Simulação Dinâmica do Centro de Reabilitação do Norte e Análise de Soluções Energéticas Alternativas

Trabalho Realizado na Efacec - Engenharia e Sistemas

Edgar de Assunção Pestana

Relatório de Dissertação do MIEM

Orientador na Empresa: Engenheiro Octávio Lourenço

Orientador na FEUP: Prof. Doutor Armando Oliveira

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho 2012

Resumo

O presente projeto foi elaborado no âmbito da disciplina de Dissertação do 5.º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Energia Térmica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP. O projeto foi realizado em ambiente empresarial através da parceria entre as empresas *Efacec* e *Rodrigues Gomes & Associados* e teve como principal objetivo a simulação dinâmica detalhada do comportamento térmico recorrendo ao Software TRACE700 do Centro de Reabilitação do Norte (CRN) situado em Valadares, cuja inauguração está prevista para julho de 2012.

A modelação de um Edifício, num Software de simulação dinâmica, exige uma caracterização dos elementos da envolvente, assim como uma perfeita compreensão do seu funcionamento ao nível dos sistemas de climatização, iluminação, equipamentos e ocupação. Deste modo, em primeiro lugar foi necessário realizar um levantamento tridimensional no Software Revit MEP 2012. Em segundo, importou-se o modelo para o Software TRACE700 onde se definiram as restantes características já mencionadas.

Numa primeira fase o modelo foi simulado de acordo com os dados nominais de utilização (caudais de ar novo e perfis de utilização) presentes no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). A partir deste modelo obteve-se um Índice de Eficiência Energético (IEE) de 22.01 [kgep/m^2.ano], a classe A de desempenho energético e uma emissão anual de 627.4 toneladas de CO_2.

Em segundo, foi efetuada uma previsão dos parâmetros de funcionamento com o intuito de avaliar a contribuição dos diversos elementos na fatura energética da unidade hospitalar, bem como realizar uma previsão dos custos energéticos inerentes à mesma.

Por último, foram analisadas alternativas às soluções passivas e ativas presentes no CRN, tendo em conta o custo de investimento da sua aplicação e o respetivo período de retorno.

Como alternativas passivas foi avaliado o impacto da espessura do isolamento, e a substituição dos envidraçados presentes por outros, com características térmicas distintas. Da análise deste tipo de alternativas não foram obtidas melhorias para a eficiência energética do CRN, pelo que se concluiu que a envolvente construtiva instalada é adequada ao tipo de Edifício e à sua localização.

No campo das alternativas ativas, foi analisada a implementação de sensores de luz natural - *dimmers*, superfícies radiantes, *chillers* com aproveitamento geotérmico, caldeiras a biomassa e a adoção da técnica de arrefecimento gratuito. Todas as alternativas analisadas apresentaram uma redução nos custos energéticos.

Da simulação dinâmica que incluiu em simultâneo todas as alternativas mencionadas, o CRN apresentou uma redução de 20% dos seus consumos, um IEE de 19.05 [kgep/m^2.ano] que corresponde a uma emissão de 524.2 toneladas de CO_2 por ano, e a uma classificação energética A^+.

Dynamic Simulation of *Centro de Reabilitação do Norte* and Analysis of Alternative Energetic Solutions

Abstract

The following thesis was developed for the subject *Dissertion* of the 5th year of the Masters Degree in Mechanical Engineering, Thermal Energy branch, at FEUP (*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*). The project here presented was developed in collaboration with two companies, *Efacec* and *Rodrigues Gomes & Associados*. Its main purpose was to detail, using the TRACE700 software, the dynamic simulation of the thermal behaviour of *Centro de Reabilitação do Norte* (CRN), a hospital unit situated in *Valadares, Vila Nova de Gaia* and predicted to open next July 2012.

Modelling a building using a dynamic solution software requires the description of the surrounding elements as well as a perfect comprehension of the building's HVAC systems, illumination, equipments and occupation. Hence, the first step was to create a three-dimensional version of the building using the Revit Mep 2012 software. Secondly, the model was imported to the TRACE700 software, where the remaining aforementioned characteristics were defined.

In an initial stage the model was simulated according to the nominal utilization data presented in the RSECE (*Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*) – the Portuguese legislation for building construction. From that model an Energy Efficiency Index (EEI) of 22.01 [kgoe/m^2.year] was obtained, and annual CO_2 emissions of 627.4 tons, with an A level in the energy efficiency rating.

Later, an evaluation of the operating parameters was made in order to achieve two goals. On the one hand, to evaluate the different weights each element will have in the energetic bill. On the other hand, to predict the annual energy costs associated with the building and those parameters.

Lastly, alternative options to the passive and active solutions already in place were explored, taking into account their investment costs and the period needed for the return of such investments.

Regarding the passive alternatives, the following were evaluated: the impact of the insulation thickness and the replacement of the existing glazing by another with different thermal characteristics. In both cases no improvements in terms of energy efficiency were identified. As so, the solutions in place proved to be the appropriate ones, taking into account the type of building and its location.

Concerning the active alternatives, the following were assessed: implementation of natural light sensors, dimmers; the use of radiant surfaces; the application of geothermal chillers; the installation of biomass boilers; and the adoption of free cooling methods. Overall, all those alternatives showed a reduction in the energy costs.

The dynamic simulation that simultaneously included all the aforesaid alternatives demonstrated a reduction in energy consumptions of about 20%. Moreover, an EEI of 19.05 [kgoe/m^2.year] was obtained, and annual CO_2 emissions of 524.2 tons, which translates into the A^+ level in the energy efficiency rating.

Agradecimentos

Este projeto representa muito mais do que o fim de uma vida académica, é principalmente o início de uma nova fase, a integração na vida profissional. Assim, devo deixar o meu agradecimento a todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, e de forma decisiva, para concluir da melhor forma esta etapa da vida.

Agradeço em primeiro lugar à Efacec pela oportunidade concedida, oferecendo-me todas as condições necessárias para atingir os objetivos propostos e conduzir este projeto até ao fim com sucesso.

Um especial agradecimento ao Engenheiro Octávio Lourenço, por todo o auxílio e atenção prestados, proporcionando-me sempre todas as informações necessárias para a realização deste projeto. Nunca esquecendo a sua importante contribuição na minha integração numa obra de tal envergadura e numa equipa de excelentes profissionais, os quais me permitiram aprender e crescer enquanto profissional.

Estendo os meus agradecimentos à Rodrigues Gomes & Associados, sem a qual este projeto não poderia ter sido levado até ao fim. A oportunidade de aprender e desenvolver o meu trabalho juntamente com outros profissionais foi, sem qualquer dúvida, fundamental para obter as ferramentas que me permitiram criar esta obra.

Um agradecimento particular ao Engenheiro João Sousa que esteve sempre disponível de cada vez que as dúvidas surgiram, e que, com as suas sugestões, me estimulou criticamente na procura da perfeição. O meu obrigado pela ajuda na compreensão do complexo Software Trace 700, e na análise de resultados e obtenção de conclusões.

Agradeço também ao Desenhador Artur Mota, que foi essencial para a modelação do projeto no software Revit Mep 2012.

À FEUP, por todos estes anos de ensino de excelência, de experiências únicas e de contacto com os melhores académicos e profissionais. Foram, sem dúvida, anos de enorme crescimento pessoal e académico que só uma instituição tão prestigiada e distinta me poderia proporcionar.

Ao meu orientador, Professor Doutor Armando Oliveira, que me guiou e ajudou em todos os momentos, com as suas críticas e sugestões. As suas recomendações revelaram-se fundamentais para conciliar as vertentes académica e prática, e por isso gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento.

Não podia passar sem deixar o meu agradecimento aos meus Pais, foram eles que me deram os valores, convicções e ambições que trarei sempre comigo. Sempre me proporcionaram todas as condições, preocupando-se de uma forma ativa com a minha educação. Obrigado.

Por fim, mas tão ou ainda mais importante que todo os outros, aos meus amigos. Essa magnífica equipa que me acompanha todos os dias e com a qual vivo as maiores aventuras.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 9
1.1 Apresentação das Empresas 9
1.1.1 Efacec - Engenharia e Sistemas 10
1.1.2 Rodrigues Gomes & Associados - Consultores de Engenharia, S.A. 11
1.2 Objetivo do Trabalho 12
1.3 Legislação em Portugal 13
1.4 Software e Metodologia Utilizada 14
2 Edifício de Serviços em Estudo 15
2.1 Centro de Reabilitação do Norte: Generalidades 15
2.2 Contextualização Geográfica 17
2.3 Zonamento Climático e Temperaturas de Projeto 18
2.4 Caracterização Térmica das Soluções Construtivas 18
2.4.1 Envolvente do Edifício 1 19
2.4.2 Envolvente do Edifício 2 23
2.4.3 Envolvente do Edifício 3 25
2.5 Contabilização da Influência das Pontes Térmicas Lineares e Planas 26
2.6 Análise da Influência dos Sombreamentos Externos 27
2.7 Necessidades de Ventilação e Ganhos Internos 28
2.7.1 Perfis de Utilização 28
2.8 Sistemas Identificados 29
2.8.1 Sistemas Ar-Água 29
2.8.2 Sistemas Tudo Ar 33
2.8.3 Sistemas de Expansão Direta 34
2.8.4 Sistemas de Ventilação Mecânica: Ventiladores de Extração e Insuflação 37
2.8.5 Sistemas Energéticos e de Distribuição 37
3 Implementação no TRACE 41
3.1 Fase de Dimensionamento 42
3.1.1 Definição dos Dados Climáticos 42
3.1.2 Definição da Geometria 42
3.1.3 Definição das Características dos Espaços 43
3.2 Sistemas AVAC 44
3.2.1 Seleção do Equipamento 44
3.2.2 Opções do Equipamento 45
3.2.3 Unidade de Tratamento de Ar Novo 46
3.2.4 Definição da Temperatura e Humidade do Ar Tratado 46
3.2.5 Parâmetros dos Ventiladores 47
3.2.6 Baterias de Aquecimento e Arrefecimento 48
3.2.7 Sistema Não Tratado 48
3.2.8 Associação dos Sistemas aos Espaços 48
3.3 Criação das Interligações Energéticas 49
3.3.1 Definição dos Sistemas Energéticos 49
3.3.2 Interligações entre a Produção e Distribuição de Energia 50
3.4 Parâmetros Económicos 51

3.5 Resultados 51

4 Resultados e Análise 55

4.1 Simulação Dinâmica Nominal 55

4.1.1 Dados Nominais de Utilização 55

4.1.2 Resultados Obtidos da Simulação Dinâmica Detalhada Nominal 56

4.1.3 Indicador de Eficiência Energética: Metodologia de Cálculo 57

4.1.4 Verificação do Requisito Legal e Classe Energética 59

4.1.5 IEE Calculado e Considerações Efetuadas 60

4.2 Simulação Dinâmica Real 61

4.2.1 Cargas térmicas 61

4.2.2 Consumos Energéticos 62

4.2.3 Faturação Energética Anual 63

5 Análise de medidas de melhoria do desempenho energético 65

5.1 Soluções Passivas 65

5.1.1 Análise de Alternativas na Envolvente Opaca 65

5.1.2 Análise de Alternativas na Envolvente Transparente 69

5.2 Soluções Ativas 72

5.2.1 Análise da Implementação de Sensores de Luz Natural: *Dimmers* 72

5.2.2 Análise da Implementação da Técnica de Arrefecimento Gratuito: *Free-Cooling* e *Night Purge* 75

5.2.3 Análise da Substituição dos Ventiloconvectores e Aquecedores por Superfícies Radiantes 77

5.2.4 Análise de Implementação de um Sistema Geotérmico 80

5.2.5 Análise da Implementação de Caldeiras a Biomassa 84

5.3 Solução Ótima 86

5.3.1 Simulação ótima Nominal 88

6 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro 89

7 Referências e Bibliografia 91

ANEXO A - Resultados da Simulação Nominal: Relatório TRACE700 93

ANEXO B - Resultados da Simulação Real: Relatório TRACE700 94

ANEXO C - Resultados das Simulações das diferentes alternativas analisadas: Relatórios TRACE700 95

ANEXO D - Resultados da Simulação da solução ótima: Relatórios TRACE700 103

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Logótipo do Grupo Efacec [1] 9
Figura 1.2 - Logótipo da empresa Rodrigues Gomes & Associados [2] 9
Figura 2.1 - Modelo do Conjunto de Edifícios em estudo realizado no Software Revit 16
Figura 2.2 - Contextualização geográfica do Centro de Reabilitação do Norte 17
Figura 2.3 - Fotografia área do Centro de Reabilitação do Norte [6] 17
Figura 2.4 - Análise de sombreamentos realizada através do Software Revit 27
Figura 2.5 - Figura ilustrativa de uma unidade UTAN/UER *double-deck* [12] 30
Figura 2.6 - Figura ilustrativa de uma unidade UTAN constituída por um só corpo [12] 30
Figura 2.7 - Figura ilustrativa de uma unidade de ar novo sem extração [12] 30
Figura 2.8 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector do tipo horizontal [13] 31
Figura 2.9 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector do tipo *cassete* [13] 31
Figura 2.10 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector tipo vertical [13] 32
Figura 2.11 - Figura ilustrativa de um Radiador/Convector [14] 32
Figura 2.12 - Figura ilustrativa de uma Unidade de Condicionamento de Ar [15] 32
Figura 2.13 - Figura ilustrativa da Unidade de Tratamento de Ar do Auditório [12] 33
Figura 2.14 - Figura ilustrativa da Unidade de Tratamento de Ar do Ginásio [12] 33
Figura 2.15 - Figura ilustrativa da Unidade de Termo Ventilação [15] 34
Figura 2.16 - Esquema simplificado de um sistema de expansão direta [16] 34
Figura 2.17 - Figura ilustrativa de uma Unidade de *Close Control* [17] 35
Figura 2.18 - Figura ilustrativa da Unidade Desumidificadora da zona da piscina [18] 36
Figura 2.19 - Figura ilustrativa da Unidade Desumidificadora da sala de Hidroterapia-Tanque Hubbard [18] 36
Figura 2.20 - Exemplo de uma Unidade de Ventilação [19] 37
Figura 2.21 - Figura ilustrativa de uma Caldeira [20] 38
Figura 2.22 - Figura ilustrativa de um *Chiller* [21] 39
Figura 2.23 - Figura ilustrativa de um Banco de Gelo [22] 39
Figura 3.1 - Diagrama Funcional do Trace [23] 41
Figura 3.2 - Definição do Clima de Vila Nova de Gaia 42
Figura 3.3 - Criação do ficheiro gbXML no Software Revit 42
Figura 3.4 - Exportação do Ficheiro gbXML para o Software Trace 43
Figura 3.5 - Criação e definição de "Templates" 44
Figura 3.6 - Aba Selection 45
Figura 3.7 - Aba Options 45

Figura 3.8 - Aba Dedicated OA 46
Figura 3.9 - Aba Temp/Humidity 47
Figura 3.10 - Aba Fans 47
Figura 3.11 - Aba Coils 48
Figura 3.12 - Janela Assign Rooms to Systems 49
Figura 3.13 - Janela Create Plants 50
Figura 3.14 - Janela Assign Systems to Plants 50
Figura 3.15 - Janela Economics 51
Figura 3.16 - Janela Calculate and View Results 52
Figura 3.17 - Janela Change Load Parametres 52
Figura 3.18 - Janela Change Energy Parameters 53
Figura 3.19 - Janela View Results 53
Figura 4.1 - Gráfico ilustrativo dos consumos energéticos do CRN 62
Figura 5.1 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente opaca 66
Figura 5.2 - Ilustração do envidraçado tipo Lumirta™ Aerogel [26] 70
Figura 5.3 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente transparente 70
Figura 5.4 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente transparente com *Dimmers* 73
Figura 5.5 - Gráfico ilustrativo dos consumos da alternativa Real com e sem *Dimmers* 74
Figura 5.6 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas de Arrefecimento Gratuito 76
Figura 5.7 - Figura ilustrativa do efeito térmico do Pavimento Radiante [27] 78
Figura 5.8 - Gráfico ilustrativo dos consumos da alternativa de Superfícies Radiantes 78
Figura 5.9 - Temperatura média do solo nas diversas estações consoante a profundidade [28] 80
Figura 5.10 - Figura ilustrativa de uma instalação com Permutadores de Calor Geotérmicos Verticais [28] 80
Figura 5.11 - Figura ilustrativa do funcionamento de um *Chiller* - Bomba de calor Geotérmico [29] 81
Figura 5.12 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos 82
Figura 5.13 - Figura ilustrativa das *Pellets* utilizadas nas caldeiras a biomassa 84
Figura 5.14 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas com Caldeiras a Biomassa 85
Figura 5.15 - Figura ilustrativa da comparação dos consumos entre a solução Real e Ótima 87
Figura 5.16 - Classificação energética obtida após aplicação das melhorias propostas 88

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Zona climática e dados climáticos de referência do concelho de Vila Nova de Gaia 18
Tabela 2.2 - Resumo das condições climáticas exteriores de projeto 18
Tabela 2.3 - Características da parede exterior Tipo I 19
Tabela 2.4 - Características da parede exterior Tipo II 20
Tabela 2.5 - Características da parede exterior Tipo III 20
Tabela 2.6 - Características da parede Exterior Tipo IV 21
Tabela 2.7 - Características da cobertura exterior Tipo I 22
Tabela 2.8 - Características da cobertura exterior Tipo II 22
Tabela 2.9 - Características dos envidraçados Tipo I 23
Tabela 2.10 - Características dos envidraçados Tipo II 23
Tabela 2.11 - Características da parede exterior Tipo V 24
Tabela 2.12 - Características da cobertura exterior Tipo III 24
Tabela 2.13 - Características da cobertura exterior Tipo IV 24
Tabela 2.14 - Características dos envidraçados Tipo III 25
Tabela 2.15 - Características da parede exterior Tipo VI 25
Tabela 4.1 - Consumos obtidos na simulação nominal 56
Tabela 4.2 - Determinação da classe energética de um edifício 59
Tabela 4.3 - Previsão dos consumos energéticos reais do CRN 62
Tabela 4.4 - Tarifas de eletricidade praticadas pela EDP 63
Tabela 4.5 - Número de horas afeto a cada período de consumo 63
Tabela 4.6 - Tarifários de gás praticados pela EDP 64
Tabela 4.7 - Custo energético anual 64
Tabela 5.1 - Espessuras de isolamento e coeficientes de transmissão térmicos considerados 66
Tabela 5.2 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente opaca 66
Tabela 5.3 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente opaca 67
Tabela 5.4 - Período de retorno do investimento das diferentes alternativas de envolvente opaca 68
Tabela 5.5 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente transparente 70
Tabela 5.6 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente transparente 71
Tabela 5.7 - Período de retorno do investimento das diferentes alternativas de envolvente transparente 71
Tabela 5.8 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente transparente com *Dimmers* ..73
Tabela 5.9 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente transparente com *Dimmers* 74
Tabela 5.10 - Consumos energéticos da alternativa Real com e sem *Dimmers* 74

Tabela 5.11 - Custos energéticos da alternativa Real com e sem *Dimmers* 75
Tabela 5.12 - Custo da implementação de *Dimmers* e PRI 75
Tabela 5.13 - Consumos energéticos das alternativas de Arrefecimento Gratuito 76
Tabela 5.14 - Custos energéticos das diferentes alternativas de Arrefecimento Gratuito 77
Tabela 5.15 - Consumos energéticos das alternativa de Superfícies Radiantes 78
Tabela 5.16 - Custos energéticos da alternativa de Superfícies Radiantes 79
Tabela 5.17 - Cálculo do PRI do sistema de Superfícies Radiantes 79
Tabela 5.18 - Consumos energéticos das alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos 82
Tabela 5.19 - Custos energéticos da alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos 83
Tabela 5.20 - Análise do retorno de investimento das alternativas com Geotermia 83
Tabela 5.21 - Consumos energéticos das alternativas com Caldeiras a Biomassa 85
Tabela 5.22 - Custos energéticos da alternativa com Caldeiras a Biomassa 86
Tabela 5.23 - Comparação entre os consumos energéticos da simulação Real e Ótima 87
Tabela 5.24 - Custos energéticos da alternativa ótima 88
Tabela 5.25 - Análise do PRI da solução ótima 88

Siglas e Abreviaturas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Água Quente Sanitária

ARS – Administração Regional de Saúde

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COP – *Coefficient of Performance*

CRN – Centro Regional do Norte

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

GTC – Gestão Técnica Centralizada

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

PRE – Plano de Racionalização Energética

PRI – Período de Retorno do Investimento

PTL – Ponte Térmica Linear

PTP – Ponte Térmica Plana

QAI – Qualidade do Ar Interior

RAD – Aquecedores/Radiadores

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

Revit – REVIT Mep 2012

RGA – Rodrigues Gomes & Associados - Consultores de Engenharia, S.A.

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética

Trace – TRACE 700

UAC – Unidade Autónoma de Ar Condicionado

UCA – Unidade de Condicionamento de Ar

UD – Unidades Desumidificadoras

UER – Unidade de Extracção e Recuperação

UTA – Unidades de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

UTV – Unidade de Termo Ventilação

VC – Ventiloconvectores

VE – Ventiladores de Extração

VI – Ventiladores de Insuflação

Lista de Variáveis

A_{ext} - Área da envolvente exterior [m^2]

A_{int} - Área da envolvente interior com exigências térmicas [m^2]

A_p - Área útil de pavimento [m^2]

F_{ci} - Fator de correção do consumo de energia de aquecimento

F_{cv} - Fator de correção de consumo de energia de arrefecimento

FF - Fator de forma do edifício

$g_{\perp}$ - Fator Solar do envidraçado

IEE - Índice de Eficiência Energética [Kgep/m^2.ano]

IEE_I - Índice de Eficiência Energética de aquecimento [Kgep/m^2.ano]

IEE_V - Índice de Eficiência Energética de arrefecimento [Kgep/m^2.ano]

N_{I1} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse na zona de referência I1 [kWh/m^2.ano]

N_{Ii} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde este está localizado [kWh/m^2.ano]

N_{V1} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 [kWh/m^2.ano]

N_{Vi} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde este está localizado [kWh/m^2.ano]

Q_{aq} - Consumo de Energia de Aquecimento [Kgep/ano]

Q_{arr} - Consumo de Energia de Arrefecimento [Kgep/ano]

Q_{out} - Consumo não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento [Kgep/ano]

R_j - Resistência térmica da camada j [m^{2o}C/W]

R_{se} - Resistência térmica superficial exterior [m^{2o}C/W]

R_{si} - Resistência térmica superficial do espaço aquecido [m^{2o}C/W]

U - Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial [W/m^{2o}C]

V - Volume interior do edifício [m^3]

1 Introdução

1.1 Apresentação das Empresas

O projeto final abordado neste relatório foi efetuado através de uma parceria entre duas empresas, a *Efacec - Engenharia e Serviços* e a *Rodrigues Gomes & Associados - Consultores de Engenharia, S.A* .(RGA) - logótipos nas figuras 1.1 e 1.2.

A Efacec, empresa encarregue da construção do projeto AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) do Conjunto de Edifícios em estudo, possibilitou um contacto permanente com o estaleiro de obra e assegurou o fornecimento de toda a informação necessária à realização deste estudo.

Por sua vez a RGA revelou-se uma ajuda fundamental na aprendizagem de como modelar corretamente o conjunto de edifícios em estudo no Software de simulação dinâmica TRACE700, assim como na análise dos resultados obtidos pelo mesmo Software.

Figura 1.1 - Logótipo do Grupo Efacec [1]

Figura 1.2 - Logótipo da empresa Rodrigues Gomes & Associados [2]

1.1.1 Efacec - Engenharia e Sistemas

O Grupo Efacec tem mais de 100 anos de história e teve a sua origem na sociedade *Electro - Moderna,* empresa criada em 1905. Em 1948 foi constituída a sociedade EFME, que passaria a chamar-se EFA em 1949 e finalmente a partir do ano 1962 denominar-se-ia EFACEC, nome que vigora até aos dias de hoje.

Inicialmente dedicada à produção de motores e transformadores elétricos, o Grupo Efacec cresceu de forma sustentável e é atualmente o maior grupo elétrico de capitais portugueses, com mais de 4500 colaboradores presentes em mais de 65 países.

O portfólio de atividades da Efacec está organizado nas seguintes áreas:

- Energia
    - Transformadores
    - Aparelhagem de Média e Alta Tensão
    - Servicing de Energia
- Engenharia e Sistemas
    - Engenharia
    - Automação
    - Manutenção
    - Ambiente
    - Renováveis
- Transportes e Logística

Este projeto insere-se no Departamento de Ambiente, mais concretamente no domínio do Ar Condicionado. Neste domínio, o Grupo opera nas seguintes vertentes:

- Ar Condicionado de Conforto e Industrial
- Ventilação de Climatização Têxtil
- Recuperação de Fibras
- Redes de Fluídos

Esta atividade dirige-se essencialmente à industria e aos grandes complexos na área dos serviços (hospitais, aeroportos, hotéis, centros comerciais, escritórios, etc.) nos quais a Efacec tem estado sempre presente.

1.1.2 Rodrigues Gomes & Associados - Consultores de Engenharia, S.A.

A empresa Rodrigues Gomes & Associados - Consultores de Engenharia, S.A., teve a sua origem na *Engenheiro Rodrigues Gomes & Associados – Consultores de Instalações Especiais, Lda*, sendo seus sócios a empresa fundadora e o corpo técnico superior que, na altura, exercia funções na referida empresa. Conseguiu-se deste modo uma transição homogénea dando seguimento a uma relação profissional interna que tinha tido o seu início em Março de 1987 com o nascimento da empresa fundadora.

Desde a sua fundação a empresa tem tido por objetivos fundamentais os seguintes:

- Prestação de serviços de alta qualidade técnico/científica;
- Prestação de serviços respeitando os cronogramas estabelecidos com os diferentes promotores em termos de tempo e investimento.

A empresa tem por finalidade a elaboração de projetos de instalação especiais nas seguintes áreas:

- Instalações elétricas;
- Instalações de telecomunicações e distribuição de sinal de TV;
- Instalações de segurança;
- Instalações de ar condicionado, aquecimento e ventilação;
- Instalações de produção de energia elétrica;
- Instalações de gestão técnica;
- Instalações de redes de dados;
- Instalações de elevadores, escadas e tapetes rolantes;
- Instalações de gás;
- Instalações de ar comprimido;
- Instalações de gases especiais;
- Auditorias energéticas;
- Verificação da regulamentação sobre edifícios nos diversos aspetos interdisciplinares atrás referidos;
- Simulação Dinâmica:
    - Comportamento Térmico
    - Iluminação Natural e Artificial
    - Ventilação Natural
    - Consumos e Otimização Energética
- Certificação Energética:
    - Verificação Regulamentar sobre Edifícios
    - Certificação Energética de Edifícios

Sendo que o trabalho realizado durante o estágio nesta empresa se foca nos dois últimos domínios mencionados.

1.2 Objetivo do Trabalho

Na presente dissertação é analisado do ponto de vista energético o Centro de Reabilitação do Norte (CRN), uma unidade hospitalar que se encontra em construção e cuja inauguração esta prevista para julho de 2012.

O principal propósito deste projeto final é simular o comportamento térmico do CRN, recorrendo ao software comercial de simulação dinâmica detalhada TRACE700.

O primeiro objetivo consiste na criação de um modelo nominal de forma a obter-se, de acordo com a legislação portuguesa, o índice de eficiência energético (IEE) e a respetiva classificação.

Em segundo, a criação do modelo de simulação real que visa avaliar a contribuição dos diversos elementos na fatura energética da unidade hospitalar, bem como realizar uma previsão da mesma.

Por último pretende-se analisar a implementação de soluções energéticas alternativas de forma a melhorar o desempenho térmico/energético, tornando o CRN mais eficiente e, consequentemente, mais económico e ecológico.

1.3 Legislação em Portugal

Para a realização do trabalho proposto é necessário um profundo conhecimento da legislação portuguesa relativa ao desempenho energético de edifícios.

Com o intuito de reduzir os consumos energéticos do sector de edifícios, e consequentemente as emissões de CO_2, o Parlamente Europeu e o Conselho da União Europeia aprovaram a Diretiva Nº. 2002/91/CE de 16 de Janeiro de 2002.

Portugal, como membro integrante da União Europeia, transpôs em 2006, a diretiva para a legislação nacional por meio de três decretos-lei:

- Decreto-Lei N.º 78/2006 de 4 de Abril - Sistema Nacional de Certificação Energética "SCE" [3];

O SCE pretende assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE. A verificação deste decreto-lei permite certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior (QAI) nos edifícios.

- Decreto-Lei N.º 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização "RSECE" [4];

O RSECE define as condições a cumprir no projeto de novos sistemas de climatização. Tais condições dizem respeito aos requisitos em termos de conforto térmico e qualidade do ar interior, que devem ser asseguradas por equipamentos com elevado nível de eficiência energética. Neste decreto-lei são também impostos os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento. Estabelece as regras de conceção, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, de forma a garantir níveis de qualidade e segurança durante o seu normal funcionamento. Estabelece ainda a exigência de monitorização do funcionamento dos edifícios através de auditorias.

- Decreto-Lei N.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios "RCCTE" [5];

O RCCTE indica as regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados. No seu conteúdo estão presentes as exigências de aquecimento, de arrefecimento, de ventilação assim como as necessidades de água quente sanitária (AQS). Apresenta ainda os requisitos mínimos de qualidade ao nível da envolvente, com o objetivo de limitar as perdas térmicas durante a estação de aquecimento, e os ganhos excessivos na estação de arrefecimento. Tem ainda como objetivo minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações, que prejudicam a durabilidade dos materiais e a qualidade do ar interior.

