UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA

Edifícios de energia zero: ótimo de rentabilidade para a redução da procura de energia nos hotéis

Tiago Samuel de Oliveira Lopes

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA

Edifícios de energia zero: ótimo de rentabilidade para a redução da procura de energia nos hotéis

Tiago Samuel de Oliveira Lopes

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão de

Marta João Nunes Oliveira Panão (LNEG)

2012

Resumo

Em 2010, a reformulação da Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD-recast), Diretiva 2010/31/EU, define que cada Estado-Membro Europeu deve aumentar o nível de exigência da regulamentação, de modo que, em 2020, os edifícios novos, sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly zero Energy Buildings*, nZEB). A EPBD-*recast* estabelece ainda que os requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e dos elementos construtivos tenham em vista um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade (*cost-optimal*) dos investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida.

Apesar da definição de nZEB não se encontrar ainda estabelecida em todos os Estados Membros, conceptualmente aceitou-se ser necessário incidir na redução das necessidades de energia. Para, além da redução de consumo, do aumento de eficiência dos equipamentos e melhoria dos comportamentos, será necessário efetuar um aproveitamento das energias endógenas, através da produção de energia proveniente de fontes renováveis.

Assim sendo, através deste trabalho procede-se à aplicação do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE, Decreto-Lei n.º 79/2006) a um grande edifício turístico (hotel) reabilitado, permitindo deste modo a comparação da avaliação energética do edifício com base nas condições reais com um edifício de referência, nas condições previstas estabelecer na revisão regulamentar. Além disso ainda se procede à avaliação dos requisitos mínimos de eficiência do ponto de vista do ótimo de rentabilidade, para desta forma ir de encontro a um dos eixos de atuação dos nZEB: estratégias de redução das necessidades de energia.

Palavras-chave: simulação térmica de edifícios, grande edifício turístico (hotel), ótimo de rentabilidade, nZEB, edifício de referência.

Abstract

In 2010, the reformulation of Directive 2002/91/CE concerning energy performance of buildings (EPBD-recast), Directive 2010/31/EU, states that each European Member-State (MS) should raise the bar on legal demands so that in 2020 the new buildings are nearly zero Energy Buildings (nZEB). More so, EPBD-recast establishes that the minimum requirements for energy performance of buildings and their construction elements should strive for cost optimal balance of the investments and associated energy savings during life cycle cost of buildings.

Despite the fact that nZEB definition has not yet been fully established between the MS's, conceptual agreement determines that reduction of energy needs of buildings is necessary. Beyond reductions in energy consumption, increased energy efficiency of equipment and improvement of behavior traits, the use of endogenous energy sources (renewables) will be essential.

Thus, this work applies the Portuguese regulation on Energy Systems of Air Conditioning in Buildings (RSECE) to a large rehabilitation of a case-study hotel, allowing the comparison between an energy evaluation on operational conditions and a reference building on the previewed conditions of regulatory review. Furthermore, an evaluation of minimum energy efficiency requirements from a cost-optimal viewpoint is made, with the goal of meeting one of the primary courses of action of nZEB's: strategies for reduction of energy needs.

Keywords: thermal simulation of buildings, large touristic building (hotel), cost-optimal, nZEB, reference building.

Agradecimentos

Pretendo desta maneira agradecer a todas as pessoas que de diferentes formas contribuíram para a concretização deste projeto.

Começo por dedicar este trabalho à minha família, pais e avó, que apesar de ser uma família muito pequena, sempre fez os possíveis para que este momento se concretiza-se.

Fico muito agradecido à minha orientadora de tese, Prof.ª Doutora Marta Oliveira Panão, por aceitar orientar-me na realização deste trabalho, bem como, pelo tempo despendido no esclarecimento e discussão de dúvidas, pelas sugestões dadas e pela troca de conhecimentos efetuada.

Agradeço à Engª Susana Camelo a sua colaboração, disponibilidade e acolhimento demonstrados ao longo destes meses, no LNEG.

Por fim e não menos meritórios são os agradecimentos a todos os meus colegas presentes nesta etapa académica. Agradeço todo o convívio e força demonstrada, permitindo a existência de um bom ambiente de trabalho.

Simbologia

A^+, A, B, B^-, C, D, E, F, G	classes de desempenho energético	-
A_{ext}	área da superfície da envolvente exterior	[m^2]
A_{int}	área da superfície da envolvente interior	[m^2]
A_p	área útil de pavimento	[m^2]
c	calor especifico a pressão constante	[$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]
$C_{a,i}$	custo da manutenção e energia despendida em climatização	[€]
C_g	custo do desempenho global	[$€\ m^{-2}$]
C_g^{ref}	custo do desempenho global de referência	[€]
C_I	investimento inicial relativo à construção	[€]
$DPI_{ajustada}$	densidade de potência de iluminação, ajustada	[$W\ m^{-2}$]
e	espessura	[m]
E_{nom}	consumo nominal de energia	[$kgep\ ano^{-1}$]
E_{real}	consumo real de energia obtido por simulação	[$kgep\ ano^{-1}$]
E_{ref}	consumo de energia obtido por simulação em condições de referência	[$kgep\ ano^{-1}$]
F_{CI}	fator de correção do consumo de energia para aquecimento	-
F_{CV}	fator de correção do consumo de energia para arrefecimento	-
FF	fator de forma definido na alínea *dd)* do Anexo II do RCCTE	-
F_{pu}	fator de conversão entre energia útil e energia primária, definido periodicamente por despacho do diretor-geral de Geologia e Energia	[$kgep\ kWh^{-1}$]
GD	graus-dia de aquecimento para uma temperatura base de 20 ^oC	[$^oC\ dia$]
I_1, I_2, I_3	zonas climáticas de Inverno, definidas no Anexo III do RCCTE	-
IEE	indicador de eficiência energética ou consumo específico	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEE_I	consumo específico associado aos processos de aquecimento	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEE_{nom}	consumo nominal específico	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEE_{real}	consumo real obtido por simulação	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEE_{ref}	consumo de referência obtido por simulação em condições de referência	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
$IEE_{ref,\ novos}$	valor máximo de referência limite do consumo nominal específico para novos edifícios de serviços, definido no Anexo XI do RSECE	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]

IEE_V	consumo específico associado aos processos de arrefecimento	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_I	valor máximo limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_{I1}	necessidades nominais máximas de energia útil para aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I_1	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_{Ii}	necessidades nominais máximas de energia útil para aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo na zona I_i, onde está localizado o edifício	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_V	valor máximo limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_{V1}	necessidades nominais máximas de energia útil para arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência V_1	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
N_{Vi}	necessidades nominais máximas de energia útil para arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo na zona V_i, onde está localizado o edifício	[$kWh\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
p	número de anos desde o inicio do período	-
P_d	pé-direito médio	[m]
Q_{aq}	consumo de energia para aquecimento	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{AQS}	consumo de energia para AQS	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{arr}	consumo de energia para arrefecimento	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{eq}	consumo de energia com equipamentos	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{ilu}	consumo de energia para iluminação	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{out}	consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento	[$kgep\ ano^{-1}$]
Q_{ven}	consumo de energia para ventilação	[$kgep\ ano^{-1}$]
r	taxa de desconto real	[%]
R_d	fator de desconto	-
R_{IEE}	razão entre o valor do IEE_{real} e o IEE_{ref}, para efeitos de determinação da classe energética de um edifício	-
R_{Total}	resistência térmica total	[$m^2\ K\ W^{-1}$]
S	parâmetro de referência para o cálculo da classe energética, definido no Anexo IV do Despacho n.º 10250/2008	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
U_{Total}	coeficiente de transmissão térmica total	[$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
V	volume útil interior	[m^3]
V_1, V_2, V_3	zonas climáticas de Verão, definidas no Anexo III do RCCTE	-
λ	condutividade térmica	[$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]
ρ	massa volúmica	[$kg\ m^{-3}$]

τ	coeficiente relativo aos espaços não-úteis, definido na Tabela IV.1 do Anexo IV do RCCTE	-

Siglas

ADENE	Agência para a Energia
AE	Auditoria Energética
AQS	águas quentes sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	aquecimento, ventilação e ar condicionado
CE	Comunidade Europeia
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
COP	eficiência energética nominal, *coefficient of performance*
EDP	Energias de Portugal
EER	índice de eficiência energética, energy efficiency ratio
EPBD	*Energy Performance of Buildings Directive*
EPS	poliestireno expandido, expanded polystyrene
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
GES	grandes edifícios de serviços
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
PVC	policloreto de polivinila, Polyvinyl chloride
QAI	qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006
RPH	renovações por hora
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/2006
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, Decreto-Lei n.º 78/2006
WC	instalações sanitárias, water closet

Índices

1. Introdução 1

1.1 Contexto Regulamentar 1

1.2 Objetivos e Metodologia 3

1.3 Estrutura 4

1.4 Motivação e Contribuição Original 4

2. Caso de Estudo 7

2.1 Edifício 7

2.1.1 Descrição Geral 7

2.1.2 Localização e Clima 7

2.1.3 Modelo 7

2.1.4 Soluções construtivas 10

2.1.5 Iluminação 11

2.1.6 Equipamento 13

2.1.7 AVAC 14

2.2 Simulação em condições nominais 16

2.2.1 Consumo nominal de energia 16

2.2.2 Padrões nominais de utilização 16

2.2.3 Caudais mínimos de ar novo 19

2.2.4 Soluções construtivas 21

2.2.5 Iluminação 22

2.2.6 Determinação do *IEE* nominal 23

2.2.7 Determinação do *IEE* nominal, considerando a existência de AQS 24

2.2.8 Determinação do valor de referência limite do *IEE* 25

2.2.9 Determinação da classe energética 26

2.3 Simulação em condições reais 27

2.3.1 Padrões reais utilizados 28

2.3.2 Determinação do *IEE* real 28
2.4 Simulação em condições de referência 29
2.4.1 Padrões de referência utilizados 29
2.4.2 Caudais mínimos de ar novo 29
2.4.3 Soluções construtivas 31
2.4.4 Iluminação 33
2.4.5 Determinação do *IEE* de referência 34
2.4.6 Determinação da classe energética 35
3. Ótimo de rentabilidade 37
3.1 Metodologia 37
3.2 Situações estudadas 37
3.2.1 Espessura do isolamento 37
3.2.2 Vãos envidraçados 38
3.2.3 Soluções de AQS 39
3.3 Resultados 40
3.3.1 Espessura do isolamento 40
3.3.2 Vãos envidraçados 41
3.3.3 Soluções de AQS 42
4. Conclusões e considerações finais 43
Referências Bibliográficas 45
Anexo A Plantas do Hotel 47
Anexo B Método de cálculo do *IEE* 49
Anexo C Valores obtidos na determinação do ótimo de rentabilidade 51

Índice de figuras

Fig. 1 – Modelo geométrico, numa perspetiva axonométrica (Fonte: *DesignBuilder*) 8

Fig. 2 – Zonas térmicas do Piso 2 (Fonte: *DesignBuilder*) 8

Fig. 3 – Zonas térmicas do Piso 1 (Fonte: *DesignBuilder)* 9

Fig. 4 – Zonas térmicas do R/C (Fonte: *DesignBuilder)* 9

Fig. 5 – Imagem virtual do edifício, numa perspetiva axonométrica (Fonte: *DesignBuilder*) 11

Fig. 6 – Perfil nominal de ocupação de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*) 17

Fig. 7 – Perfil nominal de ocupação de restaurantes (Fonte: *RSECE*) 18

Fig. 8 – Perfil nominal de iluminação de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*) 18

Fig. 9 – Perfil nominal de iluminação de restaurantes (Fonte: *RSECE*) 18

Fig. 10 – Perfil nominal de equipamentos de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*) 19

Fig. 11 – Perfil nominal de equipamentos de restaurantes (Fonte: *RSECE*) 19

Fig. 12 – Custo do desempenho global relativo ao isolamento 41

Fig. 13 – Custo do desempenho global relativo aos vãos envidraçados 41

Fig. 14 - Custo do desempenho global relativo às soluções de AQS 42

Fig. 15 – Plantas do piso 1 (em cima) e do piso 2 (em baixo) 47

Índice de tabelas

Tabela 1 – Zona e dados climáticos de referência 7
Tabela 2 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos verticais exteriores. 10
Tabela 3 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos verticais interiores . 10
Tabela 4 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos horizontais 10
Tabela 5 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos dos caixilhos 11
Tabela 6 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas das janelas 11
Tabela 7 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no R/C 12
Tabela 8 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no piso 1 12
Tabela 9 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no piso 2 13
Tabela 10 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no R/C 13
Tabela 11 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no piso 1 14
Tabela 12 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no piso 2 14
Tabela 13 – Características técnicas das unidades exteriores de AC 15
Tabela 14 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do R/C 15
Tabela 15 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do piso 1 15
Tabela 16 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do piso 2 16
Tabela 17 – Valores nominais para os perfis variáveis das duas tipologias 17
Tabela 18 – Valores nominais para os perfis constantes das duas tipologias 17
Tabela 19 – Caudais mínimos de ar novo, no R/C 20
Tabela 20 – Caudais mínimos de ar novo, no piso 1 20
Tabela 21 – Caudais mínimos de ar novo, no piso 2 21
Tabela 22 – Soluções construtivas utilizadas no modelo nominal 21
Tabela 23 – Potência de iluminação final, no R/C 22
Tabela 24 – Potência de iluminação final, no piso 1 22
Tabela 25 – Potência de iluminação final, no piso 2 23
Tabela 26 – Consumos de energia obtidos por simulação em condições nominais 23
Tabela 27 – IEE nominal obtido para o hotel 24

Tabela 28 – Consumos de energia primária obtidos por simulação em condições nominais 25
Tabela 29 – IEE nominal obtido para as diferentes alternativas de AQS 25
Tabela 30 – Determinação do $IEE_{ref,\ novos}$ ponderado 25
Tabela 31 – Determinação do *S* ponderado 26
Tabela 32 – Classes energéticas para os GES (Fonte: ADENE) 27
Tabela 33 – Consumos de energia obtidos por simulação em condições reais 28
Tabela 34 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no R/C 30
Tabela 35 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no piso 1 30
Tabela 36 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no piso 2 31
Tabela 37 – Elementos construtivos verticais exteriores em condições de referência 31
Tabela 38 - Elementos construtivos horizontais exteriores em condições de referência 32
Tabela 39 – Elementos construtivos dos caixilhos em condições de referência 32
Tabela 40 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas das janelas de referência 32
Tabela 41 – Potência de iluminação de referência, no R/C 33
Tabela 42 – Potência de iluminação de referência, no piso 1 33
Tabela 43 – Potência de iluminação de referência, no piso 2 34
Tabela 44 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 1A 34
Tabela 45 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 1B 34
Tabela 46 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 2A 35
Tabela 47 – *IEE* referência obtido para o hotel 35
Tabela 48 – Valores de R_{IEE} obtidos para as diferentes soluções consideradas 35
Tabela 49 – Classes energéticas e respetivos intervalos de R_{IEE} 36
Tabela 50 – Características do isolamento utilizado 38
Tabela 51 – Custos associados a cada cenário e respetivo U_{Total} 38
Tabela 52 – Constituição e propriedades termofísicas dos caixilhos utilizados 39
Tabela 53 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas dos vidros utilizados 39
Tabela 54 – Custos de instalação e manutenção dos caixilhos utilizados 39
Tabela 55 – Custos de instalação e manutenção dos vidros utilizados 39
Tabela 56 – Custos de instalação e manutenção da solução solar térmica 40

Tabela 57 – Custo do desempenho global relativo ao isolamento 51

Tabela 58 - Custo do desempenho global relativo aos vãos envidraçados..... 51

1. Introdução

1.1 Contexto Regulamentar

Este trabalho baseia-se fundamentalmente no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) que sucedeu ao Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio.

O RSECE é parte integrante dum pacote legislativo composto ainda pelo Decreto-Lei 78/2006 (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios - SCE) e Decreto-Lei 80/2006 (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE), todos publicados na mesma data e que correspondem, na prática, à transposição para direito nacional da Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro (EPBD), relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios. Esta Diretiva recomenda os Estados-Membros da UE a definir normas mínimas de desempenho energético para edifícios novos e remodelados. O RSECE, por integrar também as questões da Qualidade do Ar Interior (QAI), vai além do previsto na Diretiva, exigindo a monitorização da QAI nos edifícios de serviços durante o seu funcionamento normal.

O RSECE incide maioritariamente sobre os grandes edifícios de serviços (GES), definidos como sendo edifícios ou frações autónomas de serviços, existentes e novos, com área útil de pavimento superior a 1.000 m^2, ou no caso de edifícios do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m^2. Este regulamento ainda se aplica a novos pequenos edifícios (PEScC) e edifícios de habitação (HcC) ou frações autónomas de serviços, com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW, bem como a grandes intervenções de reabilitação relacionadas com a envolvente, as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços.

Relativamente à aplicação do RSECE, o caso de estudo tratado neste trabalho, consideram-se edifícios "novos", aqueles cujo processo de licenciamento ou autorização de edificação tenha dado entrada após 4 de Julho de 2006. Os edifícios "novos" são, após a 1ª auditoria energética (AE) realizada durante o seu terceiro ano de funcionamento (nº 2 do Art.º 8º), designados de "novos após 1ª AE".

O RSECE através de uma perspetiva sustentável ao nível ambiental e energético, bem como da utilização de materiais, equipamentos e tecnologias em consonância com as respetivas funções, pretende cumprir alguns objetivos previamente delineados, tais como a definição de condições de conforto térmico e de higiene, melhoria da eficiência energética, promovendo a sua limitação efetiva para padrões aceitáveis e a imposição de regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efetivo e garantir os meios para uma boa qualidade do ar interior (QAI).

Assim este regulamento, com o intuito de cumprir os objetivos anteriormente referidos, estabelece concretamente o seguinte:

- Requisitos em termos de conforto térmico, renovação e tratamento de ar, estipulando caudais mínimos de ar novo assim como concentrações máximas dos principais poluentes;
- Requisitos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projeto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização;
- Limites máximos dos consumos globais de energia do edifício e, em particular, para sistemas de climatização sob condições nominais de utilização;
- Condições e meios para garantir práticas regulares de monitorização, auditoria e manutenção assim como assegurar quer a qualidade quer a segurança – aos níveis do projeto, da instalação e durante o normal funcionamento dos edifícios, e em particular dos sistemas de climatização.

