulation studies using the program, DesignBuilder, to assess the energy performance of several possibilities under discussion and its implications on operating costs. In the end it is concluded that the constructor's alternative presents more economical and technical benefits.

Keywords HVAC, Building, Simulation, Monitoring, Construction

Índice

Índice de Figuras	i
Índice de Tabelas	i
Siglas	i
Simbologia.....	ii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	2
1.2. Empresa de acolhimento	3
1.3. Descrição do estágio	3
1.4. Objetivos	4
1.5. Metodologia	4
1.6. Organização	5
2. Princípios técnicos.....	6
2.1. Aquecimento das águas quentes sanitárias	6
2.1.1. Coletor solar plano	6
2.1.2. Depósito acumulador.....	7
2.1.3. Apoio por aquecimento instantâneo.....	8
2.1.4. Caldeira a gás	8
Caldeira de condensação	8
Caldeira a biomassa	10
2.2. Ventilação e ar-condicionado	11
2.2.1. Ventiladores	11
2.2.2. Ar Condicionado	12
Chiller.....	13
Bomba de calor.....	14
2.2.3. Unidades terminais.....	15
2.2.4. Unidade de tratamento de ar novo.....	16
3. Acompanhamento de obra	18
3.1. Legislação aplicável à orçamentação.....	18
3.2. Etapas de projeto e execução	19
3.2.1. Projeto arquitetónico	19
3.2.2. Fase de concurso	20
3.2.3. Execução	21
3.3. Principais entidades envolvidas	21
3.3.1. Dono de obra	21
3.3.2. Projetista.....	22
3.3.3. Diretor de Obra.....	22
3.3.4. Encarregado.....	22
3.3.5. Fiscalização	23

3.4.	Reuniões de obra.....	23
3.5.	Controlo de qualidade.....	24
3.6.	Auto de receção.....	25
3.7.	Receção do material em obra.....	26
4.	Caso de estudo.....	27
4.1.	Caracterização do empreendimento.....	27
4.2.	Sistemas de AVAC principais da empreitada.....	29
4.2.1.	Sistema solar térmico.....	29
4.2.2.	Aquecimento/arrefecimento ambiente.....	30
	Ventilação e Qualidade do Ar Interior.....	31
4.3.	Enquadramento às alternativas apresentadas.....	31
4.3.1.	Modelo 1 – Alternativa apresentada pelo projetista.....	33
	Aquecimento Central e Arrefecimento Ambiente.....	33
4.3.2.	Modelo 2 – alternativa apresentada pelo empreiteiro.....	34
5.	Simulação energética.....	36
5.1.	Desenvolvimento do modelo de simulação apropriado.....	36
5.2.	“Modelo 1” – Alternativa do projetista.....	40
5.3.	“Modelo 2” – alternativa do empreiteiro.....	42
6.	Viabilidade económica.....	44
6.1.	Comparação do “modelo projetista” com o modelo adaptado pelo aluno.....	44
6.2.	Confronto com as alternativas.....	45
6.3.	Análise e discussão de resultados.....	46
7.	Conclusão.....	48
	Bibliografia.....	49
	ANEXO A – Estudo em solterm5.0 do sistema solar de projeto inicial.....	52
	ANEXO B – Especificações técnicas dos equipamentos principais de projeto inicial..	54
	ANEXO C – Especificações técnicas dos equipamentos principais de projeto alternativo.....	58
	ANEXO D – Especificações técnicas dos equipamentos principais da alternativa apresentada pelo empreiteiro.....	59
	ANEXO E - Solar térmico do modelo 2.....	62
	ANEXO F – Interface do sistema em projeto inicial.....	65
	ANEXO G – Cálculo e resultados da viabilidade energética.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquemática das perdas numa caldeira tradicional	10
Figura 2. Princípio de funcionamento da BC	14
Figura 3. Esquema figurativo da competitividade desleal e repercussões	20
Figura 4. Planta virtual em 3D	27
Figura 5. Planta do piso térreo; planta da cobertura	28
Figura 6. Esquema solar da empreitada	29
Figura 7. Esquema do aquecimento/arrefecimento	30
Figura 8. Esquema do Modelo alternativo 1.	33
Figura 9. Esquema do Modelo 2.....	34
Figura 10. Esquema do modelo VAV com reaquecimento nos terminais	37
Figura 11. Simulação de consumos energéticos em kWh referente ao modelo <i>DB</i> utilizado pelo projetista (sem ajustes do aluno)	38
Figura 12. Esquema do modelo adaptado pelo aluno.....	39
Figura 13. Simulação de consumos energéticos em kWh referente ao modelo <i>DB</i> utilizado pelo projetista (com ajustes do aluno).....	40
Figura 14. Resultados da simulação referente ao “Modelo 1”	42
Figura 15. Resultados da simulação referente ao “Modelo 2”	43
Figura 12. Esquema de princípio da simulação das necessidades de AQS	52
Figura 13. Perfil de utilização e consumos das AQS	53
Figura 14. Rendimentos e distribuição das cargas mensais.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Eficiência mínima de motor em função da potência	16
Tabela 2. Necessidades de calor/frio para climatização segundo o projeto inicial.	28
Tabela 3. Necessidades de aquecimento/refrigeração para climatização segundo a alternativa apresentada pelo projetista.	32
Tabela 4. Quadro de dados de entrada para o “Modelo Projetista”	37
Tabela 5. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 0”	39
Tabela 6. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 1”	41
Tabela 7. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 2”	42
Tabela 8. Consumos gerados pela simulação do “Modelo Projetista”	44
Tabela 9. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 0”	45
Tabela 10. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 0” e investimento inicial dos equipamentos	45
Tabela 11. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 1”, investimento inicial e período de retorno simples	45
Tabela 12. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 2”, investimento inicial e período de retorno simples	46
Tabela 12. Apresentação dos cálculos das perda de carga equivalente	67
Tabela 13. Estudo dos consumos energéticos referentes ao modelo do projetista.	69
Tabela 14. Estudo dos consumos energéticos referentes ao “Modelo 0”	69
Tabela 15. Estudo dos consumos energéticos referentes ao “Modelo 1”	70
Tabela 16. Estudo dos consumos energéticos referentes ao “Modelo 2”	71

SIGLAS

AQC – Aquecimento Central

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE – “American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers”

BC – Bomba de Calor

CCP – Código de Contratos Públicos

CE – Caderno de Encargos

COP – Coeficiente de performance

COV – Composto orgânico volátil

DAQS – Depósito de águas quentes sanitárias

DL – Decreto de lei

DX – Expansão direta

E&O – Erros e Omissões

EE – Empresa Empreiteira

EER – Razão da eficiência energética

EPI – Equipamento de proteção individual

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ISO – “International Organization of Standardization”

O&M – Operação e manutenção

PD – Peças Desenhadas

PE – Peças Escritas

PSS – Plano de segurança e saúde

PCI – Poder calorífico inferior

PAM – Pedido de aprovação de material

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios, DL 80/2006

RJUE – Regime jurídico da urbanização e edificação

RSECE – Regulamento dos sistemas energéticos e climatização dos edifícios, DL 79/2006

SHT – Segurança e higiene no trabalho

SLN – “Super Low Noise”

SMACNA – “Sheet Metal and Air Conditioning Contractor’s National Association”

STD – Padrão

UTAN – Unidade de tratamento de ar novo

UPAR – Unidade de produção de água refrigerada

VRF – Caudal de refrigerante variável

SIMBOLOGIA

α – Coeficiente de absorção

Δp_{eqt} – Perda de carga equivalente. [Pa]

Δp_n – Perda de carga a vencer por um equipamento, n. [Pa]

ζ – Coeficiente de transmissão

η – Rendimento

η_0 – Rendimento ótico do coletor solar térmico

η_b – Rendimento da combustão

a_1 – Coeficiente de perda de calor. [W/°K]

a_2 – Coeficiente de perda de calor. [W/°K]

C_a – Custo adicional de investimento.[€]

c_{pg} – Calor específico dos gases de combustão. [kJ/kg. °C]

G – Irradiância solar. [W/m²]

h_n – Entalpia de trabalho no ponto n. [J/kg]

P_1 – Poupança anual. [€/ano]

P_n – Potência consumida em operação por um equipamento, n. [W]

P_t – Potência total. [W]

$q_{a,b}$ – Calor produzido entre a e b. [J/kg]

Q_n – Caudal debitado por um equipamento, n. [m³/s]

Q – Caudal volúmico. [m³/s]

Q_t – Caudal total/equivalente. [m³/s]

\dot{Q}_b – Potência fornecida. [W]

\dot{Q}_n – Potência cedida por perdas de energia, em que $n \in [2; 6]$. [W]

\dot{Q}_u – Potência útil. [W]

T_a – Temperatura ambiente. [°C]

T_{wg} – Temperatura de saída de gases de combustão. [°C]

T_m – Temperatura média. [°C]

V_g – Volume total de produtos de combustão. [m³]

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, houve um incremento da procura de sistemas de climatização no nosso país, desde o sector residencial e aplicações para pequenos edifícios de serviços, aos mais complexos sistemas, especialmente em edifícios do sector terciário. Contudo, como externalidade negativa, obteve-se a maior taxa de consumos de energia dentro dos sectores da economia nacional, como é exemplo do incremento no sector terciário, em 12%. Neste âmbito, por questões ambientais e as suas implicações na racionalização energética, saúde pública e bem-estar, tal como, por razões económicas, aumenta a preocupação com o consumo energético. Esta preocupação leva à implementação de um grupo de normas no sentido de reduzir os consumos energéticos nos edifícios. É neste contexto que a legislação portuguesa, em consonância com as normas europeias, tem vindo a promover a eficiência energética, ao abrigo do DL 79/2006. Esta diretiva vem impor restrições na escolha dos sistemas e equipamentos de forma a garantir a utilização de energia considerada minimamente aceitável. [1]

Para uma ótima gestão de energia de um edifício é importante avaliar o seu comportamento térmico antes da execução. Isto para que fique dotado de infraestruturas que minimizem os consumos de energia ao longo da sua vida útil. Deste modo, é importante a simulação dinâmica de consumos energéticos. Esta simulação permite analisar a solução a implementar, testar soluções alternativas e determinar a melhor opção. Este procedimento seria tecnicamente impossível sem o recurso à ferramenta de cálculo por simulação.

É neste âmbito que se debruça a dissertação. No seguimento de um estágio, é proposto ao aluno, a elaboração do estudo da viabilidade energética de uma das obras que seguiu, uma vez que a validação técnica foi realizada no decurso da obra, pela fiscalização.

1.1. Enquadramento

Cada projeto de AVAC envolve, numa primeira abordagem, um processo de resolução de problemas térmicos de qualidade do ar interior do edifício. Normalmente, com o intuito de alcançar o sistema mais apropriado e economicamente viável, cabe ao projetista, seguindo os requisitos impostos pelo dono de obra, preconizar a solução mais viável, tendo em conta a finalidade das instalações, a execução técnica, enquadramento arquitetónico, e a facilidade de manutenção e utilização. Relativamente à execução da obra, cabe ao empreiteiro desenvolver a instalação do sistema de acordo com o projeto, seguindo indicações do fabricante e da fiscalização, sempre em concordância com os regulamentos aplicáveis. O contratado terá apenas de prestar um serviço de alta qualidade, alertando para quaisquer ambiguidades ou omissões em projeto que encontre.

O processo de execução de obra resume-se à verificação da conformidade da informação disponível (caderno de encargos, peças desenhadas, mapa de quantidades, etc.) e conceção da empreitada. Poderá ainda existir uma fase de apresentação de alternativas mais viáveis, por parte do empreiteiro. Esta última fase poderá ocorrer como consequência da feroz competitividade da concorrência nos concursos públicos.

No decorrer do estágio, o estudante seguiu duas obras, nomeadamente, uma empreitada de apartamentos turísticos, com localização na Nazaré e outra, respeitante a um lar para idosos com cuidados intensivos, localizado em Tomar.

A primeira apresentava soluções independentes (para 37 frações) incluindo: ventilação de sujos, climatização, solar térmico e desenfumagem. Já na segunda obra, poderá encontrar-se um sistema de AVAC mais completo, em que as necessidades de aquecimento/arrefecimento ambiente são cobertas por um sistema centralizado e a ventilação é feita com tratamento prévio do ar insuflado.

Para o caso de estudo, escolheu-se a obra do lar para idosos, devido à sua maior dimensão e complexidade.

1.2. Empresa de acolhimento

A empresa “Energihotel, Lda”., integra o grupo Tecnorém, SA – empreiteiro geral na construção de edifícios. Correntemente, a Tecnorém é uma das mais prestigiadas empresas da região onde se insere, com um histórico de empreitadas de elevada envergadura. O quadro técnico é composto por pessoas altamente qualificadas e experientes. Identifica-se na sua área de trabalho de construção civil, e exerce atividades de: estudos gerais de projetos de arquitetura, engenharia e empreendimentos; consultadoria técnica com emissão de pareceres; direção, gestão e execução de obras.

No global, a empresa Tecnoreem conta com 22 quadros superiores, 149 operários e 10 estagiários e divide-se nos seguintes departamentos: estudos e projetos; gestão comercial; compras; produção; qualidade e SHST (segurança higiene e saúde no trabalho); administrativo e financeiro; recursos humanos e instalações especiais. Neste último, enquadra-se a empresa EnergiHotel onde foi concretizado o estágio.

A EnergiHotel é uma empresa do setor das instalações especiais com início de atividade a 1 de Junho de 2008. Tem conseguido manter-se no mercado com um desenvolvimento regular permitindo-lhe ser capaz de responder aos mais variados desafios do mercado. Como experiência, a EnergiHotel recebeu até à data, projetos de educação, saúde, turismo e indústria, instalando sistemas que garantam espaços funcionais e aprazíveis ao utilizador/operador.

É integrada por 3 quadros superiores e 7 operários e executa trabalhos como: projetos, instalação e acompanhamento através do serviço pós-venda.

1.3. Descrição do estágio

No intuito de reunir conhecimentos mais específicos, o estagiário inicia-se na orçamentação de projetos de AVAC para concursos públicos. Esta fase permitiu criar a lista de contatos mais relevante e construir relações comerciais com as empresas fornecedoras dos equipamentos.

Posteriormente, estagiário aplica os conhecimentos teóricos obtidos no mestrado, iniciando-se na elaboração de projetos (projeto de ventilação e dimensionamento de tubagem para lares de idosos).

De maneira a familiarizar-se com o ambiente prático, adveio um período de algumas deslocações a obras, no âmbito da vistoria.

Numa última fase, o estagiário realiza o acompanhamento direto de obra. No seguimento desta experiência, obtém uma maior compreensão dos trabalhos em obra e adota capacidades de resolução de problemas de campo. Ficou, ainda, responsável pelo controlo da obra, mais especificamente, pela negociação com fornecedores, adjudicação e instalação.

1.4. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação incide sobre o estudo da eficiência energética do edifício de serviços, respeitante à análise dos consumos da climatização, por simulação em *DesignBuilder*. Esta análise irá confrontar os consumos energéticos das alternativas apresentadas pelo projetista e empreiteiro da obra.

1.5. Metodologia

Primeiramente foi introduzida a empreitada gerida pelo aluno, caracterizando os equipamentos mais relevantes desta e alguns pormenores a ter em conta.

De seguida, foi elaborado um estudo de consumos energéticos do edifício, e da viabilidade energética das alternativas propostas (comparativamente ao sistema original de projeto).

A metodologia seguida pelo aluno centrou-se no cálculo dos consumos energéticos através do modelo utilizado pelo projetista no programa, *DesignBuilder*. Este modelo apresentava já as características construtivas do edifício, permitindo calcular os consumos energéticos através de alguns ajustes dos dados de entrada.

A simulação em *DB* foi precedida por alguma análise do modo de funcionamento do programa, de maneira a escolher o *template* que mais se aproximava da realidade do sistema em caderno de encargos. Depois de eleito o sistema mais equivalente, introduziram-se os dados característicos do caso de estudo no programa.

Por fim, foi elaborada a simulação dos consumos das várias alternativas e estudada a viabilidade energética de cada uma.

1.6. Organização

O corpo de texto encontra-se organizado em partes distintas.

Após os capítulos respeitantes aos agradecimentos, resumo e introdução segue-se o capítulo 2, onde são introduzidos os princípios técnicos dos sistemas do caso de estudo.

O capítulo 3 explora noções relevantes no trabalho do acompanhamento de obra de AVAC, com vista a evidenciar as diferentes etapas da construção de um edifício, entidades intervenientes e o processo de concurso público.

No capítulo 4, apresentam-se os sistemas preconizados no projeto original. Demarcam-se ainda as alternativas propostas. Uma a pedido do dono de obra. Outra com base no interesse económico da empresa empreiteira.

O capítulo 5 introduz a simulação energética. É apresentado o programa de trabalho e explicados os modelos de simulação utilizados.

Na sequência do capítulo 5, encontra-se a apresentação dos resultados da simulação energética. Neste capítulo 6, é feita a apreciação crítica dos dados obtidos pelo programa.

Por fim, chega o capítulo final, que conclui esta dissertação.

2. PRINCÍPIOS TÉCNICOS

2.1. Aquecimento das águas quentes sanitárias

Consegue-se com um sistema solar térmico o aquecimento quase integral das águas sanitárias em regime de verão [2].

Normalmente, o sistema solar térmico dimensiona-se de modo a cobrir 50%-80% das necessidades anuais de águas quentes sanitárias. Os restantes 20%-50% serão fornecidos pelo apoio solar [2].