1.4 Software e Metodologia Utilizada

No desenvolvimento do modelo de simulação foram utilizados dois softwares distintos, o Autodesk Revit MEP 2012 (Revit) e o Trane Trace700 (Trace).

Devido à grandeza do empreendimento em estudo tornar-se-ia impossível introduzir manualmente no Trace, em tempo útil, as dimensões dos seus diferentes elementos (paredes, janelas, e coberturas). Desta forma optou-se por realizar o levantamento tridimensional através do software Revit. Através do seu interface simples é possível de uma forma rápida e precisa construir um modelo tridimensional do complexo em estudo. A vista em três dimensões permite uma deteção e correção rápida dos erros, para além de transmitir com muita clareza uma ideia geral do Conjunto de Edifícios.

Após a criação do modelo em Revit é possível exportar um ficheiro gbXML que ao ser introduzido no Trace cria de forma automática todos os espaços definidos no Revit. Se forem efetuadas alterações no modelo Revit bastará importar o novo ficheiro gbXML para o Trace e este atualizará as características dimensionais de todos os espaços que se mantiverem com o mesmo nome.

O método descrito anteriormente é largamente utilizado nos gabinetes de projeto, visto permitir a simulação dinâmica através do Trace, ou de outro software de simulação detalhada, num tempo de resposta adequado às exigências do mercado.

Uma simulação dinâmica consiste num método de análise do desempenho energético de uma instalação, permitindo uma avaliação quantitativa das potências de consumo segundo determinadas condições de trabalho e funcionamento. Sendo também possível realizar-se uma análise qualitativa, pela desagregação dos consumos.

O que o Trace realiza é uma simulação dinâmica detalhada, ou seja, o cálculo é processado em regime não estacionário, para um período base de um ano.

Assim, e de forma a obter resultados reais, foi necessário realizar uma caracterização completa do centro hospitalar em estudo, a qual envolveu a definição dos edifícios, dos sistemas de climatização e das centrais térmicas.

Através da introdução de parâmetros económicos no Trace é também possível realizar uma análise de custos de utilização das instalações.

2 Edifício de Serviços em Estudo

Neste capítulo é apresentado o Conjunto de Edifícios em estudo, definindo a sua localização geográfica, a envolvente construtiva, os sistemas AVAC presentes, equipamentos e iluminação. São também apresentadas todas as considerações realizadas ao nível de ocupação, pontes térmicas, e sombreamentos, ou seja, toda a informação necessária para modelar o edifício no software Trace.

2.1 Centro de Reabilitação do Norte: Generalidades

Neste subcapítulo será feita uma breve descrição do complexo hospitalar em estudo.

O Centro de Reabilitação do Norte, com abertura prevista para julho de 2012, será uma unidade que visa beneficiar os utentes portadores de deficiências, incapacidades e limitações. A Administração Regional de Saúde (ARS) do Norte prevê que esta unidade se torne numa referência no âmbito da reabilitação em internamento e intervenção terapêutica na região.

Constituído por três edifícios, um edifício existente que foi remodelado, um edifício principal e um edifício técnico, ambos construídos de raiz.

Edifício existente - Edifício 2

Este edifício, designado como Edifício 2 ou existente, foi inaugurado em 1917, data a partir da qual passou a ser conhecido como o Sanatório Marítimo do Norte, estando na época vocacionado para o tratamento de diversas doenças, nomeadamente tuberculose. Em 1978 transitou para a posse do estado Português na condição de integrar os quadros da função pública e continuar a servir a população na área da saúde. No entanto, tal não foi cumprido, o que motivou diversas ações judiciais que culminaram com a cessação da cedência do espaço. Sem utilização, o edifício foi-se degradando, situação que só seria travada em junho de 2010 com o início da construção do CRN.

O seu interior foi completamente reformulado e passará a destinar-se aos principais serviços administrativos.

É constituído por três pisos (Piso -1 a Piso 1). Sendo que os serviços administrativos ficarão localizados nos Pisos 0 e 1. No Piso -1 existirá uma área técnica destinada ao AVAC e uma área de arquivos gerais.

Edifício principal - Edifício 1

O edifício principal, construído a nascente do existente, será constituído por cinco pisos (Piso -1 a Piso 3). Apresenta a maior área dos três edifícios e será aquele que terá maiores consumos de energia. De seguida apresentam-se as principais funções dos diferentes pisos:

- Piso -1: Parque de estacionamento e áreas técnicas de AVAC;
- Piso 0: Serviços hospitalares (consultas externas, serviço de ambulatório, áreas de apoio e zona de ensino);
- Pisos 1 e 2: Zona de hospitalização/internamento;
- Piso 3: Área técnica de AVAC.

Edifício técnico - Edifício 3

O edifício técnico encontra-se a nascente do empreendimento, existindo uma galeria técnica que liga o edifício principal a este. É constituído por três pisos (Piso 0 a 2) cujas principais funções se encontram descritas de seguida:

- Piso 0: Central de arrefecimento, central de fluidos médicos, central de produção de ar comprimido industrial, instalações hidráulicas e armazéns;
- Piso 1: Casa das caldeiras, central de arrefecimento, serviços de instalação e manutenção de equipamentos;
- Piso 2: Salas de instalações elétricas e espaço exterior para instalação dos *chillers*;

Na cobertura do edifício foram instalados painéis solares térmicos para o aquecimento de águas sanitárias.

Na figura 2.1 encontra-se o modelo do Conjunto de Edifícios em estudo realizado no Software Revit.

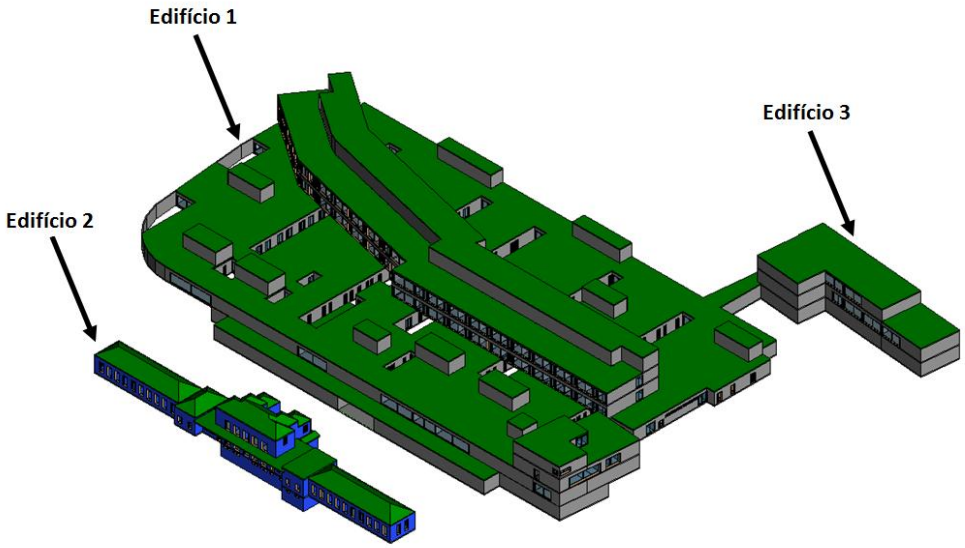

Figura 2.1 - Modelo do Conjunto de Edifícios em estudo realizado no Software Revit

2.2 Contextualização Geográfica

O Conjunto de Edifícios em estudo encontra-se situado no distrito do Porto, concelho de Vila Nova de Gaia, freguesia de Valadares. A figura 2.2 identifica a localização descrita.

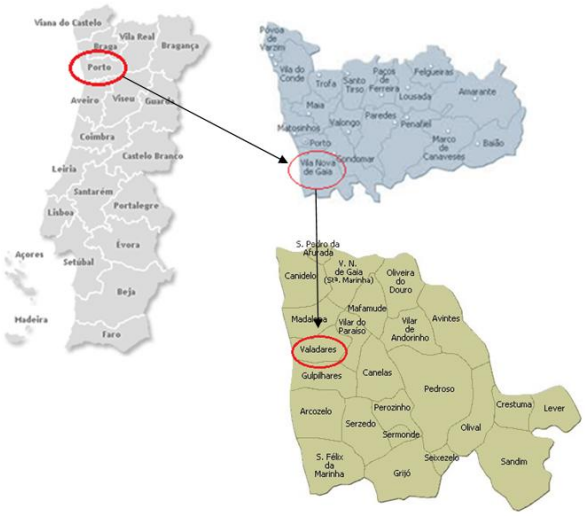

Figura 2.2 - Contextualização geográfica do Centro de Reabilitação do Norte

O hospital tem como coordenadas 41°05' (N) de Latitude e 8°38' (O) de Longitude. O Conjunto de Edifícios, segundo o software *Google Earth*, encontra-se situado aproximadamente a 20 metros do mar, com uma altitude em relação a este de cerca de 10 metros (figura 2.3).

Figura 2.3 - Fotografia área do Centro de Reabilitação do Norte [6]

2.3 Zonamento Climático e Temperaturas de Projeto

Com a identificação da localização do CRN é possível obter os dados climáticos do local - Tabela 2.1 (RCCTE - Quadro III.1).

Tabela 2.1 - Zona climática e dados climáticos de referência do concelho de Vila Nova de Gaia

Concelho	Zona Climática de inverno	Número de graus - dias [°C.dias]	Duração da Estação de aquecimento [Meses]	Zona Climática de verão
Vila Nova de Gaia	I_2	1640	6,7	V_1

As temperaturas exteriores de projeto utilizadas na simulação vão de encontro aos dados climáticos do Laboratório Nacional de Energia e Geologia - LNEG [7].

Tabela 2.2 - Resumo das condições climáticas exteriores de projeto

Estação	Temperatura de bolbo seco [°C]	Temperatura de bolbo húmido [°C]
inverno	1,66	-
verão	27,22	21,11

Relativamente às condições interiores, para a estação de inverno definiu-se uma temperatura de 20°C e para a estação de verão uma temperatura de 25°C e 50% de humidade relativa (capitulo V, artigo 14º a) -RCCTE).

2.4 Caracterização Térmica das Soluções Construtivas

As informações sobre a envolvente exterior apresentadas neste subcapítulo foram recolhidas com a colaboração da empresa espanhola de construção civil *Constructora San José*, a qual se disponibilizou a fornecer as características gerais da envolvente, assim como as diversas fichas técnicas dos materiais utilizados.

De forma a calcular os coeficientes de transmissão térmica superficial (U), adotaram-se os valores de espessuras e condutibilidades presentes nas fichas técnicas. Nos casos em que esses valores não se encontravam descritos, ou na falta da ficha, foram utilizados os valores de referência presentes na publicação do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) - ITE 50 [8]. Todas as fichas técnicas utilizadas encontram-se disponíveis no Anexo I do CD que acompanha o relatório de dissertação.

Procedimento de cálculo

O valor de U, de elementos constituídos por um ou mais materiais, em camadas de espessura constantes, é calculado pela seguinte fórmula (Anexo VII, RCCTE, pp.2507).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j Rj + R_{se}} \quad (1)$$

Em que:

R_{si} - Resistência térmica superficial do espaço aquecido;

R_{se} - Resistência térmica superficial exterior;

R_j - Resistência térmica da camada j.

A resistência térmica de cada camada de material é obtida através do rácio entre a espessura e condutibilidade do mesmo.

Nos subcapítulos seguintes serão descritas as diferentes soluções de envolvente encontradas nos três edifícios.

2.4.1 Envolvente do Edifício 1

2.4.1.1 Paredes Exteriores

- **Piso 0**

Neste piso foram identificados dois tipos de paredes em contacto com o exterior. As tabelas 2.3 e 2.4 apresentam os constituintes de cada tipo, bem como os respetivos valores de condutibilidade e espessura utilizados para o calculo de U.

Tabela 2.3 - Características da parede exterior Tipo I

Material	Espessura [m]	λ [W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Duas placas Pladur corta fogo	0,026	0,26	0,10	**0,22**
Caixa de ar*	0,050	-	0,15	
Lã de rocha	0,060	-	1,75	
Poliuretano	0,040	0,02	2,00	
Tijolo 30 x 20 x 15	0,150	0,38	0,39	
Reboco 1600-1700 [kg/m³]	0,002	1,00	0,00	
R_{si}			0,13	
R_{se}			0,04	

* Caixa de ar fracamente ventilada

Tabela 2.4 - Características da parede exterior Tipo II

Material	Espessura [m]	λ [W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Duas placas Pladur corta fogo	0,026	0,26	0,10	
Caixa de ar*	0,050	-	0,15	
Lã de rocha	0,060	-	1,75	
Poliuretano	0,040	0,02	2,00	**0,24**
Painel pré-fabricado de Betão 2700 [Kg/m³]	0,120	2	0,06	
R_{si}			0,13	
R_{se}			0,04	

* Caixa de ar fracamente ventilada

- **Piso 1 e 2**

Nos pisos do internamento foram identificadas dois tipos de paredes exteriores. As paredes voltadas a Norte, Sul e Este apresentam um único tipo de construção, cujas características encontram-se descritas na tabela 2.5. Por sua vez as paredes voltadas a Oeste apresentam a constituição presente na tabela 2.6.

Tabela 2.5 - Características da parede exterior Tipo III

Material	Espessura [m]	λ [W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Duas placas Pladur corta fogo	0,026	0,26	0,10	
Lã de rocha	0,060	-	1,75	
Acustidan	-	-	0,58	
Tijolo 20 x 22 x 20	0,200	0,384	0,52	
Lã de rocha	0,060	-	1,75	**0,23**
Reboco 1600-1700 [kg/m³]	0,002	1	0,00	
Caixa de ar**	0,030		0,00	
Compósito de alumínio**	0,004	0,29	0,01	
R_{si}			0,13	
R_{se}			0,04	

** Caixa de ar fortemente ventilada

Tabela 2.6 - Características da parede Exterior Tipo IV

Material	Espessura [m]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]	U [W/m²°C]
Duas placas Pladur corta fogo	-	-	0,10	
Mad 4	0,004	0,04	0,10	
Painel Sandwich	0,060	0,022	2,75	
Caixa de ar**	0,030		0,00	**0,32**
Compósito de alumínio**	0,004	0,29	0,01	
$\mathbf{R_{si}}$			0,13	
$\mathbf{R_{se}}$			0,04	

** Caixa de ar fortemente ventilada

Visto as caixas de ar, mencionadas nas paredes anteriores, serem ambas ventiladas, foi necessário verificar o seu grau de ventilação.

Segundo o LNEC-ITE 50 capítulo 3.2.2, a caracterização dos espaços de ar faz-se da seguinte forma:

Para elementos verticais, a partir do quociente s/L entre a área total de orifícios de ventilação, s, em milímetros quadrados [mm^2] e o comprimento da parede, L, em metros [m];

Caso o quociente seja superior a 500 [mm^2/m] e menor ou igual a 1500 [mm^2/m], o espaço de ar é considerado fracamente ventilado. Se o mesmo rácio for superior a 1500 [mm^2/m] o espaço de ar é considerado fortemente ventilado.

No caso das paredes Tipo I e II foi verificada a primeira condição, pelo que se optou o valor para resistência do ar sugerido no mesmo capítulo, de 0,15 [m^2°C/W].

No caso das paredes tipo III e IV a caixa de ar apresenta um quociente s/L superior a 1500 [mm^2/m], pelo que não foi considerada a resistência da caixa de ar nem a das placas de Compósito de Alumínio.

2.4.1.2 Coberturas Exteriores

Em todo o edifício só existem dois tipos de coberturas exteriores: o tipo I, localizado no piso 0, e o tipo II localizado no piso 2. Estes diferem entre si apenas na espessura da laje, sendo os restantes princípios de construção idênticos. Em ambos os casos o isolamento *Roofmate* encontra-se protegido mecanicamente por uma manta geotêxtil e por uma película impermeável, tendo sido desprezado o seu efeito térmico dadas as suas reduzidas espessuras.

As características dos dois tipos de cobertura estão descritas nas tabelas 2.7 e 2.8.

Tabela 2.7 - Características da cobertura exterior Tipo I

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Laje de Betão	0,600	2	0,30	
Betão Leve + Betonilha	0,040	0,33	0,12	
Pelicula Impermeável	-	-	-	
Manta Geotêxtil	-	-	-	
Roofmate	0,060	0,035	1,71	**0,42**
Manta Geotêxtil	-	-	-	
Terra/Cascalho/Brita	0,2	2	0,10	
R_{si}			0,1	
R_{se}			0.04	

Tabela 2.8 - Características da cobertura exterior Tipo II

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Laje de Betão	0,300	2	0,15	
Betão Leve + Betonilha	0,04	0,33	0,12	
Pelicula Impermeável	-	-	-	
Manta Geotêxtil	-	-	-	
Roofmate	0,060	0,035	1,71	**0,47**
Manta Geotêxtil	-	-	-	
Acabamento	0,010	0,6	0,02	
R_{si}			0,1	
R_{se}			0,04	

2.4.1.3 Envidraçados

Neste edifício encontram-se aplicados dois tipos de envidraçados.

Em todas as fachadas do edifício foram instalados os envidraçados tipo I (tabela 2.9). Houve um especial cuidado para que a escolha do envidraçado levasse a uma solução com baixos valores de coeficiente de transferência térmica e de fator solar. Esta escolha conduzir-nos-á a uma menor carga térmica transmitida ao espaço, quer por condução quer por radiação.

Tabela 2.9 - Características dos envidraçados Tipo I

Descrição	Envidraçado duplo composto por: Vidro monolítico com 8 mm de espessura; Caixa de ar com 12 mm de espessura e composta por 90% de Argon e 10% de ar; Vidro duplo laminado com 5+5 mm de espessura.
U [W/m^{2}ºC]	1,19
Fator solar, g	0,15

Os envidraçados dos pátios interiores, tipo II, encontram-se situados no piso 0 e têm como objetivo transmitir a máxima luminosidade aos espaços inerentes. Por esse motivo, e devido à sua menor exposição à radiação solar, estes apresentam uma constituição diferente da dos anteriores (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 - Características dos envidraçados Tipo II

Descrição	Envidraçado duplo composto por: Vidro fabricado pelo processo Float com 5 mm de espessura; Caixa de ar com 12 mm de espessura; Vidro duplo Float com 8+5 mm de espessura.
U [W/m^{2}ºC]	1,5
Fator solar, g	0,33

2.4.2 Envolvente do Edifício 2

O Edifício 2, como já foi mencionado anteriormente, é um edifício existente. Desta forma, utilizou-se no cálculo do coeficiente de transferência de calor das paredes exteriores e da cobertura os valores de referência do LNEC ITE-50. É então necessário adicionar as resistências conferidas pelo isolamento e pelo acabamento, introduzidos aquando do restauro.

2.4.2.1 Paredes Exteriores

Neste edifício foi identificado um único tipo de parede exterior. Considerou-se o valor da resistência térmica das paredes existentes, como alvenaria de pedra tradicional, à qual se adicionou a resistência dos materiais de restauro (tabela 2.11).

Tabela 2.11 - Características da parede exterior Tipo V

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Duas placas de pladur corta fogo	0,026	0,26	0,10	
Lã de rocha	0,06	0,034	1,76	
Caixa de ar	0,05	-	0,15	
Alvenaria de pedra tradicional	-	-	0,34	**0,40**
Reboco 1600-1700 [kg/m³]	0,002	1	0,00	
R_{si}			0,13	
R_{se}			0,04	

2.4.2.2 Coberturas Exteriores

Relativamente às coberturas exteriores o Edifício 2 tem dois tipos distintos:

a) As coberturas inclinadas que foram totalmente restauradas (tabela 2.12);

b) As coberturas em terraço que foram aproveitadas, sofrendo como única alteração a aplicação de isolamento *Roofmate* pelo interior. Assim, o valor da resistência da cobertura existente foi retirada do LNEC ITE-50 e posteriormente adicionada a resistência do isolamento (tabela 2.13).

Tabela 2.12 - Características da cobertura exterior Tipo III

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m²ºC]
Painel Sandwich	0,06	0,022	2,75	
Telha tradicional	0,015	0,5	0,03	
R_{si}			0,1	**0,34**
R_{se}			0,04	

Tabela 2.13 - Características da cobertura exterior Tipo IV

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m²ºC/W]	U [W/m2ºC]
Roofmate	0,060	0,035	1,71	
Cobertura Existente Tradicional	-	-	0,67	
R_{si}			0,1	**0,40**
R_{se}			0,04	

2.4.2.3 Envidraçados

O Edifício 2 apresenta um tipo de envidraçados idênticos aos usados nos pátios interiores do Edifício 1 (tipo II), cujas características podem ser consultadas na tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Características dos envidraçados Tipo III

Descrição	Envidraçado duplo composto por: Vidro fabricado pelo processo Float com 4 mm de espessura; Caixa de ar com 12 mm de espessura; Vidro duplo Float com 8+4 mm de espessura.
U [W/m^{2}ºC]	1,5
Fator solar, g	0,33

2.4.3 Envolvente do Edifício 3

No Edifício 3 as paredes exteriores do piso 0 são compostas unicamente de betão armado (tabela 2.15), visto neste piso só existirem zonas técnicas não climatizadas.

Tabela 2.15 - Características da parede exterior Tipo VI

Material	Espessura [m]	λ[W/mºC]	R [m^{2}ºC/W]	U [W/m^{2}ºC]
Betão armado	0,4	1,65	0,24	
R_{si}			0,13	**2,42**
R_{se}			0,04	

As paredes exteriores dos pisos 1 e 2 apresentam aproximadamente a mesma constituição das paredes tipo II, esta semelhança é também verificada no caso da cobertura, que é idêntica à cobertura tipo II. Por sua vez os envidraçados aplicados no Edifício 3 possuem as mesmas características dos envidraçados tipo I.

2.5 Contabilização da Influência das Pontes Térmicas Lineares e Planas

As pontes térmicas planas (PTP's) são heterogeneidades inseridas em zonas correntes da envolvente exterior ou da envolvente interior em contacto com espaços não úteis, tais como pilares, talões de viga e caixas de estore, por onde se considera uma perda térmica unidimensional por unidade de área de superfície.

Por sua vez, uma ponte térmica linear (PTL) corresponde à ligação de dois elementos construtivos exteriores ou em contacto com um espaço não útil com t > 0,7. O fluxo térmico é bi- ou tridimensional assimilado a uma perda térmica por unidade de comprimento (Psi). (I.1 - Perguntas e Respostas sobre o RCCTE - Versão 1.5 de março de 2009 - ADENE).

Neste trabalho, ambos os tipos de pontes térmicas mencionados anteriormente não foram contabilizados no modelo simulado, visto apresentarem uma influência relativa no balanço energético global do edifício. Pelo que se decidiu seguir a seguinte filosofia:

"...face à reduzida influência que, geralmente, este tipo de perdas têm no balanço energético global do edifício e uma vez que existem, frequentemente, limitações práticas significativas à parametrização deste tipo de perdas nos modelos de simulação dinâmica detalhada, pode o projetista considerar um acrescimento de 5% nos consumos de energia de aquecimento (Q_{aq}) no cálculo do IEE_{nom} (ou $IEE_{real,\ simulação}$) de cada uma das tipologias do edifício e, desta forma, justificar a não contabilização detalhada das PTL." (D5 - Perguntas e Respostas RSECE - Energia, Versão 2.0 Maio de 2011).

2.6 Análise da Influência dos Sombreamentos Externos

Os envidraçados do complexo hospitalar em estudo, não são, na sua grande maioria, obstruídos por obstáculos exteriores. Poder-se-ia admitir que o Edifício 2 localizado a poente do Edifício 1 poderia causar uma obstrução significativa nos envidraçados do último. Esta hipótese foi contudo descartada ao realizar-se uma análise através da ferramenta *Sun Path* do Software Revit. Como se pode verificar na figura 2.4 o Edifício 2 só provoca sombreamentos nos últimos minutos do dia quando a intensidade dos raios solares já é reduzida. Por este motivo optou-se por desprezar os sombreamentos provocados pelo edifício em causa.

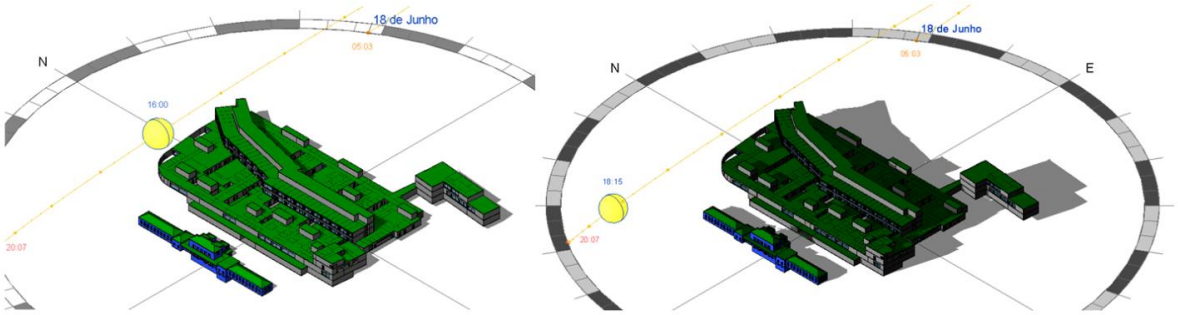

Figura 2.4 - Análise de sombreamentos realizada através do Software Revit

Na sua grande maioria os envidraçados não possuem dispositivos exteriores que provoquem obstruções solares significativas. No entanto os envidraçados dos pátios interiores, do Edifício 1 - piso 0, poderiam apresentar grandes variações a nível de carga térmica que se refletiriam no consumo de energia.

Assim, de forma a comprovar a reduzida influência dos sombreamentos, escolheu-se para análise um gabinete que possui um vidro voltado a sul e que se localiza num dos pátios mais estreitos (cerca de 3 metros entre a parede sul e a parede norte do pátio). A diferença obtida em termos de ganhos por radiação foi de 100W o que representa cerca de 5% da carga total de arrefecimento do espaço. Traduzido em energia reflete-se numa alteração de 0.1kWh/ano, o que representa uma redução de 3% no consumo de energia. Os valores obtidos neste estudo podem ser consultados no Anexo II presente no CD que acompanha o relatório.

Repetiu-se o procedimento para os três envidraçados voltados a sul do Ginásio Polivalente, os quais estão inseridos num pátio com 4 metros de largura. Desta vez os resultados obtidos com e sem sombreamentos foram os mesmos.

Para além dos factos mencionados, as áreas de envidraçados afetadas por obstáculos figuram cerca de 5% na área total destes. Devido às razões mencionadas atrás, e tendo em conta a complexidade e dimensão do edifício, consideraram-se desprezáveis os efeitos dos sombreamentos, não sendo realizada uma análise pormenorizada destes.

2.7 Necessidades de Ventilação e Ganhos Internos

As necessidades de ventilação, presentes no projeto de instalação da rede aerólica do complexo hospitalar, foram calculadas segundo os critérios de ar novo definidos no Anexo VI do RSECE. Estes foram no entanto reajustados à densidade de ocupação prevista para cada espaço. Os valores calculados por tipologia podem ser consultados no documento presente no Anexo IV do CD.

Para a realização da simulação dinâmica em causa, o levantamento dos caudais de ar, insuflado e extraído, foi feito espaço a espaço, procurando desta forma obter valores o mais aproximados possível dos reais. Esta preocupação deve-se ao facto do ar insuflado na maioria dos espaços ser 100% de ar novo, pelo que a carga térmica de ventilação terá o maior peso nos consumos de climatização do edifício.

Num edifício de serviços o consumo de iluminação e equipamentos apresenta um elevado peso. Por esta razão foi também efetuada uma análise ao projeto de iluminação, espaço a espaço, onde se verificou o tipo de equipamento de iluminação instalado bem como a potência por metro quadrado instalada em cada espaço. Os valores obtidos, assim como o projeto de iluminação, podem ser consultados no Anexo III do CD.

No cálculo da contribuição da carga térmica afeta à ocupação utilizaram-se os valores de densidade presentes no Anexo IV do CD. De modo a definir o nível de atividade das pessoas presentes em cada espaço foram utilizados os valores presentes no Software Trace. Para os tipos de atividades que não constavam no Software foi necessário introduzi-los, tendo como base os valores apresentados no livro "ASHRAE Handbook - Fundamentals".

2.7.1 Perfis de Utilização

Após se terem identificado as densidades de ocupação, iluminação e equipamentos, e de forma a obter um consumo o mais aproximado possível daquele que o edifício apresentará quando estiver em pleno funcionamento, foi necessário traçar os perfis de utilização reais. Esta tarefa foi realizada com a parceria da ARS Norte, que disponibilizou os horários de funcionamento dos diversos espaços. Posteriormente, utilizaram-se como referência os perfis ASHRAE [11] presentes no Anexo IV do CD que acompanha o relatório, adaptando-os aos horários de funcionamento do CRN. No mesmo anexo encontram-se também os gráficos dos perfis de utilização (equipamento, ocupação, iluminação) das diversas zonas do Conjunto de Edifícios:

- Edifício 1,2 e 3 - Zonas com horário administrativo;
- Edifício 1 - Piso 0 - Entrada/Receção e Zona de Ambulatório;
- Edifício 1 - Piso 0 - Zona de Consultas e Exames;
- Edifício 1 - Piso 0 - Zona de Preparação da Alimentação;
- Edifício 1 - Piso 0 - Zona do Refeitório;
- Edifício 1 - Piso 0 - Zona do Segurança;
- Edifício 1 - Piso 1 e 2 - Quartos;
- Edifício 1 - Piso 1 e 2 - Zona dos Refeitórios;
- Edifício 1 - Piso 1 e 2 - Posto de Enfermagem;
- Edifício 1 - Piso 1 e 2 - Salas de Banho.