Para ter conhecimento da eficiência energética de um edifício e um meio comparativo com situações semelhantes, o regulamento estabelece um indicador de consumo específico que permite caracterizar energeticamente um edifício ou fração autónoma, conhecido como indicador de eficiência energética (*IEE*), que deverá ser expresso em unidades de energia primária (quilogramas equivalentes de petróleo) por metro quadrado de área útil de pavimento, por ano – $kgep\ m^{-2}ano^{-1}$. Ao longo deste trabalho são utilizados três tipos de *IEE*:

- $IEE_{real,\ simulação}$ – *IEE* real obtido por simulação dinâmica, utilizando os perfis reais previstos ou determinados em auditoria, com correção climática;

- IEE_{nom} – *IEE* nominal obtido por simulação dinâmica, utilizando os perfis padrão do Anexo XV do RSECE, com correção climática;

- $IEE_{ref,\ novo}$ – *IEE* de referência limite para edifícios novos, definidos no Anexo XI do RSECE.

O valor do IEE_{nom} de um edifício obtido por simulação em condições nominais, define se este cumpre com o valor limite aplicável e determina a classificação do seu desempenho energético, se não exceder o valor do $IEE_{ref,\ novo}$.

Em edifícios que incluam mais que uma tipologia, o valor do *IEE* deverá ser calculado proporcionalmente em função das áreas úteis de pavimento respetivas, a partir dos valores calculados por simulação ou definidos (valores de referência), de cada tipo de espaço. Designa-se esse valor como *IEE* ponderado. Neste tipo de edifícios só é necessário o cumprimento regulamentar do valor de *IEE* ponderado, conforme previsto no n.º 4 do Art.31º do RSECE, podendo alguma(s) tipologia(s) de entre as consideradas, ultrapassar o respetivo valor limite.

A Diretiva 2010/31/EU (EPBD-recast), consiste numa diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, que sucede à Diretiva 2002/91/CE, com o intuito de aumentar a exigência da legislação anteriormente existente em cada Estado-Membro, relativamente a esta temática. As principais preocupações passam pelo investimento na eficiência, da forma mais rentável possível e desta forma reduzir os consumos de energia com o intuito de, em 2020, os edifícios novos serem caracterizados pela necessidade quase nula de energia (nearly zero Energy Buildings, nZEB).

Nesse sentido, pretende-se determinar quais as medidas com rentabilidade económica que visam a melhoria do desempenho energético, considerando as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior.

O estabelecimento de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e dos elementos construtivos devem ser estabelecidos tendo o objetivo de alcançar um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade entre os investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edifício, sem prejuízo do direito dos Estados-Membros de fixarem requisitos mínimos mais exigentes em termos energéticos do que os níveis de eficiência ótimos em termos de minimização de custos. Para estes valores se manterem atualizados prevê-se a possibilidade dos Estados-Membros procederem periodicamente à revisão dos seus requisitos mínimos de desempenho energético em função do progresso técnico.

O objetivo de alcançar níveis rentáveis ou ótimos de eficiência energética pode justificar, que em certas circunstâncias, como por exemplo as alterações climáticas, os Estados-Membros fixem, para componentes de edifícios, requisitos de desempenho rentáveis ou ótimos. Na prática, esses limitam a instalação de produtos de construção aos que cumprem normas estabelecidas pela legislação da União Europeia, desde que esses requisitos não constituam um entrave injustificável ao mercado.

A Comissão Europeia estabelece uma metodologia comparativa para calcular os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético. Os Estados-Membros devem utilizar esta metodologia para comparar os resultados com os requisitos mínimos de desempenho energético que tenham aprovado. Caso se verifiquem discrepâncias significativas, isto é, que a diferença entre os níveis ótimos de rentabilidade calculados para os requisitos mínimos de desempenho energético e os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor seja superior a 15%, os Estados-Membros devem justificar a diferença ou prever medidas adequadas para reduzir essa discrepância. Desta forma

a Comissão pode avaliar e comunicar os progressos efetuados pelos Estados-Membros para atingir os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético.

Os edifícios têm impacto no consumo de energia a longo prazo, mas atualmente a aplicação de sistemas alternativos de fornecimento de energia não é, regra geral, aproveitada em todo o seu potencial. Deve-se mudar esta situação considerando a existência de sistemas alternativos de fornecimento de energia para os novos edifícios, independentemente da sua dimensão, em conformidade com o princípio de garantir antes de mais que as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento sejam reduzidas aos níveis ótimos de rentabilidade. Assim se parte para a criação de um edifício com necessidades quase nulas de energia, nZEB, um edifício com um desempenho energético muito elevado. Estas necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas podem ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades.

1.2 Objetivos e Metodologia

Com este trabalho pretende-se avaliar o ótimo de rentabilidade, dos investimentos efetuados e dos custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida de um edifício e respetivos elementos construtivos, para a redução da procura de energia nos hotéis. Neste sentido, os principais objetivos deste estudo passam por:

- Utilizar a metodologia regulamentada atualmente para obter o *IEE* do hotel pertencente ao caso de estudo abordado neste trabalho;

- Comparar a avaliação energética do edifício com base nas condições reais com um edifício de referência, nas condições previstas estabelecer na revisão regulamentar;

- Avaliar os requisitos mínimos de eficiência do ponto de vista do ótimo de rentabilidade, para o caso específico de um dos eixos de atuação dos nZEB: estratégias de redução das necessidades de energia.

O RSECE institui que o consumo nominal específico (*IEE*) de um grande edifício de serviços, seja avaliado periodicamente por auditoria realizada no âmbito do SCE, e seja determinado através de simulação dinâmica detalhada multizona do edifício em condições nominais de funcionamento, não podendo ultrapassar o valor definido para a sua tipologia. Para se elaborar um modelo de simulação detalhada, necessita-se de toda a informação existente relativa ao edifício e à sua utilização, recolhida durante uma auditoria, que no caso concreto deste trabalho permitiu criar um caso de estudo. Esta informação é tratada de modo a ser possível inseri-la no programa *DesignBuilder* v3.0.0.092 que é uma interface gráfica do programa de simulação energética *EnergyPlus* 7.0, acreditado pela norma ASHRAE.

Para se obter o *IEE* do edifício e consequentemente a sua classificação energética segue-se a seguinte metodologia regulamentar:

- Caracterização e modelação do edifício – Caracterização do edifício e desenvolvimento do seu modelo de simulação dinâmica detalhada considerando informação relativa às suas condições reais;

- Simulação em condições nominais – Aplicação das condições nominais definidas pelo RSECE e obtenção do valor de consumo nominal de energia, assim como dos valores de consumos dos diferentes tipos de utilização final, referindo as respetivas formas de energia;

- Determinação do IEE_{nom} – Aplicação do método de cálculo do *IEE* nominal, de acordo com a metodologia preconizada pelo RSECE;

- Classificação energética – Determinação da classe energética do edifício no âmbito do SCE, por comparação do consumo nominal específico com os correspondentes consumos de referência para edifícios novos, estipulados por tipologia no RSECE.

Além destas etapas, ainda se procede:

- À determinação e comparação destes modelos com um modelo de referência, criado com base em documentos de trabalho das comissões executivas de revisão regulamentar;

- Por fim, realiza-se a avaliação dos requisitos mínimos de eficiência do ponto de vista do ótimo de rentabilidade, determinando o equilíbrio ótimo entre o investimento inicial e os custos de manutenção e de energia ao longo do ciclo de vida dos equipamentos do edifício.

1.3 Estrutura

Este documento é constituído por quatro secções e dois anexos, com o seguinte conteúdo:

- **Secção 1** – Introduz o estudo desenvolvido traçando dados fundamentais sobre os quais se centra, resume a organização do presente texto e evidencia os objetivos e a contribuição original deste trabalho;

- **Secção 2 –** Segue-se detalhadamente a metodologia prevista na regulamentação com o intuito de determinar os vários *IEEs* e respetiva classe de desempenho energético do caso de estudo;

- **Secção 3 –** Descrição da metodologia utilizada para calcular o ótimo de rentabilidade e os resultados obtidos através deste estudo;

- **Secção 4 –** Discussão, conclusões retiradas deste estudo e considerações finais relativamente ao aproveitamento deste estudo;

- **Anexo A –** Plantas arquitetónicas do edifício do caso de estudo;

- **Anexo B –** Descrição do método de cálculo do *IEE* conforme o previsto no RSECE;

- **Anexo C -** Valores obtidos na determinação do ótimo de rentabilidade.

1.4 Motivação e Contribuição Original

Este trabalho contribui para a análise das condições previstas na revisão regulamentar (edifício de referência) e da determinação do ótimo de rentabilidade de várias opções construtivas.

Os edifícios que atualmente têm algumas décadas de existência são edifícios que geralmente acarretam elevados consumos de energia. Devido à antiguidade de alguns destes edifícios associada ao aumento dos padrões de conforto e à má qualidade térmica da sua envolvente, pois apresentam soluções construtivas que entraram em desuso, provocou-se um agravamento dos consumos energéticos. A escassa informação relativa aos edifícios mais antigos, principalmente a informação relativa aos elementos construtivos constituintes da sua envolvente, ou mesmo a sua dimensão, dificultam a construção de modelos de simulação detalhada, o que poderá colocar em causa a identificação dos problemas e sucessiva resolução destes.

No entanto, os problemas verificados neste tipo de edifícios normalmente são muito semelhantes, devem-se maioritariamente aos elevados valores dos coeficientes de transmissão térmica superficiais de elementos opacos e envidraçados. Para resolver estes problemas pretende-se encontrar a solução ideal relativamente ao custo benefício, para ir de encontro com as pretensões da EPBD-recast, onde estabelece que os requisitos mínimos, para o desempenho energético dos edifícios e dos elementos construtivos, devem ter em vista um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade (ótimo de

rentabilidade) dos investimentos efetuados e dos custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida. Deste modo é possível contribuir para uma redução dos consumos de energia e para uma maior eficiência energética dos edifícios existentes.

2. Caso de Estudo

2.1 Edifício

Nesta secção apresenta-se toda a informação existente relativamente ao edifício em estudo. Toda a informação necessária para a realização das simulações que não se encontre presente nesta secção é definida na altura necessária, consoante as características da simulação em questão.

2.1.1 Descrição Geral

O caso de estudo criado para o presente trabalho, com base num edifício real, consiste num edifício construído em 1950, que está a sofrer uma grande intervenção de reabilitação, que no âmbito do RSECE e do SCE, se enquadra num grande edifício de serviços novo, na tipologia de um hotel de 3 ou menos estrelas, com uma área útil de pavimento (A_p) de 3900 m^2. O edifício é constituído por três pisos, com um pátio interior de 397 m^2 de área.

2.1.2 Localização e Clima

Considera-se que o hotel, se situa no concelho de Lisboa.

No âmbito do RSECE para efeitos da caracterização energética, o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I_1, I_2 e I_3) e outras três de Verão (V_1, V_2 e V_3), de acordo com o estabelecido no Anexo III do RCCTE, onde para cada concelho são referidas as respetivas zonas e os seguintes dados climáticos de referência de Inverno e de Verão: número de graus-dia de aquecimento, na base de 20°*C* (*GD*); duração da estação de aquecimento; temperatura exterior de projeto de Verão e amplitude térmica média diária do mês mais quente. Na Tabela 1 constam as zonas e dados climáticos de referência definidos no RCCTE para o concelho de Lisboa.

Tabela 1 – Zona e dados climáticos de referência

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) [*ºC.dias*]	Duração da estação de aquecimento [*meses*]	Zona climática de Verão	Temperatura externa do projeto [*ºC*]	Amplitude térmica [*ºC*]
Lisboa	I_1	1190	5,3	V_2	32	11

As zonas climáticas de Verão, estão divididas em região Norte e Sul, sendo que Lisboa pertence à região Sul. Para efeitos de simulação foi utilizado o ficheiro de dados climáticos do respetivo concelho que consta da base de dados do programa de simulação utilizado, *DesignBuilder*.

2.1.3 Modelo

O hotel tem 3900 m^2 de área útil de pavimento (A_p). O pé-direito (P_d) do Piso Térreo (R/C) é de 3,2 *m* e o dos restantes pisos, Piso 1 e 2 é de 2,9 *m*.
Ao elaborar o modelo geométrico e construtivo do edifício foram respeitadas as dimensões medidas nas plantas, das fachadas, pavimentos, cobertura e vãos. Já as divisões interiores que delimitam os espaços (ou compartimentos) de cada piso, sofreram algumas alterações relativamente às das plantas, pois foram agrupadas as divisões que apresentavam condições térmicas semelhantes. Esta simplificação não interfere significativamente nos resultados da simulação térmica, mas é um procedimento necessário, na medida em que permite reduzir significativamente o tempo da simulação, o que se revela útil devido à dimensão e complexidade do edifício.

A Fig. 1 representa a parte envolvente do edifício, sendo a entrada deste na fachada Sul.

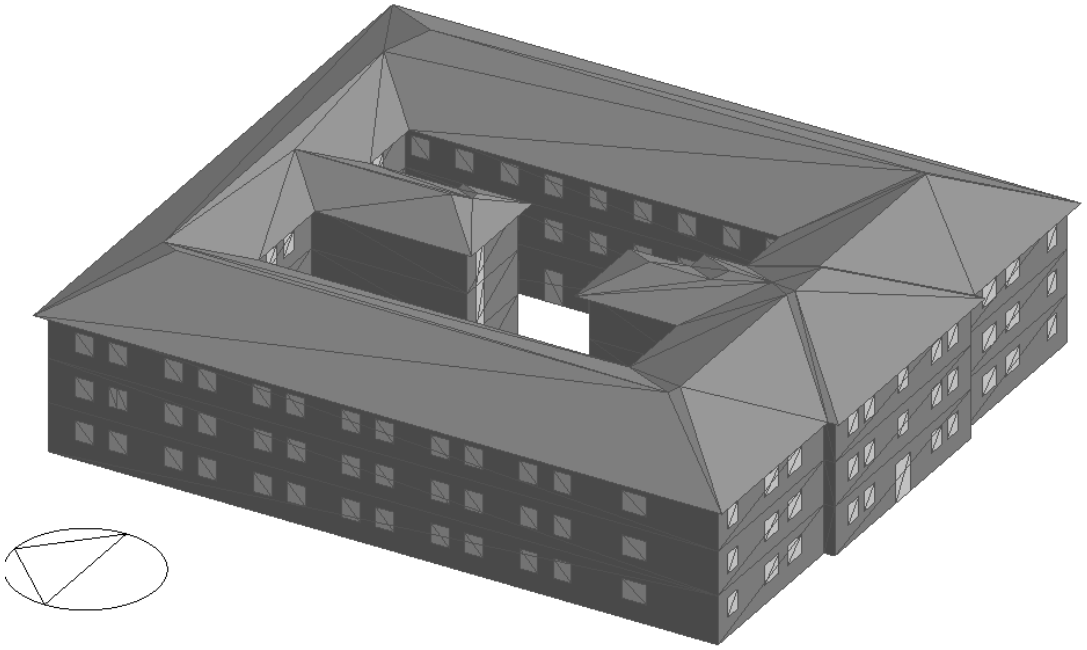

Fig. 1 – Modelo geométrico, numa perspetiva axonométrica (Fonte: *DesignBuilder*)

Os pisos do hotel são todos diferentes uns dos outros, principalmente o do R/C em relação aos outros dois. O piso térreo difere por ter um caracter mais público, devido à existência de um restaurante, bar e de salas de congressos e reuniões e a direção, enquanto, no piso 1 e 2, encontram-se os quartos. Sendo estes últimos pisos mais privados e destinados somente aos hóspedes, no piso 2 há ainda a particularidade de existir a sala de jantar, cozinha e lavandaria.

As Fig. 2, 3 e 4 apresentam a planta das zonas térmicas consideradas no modelo de simulação, para os três pisos do edifício.

