



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Reabilitação energética de um edifício de índole cultural – Centro Cultural de Belém

NUNO MIGUEL SANTOS GOUVEIA

Licenciado em Engenharia Civil

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na área de especialização de Edificações

Orientadores: Doutor Pedro Miguel Matos Soares

Especialista João António Antunes Hormigo

Júri:

Presidente: Doutora Maria da Graça Dias Alfaro Lopes

Vogais:

Doutora Maria Ana Carvalho Viana Baptista

Doutor Pedro Miguel Matos Soares

Especialista João António Antunes Hormigo

Dezembro de 2013

Agradecimentos

A longa caminhada da minha formação escolar e académica que culminou com a realização deste trabalho final de mestrado, não seria possível sem o contributo das pessoas que a vida me presenteou, as quais não poderia deixar de citar pela ajuda prestada, sendo estas:

Aos Recursos Humanos da Fundação Centro Cultural de Belém por todo o apoio para a realização desta dissertação, nomeadamente:

- Dr.º André Dourado, Diretor Coordenador;
- Eng.º António Monteiro Ribeiro, Diretor de Edifícios e Instalações Técnicas (DEIT);
- Sérgio Caeiro, técnico responsável pela Sala de Gestão e Controlo, a quem dedico a minha dissertação, pelo apoio incondicional demonstrado, ensinamentos transmitidos e, sobretudo, pela amizade com que me acolheu durante as inúmeras visitas ao CCB no decorrer dos últimos meses;
- Orlando Caires, funcionário dos Serviços de Logística da DEIT, pelo fornecimento e ajuda na interpretação das peças desenhadas;
- Carlos Mestrinho, Tito Bouças, e demais funcionários do CCB que de alguma forma contribuíram com os seus conhecimentos e amabilidade para a realização deste trabalho.

Embora que indiretamente associado ao CCB, quero ainda expressar o meu agradecimento ao técnico Rui Bento, funcionário da Contimetra – Instalações Mecânicas Lda., pelo apoio na caracterização das instalações técnicas que constituem o Centro Cultural de Belém.

Aos Professores Pedro Matos Soares e João Antunes Hormigo que, na condição de orientadores da minha dissertação, demonstraram o seu enorme profissionalismo, conhecimento e disponibilidade para me acompanharem nestes meses de trabalho.

À Professora Alexandra Costa, docente da ADEC-ISEL, pelos esclarecimentos prestados para a realização da caracterização do desempenho energético.

Ao Tiago Paixão, *controller* na Cofidis®, pela ajuda na elaboração da viabilidade económica das propostas apresentadas para o desempenho energético do CCB.

Ao Dr.º Tiago Berrones Gil, a quem agradeço por me ter possibilitado prestar serviços conexos com a atividade de Engenharia Civil durante 14 meses, coincidindo com o período em que realizei grande parte da minha dissertação, que contribuíram de forma bastante relevante no meu desenvolvimento profissional e, não menos importante, pela sua amizade.

Aos meus amigos de Torres Novas que após o ensino secundário prosseguiram as suas respetivas formações académicas e profissionais, em que a distância e saudade foram gradualmente colmatadas pelos amigos que o ISEL me proporcionou conhecer.

Por fim, enaltecer a minha família, em especial aos meus Pais António e Filomena pelos infindáveis sacrifícios a que se submeteram para possibilitarem, a mim e à minha irmã Gina, a frequência no ensino superior, assim como agradeço à Joana pela sua relevância na minha vida pessoal e incondicional apoio para a conclusão do meu curso.

O meu sincero obrigado a todos vós,

Nuno

Resumo

A evolução da humanidade verificada nos últimos anos tem exigido um aumento significativo das necessidades energéticas. O rápido consumo de matérias-primas fósseis para responder de forma favorável a esta evolução deverá ser encarado com apreensão, apesar de estas ainda existirem em quantidade considerável. Posto isto, a produção de eletricidade por fontes renováveis e a poupança de energia apresentam-se como cruciais para as sociedades atuais.

Nesta dissertação foi elaborada a caracterização de um projeto de reabilitação energética do Centro Cultural de Belém (CCB) tendo em consideração: (i) a envolvente do imóvel; (ii) as instalações técnicas; (iii) o estudo dos registos históricos de consumos associados aos processos de climatização e iluminação, no período compreendido entre 2007 e 2012, inclusive. Descreveram-se ainda quatro melhorias implementadas pela Direção de Edifícios e Instalações Técnicas do CCB com o intuito de reduzir dependência energética do edifício. O trabalho desenvolvido permitiu ainda refletir os conhecimentos adquiridos sobre medidas tecnológicas com o intuito de melhorar o desempenho energético do Complexo, entenda-se, soluções de climatização e iluminação, analisando-se a respetiva viabilidade económica das medidas apresentadas. Foram ainda abordados, de modo sucinto, sistemas com potencial para instalação em edifícios de serviços que possibilitem a diminuição da carga térmica destes, visto que, consequentemente tais sistemas refletem a redução das necessidades de climatização.

O estudo realizado permitiu concluir que, no período em análise, os três módulos que constituem o Centro Cultural de Belém apresentaram consumos energéticos distintos entre si. Subordinado a esta conclusão está o facto de os módulos se caracterizarem por distintas: (i) áreas e distribuição arquitetónica; (ii) taxas de ocupação; (iii) necessidades de iluminação e climatização.

Palavras-chave:

CCB; reabilitação de edifícios; sustentabilidade; AVAC; GTC; consumos energéticos; edifícios sustentáveis; eficiência energética.

Abstract

The evolution of humanity in recent years has demanded a significant increase in energy needs. The fast consumption of fossil energy sources in order to respond favorably to that evolution should be regarded with apprehension, even though those energy sources are expected to last for some time. Therefore, the production of electricity from renewable sources and energy savings are both crucial for today's societies.

In this dissertation a characterization of an energy rehabilitation project of the Centro Cultural de Belém (CCB) was carried out, taking into consideration: (i) the surrounding of the property; (ii) the technical facilities; (iii) the study of historical records of consumption associated with HVAC and lighting, between the years 2007 and 2012. The four improvements implemented by the Direção de Edifícios e Instalações Técnicas of CCB in order to reduce energy dependency of the buildings were also described. The present dissertation reflects the knowledge acquired on technological measures in order to improve the energy performance of the CCB Complex, meaning, HVAC and lighting solutions. Therefore it was possible to analyse the economic feasibility of the measures of improvement that were proposed. An approach was made to systems that are capable to reduce the thermal load in office buildings, therefore reducing HVAC needs.

According to the period of time under analysis, one can conclude that all the three modules of the Centro Cultural de Belém showed distinct energy consumption. That can be explained by the fact that the modules are characterized by distinct: (i) areas and architectural lay out; (ii) occupancy rates; (iii) lighting and air conditioning needs.

Keywords:

CCB; rehabilitation of buildings; sustainability; HVAC; CTM; energy consumption; sustainable buildings; energy efficiency.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Estrutura	4
2	Sustentabilidade e reabilitação	7
2.1	Enquadramento legal	7
2.1.1	Âmbito europeu	7
2.1.2	Âmbito nacional	8
2.1.3	Âmbito da cidade de Lisboa	11
2.2	As energias renováveis em Portugal	12
2.2.1	Energia eólica	13
2.2.2	Energia solar	14
2.3	Programas de apoio à eficiência energética	14
2.3.1	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP)	15
2.3.2	Iniciativa <i>JESSICA</i>	16
2.3.3	Projeto <i>UrbanSol Plus</i>	17
2.4	A reabilitação energética de edifícios de serviços – Exemplos	18
2.4.1	Painéis solares fotovoltaicos na Universidade de Lisboa	18
2.4.2	Painéis solares térmicos na cobertura do edifício-sede da Caixa Geral de Depósitos	19
2.4.3	Intervenções realizadas pela Contimetra	19
3	Caracterização do edifício	21
3.1	Enquadramento histórico	21
3.2	Aspetos arquitetónicos	21
3.2.1	Centro de Reuniões – Módulo 1	22
3.2.2	Centro de Espetáculos – Módulo 2	22
3.2.3	Centro de Exposições – Módulo 3	23

3.3	Estrutura e materiais de construção	24
3.3.1	Fundações	24
3.3.2	Estrutura	25
3.3.3	Materiais de construção.....	26
3.4	Instalação elétrica, iluminação e tomadas	27
3.4.1	Esquematização do processo de distribuição de energia elétrica.....	27
3.5	Gestão técnica centralizada	29
3.5.1	O sistema de GTC instalado no Centro Cultural de Belém.....	30
3.5.2	Esquematização do sistema de GTC do Centro Cultural de Belém.....	31
3.6	Climatização	33
3.6.1	Produção de água fria.....	33
3.6.2	Produção de água quente.....	35
3.6.3	Distribuição	36
3.6.4	Difusão – Utilizador final.....	37
3.6.5	Tratamento da água	41
3.6.6	Esquematização do processo de climatização.....	41
3.7	Outras infraestruturas técnicas.....	43
3.8	Consumo global.....	44
3.9	Custos estimados de exploração	47
4	Caracterização do desempenho energético	49
4.1	Paredes.....	53
4.2	Coberturas planas	54
4.3	Pavimentos.....	55
4.4	Vãos envidraçados	57
4.5	Análise de consumos	58
4.6	Centro de Reuniões – Módulo 1	60
4.6.1	Desagregação de consumos.....	65

4.7	Centro de Espetáculos – Módulo 2	67
4.7.1	Desagregação de consumos	75
4.8	Centro de Exposições – Módulo 3	77
4.8.1	Desagregação de consumos	83
5	Propostas de melhoria do desempenho energético	87
5.1	Soluções tecnológicas de climatização	88
5.2	Soluções tecnológicas de iluminação.....	89
5.3	Soluções tecnológicas para produção de energia elétrica em edifícios	91
5.4	Viabilidade económica	94
5.4.1	Climatização – Substituição dos <i>chillers</i>	95
5.4.2	Iluminação – Substituição de iluminação nos gabinetes	98
5.4.3	Iluminação – Substituição de iluminação no Grande Auditório.....	100
5.4.4	Produção de energia elétrica – Instalação de painéis fotovoltaicos.....	102
6	Considerações finais, conclusões e perspetivas futuras.....	105
	Bibliografia.....	109
	Anexos.....	119

Índice de figuras

Figura 1.1	– Registo histórico e projeções do consumo mundial por tipo de energia.....	1
Figura 1.2	– Registo histórico e projeção de produção anual de barris de petróleo.....	2
Figura 1.3	– Evolução da potência instalada em Portugal.....	3
Figura 2.1	– Registo histórico e evolução da estimativa de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto de energia final.....	10
Figura 2.2	– Fluxograma de fontes de energia renováveis existentes em Portugal.....	13
Figura 3.1	– Evolução de visitas do Centro de Exposições.....	24
Figura 3.2	– Fluxograma do sistema fornecimento e distribuição de energia elétrica	28
Figura 3.3	– Fluxograma do sistema de gestão centralizada	32
Figura 3.4	– Grupo produtor de água fria (Carrier® - 30HTY370)	33
Figura 3.5	– Torre de arrefecimento (Baltimore® VTL-245P).....	34

Figura 3.6 – Esquema ilustrativo do processo de refrigeração de água	35
Figura 3.7 – Caldeira (Unical® - TZAR1000).....	35
Figura 3.8 – Permutador ("Marca branca")	35
Figura 3.9 – Esquema ilustrativo do processo de permutação	36
Figura 3.10 – Esquema ilustrativo do processo de climatização com recurso a UTA's	38
Figura 3.11 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTA	39
Figura 3.12 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTA (Módulo 3).....	40
Figura 3.13 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTAN	40
Figura 3.14 – Fluxograma do sistema de climatização	42
Figura 3.15 – Desagregação de consumos por sistemas consumidores	45
Figura 3.16 - Consumo global distribuído anualmente	46
Figura 3.17 – Consumo médio global distribuído por módulos.....	46
Figura 4.1 – Etiqueta de desempenho energético.....	49
Figura 4.2 – Determinação da classe de desempenho energético para edifícios de serviços	51
Figura 4.3 – Evolução anual dos consumos do Módulo 1	60
Figura 4.4 – Ciclo anual médio do Módulo 1 (período 2007-2012)	61
Figura 4.5 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 1	62
Figura 4.6 – Desligar os <i>chillers</i> – consumos globais – Módulo 1	62
Figura 4.7 – Desligar os <i>chillers</i> – consumos de AC-Frio – Módulo 1	63
Figura 4.8 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 1.....	63
Figura 4.9 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 1	64
Figura 4.10 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 1	64
Figura 4.11 – Desagregação de consumos do Módulo 1 em relação ao CCB (média)	65
Figura 4.12 – Desagregação de consumos do Módulo 1 (média)	66
Figura 4.13 – Tendência de consumos - Módulo 1	67
Figura 4.14 – Evolução anual dos consumos do Módulo 2	67
Figura 4.15 – Ciclo anual médio do Módulo 2 (período 2007-2012)	68
Figura 4.16 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 2.....	69
Figura 4.17 – Comando "fim de ocupação" <i>foyer</i> do Módulo 2 – consumos globais.....	69
Figura 4.18 - Comando "fim de ocupação" <i>foyer</i> do Módulo 2 – consumos de AC-Frio ..	70
Figura 4.19 – Comando "fim de ocupação" <i>foyer</i> do Módulo 2 – consumos de AC-Quente	70
Figura 4.20 – Comando "fim de ocupação" <i>foyer</i> do Módulo 2 – consumos de iluminação e tomadas	71