2.8 Sistemas Identificados

No Conjunto de Edifícios foram identificados diversos sistemas de climatização e/ou ventilação. Ao longo deste capítulo são apresentadas as principais características dos sistemas identificados.

2.8.1 Sistemas Ar-Água

É o tipo de sistema instalado na maior parte dos espaços da unidade hospitalar. Neste tipo de sistemas o condicionamento do ar é realizado por uma rede de distribuição de água e de ar, em simultâneo.

O ar novo introduzido nos locais, pelas condutas de insuflação, é tratado pelas unidades de tratamento de ar novo. Estas têm como principal função assegurar as necessidades mínimas de ventilação, assim como controlar a humidade relativa do ar insuflado.

A designação ar-água deve-se à utilização de água nas baterias de aquecimento e arrefecimento das unidades terminais dos espaços. A rede de distribuição de água instalada é de quatro tubos, ou seja, contêm um tubo de ida e de retorno, quer para a água fria quer para a água quente.

A grande vantagem deste sistema é que permite satisfazer as necessidades simultâneas de aquecimento e de arrefecimento em diversos locais do edifício.

2.8.1.1 Unidades de Tratamento de Ar Novo

As unidades de tratamento de ar novo são unidades de configuração horizontal construídas na maioria dos casos em dois níveis (*double-deck*). No nível inferior encontra-se a unidade destinada ao tratamento do ar novo (UTAN), estando a unidade de extração com recuperação (UER) situada no nível superior. A recuperação de calor do ar extraído para o ar exterior admitido é efetuada através de uma bateria de água, à qual está associada uma pequena bomba de circulação.

Em geral, para além do recuperador mencionado anteriormente, as unidades em causa são constituídas por:

- Secção de filtragem - na admissão é composta por um pré-filtro de classe F5 e um filtro de classe F7. Na extração os filtros instalados são da classe G4.
- Serpentinas de aquecimento e arrefecimento - constituídas por tubos de cobre sem costura, expandidos em alhetas de alumínio.
- Ventiladores de insuflação e extração - ambos do tipo centrífugo com pás recuadas. Os respetivos motores são trifásicos, sendo a transmissão efetuada por meio de correias trapezoidais.
- Atenuadores de som - instalados na insuflação e no retorno das unidades são formados por septos retangulares compostos por painéis de lã mineral com uma última camada em fibra de vidro compacta.

A figura 2.5 apresenta um esquema com os diversos constituintes deste tipo de unidades.

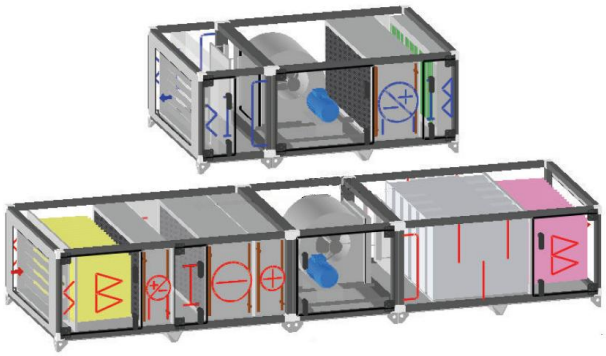

Figura 2.5 - Figura ilustrativa de uma unidade UTAN/UER *double-deck* [12]

Existem no entanto unidades de tratamento de ar constituídas unicamente por um só corpo. Nestes casos a recuperação de calor é efetuada por um permutador de calor de placas. Os restantes constituintes são semelhantes aos descritos anteriormente. Na figura 2.6 apresenta-se um esquema com um exemplo destas unidades.

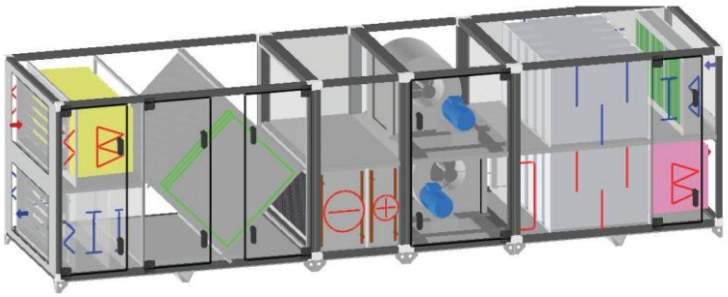

Figura 2.6 - Figura ilustrativa de uma unidade UTAN constituída por um só corpo [12]

Por último, existem ainda algumas unidades que não realizam extração sendo desta forma apenas constituídas unicamente por uma unidade de tratamento de ar novo - ver figura 2.7.

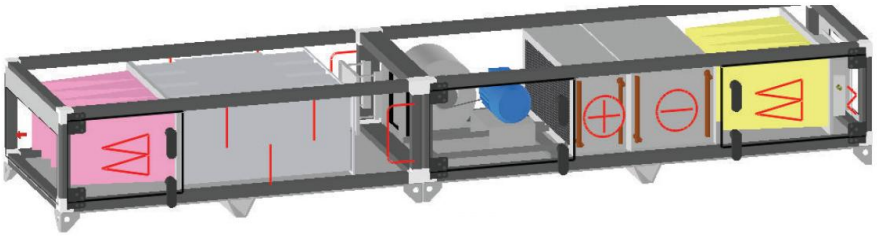

Figura 2.7 - Figura ilustrativa de uma unidade de ar novo sem extração [12]

Em todos os casos, como é percetível nas figuras apresentadas anteriormente, o ar insuflado é 100% ar novo.

2.8.1.2 Sistemas Terminais

Ventiloconvectores (VC)

São o principal sistema instalado para vencer as cargas térmicas dos diversos espaços. Estes possuem um termostato que possibilita aos ocupantes a regulação da temperatura nos diversos espaços, de forma a garantir as exigências de conforto.

São constituídos por:

- Electro-ventilador de três velocidades;
- Serpentina de água fria;
- Serpentina de água quente;
- Tabuleiro de drenagem de condensados em aço inoxidável.

Nos quartos, os ventiloconvectores são do tipo horizontal e encontram-se instalados no tecto falso. A admissão do ar novo é feito diretamente pelo equipamento, através de um pleno que se encontra ligado à parte de trás. A insuflação do ar tratado é realizada pela zona frontal, enquanto o retorno é feito pela base do equipamento, como é possível verificar na figura 2.8.

Figura 2.8 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector do tipo horizontal [13]

Em áreas mais amplas como salas de espera, refeitórios ou secretarias/receções foram instalados ventiloconvectores do tipo *cassete*. Esta opção justifica-se de forma a obter uma melhor difusão do ar tratado. À semelhança dos anteriores também se encontram instalados no tecto falso. No entanto estes não possuem ligação à conduta de insuflação. Na figura 2.9 é possível perceber a forma como é feito o retorno e a insuflação neste tipo de equipamentos.

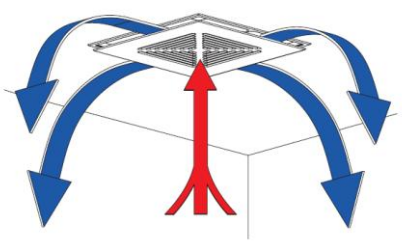

Figura 2.9 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector do tipo *cassete* [13]

Nas restantes áreas encontram-se instalados ventiloconvectores verticais de montagem mural, com insuflação superior e retorno inferior. Na figura 2.10 encontra-se representado um exemplo deste tipo de equipamentos.

Figura 2.10 - Figura ilustrativa de um Ventiloconvector tipo vertical [13]

Aquecedores (RAD)

Nos locais sem ocupação permanente, como os vestiários ou balneários, foram colocados aquecedores radiadores/convectores (figura 2.11), de forma a garantir as condições de conforto na estação de aquecimento. Encontram-se montados na parede e são alimentados a água quente, com dois tubos (ida e retorno).

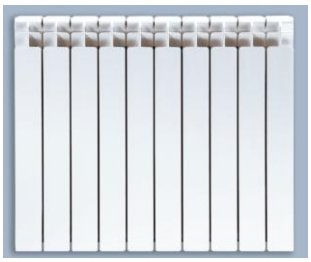

Figura 2.11 - Figura ilustrativa de um Radiador/Convector [14]

Unidades de Condicionamento de Ar (UCA)

Na figura 2.12 está representado um exemplo de uma das unidades de condicionamento de ar. Estas unidades encontram-se instaladas no tecto falso das restantes zonas, onde está prevista uma densidade de ocupação e/ou intensidade de atividade física elevada. O seu princípio de funcionamento é semelhante ao dos ventiloconvectores presentes nos quartos, com a particularidade de o ar novo ser misturado com o ar de retorno no pleno.

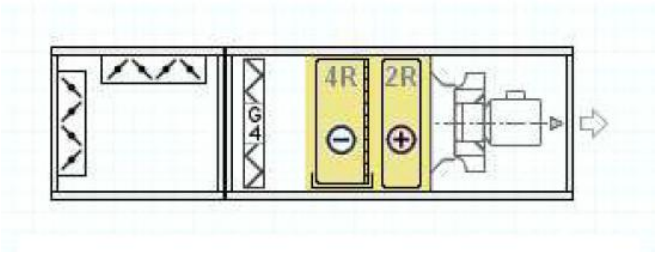

Figura 2.12 - Figura ilustrativa de uma Unidade de Condicionamento de Ar [15]

2.8.2 Sistemas Tudo Ar

Este tipo de sistema pretende não só garantir a qualidade do ar interior nos espaços, mas também vencer as cargas térmicas verificadas nos mesmos, sem a utilização de qualquer outro tipo de sistema auxiliar. Assim, apresentam uma grande diferença em termos de caudais insuflados, quando comparados com os sistemas referidos anteriormente.

No caso prático em estudo, nas zonas onde é utilizado este sistema a climatização é feita de forma individual (unizona) e a caudal de ar constante.

2.8.2.1 Unidades de Tratamento de Ar (UTA)

Existem dois tipos de unidades de tratamento de ar, destinadas ao condicionamento do ar do ginásio polivalente e do auditório. São as únicas unidades instaladas que permitem a regulação da percentagem de ar novo, através de uma válvula de mistura de três vias, controladas por registos motorizados.

Outra das particularidades mais importantes deste tipo de sistemas é a possibilidade de *Free-Cooling*, ou seja, a insuflação do ar à temperatura exterior sempre que este esteja a uma temperatura inferior à do espaço a ser tratado. Esta opção permite uma redução significativa nos consumos energéticos, visto só ser gasta energia com o sistema de ventilação.

A recuperação de calor é realizada por um permutador de placas na UTA do auditório e por uma bateria de recuperação na UTA do ginásio.

Os esquemas das respetivas unidades encontram-se representados nas figuras 2.13 e 2.14.

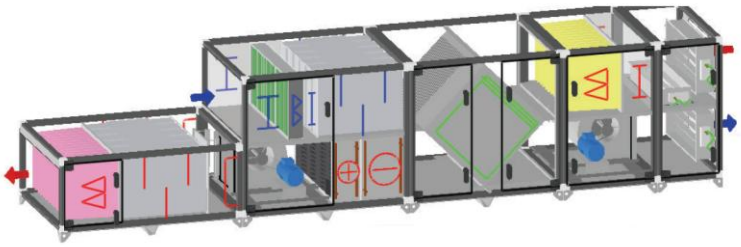

Figura 2.13 - Figura ilustrativa da Unidade de Tratamento de Ar do Auditório [12]

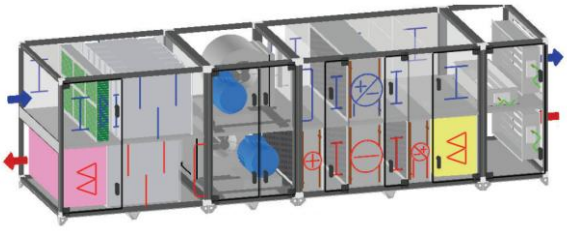

Figura 2.14 - Figura ilustrativa da Unidade de Tratamento de Ar do Ginásio [12]

2.8.2.2 Unidades Termo Ventilação (UTV)

As unidades de termo ventilação compactas (figura 2.15) são do tipo horizontal, encontrando-se instaladas no Edifício 3, e só possuem bateria de água quente para a climatização dos espaços, sem ocupação permanente, durante o inverno. Apresentam um filtro F7 visto o ar ser admitido diretamente do exterior.

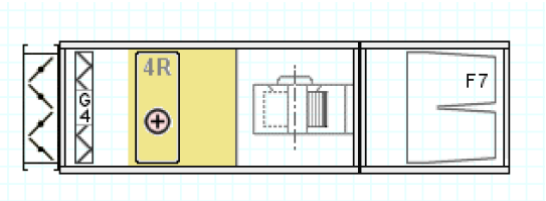

Figura 2.15 - Figura ilustrativa da Unidade de Termo Ventilação [15]

2.8.3 Sistemas de Expansão Direta

Um sistema de expansão direta é um equipamento elétrico que transfere calor de um ambiente para um outro ambiente. A transferência de calor é feita através de um fluído frigorigéneo que circula entre um permutador interior e um permutador exterior, graças à ação de um compressor mecânico.

No permutador interior (evaporador) o fluído frigorigénio é evaporado a baixa pressão, absorvendo calor do meio interior, sendo em seguida comprimido e conduzido para o permutador exterior (condensador) onde condensa a maior temperatura e liberta o calor absorvido no evaporador assim como o trabalho dissipado no compressor.

O processo descrito anteriormente encontra-se representado na figura 2.16. De salientar ainda que o processo é reversível consoante as necessidades de aquecimento ou arrefecimento do espaço.

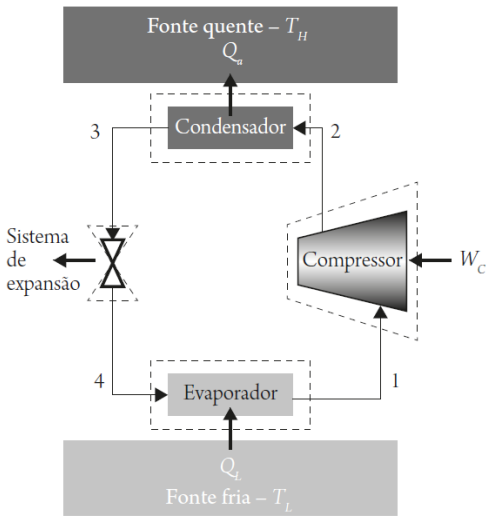

Figura 2.16 - Esquema simplificado de um sistema de expansão direta [16]

2.8.3.1 Unidades Autónomas de Ar Condicionado - *Close Control* (UAC)

Na sala de bastidores dos serviços de informação do hospital é necessário que a temperatura e a humidade não ultrapassem as condições ambientais de funcionamento do equipamento informático. Por esta razão foi prevista a instalação de unidades de condicionamento de ar do tipo controlo apertado, *close-control*, independentes, do tipo expansão direta, que utilizam como fluído de trabalho o R410a e contêm um condensador exterior arrefecido a ar.

Os níveis de humidade pretendidos são obtidos através duma serpentina de evaporação por expansão direta construída em tubos de cobre com alhetas de alumínio, assim como por um tabuleiro de recolha de condensados em aço inoxidável. Posteriormente poderá ser necessário recorrer à bateria de reaquecimento constituída por resistências elétricas, de forma a garantir a temperatura desejada.

As unidades de ar condicionado interiores do *Data Center* são do tipo vertical e encontram-se representadas na figura 2.17.

Figura 2.17 - Figura ilustrativa de uma Unidade de *Close Control* [17]

2.8.3.2 Unidades Desumidificadoras (UD).

Para a climatização e desumidificação do ar ambiente da nave das piscinas foi instalada uma unidade autónoma de desumidificação (UD) com recuperação de calor para aquecimento da água das piscinas (figura 2.18).

A desumidificação é feita por um sistema de expansão direta. Contudo, a unidade desumidificadora possui uma bateria de aquecimento a água quente, que funcionará como apoio quando é necessário reaquecer o ar a insuflar.

A insuflação e retorno são efetuados por condutas que ligam à unidade. Encontra-se ainda associada a um ventilador de insuflação que fará a admissão de ar novo (o qual será misturado com o ar de retorno) para a zona da nave das piscinas. A exaustão de ar viciado para o exterior será efetuada através de um ventilador extração geral da zona de hidroterapia.

Figura 2.18 - Figura ilustrativa da Unidade Desumidificadora da zona da piscina [18]

A sala de hidroterapia-tanque Hubbard será tratada por uma unidade desumidificadora própria, com bateria de aquecimento a água quente de apoio, a qual ficará instalada na própria sala. A insuflação e o retorno são realizados no próprio equipamento, como é possível verificar na figura 2.19.

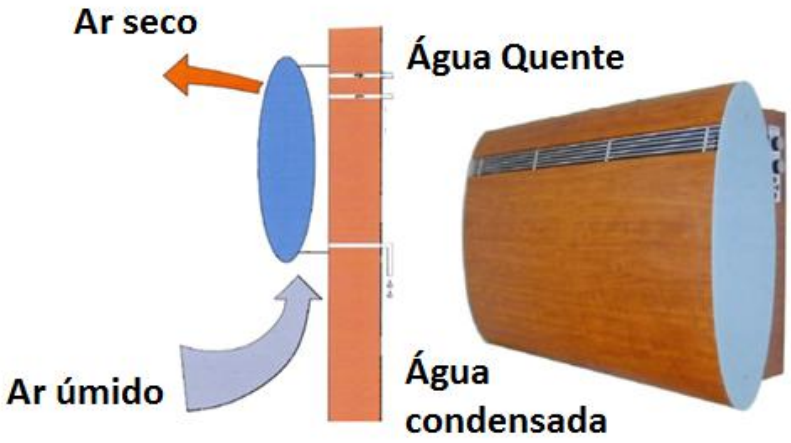

Figura 2.19 - Figura ilustrativa da Unidade Desumidificadora da sala de Hidroterapia-Tanque Hubbard [18]

2.8.3.3 Split

Os sistemas do tipo *split*, instalados nas paredes dos espaços, são formados por uma unidade interior (evaporador); uma unidade exterior (condensador) arrefecida a ar; tubagem de cobre de interligação para circulação fluido frigorigéneo; circuitos elétricos de interligação; e sistema de controlo digital integrado.

2.8.4 Sistemas de Ventilação Mecânica: Ventiladores de Extração e Insuflação

Os ventiladores de insuflação (VI) encontram-se instalados no Edifício 3 e garantem a insuflação dos caudais mínimos de ar novo nas zonas técnicas e de armazenamento. No entanto, e ao contrário do ar insuflado pelas UTAN's, este não sofre qualquer tratamento térmico. Existe um filtro mecânico do tipo G4 de forma a evitar a contaminação do ar no interior da central.

Os ventiladores de extração (VE) são utilizados para renovar o ar das instalações sanitárias e outros locais sujos. Este tipo de locais não apresentam normalmente insuflação, visto que se pretende mantê-los em depressão de forma a evitar a propagação dos seus cheiros.

Ambos são do tipo centrífugo e constituídos por turbinas de pás com forma aerodinâmica em alumínio, encontra-se representado um exemplo na figura 2.20.

Figura 2.20 - Exemplo de uma Unidade de Ventilação [19]

2.8.5 Sistemas Energéticos e de Distribuição

A produção de água quente, utilizada nos diversos sistemas de climatização, será realizada por três caldeiras que utilizarão gás natural como combustível.

Por sua vez, a produção de água fria será assegurada por dois grupos arrefecedores (*chillers*) elétricos arrefecidos a ar, e um outro arrefecido a água, que funcionará em conjunto com um sistema de acumulação de gelo.

A água quente sanitária (AQS) será produzida através de permutadores de calor alimentados por um sistema de captação solar de painéis solares térmicos, e um sistema de recuperação de calor dos *chillers*, ou pelo sistema de água quente de caldeiras, sendo acumulada em depósitos devidamente isolados termicamente.

Os esquemas de principio de funcionamento das centrais térmicas podem ser consultados no Anexo VI presente no CD.

2.8.5.1 Caldeiras

Uma caldeira (figura 2.21) é um recipiente metálico cuja principal função é a transferência de calor do combustível para um fluído que por sua vez transporta esse calor até aos utilizadores.

As três caldeiras instaladas são construídas em chapa de aço, apresentam uma câmara de tripla-passagem com inversão de chama e isolada com lã de vidro, e a sua porta isolada termicamente por material refratário.

Os seus queimadores são a gás natural e apresentam um sistema automático modelante. O dispositivo de acendimento é produzido por faísca elétrica, obtida por elétrodos alimentados por alta tensão. Possuem ainda um registo automático de ar e um ventilador com turbina acionada diretamente por um motor elétrico.

Ao nível dos equipamentos de controlo e segurança encontram-se um termóstato de máxima temperatura da caldeira; eléctrodos *fail-safe* da caldeira, e um termóstato do combustível. Em caso de qualquer anomalia o dispositivo de segurança fará parar o funcionamento do queimador ou impedirá o arranque do mesmo.

Figura 2.21 - Figura ilustrativa de uma Caldeira [20]

2.8.5.2 Grupos Compactos de Arrefecimento de Água

Um grupo compacto de arrefecimento de água, vulgarmente chamado de *chiller*, é uma máquina que tem como função arrefecer água através de um ciclo termodinâmico. Os três *chillers* instalados são máquinas de compressão, que à semelhança das outras de expansão direta utilizam um compressor mecânico acionado por um motor elétrico, como descrito anteriormente no capítulo 2.8.3.

No caso em estudo existem dois tipos de *chillers* ambos arrefecidos a ar, os *chillers* com recuperação para água quente sanitária (CH1 e 2) e o *chiller* para funcionamento com o banco de gelo (CH3).

Os dois modelos utilizam como fluído frigorigénio o refrigerante R134a, que atuará em dois circuitos frigoríficos totalmente independentes, equipados com um compressor do tipo parafuso semi-hermético em cada um.

Os condensadores são constituídos por serpentinas em tubos de cobre mecanicamente expandidos sobre alhetas de alumínio, com tratamento de superfície para ambiente marítimo.

O evaporador do tipo *shell & tube*, é constituído por um invólucro em aço e tubos permutadores em cobre, com alhetas exterior e interiormente.

Figura 2.22 - Figura ilustrativa de um *Chiller* [21]

Com o sistema de acumulação de gelo, figura 2.23, pretende-se tirar partido dos tarifários mais económicos de energia elétrica. Assim a acumulação nos bancos de gelo será efetuada fora das horas de ponta e horas cheias (entre as 24:00h e as 7:00h).

A descarga dos depósitos de gelo será efetuada preferencialmente:

- nas horas de ponta do tarifário elétrico, o que permitirá não só reduzir o custo de energia elétrica consumida mas também baixar a taxa de potência tomada.
- nos picos das necessidades térmicas de arrefecimento do edifício, de forma a diminuir a potência máxima solicitada aos *chillers.*

O *chiller* que trabalha em conjunto com o sistema de acumulação de gelo funcionará a uma temperatura de -6/-2º C quando em acumulação de gelo (funcionamento em período noturno, com temperatura do ar exterior mais baixa). Este *chiller* poderá produzir diretamente para o sistema, funcionando neste caso a uma temperatura de 9/4º C e transferindo a energia através de um permutador de calor.

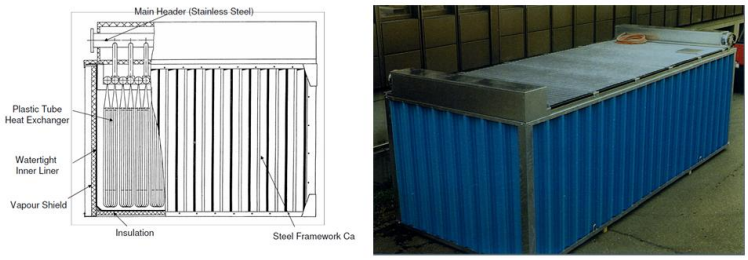

Figura 2.23 - Figura ilustrativa de um Banco de Gelo [22]

3 Implementação no TRACE

A modelação de um edifício num software de simulação revela-se uma tarefa minuciosa e para a qual é necessário um profundo conhecimento dos diferentes projetos (Arquitetura, Iluminação, AVAC). A figura 3.1, adotada do manual para o utilizadores do Trace, demonstra as diversas fases de construção do modelo, com todas as especificações que são necessárias conhecer e dominar de forma a obter resultados próximos dos valores reais. Neste capítulo pretende-se apresentar de forma resumida os diversos comandos e interfaces presentes no programa de simulação que permitem caracterizar todas as fases.

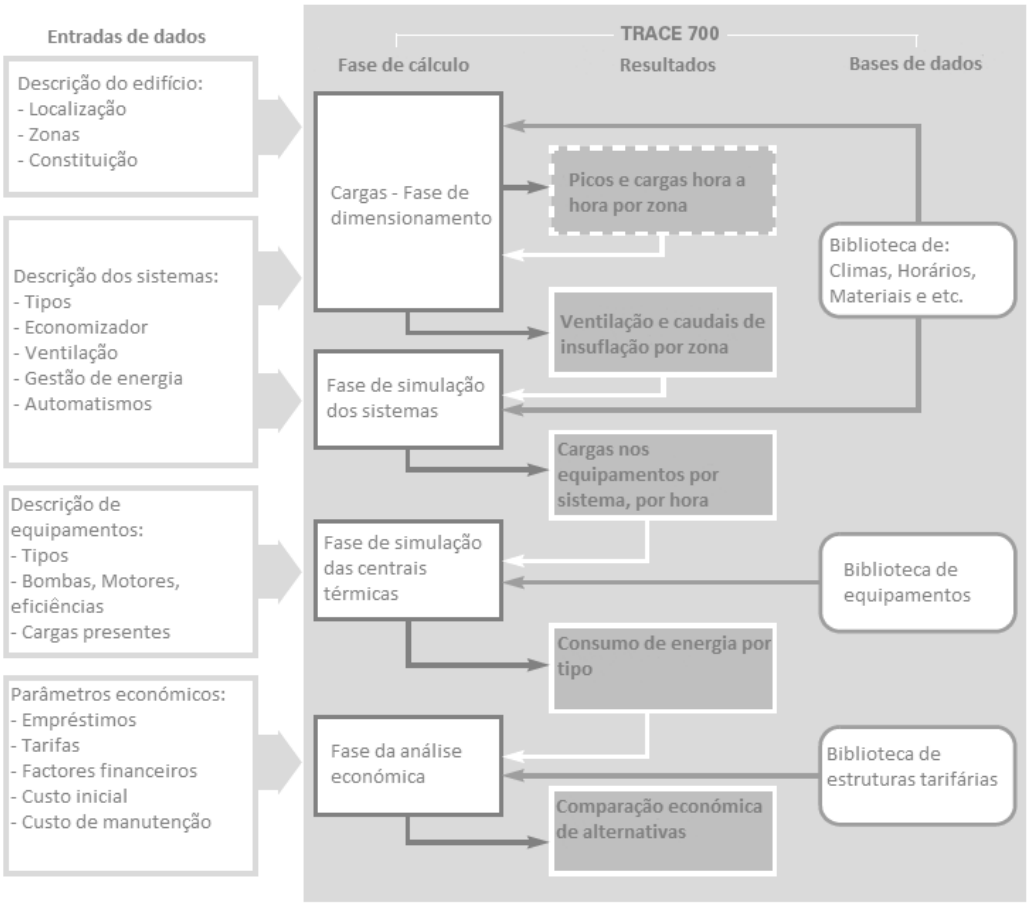

Figura 3.1 - Diagrama Funcional do Trace [23]

3.1 Fase de Dimensionamento

3.1.1 Definição dos Dados Climáticos

De forma a definir os dados climáticos do local onde se insere o edifício em estudo, importou-se o ficheiro da base de dados climática do INETI. Considerando como o local mais próximo a cidade de Vila Nova de Gaia.

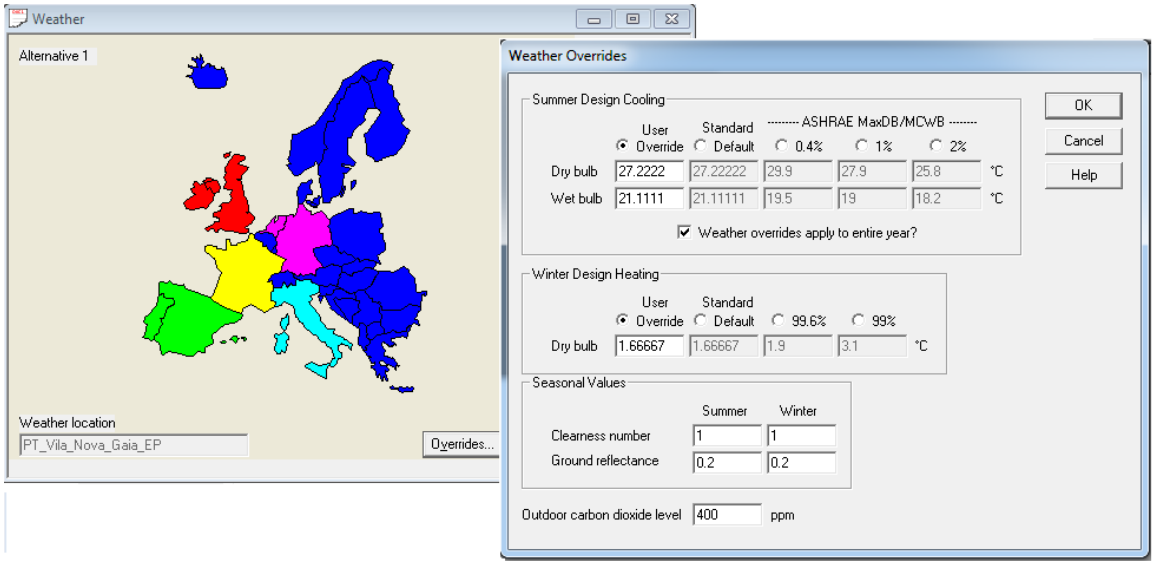

Figura 3.2 - Definição do Clima de Vila Nova de Gaia

3.1.2 Definição da Geometria

Como já mencionado anteriormente, no capítulo 1.4, recorreu-se ao Software Revit para definir a geometria do edifício. Neste Software é definida a geometria dos elementos da envolvente (paredes, coberturas e janelas) e se estes estão em contacto com um espaço interior ou com o exterior.