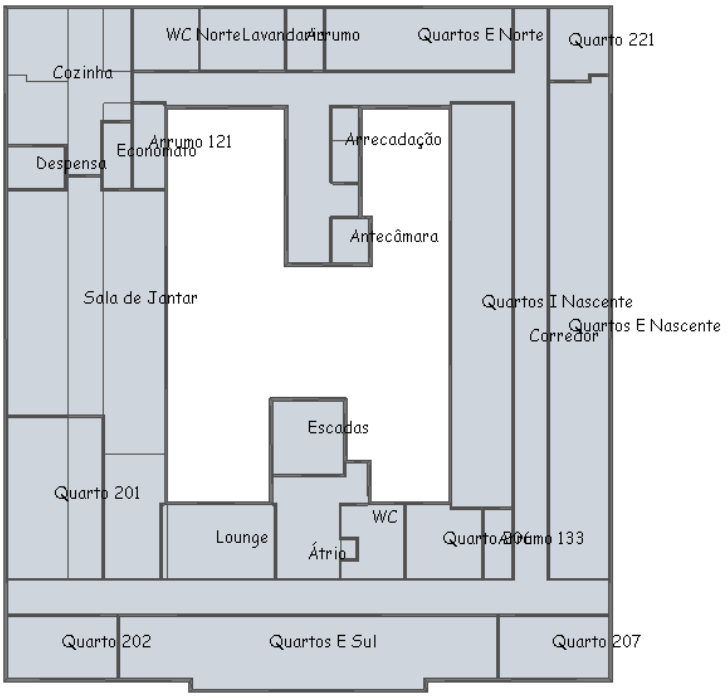

Fig. 2 – Zonas térmicas do Piso 2 (Fonte: *DesignBuilder*)

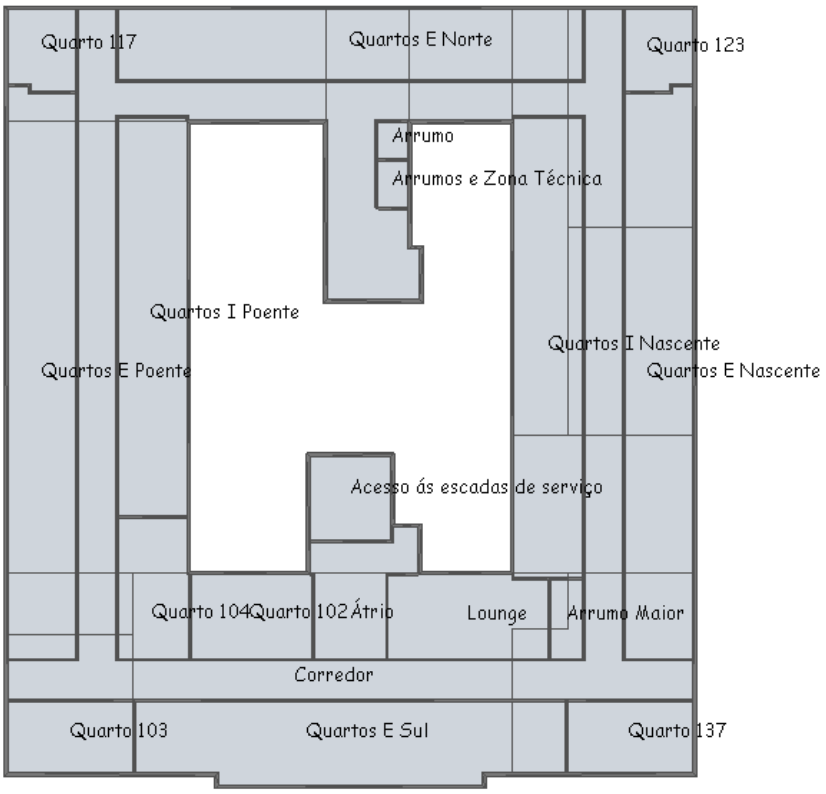

Fig. 3 – Zonas térmicas do Piso 1 (Fonte: *DesignBuilder)*

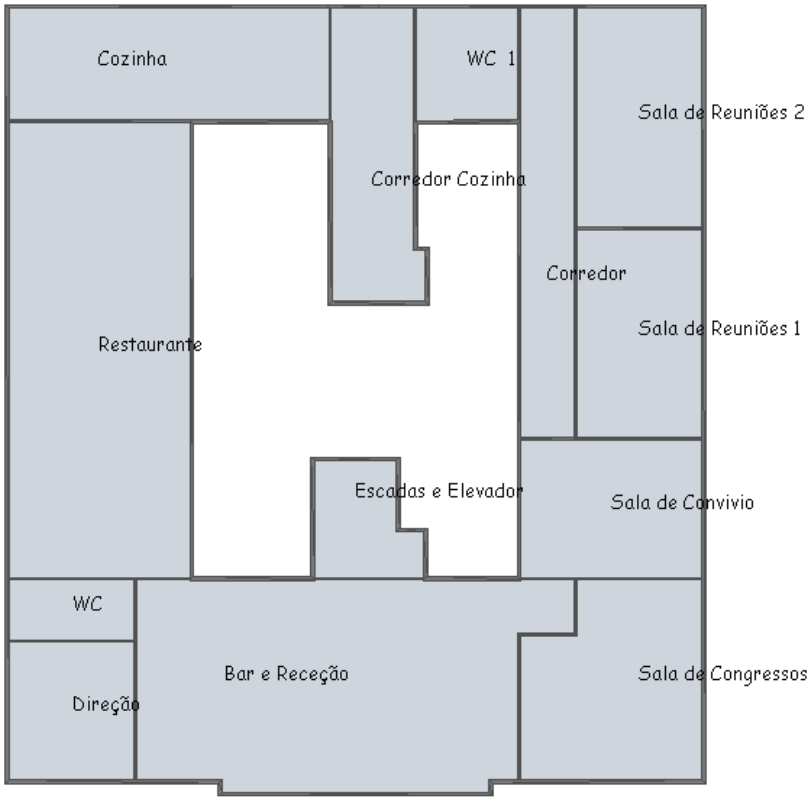

Fig. 4 – Zonas térmicas do R/C (Fonte: *DesignBuilder)*

2.1.4 Soluções construtivas

Os elementos construtivos deste edifício apresentam características típicas da sua época e região de construção, com materiais maciços, sendo as paredes exteriores em pedra calcária.

Relativamente aos vãos envidraçados, estes possuem vidro duplo incolor, caixilharia de alumínio com corte térmico, sendo as janelas e as portas de abrir para o interior.

Para a taxa de renovação de ar interior que ocorre de forma natural, através da permeabilidade ao ar da envolvente do edifício, foi considerado no modelo de simulação do hotel um valor constante e igual a 0,6 renovações por hora (*RPH*), sendo este o valor de referência indicado pelo artigo 14.º do RCCTE.

Da Tabela 2 à Tabela 6 apresentam-se as características relevantes, dos elementos de construção, adotadas no modelo de simulação do hotel, de acordo com as informações recolhidas, tendo em consideração a idade do edifício e a escassa informação relativamente a este tipo de materiais. Os valores de R_{Total} presentes nestas tabelas já contêm os valores das resistências térmicas superficiais, interior e exterior, sendo respetivamente, 0,13 e 0,04. Na Tabela 2 o elemento construtivo que aparece em primeiro é da parte interior do edifício e o último da parte exterior.

Tabela 2 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos verticais exteriores

Paredes Exteriores		e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$kg\,m^{-3}$]	R_{Total} [$m^2\,K\,W^{-1}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
R/C	Estuque Projetado	1	0,60	1001	1300	0,54	1,84
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	53	1,70	1001	2100		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
Piso 1 e 2	Estuque Projetado	1	0,60	1001	1300	0,48	2,07
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	43	1,70	1001	2100		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		

Tabela 3 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos verticais interiores

Paredes Interiores	e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$kg\,m^{-3}$]	R_{Total} [$m^2\,K\,W^{-1}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Reboco Tradicional	2	1,40	1044	2000	0,68	1,47
Tijolo[1]	15	0,38	828	1100		
Reboco Tradicional	2	1,40	1044	2000		

Tabela 4 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos horizontais

Elementos Horizontais		e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$kg\,m^{-3}$]	R_{Total} [$m^2\,K\,W^{-1}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Pavimento	Betão Normal	20	2,10	972	2400	0,31	3,19
Pavimento Interior	Pavimento Cerâmico	1	1,20	936	2000	0,45	2,23
	Laje Aligeirada de Blocos Cerâmicos[2]	20	1,18	1000	1333		
Cobertura	Betonilha	2	1,30	840	2000	0,46	2,20
	Lage Aligeirada de Blocos Cerâmicos	20	1,18	1000	1333		

[1] Apesar deste material não ser um material homogéneo é definido um valor de condutividade equivalente utilizado para efeitos de simulação.
[2] Idem 1.

Tabela 5 – Constituição e propriedades termofísicas dos elementos construtivos dos caixilhos

Caixilho e Divisórias	e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$kg\,m^{-3}$]	R_{Total} [$m^2\,K\,W^{-1}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Alumínio	0,2	160,00	880	2800	0,21	4,72
PVC	0,5	0,17	900	1390		
Alumínio	0,2	160,00	880	2800		

Tabela 6 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas das janelas

Elementos		e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	Transmissão Solar	Reflexão Solar	Fator Solar	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Janelas	Vidro	0,3	0,9	0,84	0,08	0,76	3,23
	Ar	0,6	-	-	-		
	Vidro	0,3	0,9	0,84	0,08		
Portas	Vidro	0,6	1	0,79	0,08	0,81	6,12
Sombreamento	Cortinas	0,3	0,1	0,4	0,45	0,4	-

Relativamente ao sombreamento referido na tabela anterior (Tabela 6), há que referir que este se encontra pelo interior das janelas e para efeitos de simulação se considera sempre ativo.

Com toda a informação mencionada é possível obter a seguinte imagem gráfica do modelo do edifício, Fig. 5, evidenciando os diversos elementos de construção.

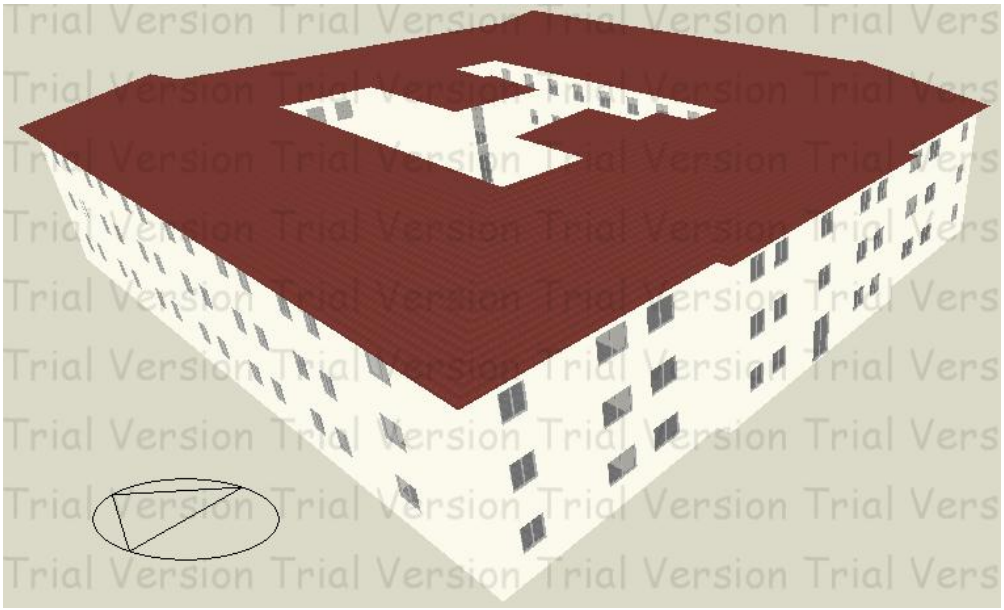

Fig. 5 – Imagem virtual do edifício, numa perspetiva axonométrica (Fonte: *DesignBuilder*)

2.1.5 Iluminação

O presente caso de estudo detém informação relativamente ao número, potência e tipo de lâmpadas existentes em cada compartimento do edifício. A partir dai é possível verificar que genericamente a maioria da iluminação do edifício é feita por luminárias de lâmpadas fluorescentes tubulares existentes nos quartos, cozinhas e restaurante, com algumas lâmpadas incandescentes em espaços de menor utilização, como por exemplo os arrumos e instalações sanitárias (WC) dos quartos. Além disso ainda existem lâmpadas de halogéneo principalmente nos corredores e nas instalações sanitárias, para o público em geral.

Através da soma da potência das lâmpadas instaladas e sabendo a área das respetivas zonas térmicas, obtiveram-se as densidades de potência referentes à iluminação que foram consideradas no modelo de simulação do edifício. Da Tabela 7 à Tabela 9 apresentam-se os valores das densidades de potência das zonas térmicas, para os vários pisos.

Tabela 7 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no R/C

Zona Térmica	Área [m^2]	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]
Bar e receção	262,79	12,7
Corredor	74,99	4,5
Corredor Cozinha	78,62	4,5
Cozinha	113,73	8,9
Direção	55,43	12,9
Escadas e elevador	34,18	1,0
Restaurante	260,79	9,2
Sala de Congressos	105,82	6,0
Sala de Convívio	79,50	3,6
Sala de Reuniões 1	84,02	6,0
Sala de Reuniões 2	87,27	6,0
WC	24,96	12,8
WC 1	36,73	12,8

Tabela 8 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no piso 1

Zona Térmica[3]	Área [m^2]	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]
Acesso às Escadas de Serviço	22,00	4,0
Arrumo	3,96	30,3
Arrumo e zona técnica	4,92	12,2
Arrumo Maior	9,05	6,6
Átrio	32,95	20,2
Corredor	356,94	4,3
Lounge	44,31	8,1
Quarto 102	33,73	10,3
Quarto 103	29,31	14,3
Quarto 104	32,69	9,8
Quarto 117	17,71	13,3
Quarto 123	17,73	12,0
Quarto 137	29,32	10,0
Quartos E Nascente	125,95	11,6
Quartos E Norte	107,70	12,0
Quartos E Poente	125,76	11,5
Quartos E Sul	110,98	9,7
Quartos I Nascente	104,11	12,3
Quartos I Poente	89,59	11,3

[3] Para diferenciar as várias zonas térmicas referentes a quartos, optou-se por criar uma terminologia, em que "I" são zonas viradas para o pátio e "E" zonas viradas para o exterior do edifício, além disso também se refere a orientação da zona.

Tabela 9 – Distribuição das densidades de potência da iluminação no piso 2

Zona Térmica	Área [m^2]	Densidade de potência [$W\,m^{-2}$]
Antecâmara	7,14	6,2
Arrecadação	8,88	13,5
Arrumo	10,14	5,9
Arrumo 121	11,72	20,5
Arrumo 133	9,05	6,6
Átrio	34,50	19,4
Corredor	260,16	4,7
Cozinha	72,89	8,9
Despensa	10,77	10,0
Economato	8,91	12,1
Escadas	22,00	1,0
Lavandaria	22,74	12,7
Lounge	35,70	3,1
Quarto 201	65,69	9,3
Quarto 202	29,31	7,3
Quarto 206	24,08	8,8
Quarto 207	29,32	7,3
Quarto 221	17,73	12,0
Quartos E Nascente	125,95	11,8
Quartos E Norte	49,63	8,6
Quartos E Sul	110,98	5,8
Quartos I Nascente	104,11	12,3
Sala de jantar	191,02	9,2
WC	18,69	12,8
WC Norte	17,62	12,8

2.1.6 Equipamento

Relativamente aos equipamentos existentes no edifício, existe informação dos aparelhos presentes em cada espaço do edifício, bem como das respetivas potências instaladas, tendo sido identificados principalmente: televisões e secadores, presentes nos quartos. Além destes, também existe outros aparelhos elétricos, tais como, máquinas de café, frigoríficos, micro-ondas, máquinas de lavar loiça e roupa, torradeiras, tostadeiras, arca de gelados, computadores, impressoras entre outros, presentes nas restantes zonas. No entanto, é necessário ter a noção que estes aparelhos não se encontram sempre ligados, estando isso repercutido nos valores considerados de densidade de potência dos equipamentos das zonas térmicas.

Da Tabela 10 à Tabela 12 encontra-se a distribuição por zona térmica das densidades de potência, relativas aos vários equipamentos existentes que foram tidos em conta no modelo de simulação do edifício.

Tabela 10 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no R/C

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\,m^{-2}$]
Bar e receção	4,84
Corredor	0,00
Corredor Cozinha	0,00
Cozinha	56,56
Direção	4,44
Escadas e elevador	0,00
Restaurante	3,52
Sala de Congressos	1,42
Sala de Convívio	3,08
Sala de Reuniões 1	5,36
Sala de Reuniões 2	5,16
WC	0,00
WC 1	0,00

Tabela 11 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no piso 1

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]
Acesso às Escadas de Serviço	0,00
Arrumo	0,00
Arrumo e zona técnica	0,00
Arrumo Maior	0,00
Átrio	0,00
Corredor	0,00
Lounge	4,29
Quarto 102	3,91
Quarto 103	4,50
Quarto 104	4,04
Quarto 117	7,45
Quarto 123	7,44
Quarto 137	4,50
Quartos E Nascente	7,34
Quartos E Norte	6,13
Quartos E Poente	6,83
Quartos E Sul	3,66
Quartos I Nascente	7,61
Quartos I Poente	7,37

Tabela 12 – Distribuição das densidades de potência dos equipamentos no piso 2

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]
Antecâmara	0,00
Arrecadação	0,00
Arrumo	17,26
Arrumo 121	0,00
Arrumo 133	0,00
Átrio	0,00
Corredor	0,00
Cozinha	56,56
Despensa	5,11
Economato	5,78
Escadas	0,00
Lavandaria	273,56
Lounge	0,00
Quarto 201	2,01
Quarto 202	4,50
Quarto 206	5,86
Quarto 207	4,81
Quarto 221	7,95
Quartos E Nascente	7,48
Quartos E Norte	5,68
Quartos E Sul	3,57
Quartos I Nascente	7,69
Sala de jantar	3,52
WC não identificado	0,00
WC Norte	0,00

2.1.7 AVAC

No que diz respeito ao sistema de ventilação, este edifício dispõe de um sistema mecânico para insuflação de ar novo consoante a sua ocupação.

A regulação térmica do edifício é assegurada pelo seu sistema de climatização que é composto por várias unidades exteriores de ar condicionado (AC) da marca Mitsubishi Electric, como se pode observar na Tabela 13, onde se apresenta a eficiência dos sistemas de climatização e a sua potência térmica de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 13 – Características técnicas das unidades exteriores de AC

Modelo	Potência Térmica [kW]		EER	COP
	Arrefecimento	Aquecimento		
MXZ-2C30VA	3,0	4,0	4,97	4,65
MXZ-2C52VA	5,2	6,4	3,83	3,86
MXZ-3C54VA	5,4	7,0	4,30	4,56
MXZ-3C68VA	6,8	8,6	3,69	4,06
MXZ-4C80VA	8,0	9,4	3,86	4,65
MXZ-5C100VA	10,0	12,0	3,44	4,07
MXZ-8A140VA	14,0	16,0	3,52	3,91

A potência térmica é distribuída no interior do edifício através de três tipos de ventilo-convetores da mesma marca, distribuídos pelos vários espaços do edifício: os modelos MSZ-SF15VA e MSZ_SF20VA, ambos murais, servem as divisões mais pequenas como os quartos e o modelo de cassete PLA-RP50BA é utilizado em zonas maiores como as salas de reuniões e restaurante.

Da Tabela 14 à Tabela 16 apresenta-se a eficiência dos sistemas de climatização, valores esses, relativos às unidades exteriores, pois a eficiência depende das unidades exteriores e essa eficiência é, na maioria das vezes, tanto maior quanto menor for a sua potência, como se pode observar nas tabelas seguintes.