2.1.1. Coletor solar plano

Com vista a otimizar a conversão da energia solar em calor, a placa absorvedora deverá ter a maior capacidade de absorção conjugada com a menor emissividade térmica possíveis. A otimização é possibilitada pelo tratamento da chapa metálica com revestimento seletivo (cromo-preto, níquel-preto ou TiNOx) [2].

Na seleção do coletor deve-se ter em conta o rendimento ótico, η_0 , e o rendimento térmico, η . O primeiro (Eq. 1), define a proporção de radiação solar disponível absorvida pela placa absorvedora em função da transparência da cobertura de vidro (coef. de transmissão, ζ) e da capacidade de absorção da placa absorvedora (coef. de absorção, α). O segundo (Eq. 2), retrata a eficiência da transferência da energia em função do rendimento ótico, coeficientes de perda de calor (a_1 [W/K] e a_2 [W/K²]), a irradiância solar (G [W/m²]) e a diferença entre a temperatura média do fluido em circuito solar e a temperatura ambiente.

$$\eta_0 = \zeta \times \alpha \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \quad (2)$$

Coletores planos com qualidade deverão apresentar uma eficiência ótica superior a 80% e perdas térmicas inferiores a 6 [W/m².°K] [2].

Por fim, é preciso ter em conta a temperatura de estagnação para períodos em que as necessidades de AQS são menores. Ou seja, em alturas de irradiação solar elevada ou do não uso da água quente, em que o acumulador atinge temperaturas na ordem de 60-90°C e o sistema deixa de receber calor do coletor. Nesta situação o absorvedor do coletor aquece até que as perdas de calor atinjam o valor do output térmico deste. Para um coletor plano de isolamento razoável, devem ser tomadas como referência as temperaturas de estagnação máximas no intervalo: [160;200] °C [2].

2.1.2. Depósito acumulador

Pela necessidade de armazenar o calor solar gerado para ser utilizado quando necessário, deve existir, no sistema, um elemento armazenador da energia térmica.

Os materiais mais comuns, utilizados neste tipo de depósitos são: aço, aço inox, alumínio e fibra de vidro reforçada. O aço apresenta-se como o material mais económico, contudo, é obrigado a passar por um processo de proteção interior contra a corrosão. A temperatura máxima recomendada para a água quente sanitária distribuída nas tubagens não deve exceder os 60 °C. O inox apresenta melhores características, no entanto, também é o mais dispendioso. O alumínio apresenta custos razoáveis, contudo, é mais frágil à corrosão. A fibra de vidro reforçada e os plásticos são os materiais que mais vantagens demonstram, tendo estes boas características de resistência à corrosão, sendo leves e de fácil manutenção. Novamente, devido ao incremento da qualidade, também estes depósitos tendem a ter um preço elevado.

O depósito exibe forma cilíndrica, pela facilidade de construção, e, de altura superior ao seu diâmetro (na razão de 2,5:1) de modo a potenciar o fenómeno de estratificação térmica [2].

O dimensionamento do acumulador deve cobrir 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada. Assim, o volume deverá ser de 50 a 70 L/pessoa (a médio consumo) [2].

Para sistemas de utilização de água potável como AQS, a temperatura do depósito é limitada aos 60°C a fim de evitar precipitações de calcário a altas

temperaturas, prevenindo o bloqueio da superfície do permutador de calor e de depósitos graduais de calcário na base do acumulador [2].

2.1.3. Apoio por aquecimento instantâneo

Este sistema fornece energia para aquecer a água da rede à temperatura de consumo. Funciona como apoio ao solar em regime de verão, e como produtor principal de água quente em regime de inverno. No mercado existem diversos tipos de sistemas de energia auxiliar disponíveis, nomeadamente, caldeiras e bombas de calor.

2.1.4. Caldeira a gás

As caldeiras individuais de gás butano, propano ou natural, reúnem características que as tornam o sistema de apoio principal nas instalações solares. Permitem controlar facilmente a temperatura de saída de água quente, mediante a regulação da queima de gás, consumindo apenas o combustível necessário. O custo de instalação é reduzido e o custo do gás é inferior à tarifa elétrica média

[3].

Com base em reuniões com os fornecedores ao longo do estágio, são recomendadas as caldeiras com capacidade de modulação da queima. Este sistema minimiza os arranques e paragens consecutivos da caldeira, através do controlo da potência térmica fornecida na queima do combustível. Utilizando este tipo de caldeiras permite economizar os consumos uma vez que adequa o calor fornecido às necessidades instantâneas.

Caldeira de condensação

Esta usa uma tecnologia que permite utilizar os recursos naturais da forma mais eficiente e ecológica, procurando um rendimento elevado e consumo reduzido [4].

Os gases de escape evacuados pela chaminé, produtos da combustão, possuem energia latente recuperável, que potencia o incremento do rendimento da caldeira.

Estas caldeiras, de elevada eficiência dispõem de um permutador (gás/água) antes da chaminé, onde se realiza o arrefecimento dos gases (acompanhado da condensação dos seus vapores) e o aquecimento da água, no seu trajeto de retorno à caldeira.

Ao promover-se o arrefecimento e a consequente condensação dos vapores contidos nos gases, aproveita-se não só a energia resultante da diminuição da sua temperatura (calor sensível), mas também a libertação de energia associada à mudança de fase do vapor (calor latente).

Ao trabalhar com temperaturas entre os 80 °C e os 60 °C, a temperatura dos gases não ultrapassa os 70 °C, enquanto que, em caldeiras tradicionais joga-se com temperaturas de gases na ordem dos 200 °C. O rendimento normalizado numa caldeira de condensação poderá alcançar os 109% sobre o PCI do gás queimado, que se traduz imediatamente num aproveitamento energético de 25%-30% numa instalação tradicional [5, [6].

O rendimento térmico pode ser avaliado diretamente pela medição do consumo de combustível, de água e de vapor, pressão e temperatura do vapor e poder calorífico inferior.

A potência fornecida pela queima do combustível, \dot{Q}_b , e a potência útil transferida ao fluido a aquecer na tubagem de distribuição de aquecimento, \dot{Q}_u , fornecem a relação do rendimento térmico da caldeira, η_b , sendo esta a proporção de energia transferida para o fluido de trabalho (Eq. 3).

$$\eta_b = 100 \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_b} [\%] \quad (3)$$

O rendimento térmico pode variar entre 88%-94% em caldeiras tradicionais de alta capacidade, e 60%-70% em caldeiras de baixa capacidade [5].

No dimensionamento e exploração da caldeira, é fundamental prestar atenção às perdas de energia, pelo que a utilização eficiente do combustível nas caldeiras depende de três fatores essenciais: combustão completa do combustível, maximização da transferência de calor dos produtos da combustão para as superfícies de absorção de calor e, minimização das perdas de calor por radiação e convecção.

Segundo a Eq. 5, a potência fornecida, \dot{Q}_b , iguala à soma da potência útil, \dot{Q}_u , com as perdas de energia, \dot{Q}_2 a \dot{Q}_6 [7],[8].

$$\dot{Q}_b = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 [W] \quad (4)$$

Em que, \dot{Q}_2 , refere as perdas de energia pela chaminé. Esta é a variável de maior relevância no balanço pois chega a atingir 4%-7% em caldeiras de grande capacidade e 10%-20% em caldeiras de menor calibre. Esta perda deve-se à elevada temperatura dos produtos da combustão. É função do volume total de produtos da combustão, $V_g [m^3]$, calor específico dos produtos, $Cp_g [kJ/kg \cdot ^\circ C]$, temperatura de saída dos produtos, $T_{wg} [^\circ C]$, e temperatura de referência do PCI do combustível, T_a ($25^\circ C$).

$$\dot{Q}_2 = V_g \cdot Cp_g \cdot (T_{wg} - T_a) [W] \quad (5)$$

Relativamente às restantes perdas, identificam-se estas, segundo a Figura 1 demonstra: \dot{Q}_3 , perdas devido à combustão incompleta, \dot{Q}_4 , perdas por não queimados, \dot{Q}_5 , perdas por convecção e \dot{Q}_6 , perdas devidas à entalpia da escória e ao arrefecimento de painéis, condutas, vigas e chaminé, que não pertencem ao sistema de circulação da caldeira.

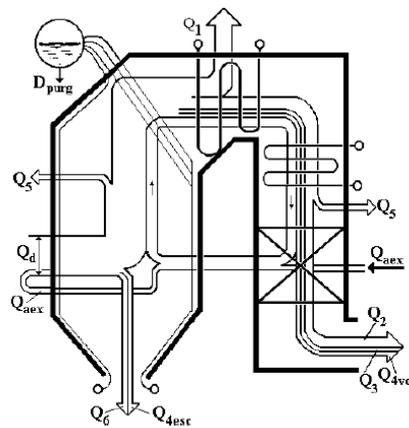


Figura 1. Esquemática das perdas numa caldeira tradicional [7].

Caldeira a biomassa

A caldeira a biomassa foi desenvolvida com o propósito da produção de águas quentes a partir da combustão de resíduos sólidos como as pellets de madeira.

A biomassa apresenta-se com um PCI inferior ao do gás natural em 56%, levando a um consumo superior para uma mesma aplicação. Em contrapartida, a biomassa é mais económica [9].

Em comparação a caldeiras de gasóleo, o investimento é amortizado em menos de 2 anos, e em menos de 3 anos, se comparada com caldeiras de gás natural. Contudo, tem o inconveniente do carregamento do silo com pellets regularmente. Esta desvantagem pode ser ultrapassável com a implementação de um silo de larga escala [10].

O rendimento das caldeiras a biomassa situa-se geralmente entre 80% e 95% [11].

2.2. Ventilação e ar-condicionado

2.2.1. Ventiladores

Os ventiladores classificam-se principalmente pela configuração do rotor, em que subsistem: ventiladores centrífugos/rádias; ventiladores axiais; ventiladores helico-centrífugos; e, ventiladores transversais.

Os ventiladores radiais (centrífugos) podem ter rotores com pás retas, curvadas para trás ou curvadas para a frente. A primeira situação é a mais comum, acarretando um custo mais baixo. Esta solução apresenta menor eficiência e um maior nível de ruído. O segundo caso apresenta incremento na eficiência e diminuição do ruído pois o fluxo do ar adapta-se melhor à forma das pás. Contudo, possui um custo mais elevado que o anterior.

No dimensionamento do ventilador deve-se ter em conta a sua curva característica com vista a evitar consumos e ruídos desnecessários. Cada fornecedor disponibiliza a ficha técnica do equipamento com o respetivo descritivo do seu ponto de funcionamento, associando-se esta curva à forma do rotor.

A pressão estática a vencer pelo ventilador devido a perdas de carga em condutas e acessórios (contínuas e localizadas, respetivamente), normalmente é fornecida em caderno de encargos. Contudo, na alteração dos equipamentos ou área de

condutas, é aconselhado recalcular este parâmetro de maneira a garantir o correto dimensionamento das condutas e ventiladores.

2.2.2. Ar Condicionado

Os sistemas de climatização podem ser do tipo expansão direta ou indireta sendo que a condensação pode ser realizada via ar ou água.

2.2.2.1. Sistema de expansão direta

Nos sistemas de expansão direta, o arrefecimento e/ou aquecimento ambiente é efetuado por expansão direta do fluido frigorífero. Normalmente, os sistemas de expansão direta referem-se aos sistemas do tipo split, em que a unidade condensadora (que cede calor ao espaço) está separada da unidade evaporadora (que cede frio ao espaço).

O princípio básico de funcionamento é a absorção de calor no evaporador, para ser posteriormente libertado no condensador. Normalmente este tipo de máquinas é do tipo reversível, sendo capaz de efetuar o arrefecimento (verão) e o aquecimento (inverno) por inversão das funções dos permutadores das unidades exterior e interior [12].

Enquadram-se neste tipo de sistemas de ar condicionado, tanto os sistemas *mono-split* e *multi-split*, como os sistemas VRV/VRF.

Qualquer um dos tipos de equipamentos de ar condicionado anteriormente referidos pode estar equipado com sistema inverter. Este sistema, ao contrário do sistema convencional que funciona sempre à mesma potência, varia a potência fornecida de acordo com as necessidades de climatização da habitação, variando a velocidade de rotação do compressor. Desta forma, a temperatura desejada é atingida mais rapidamente, em cerca de dois terços do tempo de uma unidade tradicional, mesmo em condições climáticas muito severas, quer no Inverno quer no Verão [13].

O sistema inverter consegue reduzir os consumos de energia elétrica em cerca de 30% comparativamente às restantes unidades e, ao evitar a paragem e arranque

constantes das unidades tradicionais, permite também eliminar as variações excessivas de temperatura, prolongando desta forma o tempo de vida útil do compressor [13].

2.2.2.2. Unidades produtoras de calor/frio

Estas unidades podem ser designadas como sistemas de expansão indireta. O arrefecimento/aquecimento ambiente é feito pela transferência calor de um circuito primário para um circuito secundário que, por sua vez, distribuirá calor/frio aos terminais nos espaços a climatizar. Poderá, ainda, existir um segundo circuito secundário na existência de uma unidade a 4 tubos com capacidade para fornecer calor e frio ao mesmo tempo [12].

Estes sistemas idealizam-se para edifícios de grande escala onde existem várias zonas diferentes a climatizar. É um sistema onde o aquecimento e/ou o arrefecimento são centralizados numa máquina produtora de calor e/ou frio e, posteriormente, distribuído através de circuitos secundários aos equipamentos terminais. Exemplos de produtores de água quente/ fria para este tipo de sistema são a bomba de calor, chiller e caldeira. As duas primeiras podem ser de funcionamento a ar ou a água trabalhando sob o princípio do ciclo termodinâmico de Carnot. A última solução foi discutida anteriormente nesta dissertação.

Chiller

Relativamente ao sistema produtor de apenas água refrigerada, os mais utilizados a nível industrial são os *chillers* por compressão mecânica e de absorção, pelo que, o chiller por compressão é o mais solicitado [14].

A compressão mecânica é feita através de um compressor que aumenta a pressão no fluido frigorigéneo e promove a circulação desse fluido no circuito de refrigeração. O compressor pode ser do tipo: centrífugo, rotativo, parafuso, alternativo ou scroll atendendo à sua capacidade de arrefecimento, estando o tipo *scroll* adaptado no projeto em estudo. Este é constituído por duas partes em forma de espiral, montadas com uma diferença de fase de 180°. Funciona pelo princípio do deslocamento positivo, ou seja, aumentando a pressão do vapor refrigerante, reduzindo o volume interno da câmara de compressão por trabalho mecânico (movimento orbital) [15],[16].

Sendo o coração do sistema de refrigeração, este conta com 30% a 40% do custo total do *chiller* [14].

Os restantes constituintes do sistema de refrigeração resumem-se ao condensador (que transfere o calor latente na fase de condensação), evaporador (que absorve o calor latente na evaporação) e válvula de expansão (que reduz a pressão do fluido frigorífero no estado líquido [14].

Bomba de calor

Em termos funcionais a bomba de calor difere do *chiller*, apenas na reversão do ciclo termodinâmico. Enquanto a máquina frigorífica se limita a climatizar espaços em regime de verão, a bomba de calor, é projetada para climatizar os espaços ao longo de todo o ano, em regime de verão (pelo ciclo de refrigeração) e de inverno também (por reaproveitamento de calor rejeitado pelo condensador).

Basicamente, uma bomba de calor é uma unidade de ar condicionado com um mecanismo de *change-over* (válvula de inversão p.e.) que se encarrega da inversão do fluxo do refrigerante, ou seja, vai este na direção do evaporador.

O efeito de refrigeração ($q_{1,4}$) e de aquecimento ($q_{2,3}$) demonstram-se no diagrama de Mollier seguinte:

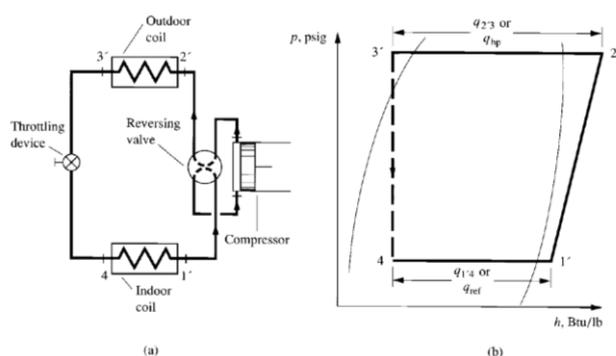


Figura 2. Princípio de funcionamento da BC [16].

O rendimento de uma bomba de calor define-se pelo COP ou EER, para aquecimento/arrefecimento, respetivamente, variando entre 3 e 5, no primeiro [17].

O COP define-se como a razão entre o calor produzido pelo sistema, $q_{2,3} = (h_{2'} - h_{3'})$ [J/kg], e a energia elétrica fornecida a este. Ao contrário do sistema

de caldeira, a BC obtém um rendimento acima dos 100%, pois absorve eletricidade apenas para o trabalho do compressor e ventoinhas, a restante energia é aproveitada por energias auxiliares (diferença de temperatura do ar exterior, p.e.) [18].