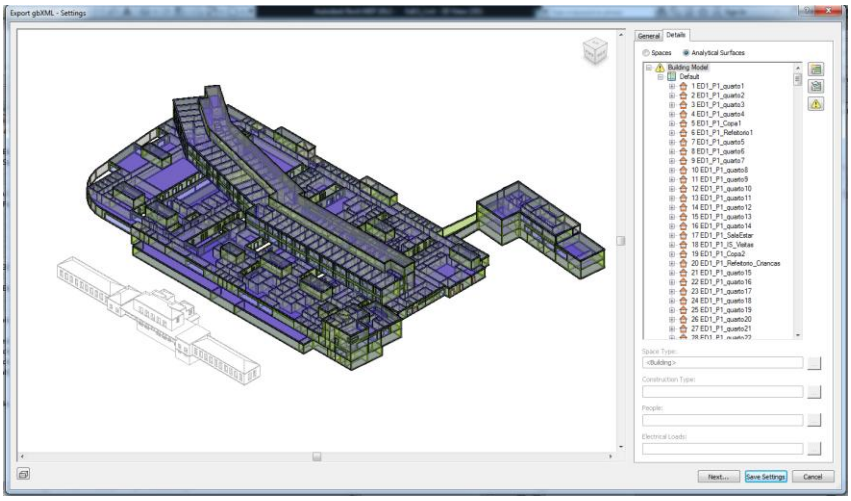

Figura 3.3 - Criação do ficheiro gbXML no Software Revit

Após o projeto Revit estar concluído é necessário exportar um ficheiro gbXML (Figura 3.3) que é posteriormente importado para o Trace (figura 3.4).

Ao importarem-se os espaços optou-se por não importar as partições, ou seja, as paredes interiores de separação dos espaços. Esta opção teve como objetivo diminuir o tempo de cálculo nas simulações.

Esta aproximação justifica-se pelo facto das paredes interiores serem, na sua grande maioria, compostas por painéis de pladur, os quais apresentam uma inércia térmica desprezável. Para além disso, o ar contido nos espaços estará aproximadamente todo à mesma temperatura, visto que aqueles espaços, não climatizados diretamente, se encontram em depressão pelo que serão climatizados indiretamente pelo ar que vem dos espaços climatizados.

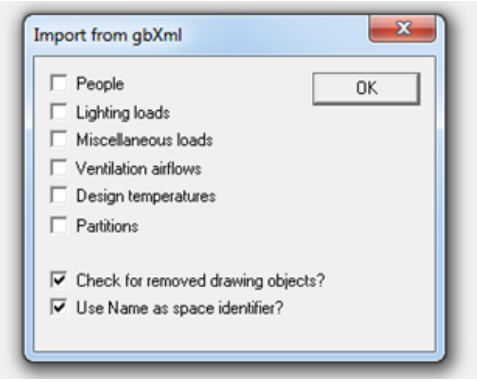

Figura 3.4 - Exportação do Ficheiro gbXML para o Software Trace

3.1.3 Definição das Características dos Espaços

Nesta fase já se encontram introduzidas as dimensões da envolvente de todos os espaços. Assim sendo, é necessário definir cada espaço em termos construtivos, temperaturas de funcionamento, e ganhos internos (atividade física, densidade de ocupação, iluminação e equipamentos). Para tal foram criados "Templates" que não são mais do que uma predefinição de valores típicos, como se pode verificar na figura 3.5. Consegue-se assim acelerar o processo de introdução de dados, principalmente em casos como este, em que existem muitos espaços com as mesmas características.

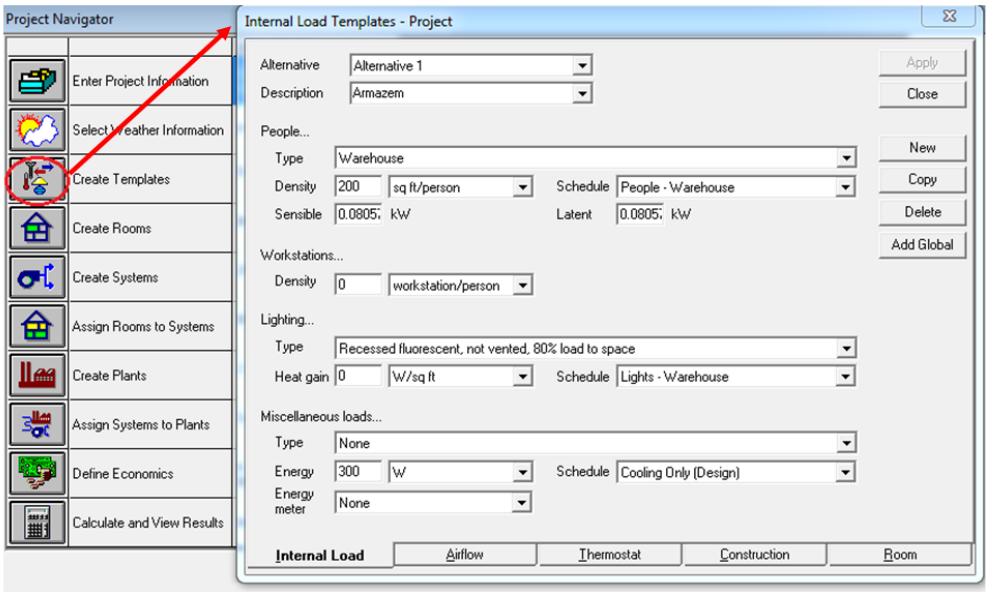

Figura 3.5 - Criação e definição de "Templates"

3.2 Sistemas AVAC

De modo a definir os tipos de sistemas AVAC presentes no CRN, utilizou-se o botão "Create Sytems".

Neste relatório irá ser explicada de forma pormenorizada, como exemplo, a definição de um tipo de sistema. Para tal escolheu-se o sistema ar-água "VC+UTAN", pois é aquele que abrange um maior número de espaços.

A folha de trabalho associada ao botão "Create Systems" é constituída por 7 abas, as quais serão descritas de seguida.

3.2.1 Seleção do Equipamento

Na aba "selection", representada na figura 3.6, é apresentada uma lista dos sistemas disponibilizados pelo Software. Carregando na tecla "F1" o programa encaminha o utilizador para um menu de ajuda, que contem a descrição de todos os sistemas disponíveis, tornando assim a tarefa de seleção mais simples.

De salientar que o sistema escolhido nesta aba é aquele que realmente vence a carga térmica do espaço, ou seja, no caso em análise o ventiloconvector. Assim sendo, foi escolhido o equipamento "Fan Coil" da categoria "Constant Volume - Non-mixing".

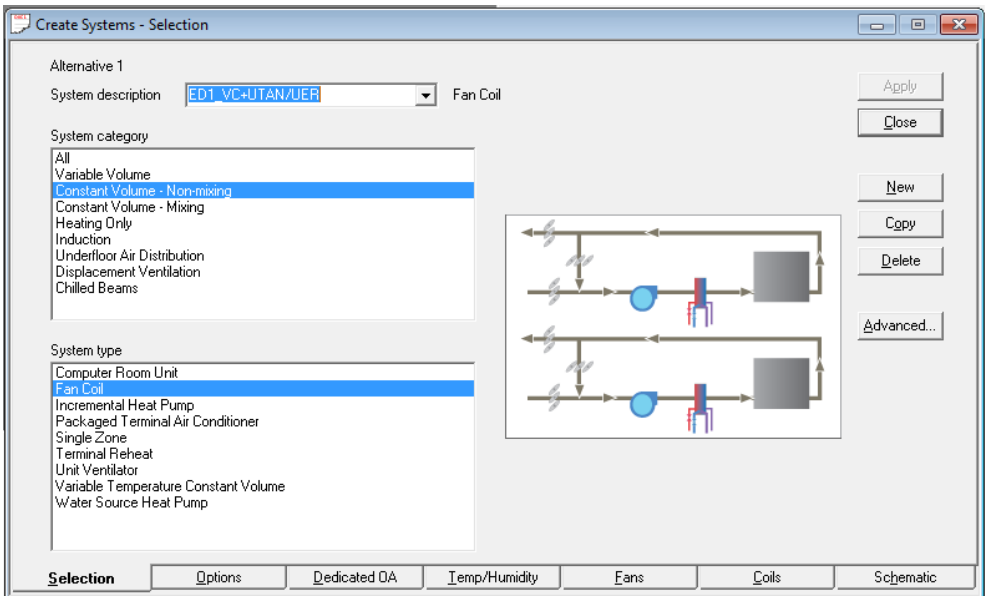

Figura 3.6 - Aba Selection

3.2.2 Opções do Equipamento

Na aba "options" (figura 3.7) podem definir-se três grandes tipos de opções: arrefecimento evaporativo, recuperação de calor e economizadores de energia.

No sistema escolhido como exemplo, a única opção presente nesta aba, que deve ser selecionada, é a recuperação de calor. Como foi descrito no capítulo 2.4, as unidades de ar novo possuem uma bateria de recuperação. Assim, e de forma a que o programa cálculo contabilize a quantidade de calor recuperada, é necessário definir a opção "Coil loop (outdoor-air preconditioning)".

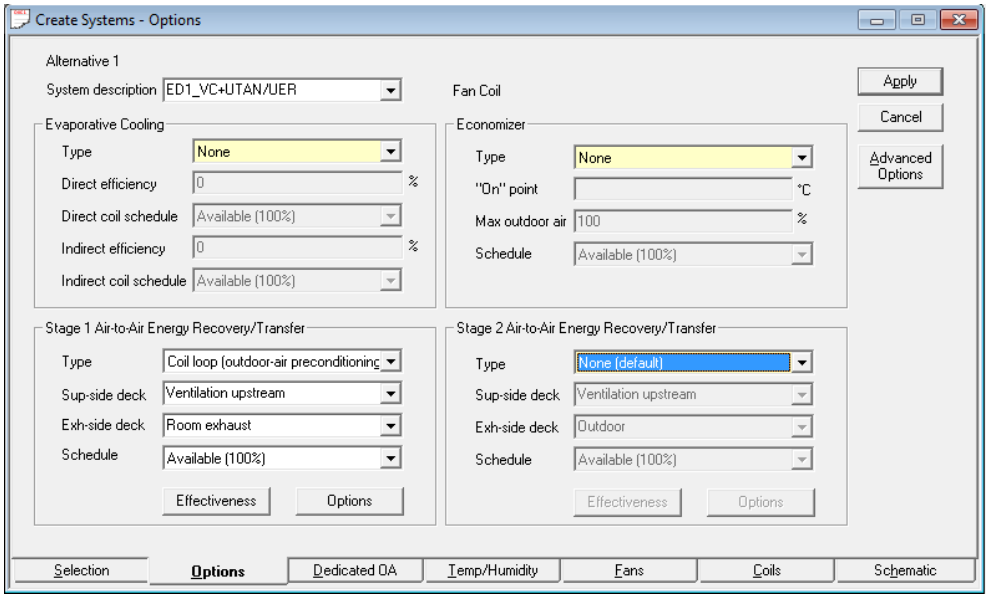

Figura 3.7 - Aba Options

3.2.3 Unidade de Tratamento de Ar Novo

A figura 3.8 representa a aba "dedicated OA". É nesta aba que se define a unidade de tratamento de ar UTAN. Como tal é necessário atribuir as temperaturas de insuflação do ar pré-tratado, quer para a estação de aquecimento, quer para a estação de arrefecimento.

Também se definem os perfis de utilização das baterias e dos ventiladores da unidade de tratamento de ar. No caso em estudo considerou-se que a ventilação estará ligada sempre que exista ocupação dos espaços, pelo que se selecionou a opção "Available 100%" que fará com que os perfis de utilização da UTAN sejam iguais aos perfis de ocupação dos espaços que esta serve.

Por fim, é necessário indicar o local de insuflação do ar novo. Neste exemplo é diretamente no espaço, visto que o neste tipo de sistemas é insuflado no espaço por grelhas ou difusores de insuflação.

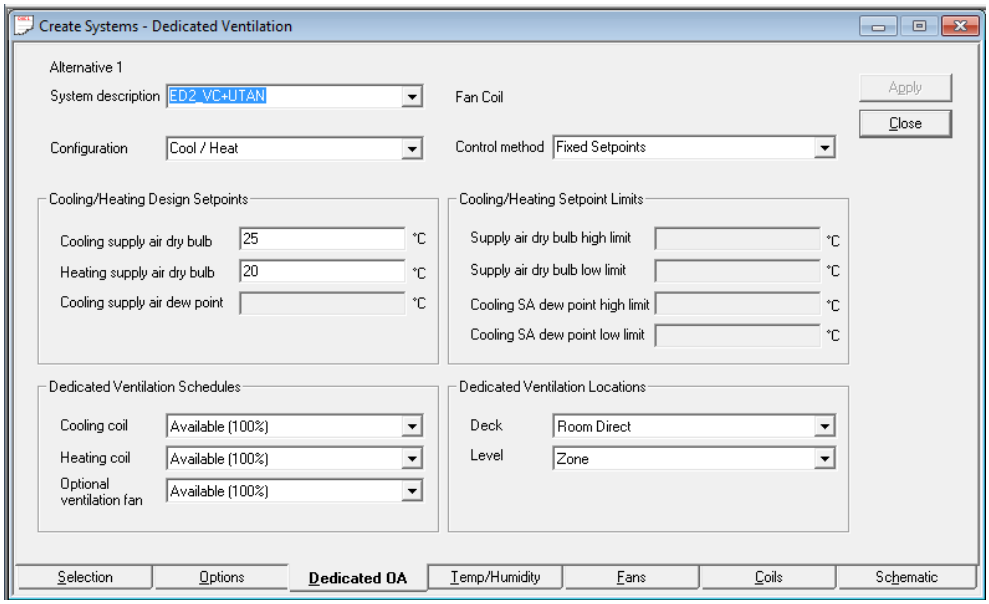

Figura 3.8 - Aba Dedicated OA

3.2.4 Definição da Temperatura e Humidade do Ar Tratado

De forma a garantir as condições mínimas de conforto pretende-se que a diferença de temperaturas entre o espaço e o ar insuflado não seja superior a 10°C. Para garantir tal condição limitaram-se as temperaturas na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento. Esta operação é realizada na aba "Temp/Humidity" (figura 3.9), permitindo deste modo que o programa calcule os caudais de ar necessários para as temperaturas definidas.

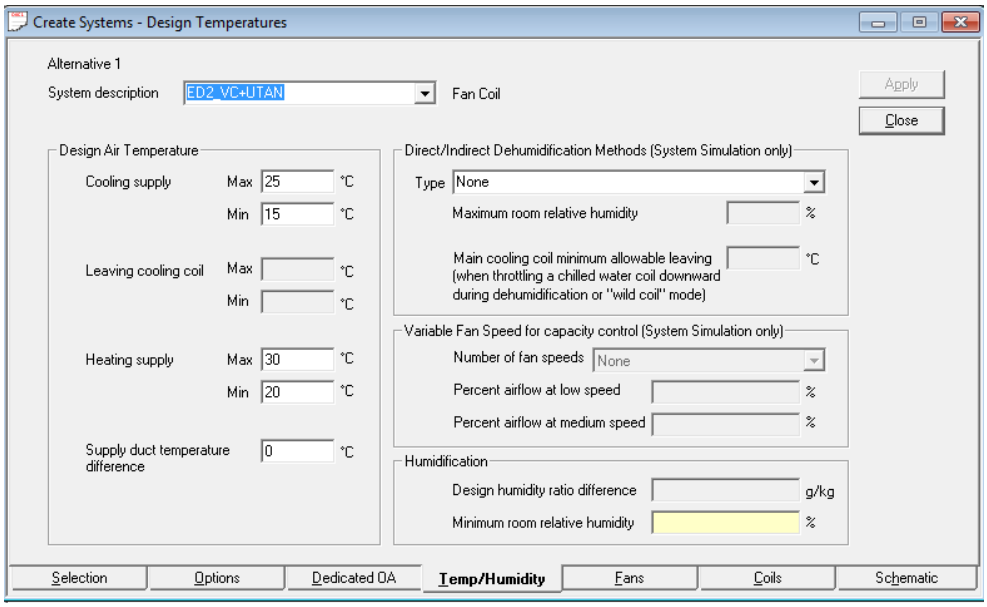

Figura 3.9 - Aba Temp/Humidity

3.2.5 Parâmetros dos Ventiladores

Na aba "fans" (figura 3.10) são introduzidos os parâmetros relativos aos ventiladores do sistema. Para tal, é necessário definir o tipo de ventilador utilizado, a pressão estática total e um rácio para o cálculo da potência. Assim como as eficiências dos ventiladores e motores, que são introduzidas clicando no botão "Overrides".

As características dos ventiladores foram introduzidas de acordo as respetivas fichas de seleção presentes no Anexo V do CD que acompanha o relatório.

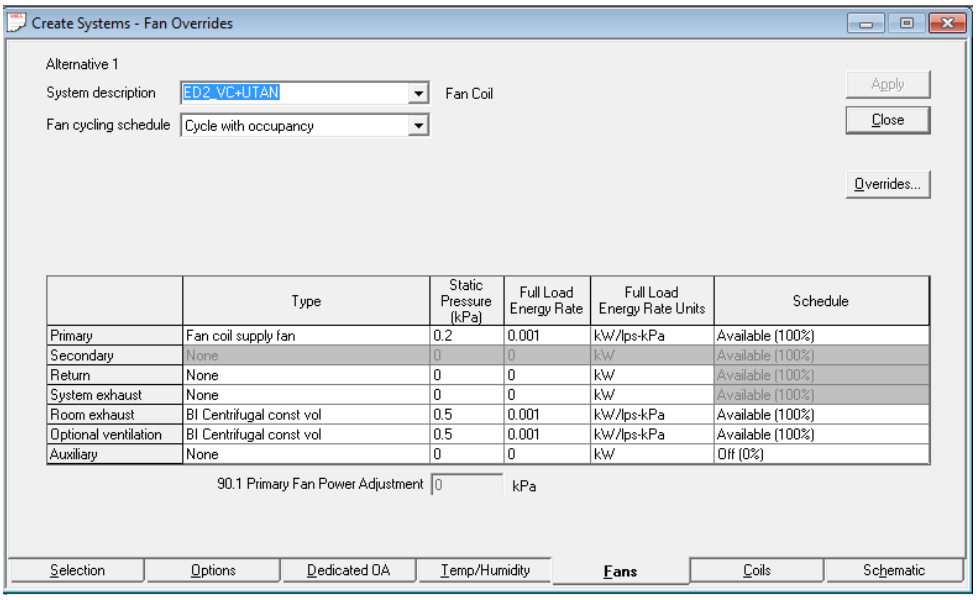

Figura 3.10 - Aba Fans

3.2.6 Baterias de Aquecimento e Arrefecimento

Por fim a aba "coils" (figura 3.11) permite definir os fatores de utilização das baterias de aquecimento e arrefecimento, assim como o respetivo perfil de utilização. Esta aba assume um papel importante na modelação dos sistemas pré-definidos pelo programa de forma a fazê-los corresponder àqueles realmente instalados.

No exemplo "VC+UTAN", que tem vindo a ser analisado, foi necessário desligar a bateria de pré-aquecimento, visto esta não existir. No entanto, existem outros sistemas onde foi necessário realizar outras alterações. Por exemplo, nos sistemas sem equipamento terminal é sempre necessário desligar as baterias principais de aquecimento e arrefecimento.

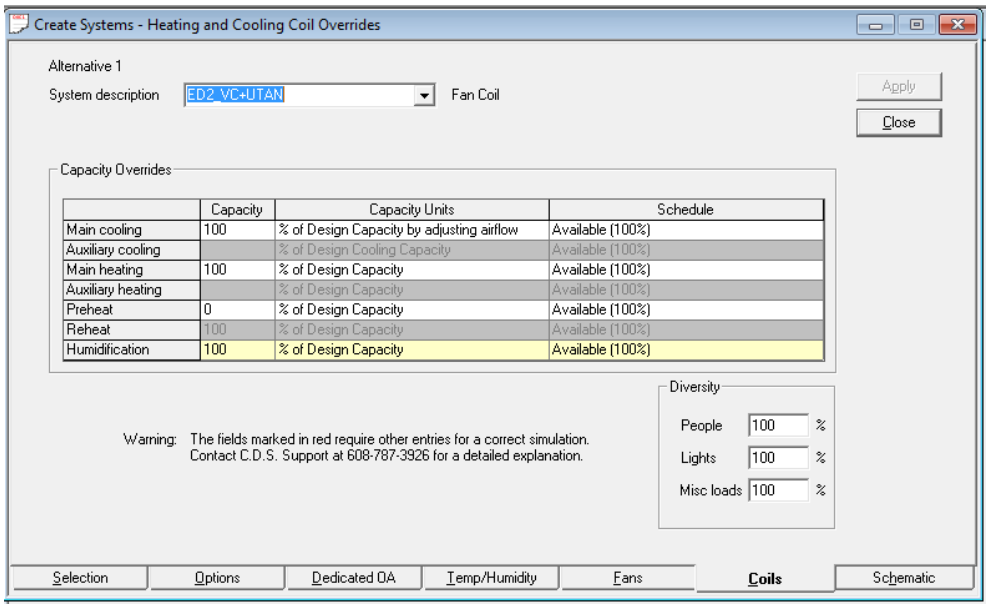

Figura 3.11 - Aba Coils

3.2.7 Sistema Não Tratado

Foi também definido um sistema "Não Tratado". Este sistema tem todos os equipamentos de tratamento de ar/ventilação desligados. A ele foram associados todos os espaços não climatizados. Este procedimento é necessário de forma a contabilizar os consumos elétricos para efeitos de verificação e validação da simulação e para o cálculo do indicador de eficiência energética.

3.2.8 Associação dos Sistemas aos Espaços

Depois de serem criados todos os tipos de sistemas de climatização/ventilação é necessário que os espaços lhes sejam associados. Esta operação é efetuada no botão "Assign Rooms to Systems" feita de forma simplificada, tipo *drag-and drop.*

Visto cada tipo de sistema ter mais do que uma unidade de tratamento de ar, foram criadas zonas com o nome das diferentes unidades, sendo posteriormente associados a cada zona os espaços que a respetiva unidade serve. Este método permitiu posteriormente analisar as potências das UTAN's instaladas com os valores calculados pela simulação.

A figura 3.12 representa a janela descrita anteriormente.

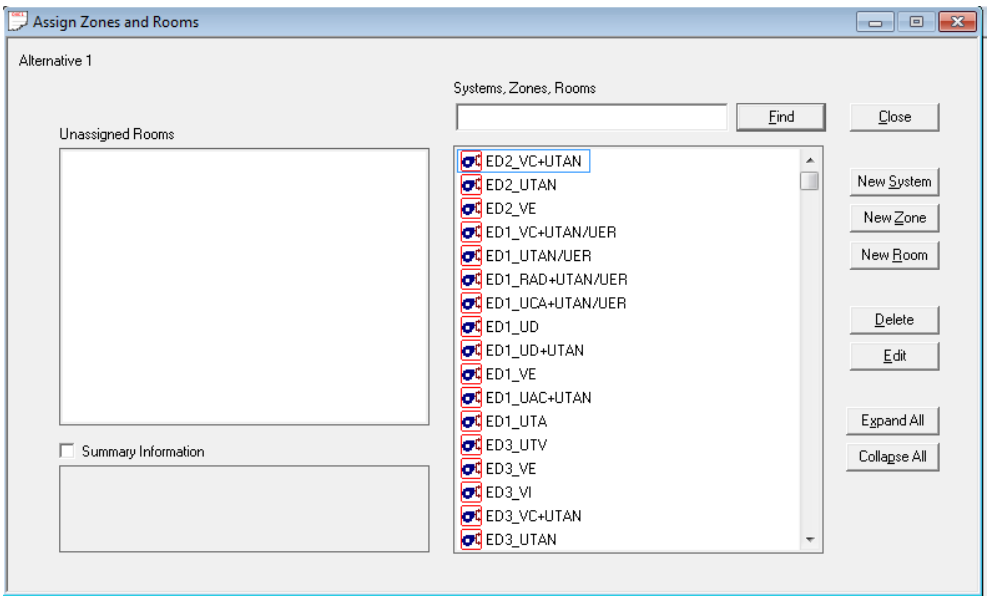

Figura 3.12 - Janela Assign Rooms to Systems

3.3 Criação das Interligações Energéticas

3.3.1 Definição dos Sistemas Energéticos

No botão "Create Plants" (figura 3.13) é possível definir os diferentes sistemas energéticos que alimentam os sistemas de climatização definidos anteriormente. Assim, foram definidos os sistemas centralizados de frio (*chillers* com recuperação; *chiller* duplo *Set-point*; banco de gelo e as bombas de circulação dos sistemas primários e secundários), os sistemas centralizados de quente (caldeiras e as respetivas bombas de circulação) e os sistemas independentes de expansão direta (UAC, UD e *split*).

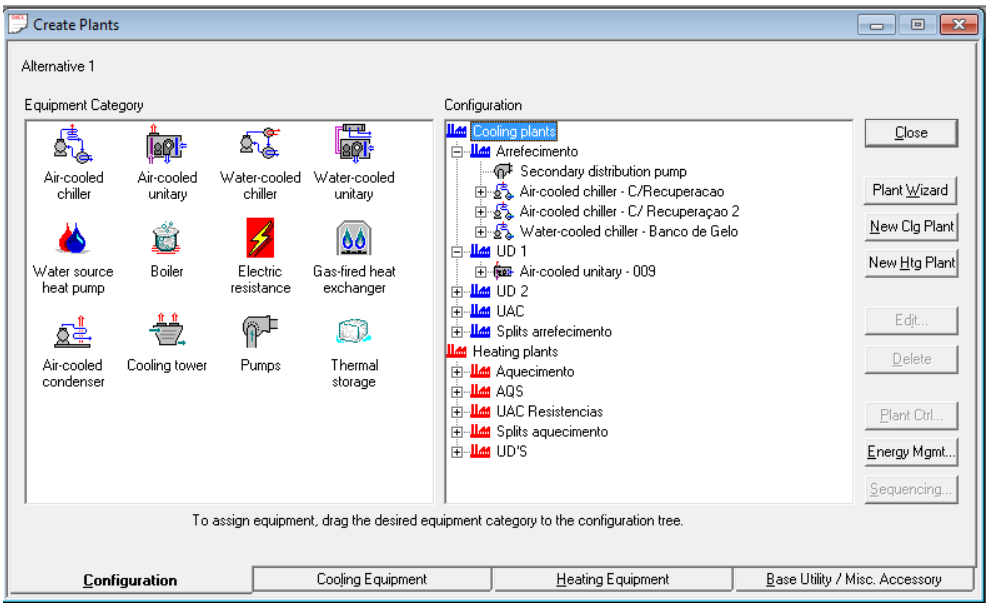

Figura 3.13 - Janela Create Plants

3.3.2 Interligações entre a Produção e Distribuição de Energia

Após terem sido criados no programa todos os equipamentos de produção de frio e calor, é necessário associá-los aos sistemas AVAC que vão servir. Esta ação é realizada através da janela presente no botão Assign Systems to Plants (figura 3.14).

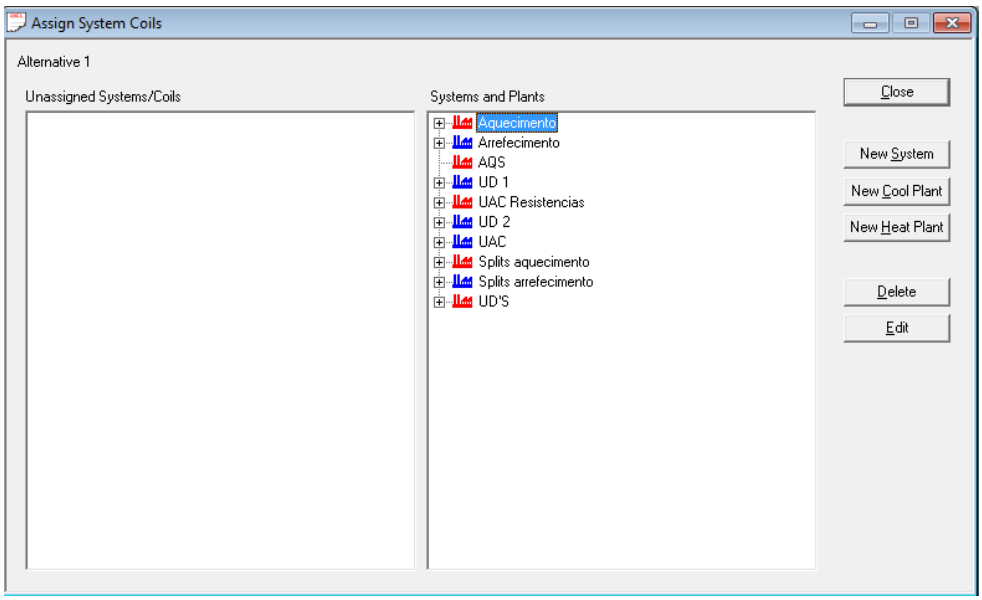

Figura 3.14 - Janela Assign Systems to Plants

3.4 Parâmetros Económicos

Neste trabalho, a utilização da funcionalidade "Economics" (figura 3.15) limitou-se à introdução dos tarifários dos consumos de eletricidade e gás, de forma a se obter uma previsão dos custos inerentes aos consumos. No entanto, é também possível, a partir da mesma, efetuar análises sobre o custo e o ciclo de vida das opções introduzidas anteriormente.