Tabela 14 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do R/C

Zona Térmica	EER	COP
Bar e receção	3,52	3,91
Corredor	3,83	3,86
Corredor Cozinha	3,83	3,86
Cozinha	3,44	4,07
Direção	4,97	4,65
Escadas e elevador	4,97	4,65
Restaurante	3,44	4,07
Sala de Congressos	4,3	4,56
Sala de Convívio	3,83	3,86
Sala de Reuniões 1	3,83	3,86
Sala de Reuniões 2	3,83	3,86
WC	4,97	4,65
WC 1	4,97	4,65

Tabela 15 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do piso 1

Zona Térmica	EER	COP
Acesso às Escadas de Serviço	4,97	4,65
Arrumo	4,97	4,65
Arrumo e zona técnica	4,97	4,65
Arrumo Maior	4,97	4,65
Átrio	4,97	4,65
Corredor	3,44	4,07
Lounge	4,97	4,65
Quarto 102	4,97	4,65
Quarto 103	4,97	4,65
Quarto 104	4,97	4,65
Quarto 117	4,97	4,65
Quarto 123	4,97	4,65
Quarto 137	4,97	4,65
Quartos E Nascente	3,69	4,06
Quartos E Norte	4,30	4,56
Quartos E Poente	3,69	4,06
Quartos E Sul	4,30	4,56
Quartos I Nascente	3,83	3,86
Quartos I Poente	3,83	3,86

Tabela 16 – Eficiência dos sistemas de climatização, nas zonas térmicas do piso 2

Zona Térmica	EER	COP
Antecâmara	4,97	4,65
Arrecadação	4,97	4,65
Arrumo	4,97	4,65
Arrumo 121	4,97	4,65
Arrumo 133	4,97	4,65
Átrio	4,97	4,65
Corredor	3,52	3,91
Cozinha	3,83	3,86
Despensa	4,97	4,65
Economato	4,97	4,65
Escadas	4,97	4,65
Lavandaria	4,97	4,65
Lounge	4,97	4,65
Quarto 201	4,97	4,65
Quarto 202	4,97	4,65
Quarto 206	4,97	4,65
Quarto 207	4,97	4,65
Quarto 221	4,97	4,65
Quartos E Nascente	3,86	4,65
Quartos E Norte	4,97	4,65
Quartos E Sul	3,69	4,06
Quartos I Nascente	4,30	4,56
Sala de jantar	3,44	4,07
WC Norte	4,97	4,65

Os indicadores do nível de eficiência energética, relativos às zonas térmicas do hotel, correspondem aos valores fornecidos pelo fabricante. Genericamente COP e EER significam a mesma coisa, porém o EER refere-se à eficiência dos sistemas no processo de arrefecimento e COP refere-se à eficiência dos sistemas no aquecimento.

As temperaturas de *set point* de conforto ambiente tomadas em consideração no modelo de simulação, são as correspondentes às condições interiores de referência definidas no artigo 14.º do RCCTE: $20^{o}C$ para a estação de aquecimento (Inverno) e $25^{o}C$ para a estação de arrefecimento (Verão).

2.2 Simulação em condições nominais

2.2.1 Consumo nominal de energia

Para obter o consumo nominal específico de energia de um grande edifício de serviços constrói-se um modelo de simulação dinâmica multizona do edifício, utilizando metodologias de simulação que obedeçam aos requisitos estabelecidos no nº 2 do artigo 13.º e considerando as condições nominais definidas no Anexo XV do RSECE, que consistem em padrões no que respeita à utilização dos edifícios.

Para além dos padrões nominais de utilização referidos, a simulação dinâmica dos GES em condições nominais deverá também considerar os caudais mínimos de ar novo definidos no texto regulamentar do RSECE (ADENE, 2011). De notar que, seguindo a metodologia regulamentar, os padrões nominais de utilização foram adotados para todas as zonas térmicas do modelo de simulação do edifício.

2.2.2 Padrões nominais de utilização

Os padrões nominais de utilização dos edifícios são definidos no Anexo XV do RSECE por tipologia, distinguindo-se entre perfis variáveis (Tabela 17) e perfis constantes (Tabela 18). Como o edifício em estudo tem duas tipologias, hotéis de 3 ou menos estrelas e restaurantes, utilizam-se os padrões nominais destes dois tipos de tipologia, para as respetivas zonas térmicas.

Tabela 17 – Valores nominais para os perfis variáveis das duas tipologias

Perfis Variáveis		Densidades
Hotéis de 3 ou menos estrelas	Ocupação quartos	10 m^2 *ocupante*$^{-1}$
	Ocupação nas restantes áreas	10 m^2 *ocupante*$^{-1}$
	Iluminação	-
	Equipamento	3 $W\ m^{-2}$
Restaurantes	Ocupação	5 m^2 *ocupante*$^{-1}$
	Iluminação	-
	Equipamento	5 $W\ m^{-2}$

Tabela 18 – Valores nominais para os perfis constantes das duas tipologias

Perfis Constantes			Densidade [$W\ m^{-2}$]	Nº horas funcionamento [h]
Hotéis de 3 ou menos estrelas	Lavandaria	Iluminação	-	1560
		Equipamento	500	
		Ventilação	8	
	Cozinha	Iluminação	-	2000
		Equipamento	250	
		Ventilação	8	
Restaurantes	Cozinha	Iluminação	-	6300
		Equipamento	250	
		Ventilação	8	

Para o caso de estudo em questão não foram considerados valores de iluminação exterior, nem a existência de estacionamento.

Devido à existência de duas tipologias, no mesmo edifício, não é só a densidade de ocupação que difere, os perfis também são todos diferentes, relativamente à ocupação, iluminação e equipamentos.

O tipo de atividade presente nas zonas térmicas ocupadas corresponde tipicamente aos valores usados para este tipo de utilização. Considerou-se 120 *W pessoa*$^{-1}$ como sendo a taxa de metabolismo mais adequada para usar na simulação do edifício, taxa esta indicada pela CIBSE.

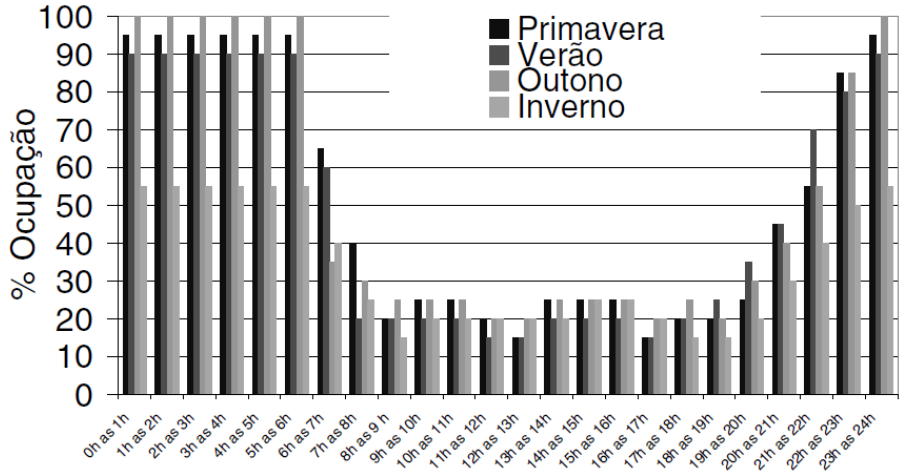

Fig. 6 – Perfil nominal de ocupação de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*)

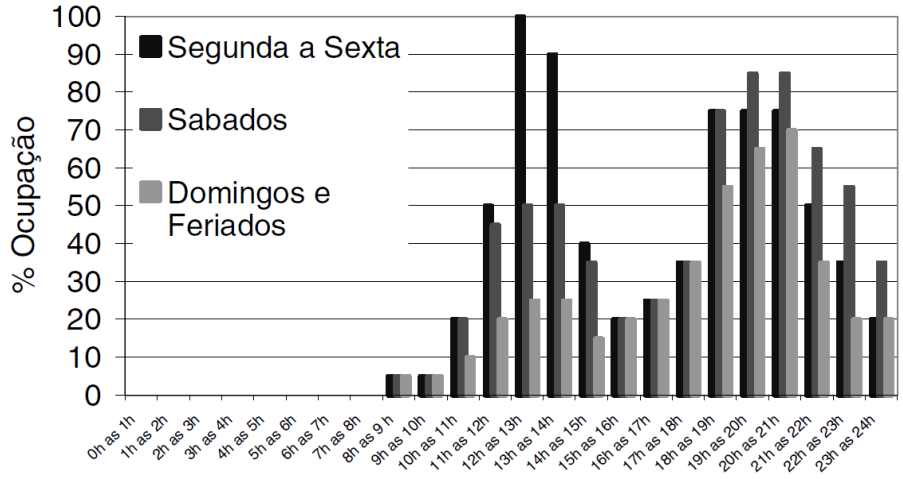

Fig. 7 – Perfil nominal de ocupação de restaurantes (Fonte: *RSECE*)

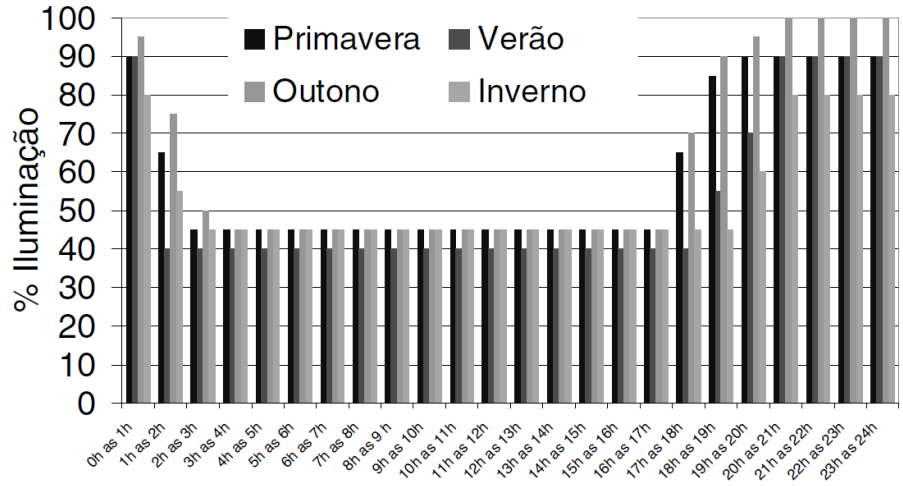

Fig. 8 – Perfil nominal de iluminação de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*)

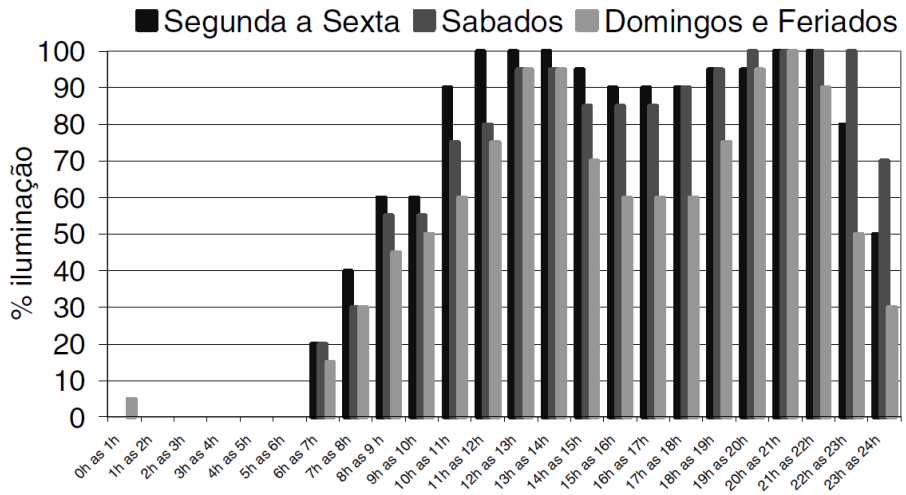

Fig. 9 – Perfil nominal de iluminação de restaurantes (Fonte: *RSECE*)

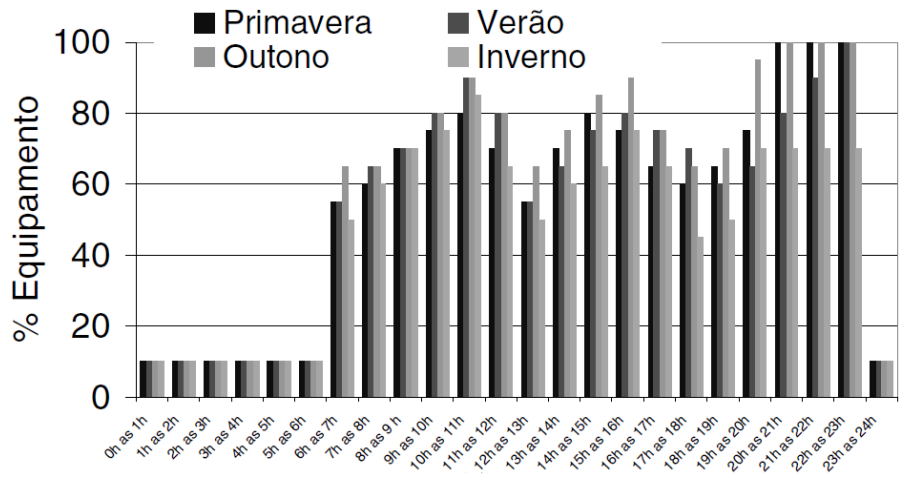

Fig. 10 – Perfil nominal de equipamentos de hotéis de 3 ou menos estrelas (Fonte: *RSECE*)

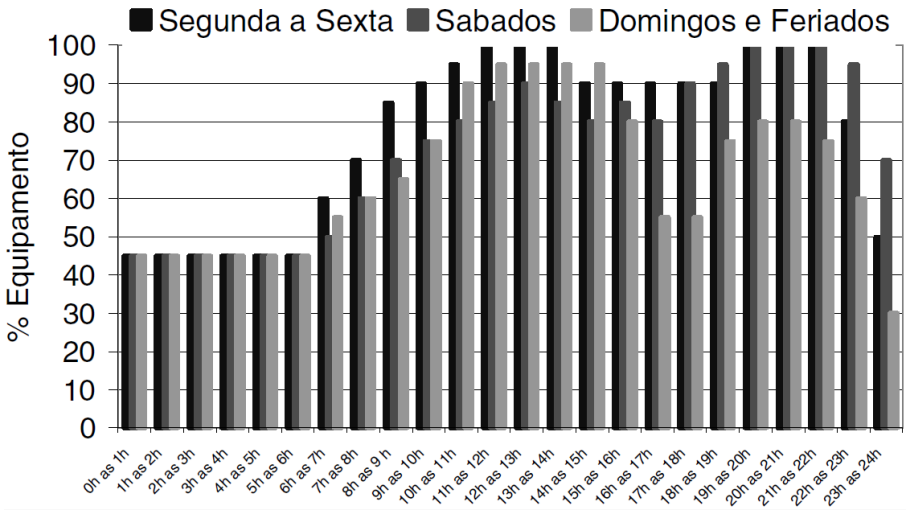

Fig. 11 – Perfil nominal de equipamentos de restaurantes (Fonte: *RSECE*)

2.2.3 Caudais mínimos de ar novo

Os caudais mínimos de ar novo a considerar na simulação dinâmica dos GES em condições nominais, são definidos no Anexo VI do RSECE por espaço do edifício em função do tipo de atividade. Para os casos em que se indicam dois valores, por área ($m^3\,h^{-1}\,m^{-2}$) ou por ocupante ($m^3\,h^{-1}\,ocupante^{-1}$), dever-se-á efetuar uma comparação entre ambos e considerar a situação mais gravosa, tendo em conta a densidade nominal de ocupação aplicável à tipologia de edifício (Tabela 17) assim como a respetiva área útil de pavimento (Tabela 7 à Tabela 9). Os valores correspondentes às situações mais gravosas encontram-se sublinhados. Da Tabela 19 à Tabela 21 apresentam-se os valores de caudais mínimos de ar novo estabelecidos para a categoria de empreendimentos turísticos, no entanto, devido á diversidade de zonas existentes no edifício, foi necessário recorrer a outras categorias.

Os caudais mínimos de ar novo considerados na simulação do edifício em condições nominais são introduzidos nas zonas térmicas úteis, por ventilação mecânica com uma eficiência de 70%.

De notar que, para as zonas térmicas do modelo de simulação do edifício que não se enquadram nas tipologias de atividades previstas no Anexo VI do RSECE, que se encontram a negrito, o caudal mínimo de ar novo considerado, foi o correspondente ao tipo de atividade mais característica do edifício: "Quartos/Suítes". Além disso existem zonas em que não foi considerada a existência de ar novo.