2.2.3. Unidades terminais

2.2.3.1. Ventilconvectores vs radiadores

Os radiadores de água quente mais comercializados são: de ferro fundido, alumínio e chapa de aço. A instalação a dois tubos é o tipo de sistema mais comum, pois os radiadores estão montados em paralelo, de modo a que a água fornecida pela unidade produtora de calor regresse diretamente à mesma, garantindo uma temperatura semelhante de entrada em todos os radiadores. Para regulação e controlo do caudal é usual a utilização de válvulas termostáticas à entrada do equipamento, permitindo controlar a temperatura ambiente do local onde se encontram. Como desvantagem sobressai a baixa eficiência de emissão comparativamente aos ventilconvectores.

As unidades ventilconvectoras, possuem ventilador incorporado que faz circular o ar interior, sendo este aquecido ou arrefecido, mediante a necessidade do utilizador. Estas unidades são munidas de filtro electrostático eliminando os contaminantes do ar prejudiciais à saúde humana. Ao filtrar o ar de retorno pode o ventilconvetor insufla-lo novamente no espaço a climatizar. O caudal de ar purificado pode ser misturado com um caudal de ar novo mínimo requerido, para restabelecer os níveis ótimos de CO² (em conformidade com a norma EN 13779:2007) [19].

A reduzida perda de carga deste sistema de filtragem é insignificante no impacto do consumo por ventilação e no caudal. Contudo, tem como desvantagens o ruído em funcionamento e o custo inicial relativamente ao radiador.

É preferível a instalação de terminais ventilconvectores em certas situações, como em estabelecimentos de saúde, p.e. O arrefecimento dos espaços é fundamental para o bem-estar e saúde do utilizador. Para além disto, através da recirculação do ar é possível reduzir consumos no sistema de tratamento do ar e das unidades produtoras de calor/frio.

2.2.4. Unidade de tratamento de ar novo

A unidade de tratamento de ar novo corresponde ao conjunto de módulos com capacidade para insuflar ar tratado nos espaços a climatizar. Pode este equipamento ser munido de ventiladores, baterias de aquecimento/arrefecimento, módulos de umidificação/desumidificação, filtros (pré-filtro, filtro de média eficiência e filtro final), recuperador de calor e registros. São construídas em conformidade com as normas EN 1886 e EN13053, atendendo à resistência mecânica e fugas de ar pela envolvente, estanqueidade, fugas de derivação dos filtros, condutividade térmica, pontes térmicas e acústica [20],[21].

Tipicamente utiliza ventiladores centrífugos com transmissão por correia. O módulo ventilador deverá ter proteção mínima na insuflação na classe IP 55 (proteção contra partículas sólidas e líquidos), em conformidade com a EN 60529 e uma eficiência igual ou acima de EFF2 para motores de 1,1kW a 75kW [22].

P [kW]	Eficiência do motor [%]		
	EFF3	EFF2	EFF1
1.5	<78.5	78.5 - 85.0	>85.0
3.0	<82.6	82.6 - 87.4	>87.4
7.5	<87.0	87.0 - 90.1	>90.1
15	<89.4	89.4 - 91.8	>91.8
30	<91.4	91.4 - 93.2	>93.2
45	<92.5	92.5 - 93.9	>93.9
75	<93.6	93.6 - 94.7	>94.7

Tabela 1. Eficiência mínima de motor em função da potência [23].

As baterias a água recebem o fluido refrigerante vindo da fonte de calor/frio e são montadas em módulos individuais ou em tabuleiros de condensados (para eliminação de retenção da água) em inox embutíveis na UTAN.

A filtragem inicial do ar é feita no intuito de prevenir acumulação de poeiras e evitar perdas de eficiência da unidade. A filtragem serve em aplicações em que os espaços devem manter-se livres de micro-organismos prejudiciais à saúde humana, pelo que, nestas situações, é importante a utilização de filtros de maior eficiência. Os sistemas de filtragem encontram-se classificados nas normas EN779 e EN1822 e devem cumprir os requisitos mínimos por elas decretados [24],[25].

Para efeitos de aumento da eficiência da UTAN, é usual a implementação de um recuperador de calor. Este tem como função o pré-aquecimento do ar aspirado aproveitando o calor do ar de retorno.

De modo a ajustar os caudais de entrada e saída da UTAN, são previstos registos de caudal. Os tipos de registos variam em função da pressão que conseguem suportar e da sua estanqueidade, de acordo com a norma EN1751 [26].

3. ACOMPANHAMENTO DE OBRA

3.1. Legislação aplicável à orçamentação

Pela entrada em vigor do DL18/08, 29 de Janeiro, aprovando o CCP que determina regulamentos aplicados à contratação pública, foram revogados os decretos 59/99 e 197/99 [27],[29].

O decreto supracitado apresenta, face ao regime anterior, inovações no modo de apresentação das propostas, sendo que todas as propostas devem, agora, ser entregues através de plataforma eletrónica. Cada entidade tem o direito de escolher a sua plataforma, nomeadamente, VortalGov, Construlink, Bizgov, AnoGov ou Acingov – plataformas mais correntes.

Os concursos dividem-se em duas fases. Numa primeira, os concorrentes apresentam os pedidos de esclarecimentos. Posteriormente, é dada a oportunidade para exposição de erros e omissões aos elementos de concurso fornecidos (PD e PE).

Relativamente à fase de esclarecimentos, estabelece-se um prazo de entrega até o primeiro terço da entrega final da proposta. Os pedidos de esclarecimentos são, então, analisados, tendo o adjudicante até ao final do segundo terço do prazo para responder às dúvidas levantadas sob pena de ter de adiar os restantes prazos (Art.50.º). [27].

A fase de E&O estende-se até ao termo do quinto sexto do prazo fixado da apresentação das propostas para enviar à entidade todos os erros e omissões encontrados. O adjudicante dispõe até à data de apresentação das propostas para decidir sobre a aceitação, ou não, dos mesmos, pelo que, deve conceder a prorrogação do prazo de entrega das propostas pelo mesmo período que teve para o seu estudo (Art.61.º) [27].

No anterior regime de empreitadas de obras públicas, o preço base estava ligado à determinação do procedimento, podendo o concorrente apresentar preço superior (entendia-se que não podia exceder 25%). Hoje, o caderno de encargos indica o preço base, não podendo o concorrente apresentar proposta superior à do preço base. Se o fizer a proposta é necessariamente excluída, nos termos do Art. 70º,nº2 do referido código [27],[28].

[28] O Art. 74º,nº1 impõe que a adjudicação seja efetuada segundo um dos seguintes critérios: o da proposta economicamente mais vantajosa e o do mais baixo preço. A entidade adjudicante deve indicar os fatores e eventuais subfactores que densificam o critério de adjudicação, para que os concorrentes possam ter em conta, ao elaborar a proposta, quais os critérios para a sua avaliação (Art. 75º).

Para além da lista dos preços unitários de todas as espécies de trabalho previstas no projeto de execução, a proposta deve ser constituída por um plano de trabalhos conforme o Art. 361º [28].

O plano de trabalhos deve, em conformidade com o prazo de execução da obra, fixar a sequência e prazos parciais de execução de cada grupo de trabalhos previstos e especificar os meios com que o empreiteiro se propõe executá-los, bem como definir o correspondente plano de pagamentos.

3.2. Etapas de projeto e execução

3.2.1. Projeto arquitetónico

3.2.1.1. Projeto de licenciamento

Projeto a ser submetido a licença camarária que viabiliza, ou não, a construção de um empreendimento.

3.2.1.2. Projeto de execução

Projeto final, desenvolvido com base no projeto de licenciamento e com detalhe adequado que permita a construção de um empreendimento. Deve incluir pormenores construtivos e especificações técnicas, nomeadamente, recomendações

complementares e condicionamentos para a execução da empreitada, trabalhos preparatórios e procedimentos gerais, especificações dos equipamentos/materiais a empregar na empreitada e o modo de execução dos trabalhos.

É constituído pelas PE e PD. As primeiras incluem: MDJ com os cálculos justificativos, MTQ com as medições dos trabalhos a realizar, estimativa orçamental de base, CTG e CTE. Nas PD são fornecidas as plantas, alçados e cortes e pormenores construtivos de execução.

3.2.2. Fase de concurso

É nesta fase que se concorre à adjudicação da obra. É pertinente mencionar que, devido à nova legislação, que estabelece um preço base como o máximo a concorrer, existe a competição feroz da concorrência nesta fase. Ao concorrerem a concurso, muitas empresas adaptam-se à nova legislação, orçamentando sistemas diferentes dos preconizados em projeto, com vista a apresentar o melhor preço.

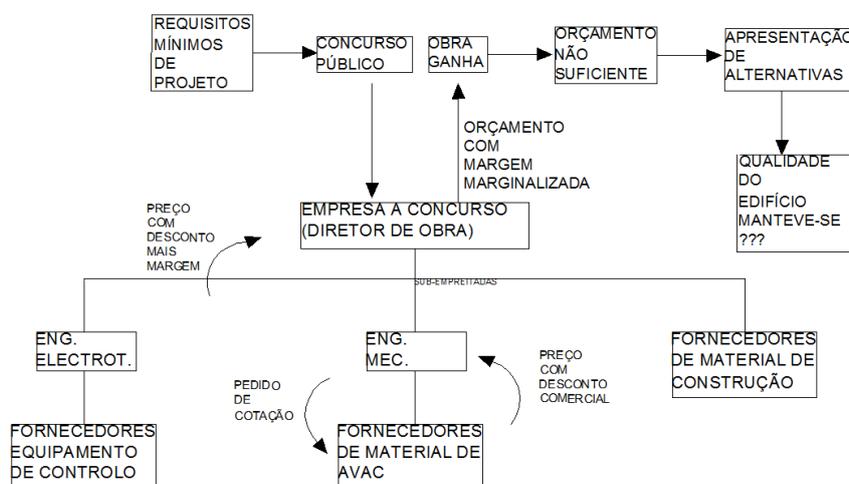


Figura 3. Esquema figurativo da competitividade desleal e repercussões

Esta concorrência desleal acarreta graves problemas a partir da execução da obra. Já durante a obra, a entidade que ganhou o concurso, tende a forçar equipamentos, aparentemente, equiparados aos de projeto, apresentando menores valias. Pelo que, o dono de obra, inconscientemente, aceita a proposta e cede à vontade do empreiteiro.

Normalmente, isto resulta no decréscimo da qualidade do edifício, indo contra os requisitos inicialmente discutidos na fase de projeto.

3.2.3. Execução

Nesta fase são executadas as intervenções previstas nos estudos e projetos, com base na otimização dos seguintes fatores: prazos, economia, qualidade, segurança e ambiente.

Numa primeira etapa de preparação deve-se: proceder ao esclarecimento de todas as dúvidas e identificadas as omissões existentes, de modo a que seja possível a sua correção a tempo e clarificadas as ambiguidades detetadas no projeto que possam atrasar a construção; criar um livro de registos de modo a indicar, cronologicamente, todas as ocorrências verificadas no decurso da obra e que interessam à realização desta (será facultado aos agentes das entidades que tenham jurisdição sobre a obra, sempre que estes o solicitarem, para que possam visualizá-lo ou nele inscrever as observações); planejar trabalhos e requisição de materiais/equipamentos, de modo a garantir o cumprimento dos prazos exigidos e a economia da obra; e montar estaleiro.

Numa segunda etapa, são instalados os equipamentos de acordo com o especificado no CE e os procedimentos que garantam a entrega final da obra concluída e sem problemas funcionais.

3.3. Principais entidades envolvidas

3.3.1. Dono de obra

É o adjudicante da empreitada. Sendo a cabeça da cadeia hierárquica do empreendimento, passa por ele a aprovação da execução de trabalhos e responsabiliza-se pela tomada de decisões no que diz respeito à obra, inclusive do PSS.

Este é responsável pela nomeação das demais partes intervenientes no projeto, execução, operação e manutenção (O&M).

3.3.2. Projetista

O autor de projeto, adota as soluções de projeto que melhor servirem os interesses do dono da obra, expressos no programa preliminar e na apreciação de cada fase do projeto, ao nível funcional e de exequibilidade do projeto e da obra, devendo justificar tecnicamente todas as soluções propostas.

É responsável por garantir a harmonização com as várias especialidades, assegurando a integridade do projeto e a sua coerência.

Sempre que se justifique, deverá, juntamente com o coordenador de projeto, esclarecer o relevo das opções de conceção ou de construção e prestar assistência técnica à obra.

3.3.3. Diretor de Obra

O diretor de obra assume a função técnica de dirigir a execução dos trabalhos e a coordenação de toda a atividade de produção, quando a empresa, cujo quadro de pessoal integra, tenha assumido a responsabilidade pela realização da obra.

É da sua responsabilidade assegurar a correta realização da obra, e adotar os métodos de produção adequados, de forma a certificar-se do cumprimento dos deveres legais a que está obrigado, da qualidade da obra executada, da segurança e da eficiência no processo de construção.

3.3.4. Encarregado

Trata-se da entidade intermediária de apoio ao diretor de obra. Executa os trabalhos nas frentes de obra à sua responsabilidade, no seguimento rigoroso das regras elementares de SHT, promove utilização dos equipamentos de proteção individual (EPIs) e zela pela correta execução dos trabalhos conforme as ordens do diretor de obra.

3.3.5. Fiscalização

Intitula-se como autoridade fiscal a entidade encarregue, com autonomia técnica, de assegurar a verificação da execução da obra em conformidade com o projeto de execução, e o cumprimento das condições da licença ou admissão, em sede de procedimento administrativo ou contratual público. Responsabiliza-se esta pelo acompanhamento da realização da obra com a frequência adequada ao integral desempenho das suas funções e à fiscalização do decurso dos trabalhos e da atuação do diretor de obra no exercício das suas funções.

Qualquer deficiência técnica verificada em projeto ou a necessidade de alteração do mesmo para a sua correta execução, tem como obrigação a autoridade fiscal de comunicar, de imediato, ao dono da obra e ao projetista.

Como representante do dono de obra, deve esta participar ao próprio e ao coordenador de segurança e saúde, situações que comprometam a segurança, a qualidade, o preço contratado e o cumprimento do prazo previsto em procedimento contratual.

A pedido do dono de obra, poderá desempenhar outras funções desde que as mesmas não substituam os cargos do diretor de obra ou projetista, não dependam de licença, habilitação ou autorização legalmente prevista e não sejam incompatíveis com o cumprimento de quaisquer deveres legais.

A autoridade fiscalizadora deve cumprir os deveres que sejam incumbidos por lei, designadamente pelo RJUE e pelo CCP bem como pelas respetivas portarias regulamentares vigentes.

3.4. Reuniões de obra

No decorrer da obra, o estagiário, como responsável da especialidade, participou em reunião de obra. Os assuntos tratados, geralmente, estão relacionados com o projeto, estaleiro, progressão dos trabalhos, prazos e programas de trabalhos, qualidade, controlo ambiental, controlo financeiro da empreitada e segurança. Nos assuntos relacionados com o projeto é costume tomarem-se decisões relativas a dúvidas

surgidas com o próprio projeto de execução, bem como, caso seja necessário, propostas de alteração dos mesmos.

Por norma, nas reuniões de obra, participam o diretor da obra, fiscal, diretores das várias especialidades, e por vezes, dono de obra, projetistas e arquitetos, de forma a garantir não só uma rápida resolução dos problemas, mas essencialmente, para que as medidas a tomar por cada um, sejam de identificadas e aprovadas com a maior brevidade possível.

Os assuntos tratados são registados em ata pela fiscalização e é circulada e aprovada pelos intervenientes até à próxima reunião. No livro de obra fica registada a reunião e a ata a que diz respeito.

3.5. Controlo de qualidade

Antes de enviar qualquer material para a obra, deve-se, antes, solicitar à entidade fiscalizadora. Deve esta, controlar todos os materiais aplicados e equipamentos utilizados, abrangendo os procedimentos definidos no plano geral da qualidade no que respeita à sua submissão, aprovação e receção em obra.

Sempre que se pretenda alterar um material/equipamento presente no CE, é necessário o preenchimento de um impresso tipo PAM elaborado pela EE, para prévia aprovação da fiscalização. Neste impresso é descrito tecnicamente o material, comparado relativamente ao material a ser substituído e indicado o fornecedor/fabricante. Habitualmente, também são entregues fichas técnicas, para que a fiscalização possa apurar a equivalência do equipamento previsto, de modo a acelerar o processo e receber o parecer da fiscalização.

Após a aprovação de material, o representante fiscal deve, aquando da chegada do material em obra, proceder à sua receção certificando se a guia de remessa do material é respeitante ao material que foi aprovado.

3.6. Auto de receção

Neste documento é discriminada e oficializada a efetivação da entrega da empreitada ao dono de obra, após conclusão da obra. Em caso da descoberta de alguma anomalia fica, esta, registada a fim de ser retificada num prazo estipulado.

Caso a fiscalização identifique a existência de defeitos ou que não foram observadas as condições do contrato, notificará o empreiteiro. Quem incorrer na responsabilidade da anomalia deve custear as obras, alterações e reparações necessárias à adequada supressão das consequências da deficiência ou erro verificado, bem como indemnizar a outra parte ou terceiros pelos prejuízos sofridos. A caução será de valor correspondente a 5% do preço total do respetivo contrato (+ 5% de reforço da caução para descontos de garantia).

O primeiro auto de receção é de carácter provisório, mantendo-se em vigor até o termo da garantia dada ao material instalado. Após este período é elaborado o auto de receção definitivo.

O auto de receção provisória é efetuado após conclusão das instalações e precedentemente à fase de serviço, de modo a demonstrar aos intervenientes no projeto e implementação que as instalações cumprem os objetivos para os quais foram projetadas.