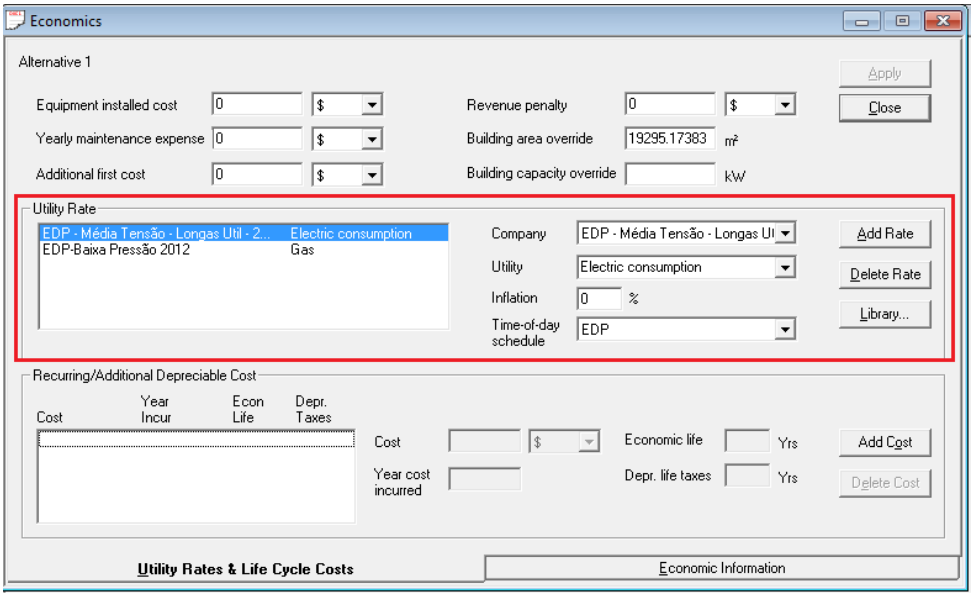

Figura 3.15 - Janela Economics

3.5 Resultados

Após efetuar todos os passos mencionados, é agora possível simular todo o modelo e obter resultados. Para tal, utiliza-se o botão "Calculate and View Results", na janela subjacente a este botão (figura 3.16). É ainda necessário definir-se o método de cálculo de cargas térmicas e os parâmetros energéticos a utilizar pelo programa.

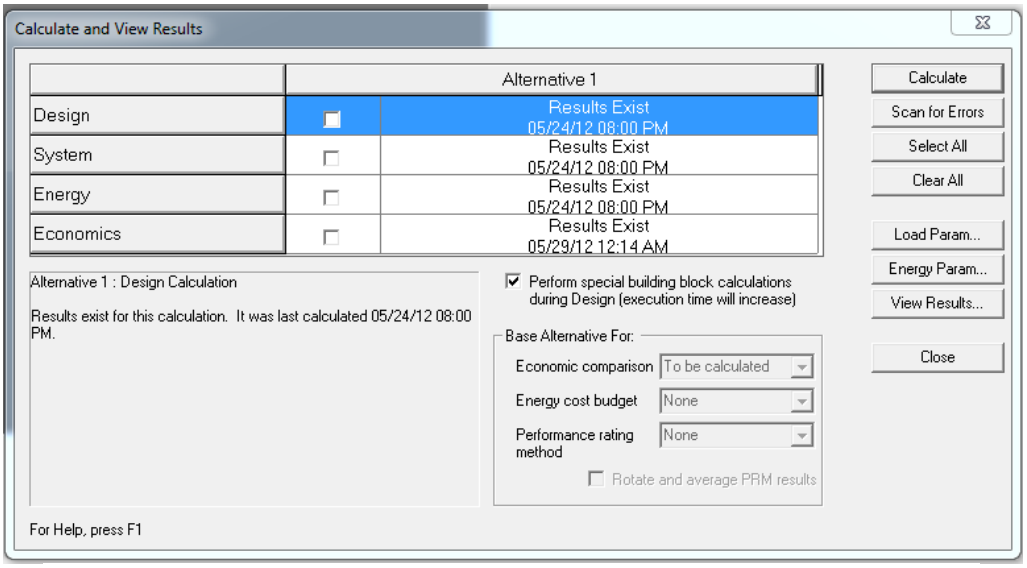

Figura 3.16 - Janela Calculate and View Results

O método de cargas térmicas escolhido foi o CLTD-CLF (TFM) que usa funções de transferência próprias para os ganhos térmicos através da envolvente, destacando-se assim do método tradicional que se limita a ler valores presentes em tabelas, onde por vezes não se encontra caracterizada a envolvente em estudo.

A seleção deste método é realizada na janela associada ao botão "Load Parametres" (figura 3.17).

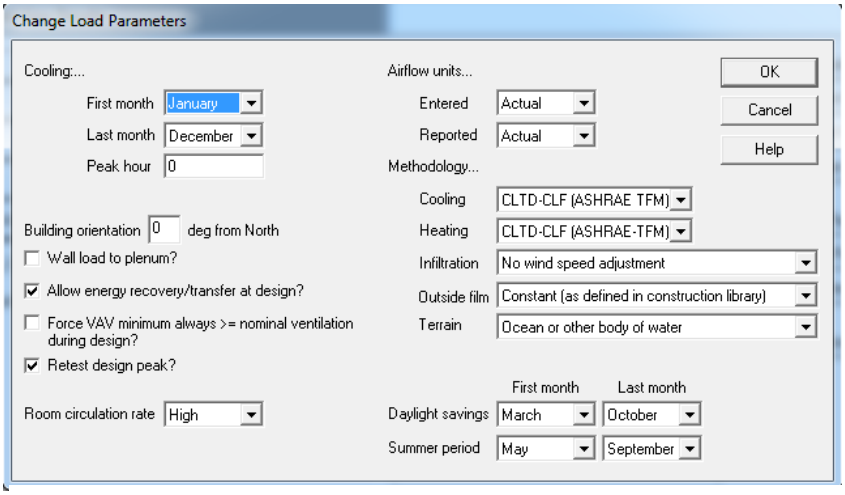

Figura 3.17 - Janela Change Load Parametres

Por fim é necessário estipular-se a duração da simulação. Visto que neste trabalho serão analisados os resultados referentes à energia consumida, escolheu-se a opção *Full Year* entre os meses de janeiro e dezembro (figura 3.18).

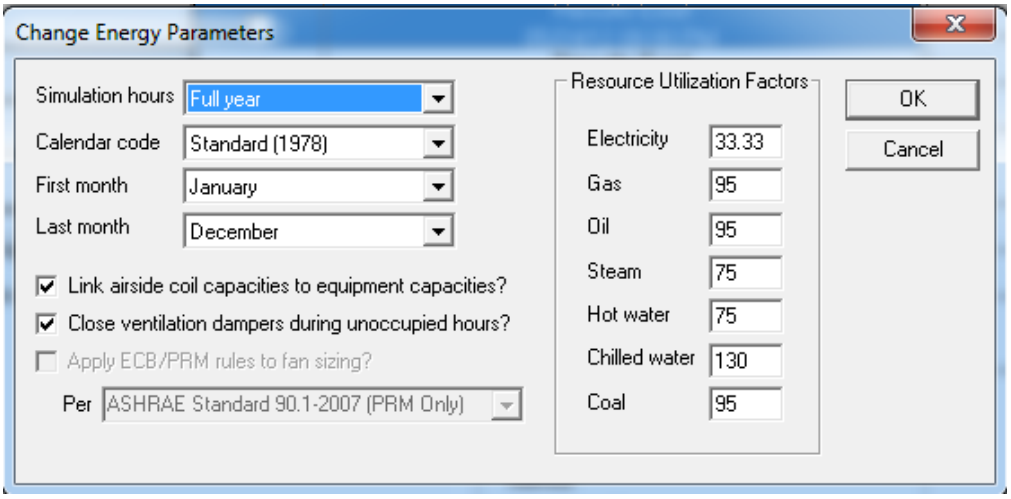

Figura 3.18 - Janela Change Energy Parameters

Finalmente, é possível iniciar o processo de cálculo utilizando o botão "Calculate". Em média as simulações do modelo em estudo demoraram cerca de uma hora e trinta minutos para cada alternativa (em ambiente Windows 7, com processador Intel Core i7). Após o processo de cálculo os resultados são apresentados na janela "View Results" (figura 3.19), na qual é possível visualizar os diversos relatórios.

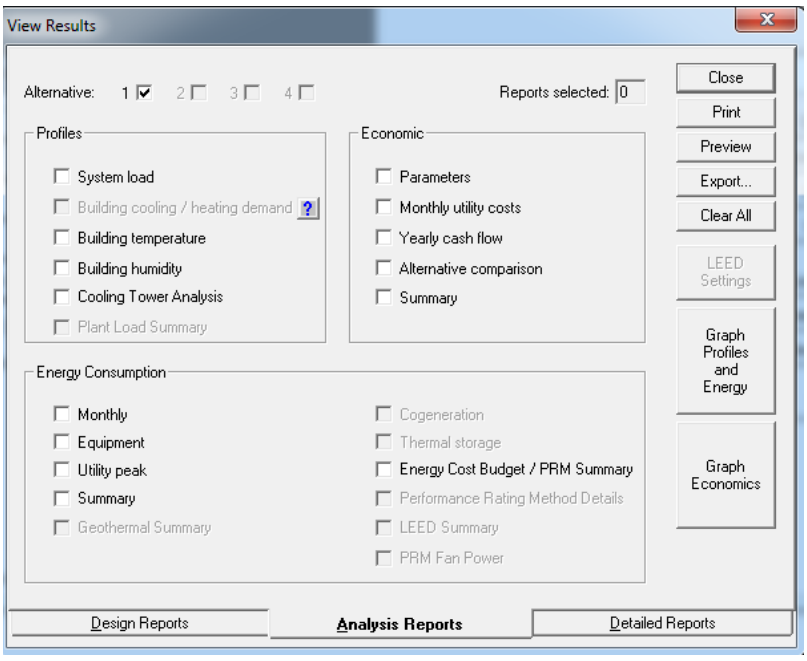

Figura 3.19 - Janela View Results

4 Resultados e Análise

Foi efetuada uma simulação dinâmica nominal com o objetivo de determinar o indicador de eficiência energética - IEE, bem como a classe energética do edifício.

A simulação real teve como objetivo estimar os futuros consumos reais do edifício em causa, tentando aproximar o modelo de uma forma mais exata daquela que será a sua futura utilização, através dos perfis de utilização estimados.

4.1 Simulação Dinâmica Nominal

4.1.1 Dados Nominais de Utilização

O n.º1 do Art.º 6.º do RSECE estabelece que os requisitos energéticos são calculados na base de padrões nominais de utilização dos edifícios. Estes padrões nominais são as condições interiores de referência (temperatura e humidade) e os parâmetros definidos para as diferentes tipologias de edifício no anexo XV do regulamento, nomeadamente perfis variáveis, perfis constantes e densidades (ocupação, equipamentos) (C.2 - Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE) [24].

a) Perfis de utilização e densidades de ocupação e equipamentos

Em todo o complexo foram identificadas, de acordo com o anexo XV do RSECE, as seguintes tipologias:

- Estabelecimentos de saúde com internamento: Edifício 1, Piso 1 e 2;
- Estabelecimentos de saúde sem internamento: Edifício 1, Piso 0;
- Escritórios: Edifício 2;
- Clubes com Piscina: Edifício 1, Piso 0 - Área reservada à Hidroterapia e Fisioterapia;
- Pequenas Lojas: Edifício1, Piso 0 - Bazar e Espaço Comercial;
- Biblioteca: Toda a zona de Ensino do Edifício 1;
- Cozinha: Edifício 1, Piso 0 - Cozinha da Zona de Alimentação;
- Restaurante: Edifício 1, Piso 0,1 e 2 - Refeitórios.

Áreas complementares

- Estacionamento: Edifício 1, Piso -1 - Parque de Estacionamento;
- Armazéns: Armazéns e Áreas técnicas do Hospital.

b) Caudais de ar nominais

No cálculo dos caudais de ar nominais foram utilizados os caudais mínimos de ar novo que se encontram publicados na legislação (anexo IV; Decreto-Lei n.º 79/2006 - RSECE). Na legislação o caudal mínimo de ar a ser insuflado está dividido por nível de atividade física e pode ser obtido por um de dois critérios, pela ocupação do espaço ou pela sua área. Sendo o caudal a implementar na simulação o maior caudal entre os dois. Foi ainda necessário incrementar os caudais obtidos de forma a considerar a eficiência de ventilação de 80%, conforme sugere a ADENE.

A folha de cálculo com os caudais nominais considerados encontra-se no anexo VII presente no CD.

4.1.2 Resultados Obtidos da Simulação Dinâmica Detalhada Nominal

Na tabela 4.1 expõem-se os consumos obtidos na simulação nominal. No anexo A encontra-se o relatório de consumo global emitido pelo Software de simulação Trace.

Tabela 4.1 - Consumos obtidos na simulação nominal

Energia Consumida em:	Consumos [MWh/ano]
Aquecimento - Gás	521,2
Aquecimento - Eletricidade	20,6
Arrefecimento - Eletricidade	172,1
Ventilação	155,1
Bombas Climatização	92,4
Iluminação	380,9
Equipamentos - Eletricidade	542,7
Equipamentos - Gás	54,5
Iluminação Exterior	118,6
Elevadores	18,7
Bombas Hidráulicas	78,6

De salientar que os valores presentes nos consumos de iluminação exterior, elevadores e equipamentos hidráulicos não foram calculadas com o auxílio do software Trace.

Os consumos anuais de iluminação exterior foram calculados de acordo com o número de horas de funcionamento para este equipamento, correspondente a 5400h por ano (iluminação exterior; Tabela - Perfis constantes; DL79/2006; pp.2457 - RSECE).

O cálculo dos consumos dos elevadores foi realizado de acordo com uma recomendação da norma Suíça SIA 380/4.

Por último, no cálculo das bombas hidráulicas foi realizado uma previsão ponderada da sua utilização, consoante o tipo de função que a bomba irá desempenhar.

4.1.3 Indicador de Eficiência Energética: Metodologia de Cálculo

O IEE é um valor indicativo do consumo energético por m^2 de um determinado espaço, é também designado por "consumo nominal específico" (E.1- Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE).

O IEE é calculado com base nos consumos de energia do edifício para um período de tempo correspondente a um ano, abordados no capítulo anterior. É necessário efetuar a conversão destes consumos para uma energia primária [kgep/m^2.ano]. Os fatores de conversão, na data de realização deste trabalho, assumem os seguintes valores [5]:

- Eletricidade: 0,290 [Kgep/kWh]
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 [Kgep/kWh]

Segundo o anexo IX do RSECE, a metodologia de cálculo do IEE é traduzida pela seguinte fórmula:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (2)$$

Em que:

- IEE - indicador de eficiência energética [Kgep/m^2.ano];
- IEE_I - indicador de eficiência energética de aquecimento [Kgep/m^2.ano];
- IEE_V- indicador de eficiência energética de arrefecimento [Kgep/m^2.ano];
- Q_{out} - consumo de energia não ligado a processos de aquecimento ou arrefecimento [Kgep/ano];
- Ap - área útil de pavimento [m^2].

Por sua vez:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \; X \; F_{ci} \quad (3)$$

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \; X \; F_{cv} \quad (4)$$

Em que:

- Q_{aq} - Consumo de energia de aquecimento [Kgep/ano];
- Fci - Fator de correção do consumo de energia de aquecimento;
- Q_{arr} - Consumo de arrefecimento [Kgep/ano];
- Fcv - Fator de correção do consumo de energia de arrefecimento.

No cálculo dos fatores de correção do consumo de energia de aquecimento e arrefecimento, adota-se, como região climática de referência, a região I2 - V2 norte, 1640 graus-dia de aquecimento e 6,7 meses de duração da estação de aquecimento. Assim sendo:

Correção da energia de aquecimento:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \quad (5)$$

Em que:

- N_{I1} - necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 [kWh/m^2.ano];
- N_{Ii}- necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício [kWh/m^2.ano].

Necessidades máximas de aquecimento: por sua vez os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) de uma fração autónoma, em kWh/m^2.ano, dependem dos valores do fator de forma (FF) da fração autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local, da seguinte forma:

a) Para FF ≤ 0,5, N_i=4,5+0,0395 GD;

b) Para 0,5 < FF ≤ 1, N_i =4,5+(0,021+0,037 FF) GD;

c) Para 1 < FF ≤ 1,5, N_i=[4,5 + (0,021+0,037 FF) GD](1,2-0,2 FF);

d) Para FF > 1,5 , Ni = 4,05+0,06885 GD.

Por sua vez o fator de forma não é mais que o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext}) e interior (A_{int}) do edifício com exigências térmicas e o respetivo volume interior (V).

$$FF = \frac{[A_{ext} + \sum(tA_{int})]}{V} \quad (6)$$

Correção da energia de arrefecimento:

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} \quad (7)$$

Em que:

- N_{V1} - necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 [kWh/m^2.ano];
- N_{Vi}- necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício [kWh/m^2.ano].

Necessidades máximas de arrefecimento: os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v), de uma fração autónoma, dependem unicamente da zona climática do local, e encontram-se definidos no RCCTE (N.º2 do Artigo 15º).

4.1.4 Verificação do Requisito Legal e Classe Energética

A verificação do requisito legal é feita comparando o $IEE_{Nominal}$ com um $IEE_{Referência}$. É necessário que o valor nominal seja inferior ao valor de referência para que o projeto seja aprovado sem que fique sujeito a um plano de racionalização energética (PRE).

O $IEE_{Referência}$ é o valor limite para o consumo específico, é obtido recorrendo ao anexo X do RSECE, conforme a tipologia do edifício. Podendo este apresentar diversas tipologias, como é o caso do edifício em estudo, torna-se necessário calcular o $IEE_{Referência}$ de uma forma ponderada, ou seja, proporcionalmente em função das áreas úteis de pavimento para cada tipologia. (E.13 - Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE).

Após efetuada a verificação legal, é agora possível determinar a classe energética do edifício. A classificação traduz o desempenho energético global do edifício, que segue uma escala com 9 classes (A^+ a G), onde a classe A^+ representa o melhor desempenho energético e a classe G o pior. De salientar que nos edifícios novos a classe energética tem de ser superior a B-, de maneira a cumprir o requisito legal.

O cálculo da classe energética do edifício é realizada de acordo com as condições da tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Determinação da classe energética de um edifício

Classe Energética	$IEE_{Nominal}$ [Kgep/m^2.ano]
A^+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}75.S$
A	$IEE_{ref} - 0{,}75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}5.S$
B	$IEE_{ref} - 0{,}5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}25.S$
B$^-$	$IEE_{ref} - 0{,}25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
C	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0{,}5.S$
D	$IEE_{ref} + 0{,}5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1{,}5.S$
F	$IEE_{ref} + 1{,}5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$
G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

Em que:

- IEE_{nom} - representa o $IEE_{Nominal}$ calculado pela metodologia descrita no capítulo anterior;
- IEE_{ref} - é igual ao $IEE_{Referência}$ ponderado, descrito neste capítulo;
- S - é obtido de forma ponderada através dos valores de S, tabelados no anexo IV do RSECE.

4.1.5 IEE Calculado e Considerações Efetuadas

O cálculo do $IEE_{Nominal}$ deste edifício foi elaborado recorrendo à folha Excel presente no anexo VII do CD, a qual foi elaborada pelos princípios mencionados no capítulo anterior.

Foi no entanto necessário usar algumas considerações de forma a respeitar o escrito no anexo IX do RSECE, as quais serão explicadas neste subcapítulo.

No cálculo do $IEE_{Nominal}$ é necessário separar os valores que se encontram na tabela 4.1 nos três tipos de consumo presentes no cálculo do IEE. O consumo de energia de aquecimento (Q_{aq}), o consumo de energia de arrefecimento (Q_{arr}) e, por fim, o consumo não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento (Q_{out}). No entanto o Software de simulação detalhada utilizado não permite obter a desagregação dos consumos dos ventiladores e bombas por aquecimento e arrefecimento. Desta forma, a desagregação necessária para o cálculo do IEE foi realizada por uma repartição proporcional às necessidades de aquecimento e arrefecimento encontradas na simulação nominal (E.27 - Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE).

Relativamente às energias renováveis, mais concretamente à energia obtida através dos coletores solares instalados na cobertura, a contribuição desta forma de energia renovável deverá ser subtraída à respectiva parcela de consumo de energia, ou seja, $Q_{out,}$ visto que a energia recolhida pelos painéis solares será utilizada para a produção de AQS (E.24 - Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE).

O valor da energia anual produzida pelos coletores solares foi determinado pelo Software SOLTERM, o relatório utilizado encontra-se no Anexo IV do CD.

Por fim, como visto anteriormente no subcapítulo 2.5, é necessário majorar o consumo de energia de aquecimento em 5%.

Nas condições mencionadas neste capítulo, e através das metodologias mencionadas nos capítulos anteriores, obteve-se um **$IEE_{Nominal}$ de 22,01** [Kgep/m^2.ano], o que indica que o edifício cumpre o requisito legal e apresenta como classificação a letra **A**. Ao nível da emissão de gases poluentes o CRN emitirá cerca de **627,4** toneladas de CO_2 por ano.

4.2 Simulação Dinâmica Real

Na simulação dinâmica real foram utilizados os dados reais de utilização, já descritos no capitulo 2.7.

4.2.1 Cargas térmicas

A carga térmica associada a um espaço é a quantidade de energia (calor/frio) que tem de ser inserida ou retirada de um espaço para manter, no seu interior, as condições ambientais pretendidas (temperatura e humidade).

a) Carga térmica de aquecimento

O valor máximo das necessidades de aquecimento de um espaço ocorre no final de uma sequência de dias muito frios e sem sol, coincidentes com um período em que o espaço está desocupado, sem iluminação nem equipamentos. Estas ocorrências levam a estrutura a atingir um regime próximo do permanente.

O valor da carga térmica de aquecimento resulta da soma das perdas por condução pela envolvente, mais a carga gasta na ventilação para o tratamento do ar novo.

O Conjunto de Edifícios em estudo apresenta uma carga térmica de aquecimento, calculada pelo software Trace, de **1212 kW**.

b) Carga térmica de arrefecimento

As necessidades de arrefecimento atingem o valor máximo no final de uma sequência de dias quentes com sol limpo, com forte incidência solar e quando os ganhos internos são máximos, tendo em conta a dinâmica destes e a probabilidade de ocorrência em simultâneo. Na estação de arrefecimento a carga latente assume uma maior importância, pois é frequentemente necessário desumidificar o ar.

O método de cálculo engloba portanto a condução pela envolvente, os ganhos solares pelos envidraçados, os gastos com o tratamento de ar novo, as infiltrações, e os ganhos internos provocados pelos ocupantes, iluminação e equipamentos.

O valor calculado, pelo Software, para a carga térmica de arrefecimento do conjunto de edifícios em estudo é de **957,7 kW**.

4.2.2 Consumos Energéticos

A previsão dos consumos energéticos do Conjunto de Edifícios encontra-se apresentada de forma desagregada na tabela 4.3 e representados na figura 4.1. Da análise de ambos, importa salientar que os consumos relacionados com o AVAC representam cerca de 50% do consumo total do edifício, sendo que entre estes se destaca o consumo para aquecimento com cerca de 32% do consumo global. Em segundo lugar encontram-se os consumos elétricos inerentes à iluminação e equipamentos, aproximadamente 37%. Os restantes 13% estão associados a consumos de utilização com menor expressão no consumo total.

Tabela 4.3 - Previsão dos consumos energéticos reais do CRN

Energia Consumida em:	Consumos [MWh/ano]	Percentagem do consumo total [%]
Aquecimento	798,7	32
Arrefecimento	160,0	6
Ventilação	217,6	9
Bombas	93,2	4
Iluminação	361,0	14
Equipamentos	558,2	22
Iluminação Exterior	118,6	5
Elevadores	18,7	1
Bombas Hidráulicas	78,6	3
AQS	113,0	4

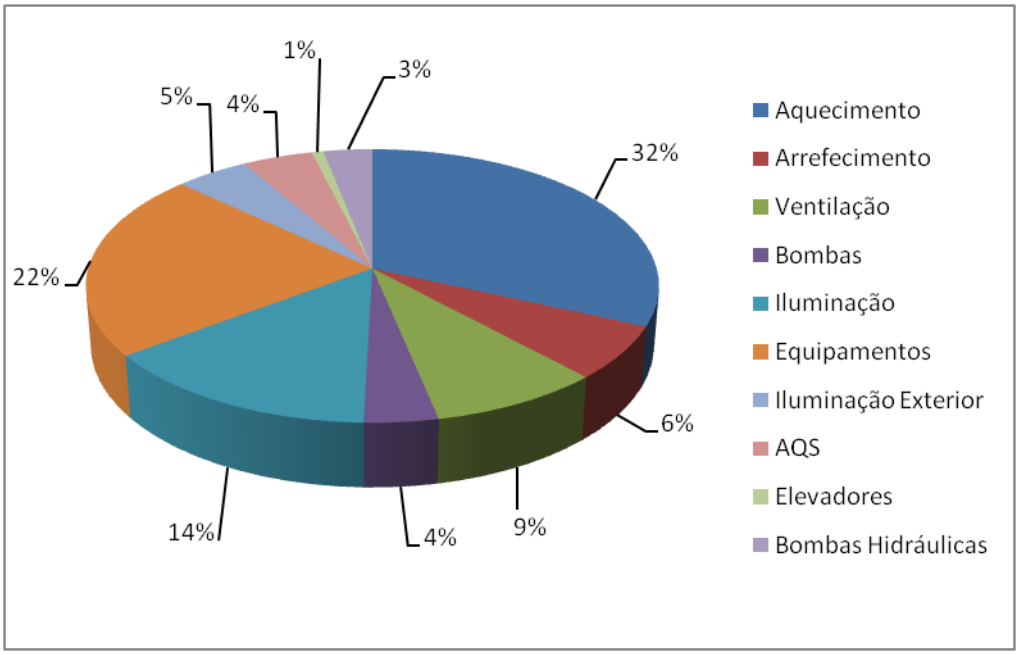

Figura 4.1 - Gráfico ilustrativo dos consumos energéticos do CRN

4.2.3 Faturação Energética Anual

Para se realizar uma análise económica dos consumos anuais energéticos inerentes ao edifício, é imprescindível conhecer-se os preços praticados de eletricidade e de gás. Para tal recorreu-se aos tarifários de eletricidade e gás praticados pela EDP [25].

a) Tarifários de eletricidade

Os tarifários praticados pela EDP dividem-se em baixa, média e alta tensão, que por sua vez se subdividem em mais três categorias, ou seja, em tarifas de curtas, médias, e longas utilizações.

Na unidade hospitalar em estudo recomenda-se a utilização de média tensão, com uma tarifa de longa utilização. Na tabela 4.4 encontra-se definido o tarifário, desta opção, para os quatro períodos horários estipulados.

Tabela 4.4 - Tarifas de eletricidade praticadas pela EDP

Trimestre	Horas de ponta	Horas de cheia	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
1.º	0,1253	0,0945	0,0589	0,552
2.º	0,1321	0,0950	0,0623	0,0578
3.º	0,1321	0,0950	0,0623	0,0578
4.º	0,1253	0,0945	0,0589	0,552

Tomando em consideração a informação presente nos Artigos 24.º e 31.º do Regulamento Tarifário de ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos), realizou-se um estudo sobre o número de horas afeto a cada período acima referido (tabela 4.4) de forma a se poder calcular um valor ponderado do preço da eletricidade no ano de 2012.

Tabela 4.5 - Número de horas afeto a cada período de consumo

Mês	Horas de ponta	Horas de cheia	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
janeiro	110	292	218	124
fevereiro	105	280	195	116
março	100	309	211	124
abril	57	294	249	120
maio	66	336	218	124
junho	60	315	225	120
julho	66	336	218	124
agosto	66	336	218	124
setembro	60	315	225	120
outubro	72	330	218	124
novembro	105	280	215	120
dezembro	100	261	259	124

Através do cálculo ponderado entre a tarifa de cada trimestre, o número e tipo de horas de cada um, obteve-se um preço ponderado de 0.1159 €/kWh.

Além dos encargos com a energia ativa, é necessário adicionar:

- Termo tarifário fixo, com o valor de 48,06 €/mês;
- Preço de potência contratada, com um custo de 1,397 €/Kw;
- Preço mensal referente à potência utilizada em horas de ponta de 8,983 €/Kw.

b) Tarifários de gás

Por sua vez, os tarifários praticados pela EDP para o gás dependem do consumo anual e da pressão de fornecimento.

De notar que a unidade hospitalar apresenta um consumo de gás inferior a 10 000 m^3 e que a sua pressão de fornecimento é baixa. A tabela 4.5 apresenta os tarifários para tais características de utilização. No caso em estudo, o edifício insere-se no escalão 4 de consumo.

Tabela 4.6 - Tarifários de gás praticados pela EDP

Escalão	Consumo anual [m^3]	Termo tarifário fixo [€/dia]	Energia [€/Kwh]
Escalão 1	0 - 220	0,0633	0,0671
Escalão 2	221 - 500	0,1170	0,0595
Escalão 3	501 - 1000	0,1764	0,0551
Escalão 4	**1001 - 10000**	**0,1907**	**0,0462**

Faturação anual prevista

Os tarifários definidos em cima foram introduzidos no Software de simulação, de onde se obteve uma estimativa dos custos energéticos do CRN, apresentados na tabela 4.6 e no relatório Trace presente no anexo B.