Tabela 19 – Caudais mínimos de ar novo, no R/C

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo	
		[$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]	[$m^3\ h^{-1}\ m^{-2}$]
Bar e receção	Sala de espera	30	
Corredor	Corredores/Átrios		5
Corredor Cozinha	Corredores/Átrios		5
Cozinha	Sala de preparação de refeições	30	
Direção	Gabinetes	35	5
Escadas e elevador	Corredores/Átrios		5
Restaurante	Salas de refeições	35	
Sala de Congressos	Auditório	30	
Sala de Convívio	Sala de espera	30	
Sala de Reuniões 1	Auditório	30	
Sala de Reuniões 2	Auditório	30	
WC	Quartos/ Suítes	30	
WC 1	Quartos/ Suítes	30	

Tabela 20 – Caudais mínimos de ar novo, no piso 1

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo	
		[$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]	[$m^3\ h^{-1}\ m^{-2}$]
Acesso às Escadas de Serviço	Corredores/Átrios		5
Arrumo	-	-	-
Arrumo e zona técnica	-	-	-
Arrumo Maior	-	-	-
Átrio	Corredores/Átrios		5
Corredor	Corredores/Átrios		5
Lounge	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 102	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 103	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 104	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 117	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 123	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 137	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Nascente	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Norte	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Poente	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Sul	Quartos/ Suítes	30	
Quartos I Nascente	Quartos/ Suítes	30	
Quartos I Poente	Quartos/ Suítes	30	

Tabela 21 – Caudais mínimos de ar novo, no piso 2

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo	
		[$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]	[$m^3\ h^{-1}\ m^{-2}$]
Antecâmara	-	-	-
Arrecadação	-	-	-
Arrumo	-	-	-
Arrumo 121	-	-	-
Arrumo 133	-	-	-
Átrio	Corredores/Átrios		5
Corredor	Corredores/Átrios		5
Cozinha	Sala de preparação de refeições	30	
Despensa	-	-	-
Economato	-	-	-
Escadas	Corredores/Átrios		5
Lavandaria	Quartos/ Suítes	30	
Lounge	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 201	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 202	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 206	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 207	Quartos/ Suítes	30	
Quarto 221	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Nascente	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Norte	Quartos/ Suítes	30	
Quartos E Sul	Quartos/ Suítes	30	
Quartos I Nascente	Quartos/ Suítes	30	
Sala de jantar	Salas de refeições	35	
WC Norte	Quartos/ Suítes	30	

2.2.4 Soluções construtivas

Normalmente as soluções construtivas a adotar na simulação em condições nominais seriam as do caso de estudo original, no entanto, estas soluções construtivas dificultavam a obtenção de um IEE_{nom} que não seja superior ao $IEE_{ref,\ novo}$, devido às suas perdas térmicas. Deste modo optou-se por melhorar as soluções construtivas no sentido da diminuição do coeficiente de perdas térmicas das paredes exteriores. Para isso introduziu-se isolamento pelo exterior, mais concretamente EPS, uma solução possível de adotar em conjunto com este tipo de soluções construtivas (Rocha, J. M. E. C., 2008). Este elemento construtivo apresenta muitas vantagens, ao nível do comportamento hidrotérmico, tais como a diminuição de condensações internas, fenómenos de termoforese (Jorne, F., 2012) e de infiltrações de água no pano de alvenaria (Pereira, V., P. Sequeira, et al., 2007). Pode-se ver o resultado final na Tabela 22, comparativamente com a Tabela 2.

Tabela 22 – Soluções construtivas utilizadas no modelo nominal

Paredes exteriores		e [cm]	λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]	c [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]	ρ [$kg\ m^{-3}$]	R_{total} [$m^2\ K\ W^{-1}$]	U_{total} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
R/C	Estuque Projetado	1	0,6	1001	1300	1,04	0,96
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	53	1,70	1001	2100		
	EPS	2	0,04	1400	15		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
Piso 1 e 2	Estuque Projetado	1	0,6	1001	1300	0,98	1,02
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	43	1,70	1001	2100		
	EPS	2	0,04	1400	15		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		

2.2.5 Iluminação

Embora o RSECE defina, para as várias tipologias, perfis temporais de utilização da iluminação, este não estipula um valor nominal para a respetiva potência, pelo que na simulação do edifício em condições nominais se consideraram inicialmente as potências reais. No entanto, como estas potências eram elevadas, optou-se por reduzi-las para permitir a diminuição do IEE_{nom}, com o objetivo de este não ser superior ao $IEE_{ref,\ novo}$. As novas potências a considerar estão presentes nas tabelas seguintes (Tabela 23 à Tabela 25).

Tabela 23 – Potência de iluminação final, no R/C

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]	
	Valores anteriores	Valores atuais
Bar e receção	12,7	8,0
Corredor	4,5	4,5
Corredor Cozinha	4,5	4,5
Cozinha	8,9	8,0
Direção	12,9	8,0
Escadas e elevador	1,0	1,0
Restaurante	9,2	8,0
Sala de Congressos	6,0	6,0
Sala de Convívio	3,6	3,6
Sala de Reuniões 1	6,0	6,0
Sala de Reuniões 2	6,0	6,0
WC	12,8	8,0
WC 1	12,8	8,0

Tabela 24 – Potência de iluminação final, no piso 1

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]	
	Valores anteriores	Valores atuais
Acesso às Escadas de Serviço	4,0	4,0
Arrumo	6,6	6,6
Arrumo	30,3	8,0
Arrumo e zona técnica	12,2	8,0
Átrio	20,2	8,0
Corredor	4,3	4,3
Lounge	8,1	8,0
Quarto 102	10,3	8,0
Quarto 103	14,3	8,0
Quarto 104	9,8	8,0
Quarto 117	13,3	8,0
Quarto 123	12,0	8,0
Quarto 137	10,0	8,0
Quartos E Nascente	11,6	8,0
Quartos E Norte	12,0	8,0
Quartos E Poente	11,6	8,0
Quartos E Sul	9,7	8,0
Quartos I Nascente	12,3	8,0
Quartos I Poente	11,3	8,0

Tabela 25 – Potência de iluminação final, no piso 2

Zona Térmica	Densidade de potência [$W\ m^{-2}$]	
	Valores anteriores	Valores atuais
Antecâmara	6,2	6,2
Arrecadação	13,5	8,0
Arrumo	5,9	5,9
Arrumo	20,5	8,0
Arrumo	6,6	6,6
Átrio	19,4	8,0
Corredor	4,7	4,7
Cozinha	8,9	8,0
Despensa	10,0	8,0
Economato	12,1	8,0
Escadas	1,0	1,0
Lavandaria	12,7	8,0
Lounge	3,1	3,1
Quarto 201	9,3	8,0
Quarto 202	7,3	7,3
Quarto 206	8,8	8,0
Quarto 207	7,3	7,3
Quarto 221	12,0	8,0
Quartos E Nascente	11,8	8,0
Quartos E Norte	8,6	8,0
Quartos E Sul	5,8	5,8
Quartos I Nascente	12,3	8,0
Sala de jantar	9,2	8,0
WC	12,8	8,0
WC Norte	12,8	8,0

2.2.6 Determinação do *IEE* nominal

Na Tabela 26 apresenta-se o resultado obtido para o valor de consumo nominal de energia (E_{nom}) do hotel e os respetivos consumos para as diferentes utilizações finais, expressos em unidades de energia primária ($kgep\ ano^{-1}$ e $kWh_{EP}\ ano^{-1}$) e útil ($kWh\ ano^{-1}$), sobre a forma de energia elétrica.

Tabela 26 – Consumos de energia obtidos por simulação em condições nominais

Utilização		Consumo de energia		
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{out}	Iluminação	38160	131588	328969
	Equipamento	84259	290550	726375
	Ventilação	10979	37858	94644
Q_{aq}	Aquecimento	9136	31503	78758
Q_{arr}	Arrefecimento	18289	63064	157660
E_{nom}	Total	160823	554563	1386406

O indicador de eficiência energética nominal (IEE_{nom}) do edifício é determinado a partir dos resultados dos consumos de energia obtidos pela simulação em condições nominais (Tabela 26) e dos fatores de conversão para energia primária e correção climática, aplicando o método de cálculo do *IEE* previsto no Anexo IX do RSECE e descrito no Anexo B deste trabalho.

Conforme o exposto no artigo 15.º do RCCTE, o valor máximo limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_I) de um edifício depende dos valores do fator de forma (*FF*) e de graus-dia (*GD*) do clima local (Tabela 1). Primeiro é necessário calcular o *FF* que é definido pela equação (1) em que A_{ext} representa a área da superfície da envolvente exterior, A_{int} a área da superfície da envolvente interior, V o volume útil interior e o coeficiente τ que é definido na Tabela IV.1 do RCCTE, sendo considerado o valor de 0,9, correspondente a um desvão fracamente ventilado.

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum \tau A_{int}}{V} \quad (1)$$

Sendo:

A_{ext} = 2784 m^2

A_{int} = 1300 m^2

V = 12480 m^3

Daqui resulta:

FF = 0,32

Assim sendo, como $FF \leq 0,5$ verifica-se que a fórmula a utilizar para calcular N_I é a seguinte:

$$N_I = 4,5 + 0,0395\ GD \quad (2)$$

Desta forma para o nosso edifício tem-se:

N_{I1} = 44 $kWh\ m^{-2}ano^{-1}$ (GD = 1 000 $^0C\ dia$)

N_{Ii} = 52 $kWh\ m^{-2}ano^{-1}$ (GD = 1 190 $^0C\ dia$)

O valor máximo limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_V), de acordo com o disposto no artigo 15.º do RCCTE, depende da zona climática do local onde se encontra o edifício em estudo, verificando-se que:

N_{V1} = 16 $kWh\ m^{-2}ano^{-1}$ (V_1 Norte – zona de referência)

N_{Vi} = 32 $kWh\ m^{-2}ano^{-1}$ (V_2 Sul – zona do projecto)

Deste modo é possível calcular os fatores de correção de consumo (correção climática) de aquecimento e arrefecimento (F_{CI} e F_{CV}), sendo a fórmula genericamente igual a:

$$F_{CX} = \frac{N_{X1}}{N_{Xi}} \quad (3)$$

Daqui resulta:

F_{CI} = 0,85

F_{CV} = 0,50

Assim utilizando os valores dos fatores de correção, dos consumos de energia primária da Tabela 26 e o valor de A_p, 3900 m^2, torna-se possível calcular o valor do IEE_{nom} do edifício, Tabela 27.

Tabela 27 – IEE nominal obtido para o hotel

Unidades	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEE_I	2,00	17,25
IEE_V	2,34	20,21
IEE_{nom}	**38,55**	332,33

2.2.7 Determinação do *IEE* nominal, considerando a existência de AQS

Com o intuito de perceber a relevância da utilização de AQS, no *IEE* de um hotel, procedeu-se à realização de uma simulação do modelo nominal nas mesmas condições, onde se considera a utilização de AQS, em todas as zonas térmicas correspondentes aos quartos, cozinhas, lavandaria, bar e receção e restaurante. Sendo o perfil de consumo o mesmo da ocupação destes espaços (Fig. 6 e Fig. 7), com exceção das cozinhas e lavandaria, onde se utilizam os perfis constantes (Tabela 18).

A taxa de consumo foi calculada em 1,925 $l\ m^{-2}\ dia^{-1}$, considerando um consumo de 55 litros por dia por cama, para a maioria das divisões consideradas, com exceção do restaurante e respetiva cozinha,

com uma taxa de 1,5 $l\ m^{-2}\ dia^{-1}$, considerando 7,5 litros por cada refeição, para água aquecida a 60 ^{0}C. Estes valores foram calculados com base no guia técnico espanhol de águas quentes sanitárias (ATECYR, 2010).

Na Tabela 28 apresenta-se o resultado obtido para o valor de consumo nominal de energia (E_{nom}) do hotel e os respetivos consumos para as diferentes utilizações finais, expressos em unidades de energia primária utilizada atualmente na regulamentação ($kgep\ ano^{-1}$) e a utilizar futuramente ($kWh_{EP}\ ano^{-1}$).

Tabela 28 – Consumos de energia primária obtidos por simulação em condições nominais

Utilização		Consumo de energia primária	
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{out}	Iluminação	38160	328969
	Equipamento	84259	726375
	Ventilação	10979	94644
	AQS_1 (gás)	9550	111050
	AQS_2 (eletricidade)	32204	277624
Q_{aq}	Aquecimento	9136	78758
Q_{arr}	Arrefecimento	18292	157687
E_{nom}	$Total_1$	170377	1497483
	$Total_2$	325247	2803851

Foram consideradas duas alternativas de AQS, uma a gás (AQS_1) e outra a eletricidade (AQS_2), como se pode ver na Tabela 28, portanto existe um total de energia consumida para cada situação. Em cada uma das situações só se utiliza uma das alternativas energéticas. Como seria espectável a opção elétrica é mais penalizadora em termos de energia primária.

Através destes resultados é possível calcular os correspondentes *IEE*, segundo o método utilizado anteriormente. Desse modo obtêm-se os valores da Tabela 29.

Tabela 29 – IEE nominal obtido para as diferentes alternativas de AQS

Alternativas	AQS_1 (gás)		AQS_2 (eletricidade)	
Unidades	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
IEEI	2,00	17,25	2,00	17,25
IEEV	2,35	20,22	2,35	20,22
IEE_{nom}	41,00	360,81	46,81	403,52

Através da tabela anterior é possível verificar que o IEE_{nom} para a situação em que se opta por utilizar gás tem um valor inferior à opção elétrica.

2.2.8 Determinação do valor de referência limite do *IEE*

Como o edifício inclui mais que uma tipologia, o valor do *IEE* tem de ser calculado proporcionalmente em função das áreas úteis, relativas a cada espaço, a partir dos valores definidos (valores de referência), de cada tipo de espaço. Designa-se esse valor como *IEE* ponderado. O *IEE* a verificar é apenas o ponderado, conforme previsto no n.º 4 do Art.31º do RSECE, podendo desta forma haver algumas tipologias de entre as ponderadas, a ultrapassar o respetivo valor limite.

Através da tabela seguinte é possível verificar a determinação do $IEE_{ref,\ novos}$ ponderado para o edifício em estudo.

Tabela 30 – Determinação do $IEE_{ref,\ novos}$ ponderado

Tipo de espaço	Área [m^2]	*IEE* [$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
Lavandaria	23	218
Cozinha do Hotel	73	174
Restaurante	261	120
Cozinha do Restaurante	114	174
Restante Hotel	3430	25
Total	3900	**39,61**

Através da determinação do verdadeiro $IEE_{ref,\ novos}$ aplicado ao edifício estudado é bem notória a diferença entre o *IEE* de referência de um hotel e o ponderado, determinado para o edifício em estudo.

2.2.9 Determinação da classe energética

A determinação da classe energética dos edifícios é regulamentada através do Despacho n.º 10250/2008, de 8 de Abril, relativo ao Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior. Este determina o tipo do modelo de certificado a emitir, no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), e estabelece as metodologias necessárias adotar para proceder à determinação da classificação energética dos edifícios.

Segundo o artigo 2.º deste despacho um edifício ou fração autónoma de um edifício é, para efeitos da certificação energética e respetivo modelo de certificado, integrado numa das categorias que reúna as suas características. O edifício em estudo enquadra-se na categoria dos grandes edifícios de serviços (GES) e consequentemente o formato e conteúdo do certificado a emitir deverá ser o apresentado no Anexo II, como tipo B.

A classe energética para edifícios, tanto novos como existentes no âmbito do SCE, que sejam objeto de declarações de conformidade regulamentar (DCR) ou certificados energéticos e da qualidade do ar interior (CE) do Tipo B, é determinada com base nas seguintes variáveis, inumeradas no artigo 3.º:

- Valor do consumo nominal específico (IEE_{nom}) obtido na base dos padrões nominais de utilização definidos e calculado de acordo com o previsto no Anexo XV do RSECE, presente na Tabela 27;

- Valor de referência limite do indicador de eficiência energética para novos edifícios de serviços ($IEE_{ref,\ novos}$), calculado de forma ponderada e apresentado na Tabela 30;

- Valor do parâmetro *S*, definido por tipologia, no Anexo IV do referido despacho, no entanto, como o edifício em questão apresenta várias tipologias, determinou-se ponderadamente o valor a considerar para esta situação, á semelhança do efetuado para determinar o $IEE_{ref,novos}$.

Tabela 31 – Determinação do *S* ponderado

Tipo de espaço	Área [m^2]	*S* [$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
Lavandaria	23	7
Cozinha do Hotel	73	10
Restaurante	261	33
Cozinha do Restaurante	114	10
Restante Hotel	3430	18
Total	3900	**18,56**

O valor de *S* correspondente à soma do valor dos consumos de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação (interior), considerados na definição do valor do $IEE_{ref,\ novos}$ das várias tipologias.

No n.º 6 do mesmo artigo encontra-se definida a conjugação das variáveis referidas anteriormente para determinação da classe energética. Esta deverá ser feita com recurso à tabela apresentada de seguida, sendo a classe a atribuir aquela que corresponder à condição verdadeira verificada numa escala de 9 classes possíveis, no entanto como se trata de um edifício sujeito a uma grande intervenção, segundo a regulamentação este tem de pertencer a uma classe energética nunca inferior a B-.

Tabela 32 – Classes energéticas para os GES (Fonte: ADENE)

		Classe energética	IEE_{nom} (kgep/m^2.ano)
Edifícios existentes	Edif. novos	A+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}75.S$
		A	$IEE_{ref} - 0{,}75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}50.S$
		B	$IEE_{ref} - 0{,}50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0{,}25.S$
		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	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

Da escala pré-definida, a classe A+ corresponde a um edifício com o máximo de eficiência energética, IEE_{nom} baixo, no sentido inverso a classe G corresponde a um edifício com o pior desempenho energético, IEE_{nom} elevado. Esta classificação energética dos GES é estabelecida por comparação do IEE_{nom} dos edifícios com os consumos de energia de um edifício de referência.

O edifício de referência é aquele em que, o IEE_{nom} é igual ao valor máximo de referência limite do consumo nominal específico para novos edifícios de serviços ($IEE_{ref,\ novos}$), "situando-se" no limite inferior da classe B-.

Com o intuito de determinar a classificação energética do hotel e sabendo desde já os respetivos valores das variáveis necessárias à sua determinação:

IEE_{nom} = 38,55 $kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$

$IEE_{ref,\ novos}$ = 39,61 $kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$

S = 18,56 $kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$

Então, tal como descrito, pela conjugação dos valores obtidos destas variáveis, recorrendo à Tabela 32, determina-se a classe energética do edifício. Conclui-se então, que na escala de classes de desempenho energético, pré-definida por tipologia para os GES, na Regulamentação Térmica de Edifícios, o edifício em estudo pertence à classe B-, ou seja, a sua eficiência energética cumpre os requisitos mínimos exigidos para um GES novo, como era pretendido, para o edifício receber a certificação energética.

2.3 Simulação em condições reais

Em 2010, a reformulação da Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD-recast), Diretiva 2010/31/EU, definiu que cada Estado-Membro Europeu deveria aumentar o nível de exigência da regulamentação, de modo que, em 2020, os edifícios novos, sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly zero Energy Buildings*, nZEB). Nesse sentido os trabalhos de revisão da legislação devido à reformulação da diretiva já estão em curso, estando a sua conclusão prevista para 2013, surgindo desde já com algum atraso.