A título de demonstração da conformidade dos trabalhos com o projeto, são efetuados os ensaios de receção obrigatórios segundo o RSECE.

A receção das instalações só pode ter lugar após a entrega, livre de erros, dos seguintes elementos: manuais de condução da instalação; telas finais de todas as instalações, contendo os elementos finais de todas as instalações, incluindo arquitetura; relatório de execução dos ensaios; catálogos técnicos e certificados de conformidade do equipamento; fichas indicativas do procedimento a adotar para a manutenção periódica de cada equipamento ou sistema; dados de cada equipamento ou componente do sistema, de modo a ser integrado no plano de manutenção.

O empreiteiro fica exonerado da responsabilidade pelos defeitos da obra que sejam verificados após a receção definitiva, salvo quando o dono da obra prove que os defeitos lhe são culposamente imputáveis.

3.7. Receção do material em obra

Todo o material recebido na obra é conferido como forma de controlo do material requisitado e do equipamento adjudicado. É possível, por lapso ou falta de entendimento entre empreiteiro e fornecedor, deparar-se com quantidades incorretas, equipamentos diferentes do acordado ou material que não havia sido pedido. Nestes casos, deve-se entrar em contato com o fornecedor e pedir uma nota de crédito, sendo este, o documento comercial emitido pelo vendedor ao comprador, onde são indicadas quantidades, preços, bem como a forma de pagamento acordados entre ambos para produtos e/ou serviços, cujo comprador não recebeu, ou devolveu.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Caracterização do empreendimento

O projeto do caso de estudo prevê a execução das instalações mecânicas de AVAC referente à obra: “Lar Raízes do Nabão”, localizado no concelho de Tomar, com uma área útil total de 1672,78m² e com capacidade para 36 utentes. A legislação não possui dados particulares a este tipo de edifício, como tal, foi inserido na tipologia cujos requisitos se aproximam mais. Pelo que, o aluno considerou o caso de estudo como sendo um estabelecimento de saúde com internamento. [1]

O edifício desenvolve-se ao longo de um piso térreo com planta em “H”. Abrange quatro núcleos de seis quartos e espaços de apoio (consultório, lavandaria, refeitório e cozinha). A estes acrescem as zonas de entrada, social e de serviços administrativos. Na Figura 4, encontra-se o modelo virtual em 3D do edifício em estudo.

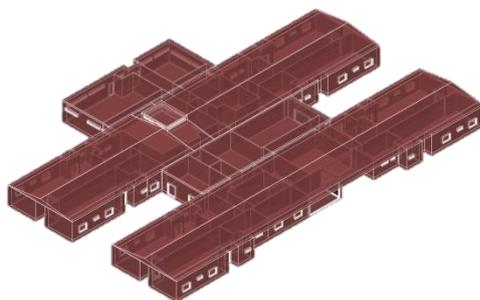


Figura 4. Planta virtual em 3D. Adaptada do modelo em “*DesignBuilder*”.

A empreitada compreende a execução de todos os trabalhos previstos no projeto de AVAC, realçando-se particularmente os seguintes: redes hidráulicas de fornecimento de água quente e refrigerada para climatização, redes aerúlicas de distribuição e extração de ar, distribuição das AQS, tratamento do ar interior e

desenfumagem. Dotar-se-á, a mesma empreitada, de comando e controlo que permitam a eficiência dos sistemas e garantir as condições de bem-estar dos utentes. Na Figura 5 demonstra-se a complexidade dos sistemas de climatização que foram utilizados no estudo prévio ao projeto.

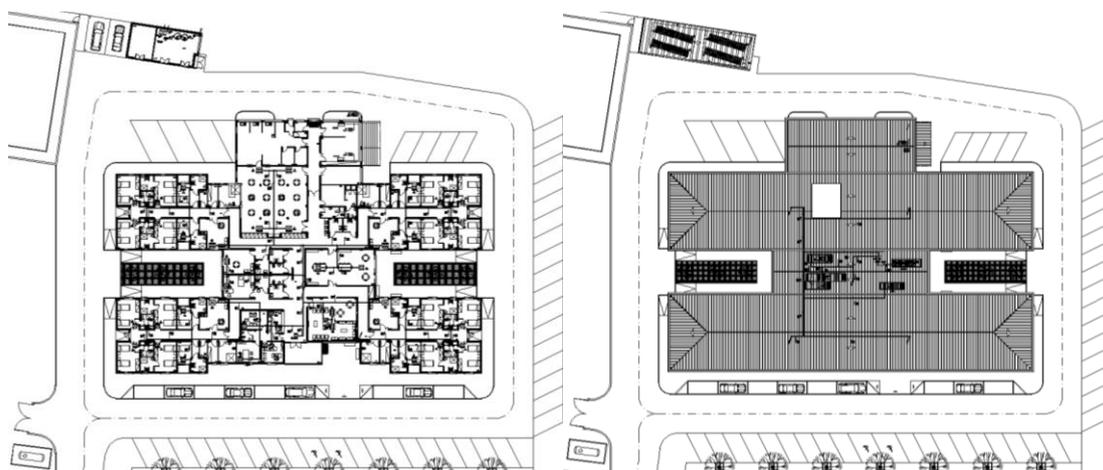


Figura 5. Planta do piso térreo (à esquerda); planta da cobertura (à direita). Adaptadas das PD do projeto inicial.

No balanço dos sistemas foram estudadas as cargas térmicas associadas à envolvente exterior do edifício, ocupação, iluminação, equipamentos, entre outros. Pelo que, também se dimensionaram as redes hidráulicas segundo os caudais presentes na seguinte tabela, considerando uma perda de carga constante de 10 mm.c.a/m.

Circuito	Pot Calor (kW)	Pot, Frio (kW)
I – Zonas úteis*	108,99	135,801
II – Zonas administrativas e lavandaria	52,11	50,225

Tabela 2. Necessidades de calor/frio para climatização segundo o projeto inicial, adaptado de CE.

*As zonas úteis abrangem os quartos, copa, refeitório e zonas de convívio.

4.2. Sistemas de AVAC principais da empreitada

4.2.1. Sistema solar térmico

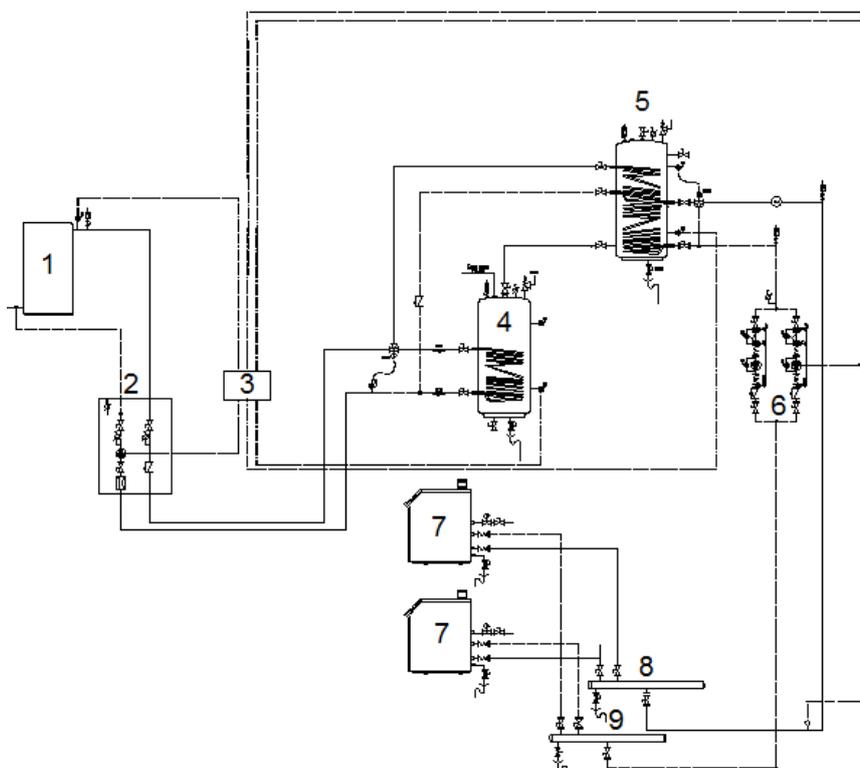


Figura 6. Esquema solar da empreitada. 1- 12 coletores solares do tipo plano; 2-grupo hidráulico do circuito solar; 3- controlador solar; 4- depósito de inércia; 5- termoacumulador; 6- grupo hidráulico para retorno às caldeiras; 7- caldeiras de apoio às AQS; 8-coletor de avanço;9-coletor de retorno.

Em projeto foram considerados dados climáticos referentes ao local supracitado, presentes no banco de dados do programa SolTerm5. Pelo que, em anexo se encontra a informação respeitante aos resultados da simulação do sistema - esquema de instalação, perfis de consumo e desempenho anual (Anexo A).

Foi utilizado em projeto um sistema solar em circuito de anel fechado a transferir calor para o depósito de inércia. Pelo que, o depósito irá acumular a energia até os 60°C (para tratamento anti-*Legionella*) e fornecer a água quente ao depósito termoacumulador de apoio. Por sua vez, o termoacumulador encarregar-se-á do fornecimento das AQS. Para o apoio em alturas de fração solar insuficiente, foram

previstas duas caldeiras de chão para ligação em cascata e deverão fornecer uma potência útil global de 90kW. Os coletores solares possuem um rendimento ótico unitário de 78%.

Este sistema terá consumos horários entre 1,2kWh (nas horas de menor consumo) e 12,3 – 18,4 kWh (em “horas de ponta” – refeições e banhos). Relativamente ao desempenho, demonstra-se que o sistema obtém um rendimento global de 49%, fornecendo 60,8% das necessidades anuais de AQS (41’771 kWh).

4.2.2. Aquecimento/arrefecimento ambiente

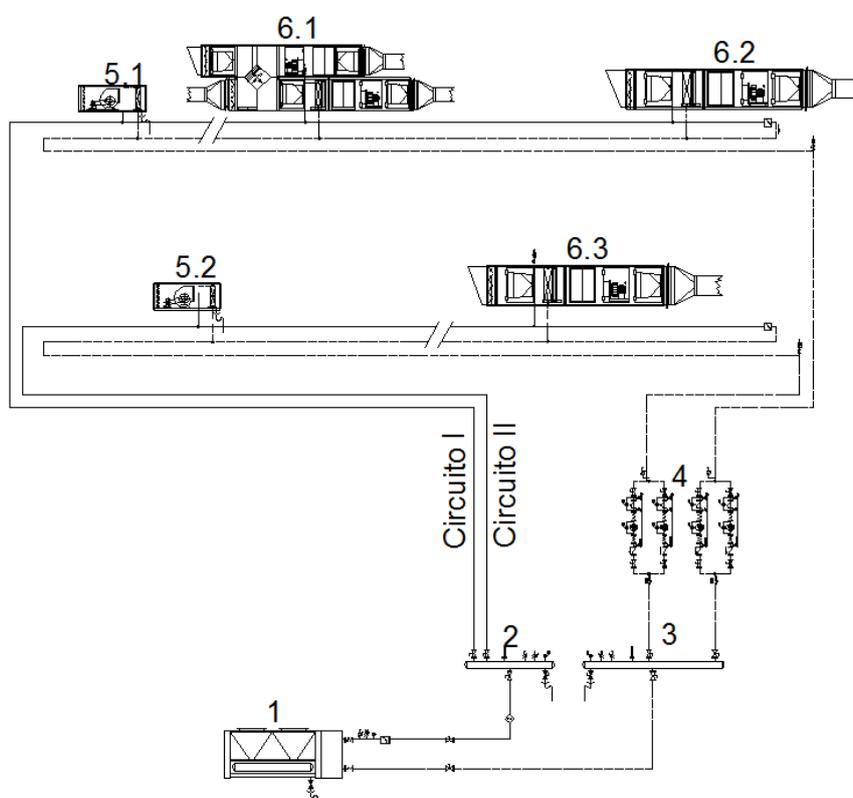


Figura 7. Esquema do aquecimento/arrefecimento. 1- bomba de calor; 2-coletor de avanço; 3- coletor de retorno; 4- grupo hidráulico do retorno do circuito; 5.1- ventilador (zona administrativa e refeitório/cozinha); 5.2- ventilador (quartos); 6.1- UTAN 1 (zona administrativa); 6.2- UTAN 2 (refeitório e cozinha); 6.3- UTAN 3 (quartos).

Será assegurado por uma BC ar-água a 2 tubos de potência útil de aquecimento/arrefecimento de 218kW / 188 kW. Trata-se de uma unidade do tipo compacto, de condensador arrefecido a ar. A BC fornecerá refrigeração/calor através de

tubagem de ferro preto aos equipamentos terminais do tipo ventilosconvetores e às baterias das UTAN's.

Os ventilosconvetores são de ligação a dois tubos (avanço e retorno), de instalação em teto falso com localizações e quantidades em conformidade com as PD (Anexo B).

Ventilação e Qualidade do Ar Interior

No que diz respeito à QAI, o ar insuflado será tratado pelas UTAN's previstas a funcionar a 100% de ar novo, em que uma delas incluirá módulo de recuperação de calor do ar de retorno.

Em zonas de sujos e de produção de odores foi dimensionado um sistema de ventilação em depressão para extração do ar viciado, segundo uma taxa de renovação do ar na ordem de 5 – 20 rph. Previram-se ventiladores centrífugos de acionamento direto, em caixa insonorizada.

Os ventiladores exaustores trabalharão juntamente com as UTAN's, estando os dois grupos de equipamentos ligados ao nível do controlo de caudais.

Para a desenfumagem da cozinha apresentou-se um exaustor centrífugo resistente à temperatura de 400°C durante 2h, de turbina de pás direitas (para prevenção de acumulação de gorduras).

Com vista à compensação da desprovida renovação de ar e, subsequente, insuficiente remoção de cargas térmicas dos espaços não cobertos pelas UTAN's (lavandaria), é apresentada uma solução de climatização destas zonas por *multi-split*. A unidade exterior terá funcionamento *Inverter* de modo a ajustar-se às necessidades dos locais a climatizar e diminuir consumos.

4.3. Enquadramento às alternativas apresentadas

Ao longo do projeto das instalações de AVAC foram cumpridos os requisitos mínimos do dono de obra. Contudo, na fase de execução, o dono de obra

requer ao projetista a reformulação de projeto inicial. Isto para alcançar menores custos na fase de execução.

Após primeira revisão de projeto, o projetista apresenta soluções como a substituição dos ventilosconvetores por radiadores e a substituição da bomba de calor por caldeiras de condensação (para produção de água quente para aquecimento central) e chiller (para produção de água fria para climatização por frio) - ver Figura 7 e Figura 8.

Aparentemente, esta alternativa do projetista apresenta uma melhor solução, diminuindo as necessidades de refrigeração dos ambientes, como demonstra a tabela:

Circuito	Pot Calor (kW)	Pot, Frio (kW)
I - Zonas Adm.+UTAN1 UTAN2	109,79	91,28
II - Quartos+ UTAN3	58,23	35,73

Tabela 3. Necessidades de aquecimento/refrigeração para climatização segundo a alternativa apresentada pelo projetista, adaptado de CE.

No geral, esta alternativa do projetista aponta máquinas que poderão levar a uma diminuição do custo inicial e do custo de exploração. Contudo, não existe qualquer estudo de viabilidade económica (Anexo C).

Numa fase posterior à verificação exaustiva do caderno de encargos e orçamento que dispõe, o diretor de obra propõe uma outra alternativa, mais económica e viável tecnicamente. Esta proposta apenas foi sujeita a revisão das maiores valias técnicas e menores valias de custo inicial dos equipamentos. Ou seja, a fiscalização comparou os equipamentos com os de projeto, contudo, não existiu qualquer estudo de custos de exploração, à semelhança da alternativa apresentada pelo projetista.

O sistema alternativo do empreiteiro tem como base o aquecimento central por caldeira a biomassa (que será acionado apenas para efeitos de maiores necessidades de aquecimento, proporcionando uma menor valia a longo prazo na fase de exploração). Este sistema de aquecimento central (AQC), ao contrário da alternativa anterior, será associado ao aquecimento das águas sanitárias. Existirá uma caldeira de condensação a gás natural associada ao sistema de AQC. Contudo, esta última dará prioridade ao apoio

do sistema solar, tal como, a caldeira a biomassa dará prioridade ao AQC. O arrefecimento é garantido por um *chiller* ar-água – ver Figura 9 e Anexo C..

4.3.1. Modelo 1 – Alternativa apresentada pelo projetista

Aquecimento Central e Arrefecimento Ambiente

O aquecimento central (Figura 8) foi assegurado por duas caldeiras de condensação a gás natural de potência 168kW com vista a fornecer calor aos terminais radiadores com uma capacidade calorífica mínima de 166,82 W/módulo (segundo UNE EN-442) [30].

O arrefecimento foi assegurado por um *chiller* ar-água com potência útil de 126kW e EER de 2,81.

Na Figura 8, demonstra-se esquematicamente o sistema utilizado pelo projetista na projeção da sua alternativa.