Tabela 4.7 - Custo energético anual

	Consumo energético anual [MWh]	Custo energético anual [€]
Eletricidade	1 438,9	111 704
Gás natural	777,8	28 841

O consumo de eletricidade acima mencionado não inclui os valores referentes à utilização dos elevadores, bombas hidráulicas e iluminação exterior.

5 Análise de medidas de melhoria do desempenho energético

5.1 Soluções Passivas

Na análise das soluções passivas serão abordadas diferentes alternativas à envolvente opaca e transparente do Conjunto de Edifícios, com o objetivo de otimizar a mesma tendo em conta a eficiência energética.

5.1.1 Análise de Alternativas na Envolvente Opaca

Neste subcapítulo será feita uma análise do impacto da espessura do isolamento nos consumos energéticos do Conjunto de Edifícios.

As soluções construtivas do projeto de arquitetura foram mantidas, respeitando os materiais instalados. Assim, a espessura do isolamento foi o único parâmetro modificado em cada uma das alternativas.

A solução real apresentada foi comparada com as seguintes cinco alternativas:

- Alternativa Base: os valores de isolamento, das paredes e coberturas foram adaptados de forma a obter coeficientes de transmissão térmica próximos dos máximos admitidos pelo RCCTE (Quadro IX.1 do anexo IX);

- Alternativa de Referência: os valores de isolamento, das paredes e coberturas foram adaptados de acordo com os coeficientes de transmissão térmica de referência apresentados no RCCTE (Quadro IX.2 do anexo IX);

- Alternativa 1,2 e 3: nestas três alternativas duplicaram-se as espessuras de isolamento da alternativa anterior, tendo como base a solução real, obtendo-se como consequência uma melhoria de 100% no coeficiente de transferência térmica entre cada alternativa.

Os valores médios de isolamento adotados, bem como os respetivos coeficientes de transferência térmica, encontram-se descritos na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Espessuras de isolamento e coeficientes de transmissão térmicos considerados

Tipo de Envolvente		Base	Referência	Real	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Paredes Exteriores	Espessura média do isolamento [mm]	5	25	100	200	400	800
	U [W/m^{2}C]	1,6	0,6	0,25	0,12	0,06	0,03
Coberturas Exteriores	Espessura média do isolamento [mm]	20	60	60	120	240	480
	U [W/m^{2}C]	1	0,45	0,45	0,24	0,13	0,7

Realizou-se uma simulação para cada alternativa, das quais resultaram os consumos energéticos presentes na tabela 5.2 e na figura 5.1. De salientar que só foram considerados os consumos de aquecimento, arrefecimento, ventilação e bombas, visto serem os únicos afetados pelas alterações realizadas. O relatório de consumos gerado pelo software Trace encontra-se apresentado no anexo C.

Tabela 5.2 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente opaca

	Consumos energéticos nas diversas alternativas [MWh/ano]					
	Base	Referência	Real	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Aquecimento	997,2	814,9	797,8	755,3	726,4	711,9
Arrefecimento	161,9	157,2	162,5	166,9	170,4	170,9
Ventilação	230,7	218,9	217,7	214,8	213,3	212,9
Bombas	96,7	95,4	94,6	94	93,9	93,8
Total	1399,6	1199,8	1272,6	1230	1204	1189,5

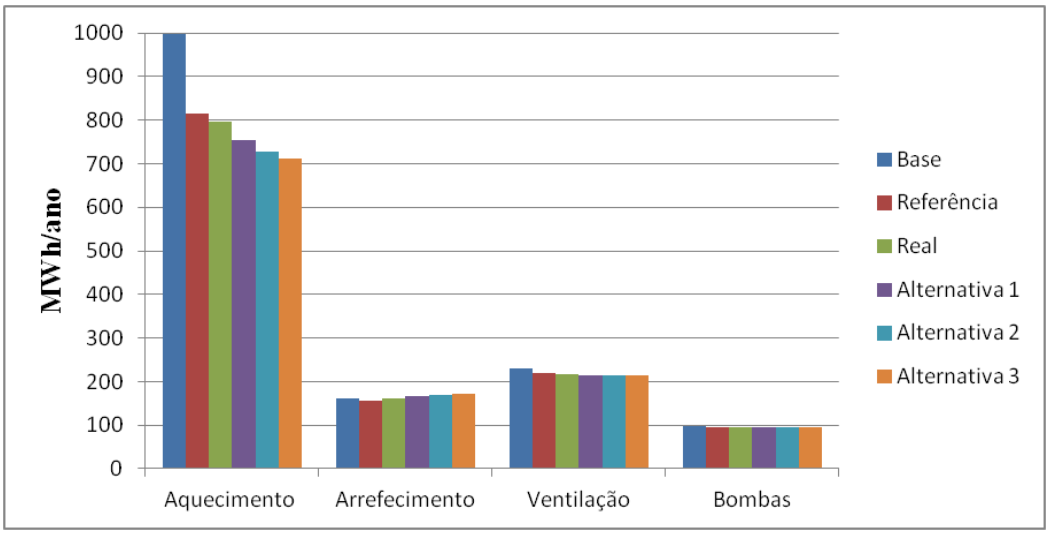

Figura 5.1 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente opaca

Da análise do gráfico apresentado anteriormente destacam-se várias alterações ao nível dos consumos energéticos em cada uma das alternativas analisadas.

Na transição da solução base para a de referência regista-se uma clara diminuição dos consumos de aquecimento, e um ligeiro decréscimo nos consumos de arrefecimento, ventilação e bombagem.

O decréscimo nos consumos de aquecimento resulta da diminuição dos coeficientes de transferência térmica, que leva a menores perdas por condução e consequentemente a uma menor necessidade de aquecimento.

Por sua vez, a diferença registada entre as necessidades de arrefecimento é consideravelmente menor, este valor pode ser justificado por duas razões. Em primeiro lugar, o caso em estudo apresenta uma elevada área de superfície envidraçada, que representa uma importante contribuição nos ganhos (por condução e radiação). Em segundo, o CRN é um edifício de serviços com elevados ganhos internos (ocupação, equipamentos, iluminação), pelo que os ganhos por condução da envolvente opaca assumem uma importância reduzida na estação de verão.

Por fim, a diminuição dos consumos dos sistemas de ventilação e de bombagem é consequente às diminuições mencionadas anteriormente.

As soluções com espessuras de isolamento superiores às de referência apresentam diminuições de consumos de aquecimento muito menos significativos e inclusive aumentos nos consumos de arrefecimento. O aumento do consumo de arrefecimento deve-se à diminuição da dissipação de calor nos períodos de vazio, sendo necessário manter os sistemas de climatização ligados de forma a garantir as condições de conforto.

A tabela 5.3 apresenta os custos dos consumos anuais de energia, assim como a diferença entre a solução Base e as restantes.

Tabela 5.3 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente opaca

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença de custo de consumo [€/ano]
Base	Eletricidade	1460,8	113 448	149 347	-
	Gás	973,8	35 899		
Referência	Eletricidade	1439,2	111 782	141 218	-8 129
	Gás	794,3	29 436		
Real	Eletricidade	1444,2	112 024	140 838	-8 509
	Gás	777,1	28 814		
Alternativa 1	Eletricidade	1444,2	112 102	139 321	-10 026
	Gás	732,8	27 219		
Alternativa 2	Eletricidade	1442,7	112 019	138 347	-11 000
	Gás	708	26 328		
Alternativa 3	Eletricidade	1442,5	112 006	137 817	-11 530
	Gás	693,6	25 811		

Na tabela 5.4, a primeira coluna apresenta uma previsão aproximada do investimento realizado em isolamento térmico no CRN, assim como os valores que seriam necessários

despender nas restantes alternativas, tendo como base os preços praticados no mercado. A segunda e a terceira colunas demonstram, respetivamente, o incremento do investimento entre a solução Base e as restantes, e o período de retorno do investimento (PRI), em anos, relativamente à mesma.

Tabela 5.4 - Período de retorno do investimento das diferentes alternativas de envolvente opaca

Alternativa	Previsão do investimento em isolamento [k€]	Incremento no custo de aplicação [k€]	PRI [Anos]
Base	870	-	-
Referência	972	101	12,5
Real	1 041	171	20,1
Alternativa 1	1 145	275	27,4
Alternativa 2	1 422	551	50,1
Alternativa 3	1 975	1,104	95,8

Da análise do conjunto de dados apresentados é possível afirmar que a solução Real apresenta consumos muito próximos dos de referência, o que representa um PRI de aproximadamente 20 anos em relação ao valor base permitido pelo RCCTE. Assim, verifica-se que o investimento realizado no isolamento do edifício será recuperado num período curto quando comparado com o ciclo de vida previsto para um edifício de serviços hospitalares.

Na comparação dos resultados obtidos para os valores de referência, quer em termos de consumo, quer em termos de PRI, poder-se-ia questionar a utilização de uma espessura de isolamentos superior à de referência, visto que a diferença obtida nos custos energéticos anuais não é significativa. No entanto, dada a proximidade do mar e o ambiente inerente a este, a aplicação de tal espessura poderá ser justificada de forma a evitar patologias futuras - consequências que se encontram fora do âmbito deste projeto.

Relativamente às alternativas 1, 2 e 3, as espessuras sugeridas são aparentemente excessivas para o clima em causa. O claro aumento dos custos da sua implementação, associado a uma baixa redução dos custos energéticos, leva a períodos de retorno mais elevados.

Contudo, o PRI da alternativa 1 é ligeiramente superior ao PRI da solução Real, e ainda dentro do período de vida esperado para o CRN. No entanto se se comparar diretamente a alternativa 1 com a solução Real verifica-se que só existirá um retorno a partir de 68.5 anos. Assim a alternativa 1 poderia ter sido equacionada aquando a realização do projeto de Arquitetura. Estendendo a comparação para as alternativas 2 e 3 facilmente se verifica que o período de retorno seria superior ao período de vida expectável do CRN, respetivamente, 152 e 309 anos.

5.1.2 Análise de Alternativas na Envolvente Transparente

O Conjunto de Edifícios em estudo apresenta uma grande área de envidraçados, principalmente nos pisos de internamento. Por esta razão é de extrema importância compreender a forma como estes podem influenciar os consumos e se existem alternativas viáveis à redução dos mesmos. Foram analisadas três alternativas à real instalada:

- Alternativa Base: substituição de todos os envidraçados presentes por envidraçados simples, com um coeficiente de transferência térmico de referência, mencionado pelo LNEC-ITE 50, de 2,4 [W/m2ºC] e um fator solar máximo, definido pelo RCCTE, de 0,57.

- Alternativa 1: substituição dos envidraçados tipo II e III pelos envidraçados tipo I, e aplicação nos vidros de uma película exterior de proteção solar da marca Llumar®. A ficha técnica da película encontra-se no Anexo IX do CD que acompanha o relatório.

A aplicação deste tipo de película tem como principal objetivo reduzir o fator solar dos envidraçados. O cálculo do fator solar foi efetuado segundo o princípio descrito no RCCTE, Anexo V, ponto 2.3, fórmula 4:

$$g_{\perp}, envidraçado = g_{\perp}v \times \prod_i \frac{g'_{\perp}}{0{,}75} \quad (8)$$

Em que:
$g_{\perp}v$ - representa o fator solar do envidraçado e é igual a 0,15;
$g_{\perp}'$ - representa o fator solar da película exterior e é igual a 0,32.

Então:

$$g_{\perp}, envidraçado = 0{,}15 \times \frac{0{,}32}{0{,}75} \cong 0{,}07 \quad (9)$$

- Alternativa 2: substituição dos envidraçados existentes por envidraçados do tipo Lumirta™ Aerogel da marca Pilkington Profilit® (figura 5.2), cuja ficha técnica também se encontra no Anexo IX do CD.

Este tipo de envidraçados utilizam uma camada de sílica amorfa, localizada na cavidade entre os dois vidros, e têm como propriedades um coeficiente de transmissão térmica de 0,19 [W/m2ºC] e um fator solar de 0,31.

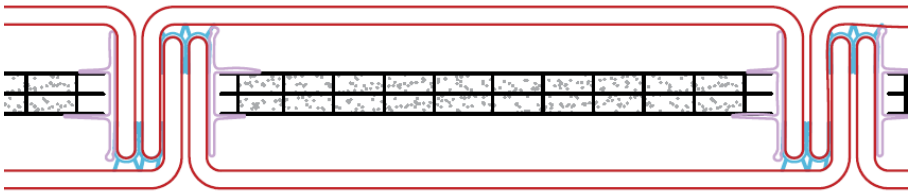

Figura 5.2 - Ilustração do envidraçado tipo Lumirta™ Aerogel [26]

Os resultados obtidos das simulações dinâmicas encontram-se representados na tabela 5.5 e na figura 5.3. Pela mesma razão mencionada no subcapítulo anterior, na análise dos resultados só foram considerados os mesmos consumos do Conjunto de Edifícios.

Tabela 5.5 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente transparente

	Consumos energéticos nas diversas alternativas [MWh/ano]			
	Base	**Real**	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**
Aquecimento	798	797,9	855,9	741,1
Arrefecimento	205,3	162,5	113,1	199,4
Ventilação	239,6	217,6	206,7	223,1
Bombas	98,4	94,6	91,1	96,2
Total	1341	1273	1266,8	1259,8

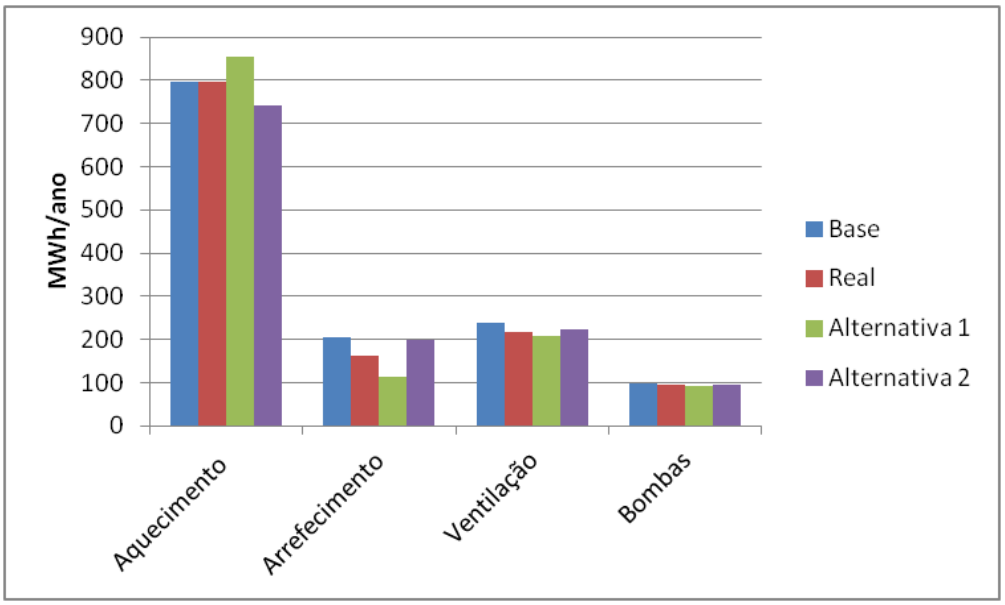

Figura 5.3 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente transparente

Com os resultados obtidos anteriormente, podem verificar-se dois factos.

Primeiramente, ao melhorar o fator solar do envidraçado, mantendo o seu coeficiente de transmissão térmica (alternativa 1), diminui-se a carga térmica transmitida por radiação solar, o que se traduz numa diminuição das necessidades de arrefecimento, em contraste com um aumento das necessidades de aquecimento.

Em segundo lugar, com o aumento do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado (alternativa 2), existem menos perdas por condução para o exterior, traduzindo-se numa diminuição das necessidades de aquecimento no período de inverno. Por sua vez, no período de verão, o mesmo aumento implica uma menor dissipação de calor, impondo desta forma um acréscimo nas necessidades de arrefecimento.

Assim, a escolha correta de um tipo de envidraçado exige uma análise cuidada de forma a encontrar-se o ponto ótimo entre as duas características mencionadas.

À semelhança do subcapítulo anterior, a tabela 5.6 apresenta os custos dos consumos energéticos anuais e a diferença entre a solução real e as alternativas analisadas.

Tabela 5.6 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente transparente

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença de custo de consumo [€/ano]
Base	Eletricidade	1513,3	117 331	146 150	-
	Gás	777,2	28 819		
Real	Eletricidade	1442,6	112 019	140 834	-5 316
	Gás	777,1	28 815		
Alternativa 1	Eletricidade	1377,5	106 841	137 715	-8 435
	Gás	834,3	30 874		
Alternativa 2	Eletricidade	1487	115 149	141 938	-4 212
	Gás	720,8	26 789		

Os valores do PRI calculados para cada alternativa estão representados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Período de retorno do investimento das diferentes alternativas de envolvente transparente

Alternativa	Previsão do investimento [k€]	Incremento no custo de aplicação [k€]	PRI [Anos]
Base	356	-	-
Real	482	128	23,6
Alternativa 1	575	219	26,0
Alternativa 2	578	222	52,7

Ao analisar-se o conjunto de resultados obtidos conclui-se que é preferível manter-se a solução real adotada. Esta afirmação pode ser sustentada pelas seguintes razões:

A solução base não apresenta uma grande diferença nas necessidades de aquecimento quando comparada com a solução real, facto que se deve ao elevado fator solar do envidraçado, compensando assim o baixo coeficiente de transmissão térmica do mesmo. Por outro lado, ao nível das necessidades de arrefecimento, o valor encontrado é claramente superior devido aos elevados ganhos por radiação. No conjunto global os consumos são mais elevados do que a solução real. Assim, e mesmo que este tipo de envidraçado apresente um preço inferior ao da alternativa instalada, o PRI encontrado de 23,6 anos aconselha a adoção da alternativa Real em detrimento da alternativa em análise.

O baixo fator solar imposto pelas películas de proteção solar, propostas na alternativa 1, reduz consideravelmente os consumos de arrefecimento do edifício. Em contrapartida a mesma característica conduz a um aumento considerável dos consumos de aquecimento. Na análise dos consumos globais do Conjunto de Edifícios verifica-se uma redução significativa dos custos anuais, contudo, o PRI apresentado na tabela 5.7 apresenta um valor superior à garantia das películas sugerida pelo fabricante (10 anos).

Por último, a alternativa 2 apresenta um custo energético anual e de instalação claramente superior à alternativa real, pelo que não faria sentido a sua aplicação.

5.2 Soluções Ativas

As soluções ativas podem ser dividias em dois tipos distintos: alteração dos sistemas de utilização/climatização; e alteração dos sistemas energéticos.

5.2.1 Análise da Implementação de Sensores de Luz Natural: *Dimmers*

Os sensores de luz natural - *Dimmers* - têm como objetivo diminuir os consumos de iluminação. O seu princípio de funcionamento baseia-se na comparação da intensidade de luz presente num determinado espaço com um valor pré-definido, e, caso a iluminação natural não seja suficiente, é acionada, de forma gradual, a iluminação artificial. Para além disso permitem ainda a ativação da iluminação tendo em conta a ocupação dos espaços.

A otimização da potência de iluminação utilizada reduz não só os consumos associados à iluminação, como apresenta uma redução dos ganhos internos durante a estação de verão e consequentemente das necessidades de arrefecimento.

A implementação desta opção no Software Trace é realizada associando uma variável "daylight factor", caracterizada por um algoritmo que define uma razão entre a luminância interior e exterior horizontal. O cálculo realizado pelo programa tem em consideração a área dos envidraçados, a sua orientação e as suas características de transmissão e reflexão luminosa.

No subcapítulo 5.1.2 concluiu-se que os envidraçados instalados apresentavam vantagens, em termos térmicos, relativamente às outras alternativas analisadas. As mesmas alternativas voltaram a ser comparadas, com a implementação dos *dimmers*, visto que poderiam existir

alterações tendo em conta os diferentes coeficientes de transmissão e reflexão de luminosidade.

Os resultados obtidos encontram-se descritos na tabela 5.8 e na figura 5.4. De salientar que nesta análise foram também acrescentados os consumos de iluminação aos restantes analisados anteriormente.

Tabela 5.8 - Consumos energéticos de cada alternativa de envolvente transparente com *Dimmers*

	Consumos energéticos nas diversas alternativas [MWh/ano]			
	Base	**Real**	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**
Aquecimento	814,7	813,3	866,6	754,3
Arrefecimento	190	149,2	108,8	185,9
Ventilação	237,3	215,1	205,4	220,5
Bombas	98,1	94,4	92	95,7
Iluminação	230,6	254,1	312,1	255,3
Total	1571	1526	1584,9	1511,7

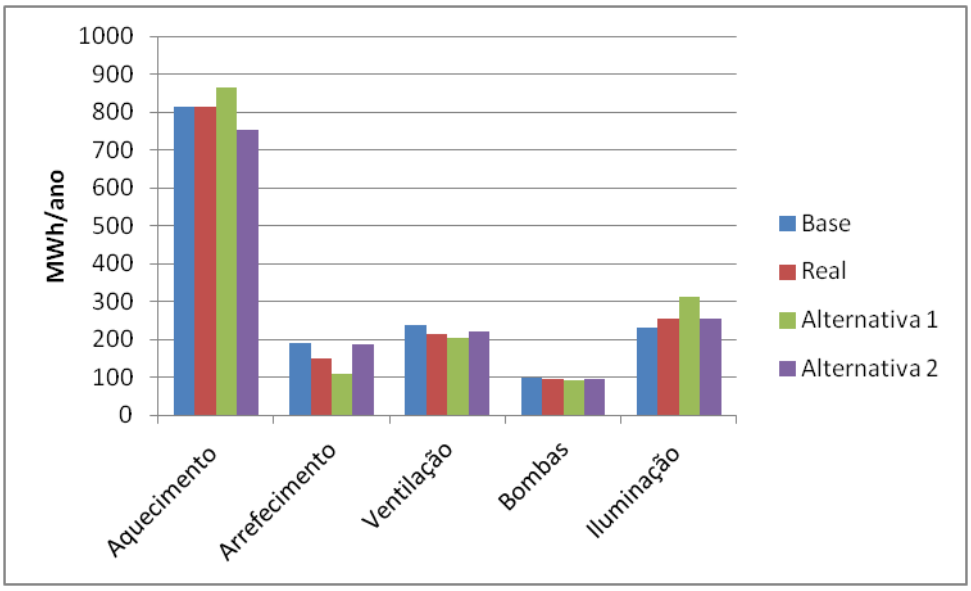

Figura 5.4 - Gráfico ilustrativo dos consumos das diferentes alternativas de envolvente transparente com *Dimmers*

Com os resultados apresentados é possível afirmar que, quanto maior o fator solar do envidraçado menor será a sua transmissão luminosa, pelo que as alternativas que apresentam um menor consumo de arrefecimento, apresentam um maior consumo de iluminação e vice-versa.

Na tabela 5.9 apresentam-se os valores calculados após a instalação dos *dimmers*. Através desta é possível conferir que a alternativa real continua a ser aquela que apresenta menores custos de consumo.

Tabela 5.9 - Custos energéticos das diferentes alternativas de envolvente transparente com *Dimmers*

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença de custo de consumo [€/ano]
Base	Eletricidade	1364,4	104 616	134 033	-
	Gás	793,8	29 417		
Real	Eletricidade	1319,3	101 444	130 810	-3 223
	Gás	792,4	29 366		
Alternativa 2	Eletricidade	1324	102 278	133 525	-508
	Gás	844,6	31 247		
Alternativa 3	Eletricidade	1364,2	104 663	131 924	-2 109
	Gás	733,9	27 262		

A comparação dos valores obtidos para os envidraçados instalados com e sem *dimmers* encontra-se apresentada na tabela 5.10 e na figura 5.5.

Tabela 5.10 - Consumos energéticos da alternativa Real com e sem *Dimmers*

	Consumos energéticos [MWh/ano]	
	Real s/*dimmers*	**Real c/ *dimmers***
Aquecimento	797,8	813,3
Arrefecimento	162,5	149,2
Ventilação	217,6	215,1
Bombas	94,6	94,4
Iluminação	361	254,1
Total	1633,5	1526,1

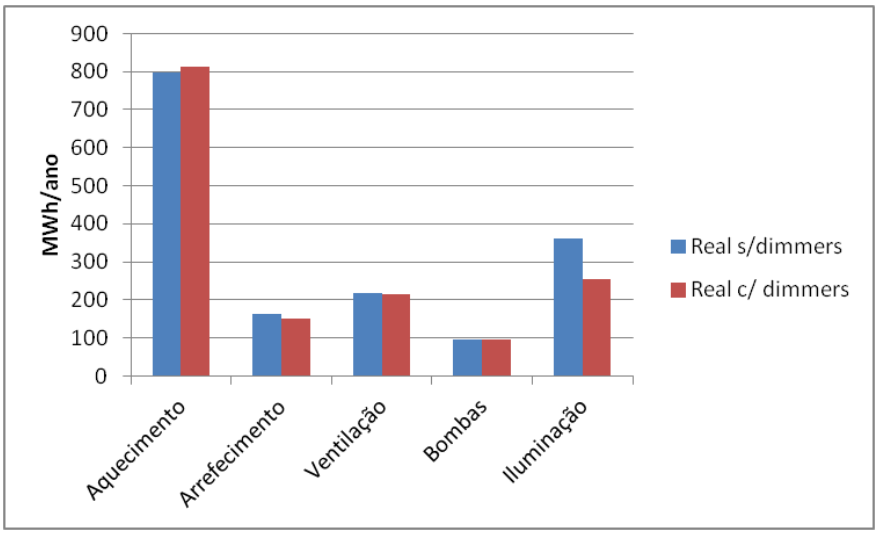

Figura 5.5 - Gráfico ilustrativo dos consumos da alternativa Real com e sem *Dimmers*

Com a instalação dos *dimmers* existe uma óbvia redução ao nível dos consumos de iluminação. Verificou-se ainda uma ligeira redução das necessidades de arrefecimento, devido à redução da carga térmica introduzida pela iluminação. Pela mesma razão verifica-se um diferencial positivo dos consumos na estação de aquecimento.

Na tabela 5.11 é feita a comparação dos consumos energéticos e dos respetivos custos para a alternativa real com e sem *dimmers*.

Tabela 5.11 - Custos energéticos da alternativa Real com e sem *Dimmers*

		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Poupança de custo [€/ano]
Real s/ dimmers	Eletricidade	1444,1	112 153	140 918	-
	Gás	775,7	28 765		
Real c/ dimmers	Eletricidade	1319,3	101 444	130 810	10 108
	Gás	792,4	29 366		

Na tabela 5.11 é apresentada a faturação anual prevista para as duas alternativas, sendo que a redução anual utilizando os *dimmers* é de cerca de 7%. Na tabela 5.12 apresentam-se os custos associados à instalação deste tipo de equipamento, assim como o PRI. Torna-se assim claro que esta solução deveria ter sido tida em conta como uma melhoria significativa da eficiência energética do edifício.

Tabela 5.12 - Custo da implementação de *Dimmers* e PRI

Custo médio de uma unidade de equipamento [€]	Número de equipamentos a instalar	Custo de implementação [€]	PRI [Anos]
50	274	13 700	1,4

5.2.2 Análise da Implementação da Técnica de Arrefecimento Gratuito: *Free-Cooling* e *Night Purge*

O arrefecimento gratuito permite insuflar o ar às condições exteriores sempre que a sua temperatura seja inferior à registada no interior do edifício. A comparação é efetuada através de sondas de temperatura instaladas no interior e no exterior do edifício, que fornecem a informação à unidade de Gestão Técnica Centralizada (GTC), que por sua vez controlará os *dampers* que promovem a passagem direta do ar exterior.

Neste subcapítulo serão abordadas duas formas distintas da técnica descrita, que serão aplicadas durante a estação de arrefecimento.

A primeira alternativa designa-se por *Free-Cooling* e consiste em insuflar ar à temperatura exterior, durante o horário de funcionamento do CRN, sempre que se verifique a condição mencionada anteriormente.

Night Purge é a segunda alternativa em análise e aplica o mesmo princípio. No entanto, a sua aplicação encontra-se limitada ao horário noturno e a zonas desocupadas. Esta opção aproveita assim as baixas temperaturas do ar registadas durante a noite, de forma a reduzir a carga de arrefecimento no arranque da utilização do hospital pela manhã.

Foi analisada ainda uma terceira possibilidade que permite a utilização das duas alternativas em conjunto.

Os resultados obtidos pela simulação das três alternativas encontram-se expressos na tabela 5.13 e na figura 5.6.