Segundo a informação proveniente de documentos de trabalho das comissões executivas de revisão regulamentar, sendo que esta informação ainda não tem um carácter definitivo podendo ser alterada porque a legislação ainda se encontra a ser revista, na nova regulamentação passará a ser necessário construir dois modelos. Os novos modelos correspondem a um modelo real e um com condições de referência, definidas na revisão regulamentar. Estes modelos acabam por substituir a atual realização do modelo com condições nominais e os valores de referência limite tabelados para as várias tipologias.

2.3.1 Padrões reais utilizados

Os padrões reais de utilização do edifício considerados foram, na sua maioria, os mesmos do modelo em condições nominais, principalmente os perfis considerados, tanto os constantes como os variáveis, correspondem aos utilizados na simulação em condições nominais (2.2.2), ou seja, definidos no Anexo XV do RSECE.

No entanto, no que diz respeito à ocupação esta é diferente, sendo considerada a que efetivamente se irá verificar no hotel. Estes valores têm por base o número de dormidas, considerando-se uma densidade ocupacional de 33 m^2 $ocupante^{-1}$ relativamente ao piso 2, 23 m^2 $ocupante^{-1}$ no piso 1 e no R/C considerou-se 5 m^2 $ocupante^{-1}$ no restaurante e respetiva cozinha ficando as restantes zonas térmicas com uma densidade ocupacional de 10 m^2 $ocupante^{-1}$.

Relativamente às soluções construtivas consideradas, são as apresentadas no edifício do caso de estudo (2.1.4) com a melhoria efetuada em 2.2.4, pois para fins de classificação energética esta melhoria revela-se necessária. A densidade de potência dos equipamentos considerados, nesta simulação, corresponde aos valores reais, descritos no capítulo 2.1.6.. Em relação ao AVAC as suas características são iguais às utilizadas no modelo em condições nominais (2.1.7). No que diz respeito aos caudais mínimos de ar novo adotados estes correspondem aos considerados para a situação em condições nominais (2.2.3), visto que são estabelecidos regulamentarmente e todos os edifícios têm de cumprir estas normas. A iluminação corresponde ao descrito no capítulo 2.2.5, no que à densidade de potência diz respeito.

Nesta simulação ainda se considera a existência de AQS, trata-se de um uso com um peso significativo no consumo de energia, num edifício com as características dum hotel. As taxas de consumo adotadas e outras características deste consumo energético estão já descritas no capítulo correspondente à simulação em condições nominais (2.2.7).

2.3.2 Determinação do *IEE* real

Na Tabela 33 apresenta-se o resultado obtido para o valor de consumo real de energia (E_{real}) do hotel e os respetivos consumos para as diferentes utilizações finais, expressos em unidades de energia primária ($kgep\ ano^{-1}$ e $kWh_{EP}\ ano^{-1}$) e útil ($kWh\ ano^{-1}$), sobre a forma de energia elétrica e energia proveniente de um combustível líquido (gás).

Tabela 33 – Consumos de energia obtidos por simulação em condições reais

Utilização		Consumo de energia		
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{ilu}	Iluminação	38160	131588	328969
Q_{eq}	Equipamento	35628	122854	307136
Q_{ven}	Ventilação	6687	23059	57646
Q_{AQS}	AQS (gás)	9550	111050	111050
Q_{aq}	Aquecimento	9962	34353	85882
Q_{arr}	Arrefecimento	4751	16384	40960
E_{real}	Total	104739	439287	931644

O indicador de eficiência energética real (IEE_{real}) do edifício é determinado a partir dos resultados dos consumos de energia obtidos pela simulação em condições reais (Tabela 33) e dos fatores de conversão para energia primária, aplicando um método de cálculo diferente do utilizado no modelo em condições nominais.

$$IEE_s = \frac{Q_{arr} + Q_{aq} + Q_{AQS} + Q_{ilu}}{A_p} \quad (4)$$

Através desta fórmula o IEE_{real} obtido corresponde a 16,01 $kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$, ou seja, 145,35 $kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$.

2.4 Simulação em condições de referência

Neste capítulo procede-se à simulação em condições de referência, obtidas a partir de documentos de trabalho das comissões executivas de revisão regulamentar. Estas condições de referência estabelecem o valor de determinadas características da construção e utilização do edifício. Através dos resultados desta simulação pode-se calcular o respetivo indicador de eficiência energética, IEE_{ref}, a partir do qual se torna possível a determinação da classe energética do edifício, considerando o valor do IEE_{real} calculado anteriormente.

2.4.1 Padrões de referência utilizados

Os padrões de referência considerados para o edifício são maioritariamente diferentes do modelo real, no entanto, os perfis considerados, tanto os constantes como os variáveis, correspondem aos utilizados na simulação em condições nominais e reais (2.2.2), ou seja, definidos no Anexo XV do RSECE.

A densidade de potência dos equipamentos considerados, nesta simulação, corresponde aos valores reais, anteriormente utilizados no modelo em condições reais e descritos no capítulo 2.1.6. Relativamente ao AQS as taxas de consumo adotadas e os perfis deste consumo energético estão já descritos no capítulo correspondente à simulação em condições nominais (2.2.7). No que diz respeito à ocupação considerada, esta corresponde à densidade ocupacional utilizada na simulação em condições reais (2.3.1).

Em relação ao AVAC este é feito através de splits de permuta ar-água, em todas as divisões durante todo o ano, caracterizados por um COP de 3,4 e um EER de 3,1, segundo indicação dos requisitos existentes para a elaboração do modelo de referência provenientes dos documentos de trabalho das comissões executivas de revisão regulamentar.

2.4.2 Caudais mínimos de ar novo

Os caudais mínimos de ar novo a considerar na simulação dinâmica dos GES em condições de referência, são determinados pelo método prescritivo, associando o caudal de ar novo ao tipo de atividade desenvolvida no respetivo espaço. Deste modo quanto mais intensa é a atividade desenvolvida na respetiva zona, maior é o caudal de ar novo. Nas zonas térmicas que foram consideradas de menor utilidade não foi considerada a existência de ar novo. Da Tabela 34 à Tabela 36 apresentam-se os valores de caudais mínimos de ar novo estabelecidos para as diversas zonas térmicas do empreendimento turístico.

Os caudais mínimos de ar novo considerados na simulação do edifício em condições de referência são introduzidos nas zonas térmicas úteis, por ventilação exclusivamente mecânica com uma eficiência de 80%.

Tabela 34 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no R/C

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo [$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]
Bar e receção	Sedentária	30,0
Corredor	Sedentária	30,0
Corredor Cozinha	Sedentária	30,0
Cozinha	Moderada	43,8
Direção	Sedentária	30,0
Escadas e elevador	Sedentária	30,0
Restaurante	Sedentária	30,0
Sala de Congressos	Sedentária	30,0
Sala de Convívio	Sedentária	30,0
Sala de Reuniões 1	Sedentária	30,0
Sala de Reuniões 2	Sedentária	30,0
WC	Sedentária	30,0
WC 1	Sedentária	30,0

Tabela 35 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no piso 1

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo [$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]
Acesso às Escadas de Serviço	Sedentária	30,0
Arrumo	-	-
Arrumo e zona técnica	-	-
Arrumo Maior	-	-
Átrio	Sedentária	30,0
Corredor	Sedentária	30,0
Lounge	Sono	20,0
Quarto 102	Sono	20,0
Quarto 103	Sono	20,0
Quarto 104	Sono	20,0
Quarto 117	Sono	20,0
Quarto 123	Sono	20,0
Quarto 137	Sono	20,0
Quartos E Nascente	Sono	20,0
Quartos E Norte	Sono	20,0
Quartos E Poente	Sono	20,0
Quartos E Sul	Sono	20,0
Quartos I Nascente	Sono	20,0
Quartos I Poente	Sono	20,0

Tabela 36 – Caudais mínimos de ar novo de referência, no piso 2

Zona Térmica	Tipo de atividade	Caudais mínimos de ar novo [$m^3\ h^{-1}\ ocupante^{-1}$]
Antecâmara	-	-
Arrecadação	-	-
Arrumo	-	-
Arrumo 121	-	-
Arrumo 133	-	-
Átrio	Sedentária	30,0
Corredor	Sedentária	30,0
Cozinha	Moderada	43,8
Despensa	-	-
Economato	-	-
Escadas	Sedentária	30,0
Lavandaria	Moderada	43,8
Lounge	Sono	20,0
Quarto 201	Sono	20,0
Quarto 202	Sono	20,0
Quarto 206	Sono	20,0
Quarto 207	Sono	20,0
Quarto 221	Sono	20,0
Quartos E Nascente	Sono	20,0
Quartos E Norte	Sono	20,0
Quartos E Sul	Sono	20,0
Quartos I Nascente	Sono	20,0
Sala de jantar	Sedentária	30,0
WC Norte	Sedentária	30,0

2.4.3 Soluções construtivas

As soluções construtivas a adotar na simulação em condições de referência têm de respeitar alguns requisitos relativamente às perdas térmicas, com o intuito de atingir o coeficiente de transmissão térmica de referência indicado para a respetiva zona climática em que se encontra o projeto.

Como os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos a adotar para o edifício são inferiores aos valores usados nas simulações anteriores, optou-se por aumentar a espessura do isolamento (EPS), em concordância com a metodologia preconizada na documentação da revisão regulamentar.

Relativamente aos elementos opacos verticais, estes devem apresentar um coeficiente de transmissão térmica superficial de 0,7 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$, desta forma os elementos construtivos verticais são os descritos na tabela seguinte (Tabela 37).

Tabela 37 – Elementos construtivos verticais exteriores em condições de referência

Paredes exteriores		e [cm]	λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]	c [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]	ρ [$kg\ m^{-3}$]	R_{total} [$m^2\ K\ W^{-1}$]	U_{total} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
R/C	Estuque Projetado	1	0,6	1001	1300	1,4	0,7
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	53	1,70	1001	2100		
	EPS	3,5	0,04	1400	15		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
Piso 1 e 2	Estuque Projetado	1	0,6	1001	1300	1,4	0,7
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		
	Pedra Calcária Dura	43	1,70	1001	2100		
	EPS	3,8	0,04	1400	15		
	Reboco Tradicional	3	1,40	1044	2000		

No que diz respeito aos elementos opacos horizontais, estes devem apresentar um coeficiente de transmissão térmica superficial de 0,5 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$, no entanto, este valor só se aplica à cobertura, como é possível visualizar na Tabela 38.

Tabela 38 - Elementos construtivos horizontais exteriores em condições de referência

Elementos horizontais		e [*cm*]	λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]	c [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]	ρ [$kg\ m^{-3}$]	R_{total} [$m^2\ K\ W^{-1}$]	U_{total} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
Cobertura	EPS	6,2	0,04	1400	15	2,0	0,5
	Betonilha	2	1,30	840	2000		
	Lage Aligeirada de Blocos Cerâmicos	20	1,18	1000	1333		

Em relação aos vãos envidraçados, estes devem apresentar um coeficiente de transmissão térmica superficial de 4,3 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ e um fator solar de 0,2. Para corresponder a esta pretensão, consideraram-se duas soluções possíveis, sempre com materiais existentes na base de dados do programa utilizado para efetuar as simulações, *DesignBuilder*, sem os editar, para evitar a criação de elementos que não sejam reais.

Na primeira solução considera-se a utilização de uma janela com caixilho de PVC, com as características seguintes (Tabela 39).

Tabela 39 – Elementos construtivos dos caixilhos em condições de referência

Caixilho e divisórias	e [*cm*]	λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]	c [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]	ρ [$kg\ m^{-3}$]	R_{total} [$m^2\ K\ W^{-1}$]	U_{total} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
PVC	2	0,17	900	1390	0,29	3,48

Já em relação ao vidro utilizado na primeira solução, este não apresenta exatamente as características desejadas, no entanto, utilizou-se o vidro que se encontra mais próximo do pretendido, tendo como preocupação o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar. Deste modo o vidro escolhido (solução 1), cuja referência é "Sgl Ref-B-L Tint 6mm", tem as características apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas das janelas de referência

Solução	Elemento	e [*cm*]	λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]	Transmissão Solar	Reflexão solar	Fator solar	U_{total} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
1A	Vidro	0,6	0,9	0,18	0,13	0,18	4,89
2A	Vidro	0,6	0,9	0,71	0,09	0,21	4,23
	Cortina	0,3	0,1	0,3	0,25		

Através do caixilho e vidro apresentados anteriormente fica-se com um coeficiente de transmissão térmica superficial de referência de vãos envidraçados de aproximadamente, 4,57 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$, o mais próximo possível dos 4,3 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ exigidos. Relativamente ao fator solar do vão envidraçado, este é 0,18, o mais próximo possível de 0,2, escolhendo os materiais existentes na base de dados do programa. De salientar que não foi considerada a existência de qualquer tipo de sombreamento.

Na segunda solução considera-se a utilização de uma janela com caixilho em alumínio com corte térmico, igual ao utilizado nas primeiras simulações (Tabela 6). Relativamente ao vidro utilizado na segunda solução, optou-se por utilizar um vidro, existente na base de dados, tendo como principal preocupação o coeficiente de transmissão térmica (Tabela 40), cuja referência é "Sgl LoE (e2=.2) Clr 6mm", visto que nesta solução se optou pela utilização de sombreamento para respeitar o fator solar pretendido. O sombreamento utilizado corresponde á cortina que se encontra na Tabela 40, sendo a sua referência "Shade roll - medium translucent".

Através do caixilho, vidro e cortina utilizados nesta solução fica-se com um coeficiente de transmissão térmica superficial de referência de vãos envidraçados de aproximadamente, 4,23 $W\,m^{-2}\,K^{-1}$ e um fator solar do vão envidraçado de 0,21. De salientar que com esta opção se obtêm valores mais próximos dos pretendidos, do que com a solução 1.

Na solução 1A e 2A a percentagem de área de vãos envidraçados em relação à área de envolvente vertical exposta em cada quadrante era a existente no caso de estudo, ou seja, aproximadamente 18%, no entanto utilizando as soluções construtivas da solução 1 realizou-se outra simulação, considerando uma percentagem de 30%, esta simulação pode ser identificada como solução 1B.

2.4.4 Iluminação

A iluminação a considerar na simulação em condições de referência tem de respeitar a densidade de potência definida ($DPI_{ajustada}$ / 100 *lux*) para elaborar o modelo de referência, consoante a tipologia do espaço. No entanto, não é definida a iluminância a considerar, optando-se por recorrer à norma (EN 12464-1, Novembro 2002), relativa à iluminação no local de trabalho, para a definir. Na definição deste modelo nunca se considera a existência de sistemas de controlo por ocupação e por disponibilidade de luz natural. Da Tabela 41 à Tabela 43 apresentam-se os valores das densidades de potência das zonas térmicas, para os vários pisos.

Tabela 41 – Potência de iluminação de referência, no R/C

Zona Térmica	$DPI_{ajustada}$ / 100 *lux*	Iluminância [*lux*]
Bar e receção	4,5	300
Corredor	4,5	100
Corredor Cozinha	4,5	100
Cozinha	4	500
Direção	2,5	500
Escadas e elevador	4,5	100
Restaurante	4,5	300
Sala de Congressos	2,8	400
Sala de Convívio	4,5	100
Sala de Reuniões 1	2,8	500
Sala de Reuniões 2	2,8	500
WC	4,5	200
WC 1	4,5	200

Tabela 42 – Potência de iluminação de referência, no piso 1

Zona Térmica	$DPI_{ajustada}$ / 100 *lux*	Iluminância [*lux*]
Acesso às Escadas de Serviço	4,5	100
Arrumo	4	100
Arrumo	4	100
Arrumo e zona técnica	4	100
Átrio	4,5	200
Corredor	4,5	100
Lounge	3,6	100
Quarto 102	3,6	100
Quarto 103	3,6	100
Quarto 104	3,6	100
Quarto 117	3,6	100
Quarto 123	3,6	100
Quarto 137	3,6	100
Quartos E Nascente	3,6	100
Quartos E Norte	3,6	100
Quartos E Poente	3,6	100
Quartos E Sul	3,6	100
Quartos I Nascente	3,6	100
Quartos I Poente	3,6	100

Tabela 43 – Potência de iluminação de referência, no piso 2

Zona Térmica	$DPI_{ajustada}$ / 100 *lux*	Iluminância [*lux*]
Antecâmara	4	100
Arrecadação	4	100
Arrumo	4	100
Arrumo	4	100
Arrumo	4	100
Átrio	4,5	200
Corredor	4,5	100
Cozinha	4	500
Despensa	4	100
Economato	4	100
Escadas	4,5	100
Lavandaria	4	300
Lounge	3,6	100
Quarto 201	3,6	100
Quarto 202	3,6	100
Quarto 206	3,6	100
Quarto 207	3,6	100
Quarto 221	3,6	100
Quartos E Nascente	3,6	100
Quartos E Norte	3,6	100
Quartos E Sul	3,6	100
Quartos I Nascente	3,6	100
Sala de jantar	4,5	300
WC	4,5	200
WC Norte	4,5	200

2.4.5 Determinação do *IEE* de referência

Da Tabela 44 à Tabela 46 apresenta-se o resultado obtido para o valor de consumo de referência de energia (E_{ref}) do hotel e os respetivos consumos para as diferentes utilizações finais, para as diversas soluções consideradas, de elaboração do modelo de referência.