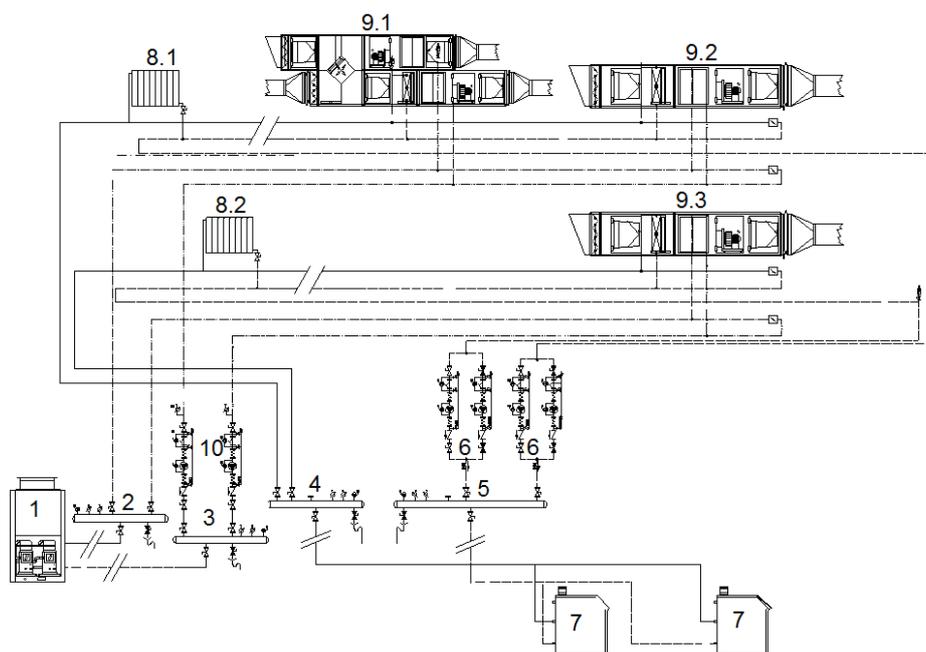


Figura 8. Esquema do Modelo alternativo 1. 1- *chiller*; 3 e 5-coletores de retorno; 2 e 4- coletores de avanço; 6- grupo hidráulico do retorno do circuito de aquecimento; 7- caldeiras; 8.1- radiadores (zona administrativa e refeitório/cozinha); 8.2- radiadores (quartos); 9.1- UTAN 1 (zona administrativa); 9.2- UTAN 2 (refeitório e cozinha); 9.3- UTAN 3 (quartos); 10- grupo hidráulico de retorno da água fria.

4.3.2. Modelo 2 – alternativa apresentada pelo empreiteiro

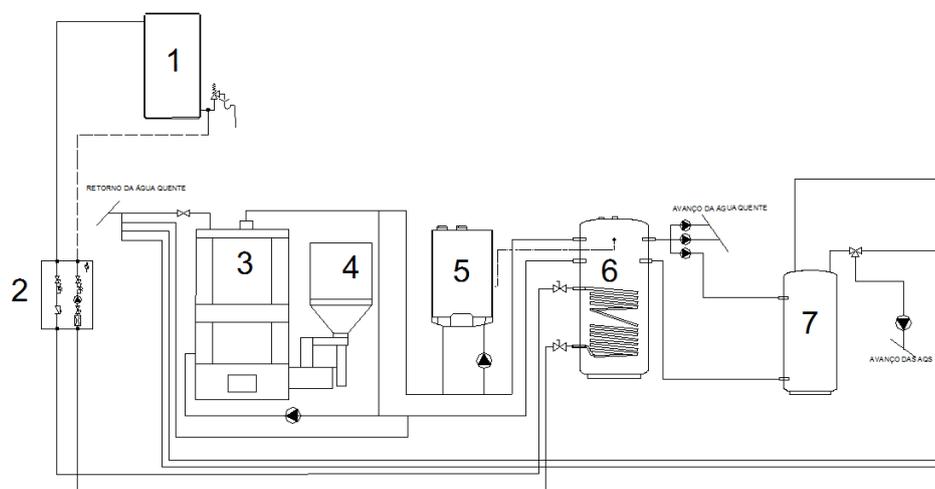


Figura 9. Esquema do Modelo 2. 1- painel solar equivalente; 2- grupo hidráulico solar; 3- caldeira de AQC; 4- ciclone; 5- caldeira de apoio às AQS; 6- depósito de inércia; termoacumulador.

Com vista a combater o possível prejuízo do empreiteiro, foi apresentada à fiscalização um sistema alternativo de aquecimento. Nesta proposta de alteração, o aquecimento é centralizado com a produção das AQS e, são substituídas caldeiras anteriores por uma caldeira de condensação a gás natural de maior potência (a dar prioridade ao apoio à produção das AQS) e uma outra caldeira a biomassa (a dar prioridade à produção de água quente para AQC) - Anexo D.

De um modo geral, o sistema solar irá fornecer grande parte da energia necessária para o aquecimento das águas sanitárias, em épocas de maior potencial solar com o apoio da caldeira a gás natural e do acumulador de inércia (para aquecer e manter a temperatura da água aos 60°C pronta para serviço).

Nas épocas de menor exposição solar, a caldeira de apoio será responsável pela maior parte das necessidades de AQS e a caldeira a biomassa fornecerá água quente às baterias das UTANs e aos radiadores convetores para aquecimento central (Figura 9, Anexo E).

O depósito de inércia serve, então, como intermediário para o aquecimento central e para fornecimento de água quente ao termoacumulador que, por sua vez, distribuirá a água quente sanitária.

Em comparação ao modelo original, os coletores solares presentes na nova proposta apresentam uma fração solar de 56,1% fornecendo menor potência anual que o sistema original e aumentando a carga da caldeira de apoio.

No Anexo D, poderá encontrar-se a informação técnica dos equipamentos estudados nesta alternativa.

5. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

A simulação energética foi desenvolvida através do modelo de projeto no programa *DesignBuilder (DB)*.

Este dispõe de bibliotecas pré-definidas que facilitam o projeto de sistemas de AVAC. O programa tem a funcionalidade de criar modelos (“*templates*”) sobre os trabalhos precedentes de forma a poder utilizá-los em situações semelhantes, como é o caso desta dissertação.

A interface é bastante amigável do utilizador, sendo que este, quando apresentado com um modelo, deve apenas colocar dados de entrada, através do menu elementar. Os dados de entrada podem ir desde materiais que constituem o tipo de construção, atividades e ocupação, densidades de iluminação e sistemas de AVAC, sendo que o utilizador pode modificar ou corrigir estes dados a qualquer momento, a nível geral do edifício ou particular de uma só zona com características particulares.

Os parâmetros de saída possibilitam estudar vários fatores, conseguindo obter simulações anuais, mensais, diárias ou até mesmo horárias. Dos vários fatores que se podem simular no *software*, destacam-se as seguintes: consumo energético, temperaturas interiores e humidade relativa, cargas de aquecimento/arrefecimento.

Em termos da parametrização de cálculos, este não é mais que uma interface amigável para o motor de cálculo, *EnergyPlus* (cálculo de cargas térmicas e simulação de consumos energéticos em edifícios), validado pela norma da ASHRAE 140-2011 [31].

5.1. Desenvolvimento do modelo de simulação apropriado

O projetista adota um modelo em *DB* do tipo VAV (volume de ar variável) com reaquecimento nos terminais, assumindo que a UTAN ventila e aquece/arrefece os

espaços a climatizar. Os ventiloconvetores encarregam-se do ajuste de temperatura e recirculação do ar de cada espaço onde estão inseridos.

Para efeitos de comparação com outros modelos, esta solução é referenciada como: “Modelo Projetista” e apresenta-se segundo os dados de entrada e esquema seguintes:

“Template”	“VAV with terminal reheat”	
Ventilação	Pressão total a vencer pelo ventilador	700
	Eficiência do ventilador	70%
	Unidade terminal	Padrão
Aquecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	COP	3
	Tipo de serpentina da UTAN	Água
Arrefecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	EER	3
	Tipo de serpentina da UTAN	Água

Tabela 4. Quadro de dados de entrada para o “Modelo Projetista” (Anexo F).

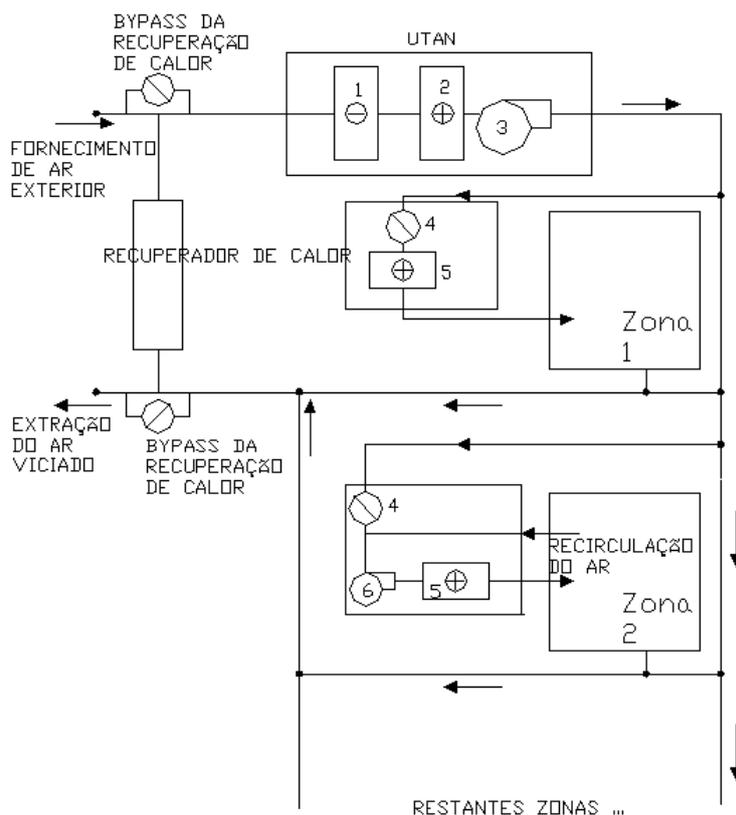


Figura 10. Esquema do modelo VAV com reaquecimento nos terminais. 1-Bateria de arrefecimento; 2-bateria de aquecimento; 3- ventilador da UTAN; 4- registo de caudal; 5-bateria de reaquecimento; 6- ventilador de recirculação do ar interior.

Este sistema tem o problema de não se adequar ao que está preconizado em caderno de encargos e peças desenhadas. Pelo que em projeto verifica-se um sistema a caudal constante, e não variável.

Segundo CE, as UTAN's, em operação normal, debitam o caudal efetivo e, só quando são detetados COV's debitam o seu caudal máximo. Assume-se, então, a ventilação por caudal constante para as várias zonas, cujo modelo de *DB* se apresenta como: “*constant volume using unitary multizone*”.

Por outro lado, os dados introduzidos referentes a algumas variáveis importantes não estavam corretamente preenchidos, variáveis estas como: rendimento, perda de carga a vencer pelos ventiladores das UTAN's.

Na Figura 11 apresenta-se a simulação elaborada conforme o modelo utilizado pelo projetista (sem ajustes do aluno). À primeira vista nota-se que o consumo dos ventiladores das UTAN's é muito baixo. Isto deve-se à perda de carga (que devem conseguir vencer) não ter sido previamente definida.

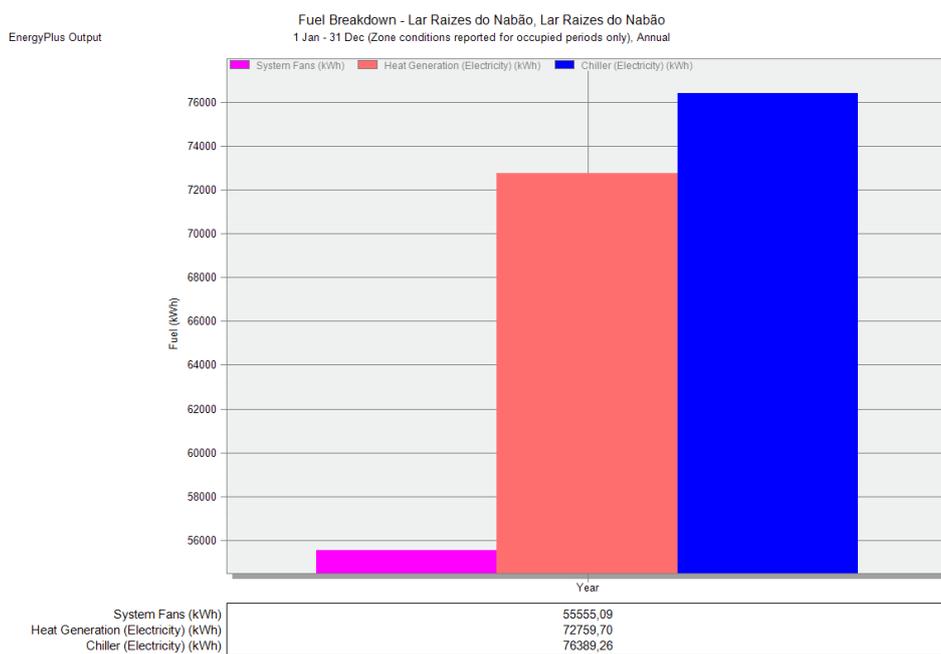


Figura 11. Simulação de consumos energéticos em kWh referente ao modelo *DB* utilizado pelo projetista (sem ajustes do aluno) [35].

A partir do modelo anterior, face à falta de critérios estabelecidos (como as variáveis previamente citadas), o aluno ajusta o modelo de DesignBuilder à realidade do

projeto inicial. Este modelo referencia-se como “Modelo 0”, pois servirá como substituto do modelo do projetista e, para posterior cálculo da viabilidade energética e períodos de retorno das alternativas propostas. No seguinte quadro demonstra-se o modelo que mais se aproximará da realidade, com base na biblioteca de *templates* do *DB*. Também no seguinte esquema poderá demonstrar-se o princípio de funcionamento deste modelo e como difere do modelo adotado inicialmente pelo projetista. (Tabela 5, Figura 12).

Template	“Constant volume DX (using unitary multizone)”	
Ventilação	Pressão total a vencer pelo ventilador	1229
	Eficiência do ventilador	75%
	Unidade terminal	-
Aquecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	COP	3,41
	Tipo de serpentina da UTAN	Água
Arrefecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	EER	2,29
	Tipo de serpentina da UTAN	Água

Tabela 5. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 0”. Notar que estes dados de entrada diferem dos dados do modelo anterior. Isto deve-se ao fato do projetista ter utilizado valores padrão do programa e não da obra em estudo.

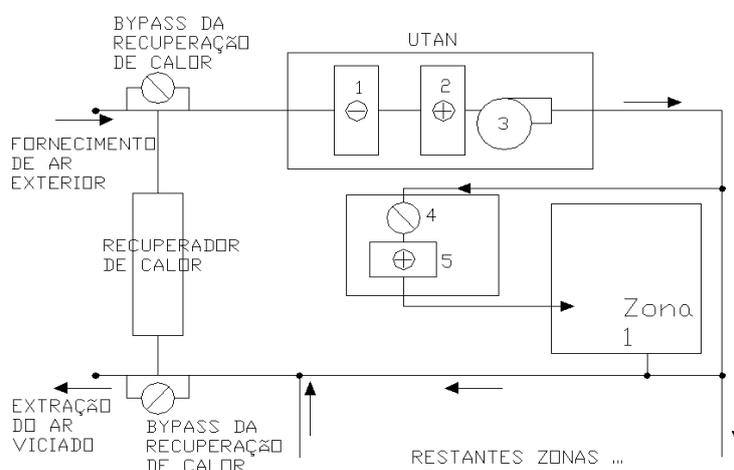


Figura 12. Esquema do modelo adaptado pelo aluno. 1- bateria de arrefecimento; 2- bateria de aquecimento; 3- ventilador de insuflação; 4- registo de caudal; 5- bateria de reaquecimento.

Pela Figura 13 verifica-se a grande diferença de consumos energéticos em comparação ao modelo utilizado pelo projetista. Para além dos consumos das UTAN’s terem sido muito superiores, ainda os consumos da bomba de calor em regime de

aquecimento é alvo de grande decremento. Esta última diferença deve-se ao facto que o projetista utilizou um COP de 3,0, tanto para aquecimento como arrefecimento, quando o COP real da bomba de calor é respetivamente, 3,41 e 2,89 (Anexo B).]