Tabela 5.13 - Consumos energéticos das alternativas de Arrefecimento Gratuito

	Consumos energéticos nas diversas alternativas [MWh/ano]			
	Real	***Free-Cooling***	***Night Purge***	***Free-Cooling + Night Purge***
Aquecimento	796,4	856,1	807,1	863,9
Arrefecimento	163,1	128,1	148,2	114,9
Ventilação	217,6	219,3	234,3	233,8
Bombas	95,5	75,4	92,7	70,2
Total	1272,6	1278,9	1282,3	1282,8

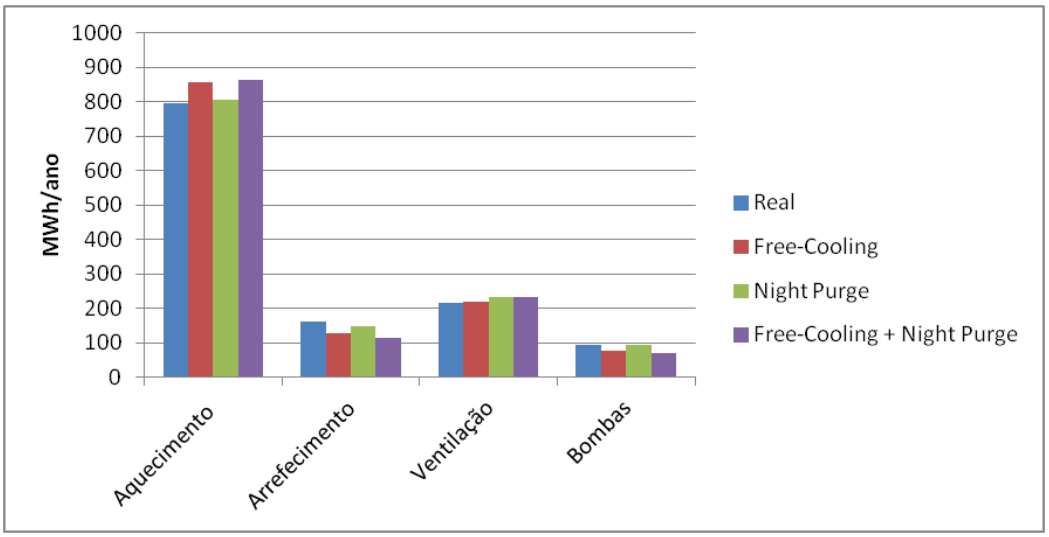

Figura 5.6 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas de Arrefecimento Gratuito

Os consumos de arrefecimento reduzem-se nas três soluções, como é possível verificar nos resultados apresentados, a redução é claramente superior na utilização do *Free-Cooling* do que no *Night Purge*, justificável pelo facto do segundo só reduzir os consumos de arrefecimento no arranque da utilização do edifício, enquanto a utilização do primeiro resulta numa redução prolongada durante todo o período de utilização.

O ligeiro aumento dos consumos de aquecimento em todos os casos analisados deve-se à possibilidade de existirem zonas e/ou alturas do dia onde será necessário aquecer o ar insuflado, de forma a atingir as condições de conforto, mesmo durante a estação de arrefecimento.

O aumento do período em que a ventilação se encontra ligada, na alternativa *Night Purge*, traduz-se no aumento dos consumos apresentados.

Por sua vez o consumo de alimentação das bombas diminui em todas as alternativas, motivado pela redução das necessidades de arrefecimento.

A tabela 5.14 traduz os custos energéticos das alternativas apresentadas. Através da consulta desta pode-se afirmar que a utilização da técnica de *Free-Cooling* em conjunto com o *Night Purge* é rentável pois permite uma redução dos consumos anuais do Conjunto de Edifícios em cerca de 2%, pelo que deveria ser uma alternativa a considerar.

Tabela 5.14 - Custos energéticos das diferentes alternativas de Arrefecimento Gratuito

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença [€/ano]
Real	Eletricidade	1444,1	112 149	140 915	-
	Gás	775,7	28 766		
Free-Cooling	Eletricidade	1391,9	108 400	139 249	-1 666
	Gás	833,6	30 849		
Night Purge	Eletricidade	1442,4	111 342	140 491	-424
	Gás	786,4	29 149		
Free-Cooling + Night Purge	Eletricidade	1387,3	107 429	138 559	-2 356
	Gás	841,4	31 130		

5.2.3 Análise da Substituição dos Ventiloconvectores e Aquecedores por Superfícies Radiantes

A opção de climatização de um espaço através de superfícies radiantes proporciona um ambiente mais confortável.

O sistema de aquecimento por pavimento radiante proporciona um aquecimento uniforme, provocando uma sensação de conforto na totalidade do espaço aquecido e sem pontos de calor excessivos que se podem tornar incomodativos. O calor é transmitido de forma radiativa, aquecendo o ar junto ao chão o qual ascende devido à diminuição de densidade e atinge temperaturas ideais na zona de conforto dos ocupantes, tronco e cabeça (figura 5.7).

Por sua vez, a opção de aplicar tectos radiantes com o intuito de vencer a carga térmica na estação de arrefecimento justifica-se pelo mesmo princípio mencionado no caso do pavimento radiante. No entanto, desta vez o ar arrefecido junto ao tecto torna-se mais denso pelo que irá descer, o que proporciona temperaturas pretendidas para a zona de conforto.

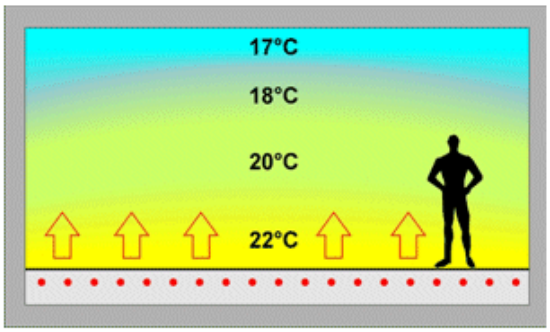

Figura 5.7 - Figura ilustrativa do efeito térmico do Pavimento Radiante [27]

Ambos os sistemas apresentam ainda como vantagens, não provocarem correntes de ar e a consequente movimentação de poeiras; os reduzidos custos de manutenção; e o facto de não retirarem espaço às zonas de utilização onde se encontram inseridos.

Assim, pelas razões mencionadas, decidiu-se avaliar o impacto energético da substituição dos ventiloconvectores e aquecedores por superfícies radiantes. Os resultados obtidos por simulação dinâmica encontram-se comparados na tabela 5.15 e na figura 5.8.

Tabela 5.15 - Consumos energéticos das alternativa de Superfícies Radiantes

	Consumos energéticos [MWh/ano]	
	Real	**Superfícies Radiantes**
Aquecimento	795,8	737,6
Arrefecimento	163,3	126,3
Ventilação	217,6	188,3
Bombas	95,5	92,8
Total	1272,2	1145

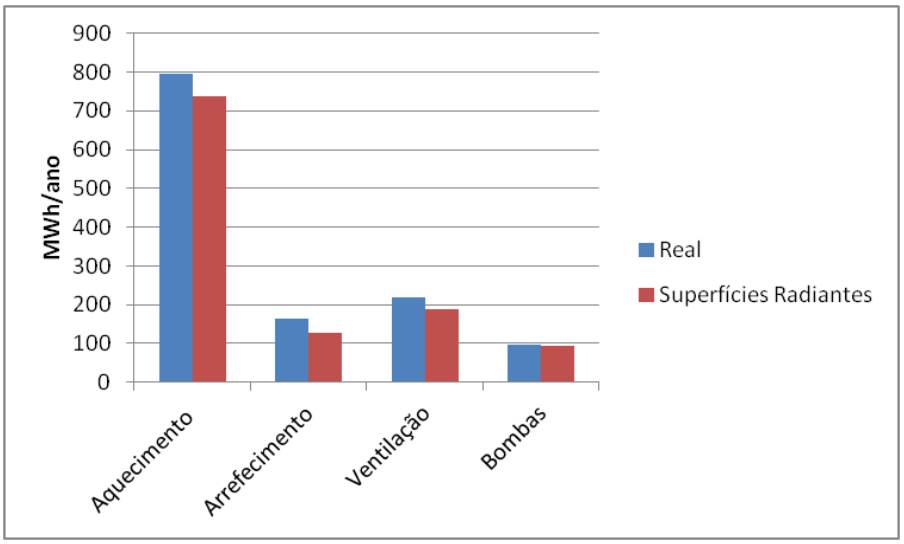

Figura 5.8 - Gráfico ilustrativo dos consumos da alternativa de Superfícies Radiantes

As menores temperaturas de funcionamento das superfícies radiantes, quando comparadas com as dos ventiloconvectores, são refletidas nos menores consumos, quer de aquecimento quer de arrefecimento.

Por sua vez, a substituição dos ventiloconvectores pelas superfícies radiantes permite também uma redução dos consumos de ventilação, motivada pela inexistência de ventiladores neste tipo de sistema terminal.

Apesar destas reduções dos consumos, este tipo de sistemas apresenta um maior tempo de resposta para vencer as cargas térmicas do que os ventiloconvectores ou aquecedores, facto apoiado pelo elevado número de horas em que as condições de conforto não são correspondidas (Relatório Trace - Anexo C).

De forma a solucionar o problema anteriormente mencionado deve-se programar a GTC de forma a otimizar o arranque e a paragem do sistema de superfícies radiantes, minimizando assim o efeito provocado pelo atraso no tempo de resposta inerente a este tipo de sistema.

Tabela 5.16 - Custos energéticos da alternativa de Superfícies Radiantes

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença
Real	Eletricidade	1444,3	112 165	140 910	-
	Gás	775,1	28 745		
Superfícies Radiantes	Eletricidade	1374,6	106 378	133 011	-7 899
	Gás	716,5	26 633		

A redução dos custos energéticos representada na tabela 5.16 representa um retorno do investimento de 19 anos, calculado com os dados apresentados na tabela 5.17.

No entanto, para o cálculo do PRI não foi considerada a diferença entre os custos de manutenção dos dois sistemas. Contudo, os custos de manutenção dos Ventiloconvectores são superiores aos das superfícies radiantes, pelo que o PRI será, à partida, ainda menor do que o apresentado e por isso esta solução poderia ser considerada de forma a melhorar o desempenho energético.

Tabela 5.17 - Cálculo do PRI do sistema de Superfícies Radiantes

Área abrangida por Superfícies Radiantes [m^2]	5 977
Diferencial de preço entre VC's e as Superfícies Radiantes [€]	25
Diferença no custo de instalação [€]	149 425
PRI [Anos]	**18.9**

5.2.4 Análise de Implementação de um Sistema Geotérmico

Um sistema geotérmico utiliza o solo para absorver ou rejeitar calor. Com um grande poder de armazenamento de energia, o solo apresenta uma temperatura quase constante, cerca de 18ºC, durante todo o ano, quando medida a uma profundidade superior a 6 metros (figura 5.9).

As trocas de energia são realizadas por permutadores de calor geotérmicos, que podem ser verticais ou horizontais. Em instalações de grandes dimensões, de que o caso em estudo é um exemplo, os verticais (figura 5.10) são os mais utilizados, devido à menor área necessária quando comparados com os horizontais.

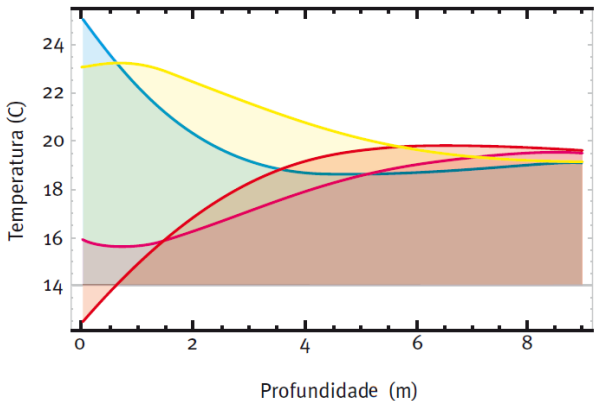

Figura 5.9 - Temperatura média do solo nas diversas estações consoante a profundidade [28]

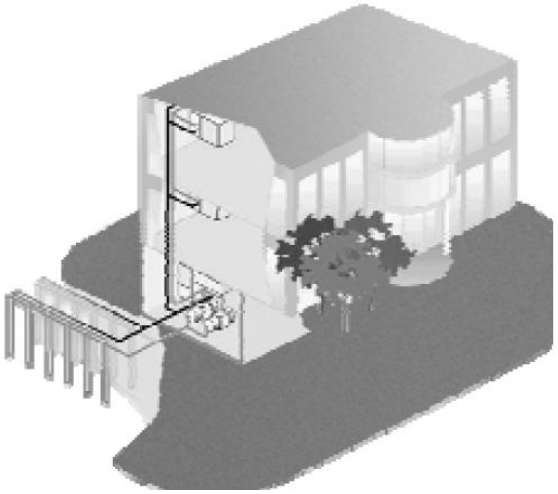

Figura 5.10 - Figura ilustrativa de uma instalação com Permutadores de Calor Geotérmicos Verticais [28]

Assim, no inverno o solo é usado como fonte fornecedora de calor ao evaporador enquanto no verão é usado como fonte recetora de calor do condensador. Este aproveitamento reduz o trabalho do compressor e, consequentemente, os consumos de energia.

A utilização de dois *chillers* - bombas de calor arrefecidos a água em paralelo (*Bidirectional Cascate*) com aproveitamento da geotermia (figura 5.11) permite satisfazer as necessidades de aquecimento, de arrefecimento, ou ambas em simultâneo.

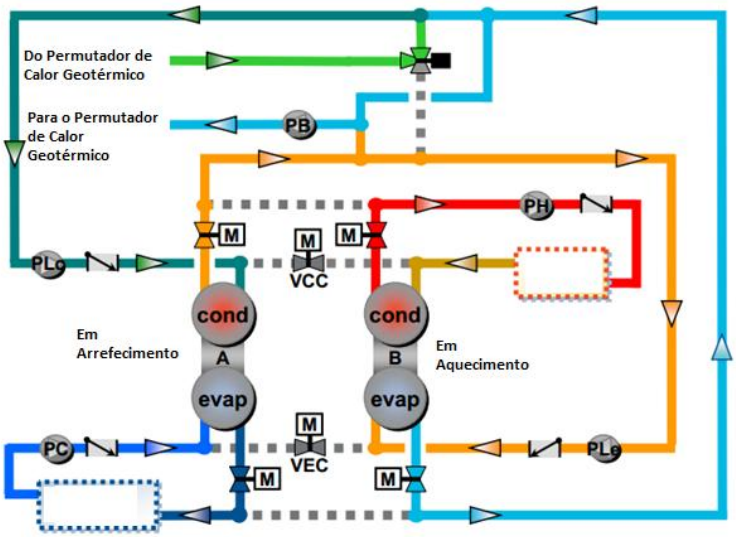

Figura 5.11 - Figura ilustrativa do funcionamento de um *Chiller* - Bomba de calor Geotérmico [29]

Foram analisadas duas alternativas distintas para a utilização de energia geotérmica:

- Alternativa 1: Nesta alternativa são utilizados dois *chillers* - bomba de calor a água com aproveitamento geotérmico, implementado no Trace da forma descrita anteriormente, em que a potência total de arrefecimento é igual à potência global (900kW) do Conjunto de Edifícios.

- Alternativa 2: A potência dos *chillers* - bombas de calor geotérmicos é reduzida à carga média de utilização (100kW) do Conjunto de Edifícios, sendo que a potência das horas de pico continuará a ser fornecida por *chillers* de características idênticas aos da solução Real.

Em ambos os casos continuariam a existir caldeiras a gás natural como apoio ao aquecimento, as quais atuariam sempre que as necessidades de aquecimento fossem superiores à capacidade de produção de calor dos *chillers* - bombas de calor.

Na tabela 5.18 e na figura 5.12 são apresentados apenas os consumos que sofrem alterações, obtidos por simulação, para as duas alternativas.

Tabela 5.18 - Consumos energéticos das alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos

	Consumos energéticos [MWh/ano]		
	Real	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**
Aquecimento Elétrico	22,4	225,8	72,9
Aquecimento Gás	769,7	103,9	580,1
Arrefecimento	160,1	143,8	163,2
Bombas	93,2	158,7	99,8
Total	1045,4	632,2	916

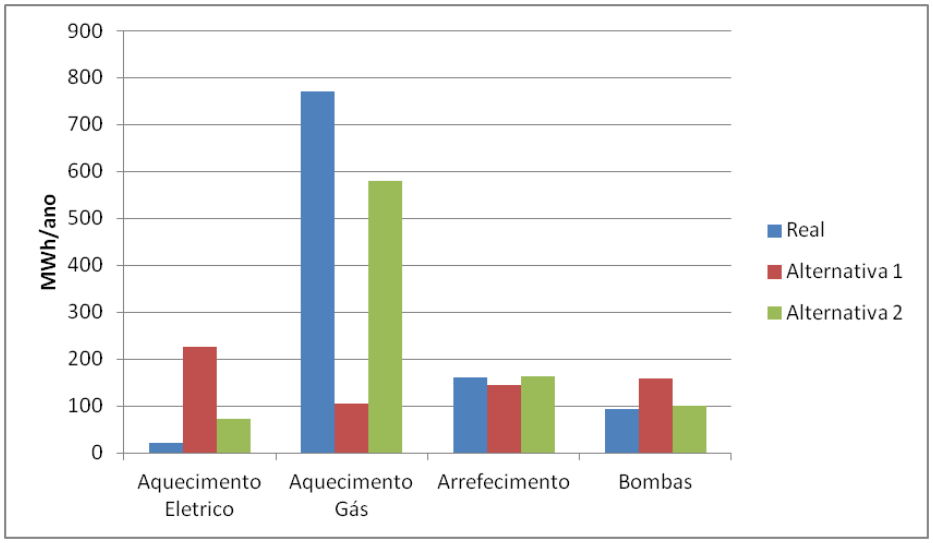

Figura 5.12 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos

Verifica-se, através da análise dos resultados obtidos, que a implementação da alternativa 1 reduziria para mais de metade os consumos de aquecimento no CRN. Em contraste com a ténue redução nos consumos de produção de frio. Os mesmos resultados são alcançados, embora a uma escala mais reduzida, para a alternativa 2.

A razão pela qual a utilização de *chillers* - bombas de calor geotérmicos, reduz de uma forma mais acentuada os consumos de aquecimento prende-se à elevada eficiência apresentada por este tipo de equipamentos quando comparados com as caldeiras a gás. O seu $COP_{Nominal}$ (*Coefficient of Performance*) em aquecimento é de 3,2 o que significa, a título de exemplo, que para se produzir 100kWh de energia para aquecimento é necessário despender cerca de 31,25kWh de eletricidade. Em contraste com os 108,7kWh consumidos por uma caldeira a gás natural com uma eficiência de 92%.

Por sua vez, o $COP_{Nominal}$ dos equipamentos em análise no arrefecimento é igual a 5. Refletindo uma menor melhoria relativamente ao $COP_{Nominal}$ dos equipamentos instalados, 3,2. Desta forma, a diferença registada nos consumos de arrefecimento não é tão expressiva em comparação com os consumos de aquecimento.

A redução da diferença de temperaturas entre a fonte fria e a fonte quente influencia de forma positiva o COP, reduzindo o trabalho do compressor. Assim, estando o solo a uma temperatura média de 18ºC, a eficiência de um *chiller* - bomba de calor apresenta uma melhoria significativa quando utiliza o solo como evaporador ou como condensador.

O ligeiro aumento dos consumos de arrefecimento na alternativa 2 deve-se ao facto do seu dimensionamento ter sido pensado para ser utilizado fora dos períodos de pico, períodos esses em que a temperatura exterior poderá ser inferior a 18ºC. Nesta situação os *chillers* a ar instalados apresentariam uma melhor eficiência e consequentemente um menor consumo.

Os consumos de bombagem aumentam claramente na alternativa 1 devido aos grandes caudais de fluído frigorigéneo (água com adição de glicol) que circulam nos permutadores de calor geotérmicos. Na alternativa 2, o mesmo consumo, embora seja superior à solução Real, apresenta valores mais reduzidos do que na alternativa 1 em consequência da redução do número de permutadores de calor e consequentemente do caudal circulado.

Na tabela 5.19 encontram-se representados as reduções de custos energéticos conseguidas com a implementação de cada uma das medidas.

Tabela 5.19 - Custos energéticos da alternativas com *Chillers* - Bombas de Calor Geotérmicos

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença [€/ano]
Real	Eletricidade	1438,9	111 686	140 293	-
	Gás	771,3	28 607		
Alternativa 1	Eletricidade	1685,5	129 890	134 525	-5 768
	Gás	105,5	4 635		
Alternativa 2	Eletricidade	1496,7	116 136	137 917	-2 376
	Gás	581,7	21 781		

A tabela 5.20 apresenta os resultados obtidos na análise do retorno de investimento das duas alternativas simuladas, tendo em conta o custo de instalação das sondas geotérmicas necessárias para a dissipação de calor. De salientar que a potência total a ser dissipada pelos permutadores de calor deve ser igual à potência de arrefecimento do *chiller* mais o trabalho do compressor.

Tabela 5.20 - Análise do retorno de investimento das alternativas com Geotermia

Potência total a ser dissipada pelas sondas geotérmicas [KW]	**1218,6**	**124**
Potência dissipada por metro de permutador de calor [W]	100	100
N.º de metros	12 186	1240
N.º de permutadores de calor com 150 m	122	13
Custo médio de cada permutador de calor [€]	7 500	7 500
Custo total do investimento [€]	915 000	97 500
PRI [Anos]	**158.4**	**41.0**

Dos dados apresentados anteriormente, é possível afirmar-se que, de forma a rentabilizar-se uma instalação geotérmica, esta deve ser dimensionada para o consumo médio do edifício (alternativa 1). O dimensionamento dos *chillers* - bombas de calor geotérmicos, para a totalidade da carga térmica (alternativa 2), implicaria um elevado número de sondas geotérmicas. O que representa um investimento elevado, que conduziria a um PRI inviável.

5.2.5 Análise da Implementação de Caldeiras a Biomassa

A Biomassa é considerada a maior fonte de energia renovável no mundo atual. No aquecimento, a fonte mais comum de utilização deste tipo de energia são os *pellets*, os quais não são mais do que combustível orgânico com formato cilíndrico constituídos por serrim de resíduos de madeira ou de outras matérias florestais (figura 5.13).

Este tipo de energia é considerado renovável pelo facto de provir de florestas renováveis e produzir um efeito CO_2 neutro, visto se considerar que o CO_2 libertado na queima é capturado pelas árvores de substituição.

Figura 5.13 - Figura ilustrativa das *Pellets* utilizadas nas caldeiras a biomassa

Pelas razões mencionadas, a substituição das caldeiras instaladas por caldeiras a biomassa justifica-se do ponto de vista ambiental. Neste subcapítulo pretende-se analisar a mesma alteração do ponto de vista económico. Assim sendo, foram analisadas duas alternativas distintas:

- Alternativa 1: substituição das três caldeiras existentes por três caldeiras a biomassa, com 430 kW de potência cada e uma eficiência nominal de 89%.

- Alternativa 2: substituição das três caldeiras existentes por uma única caldeira a biomassa de 1160 kW e também de eficiência 89%.

As caldeiras são do modelo Osaka da marca Zantia®, cuja a ficha técnica se encontra no Anexo IX do CD.

Através da simulação dinâmica obtiveram-se os resultados energéticos apresentados na tabela 5.21 e na figura 5.14. Apenas são referidos os consumos relativos ao aquecimento do CRN, visto serem os únicos alvo de alterações com a implementação de caldeiras a biomassa.

Tabela 5.21 - Consumos energéticos das alternativas com Caldeiras a Biomassa

	Consumos energéticos [MWh/ano]		
	Real	Alternativa 1	Alternativa 2
Aquecimento Gás	766,5	0	0
Aquecimento *Pellets*	0	785,6	834,6
Aquecimento Eletricidade	22,4	57,7	109,1

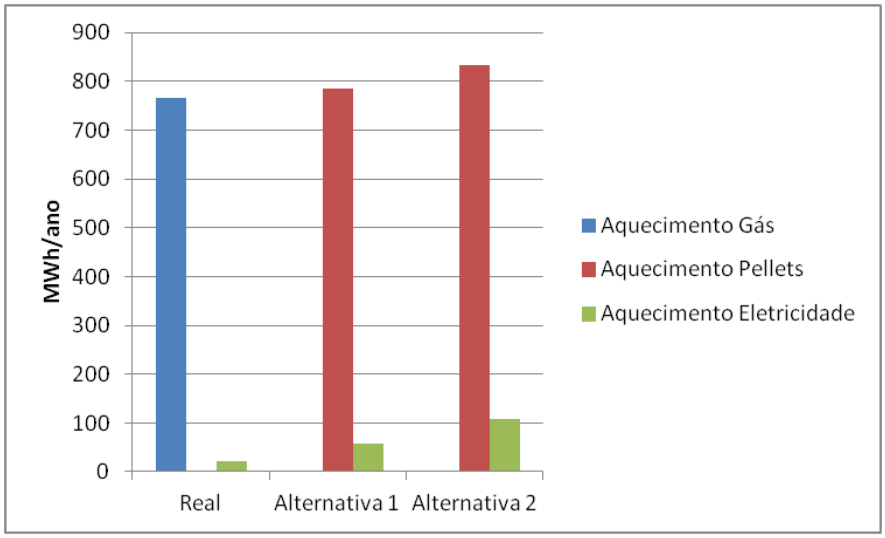

Figura 5.14 - Gráfico ilustrativo dos consumos das alternativas com Caldeiras a Biomassa

O aumento dos consumos elétricos na alternativa 1 e 2 está relacionado com o facto das caldeiras a biomassa apresentarem, como fonte de alimentação, um motor elétrico associado a um parafuso sem fim. Os consumos deste tipo de motor são cerca de 1% da potência máxima da caldeira. Assim, a implementação de três caldeiras de menor potência, que irão funcionar de forma sequencial, em alternativa a uma de potência mais elevada, reflete-se numa redução significativa dos consumos elétricos.

Ao mesmo tempo a alternativa 2 apresenta uma potência mínima de utilização elevada (375kW) facto que faz aumentar os consumos, mesmo quando as necessidades de aquecimento são reduzidas, traduzindo-se num aumento do consumo de *pellets*.

A tabela 5.22 apresenta os custos energéticos relativos a cada alternativa. No cálculo do custo energético para as *pellets* assumiu-se um valor do poder calorífico de 5,23 kWh/Kg e um preço médio de mercado de 214 €/ton, o que resulta num valor de 0,04 €/kWh.

Tabela 5.22 - Custos energéticos da alternativa com Caldeiras a Biomassa

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença
Real	Eletricidade	1442,6	112 019	140 512	-
	Gás	768,1	28 493		
	Pellets	0	0		
Alternativa 1	Eletricidade	1477,9	114 436	143 617	+3 105
	Gás	1,6	894		
	Pellets	785,6	28 287		
Alternativa 2	Eletricidade	1524	117 602	148 547	+8 035
	Gás	1,6	894		
	Pellets	834,6	30 051		

Conclui-se que a utilização de caldeiras a biomassa representa um acréscimo nos custos energéticos. No entanto, tendo em conta os fatores ambientais, não menos importantes do que os fatores económicos, a utilização da alternativa 1 poderia ser equacionada. Tal opção representaria uma redução significativa do impacto ambiental do CRN que seria desde logo refletida na sua classificação energética, como pode ser comprovado pela seguinte afirmação:

"Não estando prevista a introdução da contribuição dos sistemas de energias renováveis directamente no RCCTE - STE, recomenda-se que, seja descontado a contribuição das renováveis no cálculo do IEE_{nom}*, o que, no caso referido, se traduz na atribuição de um valor nulo para o de IEE de aquecimento."* (E.25 - Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Versão 2.0 de Maio de 2011 - ADENE).

5.3 Solução Ótima

Nos dois capítulos anteriores foram apresentadas diferentes soluções com o objetivo de reduzir os consumos energéticos do CRN. Neste capítulo serão analisados os resultados encontrados por simulação dinâmica com a implementação em simultâneo das soluções consideradas benéficas, quer para a redução dos consumos (*Dimmers*, Arrefecimento Gratuito, Superfícies Radiantes e *Chillers* - Bombas de Calor Geotermicos), quer para a redução da emissão de CO_2 (Caldeiras a Biomassa).

Na tabela 5.23 encontram-se comparados os consumos energéticos do CRN, com e sem as alternativas propostas. São apenas apresentados os tipos de consumo que sofreram alterações com as alternativas energéticas apresentadas.

Tabela 5.23 - Comparação entre os consumos energéticos da simulação Real e Ótima

	Consumos energéticos [MWh/ano]	
	Simulação Real	**Simulação Ótima**
Iluminação	361	254,1
Aquecimento - Electrico	22,5	95,1
Aquecimento - Gás	776,2	0
Aquecimento - Pellets	0	577,5
Arrefecimento	160	93,9
Bombas	93,2	62,8
Ventilação	217,6	204,4
Total	1630,5	1287,8

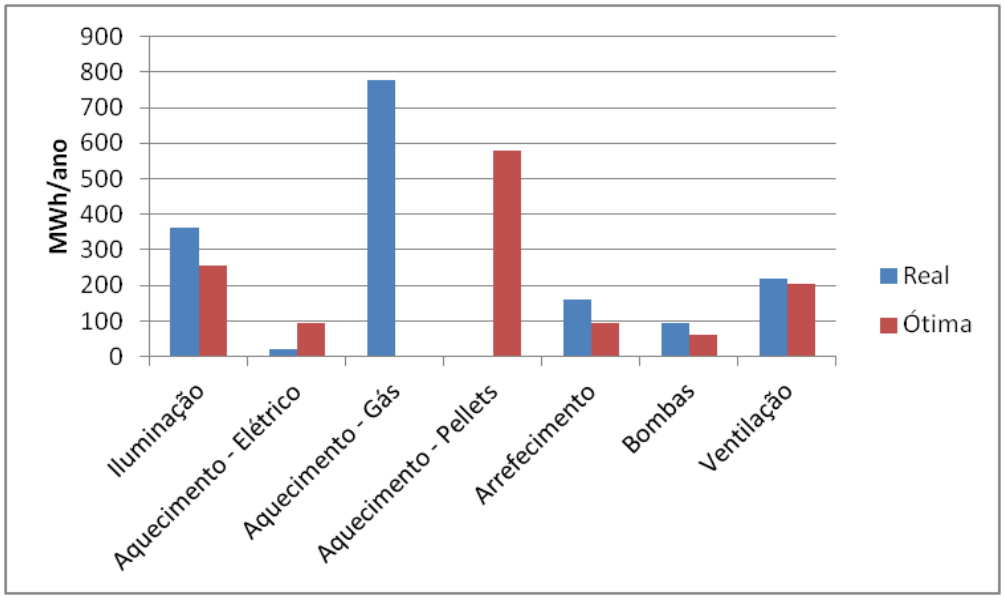

Figura 5.15 - Figura ilustrativa da comparação dos consumos entre a solução Real e Ótima

Os valores obtidos demonstram uma redução nos diversos tipos de consumo associados aos sistemas AVAC, assim como nos consumos de iluminação. Atingindo um redução total de 352,7 MWh/ano que corresponde a 21% dos valores obtidos na Simulação Real.