Figura 4.21 – Desligar os <i>chillers</i> – consumos globais – Módulo 2	71
Figura 4.22 – Desligar os <i>chillers</i> - consumos de AC-Frio – Módulo 2	72
Figura 4.23 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 2.....	72
Figura 4.24 - Comando "fim de ocupação" do Módulo 2 – consumos globais.....	73
Figura 4.25 - Comando "fim de ocupação" do Módulo 2 – consumos de iluminação e tomadas.....	74
Figura 4.26 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 2	74
Figura 4.27 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 2	75
Figura 4.28 – Desagregação de consumos do Módulo 2 em relação ao CCB (média)	76
Figura 4.29 – Desagregação de consumos do Módulo 2 (média)	76
Figura 4.30 – Tendência de consumos - Módulo 2	77
Figura 4.31 – Evolução anual dos consumos do Módulo 3.....	78
Figura 4.32 – Ciclo anual médio do Módulo 3 (período 2007-2012).....	78
Figura 4.33 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 3	79
Figura 4.34 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 3.....	80
Figura 4.35 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 3	80
Figura 4.36 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 3	81
Figura 4.37 – Comando "fim de ocupação" do Módulo 3 – consumos globais	81
Figura 4.38 – Comando "fim de ocupação" do Módulo 3 – consumos de iluminação e tomadas.....	82
Figura 4.39 – Desligar os <i>chillers</i> – consumos globais – Módulo 3	82
Figura 4.40 – Desligar os <i>chillers</i> - consumos de AC-Frio – Módulo 3	83
Figura 4.41 – Desagregação de consumos do Módulo 3 em relação ao CCB (média)	84
Figura 4.42 – Desagregação de consumos do Módulo 3 (média)	84
Figura 4.43 – Tendência de consumos - Módulo 3	85
Figura 5.1 - Análise comparativa de lâmpadas.....	90
Figura 5.2 - Constituição de painéis fotovoltaicos	92
Figura 5.3 – Investimento vs Redução de custos & <i>ROI</i> – Substituição dos <i>chillers</i>	97
Figura 5.4 – Investimento vs Redução de custos & <i>ROI</i> – Substituição da iluminação dos gabinetes.....	99
Figura 5.5 – Investimento vs Redução de custos & <i>ROI</i> – Substituição da iluminação no Grande Auditório.....	101
Figura 5.6 - Investimento vs Redução de custos & <i>ROI</i> – Instalação de módulos fotovoltaicos.....	104

Figura 6.1 – N.º de licenças concedidas pelas câmaras municipais (edifícios não habitacionais)	105
--	-----

Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Estimativa de custos de exploração	47
Tabela 4.1 - Consumos específicos para determinação do parâmetro "S"	50
Tabela 4.2 - Enquadramento matemático de indicadores	51
Tabela 4.3 – Parede interior de alvenaria	53
Tabela 4.4 – Parede exterior de alvenaria	53
Tabela 4.5 – Parede interior de betão armado	54
Tabela 4.6 – Parede exterior de betão armado	54
Tabela 4.7 – Parede exterior de <i>layer</i> genérico	54
Tabela 4.8 – Cobertura plana	55
Tabela 4.9- Pavimento de <i>layer</i> genérico	55
Tabela 4.10 – Pavimento de betão armado	56
Tabela 4.11 – Vãos envidraçados	57
Tabela 4.12 – Indicadores de consumo médio (kWh/pessoa)	59
Tabela 4.13 – Distribuição de consumos – Módulo 1	66
Tabela 4.14 – Distribuição de consumos – Módulo 2	77
Tabela 4.15 – Distribuição de consumos – Módulo 3	85
Tabela 5.1 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição dos <i>chillers</i>	95
Tabela 5.2 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição dos <i>chillers</i>	96
Tabela 5.3 – Estudo de viabilidade económica – Substituição dos <i>chillers</i>	96
Tabela 5.4 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição da iluminação nos gabinetes	98
Tabela 5.5 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição da iluminação nos gabinetes	98
Tabela 5.6 – Estudo de viabilidade económica – Substituição da iluminação nos gabinetes	98
Tabela 5.7 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição da iluminação no Grande Auditório	100
Tabela 5.8 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição da iluminação no Grande Auditório	100

Tabela 5.9 – Estudo de viabilidade económica – Substituição da iluminação no Grande Auditório	101
Tabela 5.10 – Resumo de custos de investimento inicial – Instalação de módulos fotovoltaicos	102
Tabela 5.11 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Instalação de módulos fotovoltaicos	102
Tabela 5.12 - Estudo de viabilidade económica – Instalação de módulos fotovoltaicos ..	103
Tabela 6.1 – Síntese de consumos do CCB no ano de 2012	106

Lista de abreviaturas

ASHRAE | *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AQS | Águas quentes sanitárias

AVAC | Aquecimento, ventilação e ar condicionado

BEI | Banco Europeu de Investimento

CCB | Centro Cultural de Belém

CFL | *Compact fluorescent lamp* (Lâmpadas fluorescentes compactas)

CGD | Caixa Geral de Depósitos

CML | Câmara Municipal de Lisboa

DDC | *Direct Digital Control*

DEIT | Direção de Edifícios e Instalações Técnicas

EDP | Energias de Portugal

ESE | Empresas de Serviços Energéticos

ETICS | *External thermal insulation composite systems* (Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior)

FAMC-CB | Fundação de Arte Moderna e Contemporânea – Coleção Berardo

FCCB | Fundação Centro Cultural de Belém

FER | Fontes de energia renováveis

GLE | Gestor Local de Energia

GTC | Gestão técnica centralizada

GWS | *Global workstation* (Estação de trabalho global)

IEEnom | Indicador de eficiência energética nominal

IEEref | Indicador de eficiência energética de referência

INE | Instituto Nacional de Estatística

JESSICA | *Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas*

LED | *Light emitting diode* (Díodos emissores de luz)

MCB | Museu Coleção Berardo

NCM | *Network control model* (Módulo de controlo de rede)

OWS | *Operator workstation* (Estação de trabalho local)

PCH | Pequenas centrais hidroelétricas

PCS | Poder calorífico superior

PDML | Plano Diretor Municipal de Lisboa

PNAEE | Plano Nacional para a Eficiência Energética

PNAER | Plano Nacional para as Energias Renováveis

PME | Pequena e média empresa

PQ | Perito Qualificado

QGBT | Quadro geral de baixa tensão

QREN | Quadro de Referência Estratégico Nacional

RCCTE | Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RMUEL | Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa

ROI | *Return on investment* (Retorno sobre o investimento)

RSECE | Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

RSU | Resíduos sólidos urbanos

SCE | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SDC | *Smart digital control* (Estação de controlo digital)

TIC | Tecnologias da informação e da comunicação

U | Coeficiente de transmissão térmica

UE | União Europeia

UL | Universidade de Lisboa

UPR | Unidade de processamento remoto

UPS | *Uninterruptible power supply* (Fonte de alimentação ininterrupta)

UTA | Unidade de tratamento de ar

UTAN | Unidade de tratamento de ar novo

VC | Ventiloinvector

VE | Ventilador de extração

VEG | Ventilador de extração dos serviços gerais

VEP | Ventilador de extração dos parques de estacionamento

VEW | Ventilador de extração das instalações sanitárias

VIS | Ventilador de insuflação

Lista de unidades

BTU | Unidade térmica britânica

CO₂eq | Massa equivalente de dióxido de carbono

ep | Massa equivalente de petróleo

g | Massa

K | Temperatura cromática ou temperatura de cor (tonalidade de cor da lâmpada)

lm | Fluxo luminoso

m | Medida (distância)

m² | Área

m³ | Volume

V | Tensão elétrica (diferença de potencial elétrico)

W | Potência

W/m².°C | Coeficiente de transmissão térmica (U)

Wh | Energia (consumo energético)

1 Introdução

Nas últimas décadas o sector energético sofreu grandes mutações, tornando-se mais complexo, exigindo maior organização dos recursos naturais e materiais. Concomitantemente verificou-se um grande aumento das necessidades energéticas, nomeadamente de matérias-primas fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural, e de origem mineral, para produção de energia nuclear, o urânio (1).

Estas matérias-primas, tratando-se de recursos não renováveis, apesar de existirem ainda em quantidade considerável, têm vindo a consumir-se rapidamente. Considera-se como recurso não renovável aquele que é consumido muito mais rapidamente do que o seu processo de formação na natureza, ou seja, cuja taxa de utilização é superior à taxa de renovação em virtude do seu ciclo de renovação ser, por vezes, de centenas de milhões de anos (2). Posto isto, como é elucidativo no gráfico da Figura 1.1, os recursos líquidos (petróleo e derivados) apresentam o maior valor de consumo (3):

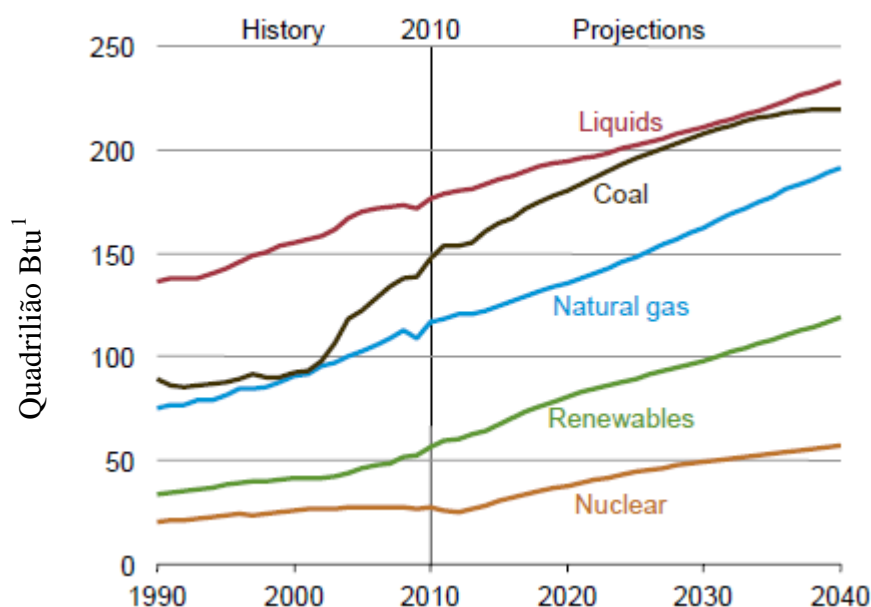


Figura 1.1 – Registo histórico e projeções do consumo mundial por tipo de energia

Fonte: (4)

¹ “Btu” é uma unidade térmica britânica, para medir consumos energéticos. De acordo com o sistema internacional (SI), obtém-se: 1 quadrilhão Btu = 293 TWh = 293 x 10³ GWh = 293 x 10⁹ kWh.

Tratando-se de um recurso não renovável, prevê-se que a extinção do petróleo ocorra nas próximas décadas, como demonstra o gráfico da Figura 1.2:

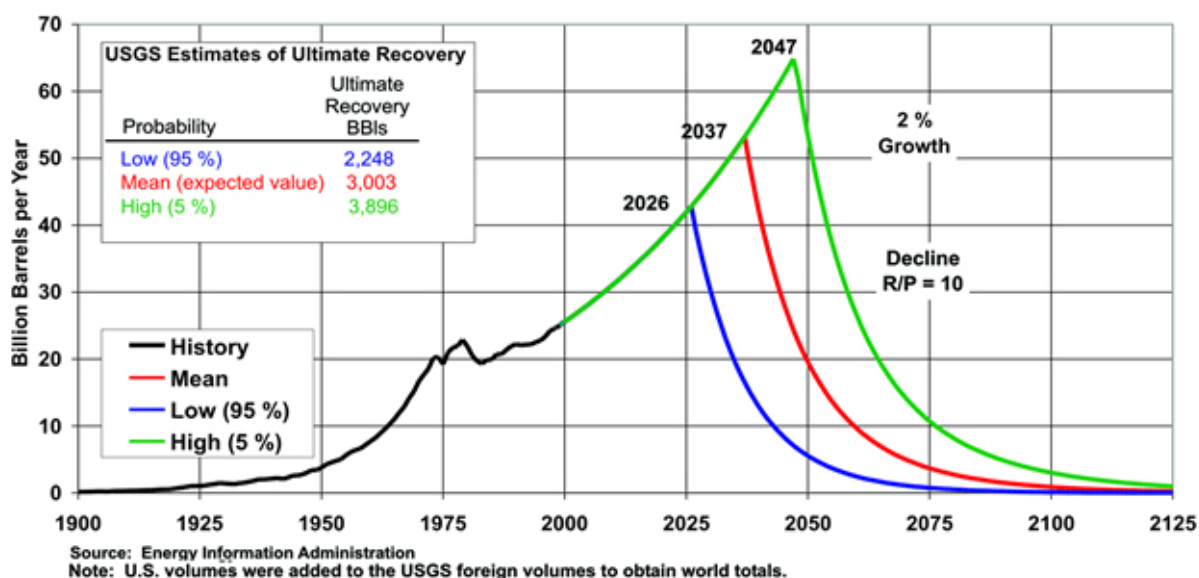


Figura 1.2 – Registo histórico e projeção de produção anual de barris de petróleo

Fonte: (5)

Estes combustíveis de origem não renovável, ao serem utilizados para produção energética (aquecimento, eletricidade ou transportes), produzem grandes quantidades de substâncias nocivas para a atmosfera, provocando o efeito de estufa, que tem contribuído para o aumento da temperatura média do Planeta (1).