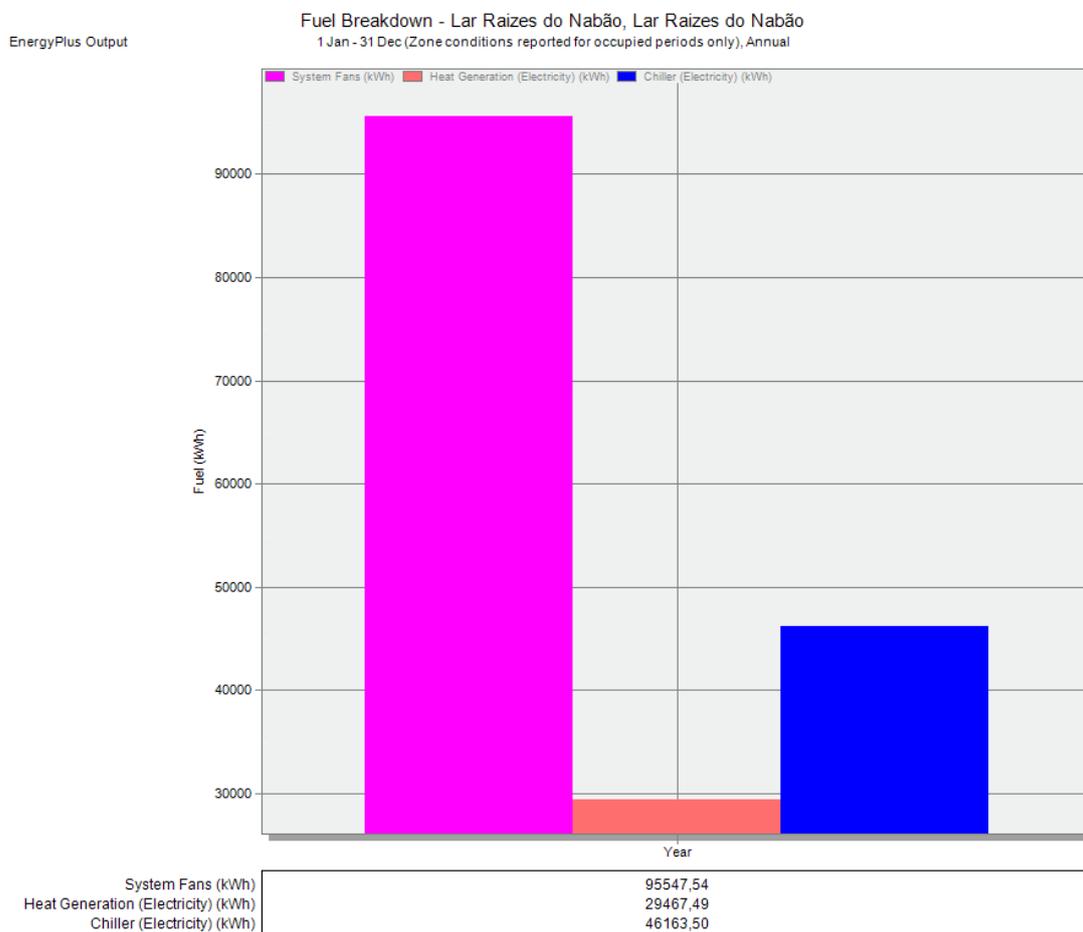


Figura 13. Simulação de consumos energéticos em kWh referente ao modelo *DB* utilizado pelo projetista (com ajustes do aluno e diferente *template* - sistema de ar a volume constante) [35].

5.2. “Modelo 1” – Alternativa do projetista

Este representa as alternativas apresentadas pelo projetista e será comparado com o modelo de projeto inicial (“Modelo 0”) para efeitos de viabilidade energética e período de retorno.

Nesta simulação é adaptado o modelo anterior à exceção de alguns pormenores. Como são substituídos os ventiloconvetores por radiadores, é acrescentado o aquecimento por radiadores para os espaços que foram alterados. Posteriormente é

retirado o arrefecimento desses espaços uma vez que os ventiloconvetores já não fazem o reajuste da temperatura. Os dados referentes às unidades produtoras de quente e frio são também alterados conforme informações específicas dos mesmos (Anexo C).

Na Tabela 6 encontram-se os dados de entrada mais relevantes para a simulação energética deste modelo. Seguidamente é possível visualizar o gráfico e valores resultantes da simulação energética (Figura 14).

<i>Template</i>	<i>“Constant volume DX (using unitary multizone)”</i>	
Aquecimento	Fonte de energia	Gás Natural
	COP	97,30%
	Fração radiante dos radiadores	1,00
Arrefecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	EER	2,81
	Tipo de serpentina da UTAN	Água

Tabela 6. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 1”. Note que só se apresentam os sistemas alterados.

Pela Figura 14, verifica-se a diminuição dos consumos energéticos em comparação ao modelo inicial (Modelo 0). Os consumos dos ventiladores das UTAN’s são semelhantes, mas o consumo de energia para aquecimento é aumentado como consequência da diminuição do rendimento do sistema (Anexo C).

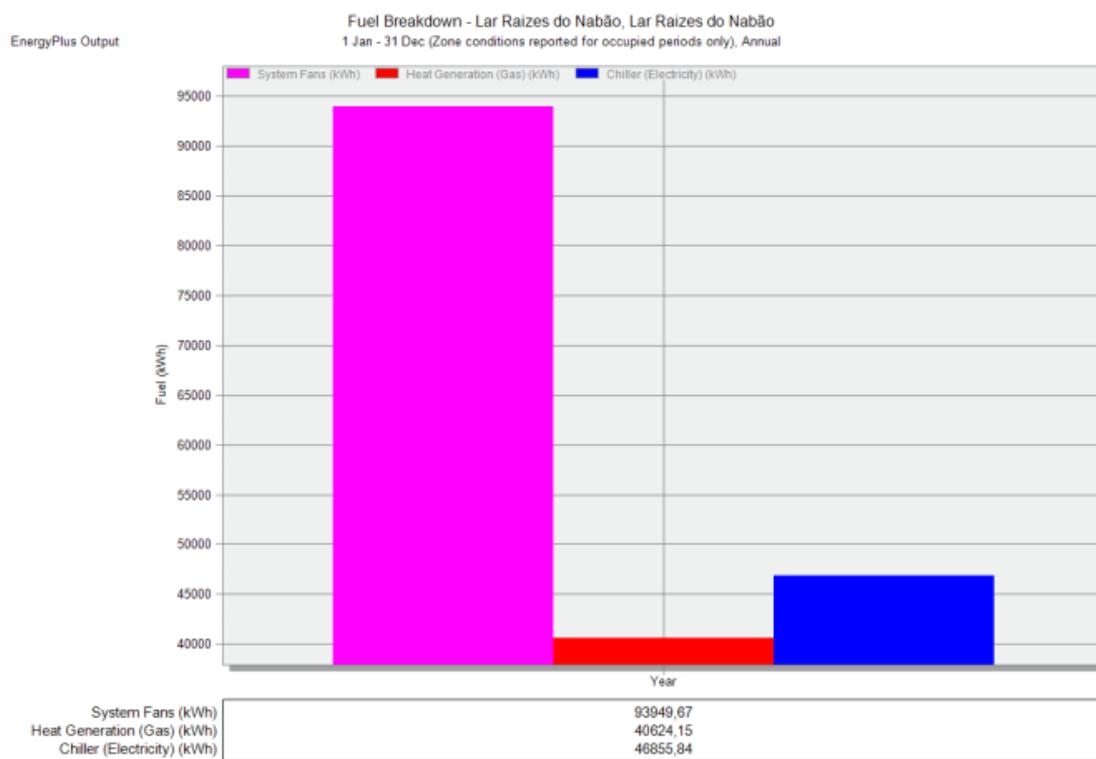


Figura 14. Resultados da simulação referente ao “Modelo 1” [35].

5.3. “Modelo 2” – alternativa do empreiteiro

Representa as alternativas apresentadas pelo empreiteiro e será comparado com o “Modelo 0” para efeitos de viabilidade energética e período de retorno.

Nesta simulação utiliza-se como base o *template* anterior, alterando-se apenas os dados de entrada, relativos às máquinas propostas pelo empreiteiro da obra (Anexo D).

Template	“Constant volume DX (using unitary multizone)”	
Ventilação	Pressão total a vencer pelo ventilador	993
	Eficiência do ventilador	79%
	Unidade terminal	-
Aquecimento	Fonte de energia	Biomassa
	COP	90,00%
	Fração radiante dos radiadores	1,00
Arrefecimento	Fonte de energia	Eletricidade da rede
	EER	2,87
	Tipo de serpentina da UTAN	Água

Tabela 7. Quadro de dados de entrada para o “Modelo 2”. Note que só se apresentam os sistemas alterados.

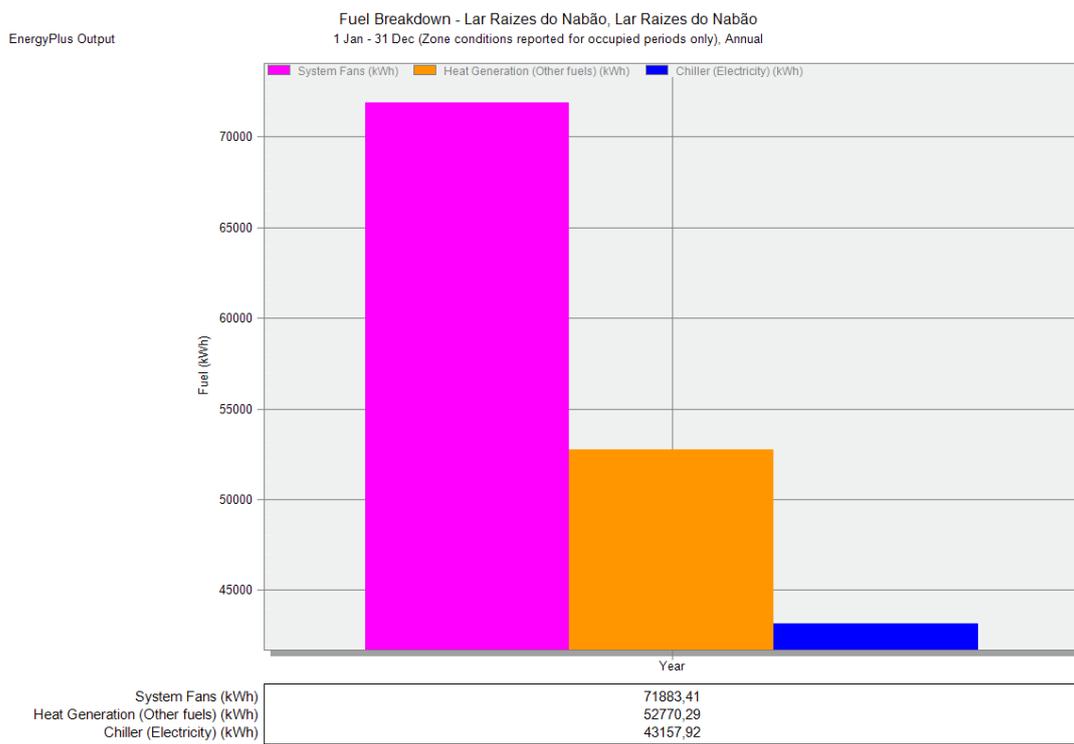


Figura 15. Resultados da simulação referente ao “Modelo 2” [35].

Ao substituírem-se as caldeiras de condensação por uma caldeira a biomassa, os consumos de energia aumentam, contudo, este consumo vai ser disfarçado pelo baixo custo da biomassa a *pellet*. Relativamente ao chiller, o consumo baixa ligeiramente devido ao aumento de eficiência do sistema. Por fim, as UTAN’s também reduzem o consumo energético pela mesma razão (Anexo D).

6. VIABILIDADE ECONÓMICA

A viabilidade económica foi calculada com base nos resultados obtidos por simulação em *DesignBuilder*. Estes resultados foram convertidos monetariamente por meio das tarifas vigentes [3]. A tarifa eléctrica utilizada foi a tarifa simples a 0,13€/kWh, uma vez que os dados utilizados pelo programa *DesignBuilder* foram anuais. Contudo, deve-se prever uma diminuição do custo anual eléctrico em cerca de 8%, correspondente à poupança anual na utilização da tarifa bi-horária (Anexo F, Anexo G) [32].

O gás natural foi consultado na Galp, sendo que se considerou um valor de mercado de 0,69€/m³ [33].

No que diz respeito à biomassa, esta apresenta uma tarifa muito baixa comparativa às demais. Foi utilizada uma tarifa simples com base na referência bibliográfica [34].

6.1. Comparação do “modelo projetista” com o modelo adaptado pelo aluno

	Consumo anual [kWh/ano]	Custo anual [€/ano]	Consumo total de energia [€/ano]
Aquecimento	72760	9.458,80	26.612,30
Arrefecimento	76390	9.930,70	
Ventiladores das UTANs	55560	7.222,80	

Tabela 8. Consumos gerados pela simulação do “Modelo Projetista” (Anexo G).

	Consumo anual [kWh/ano]	Custo anual [€/ano]	Consumo total de energia [€/ano]
Aquecimento	29467	3.830,77	24.286,27
Arrefecimento	61800	8.034,00	
Ventiladores das UTANs	95550	12.421,50	

Tabela 9. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 0” (Anexo G).

6.2. Confronto com as alternativas

	Fonte de energia	COP / EER / η	Consumo anual [kWh/ano]	Custo [€/ano]	Consumo total de energia [€/ano]	Investimento Inicial [€]
Aquecimento	Elet.	3,41	29467	3.830,77	24.286,27	23.593,19
Arrefecimento	Elet.	2,89	61800	8.034,00		23.593,19
Ventiladores das UTAN's	Elet.	75,00%	95550	12.421,50		32.653,34

Tabela 10. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 0” e investimento inicial dos equipamentos (Anexo G).

	Fonte de energia	Consumo anual [kWh/ano]	Custo anual [€/ano]	Poupança anual de energia	Consumo total de energia [€/ano]	Poupança anual de energia	Investimento Inicial [anos]	PRS [anos]
Aquecimento	GN	40624	2.662,40	30,50%	20.967,12	13,67%	5.931,42	6,53
Arrefecimento	Elet.	46856	6.091,26	24,18%			19.613,00	
Ventiladores das UTAN's	Elet.	93950	12.213,46	1,67%			32.653,34	

Tabela 11. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 1”, investimento inicial e período de retorno simples (Anexo G).

	Fonte de energia	Consumo anual [kWh/ano]	Custo anual [€/ano]	Poupança anual de energia	Consumo total de energia [€/ano]	Poupança anual de energia	Investimento inicial	PRS [anos]
Aquecimento	Bio	52770	3.166,22	17,35%	18121,50	25,38%	17.133,85	3,49
Arrefecimento	Elet.	43157	5.610,44	30,17%			19.613,00	
Ventiladores das UTAN's	Elet.	71883	9.344,84	24,77%			21.579,41	

Tabela 12. Consumos gerados pela simulação do “Modelo 2”, investimento inicial e período de retorno simples (Anexo G).

6.3. Análise e discussão de resultados

Começando pelos dados de entrada no programa de simulação, o projetista adotou os dados padrão. Como se pode constatar, o projetista não estabeleceu os critérios presentes nas fichas técnicas dos equipamentos, no seu modelo de *DesignBuilder*. As perdas de carga equivalentes, não foram calculadas em particular para a obra em estudo. Também os rendimentos das máquinas não são iguais às especificações técnicas dos equipamentos. Ainda, o modelo que o projetista utiliza não é o mais equivalente ao caso de estudo.

Depois de algumas alterações feitas pelo aluno, como os cálculos da perda de carga equivalente dos ventiladores das UTAN's e ajuste dos dados de entrada no programa, já se poderá observar um modelo mais próximo da realidade. Os consumos apresentam-se mais razoáveis e como menores discrepâncias. Pelo que, se pode entender que a simulação energética depende bastante do utilizador do programa e do seu discernimento.

Segundo os resultados por simulação para as alternativas, é obtida uma poupança anual de 13,67% para a alternativa apresentada pelo projetista. Esta poupança deve-se à adoção de caldeiras a gás natural para o aquecimento central. Estas caldeiras, embora tendo rendimento muito inferior ao da bomba de calor, compensam através do preço por unidade de energia do seu combustível.

Relativamente à alternativa apresentada pelo empreiteiro, consegue-se uma poupança de 25,38% sobre o sistema do projeto inicial. Consegue-se isto pelo incremento de rendimentos de todos os equipamentos em estudo como se pode observar

nas especificações técnicas em anexo. É exceção neste caso, a caldeira a biomassa. A caldeira alimentada a biomassa do tipo peletes não alcança o mesmo rendimento que uma caldeira de condensação. Ainda para piorar, a biomassa tem um poder calorífico inferior. Por outro lado, à semelhança do sistema no Modelo 1, compensa bastante no preço por unidade de energia, apresentando maior viabilidade económica que a caldeira a gás natural.

Em termos de períodos de retorno, facilmente se chega à conclusão que a solução do empreiteiro é a mais viável (PRS de 3,49 anos).

Relativamente ao sistema solar, as especificações dos equipamentos permanecem constantes pois as necessidades de águas quentes sanitárias são inalteráveis.

7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nas simulações energéticas, pode-se concluir que se alcançaram os objetivos propostos, permitindo provar a viabilidade dos sistemas propostos. Prova-se ainda a importância do trabalho das várias partes envolvidas, dando-se foco ao empreiteiro da obra e ao projetista que, trabalhando em conjunto, conseguem alcançar a melhor solução do ponto de vista técnico e financeiro, o que se transmite na satisfação do dono de obra. A este último foi-lhe proporcionada a possibilidade de um edifício funcional e economicamente mais viável que a solução preconizada pelo projetista. O edifício continua a cumprir a lei vigente – RSECE. Contudo, o edifício não se revela o mais apropriado face à sua aplicação. Uma vez que o dono de obra suprimiu os ventiloconvetores das zonas úteis de utilização dos alojados, não existirá o melhor conforto térmico em alturas de maior calor. Este fator é crítico num edifício desta tipologia pois trata-se de um estabelecimento que abriga pessoas mais sensíveis às condições adversas e como tal, deveria ir de encontro com as necessidades de conforto do usuário (seja em regime de inverno ou verão).