Tabela 44 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 1A

Utilização		Consumo de energia		
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{ilu}	Iluminação	41722	143870	359675
Q_{eq}	Equipamento	35628	122854	307136
Q_{ven}	Ventilação	3782	13040	32601
Q_{AQS}	AQS (gás)	9550	111050	111050
Q_{aq}	Aquecimento	11197	38610	96524
Q_{arr}	Arrefecimento	5909	20377	50944
E_{ref}	Total	107788	449802	957930

Tabela 45 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 1B

Utilização		Consumo de energia		
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{ilu}	Iluminação	41722	143870	359675
Q_{eq}	Equipamento	35628	122854	307136
Q_{ven}	Ventilação	3782	13040	32601
Q_{AQS}	AQS (gás)	9550	111050	111050
Q_{aq}	Aquecimento	12138	41854	104634
Q_{arr}	Arrefecimento	7378	25442	63606
E_{ref}	Total	110198	458111	978702

Tabela 46 – Consumos de energia obtidos em condições de referência, solução 2A

Utilização		Consumo de energia		
		[$kgep\ ano^{-1}$]	[$kWh\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ ano^{-1}$]
Q_{ilu}	Iluminação	41722	143870	359675
Q_{eq}	Equipamento	35628	122854	307136
Q_{ven}	Ventilação	3782	13040	32601
Q_{AQS}	AQS (gás)	9550	111050	111050
Q_{aq}	Aquecimento	9550	32930	82325
Q_{arr}	Arrefecimento	7063	24357	60892
E_{ref}	Total	107295	448101	953679

O indicador de eficiência energética de referência ($IEE_{s,ref}$) do edifício é determinado a partir dos resultados dos consumos de energia, referentes ao arrefecimento, aquecimento, AQS e iluminação, obtidos pela simulação em condições de referência (Tabela 44 à Tabela 46) e dos fatores de conversão para energia primária, recorrendo à equação (4). Os valores obtidos constam na tabela seguinte.

Tabela 47 – *IEE* referência obtido para o hotel

$IEE_{s,ref}$	[$kgep\ m^{-2}\ ano^{-1}$]	[$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
Solução 1A	17,53	158,51
Solução 1B	18,15	163,84
Solução 2A	17,41	157,42

2.4.6 Determinação da classe energética

Para se determinar a classe energética dos edifícios, após a criação de dois modelos, real e referência e determinação dos respetivos índices de eficiência energética, de acordo com a revisão regulamentar é necessário recorrer á seguinte expressão:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{s,real} - IEE_{ren}}{IEE_{s,ref}} \quad (5)$$

Como não existem energias renováveis no edifício, IEE_{ren} é igual a zero. Deste modo, os valores de R_{IEE} obtidos são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 48 – Valores de R_{IEE} obtidos para as diferentes soluções consideradas

Solução	R_{IEE}
1A	0,91
1B	0,88
2A	0,92

Após a determinação do valor de R_{IEE}, para um GES, necessário para a elaboração de pré-certificados e certificados SCE de edifícios de serviços, torna-se finalmente possível a determinação da respetiva classe energética do edifício. Para tal, basta identificar qual a classe correspondente à condição verdadeira, na tabela que se segue.

Tabela 49 – Classes energéticas e respetivos intervalos de R_{IEE}

		Classe Energética	R_{IEE}
Edifícios Existentes	Edif. Novos	A+	$R \leq 0,25$
		A	$0,25 < R \leq 0,50$
		B	$0,50 < R \leq 0,75$
		B-	$0,75 < R \leq 1,00$
		C	$1,00 < R \leq 1,50$
		D	$1,50 < R \leq 2,00$
		E	$2,00 < R \leq 2,50$
		F	$2,50 < R \leq 3,00$
		G	$3,00 < R$

Portanto, tal como descrito, recorrendo à Tabela 49, determina-se a classe energética do edifício. Através dos valores de R_{IEE} calculados e apresentados na Tabela 48 para cada solução de edifício de referência é possível verificar que todas elas permitem classificar o edifício como pertencente á classe energética B-. Deste modo é possível verificar que as diferentes soluções adotadas na simulação de referência não têm efeitos significativos na determinação da classe energética.

A classificação obtida é exatamente igual à determinada através do modelo nominal, utilizado na legislação atual, apesar de na legislação atual não serem considerados os consumos com AQS.

3. Ótimo de rentabilidade

3.1 Metodologia

Com o intuito de determinar o ótimo de rentabilidade, optou-se pela base da metodologia estabelecida pelo Parlamento Europeu, metodologia comparativa para o cálculo dos níveis de custo ótimo de energia mínima requerida para os edifícios e elementos construtivos (European Commission, 2012). No entanto, nesta metodologia o custo global determinado corresponde à totalidade do edifício.

Como na situação particular deste estudo se pretende comparar situações diferentes, relativamente à escolha dos elementos de construção, optou-se por utilizar uma metodologia simplificada em que definimos uma situação de referência relativamente à qual efetuamos o estudo, deste modo só consideramos o custo do elemento construtivo em estudo (Kurnitski, J., A. Saari, et al, 2011). A equação utilizada é a que se segue:

$$C_g = \frac{C_I + \sum_{i=1}^{30}(C_{a,i} \times R_d(i))}{A_p} - \frac{C_g^{ref}}{A_p} \quad (6)$$

em que C_g representa o custo do desempenho global, incluindo a custo inicial e a energia e manutenção ao longo do tempo de vida considerado para o edifício, expresso em $€\, m^{-2}$, C_I corresponde ao investimento inicial relativo à construção [€], $C_{a,i}$ relativo ao custo da energia despendida em climatização e manutenção durante o ano i [€], R_d representa o fator de desconto para o ano i, C_g^{ref} corresponde ao custo do desempenho global, do edifício de referencia [€], por fim A_p é relativo à área do piso [m^2].

Ainda relativamente ao R_d, este é determinado através da seguinte expressão:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100}\right)^p \quad (7)$$

em que p corresponde ao número de anos desde o inicio do período e r representa a taxa de desconto real, que para este trabalho se considerou 3% (European Commission, 2012).

3.2 Situações estudadas

As situações escolhidas para serem alvo de estudo, relativamente ao ótimo de rentabilidade, correspondem às situações mais evidentes. Poder-se-ia verificar outras situações como a climatização e a razão entre a área dos vãos envidraçados e área de fachada, mas como o edifício é reabilitado, este tipo de estudo deixa de fazer sentido, sendo mais adequado para um edifício projetado de raiz.

As situações que acabam por ser estudadas correspondem à determinação da espessura de isolamento adequada, à solução a adotar para os vãos envidraçados e à melhor solução de AQS, considerando a tipologia do edifício estudado ao longo deste projeto com as características que o definem.

A energia despendida em climatização ou AQS, para os vários cenários, foi determinada através de simulação no *DesignBuilder*. A partir dai é possivel determinar o valor despendido com esse consumo energético, consultando o preço actual da eletricidade (EDP, 2009) ou do gás (Galp Energia, 2010), que são respetivamente 0,1379 $€\, kWh^{-1}$ e 0,0569 $€\, kWh^{-1}$.

Para efeitos de calculo considera-se que o ciclo de vida dos elementos de construção e soluções energéticas estudados é de 30 anos (European Commission, 2012).

3.2.1 Espessura do isolamento

Relativamente ao isolamento, o estudo efetuado pretende determinar qual a espessura de isolamento ideal, segundo o ótimo de rentabilidade.

Para se proceder ao referente estudo definiu-se um edifício de referência que corresponde ao edifício em condições nominais sem isolamento, ou seja, seguindo as soluções construtivas do capitulo 2.1.4 e

sem a utilização de AQS. As restantes características do edifício correspondem inteiramente às do edifício em condições nominais.

No seguimento deste estudo é necessário criar vários cenários em que se vai variando a espessura de isolamento, para depois se verificar qual o cenário que apresenta um C_g menor, sendo esse o cenário ideal. Os restantes cenários estudados, além do caso de referência, consideram sucessivamente a adição de 10 *mm* de isolamento, mais especificamente EPS, até aos 60 *mm* sempre de 10 em 10, perfazendo um total de 7 cenários.

O isolamento, aplicado pelo exterior, considerado nos elementos de construção das paredes exteriores do edifício é caracterizado pelas seguintes características.

Tabela 50 – Características do isolamento utilizado

Isolamento	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$kg\,m^{-3}$]
EPS	0,036	1400	20

Para determinar os custos para os vários cenários foi necessário encontrar o preço do isolamento e a respetiva manutenção efetuada ao longo do ciclo de vida. Para determinar esses custos recorreu-se a uma ferramenta online que disponibiliza preços (gerador de preços) de diversos materiais utilizados na construção civil, bem como a mão-de-obra necessária para a sua aplicação (CYPE Ingenieros, S.A.). A informação recolhida através deste meio possibilitou a reunião de todos os dados necessários, que se encontram reunidos na Tabela 51.

Tabela 51 – Custos associados a cada cenário e respetivo U_{Total}

Espessura [*mm*]	Isolamento [$€\,m^{-2}$]	Manutenção Decenal [$€\,m^{-2}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
0	0	0	2,07
10	6,1	0,12	1,32
20	7,61	0,15	0,96
30	9,11	0,18	0,76
40	10,62	0,21	0,63
50	12,11	0,24	0,53
60	13,63	0,27	0,47

Os custos recolhidos em relação ao isolamento contêm o custo do material e da mão-de-obra, no momento da sua aplicação e o valor da manutenção diz respeito ao custo em 10 anos. Estes custos são em função da área da superfície onde é aplicado o isolamento, neste caso a área da parede exterior do edifício, que corresponde a 2283 m^2.

3.2.2 Vãos envidraçados

No que aos vãos envidraçados diz respeito, foram criados vários cenários considerando quatro tipos de caixilho e dois tipos de vidro, simples ou duplo, possibilitando a criação dum total de oito cenários, com o intuito de identificar estratégias de redução do consumo de energia, com base no ótimo de rentabilidade.

Os vários tipos de caixilho têm em comum o facto de todos corresponderem ao mesmo tipo de janela. O tipo de janela considerado caracteriza-se por se apresentar sem pré-aro, sem caixa de estore, com dobradiças, de abrir para o interior, de duas folhas e gama básica. Na Tabela 52 e Tabela 53 é possível verificar as características das diversas soluções construtivas consideradas.

Tabela 52 – Constituição e propriedades termofísicas dos caixilhos utilizados

Caixilho e divisórias	Materiais	e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	c [$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$]	ρ [$Kg\,m^{-3}$]	R_{Total} [$m^2\,K\,W^{-1}$]	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Alumínio c/ corte térmico	Alumínio	0,2	160	880	2800	0,21	4,72
	PVC	0,5	0,17	900	1390		
	Alumínio	0,2	160	880	2800		
Alumínio s/ corte térmico	Alumínio	0,5	160	880	2800	0,17	5,88
Madeira	Carvalho	2	0,19	2390	700	0,28	3,63
PVC	PVC	2	0,17	900	1390	0,29	3,48

No caso das janelas de alumínio consideraram-se janelas de lacado branco, as janelas de madeira em carvalho para pintar e as janelas de PVC são brancas com um acabamento liso.

Tabela 53 – Constituição e propriedades termofísicas e óticas dos vidros utilizados

Vidro	Elementos	e [*cm*]	λ [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]	Transmissão Solar	Reflexão Solar	Fator Solar	U_{Total} [$W\,m^{-2}\,K^{-1}$]
Duplo	Vidro	0,4	1	0,82	0,08	0,74	3,15
	Ar	0,6	-	-	-		
	Vidro	0,4	1	0,82	0,08		
Simples	Vidro	0,4	1	0,82	0,08	0,85	5,87

Analogamente à situação dos isolamentos, relativamente aos vãos envidraçados também se recorreu ao mesmo meio para adquirir os preços referentes às diversas soluções consideradas. Nas tabelas que se seguem (Tabela 54 e Tabela 55) é possível consultar os custos de instalação das janelas e o valor despendido com a manutenção.

Tabela 54 – Custos de instalação e manutenção dos caixilhos utilizados

Caixilho e divisórias	Instalação [€]	Manutenção Decenal [€]
Alumínio c/ corte térmico	369,65	51,75
Alumínio s/ corte térmico	293,53	41,09
Madeira	647,65	161,91
PVC	350,06	38,51

De salientar que os custos obtidos dizem respeito a uma janela de 1,6 *m* de altura por 1,3 *m* de largura, que corresponde à generalidade das janelas do edifício, que possui 237 janelas.

Tabela 55 – Custos de instalação e manutenção dos vidros utilizados

Vidro	Instalação [$€\,m^{-2}$]	Manutenção Decenal [$€\,m^{-2}$]
Duplo	27,78	5,83
Simples	23,07	5,77

Já em relação aos custos dos vidros estes não são determinados para as dimensões da janela em questão, mas antes em função da área.

3.2.3 Soluções de AQS

Em relação ás possíveis soluções de AQS a adotar, o estudo efetuado pretende determinar qual a opção ideal, segundo o ótimo de rentabilidade.

Para se proceder ao referente estudo definiu-se como solução de referência a utilização de gás natural, correspondente ao edifício em condições nominais definidas no capitulo 2.2.7.

Na elaboração deste estudo foram considerados apenas dois cenários um referido anteriormente como situação de referência e outro correspondente á utilização otimizada de coletores solares para evitar o

desperdício de energia solar. O dimensionamento e análise energética foi elaborada através do programa *SolTerm 5.1*.

A instalação solar térmica é formada por 9 baterias de 4 módulos, ligados em paralelo de canais, que corresponde a um total de 81,2 m^2 de painéis instalados sobre o telhado orientado a Sul com uma inclinação de 27 ^{0}, que dispõe de 330 m^2 livres para este efeito. Cada módulo corresponde a um coletor solar térmico plano, FKC-1 S "JUNKERS", com painel de montagem vertical de 1145x2070x90 *mm*, superfície útil de 2,26 m^2, rendimento ótico de 0,77, coeficiente de perdas primário de 3,681 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ e coeficiente de perdas secundário de 0,0173 $W\ m^{-2}\ K^{-2}$, segundo NP EN 12975-2, colocados sobre suporte para cobertura inclinada.

Como a opção solar necessita de um sistema de apoio com poder de resposta para situações extremas, em que durante vários dias a energia solar é reduzida, se este sistema utilizar gás natural, o dimensionamento da sua instalação é em tudo idêntico à solução de referência, que também utiliza gás natural. Deste modo a diferença entre as duas soluções reside somente na instalação e manutenção do equipamento solar térmico, bem como na poupança efetuada com a redução do consumo de gás natural.

Para determinar os custos para os dois cenários foi necessário encontrar o valor da instalação e manutenção dos painéis solares térmicos, do depósito de inércia com uma capacidade para 5000 *l*, para responder ao consumo diário de 5566 *l* e de um permutador de calor externo, devido à grande dimensão da instalação. Para determinar esses custos também se recorreu ao gerador de preços (CYPE Ingenieros, S.A.) para os painéis solares térmicos. Relativamente ao acumulador e ao permutador consultou-se um catálogo da Sonnenkraft (Sonnenkraft, 2011). As informações recolhidas encontram-se na Tabela 56, de salientar que o preço do coletor solar térmico e respetiva manutenção correspondem a uma bateria de 4 módulos.

Tabela 56 – Custos de instalação e manutenção da solução solar térmica

Equipamentos	Instalação [€]	Manutenção Decenal [€]
Coletor Solar Térmico	3604,28	2739,25
Depósito de Inércia	5774,69	-
Permutador Externo	1544,23	-

3.3 Resultados

Por fim os resultados obtidos, para as situações estudadas, dos quais é possível concluir as melhores opções relativamente ao ótimo de rentabilidade e ao consumo de energia.

3.3.1 Espessura do isolamento

Em relação ao isolamento, o estudo de vários cenários permitiu a elaboração de um gráfico, que desta forma possibilita uma melhor análise dos resultados e consequentemente retirar as devidas conclusões. O gráfico obtido corresponde à figura seguinte.

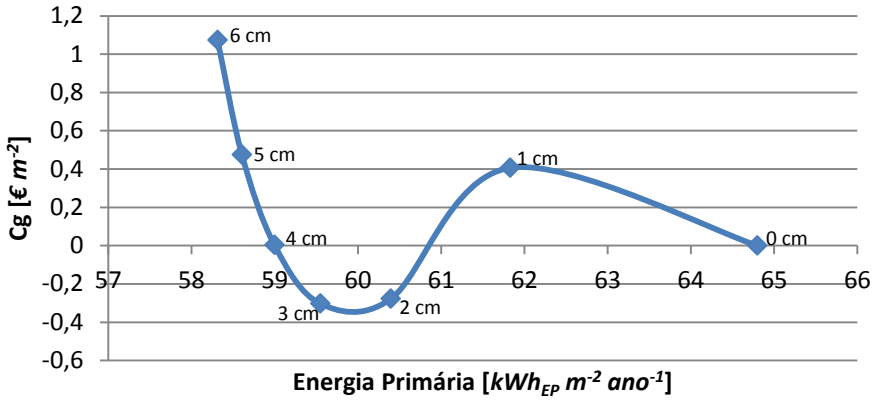

Fig. 12 – Custo do desempenho global relativo ao isolamento

No gráfico da Fig. 12 é possível verificar que o ponto alusivo ao ótimo de rentabilidade, ou seja, o que apresenta um menor custo do desempenho global, corresponde ao quarto ponto, o ponto central. Este ponto corresponde ao cenário de um isolamento com 30 *mm* de espessura, tendo associado um custo de desempenho global de aproximadamente -0,30 $€\ m^{-2}$ relativamente ao cenário de referência, que é facilmente identificável por apresentar o maior consumo de energia primária anual. A este cenário ideal corresponde um consumo de 59,5 $kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$ de energia primária e um coeficiente de transmissão térmica total de aproximadamente 0,76 $W\ m^{-2}\ K^{-1}$, já referido na Tabela 51. Através do Anexo C é possível consultar os valores da Fig. 12, mais pormenorizadamente.

O cenário que apresenta um menor consumo de energia, corresponde a um isolamento de 60 *mm* de espessura, pois é possível verificar que com o aumento da espessura de isolamento o consumo de energia para climatização vai diminuindo. No entanto, esta tendência de diminuição do consumo de energia com o aumento da espessura do isolamento, tende a abrandar, revelando-se cada vez menos significativa. Além disso este cenário também é caracterizado por apresentar o maior custo do desempenho global.

Relativamente ao cenário correspondente a um isolamento de 10 *mm* de espessura, o elevado custo do desempenho global obtido em relação aos cenários mais próximos, pode-se justificar pelo facto de a espessura de isolamento neste cenário ser muito reduzida. Deste modo, o investimento realizado na aplicação do isolamento não é compensado pela respetiva poupança energética, acabando mesmo por apresentar um custo do desempenho global superior ao cenário sem isolamento.