Num mundo em que a procura de energia é crescente, e em pressão constante para a diminuição das emissões de CO₂, a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e a poupança de energia apresentam-se como cruciais para as sociedades em desenvolvimento, e foco de interesse relevante para a atuação da engenharia civil. Neste contexto, Portugal situado no sudoeste da Europa, é um país privilegiado pelo sol, mar e recursos naturais que tem permitido a utilização crescente de energia por fontes renováveis, como mostra o gráfico da Figura 1.3:

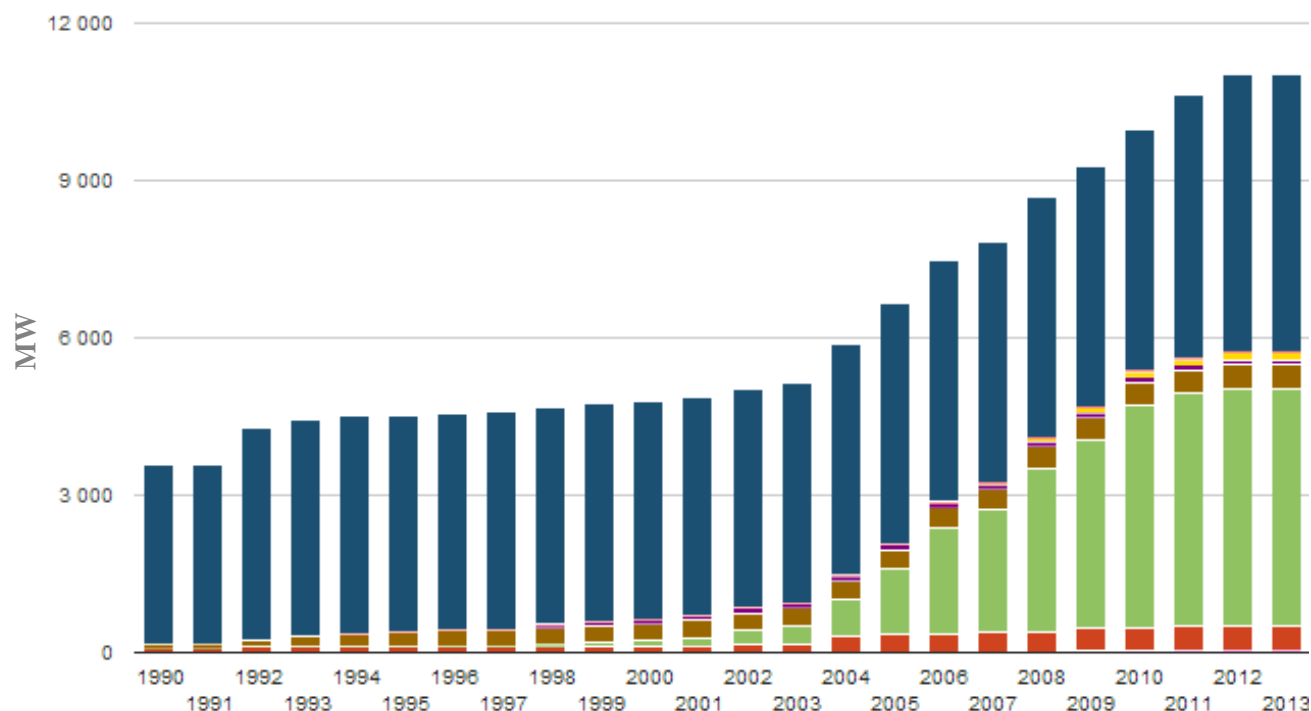
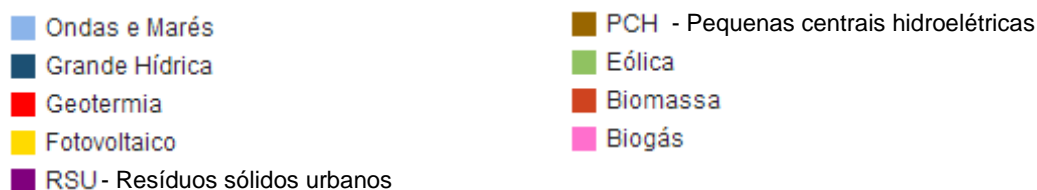


Figura 1.3 – Evolução da potência instalada em Portugal

Fonte: (6)



No que concerne à temática da sustentabilidade e da eficiência energética, torna-se fundamental definir novas regras para o exercício da Engenharia aos seus profissionais: (i) exigir o aproveitamento de energias endógenas; (ii) redesenhar sistemas de climatização; (iii) melhorar os sistemas de gestão técnica centralizada (GTC); (iv) estudar adaptações e reabilitações sustentáveis.

1.1 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo fundamental a caracterização de um projeto de reabilitação energética de um edifício de índole cultural, visando um melhor desempenho energético do mesmo, e a consequente redução de consumos de eletricidade e gás natural. De modo a alcançar o referido objetivo, teve-se em consideração o estudo dos registos históricos de consumos associados aos processos de climatização e iluminação, assim como as melhorias implementadas pela entidade gestora do referido edifício.

Num edifício construído na década de 90, nas soluções construtivas à data implementadas contrariamente ao que hoje é verificado, não eram considerados princípios de poupança de recursos energéticos. Como tal, torna-se relevante para o objetivo proposto, o estudo sucinto da envolvente do edifício, nomeadamente os elementos estruturais, elementos arquitetónicos e materiais de construção que influenciam o seu desempenho térmico. A manutenção, preservação e continuidade dessas soluções, incluindo as que no decorrer deste estudo se verifiquem ineficientes, será uma realidade considerando o peso cultural que o monumento representa.

O presente trabalho final de mestrado pretende ainda refletir os conhecimentos adquiridos na pesquisa associada aos sistemas de climatização, de iluminação e de arrefecimento passivo com potencial para implementação em edifícios de serviços, conjugados por um sistema de gestão técnica centralizada.

1.2 Estrutura

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

- (i) Capítulo 1: Introdução ao tema em estudo, objetivos propostos e respetiva estrutura do trabalho;
- (ii) Capítulo 2: Enquadramento do tema abordado numa vertente legislativa. Apresentação das energias renováveis existentes em Portugal, com especial foco para as energias eólica e solar. Ainda num contexto de enquadramento, apresentam-se neste capítulo programas de apoio à eficiência energética e exemplos de reabilitação energética de edifícios de serviços;
- (iii) Capítulo 3: Caracterização do edifício em estudo, com particular destaque para os aspetos arquitetónicos, elementos estruturais, materiais de construção e instalações técnicas, assim como uma sucinta apresentação de consumos globais e respetivos custos estimados de exploração;
- (iv) Capítulo 4: Caracterização do desempenho energético, apresentando-se a envolvente do edifício. Descrevem-se ainda as melhorias implementadas pela Direção de Edifícios e Instalações Técnicas (DEIT) do Centro Cultural de Belém, concluindo-se este capítulo com uma apresentação de consumos desagregados pelos três módulos do CCB;
- (v) Capítulo 5: Apresentação de propostas de melhoria do desempenho energético do edifício, assim como um estudo da viabilidade económica das mesmas;

- (vi) Capítulo 6: Conclusões da dissertação elaborada e apresentação de perspectivas de trabalhos futuros relacionadas com as temáticas da reabilitação e sustentabilidade.

2 Sustentabilidade e reabilitação

2.1 Enquadramento legal

Numa sociedade cada vez mais globalizada, torna-se premente a criação de leis que a tornem sistematicamente mais organizada. Nos subcapítulos que se apresentam de seguida, encontra-se mencionada a base legal atualmente em vigor, tendo como maior evidência as temáticas da eficiência energética e da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Para a referida abordagem foi considerado o facto de Portugal pertencer à Europa e ser membro da União Europeia (UE). Após essa análise inicial, apresenta-se a contextualização das referidas temáticas no âmbito nacional, convergindo finalmente para o enquadramento legal existente na cidade de Lisboa.

2.1.1 Âmbito europeu

A Diretiva 2009/28/CE, de 29 de Abril de 2009, também designada por “*Diretiva das Renováveis*” ou “*Diretiva 20-20-20*” (7), impõe aos 28² Estados-Membros da UE (8), no ano de 2020 (9):

- Redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa, em relação aos níveis de 1990 (5574424 tCO₂eq em 1990 (10));
- Quota de 20% para as fontes de energia renováveis (FER) no consumo bruto final de energia na EU (12,7% em 2010);
- Redução de 20% no consumo de energia primária da UE em comparação com as projeções realizadas em 2007 (1730 Mtep em 2011).

De um modo sucinto, esta diretiva promove a utilização de energia de forma racional e proveniente de fontes renováveis. A génese deste documento está baseada em outras duas diretivas que, com a promulgação de 2009, foram alteradas e subsequentemente revogadas, sendo estas (11):

- Diretiva 2001/77/CE, relativa à promoção da eletricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis;
- Diretiva 2003/30/CE, relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes.

² “Com a adesão da Croácia em 1 de julho de 2013, a UE passou a ter 28 Estados-Membros.”

No artigo 1.º da “*Diretiva das Renováveis*”, encontram-se mencionados o objetivo e âmbito de aplicação desta, que consistem em estabelecer “*um quadro comum para a promoção de energia proveniente das fontes renováveis. Fixa objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes. Estabelece regras em matéria de transferências estatísticas entre Estados-Membros, projetos conjuntos entre Estados-Membros e com países terceiros, garantias de origem, procedimentos administrativos, informação e formação e acesso à rede de eletricidade no que se refere à energia produzida a partir de fontes renováveis. Estabelece critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e biolíquidos*” (12).

No contexto mundial, a elaboração desta diretiva foi ainda ao encontro dos parâmetros estabelecidos para reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa, com o intuito de cumprir o Protocolo de Quioto³ (13), recorrendo-se ao “*controlo do consumo de energia na Europa e a utilização crescente de energia proveniente de fontes renováveis, a par da poupança de energia e do aumento da eficiência energética [...], bem como outros compromissos, assumidos a nível comunitário e internacional, de redução das emissões de gases com efeito de estufa para além de 2012*” (14). Apesar de findado o período inicial estabelecido para este protocolo, após a Conferência do Clima de Doha, Qatar, que se realizou em dezembro de 2012, foi estabelecido um novo período para o Protocolo de Quioto, compreendido entre 2013 e 2020. Na conferência ficou ainda acordado a inclusão da Austrália, Noruega, Suíça e Ucrânia aos já integrantes países da União Europeia. Dos quatro países responsáveis por 15% da emissão de gases mundiais, isto é, Canadá, Japão, Rússia e Nova Zelândia, apenas o Canadá abandonou definitivamente o protocolo, à semelhança dos Estados Unidos, que concretizou a sua saída em 2001. Os restantes três países, embora permanecendo no novo protocolo estabelecido, não assumiram qualquer compromisso vinculativo para diminuir as emissões de gases com efeitos de estufa (15).

2.1.2 Âmbito nacional

Na sequência da diretiva anteriormente apresentada, foi da responsabilidade de cada Estado-Membro elaborar o seu próprio modelo a fim de alcançar os objetivos europeus propostos. Assim sendo, Portugal executou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência

³ Instrumento jurídico internacional, inicialmente estabelecido para o período 1997-2012, integrando o compromisso de redução de gases com efeito de estufa por parte de países industrializados.

Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), nos anos de 2008 e de 2010, respetivamente, tendo em consideração que aquando da elaboração do PNAEE ainda se encontravam em vigor as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE, como anteriormente referido no subcapítulo 2.1.1 (16). O PNAEE inicialmente designado por “*Portugal Eficiência 2015*”, visto que o documento foi elaborado para um horizonte temporal até 2015 (17), e agora designado por “*PNAEE 2016*” devido à revisão efetuada em 2013 (18), consiste num plano que engloba um conjunto de programas e medidas para que seja possível alcançar os objetivos fixados na Diretiva n.º 2006/32/CE (17), relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, salientando-se (19); (20):

- Aumentar a eficiência energética da economia e em particular no setor do Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e a competitividade das empresas;
- Criação de um programa de incentivo à reabilitação urbana sustentável, com o objetivo de ter uma em cada quinze habitações com classe de desempenho energético superior ou igual a B-;
- Certificação energética de todos os edifícios do Estado;
- Substituição de cinco milhões de lâmpadas por lâmpadas fluorescentes compactas (*compact fluorescent lamp – CFL*), em edifícios residenciais e de serviços;

No que diz respeito ao PNAER, este foi apresentado por Portugal à Comissão Europeia em setembro de 2010 (7). No citado plano, encontram-se fixados os objetivos relativamente à quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia em 2020, tendo como referência o ano de 2005, considerando a energia consumida nos sectores: (i) transportes; (ii) eletricidade; (iii) aquecimento e arrefecimento (21). Tendo em consideração os referidos sectores, destaca-se então os seguintes objetivos (22):

- Promover a produção de biocombustíveis em território nacional que utilizem resíduos e detritos, bem como biocombustíveis a partir de materiais lenho-celulósicos;
- Incentivar a produção de biocombustíveis em território nacional;
- Reforçar medidas de apoio à instalação de painéis solares térmicos;

Ambos os planos acima mencionados encontram-se articulados entre si, sendo que esta relação está definida de forma sucinta na Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, tratando-se os planos de “*instrumentos de planeamento energético que estabelecem o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Para além da densificação das metas a atingir, os referidos planos identificam ainda as barreiras existentes, bem como o potencial de melhoria em matéria de eficiência energética e de incorporação de energia proveniente de fontes renováveis nos vários setores de atividade, com vista ao estabelecimento dos programas e medidas mais adequados à observância dos referidos compromissos, tendo em conta a realidade nacional*” (16).