Relativamente ao programa de simulação utilizado, este apresenta algumas limitações. Na elaboração da análise energética do edifício foi necessário o estudo da melhor solução equivalente ao sistema sugerido em projeto, pelo que, se optou por uma abordagem diferente da do projetista, uma vez que apresentava melhores semelhanças ao princípio de funcionamento do sistema. O *DesignBuilder* é um programa em crescimento que dispõe já de uma base de dados bastante interessante, contudo, não aparenta ser o programa mais indicado para obras mais complexas e de carácter mais peculiar. É também importante denotar que o rigor com que o utilizador cria o seu modelo, bem como o controlo dos dados introduzidos é fator determinante na maior ou menor aproximação da realidade, sendo que, diferentes utilizadores do programa poderão apresentar resultados aproximados mas com algum erro de diferente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. Diário da república – I série - A. Ministério das obras públicas transportes e comunicações.
- [2] 2004, “Energia Solar Térmica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação”
- [3] Erse, “preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal continental” (2013). Acedido a 09 de setembro de 2013, em: http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/PreçosRef_BTN.pdf
- [4] Luís Roriz, website. Acedido a 11 de setembro de 2013, em: http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/et_T11.htm
- [5] Vulcano, “Caldeiras murais de condensação”. Acedido a 10 de setembro de 2013, em: http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta_o/cat_logo_de_produtos/aquaticimento_central_e_aqs/25_cat_cald_aquastar_green.pdf
- [6] Bosch, “caldeiras de condensação” (2009). Acedido a 10 de setembro de 2013, em: http://junkers-pt.resource.bosch.com/media/junkers_pt/rea_geral/documenta_o/cat_logo_e_folhetos/material_t_rmico/catalogo_caldeiras_condensao_junkers_out09.pdf
- [7] Pinheiro, P., Cerqueira, S., “Método de cálculo do balanço térmico de caldeiras”, Departamento de engenharia mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Acedido a 10 de setembro de 2013 em: <http://www.demec.ufmg.br/professor/paulocpinheiro/papers/balanco.pdf>
- [8] Juanico, F. J. M. – “Geradores de Calor
- [9] Agência Portuguesa do Ambiente (2008, 4 de Agosto), “Comércio europeu de licenças de emissão”. Acedido a 09 de Setembro de 2013, em: http://www.apambiente.pt/_zdata/DPAAC/CELE/tab_val_PCI_FE_FO.pdf
- [10] Solarwaters, “Caldeiras biomassa”. Acedido a 10 de setembro de 2013, em: <http://www.solarwaters.pt/caldeiras-biomassa>
- [11] (2009) “Dimensionamento de uma caldeira com produção de água quente queimando peletes de biomassa”. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [12] Melinder, A., “Handbook on indirect refrigeration and heat pump systems”. Departamento de tecnologias energéticas, KTH
- [13] Daikin, “Tecnologia inverter”. Acedido a 11 de setembro de 2013, em: <http://www.daikin.pt/about-daikin/leading-technologies/inverter-technology/index.jsp>

- [14] Dias, J., “Concepção de instalações frigoríficas em expansão directa versus sistemas inundados” (2012). Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [15] Portal da refrigeração, “Compressores”. Acedido a 11 de setembro de 2013, em:
<http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores.htm>
- [16] Wang, S.K., "The Handbook of Air Conditioning and Refrigeration" (2000). 2^a edição, McGraw Hill.
- [17] Sanitop, “Bombas de calor”. Acedido a 12 de setembro de 2013, em:
http://www.sanitop.pt/ins_contents.aspx?mc1=290&mc2=3804&mc3=3874
- [18] Borre, A., “Definition of heat pumps and their use of renewable energy sources” (Agosto de 2011). Rheva
- [19] EN 13779, “Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems” (2007). CEN – Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [20] EN 1886, “Ventilation, air handling units, performance, testing” (1998). DIN – Instituto Alemão de Normalização. Berlim.
- [21] EN 13053, “Ventilation for buildings - Air handling units - Ratings and performance for units, components and sections” (2003). CEN – Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [22] EN 60529, “Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)” (1991). CEN – Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [23] HSK, “Air handling units technical catalog” (2011). Acedido a 12 de setembro de 2013, em:
http://www.ashraeqatar.com/images/HSK_Air_Handling_Unit_General_Catalogue.PDF
- [24] EN 779, “New European Standard for General Ventilation Filters” (2012). CEN – Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [25] EN 1822, “Test methods for EPA, HEPA and ULPA filters” (2009). CEN – Comité Europeu de Normalização. Bruxelas.
- [26] EN1751, “Ventilation for buildings - Air terminal devices - Aerodynamic testing of damper and valves” (2011). Instituto Austríaco de Normalização.
- [27] Decreto-Lei nº 18/08, de 29 de Janeiro. Diário da República, I série. Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.
- [28] Decreto-Lei nº 59/99 de 2 de Março. Diário da República, I série. Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.
- [29] Decreto-Lei nº 197/99 de 8 de Junho. Diário da República, I série. Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.
- [30] UNE EN-442, “Radiadores e convetores – especificações e requisitos técnicos”
- [31] Standard 140, “Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs” (2011). ASHRAE – “American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers”

- [32] Agência Municipal de Energia do Seixal, “Tarifa bi-horária” (2011). Acedido a 09 de setembro de 2013, em:
<http://www.cm-seixal.pt/ameseixal/municipe/utilizacaoRacionalEnergia/Documentos/TarifaBi-horaria.pdf>
- [33] Galpenergia, “Tarifário Gás Natural”. Acedido a 09 de setembro de 2013, em:
<http://www.galpenenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Tarifario/Paginas/Tarifario.aspx?tipoUtilizacao=1>
- [34] Vimasol, “Simulador”. Acedido a 09 de setembro de 2013, em:
<http://pellets.vimasol.pt/s/72>
- [35] Manual do programa *DesignBuilder*, “DesignBuilder 2.1 User’s Manual” (2009).

ANEXO A – Estudo em solterm5.0 do sistema solar de projeto inicial

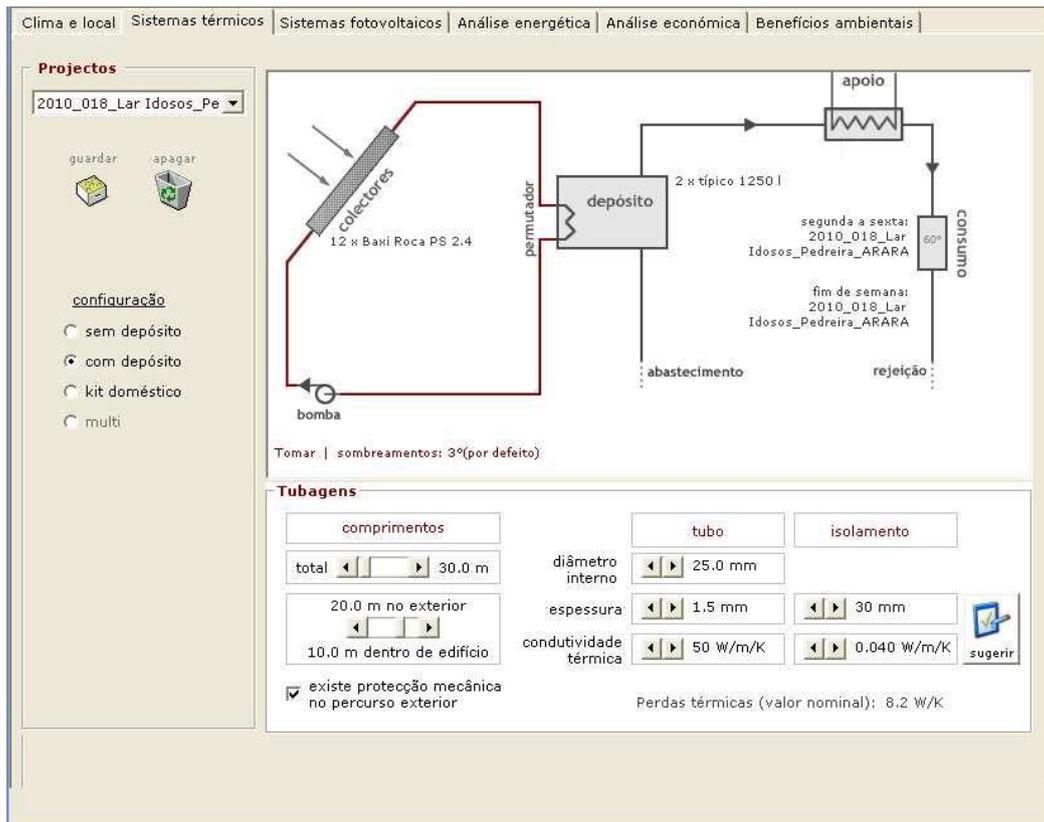


Figura 16. Esquema de princípio da simulação das necessidades de AQS, adaptado de projeto.

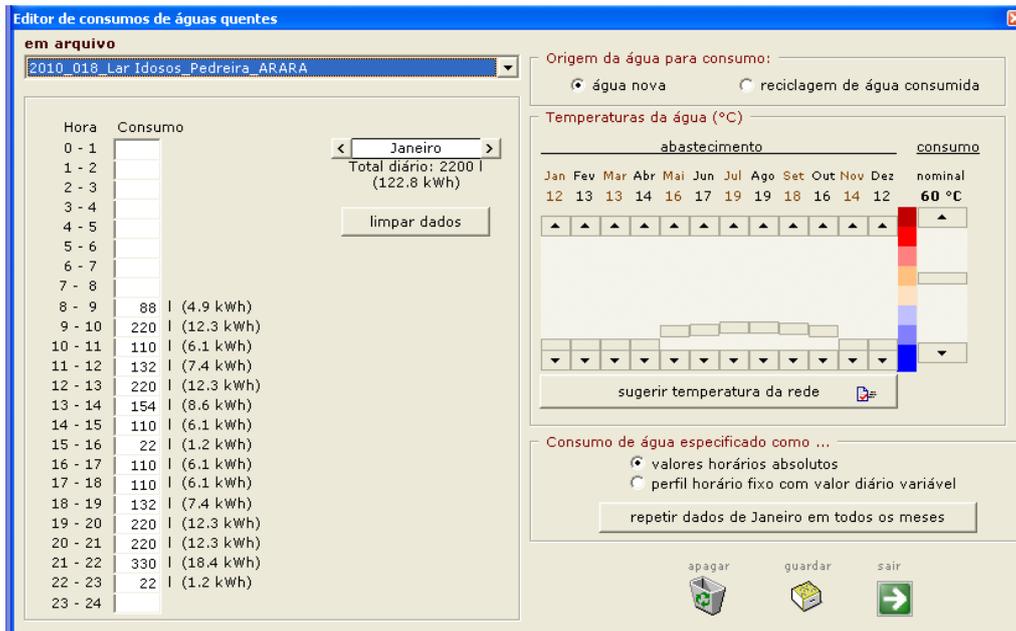


Figura 17. Perfil de utilização e consumos das AQS, adaptado de projeto



Figura 18. Rendimentos e distribuição das cargas mensais, adaptado de projeto.

ANEXO B – Especificações técnicas dos equipamentos principais de projeto inicial

Bomba de Calor a 2 tubos, THERMOCOLD, modelo AWA ES PROZONE II.ZH.SLN.SE-A 1210 - R410A		
Capacidade Nominal de Arrefecimento	188000,00	[W]
Potência absorvida em Arrefecimento	73300,00	[W]
EER	2,89	
Capacidade Nominal de Aquecimento	218000,00	[W]
Potência absorvida em Aquecimento	63900,00	[W]
COP	3,41	
Número de ventiladores	4	
Número de compressores	3	
Número de circuitos Frigoríficos	1,00	
Temperatura de Entrada/Saída de água fria	12° / 7° C	[°C]
Temperatura de Entrada/Saída de água quente	45 / 40	[°C]
Δp (evaporador) - arrefecimento	28000,00	[Pa]
Δp (evaporador) - aquecimento	26000,00	[Pa]
Nível de potência sonora. (ISO 3744)	85,00	[dB(A)]
Alimentação Elétrica	400/3/50	
Corrente elétrica (100% trabalho)	149,4	[A]
Corrente elétrica (arranque)	376,4	[A]
Caldeira de condensação em aço, 2xmód. POWER HT-45		
Potência Calorífica Útil Global:	90000,00	[W]
Temperatura média da água na ida:	80,00	[°C]
Temperatura média da água no retorno:	60,00	[°C]
Combustível:	Gás Natural	
Tipo	Horizontal	
Construção	Monobloco em chapa de aço	
Alimentação Elétrica	Mono. 230V - 50Hz	

Coletores solares planos de alto rendimento, modelo PS 2.4 H		
Placa absorvente em cobre, com tratamento superficial altamente seletivo		
Vidro com 4 mm, temperado que permite transmissão de 93% de radiação solar		
Isolamento inferior em lã de rocha com 50 mm, de espessura		
Centralina para controlo/regulação da produção das AQS		
Certificado SolarKeymark	011-7S277F DINCERTCO	
Rendimento ótico	78%	
Capacidade	2,20	[L]
Área livre de captação	2,33	[m ²]
Grupo hidráulico solar, modelo KHS20		
Q(circuito solar)	1,11	[m ³ /h]
Δp	6670,80	[Pa]
Garantia de funcionamento mínima	10	[anos]

Ventiloconvectores. VENTICLIMA, modelo VCE			
VC 2.3			
26x	Potência de Aquecimento	1489,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	1430,00	[W]
	Potência máxima de consumo	30,00	[W]
VC 4.3			
5x	Potência de Aquecimento	2561,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	2223,00	[W]
	Potência máxima de consumo	40,00	[W]
VC 5.3			
3x	Potência de Aquecimento	3270,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	3103,00	[W]
	Potência máxima de consumo	60,00	[W]
VC 6.3			
4x	Potência de Aquecimento	3703,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	3574,00	[W]
	Potência máxima de consumo	60,00	[W]
Unidades do tipo cassette de uma via para montagem em teto falso			
VC 2.0			
1x	Potência de Aquecimento	982,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	1087,00	[W]
	Potência máxima de consumo	40,00	[W]
VC 5.0			
4x	Potência de Aquecimento	1379,00	[W]
	Potência de Arrefecimento	1816,00	[W]

UTAN's – Unidades de tratamento de ar novo	
<u>Exigências da norma europeia NFEN 1886:</u>	
Resistência da envolvente	mínimo classe 2A - D1
Fugas de ar pela envolvente	mínimo classe B - L2
Fuga de derivação dos filtros	mínimo classe F9
Condutividade térmica	mínimo classe T2
Pontes térmicas	mínimo TB2
UTAN1. WESPER PREMI@IR	
Área Tratada	Zona Administrativa
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade Nominal de Aquecimento	50380,00 [W]
Capacidade Nominal de Arrefecimento	49940,00 [W]
Pré-filtro	G4
Filtro (de média eficiência)	F5
Filtro Final (filtragem fina)	F7
<u>Recuperador de calor</u>	Sim
Temperatura máxima de trabalho	150,00 °C
$\Delta P = 0,1$ m.c.a.	1000,00 [Pa]
Número de Baterias	1,00
Caudal de água Quente	8,90 [m ³ /h]
Caudal de água Refrigerada	8,57 [m ³ /h]
Ar novo insuflado	1,00
Ventilador de Ins./Ext. (VI/VE)	Centrífugo
Transmissão	Plug-Fan
Nº. De Velocidades (VI/VE)	Variável
Qinsuflação(min/máx.)	8820/9410 [m ³ /h]
Δp insuflação	362,00 [Pa]
Δp retorno	180,00 [Pa]
Qretorno(min/máx.)	3120/3320 [m ³ /h]
Atenuador acústico (VI/VE)	Sim

UTAN2. WESPER PREMI@IR	
Área Tratada	Cozinha/Refeitório
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade Nominal de Aquecimento	41690,00 [W]
Capacidade Nominal de Arrefecimento	41330,00 [W]
Pré filtro	G4
Filtro	F5
Filtro Final	F7
Número de Baterias	1
Caudal de água Quente	7,36 [m ³ /h]
Caudal de água Refrigerada	7,09 [m ³ /h]
Ar novo insuflado	1,00
Ventilador (VI)	Centrífugo
Transmissão	Plug-Fan
Nº. De Velocidades	Variável
Qinsuflação(min/máx.)	7300,00 [m ³ /h]
Δp insuflação	300,00 [Pa]
Atenuador acústico (VI)	Sim
UTAN3. WESPER PREMI@IR	
Área Tratada	Quartos
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade Nominal de Aquecimento	36040,00 [W]
Capacidade Nominal de Arrefecimento	35730,00 [W]
Pré filtro	G4
Filtro	F5
Filtro Final	F7
Número de Baterias	1,00
Caudal de água Quente	6,36 [m ³ /h]
Caudal de água Refrigerada	6,13 [m ³ /h]
Ar novo insuflado	100%
Ventilador (VI)	Centrífugo
Transmissão	Plug-Fan
Nº. De Velocidades	Variável
Qinsuflação(min/máx.)	6,31 [m ³ /h]
Δp insuflação	165,00 [Pa]
Atenuador acústico (VI)	Sim

ANEXO C – Especificações técnicas dos equipamentos principais de projeto alternativo

Chiller (só frio) com condensador arrefecido a ar, fluido frigorífero R410A. THERMOCOLD, modelo DOMINO EA 1125 ZC SL		
Capacidade Nominal de Arrefecimento	126000	[W]
Potência absorvida em Arrefecimento (compressor)	42400	[W]
EER	2,81	
Número de ventiladores / Tipo / Caudal	2 / Axial	
Número de compressores	2 / Scroll	
Número de circuitos frigoríficos	1	
Δp (evaporador)	38000	[Pa]
Nível de potência sonora (ISO 3744)	81	[dB(A)]
Alimentação Elétrica	400/3/50	
Corrente elétrica (100% trabalho)	80,1	[A]
Corrente elétrica (arranque)	292,6	[A]
Caldeira de condensação em aço para a produção de água quente. BaxiRoca, modelo POWER HT-85		
Capacidade nominal	170000	[W]
Combustível	Gás Natural	
Alimentação Elétrica	Monofásica 230 V, 50 Hz	
Temperatura de entrada de água quente	60	[°C]
Temperatura de saída de água quente	80,00	[°C]
Capacidade de água	13,7	[L]
Tipo	Horizontal	
Construção	Monobloco em chapa de aço	
<u>Rendimento útil com carga a:</u>		
30%	107,6%	
100%	97,3%	