Na tabela 5.24 encontram-se comparados os custos de ambas as simulações, sendo possível verificar uma redução anual de quase 20 mil euros.

Tabela 5.24 - Custos energéticos da alternativa ótima

Alternativa		Consumo Energético Anual [MWh/ano]	Custo Energético Anual [€/ano]	Total [€/ano]	Diferença
Real	Eletricidade	1438,9	111 704	140 545	
	Gás	777,8	28 841		
	Pellets	0	0		
Ótima	Eletricidade	1292,1	98 892	120 578	-19 967.
	Gás	1,6	894		
	Pellets	577,5	20 792		

Os custos associados à instalação das diversas alternativas encontram-se resumidos na tabela 5.25, totalizando um acréscimo relativamente aos equipamentos instalados de aproximadamente 256 mil euros, o que representa um PRI de 12,8 anos.

Tabela 5.25 - Análise do PRI da solução ótima

	Dimmers	Pavimento Radiante	Arrefecimento Gratuito	Geotermia	Biomassa	Total	PRI Anos
Custo [€]	13 700	149 425	-	93 000	-	256125	**12,83**

5.3.1 Simulação ótima Nominal

Por último, realizou-se uma simulação Nominal respeitando os dados de utilização, já mencionados no subcapítulo 4.1.1, com o intuito de se calcular a nova classificação obtida pelo CRN caso fossem implementadas as alterações propostas.

Ao atualizar-se a folha Excel utilizada no capítulo 4, obteve-se uma redução no $IEE_{Nominal}$ de 22,01 para **19,05** [Kgep/m^2.ano] que corresponde a uma melhoria da classe energética de A para **A**$^+$ (figura 5.15). Relativamente às emissões de CO_2 o CRN iria reduzir de 627,4 para **524,2** toneladas de CO_2 por ano.

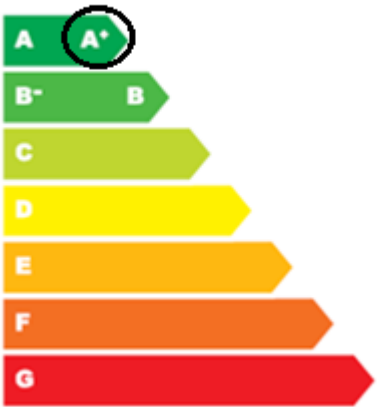

Figura 5.16 - Classificação energética obtida após aplicação das melhorias propostas

6 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

A realização do presente projeto permite afirmar que a análise da eficiência energética de um edifício é uma tarefa minuciosa que exige um vasto conhecimento dos projetos de Arquitetura, Iluminação e AVAC.

A fase de criação do modelo obriga a um estudo pormenorizado do projeto de Arquitetura, visto que a correta definição das dimensões da envolvente adquire uma elevada importância para a aproximação do modelo de simulação à realidade. Assim, foi necessário analisar as plantas e alçados do Conjunto de Edifícios, de forma a conseguir introduzir as dimensões com a maior precisão possível no Software Revit, o qual se revelou uma ferramenta essencial nesta fase do trabalho. A impossibilidade de reunir a totalidade das plantas e alçados revelou-se um contratempo que foi prontamente superado com a averiguação no local da obra.

A caracterização do modelo é a fase que sucede à anterior, e implica um profundo conhecimento do funcionamento do Software Trace, pois é neste que serão introduzidas todas as características da envolvente, iluminação e sistemas AVAC. O Trace é um programa complexo, onde é possível definir de forma detalhada todos os elementos do modelo de simulação. Por esta razão, é necessária especial atenção na introdução dos dados, visto que qualquer erro pode comprometer os resultados obtidos na simulação.

É também nesta fase que é necessário definir os perfis de utilização (ocupação, iluminação e equipamentos) do edifício em estudo, sendo que estes têm especial influência nos consumos obtidos na simulação. Esta tarefa revelou-se uma das mais complexas do projeto, pelo facto de o CRN ainda não se encontrar em funcionamento.

Após a conclusão do modelo do Conjunto de Edifícios foram realizados dois tipos de simulação dinâmica detalhada e com objetivos distintos.

Uma simulação Nominal, de acordo com a legislação portuguesa em vigor, com a qual se obteve a classificação energética A. Esta etiqueta revela que o CRN é um edifício bem projetado e energeticamente responsável.

Por sua vez, a simulação Real foi realizada com o intuito de avaliar o peso dos diversos elementos na fatura energética da unidade hospitalar, assim como realizar uma previsão dos custos energéticos inerentes à mesma. Esta simulação serviu também como base de comparação para o estudo de alternativas energéticas ainda mais rentáveis e eficientes.

As alternativas passivas analisadas permitiram concluir que o projeto de Arquitetura foi corretamente elaborado tendo em conta a localização e o clima onde o complexo hospitalar se encontra inserido. .

A procura de alternativas ativas teve como objetivo reduzir os consumos com maior peso na fatura energética.

A iluminação interior apresentará não só uma grande contribuição nos consumos energéticos do CRN mas também uma importante fonte de ganhos internos, ganhos estes que aumentam a temperatura dos espaços, e, por consequência, as necessidades de arrefecimento. Assim decidiu-se simular a implementação de sensores de luz natural - *dimmers*. Através da análise dos resultados obtidos verificou-se uma diminuição anual dos custos energéticos de 7% com um retorno de investimento inferior a 2 anos.

A segunda medida proposta tem como objetivo reduzir os consumos de arrefecimento do Conjunto de Edifícios, e consiste em insuflar ar à temperatura exterior sempre que esta seja inferior à do interior do edifício. Foi também analisada, em conjunto com a hipótese anterior, a possibilidade de manter a ventilação ligada durante a noite, diminuindo assim os consumos de arrefecimento aquando do arranque pela manhã. Com a simulação das duas técnicas em conjunto obteve-se uma redução anual dos custos energéticos de 2%.

A utilização de superfícies radiantes, em detrimento dos ventiloconvectores e aquecedores, teve como propósito reduzir os consumos de arrefecimento, aquecimento e ventilação. Da simulação dinâmica e do estudo do custo de implementação verificou-se uma redução anual da faturação energética de 9% e um PRI de 19 anos. Esta opção apresenta ainda como vantagem a reduzida necessidade de manutenção, quando comparada com os ventiloconvectores.

O estudo da implementação de energia geotérmica, através da utilização de *chillers* com aproveitamento geotérmico, revelou uma diminuição nos consumos inerentes ao aquecimento, consumos estes que têm o maior peso nos gastos energéticos do edifício. Com esta análise foi ainda possível concluir que a implementação de *chillers* de aproveitamento geotérmico para a totalidade da potência de um edifício é economicamente inviável visto o longo PRI apresentado (158 anos). Deste modo uma solução geotérmica deve ser dimensionada para a potência média de utilização do edifício. Seguindo esta ideia, a alternativa apresentou um PRI menor (41 anos).

Por último, a aplicação de caldeiras a Biomassa não poderia deixar de ser analisada pelo facto da biomassa ser considerada uma energia renovável e não poluente. Apesar da sua exploração ser ligeiramente mais cara (aumento dos custos anuais de 2%), a redução da emissão de CO_2 imposta por esta opção torna-a interessante.

Combinando o conjunto de soluções apresentadas, numa única simulação, o CRN obteve uma redução dos consumos de 20%, o que em termos nominais se reflete numa classificação Energética A^+. De salientar que as melhorias propostas foram analisadas do ponto de vista teórico, pois o edifício encontra-se já numa fase de arranque de funcionamento.

Após terem sido analisadas diversas alternativas de redução dos consumos do CRN, seria interessante como trabalho futuro efetuar-se um estudo de implementação de alternativas de produção de energia, como por exemplo a utilização da técnica de cogeração ou a implementação de painéis fotovoltaicos.

Por fim, não posso terminar sem afirmar que a oportunidade de realizar este trabalho se revelou uma experiência enriquecedora a nível pessoal, académico e profissional. Pude aprender a trabalhar com um Software de simulação dinâmica detalhada, que se poderá revelar uma ferramenta importante na minha futura vida profissional. Para além disso, as experiências vividas no acompanhamento de uma obra da envergadura do CRN revelaram-se uma importante fonte de ligação entre a teoria e prática.

7 Referências e Bibliografia

[1] **http://www.efacec.pt,** em 25/4/2012 pelas 16h

[2] **http://www.rga.pt,** em 25/4/2012 pelas 17h

[3] **Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE).** Decreto-Lei N.º78/2006 de 4 de Abril

[4] **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**. Decreto - Lei N.º 80/2006 de 4 de Abril

[5] **Regulamento de Sistemas Energéticos e Climatização de Edifícios (RSECE)**. Decreto - Lei N.º 79/2006 de 4 de Abril

[6] **Software Google Earth**

[7] **Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus-Dias**. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) & Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Lisboa - 1989

[8] **Santos, Pina do; Matias, Luis. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Lisboa - 2006

[9**] Perguntas e Respostas sobre o RCCTE**. Agência para a Energia (ADENE). Maio de 2011

[10] **ASHRAE Handbook - Fundamentals 2005.** American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Atlanta 2005.

[11]] **http://www.ashrae.com**, em 5/4/2012 pelas 10h

[12] **Fichas de seleção das Unidades de tratamento de ar da marca Syatmair®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Utas Systmair)

[13] **Catálogo de Ventiloconvectores da marca Eurapo®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Ventiloconvectores)

[14**] Catálogo de Aquecedores da marca Focus®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Radiadores)

[15] **Fichas de seleção das Unidades de tratamento de ar compactas da marca Aircalo®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - UTAS Aircalo)

[16] **Afonso, Clito. Sebenta de Termodinâmica II - Sistemas de Conversão de Energia.** FEUP - Porto

[17] **Ficha de seleção das Unidades Close Control da marca Uniflair®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Unidades de *Close Control*)

[18] **Catálogo de Unidades Desumidificadoras da marca Pegasus®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Unidades Desumidificadoras)

[19] **Fichas de Seleção de Ventiladores da marca Sodeca®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Ventiladores)

[20] **Catálogo de Caldeiras da marca Blowtherm®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Caldeiras)

[21] **Fichas de Seleção dos *Chillers* da marca Daikin®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - *Chillers*)

[22] **Catálogos de Bancos de Gelo da marca Fafco®** (Anexo V do CD - Compilação Técnica - Banco de Gelo)

[23] **TRACE700 User's Manual**; Version 6.2;Trane; American Standard; 2010

[24] **Perguntas e Respostas sobre o RSECE;** Agência para a Energia (ADENE); Maio de 2011

[25]] **http://www.edp.pt** em 10/5/2012 pelas 10h

[26] **Catálogos de películas Lumirta®** (Anexo IX do CD - Alternativas Energéticas - Películas Lumirta)

[27] **Babiak, Jan; Olesen, Bjarne W.; Petras, Dusan. Low Temperature Heating and High Temperatura Cooling.** Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations - REHVA; 2007

[28**] Asociacíon Técnica Española de Climatizacíon y Refrigeración (ATECYR) - Instituto para la Diversificacón y Ahorro de la Energia. Guía técnica de Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica.** Madrid 2010

[29] **Trane.** "**Central Geothermal Systems - Engineers Newsletter Live**"

ANEXO A - Resultados da Simulação Nominal: Relatório TRACE700

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tot energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Nominal		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	336.1	17.2	109
Lighting - Unconditioned	Electricity	44.8	2.3	14
Space Heating	Electricity	20.6	1.1	7
	Gas	521.2	26.7	602
	Wood	0.0	0.0	0
Space Cooling	Electricity	172.1	8.8	234
Pumps	Electricity	92.4	4.7	29
Heat Rejection	Electricity	8.9	0.5	17
Fans - Conditioned	Electricity	155.1	8.0	33
Receptacles - Conditioned	Electricity	529.6	27.2	139
	Gas	54.5	2.8	9
Receptacles - Unconditioned	Electricity	13.1	0.7	4
Total Building Consumption		**1,948.5**		

Relatório de resultados Trace, Simulação Nominal do CRN

ANEXO B - Resultados da Simulação Real: Relatório TRACE700

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tot energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.1	91
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16
Space Heating	Electricity	22.5	1.0	14
	Gas	776.2	35.0	748
	Wood	0.0	0.0	0
Space Cooling	Electricity	160.0	7.2	288
Pumps	Electricity	93.2	4.2	33
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125
	Gas	1.6	0.1	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7
Total Building Consumption		**2,216.7**		

		* Alt-1 Simulacao Real
Total	**Number of hours heating load not met**	108
	Number of hours cooling load not met	701

	* Alt-1 Simulacao Real	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,438.9	111,704
Gas	777.8	28,841
Wood	0.0	0
Total	**2,217**	**140,545**

Relatório de resultados Trace, Simulação Real do CRN

ANEXO C - Resultados das Simulações das diferentes alternativas analisadas: Relatórios TRACE700

C.1 - Resultados da análise das alternativas passivas

C.1.1 - Resultados da análise das alternativas para a envolvente opaca

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Alternativa 1			Alt-3 Alternativa 2			Alt-4 Alternativa 3		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.0	91	303.1	97.3	90	303.1	97.3	90	303.1	97.3	90
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	57.9	117.1	18	57.9	117.1	18	57.9	117.1	18
Space Heating	Electricity	22.4	1.0	14	24.2	108.0	14	20.0	89.3	7	19.9	88.7	7
	Gas	775.4	34.9	764	731.1	94.3	727	706.4	91.1	687	692.0	89.2	647
Space Cooling	Electricity	162.5	7.3	288	165.9	102.1	220	170.4	104.8	216	170.9	105.2	218
Pumps	Electricity	94.6	4.3	33	94.0	99.4	31	93.9	99.2	30	93.8	99.2	29
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	8.6	98.0	15	8.4	95.5	15	8.3	94.5	15
Fans - Conditioned	Electricity	217.7	9.8	47	214.8	98.7	46	213.3	98.0	46	212.9	97.8	46
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7
Total Building Consumption		**2,219.7**			**2,177.0**			**2,150.7**			**2,136.2**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Alternativa 1	Alt-3 Alternativa 2	Alt-4 Alternativa 3
Total	**Number of hours heating load not met**	109	57	11	6
	Number of hours cooling load not met	705	612	450	35

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Alternativa 1		Alt-3 Alternativa 2		Alt-4 Alternativa 3	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,442.7	112,024	1,444.2	112,102	1,442.7	112,019	1,442.5	112,006
Gas	777.1	28,814	732.8	27,219	708.0	26,328	693.6	25,811

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Alternativa 1		Alt-3 Alternativa 2		Alt-4 Alternativa 3	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,220**	**140,838**	**2,177**	**139,321**	**2,151**	**138,347**	**2,136**	**137,817**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas 1,2 e 3 para a envolvente opaca

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Referencia			Alt-3 Base		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.0	91	303.1	97.3	90	303.1	97.3	90
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	57.9	117.1	18	57.9	117.1	18
Space Heating	Electricity	22.3	1.0	14	22.2	99.4	14	25.0	112.2	18
	Gas	773.5	34.8	764	792.7	102.5	798	972.2	125.7	1,006
Space Cooling	Electricity	163.3	7.4	288	157.2	96.3	278	161.9	99.2	295
Pumps	Electricity	95.5	4.3	33	95.4	99.9	34	96.7	101.3	47
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	8.8	99.4	20	9.8	110.8	21
Fans - Conditioned	Electricity	217.7	9.8	47	218.9	100.5	47	230.7	106.0	50
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7
Total Building Consumption		**2,219.4**			**2,233.5**			**2,434.7**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Referencia	Alt-3 Base
Total	**Number of hours heating load not met**	109	131	404
	Number of hours cooling load not met	705	704	693

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Referencia		Alt-3 Base	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,444.3	112,169	1,439.2	111,782	1,460.8	113,448
Gas	775.1	28,743	794.3	29,436	973.8	35,899

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Referencia		Alt-3 Base	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,219**	**140,912**	**2,234**	**141,219**	**2,435**	**149,348**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas Base e de Referência para a envolvente opaca

C.1.2 - Resultados da análise das alternativas para a envolvente transparente

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Base			Alt-3 Alternativa 1			Alt-4 Alternativa 2		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.0	91	303.1	97.3	90	303.1	97.3	90	303.1	97.3	90
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	57.9	117.1	18	57.9	117.1	18	57.9	117.1	18
Space Heating	Electricity	22.4	1.0	14	22.4	100.2	15	23.3	104.1	14	21.9	97.8	14
	Gas	775.5	34.9	764	775.6	100.0	806	832.6	107.4	779	719.2	92.7	719
Space Cooling	Electricity	162.5	7.3	288	205.3	126.3	287	113.1	69.6	202	199.4	122.7	283
Pumps	Electricity	94.6	4.3	33	98.4	104.0	36	91.1	96.3	31	96.2	101.7	31
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	10.9	123.5	21	6.5	74.3	15	9.7	110.2	20
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	239.6	110.1	50	206.7	95.0	44	223.1	102.5	47
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7
Total Building Consumption		**2,219.7**			**2,290.5**			**2,211.8**			**2,207.8**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Base	Alt-3 Alternativa 1	Alt-4 Alternativa 2
Total	**Number of hours heating load not met**	108	138	162	86
	Number of hours cooling load not met	701	746	1,229	1,020

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Base		Alt-3 Alternativa 1		Alt-4 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,442.6	112,019	1,513.3	117,331	1,377.5	106,841	1,487.0	115,149
Gas	777.1	28,815	777.2	28,819	834.3	30,874	720.8	26,789

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Base		Alt-3 Alternativa 1		Alt-4 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,220**	**140,835**	**2,290**	**146,149**	**2,212**	**137,715**	**2,208**	**141,937**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas para a envolvente transparente

C.2 - Resultados da análise de alternativas ativas

C.2.1 - Resultados da análise das alternativas com Sensores de luz natural - *Dimmers*

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 17, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Base			Alt-3 Alternativa 1			Alt-4 Alternativa 2		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	208.6	9.9	73	181.3	86.9	72	255.9	122.7	84	203.3	97.4	72
Lighting - Unconditioned	Electricity	45.5	2.2	16	49.3	108.4	18	56.2	123.5	18	52.0	114.3	18
Space Heating	Electricity	22.5	1.1	14	22.5	100.1	15	23.6	104.6	14	22.0	97.7	14
	Gas	790.8	37.4	774	792.2	100.2	810	843.0	106.6	786	732.3	92.6	725
Space Cooling	Electricity	149.2	7.1	217	190.0	127.3	283	108.8	72.9	199	185.9	124.6	213
Pumps	Electricity	94.4	4.5	32	98.1	103.9	35	92.0	97.5	31	95.7	101.3	30
Heat Rejection	Electricity	8.1	0.4	15	10.1	124.2	20	6.3	77.8	15	9.1	111.5	15
Fans - Conditioned	Electricity	215.1	10.2	46	237.3	110.3	49	205.4	95.5	44	220.5	102.5	47
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	26.4	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125	555.2	99.7	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7	20.6	107.3	7
Total Building Consumption		**2,111.7**			**2,158.2**			**2,168.6**			**2,098.1**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Base	Alt-3 Alternativa 1	Alt-4 Alternativa 2
Total	**Number of hours heating load not met**	120	153	179	93
	Number of hours cooling load not met	517	540	665	542

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Base		Alt-3 Alternativa 1		Alt-4 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,319.3	101,444	1,364.4	104,616	1,324.0	102,278	1,364.2	104,663
Gas	792.4	29,366	793.8	29,417	844.6	31,247	733.9	27,262

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Base		Alt-3 Alternativa 1		Alt-4 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,112**	**130,810**	**2,158**	**134,033**	**2,169**	**133,525**	**2,098**	**131,924**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas de envolvente transparente com sensores de luz natural - *Dimmers*

C.2.2 - Resultados da análise das alternativas com Arrefecimento Gratuito: *Free-Cooling e Night Purge*

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 19, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Free Cooling			Alt-3 Night Purge			Alt-4 Free Cooling + Night Purg
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.0	91	311.6	100.0	91	311.6	100.0	91	311.6	100.0	91
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	49.4	100.0	16	49.4	100.0	16	49.4	100.0	16
Space Heating	Electricity	22.3	1.0	14	24.1	108.2	14	22.4	100.4	14	24.2	108.4	14
	Gas	774.1	34.9	764	832.0	107.5	764	784.7	101.4	764	839.7	108.5	764
Space Cooling	Electricity	163.1	7.3	288	128.1	78.6	281	148.2	90.9	212	114.9	70.5	214
Pumps	Electricity	95.5	4.3	33	75.4	78.9	33	92.7	97.1	31	70.2	73.5	31
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	8.2	93.2	20	8.1	92.1	15	7.6	85.9	15
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	219.3	100.8	50	234.3	107.6	51	233.8	107.4	52
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	556.6	100.0	125	556.6	100.0	125	556.6	100.0	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	19.2	100.0	7	19.2	100.0	7	19.2	100.0	7
Total Building Consumption		**2,219.8**			**2,225.5**			**2,228.8**			**2,228.7**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Free Cooling	Alt-3 Night Purge	Alt-4 Free Cooling + Night Purg
Total	**Number of hours heating load not met**	108	108	109	109
	Number of hours cooling load not met	701	701	701	701

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Free Cooling		Alt-3 Night Purge		Alt-4 Free Cooling + Night Purg	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,444.1	112,149	1,391.9	108,400	1,442.4	111,342	1,387.3	107,429
Gas	775.7	28,766	833.6	30,849	786.4	29,149	841.4	31,130

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Free Cooling		Alt-3 Night Purge		Alt-4 Free Cooling + Night Purg	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,220**	**140,916**	**2,226**	**139,249**	**2,229**	**140,491**	**2,229**	**138,558**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas com arrefecimento gratuito: *Free-Cooling e Night Purge*

C.2.3 - Resultados da análise da alternativa com Superfícies Radiantes

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 18, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Pavimento Radiante		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.0	91	311.6	100.0	91
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	49.4	100.0	16
Space Heating	Electricity	22.3	1.0	14	22.8	102.4	14
	Gas	773.5	34.9	763	714.8	92.4	661
Space Cooling	Electricity	163.3	7.4	288	126.3	77.3	201
Pumps	Electricity	95.5	4.3	33	92.8	97.2	27
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	7.6	86.3	14
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	188.3	86.5	38
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	556.6	100.0	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	19.2	100.0	7
Total Building Consumption		**2,219.4**			**2,091.1**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Pavimento Radiante
Total	**Number of hours heating load not met**	108	4,426
	Number of hours cooling load not met	701	3,672

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Pavimento Radiante	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,444.3	112,165	1,374.6	106,378
Gas	775.1	28,745	716.5	26,633

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Pavimento Radiante	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,219**	**140,910**	**2,091**	**133,011**

Relatório de resultados Trace, Simulação da alternativas com Superfícies Radiantes

C.2.4 - Resultados da análise das alternativas com Geotermia

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 20, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Alternativa 1			Alt-3 Alternativa 2		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.1	91	311.6	100.0	91	311.6	100.0	91
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	49.4	100.0	16	49.4	100.0	16
Space Heating	Electricity	22.4	1.0	14	225.8	1,005.8	171	72.9	324.8	32
	Gas	769.7	34.8	721	103.9	13.5	517	580.1	75.4	722
Space Cooling	Electricity	160.1	7.2	215	143.8	89.8	94	163.2	102.0	197
Pumps	Electricity	93.2	4.2	31	158.7	170.2	47	99.8	107.0	42
Heat Rejection	Electricity	8.7	0.4	15	2.9	32.8	2	6.4	73.4	16
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	217.6	100.0	47	217.6	100.0	47
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.2	125	556.6	100.0	125	556.6	100.0	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	19.2	100.0	7	19.2	100.0	7
Total Building Consumption		**2,210.2**			**1,791.1**			**2,078.4**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Alternativa 1	Alt-3 Alternativa 2
Total	**Number of hours heating load not met**	648	648	648
	Number of hours cooling load not met	933	933	933

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Alternativa 1		Alt-3 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,438.9	111,686	1,685.5	129,890	1,496.7	116,136
Gas	771.3	28,607	105.5	4,635	581.7	21,781

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Alternativa 1		Alt-3 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Total	**2,210**	**140,293**	**1,791**	**134,525**	**2,078**	**137,917**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas com Geotermia

C.2.5 - Resultados da análise das alternativas com Caldeiras a Biomassa

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 18, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Alternativa 1			Alt-3 Alternativa 2		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.1	91	311.6	100.0	91	311.6	100.0	91
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	49.4	100.0	16	49.4	100.0	16
Space Heating	Electricity	22.4	1.0	14	57.7	258.0	23	109.1	487.7	23
	Gas	766.5	34.7	757	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0
	Wood	0.0	0.0	0	785.6	0.0	764	834.6	0.0	767
Space Cooling	Electricity	162.5	7.3	288	162.5	100.0	288	162.5	100.0	288
Pumps	Electricity	94.6	4.3	33	94.6	100.0	33	89.2	94.4	30
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	8.8	100.0	20	8.8	100.0	20
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	217.6	100.0	47	217.6	100.0	47
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.2	125	556.6	100.0	125	556.6	100.0	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	19.2	100.0	7	19.2	100.0	7
Total Building Consumption		**2,210.7**			**2,265.2**			**2,360.2**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Alternativa 1	Alt-3 Alternativa 2
Total	**Number of hours heating load not met**	108	108	108
	Number of hours cooling load not met	701	701	701

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Alternativa 1		Alt-3 Alternativa 2	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,442.6	112,019	1,477.9	114,436	1,524.0	117,602
Gas	768.1	28,493	1.6	894	1.6	894
Wood	0.0	0	785.6	28,287	834.6	30,051
Total	**2,211**	**140,512**	**2,265**	**143,616**	**2,360**	**148,547**

Relatório de resultados Trace, Simulação das alternativas com Caldeiras a Biomassa

ANEXO D - Resultados da Simulação da solução ótima: Relatórios TRACE700

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 19, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Real			Alt-2 Solucao Otima		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	311.6	14.1	91	208.6	67.0	73
Lighting - Unconditioned	Electricity	49.4	2.2	16	45.5	92.1	16
Space Heating	Electricity	22.5	1.0	14	95.1	422.2	55
	Gas	776.2	35.0	748	0.0	0.0	0
	Wood	0.0	0.0	0	577.5	0.0	640
Space Cooling	Electricity	160.0	7.2	288	93.9	58.7	184
Pumps	Electricity	93.2	4.2	33	62.8	67.4	27
Heat Rejection	Electricity	8.8	0.4	20	6.1	69.3	13
Fans - Conditioned	Electricity	217.6	9.8	47	204.4	93.9	44
Receptacles - Conditioned	Electricity	556.6	25.1	125	556.6	100.0	125
	Gas	1.6	0.1	0	1.6	100.0	0
Receptacles - Unconditioned	Electricity	19.2	0.9	7	19.2	100.0	7
Total Building Consumption		**2,216.7**			**1,871.2**		

		* Alt-1 Simulacao Real	Alt-2 Solucao Otima
Total	**Number of hours heating load not met**	108	4,600
	Number of hours cooling load not met	701	668

	* Alt-1 Simulacao Real		Alt-2 Solucao Otima	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,438.9	111,704	1,292.1	98,892
Gas	777.8	28,841	1.6	894
Wood	0.0	0	577.5	20,792
Total	**2,217**	**140,545**	**1,871**	**120,579**

Relatório de resultados Trace, Simulação dinâmica nominal da Solução Ótima

Energy Cost Budget / PRM Summary

Project Name: CRN	Date: Junho 19, 2012
City: Valadares	Weather Data: PT_Vila_Nova_Gaia_EP

Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the tota energy consumption.

* Denotes the base alternative for the ECB study.

		* Alt-1 Simulacao Nominal			Alt-2 Simulacao Otima Nominal		
		Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW	Energy 10^3 kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	336.1	17.2	109	213.4	63.5	93
Lighting - Unconditioned	Electricity	44.8	2.3	14	40.9	91.2	14
Space Heating	Electricity	20.6	1.1	7	79.5	385.2	45
	Gas	521.2	26.7	602	0.0	0.0	0
	Wood	0.0	0.0	0	321.5	0.0	464
Space Cooling	Electricity	172.1	8.8	234	114.2	66.4	195
Pumps	Electricity	92.4	4.7	29	65.7	71.0	27
Heat Rejection	Electricity	8.9	0.5	17	6.7	75.2	15
Fans - Conditioned	Electricity	155.1	8.0	33	172.6	111.3	35
Receptacles - Conditioned	Electricity	529.6	27.2	139	529.6	100.0	139
	Gas	54.5	2.8	9	54.5	100.0	9
Receptacles - Unconditioned	Electricity	13.1	0.7	4	13.1	100.0	4
Total Building Consumption		**1,948.5**			**1,611.7**		

		* Alt-1 Simulacao Nominal	Alt-2 Simulacao Otima Nominal
Total	**Number of hours heating load not met**	271	3,602
	Number of hours cooling load not met	472	537

	* Alt-1 Simulacao Nominal		Alt-2 Simulacao Otima Nominal	
	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr	Energy 10^3 kWh/yr	Cost/yr $/yr
Electricity	1,372.8	145,105	1,235.7	130,608
Gas	575.7	21,564	54.5	2,797
Wood	0.0	0	321.5	0
Total	**1,948**	**166,668**	**1,612**	**133,405**

Relatório de resultados Trace, Simulação dinâmica Real da Solução Ótima