2.1.2.1 Objetivos nacionais

Relativamente à quota de energia proveniente de fontes renováveis, na Figura 2.1 pode-se observar a evolução da estimativa da referida quota, tendo sido fixado pela Diretiva 2009/28/CE o valor de 31%, a ser atingida em 2020 (23):

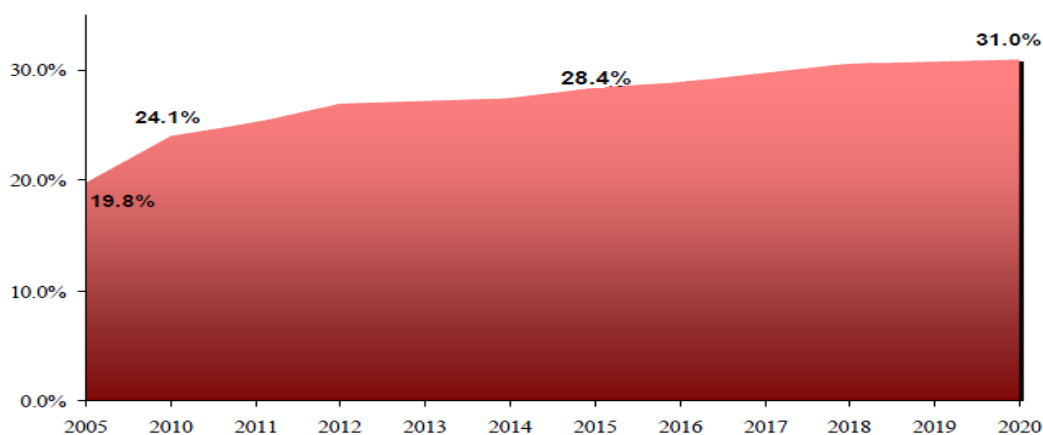


Figura 2.1 – Registo histórico e evolução da estimativa de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto de energia final

Fonte: (23)

Face ao valor mínimo estipulado pela diretiva europeia, de 20%, analisando o gráfico da Figura 2.1, pode-se observar que para Portugal é espectável que este valor seja superado em 11 pontos percentuais.

Segundo um estudo realizado pelo *Eurostat* em 2011, no contexto da ainda “*Europa a 27*”, a dependência energética europeia encontra-se nos 53.8% e, por seu turno, em Portugal

esse valor está situado nos 77.4% (24). Este elevado valor, justificado pela inexistência de recursos energéticos endógenos fósseis, tem conduzido a uma elevada dependência energética proveniente do exterior em termos de energia primária. Como tal, foi definida a meta nacional de redução de consumo de energia primária de 25% e uma meta específica de redução de 30% na Administração Pública (16).

Por fim, no que diz respeito à emissão de gases com efeito de estufa, no período compreendido entre 1990 e 2010, esta tem diminuído em todos os Estados-Membros, verificando-se em Portugal as variações mais baixas, assim como no Chipre, sendo o valor de redução de 18%, encontrando-se aquém do valor estipulado pela União Europeia. Em contrapartida, as reduções mais acentuadas ocorreram na Estónia (75%) (25).

2.1.3 Âmbito da cidade de Lisboa

Como referido nos dois subcapítulos anteriores, nos últimos anos tem-se verificado a elaboração de novas diretivas, assim como atualizações e consequentes alterações aos documentos já existentes, sobre a temática das energias renováveis e da eficiência energética. Ao nível local e regional, também esta problemática tem sido abordada progressivamente pelos municípios, encontrando-se presente em alguns dos regulamentos específicos de cada cidade. Em Lisboa, localidade onde se encontra implantado o edifício em estudo nesta dissertação, esta temática é mencionada na seguinte documentação: (i) Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa (RMUEL); (ii) Plano Diretor Municipal de Lisboa (PDML). Ambos os documentos, publicados nos anos de 2009 e de 2012, respetivamente, já apresentam algumas linhas orientadoras com o intuito de irem ao encontro da legislação nacional e europeia, apresentando-se de seguida alguns exemplos:

- No artigo 60º do RMUEL, referente à eficiência energética, está estipulado que *“o projeto de novos edifícios ou de alteração profunda de edifícios existentes deve prever a instalação de um sistema central de climatização e utilizar sistemas ou técnicas construtivas de climatização passiva de modo a promover o seu bom desempenho energético”* (26);
- No artigo 63º, do mesmo regulamento, é aconselhada a *“utilização de fontes de energia renováveis na geração de energia elétrica [...], nomeadamente através de painéis fotovoltaicos ou sistemas de captação de energia eólica”*, devendo esta utilização ser considerada *“sempre que for tecnicamente viável e esteticamente adequada”* (27);

- Por seu turno, no PDML a Câmara definiu uma estratégia ambiental, sendo que a sua concretização está pendente da adoção de “*práticas de planeamento territorial que promovam a eficiência energética dos edifícios, quer ao nível do novo edificado, quer ao nível da qualificação do património existente*”, assim como da “*integração de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis no meio urbano, em particular aplicadas em edifícios e estruturas urbanas*” (28).

2.2 As energias renováveis em Portugal

O conceito de energia renovável encontra-se normalmente associado à produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, embora o aproveitamento de tais fontes possa ter outros fins, como é o caso dos meios de transporte, com o desenvolvimento de motores que suportem combustíveis alternativos aos derivados do petróleo, ou para uso de águas quentes sanitárias (AQS), recorrendo a painéis solares térmicos (29). Resumidamente pode-se caracterizar as fontes renováveis como uma “*fonte de energia ilimitada, uma vez que a sua utilização “hoje” não implica diminuição da sua disponibilidade “amanhã”*” (30).

Em Portugal as fontes renováveis existentes, assim como as respetivas energias que proveem da sua exploração, podem ser consultadas no fluxograma da Figura 2.2:

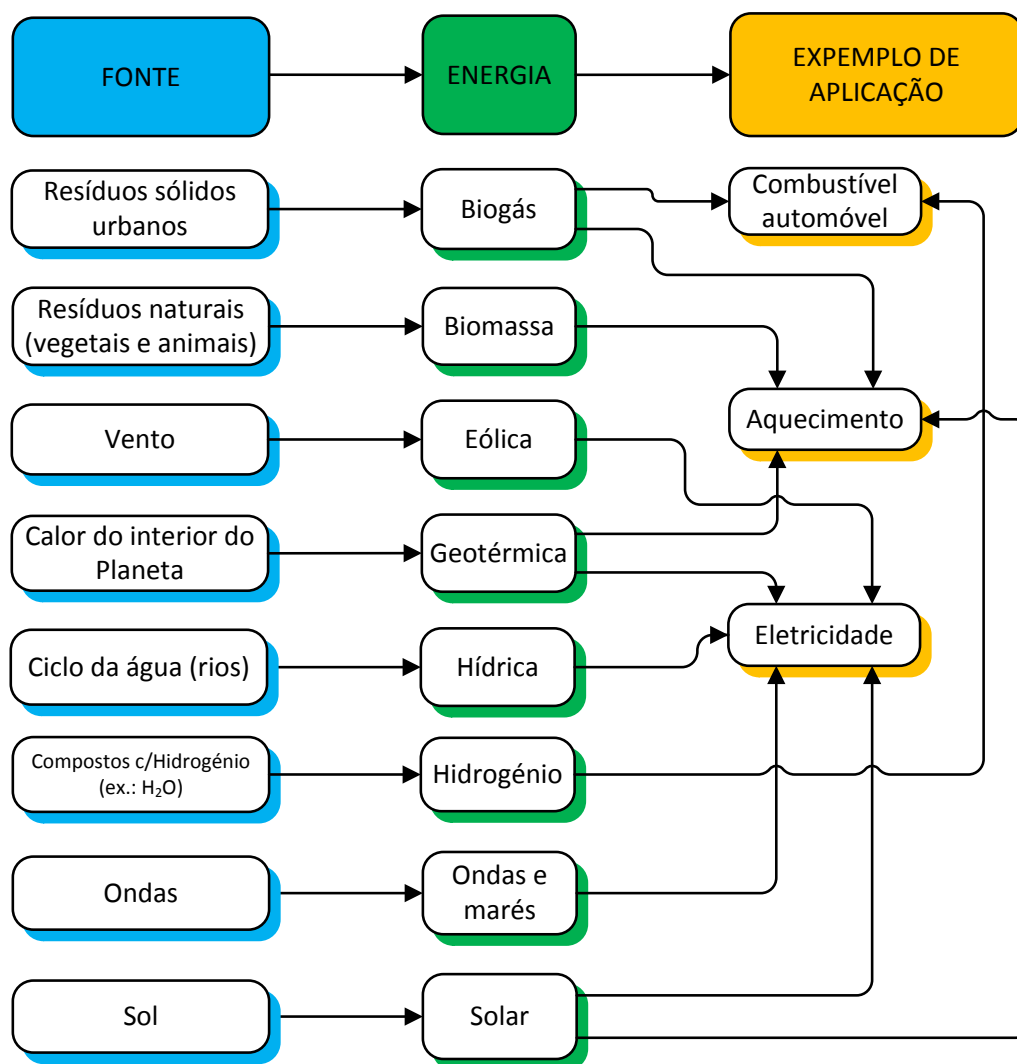


Figura 2.2 – Fluxograma de fontes de energia renováveis existentes em Portugal

Realizado com base em: (31); (32); (33)

Considerando a temática em estudo nesta dissertação, optou-se por apresentar apenas uma breve descrição sobre as energias eólica e solar, visto serem as que melhor se poderão enquadrar num âmbito de reabilitação energética de edifícios em meio urbano.

2.2.1 Energia eólica

O vento caracteriza-se pelo movimento de massas de ar provocado pelo aquecimento diferenciado das zonas que constituem a atmosfera, potenciado pelo sol conforme a latitude. Grosso modo, em locais cuja velocidade média anual do vento seja superior a 6 m/s torna-se viável a instalação de um parque eólico, sendo que em Portugal estas condições ocorrem maioritariamente em zonas montanhosas ou na proximidade da costa marítima. O vento (energia cinética) possibilita que as pás da turbina girem, que por sua

vez irão produzir a rotação do eixo de um gerador (energia mecânica), produzindo desta forma eletricidade.

Os parques eólicos podem ser instalados em: (i) terra (espaços amplos e abertos; no topo de edifícios, desde que existam condições favoráveis à sua instalação); (ii) mar (tendo em consideração algumas restrições como zona de pescas, áreas protegidas e de navegação). Atualmente (6), em Portugal, existem 4524,39 MW (4524390 kW) de potência instalada em parques eólicos, correspondendo a 41% do total de energias renováveis instaladas no país (34); (35).

2.2.2 Energia solar

A energia solar pode ser utilizada para a produção de eletricidade, assim como para aquecimento, recorrendo-se a painéis solares fotovoltaicos e térmicos, respetivamente. No primeiro caso, os painéis fotovoltaicos ao receberem a energia solar sob a forma de radiação originam a produção de eletricidade, que pode ser armazenada (com recurso a baterias) ou injetada na rede elétrica (para autoconsumo ou venda ao fornecedor/distribuidor da rede elétrica). Relativamente aos painéis solares térmicos, estes podem ser utilizados para aquecimento de águas, possibilitando a redução da utilização de recursos “tradicionais”, como o gás e a eletricidade. A radiação solar, ao incidir sobre os painéis térmicos, possibilita aquecer o fluido que circula nas tubagens destes equipamentos. Consecutivamente, e por permutação, é aquecida a água de consumo.

Embora o potencial solar seja menor no inverno que no verão e esteja somente disponível durante o dia, este recurso existe abundantemente em Portugal, quando comparado com outros países europeus, como por exemplo a Alemanha. Estima-se que o potencial solar germânico seja sensivelmente metade do disponível em território nacional. Atualmente (6), em Portugal, existem 140,60 MW (140600 kW) de potência instalada em painéis solares fotovoltaicos, correspondendo a 1,3% do total de energias renováveis instaladas no país (36); (37).

2.3 Programas de apoio à eficiência energética

A elaboração deste subcapítulo tem o intuito de apresentar os programas que permitam receber fundos para intervenções que tenham como objetivo a eficiência energética de imóveis, mediante a candidatura das respetivas entidades gestoras destes, assim como a partilha de projetos relacionados com esta temática. Contudo estas medidas têm um

carácter mais abrangente, podendo ser aplicadas com outras finalidades, específicas de cada conteúdo programático como de seguida apresentado. Para tal, optou-se por estruturar estes apoios com uma sucinta descrição de cada medida e objetivos propostos, assim como os respetivos requisitos a serem cumpridos.

2.3.1 Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP)

O Programa ECO.AP foi elaborado com o intuito de promover a eficiência energética em imóveis da Administração Pública, tendo como objetivo permitir ao Estado a redução da fatura energética em 30% até 2020, nos respetivos serviços e organismos públicos⁴.