ANEXO D – Especificações técnicas dos equipamentos principais da alternativa apresentada pelo empreiteiro

Chiller (só frio) com condensador arrefecido a ar. Lennox: EAC 1403 SM4 HN		
Capacidade Nominal	139000	[W]
Potência elétrica absorvida	48300	[W]
EER	2,87	
Número de passos de redução de potência	0 - 30 - 75 - 100	
Número de compressores / Tipo	3 / Scroll	
Número de ventiladores/Tipo/ Caudal	2 / Axial / 44500 m ³ /h	
Caudal de água refrigerada a 7°C/12°C (evaporador)	23,9	[m ³ /h]
Δp (evaporador)	78000	[Pa]
Dimensões (CxLxA)	2250x1420x2155	[mm]
Peso em funcionamento	1019	[Kg]
Nível de potência sonora. (ISO 3744)	87	[dB(A)]
Alimentação elétrica [V/Fases/Hz]	400V/3/50Hz	
Corrente eléctrica (100% trabalho)	118,5	[A]
Corrente eléctrica (arranque)	301,2	[A]

Caldeira de condensação em aço para a produção de água quente. BaxiRoca, modelo POWER HT-85		
Capacidade nominal	170000	[W]
Combustível Aquecimento	Gás Natural	
Alimentação Elétrica	Monofásica 230 V, 50 Hz	
Temperatura de entrada de água quente	60	[°C]
Temperatura de saída de água quente	80,00	[°C]
Capacidade de água	13,7	[L]
Tipo	Horizontal	
Construção	Monobloco em chapa de aço	
<u>Rendimento útil com carga a:</u>		
30%	107,6%	
100%	97,3%	

UTAN's	
<u>Exigências da norma europeia NFEN 1886:</u> Resistência da envolvente Fugas de ar pela envolvente Fuga de derivação dos filtros Condutividade térmica Pontes térmicas	mínimo classe 2A - D1 mínimo classe B - L2 mínimo classe F9 mínimo classe T2 mínimo TB2
UTAN.1. France Air, modelo MODULYS TA COMPO 50 130 EXT	
Área Tratada	Zona Administrativa
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade nominal de aquecimento	51000,00 [W]
Capacidade nominal de arrefecimento	50000,00 [W]
Pré-filtro	G4
Filtro (de média eficiência)	F5
Filtro final (filtração fina)	F7
Recuperador de calor / Potência recuperada - Inverno	Sim / 22700 [W]
Número de baterias (aquecimento/arrefecimento do ar)	1
Δp (água quente)	29000,00 [Pa]
Δp (água refrigerada)	35200,00 [Pa]
Δp (eliminador de gotas+troken)	130,00 [Pa]
Ar novo insuflado	100%
Ventilador(VI/VE)	F500C - 5,5 - 1500 IE2 / F400C - 1,5 - 1500 IE2
Tipo / Transmissão (VI/VE)	Centrífugo / Plug-Fan
Nº. de velocidades (VI/VE)	Variável
Q (VI/VE)	8820 / 4000 [m ³ /h]
Δp (VI/VE)	362 / 180 [Pa]
Eficiência (VI/VE)	78,3% / 80,7%
Potência do motor (VI/VE)	5500 / 1500 [W]
Potência absorvia (VI/VE)	4090 / 700 [W]
Consumo (VI/VE)	10,9 / 3,39 [A]
Alimentação elétrica (VI/VE)	400 V / 3 Fases
Atenuador acústico (VI/VE)	Sim

UTAN.2. France Air, modelo MODULYS TA COMPO 50 96 EXT	
Área Tratada	Cozinha/Refeitório
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade nominal de aquecimento	41700,00 [W]
Capacidade nominal de arrefecimento	39400,00 [W]
Pré-filtro	G4
Filtro (de média eficiência)	F5
Filtro final (filtragem fina)	F7
Número de baterias (aquecimento/arrefecimento do ar)	1
Δp (água quente)	2900,00 [Pa]
Δp (água refrigerada)	23000,00 [Pa]
Δp (eliminador de gotas+troken)	72,00 [Pa]
Ar novo insuflado	100%
Ventilador	F450C - 3 - 1500
	IE2
Tipo / Transmissão	Centrífugo / Plug-Fan
Nº. de velocidades	Variável
Q	7300 [m ³ /h]
Δp (caudal de ar)	300 [Pa]
Eficiência do ventilador	80,7%
Potência do motor	3000 [W]
Alimentação elétrica	400 V / 3 Fases
UTAN.3. France Air, modelo MODULYS TA COMPO 50 96 EXT	
Área Tratada	Cozinha/Refeitório
Tipo	Horizontal/Exterior
Capacidade nominal de aquecimento	36100,00 [W]
Capacidade nominal de arrefecimento	33800,00 [W]
Pré filtro	G4
Filtro (de média eficiência)	F5
Filtro final (filtragem fina)	F7
Número de Baterias (aquecimento/arrefecimento do ar)	1
Δp (água quente)	3600,00 [Pa]
Δp (água refrigerada)	24900,00 [Pa]
Δp (eliminador de gotas+troken)	167,00 [Pa]
Ar novo insuflado	100%
Ventilador	F450C - 3 - 1500
	IE2
Tipo / Transmissão	Centrífugo / Plug-Fan
Nº. de velocidades	Variável
Q	6310 [m ³ /h]
Δp (caudal de ar)	165 [Pa]
Eficiência do ventilador	79,4%
Potência do motor	3000 [W]

ANEXO E - Solar térmico do modelo 2

SolTerm 5.1

Licenciado a Ruben Gaspar
(Boilernox, Lda. - Acumuladores, Caldeiras e Válvulas, LDA.)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: ACV_Boilernox Solarline 2.4
12 módulos (28.2 m²)
Inclinação 40° - Azimute Sul

Coeficientes de perdas térmicas: a1= 3.440 W/m²/K a2= 0.015
W/m²/K²

Rendimento óptico: 74.8%

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 40.5 l/m² por hora (=0.32 l/s)

Depósito

Modelo: típico 2500 l
Volume: 2500 l
Área externa: 10.60 m²
Material: médio condutor de calor
Posição vertical
Deflectores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 10.60 W/K

Um conjunto depósito/permutador

 Tubagens

Comprimento total: 40.0 m
 Percurso no exterior: 10.0 m com protecção mecânica
 Diâmetro interno: 26.0 mm
 Espessura do tubo metálico: 1.0 mm
 Espessura do isolamento: 30.0 mm
 Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K
 Condutividade térmica do isolamento: 0.030 W/m/K

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Tomar
 Coordenadas nominais: 39.6°N, 8.4°W
 TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG(2009) www.lneg.pt
solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: SEM SOMBREAMENTO

Orientação do painel: inclinação 40° - azimute 0°

Balanço energético mensal e anual

Apoio	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh
kWh					
Janeiro	60	103	.	1430	3893
2463					
Fevereiro	77	114	.	1557	3516
1960					
Março	114	139	.	1869	3893
2024					
Abril	152	162	.	2191	3767
1577					
Maio	192	182	.	2445	3893
1448					
Junho	204	184	.	2493	3767
1274					
Julho	225	207	.	2917	3893
976					

Acompanhamento da instalação de sistema de AVAC e avaliação de soluções alternativas ao projeto

Anexo E

816	Agosto	206	210	.	3077	3893
1251	Setembro	144	168	.	2517	3767
1742	Outubro	104	146	.	2151	3893
2141	Novembro	69	115	.	1626	3767
2452	Dezembro	57	106	.	1441	3893

20123	Anual	1603	1836	.	25714	45837
-------	-------	------	------	---	-------	-------

Fracção solar: 56.1%

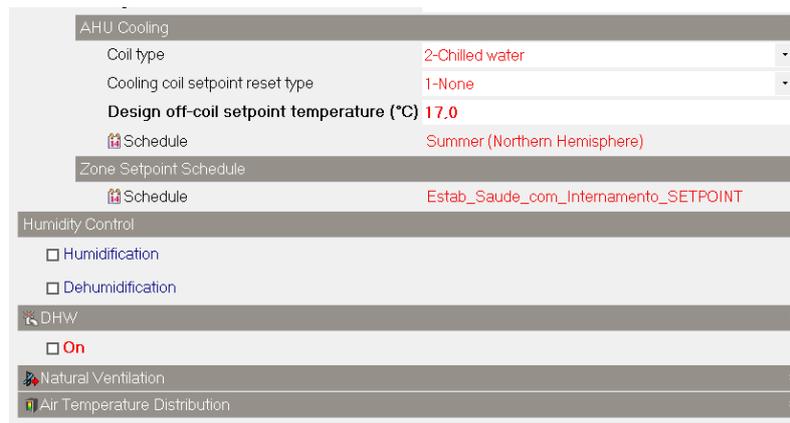
Rendimento global anual do sistema: 50%
kWh/[m² colector]

Produtividade: 912

ANEXO F – Interface do sistema em projeto inicial

The image shows a software interface for configuring an HVAC system. It is organized into several expandable sections:

- HVAC Template:**
 - Template:** VAV with terminal reheat
 - Type:** 3-VAV
 - System Availability:** On
 - Schedule:** 2-Cycle on any
- Mechanical Ventilation:**
 - On
 - Outside air definition method:** 3-Min fresh air (Per area)
 - Min AHU Outside Air Requirement:** Estab_Saude_com_Internamento_Ocupacao_Nomina
 - Outside Air Mixing:** (Expanded)
 - Fans:**
 - Pressure rise (Pa): 700
 - Total efficiency (%): 70
 - Fan in air (%): 100
 - Fan placement: 1-Draw through
 - Part-load power coefficients: 3-Variable speed motor
- Heating:**
 - Heated
 - Fuel:** 1-Electricity from grid
 - Heat generation CoP:** 3.000
 - Heating distribution loss (%):** 5.0
 - Radiators/Baseboard:**
 - Radiators/baseboard
 - Outside Air Preheat:**
 - Coil type:** 1-None
 - AHU Heating:**
 - Coil type:** 3-Hot water
 - Heating coil setpoint reset type:** 1-None
 - Design off-coil setpoint temperature (°C):** 27.0
 - Schedule:** Winter (Northern Hemisphere)
 - Reheat:**
 - Coil type:** 1-None
 - Zone Setpoint Schedule:** Estab_Saude_com_Internamento_SETPOINT
- Cooling:**
 - Cooled
 - Fuel:** 1-Electricity from grid
 - Chiller CoP:** 3.000
 - Type:** (Expanded)
 - Condenser type:** 1-Air-cooled
 - Cooling distribution loss (%):** 5.0



ANEXO G – Cálculo e resultados da viabilidade energética

Dados de entrada no *DesignBuilder*

Para o cálculo dos consumos das UTAN's era necessário achar os dados de entrada para o sistema equivalente das 3 unidades. Pelo que se apurou a perda de carga equivalente em função dos caudais de funcionamento de cada uma:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \Delta p_{eqt} * Q_t = \Delta p_1 * Q_1 + \Delta p_2 * Q_2 + \Delta p_3 * Q_3 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \Delta p_{eqt} = \frac{\Delta p_1 * Q_1 + \Delta p_2 * Q_2 + \Delta p_3 * Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

em que, P_t [W], é a potência equivalente das três UTAN's e, P_n [W], é a potência consumida na operação do ventilador da UTAN, n, para debitar o caudal, Q_n [m³/s], vencendo a perda de carga, Δp_n [Pa].

UTAN eq.	Modelo 1: WESPER PREMI@IR					Modelo 2: MODULYS TA COMPO				
Ventilador	Δp_{tn} [Pa]	Q_n [m ³ /h]	Q_n [m ³ /s]	η_n [%]	P_n [W]	Δp_{tn} [Pa]	Q_n [m ³ /h]	Q_n [m ³ /s]	η_n [%]	P_n [W]
UTAN.1	1585	9410	2,61	75%	5524,02	1197	8820	2,45	78,30%	3745,41
UTAN.2	1040	7300	2,03	75%	2811,86	871	7300	2,03	80,70%	2188,60
UTAN.3	921	6310	1,75	75%	2152,42	853	6310	1,75	79,40%	1883,03

Tabela 13. Apresentação dos cálculos das perda de carga equivalente

Cálculo da viabilidade energética

Consumos energéticos

Os consumos energéticos foram calculados em função das tarifas em [7], através da multiplicação da tarifa vigorante [€/kWh] pela energia anual absorvida pela máquina em operação [kWh/ano]. Para o cálculo do custo do consumo da caldeira a

gás natural foram utilizados o poder calorífico inferior e a densidade do GN para condições PTN – tabela do modelo 1.

PRS

O período de retorno foi analisado, adotando o método de cálculo simples do RSECE - anexo XIII:

$$PRS = \frac{Ca}{P_1} [anos]$$

em que, Ca [€], é o custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base e o custo da solução mais eficiente, e, P_1 [€/ano], corresponde à poupança anual estimada com base em simulações anuais.

	Necessidades de climatização [kW]	Fonte de energia	COP / EER / η	Consumo anual [kWh/ano]	Tarifa Elet. [€/kWh]	Custo anual [€/ano]	Custo mensal [€/mês]	Custo mensal [€/mês.cama]	Consumo total de energia [€/ano]
Aquecimento	161,10	Elet.	3,00	72760	0,13	9.458,80	788,23	21,90	26.612,30
Arrefecimento	135,80	Elet.	3,00	76390	0,13	9.930,70	827,56	22,99	
Ventiladores das UTANs	-	Elet.	70,00%	55560	0,13	7.222,80	601,90	16,72	

Tabela 14. Estudo dos consumos energéticos referentes ao modelo do projetista.

	Necessidades de climatização [kW]	Fonte de energia	COP / EER / η	Consumo anual [kWh/ano]	Tarifa Elet. [€/kWh]	Custo anual [€/ano]	Custo mensal [€/mês]	Custo mensal.cama [€/mês.cama]	Nº de camas [un]	Consumo total de energia [€/ano]	Poupança anual de energia	Investimento inicial
Aquecimento	161,10	Elet.	3,41	29467	0,13	3.830,77	319,23	8,87	36,00	24.286,27	8,74%	23.593,19
Arrefecimento	135,80	Elet.	2,89	61800	0,13	8.034,00	669,50	18,60	36,00			23.593,19
Ventiladores das UTAN's	-	Elet.	75,00%	95550	0,13	12.421,50	1.035,13	28,75	36,00			32.653,34

Tabela 15. Estudo dos consumos energéticos referentes ao "Modelo 0".

	Necessidades de climatização [kW]	Fonte de energia	COP / EER / η	Consumo anual [kWh/ano]	Tarifa Elet. [€/kWh]	Tarifa GN [€/m3]	PCI GN [kJ/kg]	Densidade [kg/m3]	PCI GN [kWh/m3]	Consumo anual de GN [m3/ano]	Custo anual [€/ano]
Aquecimento	168,02	GN	97,30 %	40624	-	0,69	12,53	0,8404	10,53	3.858,55	2.662,40
Arrefecimento	127,00	Elet.	2,81	46856	0,13	-	-	-	-	-	6.091,26
Ventiladores das UTAN's	-	Elet.	75,00 %	93950	0,13	-	-	-	-	-	12.213,46

	Custo mensal [€/mês]	Custo mensal.cama [€/mês.cama]	Nº de camas [un]	Poupança anual de energia	Consumo total de energia [€/ano]	Poupança anual de energia	Investimento inicial	PRS [anos]
Aquecimento	221,87	6,16	36,00	30,50%	20.967,12	13,67%	5.931,42	6,53
Arrefecimento	507,60	14,10	36,00	24,18%			19.613,00	
Ventiladores das UTAN's	1.017,79	28,27	36,00	1,67%			32.653,34	

Tabela 16. Estudo dos consumos energéticos referentes ao "Modelo 1".

	Necessidades de climatização [kW]	Fonte de energia	COP / EER / η	Q [m ³ /h]	Δp_t [Pa]	Consumo anual [kWh/ano]	Tarifa Elet. [€/kWh]	Tarifa Biom. [€/kWh]	Custo anual [€/ano]	Custo mensal [€/mês]	Custo mensal.cama [€/mês.cama]
Aquecimento	168,02	Bio	90,00%	-	-	52770	-	0,06	3.166,22	263,85	7,33
Arrefecimento	127,00	Elet.	2,87	-	-	43157	0,13	-	5.610,44	467,54	12,99
Ventiladores das UTAN's	-	Elet.	79,24%	22464	994	71883	0,13	-	9.344,84	778,74	21,63

	Poupança anual de energia	Consumo total de energia [€/ano]	Poupança anual de energia	Investimento inicial	PRS
Aquecimento	17,35%	18.121,50	25,38%	17.133,85	3,49
Arrefecimento	30,17%			19.613,00	
Ventiladores das UTAN's	24,77%			21.579,41	

Tabela 17. Estudo dos consumos energéticos referentes ao “Modelo 2”