3.3.2 Vãos envidraçados

Partindo dos cenários criados através das conjugações de diferentes caixilhos e vidros considerados, construiu-se um gráfico constituído por duas séries de dados, correspondendo cada uma delas a um tipo de vidro diferente. Os resultados obtidos foram os seguintes:

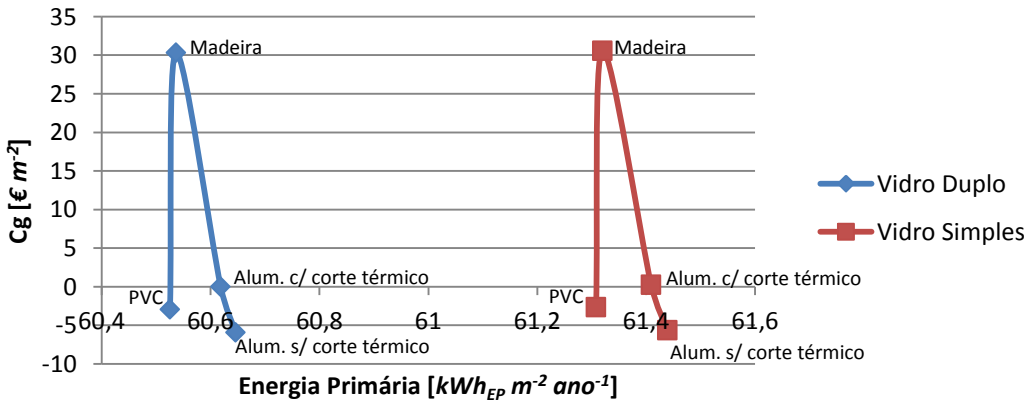

Fig. 13 – Custo do desempenho global relativo aos vãos envidraçados

Através do gráfico da Fig. 13 identifica-se como ótimo de rentabilidade o ponto com o menor valor de custo de desempenho global, da série referente ao vidro duplo. Este ponto diz respeito ao cenário correspondente a uma janela com caixilho de alumínio sem corte térmico, com um C_g de aproximadamente -5,90 $€\ m^{-2}$ em relação ao cenário de referência, que corresponde a uma janela com caixilho com corte térmico. Através do Anexo C é possível consultar os valores da Fig. 13, mais pormenorizadamente.

O cenário que apresenta maior C_g, em ambas as séries corresponde a janelas com caixilho de madeira. O cenário com menor consumo de energia primária corresponde a janelas com caixilho de PVC e vidro duplo, com um consumo de 60,5 $kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$.

3.3.3 Soluções de AQS

Através da comparação dos dois cenários estudados é possível identificar a situação que corresponde ao ótimo de rentabilidade, bem como verificar a utilização de energia primária de origem fóssil. Os resultados obtido são apresentados no gráfico que se segue.

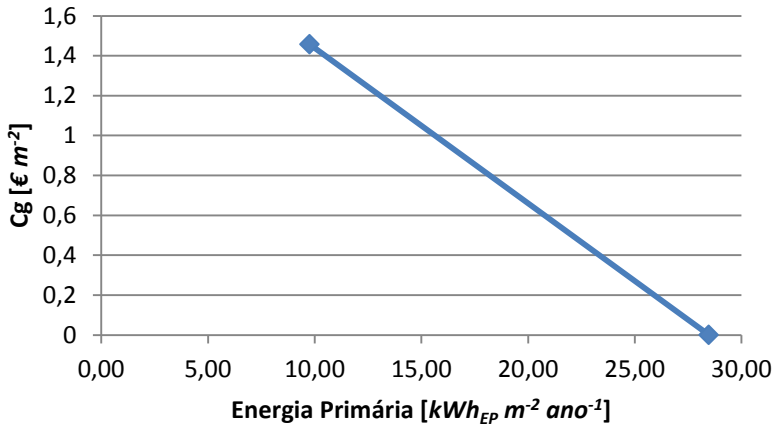

Fig. 14 - Custo do desempenho global relativo às soluções de AQS

No gráfico da Fig. 14 é possível verificar que o ponto correspondente ao ótimo de rentabilidade diz respeito ao cenário de referência, relativo á solução de AQS utilizando gás natural. Por consistir na situação de referência o custo de desempenho global é zero. A este cenário ideal corresponde um consumo de 28,5 $kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$ de energia primária.

O cenário que apresenta um menor consumo de energia, corresponde à solução de AQS através de coletores solares térmicos, com um consumo de 9,8 $kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$ de energia primária, pois só se considera a energia proveniente de fontes de energia fóssil. Além disso este cenário também é caracterizado por apresentar o maior custo do desempenho global, 1,46 $€\ m^{-2}$.

4. Conclusões e considerações finais

Partindo do cumprimento dos objetivos inicialmente propostos, a avaliação energética do edifício com base nas condições nominais (asset rating), relativas à legislação atual, e com base em condições de referência, concordantes com as condições previstas estabelecer na revisão regulamentar, torna-se possível verificar as características de ambos os sistemas de avaliação, bem como, efetuar a comparação entre o regime atual e o que se encontra em discussão.

Deste modo, através da execução destes procedimentos foi possível concluir que:

- a simulação detalhada do edifício, com base nas condições nominais, conduz a um consumo nominal específico (IEE_{nom}) equivalente a um edifício de classe B$^-$, para a tipologia "Hotéis de 3 ou menos estrelas", considerando a existência de diferentes tipologias de espaço, que provoca o aumento do $IEE_{\text{ref, novos}}$, determinado ponderadamente para este edifício;

- o edifício ao pertencer a esta classe energética , significa que tem um desempenho energético melhor que o edifício de referência, $IEE_{ref,\ novos}$, porque este valor de referência corresponde ao limite inferior do intervalo de valores de IEE_{nom} correspondente à classe energética B$^-$, sendo esta classe o mínimo exigido para um edifício novo;

- se futuramente houver intenção de diminuir o IEE_{nom} do edifício, para consequentemente obter uma melhor classificação energética, o principal ponto de atuação deverá ser a iluminação, pois esta ainda possibilita alguma margem de manobra no sentido da diminuição da densidade de potência instalada. Poder-se-á recorrer a tecnologias mais eficientes, nunca desprezando a necessidade de conforto visual;

- relativamente à simulação em condições de referência é possível verificar que as várias soluções adotadas na elaboração do modelo de referência, não provocam alterações significativas no valor do IEE_{ref} , visto que a classe energética obtida para as diversas soluções resultou na mesma;

- comparativamente, a avaliação energética com base nas condições previstas estabelecer na revisão regulamentar em relação à legislação atual, não apresenta uma diferença significativa, visto que a classe energética obtida através de cada um dos métodos de avaliação resultou exatamente na mesma classe energética;

- consequentemente pode-se considerar que os dois métodos de avaliação são equivalentes, não sendo prejudicados, nem beneficiados os edifícios avaliados com o atual regime, considerando as condições de referência utilizadas neste trabalho e a tipologia do edifício estudado, hotéis de 3 ou menos estrelas;

- ao utilizar o método alusivo à revisão regulamentar, verifica-se que a construção de um modelo de referência, com base no edifício em estudo, consiste num método mais justo de avaliação, por permitir a elaboração de uma referência ajustada às características do edifício em análise. Deste modo, facilmente se considera a existência de diferentes tipologias de espaço num mesmo edifício, evitando recorrer à determinação de um novo valor de $IEE_{ref,\ novos}$ e *S*, obtidos de forma ponderada;

Relativamente ao estudo do ótimo de rentabilidade, para a espessura do isolamento e determinação dos materiais a utilizar nos vãos envidraçados, as conclusões obtidas podem ser uteis para edifícios em climas de características semelhantes, com utilização também semelhante, neste caso hotéis. Através deste estudo obtém-se conclusões aplicáveis na construção de nZEB, sendo estas as seguintes:

- na determinação do ótimo de rentabilidade, relativamente à espessura de isolamento exterior a utilizar, verifica-se que a espessura ótima corresponde a 30 *mm*, no que ao custo do desempenho global diz respeito;

- ainda relativamente ao isolamento, verifica-se que o aumento da espessura provoca uma diminuição do consumo de energia primária utilizada na climatização, no entanto o investimento inicialmente efetuado acaba por não ser compensatório, como se pode verificar pelo aumento do custo do desempenho global;
- relativamente aos vãos envidraçados a opção ideal recai sobre a janela com caixilho de alumínio sem corte térmico, com vidro duplo, que apresenta o custo global mais baixo;
- verifica-se que o caixilho de madeira, constitui a opção mais dispendiosa, apresentando um custo global muito elevado relativamente às outras opções;
- constata-se que optando por um caixilho de PVC e utilizando vidros duplos, se obtém o cenário com menor consumo de energia primária, com um custo global pouco superior ao cenário ideal. Este cenário futuramente poderá ser a melhor opção, devido à tendência de aumento dos preços dos combustíveis, que num pequeno intervalo de tempo podem aumentar significativamente. Além disso o ciclo de vida considerado foi de 30 anos, mas a maioria dos edifícios serão utilizados durante mais tempo. Assim o investimento em eficiência energética tornar-se-á muito importante e mais significativo, na obtenção do menor custo do desempenho global;
- no que às soluções de AQS diz respeito a solução que utiliza somente como fonte de energia o gás natural apresenta-se como sendo a solução economicamente ideal, apesar de apresentar um consumo aproximadamente três vezes superior à opção solar. No entanto, o inevitável aumento do preço dos combustíveis no futuro, tornará a opção solar mais viável dentro de poucos anos.

Referências Bibliográficas

ADENE. (2009). *Perguntas & Respostas sobre o SCE.* versão 1.2.

ADENE. (2011). *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE.* versão 2.0.

ADENE. (2011). *Perguntas & Respostas sobre o RSECE-Energia.* versão 2.0.

ATECYR, A. T. (junio de 2010). Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización. *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*. Madrid, España: IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

CYPE Ingenieros, S.A. (s.d.). *Gerador de Preços - Software para Engenharia e Construção*. Obtido em 2012, de http://www.geradordeprecos.info/

DesignBuilder Software Ltd. (2005-10). Obtido em 2012, de http://www.designbuilder.co.uk/

Despacho nº 10250/2008. (2008). Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior Emitidos no âmbito do SCE (D.L. 78/2006 de 4 de Abril). *Diário da Republica*.

EDP, E. d. (2009). *EDP*. Obtido em 2012, de http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx

EN 12464-1. (Novembro 2002). Lignt and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places.

European Commission. (2012). *Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buidings (recast).* Brussels: Author.

Galp Energia. (2010). *Tarifário Gás Natural*. Obtido em 2012, de Galp Energia: http://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Tarifario/Paginas/Tarifario.aspx?tipoUtilizacao=1&empresa=4&

Jorne, F. (2012). Análise do comportamento higrotérmico da solução ETICS na óptica da identificação e reparação de anomalias.

Kurnitski, J., A. Saari, et al. (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) enrgy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. Energy and Buildings.

Mitsubishi Electric Corporation. (2010). *Mitsubishi Electric.* Obtido em 2012, de http://www.mitsubishielectric.eu/pt/admin/uploadedfiles/8448535e635432ca96bed6d4b0f807a2.pdf

Parlamento Europeu e do Conselho. (16 de Dezembro de 2002). Directiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edificios. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 65-71.

Parlamento Europeu e do Conselho. (19 de Maio de 2010). Directiva 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético dos edificios (reformulação). *Jornal Oficial da União Europeia*, 13-35.

Pereira, V., P. Sequeira, et al. (2007). O sistema ETICS como técnica de excelência na reabilitação de edifícios na segunda metade do século XX.

Pina dos Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edificios.* LNEC: ITE 50.

Pina dos Santos, C., & Rodrigues, R. (2009). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edificios.* LNEC: ITE 54.

Pina dos Santos, C., & Vasconcelos Paiva, J. (1990). *Caracterização térmica de pavimentos prefabricados.* LNEC: ITE 11.

RCCTE. (2006). Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Caracteristicas de Comportamento Térmico dos Edificios. *Diário da Républica*.

Rocha, J. M. E. C. (2008). Eficiência energética em edifícios históricos da Universidade de Coimbra.

RSECE. (2006). Decreto-Lei nº 79/2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edificios. *Diário da República*.

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

Sonnenkraft. (2011). *Tabelas de preços - Soluções Solares e de Climatização.* Obtido em 2012, de Sotecnisol: http://www.sotecnisol.pt/resources/Materiais/Sonnenkraft.pdf

Anexo A Plantas do Hotel

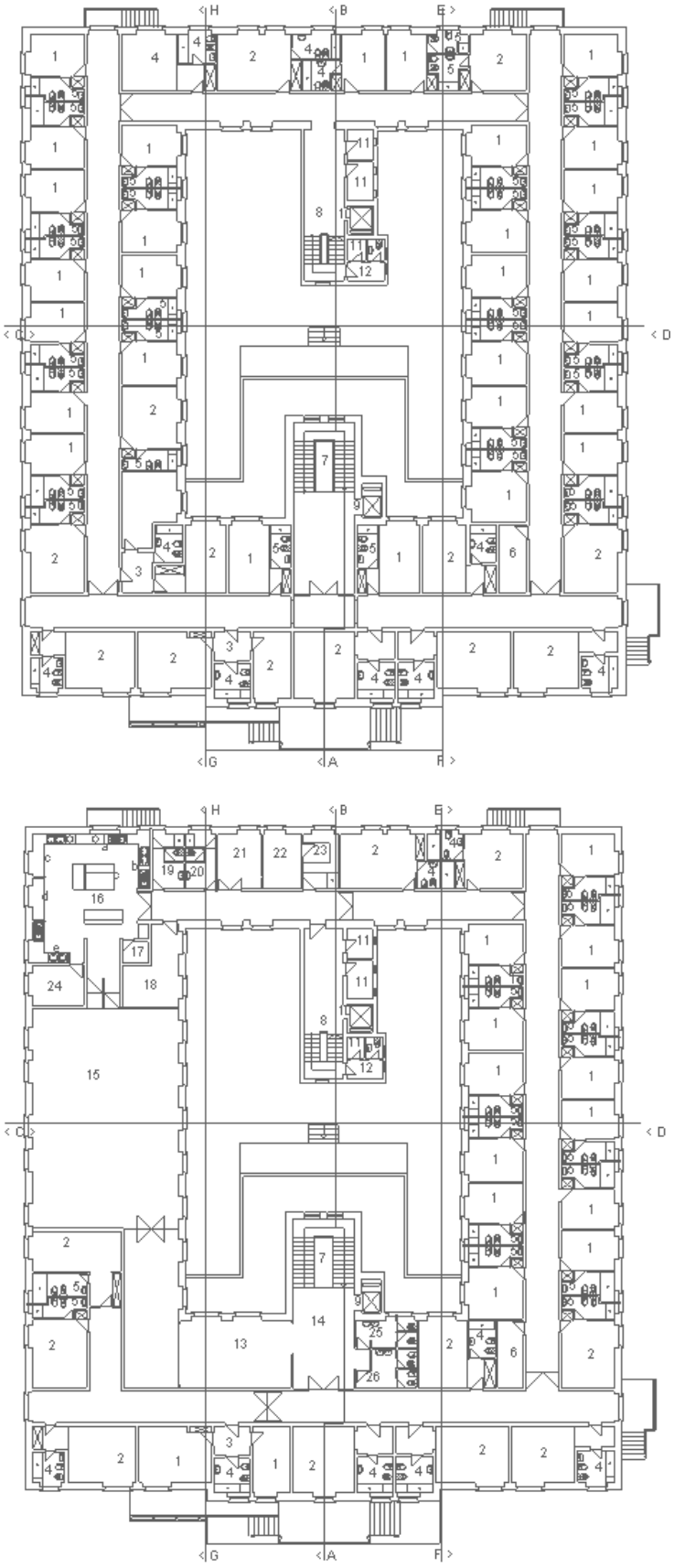

Fig. 15 – Plantas do piso 1 (em cima) e do piso 2 (em baixo)

Anexo B Método de cálculo do *IEE*

O *IEE* é calculado com o objetivo de permitir analisar o consumo de energia de um edifício durante um ano. Desde a determinação desses mesmos consumos até à obtenção do respetivo *IEE* é necessário recorrer à utilização de alguns fatores de conversão. Estes fatores permitem a conversão entre energia útil e energia primária

Fatores de conversão determinados em função do *mix* energético nacional, anunciados através da publicação por despacho:

Electricidade:

F_{pu} = 0,290 $kgep\ kWh^{-1}$

F_{pu} = 2,5 $kWh_{EP}\ kWh^{-1}$

Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos:

F_{pu} = 0,086 $kgep\ kWh^{-1}$

F_{pu} = 1 $kWh_{EP}\ kWh^{-1}$

Cálculo do IEE_{nom}

Calcula-se a partir dos resultados dos consumos de energia obtidos pela simulação em condições nominais e dos fatores de conversão para energia primária e correção climática, conforme o método de cálculo definido no Anexo IX do RSECE, a seguir descrito.

$$IEE_{nom} = IEE_V + IEE_I + \frac{Q_{out}}{A_p} \tag{8}$$

Em que:

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} \tag{9}$$

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \tag{10}$$

O cálculo dos fatores de correção de energia de aquecimento e arrefecimento, F_{CI} e F_{CV} respetivamente, é efetuado através da equação (3).

Anexo C Valores obtidos na determinação do ótimo de rentabilidade

Tabela 57 – Custo do desempenho global relativo ao isolamento

Espessura [*mm*]	Cg [$€\ m^{-2}$]	Energia Primária [$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
0	0,00	64,80
10	0,41	61,83
20	-0,28	60,39
30	-0,30	59,55
40	0,00	59,00
50	0,47	58,61
60	1,07	58,31

Tabela 58 - Custo do desempenho global relativo aos vãos envidraçados

Vidro	Caixilho	Cg [$€\ m^{-2}$]	Energia Primária [$kWh_{EP}\ m^{-2}\ ano^{-1}$]
Duplo	PVC	-2,92	60,53
	Madeira	30,32	60,54
	Alumínio c/ corte térmico	0,00	60,62
	Alumínio s/ corte térmico	-5,90	60,65
Simples	PVC	-2,66	61,31
	Madeira	30,58	61,32
	Alumínio c/ corte térmico	0,27	61,41
	Alumínio s/ corte térmico	-5,63	61,44