Devido ao elevado custo associado aos edifícios da Administração Pública no que diz respeito às necessidades energéticas, estimado em cerca de 75 milhões de euros anuais, o Governo de Portugal em parceria com diversas entidades⁵ procedeu à elaboração desta medida, que visa abranger 300 edifícios até 2015. Promovido através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 em janeiro de 2011, o Programa ECO.AP, para atingir os objetivos propostos, contemplou a criação de um Barómetro de Eficiência Energética, estimulando a economia de recursos gerida em parceria entre Empresas de Serviços Energéticos (ESE, como são exemplo a Energias de Portugal® (EDP) e a GALP®) e o Gestor Local de Energia (GLE, técnico responsável pela dinamização e verificação das medidas nas instalações afetas no edifício ao qual está associado). Este barómetro para além de exprimir quanto e como se gasta de acordo com indicadores específicos, promove a competição saudável entre as entidades envolvidas no projeto, comparando e divulgando o *ranking* de desempenho energético, para se poder atuar de um modo mais focado em cada área. Apresenta-se de seguida a listagem dos referidos indicadores:

- Tipo de energia (eletricidade; gás: natural, propano e butano; gasóleo; gasolina);
- Tipo de utilização da energia (Aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC)); equipamentos de escritório; iluminação; água quente sanitária);
- Tipo de utilização do gasóleo e gasolina (veículos ligeiros de passageiros e mercadorias; pesados de passageiros e mercadorias; motocicletas);

⁴ Empresas públicas, universidades, entidades públicas empresariais, fundações públicas, associações públicas, associações privadas com capital social maioritariamente público.

⁵ Direção Geral de Energia e Geologia; Agência Portuguesa do Ambiente; ADENE – Agência para a Energia; Ministérios: da Economia e do Emprego; da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

- Consumo de energia nos edifícios (kWh/m²);
- Consumo de energia em combustíveis (litros/100 km);
- Emissões de carbono (toneladas de CO₂/pessoa);
- Consumo de água (m³/pessoa);
- Consumo de papel (resmas/pessoa).

De um modo resumido o Programa ECO.AP irá permitir às instituições abrangidas a redução substancial de consumos energéticos e, conseqüentemente, reduções nas respetivas faturas dos bens contratados sem a necessidade de investimentos, sendo da responsabilidade das ESE o desenvolvimento e implementação de projetos para atingir esse fim (38); (39).

2.3.2 Iniciativa JESSICA

A iniciativa *JESSICA* (*Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas*) é um instrumento financeiro promovido pela Comissão Europeia e desenvolvido pelo Banco Europeu de Investimento (BEI) com o apoio do *Council of Europe Development Bank*, sendo da responsabilidade do BEI a promoção e implementação da iniciativa no espaço Europeu. Este instrumento tem como destinatários entidades, públicas ou privadas, coletivas ou singulares, que promovam projetos urbanos no âmbito do desenvolvimento sustentável. O objetivo da criação desta iniciativa consistiu em intensificar o apoio a tais projetos de desenvolvimento, como são exemplo:

- Reabilitação urbana, incluindo a regeneração de equipamentos e infraestruturas urbanas;
- Eficiência energética e uso de energias renováveis;
- Revitalização da economia urbana através de apoios a pequenas e médias empresas (PME's);
- Divulgação de tecnologias da informação e da comunicação (TIC) em áreas urbanas, incluindo redes de banda larga e sem fios.

Deve-se ter em consideração que os projetos apresentados foram definidos como prioritários pela iniciativa *JESSICA*, embora de forma não exclusiva. Para a realização destas medidas recorre-se a fundos já existentes que, no que a Portugal diz respeito, foram contemplados no programa do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), no período de vigência 2007-2013, sendo que no âmbito nacional os investimentos poderão ser realizados até 31 de dezembro de 2015.

No que concerne ao processo de adesão à iniciativa *JESSICA* cabe às Autoridades de Gestão⁶ a decisão (40), uma vez que a atribuição de recursos provenientes dos fundos comunitários é facultativa. Após essa tomada de decisão, as Autoridades de Gestão dos vários Programas Operacionais⁷ (41) têm de preparar a medida com devida antecedência de modo a ser cumprido o prazo anteriormente estipulado. Em Portugal, este processo teve início em novembro de 2008, com a assinatura de um protocolo entre o Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e o BEI, tendo sido estabelecido neste acordo a aplicação de um fundo de 130 milhões de euros redistribuídos pelos Programas Operacionais definidos pelo QREN. Esta iniciativa possibilita ainda a existência de um meio para troca de informações, experiências e divulgação de boas práticas, no âmbito da qual são promovidas reuniões e conferências (42); (43); (44).

2.3.3 Projeto *UrbanSol Plus*

O projeto *UrbanSol Plus*, elaborado em parceria com vários municípios europeus⁸, dentro dos quais se incluem Sintra e Lisboa, tem como objetivo promover a adoção de sistemas solares térmicos em edifícios multiresidenciais existentes e edifícios classificados como património histórico (45), até maio de 2014. Em vigor em Portugal desde junho de 2011, assegurado pelas entidades Lisboa E-Nova e a APISOLAR, consiste num projeto que através da partilha das experiências dos municípios/entidades envolvidos pretende: (i) analisar os casos de sucesso desta temática; (ii) preparar planos de ação para desenvolvimento à escala local; (iii) identificar as melhores estratégias para a promoção da instalação dos sistemas solares térmicos.

A complexidade da execução deste projeto, visto contemplar edifícios existentes, encontra-se relacionada com a tipologia dos imóveis. Em edifícios multiresidenciais os desafios colocam-se ao nível de: (i) gestão de condomínios, na tentativa de alcançar uma solução que melhor sirva todos os residentes; (ii) implementação de infraestruturas técnicas de produção e distribuição de energia térmica, caso não existam; (iii) definição do modelo de negócio a ser promovido de acordo com a empresa fornecedora do bem e respetivo contrato de manutenção. Por seu turno, os edifícios classificados estão condicionados por:

⁶ Uma autoridade pública nacional, regional ou local ou um organismo público ou privado designado pelo Estado-Membro para gerir o Programa Operacional. A título de exemplo, o programa operacional “POR Lisboa” é composto por uma Comissão Diretiva e Secretariado, cujos membros são eleitos em Conselho de Ministros. (Fonte: http://www.porlisboa.qren.pt/np4/autoridade_gestao.html; Citação: 01 de outubro de 2013)

⁷ Os Programas Operacionais (em Portugal contabilizam-se 14) são classificados de acordo com a sua área de incidência.

⁸ Mapa interativo disponível em: <http://www.urbansolplus.eu/en/tools-products-services/architectural-integration-protected-buildings-multifamily-houses>.

(i) arquitetura e elementos estruturais do imóvel; (ii) conjugação entre o valor patrimonial do edifício e as suas necessidades energéticas. No entanto, os edifícios classificados como históricos são considerados exceções ao cumprimento dos regulamentos do comportamento térmico dos edifícios, como referido no artigo 2.º do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Citando Joana Fernandes, da entidade Lisboa E-Nova, a cidade de Lisboa é a “*capital europeia com mais horas de sol*”, logo torna-se “*inquestionável o esforço que deve ser feito na operacionalização deste potencial*” (46); (47); (48).

2.4 A reabilitação energética de edifícios de serviços – Exemplos

A tomada de consciência sobre as temáticas da sustentabilidade e da redução de consumos energéticos, conduziu a que as entidades responsáveis pela gestão de edifícios de serviços, assim como as empresas afetas à construção civil, procedessem a intervenções com o intuito de, gradualmente, tornar os imóveis mais eficientes. Devido à singularidade do edifício em estudo nesta dissertação, verificou-se alguma dificuldade no estudo de casos de intervenções de carácter energético ocorridas em imóveis com características físicas e funcionalidades idênticas. Como tal, optou-se por apresentar casos de reabilitação de edifícios situados em Lisboa de modo a poder enquadrar o caso de estudo com edifícios que, embora com prestações de serviços variadas, estão submetidos a condições climatológicas semelhantes, isto é, pertencentes à mesma zona climática⁹ (Lisboa: II; V2 (48)). Para a apresentação dos casos de seguida listados foi considerado o critério cronológico.

2.4.1 Painéis solares fotovoltaicos na Universidade de Lisboa

Numa parceria entre a Universidade de Lisboa (UL) e a Galp® Power S.A., designada por Campus Sustentável - Universidade Verde, iniciou-se em dezembro de 2012 a instalação de painéis solares fotovoltaicos nas coberturas dos edifícios, mais precisamente nas Faculdades de Ciências e Psicologia, Instituto de Educação e Refeitório Um. Na fase inicial do projeto, que contemplou apenas os edifícios referidos, foram instaladas quatro centrais de produção de energia elétrica, correspondendo a 2627 módulos fotovoltaicos e uma potência instalada de 644 kW, numa área total de 8495 m². Com a conclusão do projeto em outubro de 2013, foram instalados cerca de 10000 módulos fotovoltaicos

⁹ Disponível para consulta no Quadro III.1 do RCCTE

distribuídos pelas coberturas de faculdades, parques de estacionamento e áreas de lazer da UL. Totalizando uma potência instalada de 2000 kW e uma produção energética anual de 4,28 GWh.ano (4280000 kWh.ano), embora não seja para autoconsumo mas sim para venda à distribuidora elétrica nacional, representa cerca de 20% do consumo total de eletricidade da Universidade de Lisboa num ano. Este projeto constitui a maior central fotoelétrica instalada na grande Lisboa (49).

2.4.2 Painéis solares térmicos na cobertura do edifício-sede da Caixa Geral de Depósitos

A instalação de painéis solares térmicos na cobertura do edifício-sede da Caixa Geral de Depósitos (CGD), num total de 158 coletores solares distribuídos por 1600 m², correspondem à maior central solar térmica de Portugal instalada em imóveis. Estes dispositivos permitem o aquecimento de água para uso nos sistemas de climatização (necessidades de aquecimento) e instalações sanitárias. No âmbito do mesmo projeto, foram ainda instalados variadores de velocidade nas bombas de água que, possibilitando o seu funcionamento de acordo com as necessidades do edifício, elevaram a redução de consumos energéticos. No total das duas medidas verifica-se uma poupança anual de 1 GWh.ano (1000000 kWh.ano) de eletricidade, que corresponde aproximadamente a 5% do consumo global do edifício. Em funcionamento desde 2008, a instalação dos painéis solares térmicos possibilitou à CGD a conquista do Prémio EDP® – Energia Elétrica e Ambiente, na categoria “Serviços e Outras Atividades”. A distinção foi atribuída pela EDP Distribuição® em 2009, numa edição em que participaram 194 entidades, das quais 113 na categoria onde se inseriu a Caixa Geral de Depósitos (50).

2.4.3 Intervenções realizadas pela Contimetra

“Um sistema de gestão técnica centralizada bem operacionalizado pode acrescentar uma poupança no consumo até 24%. A GTC tem de ser encarada hoje como um elemento essencial na estratégia para a eficiência energética de um edifício” (51). Como tal, apresentam-se de seguida dois edifícios que foram submetidos a distintas intervenções de reabilitação, em que as instalações de sistemas de gestão centralizada foram preponderantes para melhorar a sua eficiência energética. No entanto estas intervenções, realizadas pela Contimetra – Instalações Mecânicas Lda., encontram-se submetidas a acordos de confidencialidade entre a empresa prestadora de serviços e entidade que adjudicou a reabilitação, sendo apenas possível mencionar no contexto desta dissertação essas medidas de um modo bastante resumido.

2.4.3.1 Reabilitação da Sede do Banco de Portugal

Com o intuito de restabelecer um carácter funcional ao edifício que serviu de Sede do Banco de Portugal desde o final do século XIX, esta entidade, em parceria com a Câmara Municipal de Lisboa (CML), tomou a decisão de proceder à reabilitação integral do imóvel, em 2007. De entre as intervenções executadas após março de 2010, como exemplo o reforço estrutural e alterações arquitetónicas, decidiu-se dotar o edifício de soluções energéticas de modo a otimizar a sua utilização, conjugadas por um moderno sistema de gestão técnica centralizada (52).

2.4.3.2 Reabilitação da Fundação Calouste Gulbenkian

Tendo em consideração os casos apresentados no presente subcapítulo, o edifício da Fundação Calouste Gulbenkian caracteriza-se por ser a instituição que mais se aproxima da funcionalidade do CCB, cujos fins estatutários são a arte, a beneficência, a ciência e a educação. Com o intuito de modernizar o sistema de climatização existente, a Fundação procedeu à substituição faseada das unidades de tratamento de ar (UTA's) por equipamentos mais eficientes, conseguindo-se desta forma uma redução de consumos energéticos. A instalação destas unidades teve início em 2007, prevendo-se a sua conclusão em janeiro de 2014, com o terminar das intervenções de reabilitação do Grande Auditório da Gulbenkian (53).

3 Caracterização do edifício

Implantado na Praça do Império, na cidade de Lisboa, o Centro Cultural de Belém promove atualmente diversas atividades culturais e de lazer na capital portuguesa. O conjunto de edifícios, ruas, praças, pontes e jardins que integram o CCB contribuem para que o monumento se traduza num espaço vivo e polo dinamizador, como se de uma urbe se tratasse, harmoniosamente integrado na metrópole que o acolhe.

3.1 Enquadramento histórico

A necessidade de receber, em janeiro de 1992, a Presidência Portuguesa do Conselho das Comunidades Europeias, levou a que o Governo da República, em janeiro de 1988, lançasse um concurso para o projeto e construção de um espaço numa área da cidade de elevada importância urbana e cultural. Numa estrutura em que se pretendia obter uma perfeita simbiose entre o novo imóvel a edificar e os demais monumentos históricos centenários envolventes, como a Torre de Belém e o Mosteiro dos Jerónimos, foi selecionado, dos 57 projetos a concurso, o desenvolvido pelos arquitetos Vittorio Gregotti e Manuel Salgado, de nacionalidades italiana e portuguesa, respetivamente. No decorrer do mês de setembro de 1989 foi iniciado o processo construtivo do CCB, levando-se à edificação de três dos cinco módulos inicialmente previstos. Concluída a construção dos módulos 1 e 2, de modo a alcançar o seu objetivo inicial, a receção da Presidência Portuguesa do Conselho, após quatro anos da execução da primeira estaca de fundação o CCB abriu as portas ao público sendo que, em Setembro do mesmo ano, culminou-se a conclusão definitiva dos três módulos com a inauguração do Grande Auditório (54).

3.2 Aspetos arquitetónicos

O CCB, com uma área bruta de construção aproximada de 100000 m², distribuídos por seis hectares, é constituído por um conjunto de edifícios que se organizam por três módulos. A estes distintos espaços está associada determinada funcionalidade sendo que, pelo facto de os módulos se encontrarem fisicamente ligados entre si, permitem que se usufrua do edifício de forma harmoniosa como um todo. Comum a ambos os módulos, verifica-se a existência de variadas infraestruturas públicas exteriores, como por exemplo os seis jardins e os diversos caminhos pedonais. Ladeada pelo Centro de Exposições, existe ainda a ampla Praça CCB (54).

3.2.1 Centro de Reuniões – Módulo 1

O Centro de Reuniões com a fachada principal virada a poente da Praça do Império, de 9423m² e 30500 m² de área de implantação e bruta, respetivamente, é o local privilegiado para a realização de eventos empresariais, reuniões e congressos, alojando ainda os gabinetes da Administração e dos serviços gerais do CCB (Sala de Gestão e Controlo; Central de Segurança; gabinetes financeiros e de contabilidade). O Módulo 1 é ainda constituído pelos seguintes espaços: (i) três salas de reuniões com cabines de tradução simultânea; (ii) salas e espaços funcionais de trabalho de utilização diversificada; (iii) um restaurante; (iv) dois bares; (v) um posto médico; (vi) várias lojas e espaços comerciais; (vii) duas garagens com a capacidade de 360 lugares, distribuídos por dois pisos (54).

3.2.2 Centro de Espetáculos – Módulo 2

Implantado entre os outros dois módulos o Centro de Espetáculos, de 5470 m² e 22000 m² de área de implantação e bruta, respetivamente, é constituído essencialmente por três salas equipadas para diversificados espetáculos, desde a ópera, ao teatro e ao cinema. Estes espaços são complementados por um conjunto de salas de apoio à produção, ensaio e preparação de espetáculos, para além de camarins, oficinas e armazéns. De um modo resumido, o Módulo 2 apresenta as seguintes salas (54):

- Grande Auditório, com capacidade para 1467 lugares, permite a realização de um elevado leque de espetáculos (ópera, teatro, música, dança, cinema), assim como a realização de eventos com maior necessidade de espaço;
- Pequeno Auditório, com capacidade para 348 lugares, permite a realização de variados espetáculos como acima descrito, mas para eventos que não careçam de um espaço de grandes dimensões;
- Sala de Ensaio, com capacidade para 100 lugares, caracteriza-se por ser um local de reduzidas dimensões, vocacionada para espetáculos de teatro e dança.

Em diferentes níveis, os Módulos 1 e 2 anteriormente caracterizados, estão ligados entre si através de *foyers* comuns aos dois espaços. Da mesma forma, a ligação entre o Módulo 2 e o Centro de Exposições – de seguida apresentado – é realizada ao nível do grande *hall* de exposições temporárias. Por mútuo acordo entre as fundações que exploram atualmente o CCB, isto é, a Fundação Centro Cultural de Belém, FCCB, e a Fundação de Arte Moderna e Contemporânea - Coleção Berardo, FAMC-CB, a ligação entre os módulos 2 e 3 encontra-se desativada, apesar de esta continuar a existir fisicamente (54).

3.2.3 Centro de Exposições – Módulo 3

Caracterizando-se por ser o edifício com maior área de implantação do CCB, 13300 m², o Centro de Exposições é um espaço de exposição polivalente, com uma área bruta de 35000 m². Dada a sua dimensão, o Módulo 3 dispõe de locais de diferentes tipos de ocupação, dos quais se salientam (54):

- Área expositiva distribuída por quatro galerias
 - Galeria 1 (Piso -1, com 2835 m²);
 - Galeria 2 (Piso -1, com 600 m²);
 - Galeria 3 (Piso 2, com 1985 m²);
 - Galeria 4 (Piso 0, com 900 m²);
- Áreas comuns, espaços reservados a atividades de *ateliers* do Serviço Pedagógico (a Fábrica das Artes e o Serviço Educativo, respeitantes à FCCB e FAMC-CB, respetivamente), a Sala Polivalente e área de coordenação de atividades da FAMC-CB;
- Espaços de reservas e receção de obras de arte, serviços adjacentes de manutenção e montagem de exposições;
- Cafetaria e galeria comercial (loja da FAMC-CB).

Como já mencionado anteriormente, o Módulo 3 acolhe, desde julho de 2007, o Museu Coleção Berardo (MCB), sendo possível visitar um extenso leque de obras de arte pertencentes à mostra permanente da Coleção como também inúmeras exposições temporárias (55). Através do protocolo estabelecido entre o Estado Português e a Fundação, foi assim possível manter em Portugal uma coleção única de arte moderna e contemporânea, criando-se desta forma um fator de atração cultural nacional e internacional (56). A utilização do Centro de Exposições como museu levou, desta forma, a um aumento significativo de visitantes deste espaço (57) sendo que, das 61 exposições que a Fundação protagonizou até ao final de 2012, as mais visitadas foram a exposição de abertura do Museu e da artista plástica Joana Vasconcelos, como exposição permanente e temporária, respetivamente (55). Associada ainda à exposição desta artista portuguesa, que decorreu durante o ano de 2010, está o maior registo anual de visitantes verificado até dezembro de 2012, contabilizando-se, nesse período, 964540 visitas (55); (57), como representado de seguida no gráfico da Figura 3.1:

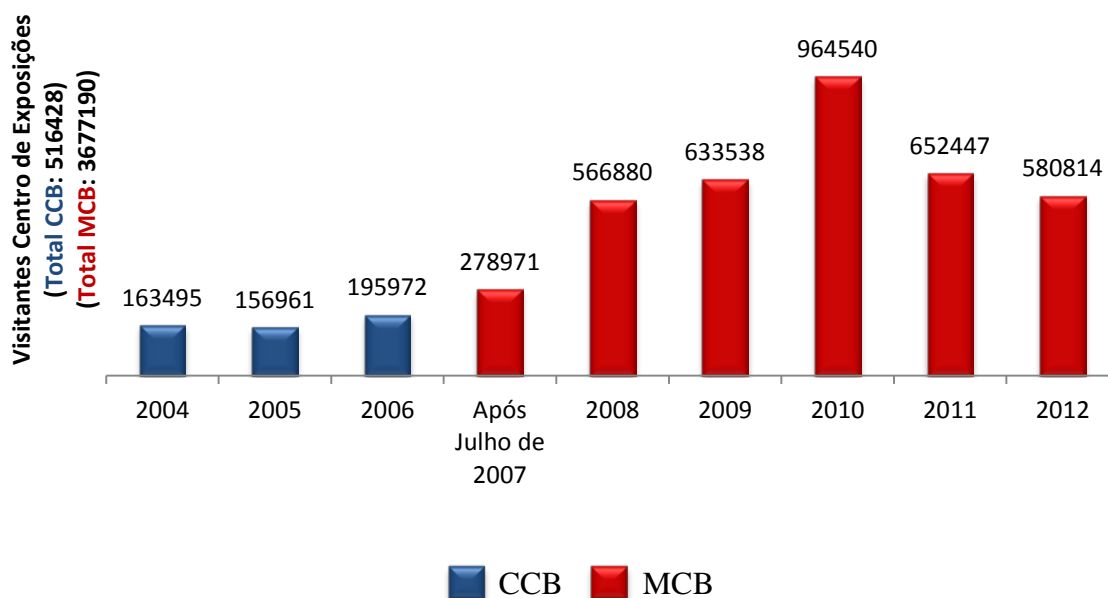


Figura 3.1 – Evolução de visitas do Centro de Exposições

Fonte: (57)

Analisando o gráfico verifica-se que no período compreendido entre 2004 e 2006 o Módulo 3 registou, em média, 173143 visitantes por ano. Por sua vez, entre 2008 até ao fim do período em estudo, o número médio anual de visitantes elevou-se para 679644, o que se traduz num aumento de 394,91% de visitantes face ao período anterior.

3.3 Estrutura e materiais de construção

Genericamente, o CCB caracteriza-se pela semelhança dos métodos construtivos como dos elementos estruturais e materiais aplicados aquando da sua implantação, transversais aos três módulos, pretendendo-se neste subcapítulo apresentar de modo sucinto a uniformidade construtiva do edifício.

3.3.1 Fundações

O local de implantação do CCB foi caracterizado quanto às suas propriedades geológicas pelas seguintes formações: (i) camadas de terrenos atuais e recentes sobre depósitos aluvionares constituídos por areias, à superfície; (ii) formações do cretácico constituídas por calcários cristalizados, sob a camada anteriormente mencionada.

A existência das camadas arenosas, assim como a proximidade do Rio Tejo, levou a que fosse adotada uma solução de fundações indiretas profundas, constituídas por estacas moldadas *in situ*. As estacas, com diâmetros nominais de 40, 50, 60 e 80 cm num total de

2887 elementos, foram executadas em furações de comprimento médio de 21 m, de modo a que a base das estacas assentasse sobre a camada sólida dos calcários. Estes elementos estruturais foram ainda agrupados através de maciços de encabeçamento em betão armado, agrupando estacas em número variável de 2 a 25, num total de 1416 maciços.

Dada a forte presença de formações arenosas, recorreu-se a técnicas de vibro-compactação, possibilitando o rearranjo das partículas de areia e diminuição de vazios. A execução deste processo permitiu ainda conferir uma maior resistência a fenómenos de assentamentos e de liquefação¹⁰ das areias (58).

Para permitir a realização das fundações, verificou-se ainda a necessidade de se proceder à execução de uma cortina delgada de estanqueidade deformável e uma parede moldada, devido ao nível freático que se encontrava, em média, a 2 m de profundidade, delimitando a área onde se realizou o rebaixamento da água. A cortina de estanqueidade, com um desenvolvimento de 1179 m, foi executada a uma profundidade média de 4,70 m sobre o maciço resistente de calcários. Por seu turno, a parede moldada foi executada, substituindo a cortina, devido à impossibilidade de formação de talude de contenção periférica nas imediações da Rua Bartolomeu Dias, associada à escassez de espaço disponível. Com um desenvolvimento de 176 m e uma profundidade média de 6,5 m a parede moldada, à semelhança da cortina, foi fundada na formação de calcários. A implantação deste elemento estrutural, tendo em consideração os alinhamentos das fachadas norte, nascente e poente do Módulo 2 – Centro de Espetáculos, foi executada de modo a poder ser aproveitada como estrutura das paredes limítrofes dos pisos enterrados do Grande Auditório. Na fase de execução, a estabilidade da parede moldada foi garantida recorrendo a dois níveis de ancoragens provisórias sendo que, atualmente, o travamento deste elemento é garantido pelas lajes de pavimento dos diversos pisos (54).

3.3.2 Estrutura

A estrutura dos módulos é constituída, essencialmente, por elementos de betão armado (vigas, pilares, lajes e paredes estruturais), sendo que, no que respeita aos pavimentos, estes são constituídos por lajes fungiformes. Pontualmente verifica-se a existência de elementos de betão armado pré-esforçado e de estruturas metálicas, como exemplo no pavimento e na cobertura do Grande Auditório, respetivamente. As solicitações verticais são estabelecidas por: (i) peso próprio dos elementos; (ii) enchimentos em betões leves;

¹⁰ Redução da resistência mecânica devido à geração de pressões intersticiais durante a ocorrência de sismos.

(iii) terra vegetal aplicada nas zonas ajardinadas; (iv) revestimentos dos pavimentos; (v) panos interiores de alvenaria; (vi) fachadas exteriores de betão armado revestidas a pedra natural; (vii) sobrecargas de utilização. Por sua vez, as solicitações horizontais são decorrentes de fenómenos naturais como a ação do vento e atividade sísmica. As variações da temperatura média do ambiente, levando à retração dos elementos construtivos, influenciam igualmente as ações horizontais (54).

3.3.3 Materiais de construção

No que diz respeito aos materiais de construção aplicados na fase de acabamentos do CCB, apresenta-se de seguida apenas a enumeração dos materiais mais relevantes, assim como o local onde estes foram empregues (54).

- Pavimentos interiores:
 - Betonilha aplicada em áreas técnicas e de estacionamento;
 - Mosaico *klinker*¹¹ em cozinhas e arrumos;
 - Mosaicos de mármore em instalações sanitárias;
 - Pedra natural, em granito e mármore, em áreas públicas e de grande circulação;
 - Soalho em madeira nas restantes áreas de circulação;
 - Alcatifa em salas de reunião e espaços de trabalho (gabinetes e locais de apoio às reuniões).
- Tetos:
 - Painéis de gesso, em tetos falsos, dotados de alçapões para a execução e respetiva inspeção de instalações técnicas;
 - Painéis metálicos, em áreas de serviço (Sala de Gestão e Controlo; Central de Segurança; acessos e corredores destinados a trabalhos técnicos e de manutenção);
 - Tábua de carvalho, em áreas nobres (auditórios);
 - Pintura sobre betão, em áreas técnicas (salas de equipamentos de AVAC e de instalações elétricas) e de estacionamento.
- Paredes interiores:
 - Painéis de gesso, colocados sobre superfícies de alvenarias ou betão;
 - Painéis de madeira folheada, em zonas pontuais (bares, acessos e corredores utilizados pelo público);

¹¹ Tipo de ladrilho cerâmico; nomenclatura comercial.

- Azulejos, em cozinhas e instalações sanitárias;
- Pintura sobre betão ou reboco, em áreas técnicas e de estacionamento, escadas e arrumos.
- Paredes exteriores, executadas em pedra natural calcária, com a face exposta das fachadas em acabamento “rústico” e de cor predominante branca rosada. A sua fixação foi concebida por pregas de aço inoxidável, permitindo a existência de uma caixa-de-ar ventilada de 13 cm de espessura.

3.4 Instalação elétrica, iluminação e tomadas

O Centro Cultural de Belém encontra-se munido de um posto de transformação, com uma tensão de entrada de 10 kV. Consequentemente, a rede de baixa tensão é suportada por uma complexa rede de quadros elétricos, num total de 260 equipamentos, complementados por 1550 km de cabos elétricos que se encontram instalados em 60 km de calhas metálicas específicas para este fim (54).

3.4.1 Esquematização do processo de distribuição de energia elétrica

De um modo sucinto, pode caracterizar-se o sistema de distribuição pelos níveis hierárquicos (54):

- Posto de transformação, constituído por quatro transformadores que, como o próprio nome indica, permite a transformação da energia elétrica de média para baixa tensão;
- No seguinte nível, o quadro geral de baixa tensão (QGBT) consiste no local onde estão centralizados os quadros elétricos que irão distribuir a energia pelos variados serviços. No CCB, por opção do projetista, foi realizada a distribuição de equipamentos que se apresenta e atribuída a respetiva nomenclatura:
 - O transformador 2 fornece energia elétrica ao “quadro geral de distribuição”. Este equipamento é responsável pela distribuição elétrica aos três módulos, faseado pelas especialidades: (i) iluminação e tomadas; (ii) elevadores; (iii) serviços gerais (sistemas de incêndio e das bombas dos lagos (jardins); estações elevatórias de águas residuais);
 - O transformador 4 fornece energia elétrica ao “quadro geral de ar condicionado”. Este equipamento é responsável pelo funcionamento do processo de climatização, entenda-se: (i) central térmica (*chillers*); (ii) caldeiras; (iii) torres de arrefecimento; (iv) bombas de água; (v)

equipamentos de AVAC (UTA's, UTAN's, ventiladores e ventiloconvectores);

- Os transformadores 1 e 3, na condição de equipamentos de reserva, permitem em caso de necessidade permutar com um dos dois transformadores acima apresentados. A esquematização deste processo de substituição poderá ser observada na seguinte Figura 3.2.

- Após a passagem da energia elétrica pelo QGBT, esta é repartida pela complexa rede de quadros elétricos de baixa tensão até aos equipamentos finais.

Como parte integrante da instalação elétrica, existe ainda uma fonte de alimentação ininterrupta (*uninterruptible power supply – UPS*) que, em caso de necessidade, permite suportar os serviços prioritários do CCB, como são exemplo as salas de Gestão e Controlo, de Som, Central de Segurança e a iluminação de emergência, assim como todos os equipamentos que se encontrem conectados a tomadas elétricas pertencentes à rede de distribuição da *UPS*. O recurso a este equipamento ocorre de forma automática sempre que se verifica uma falha de energia elétrica por parte da entidade fornecedora, por um período sensivelmente de 30 segundos, sendo espectável que após esse tempo o gerador de emergência garanta energia suficiente para restabelecer o normal funcionamento do CCB (54).

Apresenta-se de seguida, na Figura 3.2, um fluxograma com as principais etapas inerentes ao processo de distribuição de energia elétrica implementado no CCB.

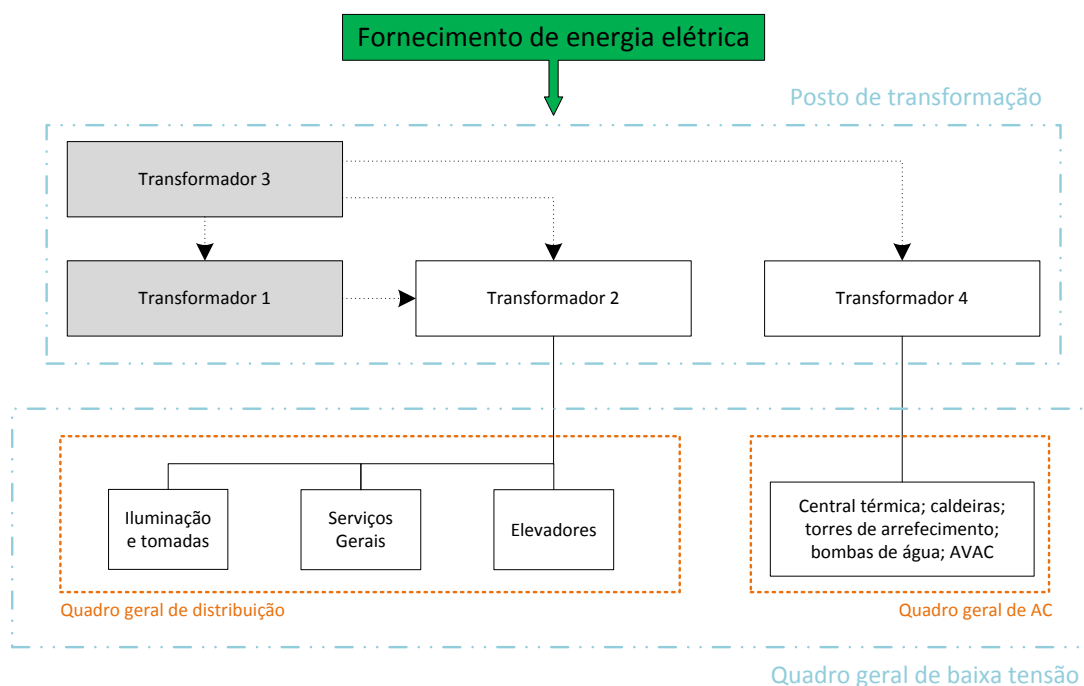


Figura 3.2 – Fluxograma do sistema fornecimento e distribuição de energia elétrica
Realizado com base em: (59)

No que diz respeito ao tipo de iluminação exterior e interior do CCB, verifica-se a existência 108 tipos distintos de luminárias (ou armaduras) num número próximo de 16000 pontos de luz (54). Relativamente à iluminação interior, apresenta-se em baixo os diversos tipos de lâmpadas instaladas, assim como a sua representatividade, em percentagem, sobre o número total de lâmpadas (60):

- Lâmpadas incandescentes de halogéneo | 48%;
- Lâmpadas fluorescentes compactas não integradas | 22%;
- Lâmpadas fluorescentes tubulares | 23%;
- Lâmpadas de descarga | 6%;
- Lâmpadas incandescentes normais | 0,5%;
- Lâmpadas de tecnologia de díodos emissores de luz (*light emitting diode – LED*) | 0,5%.

No que concerne às luminárias, estas classificam-se de acordo com o local onde se encontram instaladas, assim como o tipo de lâmpadas usadas, sendo estas (60):

- *Halls* | luminárias com lâmpadas incandescentes de halogéneo;
- Escritórios; gabinetes de tradução; salas de reunião | luminárias encastradas equipadas com lâmpadas incandescentes de halogéneo;
- Espaços técnicos e zonas de emergência | luminárias do tipo estanques equipadas com lâmpadas compactas não integradas tipo “olho-de-boi”
- Praça Centro Cultural de Belém; Caminho José Saramago; gabinetes situados no 3º piso do Módulo 2 | luminárias com lâmpadas de tecnologia *LED*.

Por fim, respeitante à iluminação exterior, esta é garantida com recurso a projetores (60).

3.5 Gestão técnica centralizada

Genericamente, a gestão técnica centralizada consiste num sistema de controlo ligado em rede baseado em microprocessadores (unidades de *Direct Digital Control - DDC*), que permite a gestão e controlo de instalações técnicas e de recursos energéticos de um imóvel. Este tipo de tecnologia presente em edifícios de serviços possibilita a conjugação de múltiplas tarefas: (i) controlar variáveis de conforto, nomeadamente a temperatura ambiente, humidade e iluminação; (ii) monitorizar equipamentos de som, sistemas de AVAC e de segurança; (iii) contabilizar consumos energéticos; (iv) centralizar toda a informação associada aos demais equipamentos enumerados, em um ou mais postos de

supervisão, com base em computadores; (v) possibilitar o armazenamento de dados em suporte informático, elaborar relatórios de registos de atividades e consumos tendo por base folhas de cálculo (através de listagens de valores ou representações gráficas) ou *software* específico de gestão centralizada disponibilizado por empresas do ramo (61); (62).

3.5.1 O sistema de GTC instalado no Centro Cultural de Belém

Implementado de raiz e em simultâneo com a construção do CCB, a gestão técnica do edifício foi garantida por um sistema de supervisão e controlo, comandado a partir de uma Sala de Gestão e Controlo, localizada no piso 1 do Centro de Reuniões. O CCB encontra-se, desde então, equipado com galerias técnicas, suportando uma complexa rede de cabos elétricos, de telecomunicações e de informática. Garante-se desta forma a existência de uma rede estruturada para apoio aos serviços internos do edifício, como a todos os eventos realizados, oferecendo condições de conforto e de utilização aos trabalhadores e visitantes do Centro (54).

O sistema de GTC do CCB, instalado pela Contimetra – Instalações Mecânicas Lda. e fornecido pela empresa norte americana *Johnson Controls*®, permite a execução das tarefas (54):

- Controlo e supervisão de:
 - produção e distribuição de água fria e de água quente, com recurso a *chillers* e caldeiras a gás natural, respetivamente;
 - unidades de tratamento de ar (UTA's), unidades de tratamento de ar novo (UTAN's), ventiloconvectores (VC's) e ventiladores (de extração e insuflação);
 - climatização de espaços;
 - posto de transformação, gerador de emergência e quadros elétricos;
 - células fotoelétricas que, de acordo com os valores estipulados nos *set-points*¹², permitem:
 - i. a ativação de luminárias, impulsionada pela circulação de utilizadores (como exemplo, as instalações sanitárias);
 - ii. o controlo do nível de iluminação interior e exterior dos espaços monitorizados;

¹² Valor que se pretende “alcançar” de acordo com os parâmetros pré-definidos no sistema de GTC para determinado equipamento.

- de bombas de esgoto;
- Vigilância da central de incêndios (em parceria com a Central de Segurança);
- Comutação de circuitos elétricos e UTA's, diretamente ou por programação horária;
- Arquivo histórico de acontecimentos.

O objetivo deste sistema traduz-se essencialmente por supervisionar e controlar todos os sistemas funcionais acima enumerados e que fazem parte integrante da instalação existente nos três módulos, recorrendo a diferentes níveis independentes de automatização. A interligação destes sistemas, ao serem centralmente controlados, permite ainda assegurar à equipa de Gestão e Controlo do CCB uma estratégia de economia no funcionamento de recursos energéticos, como será abordado no decorrer desta dissertação. O *software* possibilita ainda o controlo remoto, via internet, o que se verifica ser uma mais-valia uma vez que a Sala de Gestão e Controlo apenas tem operadores a tempo parcial (dias úteis, das 09h às 18h).

3.5.2 Esquematização do sistema de GTC do Centro Cultural de Belém

O sistema de GTC caracteriza-se pelos seguintes níveis hierárquicos:

- (i) Estação de trabalho global (*global workstation – GWS*), computador que permite realizar o controlo e supervisão de todo o edifício, assim como a interface entre o sistema implementado de origem que se encontra atualmente em fase de remodelação (*SDC*), e um sistema (*OWS*) mais recente que irá substituir na totalidade o original. Esta comunicação entre equipamentos é assegurada por cabos de rede, conectados a um *Ethernet HUB*;
- (ii) Estação de trabalho local (*operator workstation – OWS*), num total de três computadores, e uma estação de controlo digital (*smart digital control – SDC*). Estes equipamentos permitem controlar as subestações afetas a cada um dos três módulos, que se distribuem da seguinte forma:
 - Oito subestações no Módulo 1: cinco designadas por unidades de processamento remoto (*UPR*), que proveem do sistema original implementado, e três designadas por módulo de controlo de rede (*network control model – NCM*), que correspondem a novas subestações que substituíram anteriores unidades *UPR*;

- Oito e dez subestações *NCM*, presentes no Módulo 2 e 3, respetivamente.
- (iii) As subestações acima mencionadas, após devida programação, permitem controlar os periféricos a que estão associados, já listados no subcapítulo anterior, num total de 500 equipamentos.

Apresenta-se na Figura 3.3 um fluxograma com os principais níveis inerentes ao processo de gestão técnica centralizada implementado no CCB.

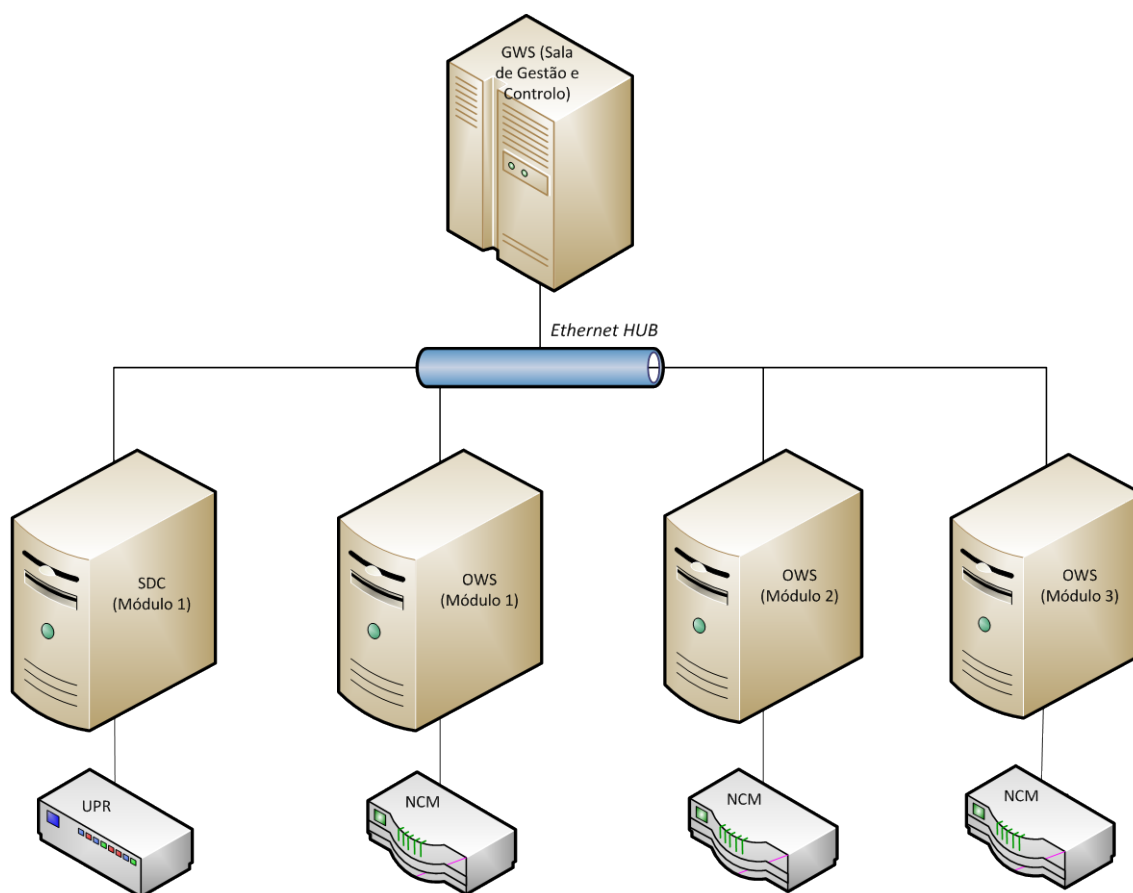


Figura 3.3 – Fluxograma do sistema de gestão centralizada

Realizado com base em: (63)

No período compreendido entre 1992 e 1994, embora o sistema de GTC já se encontrasse instalado como anteriormente referido, houve necessidade de gerir o edifício manualmente. Tal situação deveu-se ao facto de se terem realizado inúmeras intervenções, durante este intervalo de tempo, com o intuito de regular os equipamentos instalados e o sistema informático centralizado à utilização e funcionamento pretendidos. Este ajuste traduziu-se numa redução de consumos em AVAC de cerca de 50% que, face à unidade monetária em vigor à data em Portugal (o Escudo), correspondeu a uma poupança anual de 54000000

escudos (não contabilizando as respetivas depreciações/valorizações monetárias, corresponderia atualmente a 270000€/ano) (64).

3.6 Climatização

O sistema de climatização e ventilação presente no CCB, que faculta a obtenção e circulação de ar frio e de ar quente, poder-se-á caracterizar por duas distintas fases, a fase inicial de produção e, posteriormente, de distribuição (subcapítulo 3.6.3) até ao utilizador final (subcapítulo 3.6.4). À fase de produção estão associados diferentes processos e equipamentos para obter ar frio e ar quente, descritos nos subcapítulos 3.6.1 e 3.6.2, respetivamente, como de seguida se apresenta (65).

3.6.1 Produção de água fria

A produção de água fria é assegurada por três¹³ grupos produtores de água fria, também designados de *chillers*. Estes equipamentos, com uma potência frigorífica total de 3150 kW¹³ e representados na Figura 3.4, permitem a refrigeração da água até à temperatura de 7°C, com recurso a gás comprimido¹⁴ (66); (54).



Figura 3.4 – Grupo produtor de água fria (Carrier® - 30HTY370)

Deve-se ter em consideração que o valor da temperatura poderá ser reajustado consoante as necessidades dos utilizadores finais. É ainda possível, consoante as referidas necessidades,

¹³ No CCB estão instalados quatro *chillers*, encontrando-se um dos equipamentos inoperacional.

¹⁴ Líquido de refrigeração R22 ou clorodifluormetano, de acordo com a designação comercial ou química, respetivamente.

ajustar os *set-points* dos *chillers* com valores distintos entre si. Devido ao processo de compressão do gás, que se realiza em condensadores, estes equipamentos atingem elevadas temperaturas, cerca de 70°C, pelo que a cada grupo de produção de água fria está associado uma torre de arrefecimento, num total de três equipamentos (65), como representado na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Torre de arrefecimento (Baltimore® VTL-245P)

Cada torre, que funciona em simultâneo com o respetivo *chiller*, tem como objetivo arrefecer a água que circula no interior dos condensadores, com o fim de diminuir a temperatura do processo acima descrito, num procedimento cíclico, em que a água circula entre os dois equipamentos por coletores metálicos específicos para o efeito, com recurso a eletrobombas (três bombas funcionam com a respetiva torre, existindo dois equipamentos de reserva). Após o processo de compressão, o gás é direcionado aos compressores que, por sua vez, irão refrigerar a água que irá ser utilizada pelos utilizadores finais, como se poderá observar na Figura 3.6. Como anteriormente referido, também a água refrigerada é submetida a um procedimento cíclico entre os *chillers* e os utilizadores finais (este procedimento é assegurado por três eletrobombas que funcionam com o respetivo *chiller*, existindo dois equipamentos de reserva).

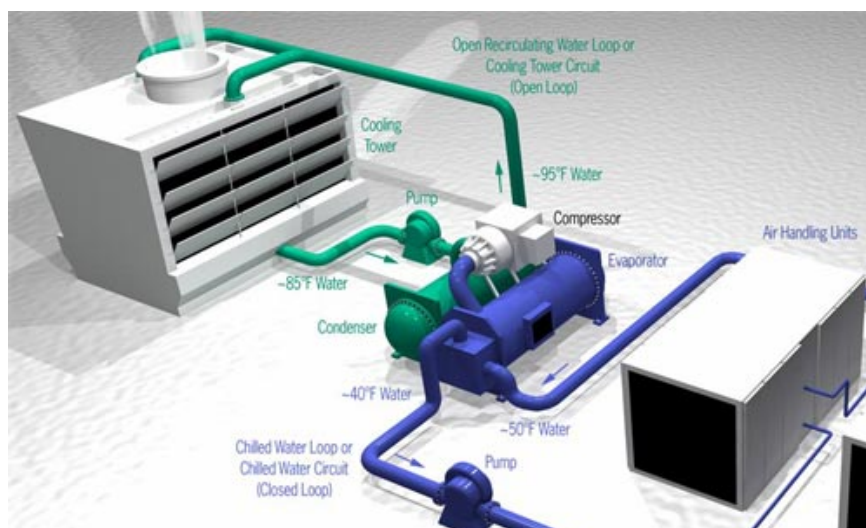


Figura 3.6 – Esquema ilustrativo do processo de refrigeração de água

Fonte: (67)

Nota: os valores das temperaturas presentes na Figura 3.6 são meramente indicativos de um processo de refrigeração de água, não correspondendo à realidade verificada no CCB.

3.6.2 Produção de água quente

Relativamente à produção de água quente, este processo é garantido com recurso a caldeiras (com uma potencia calorífica total de 3480 kW (54)) e permutadores, num sistema composto por três equipamentos de cada tipo, como se pode observar na Figura 3.7 e Figura 3.8. (65) Recorrendo a gás natural para aquecimento da água, esta é conduzida por coletores metálicos impulsionada por eletrobombas, entre as caldeiras e os permutadores, e vice-versa.



Figura 3.7 – Caldeira (Unical® - TZAR1000)



Figura 3.8 – Permutador ("Marca branca")

Os permutadores, como representado na Figura 3.9, permitem o aquecimento da água até 70°C (54), por permutação, entre o líquido que circula nas tubagens de menor dimensão e a água aquecida pela caldeira, que escoar no compartimento de maior volume do permutador.

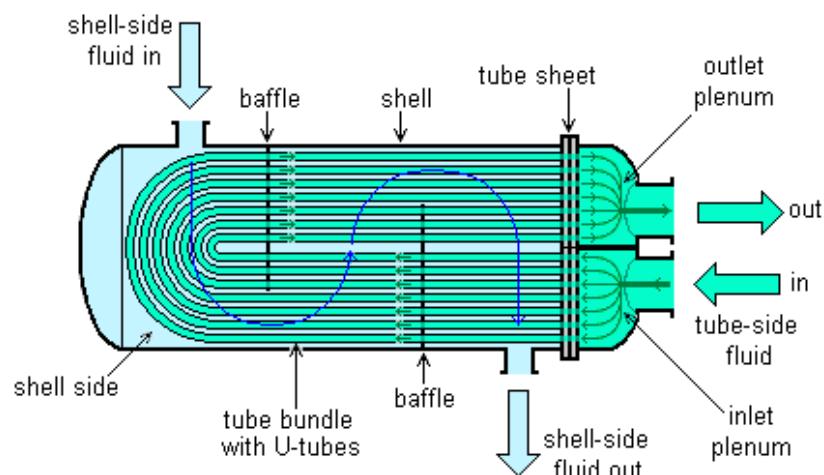


Figura 3.9 – Esquema ilustrativo do processo de permutação

Fonte: (68)

De um modo simples, poder-se-á caracterizar este processo como um sistema de “*banho-maria*”. À semelhança do processo de produção de água fria, o valor da temperatura poderá ser reajustado consoante as necessidades dos utilizadores finais, referindo-se ainda que no arranque diário das caldeiras, estes equipamentos iniciam o aquecimento da água em simultâneo, sendo que posteriormente o seu funcionamento (em simultâneo ou alternado) será de acordo com o *set-point* definido.

3.6.3 Distribuição

A fase de distribuição, que se subdivide em dois circuitos, consiste no processo em que água, quente ou fria, circulando em coletores metálicos e impulsionada por eletrobombas, é distribuída do modo apresentado: (65)

- Circuito de distribuição primária, em que a água é conduzida desde o local de produção anteriormente descrito até aos distintos módulos. Os coletores que conduzem a água entre os condensadores e torres de arrefecimento, caldeiras e permutadores, são parte integrante deste circuito;
- Circuito de distribuição secundária em que, posteriormente à entrada do líquido no respetivo módulo, se verifica a repartição da água pelos diversos equipamentos, ou seja, pelos utilizadores finais.
- Após a utilização da água pelos utilizadores finais, esta é conduzida a depósitos de acumulação, através do circuito secundário de retorno, totalizando três equipamentos: um depósito para a água fria e dois depósitos para a água quente. Cabe também a este circuito proceder à condução da água, fria e quente, de

novo até aos *chillers* e permutadores, respetivamente, de modo a dar continuidade ao processo de climatização.

Em ambos os processos de produção acima descritos, dependendo do número de utilizadores finais ligados em simultâneo, assim como das necessidades de arrefecimento ou aquecimento *in situ*, é possível desligar os *chillers* ou as caldeiras, respetivamente, traduzindo-se estas medidas na diminuição do consumo energético e utilizar a água armazenada por um período de aproximadamente uma hora, recorrendo-se unicamente às eletrobombas, de modo a possibilitar a circulação a água.

3.6.4 Difusão – Utilizador final

São designados por utilizadores finais, os equipamentos integrados na complexa rede de distribuição e controlo de ar tratado, sendo esta constituída por: (i) 55 UTA's; (ii) 240 ventiloconvectores; (iii) 230 ventiladores. Para uma eficiente monitorização e controlo do sistema de AVAC, o Centro Cultural de Belém encontra-se ainda munido de mais de 700 sensores de temperatura, humidade e pressão (54).

O equipamento de AVAC instalado em cada espaço está diretamente relacionado com o local onde este se encontra, isto é, de acordo com a área que se pretende climatizar. Posto isto, foram implementados ventiloconvectores nos gabinetes administrativos, assim como em salas de área semelhante. Os ventiloconvectores, sendo unidades terminais, têm a possibilidade de proceder à climatização do ar localmente (69). Dependendo do número de pessoas presente nestas salas, assim como do número de horas de utilização, a qualidade do ar destes espaços poderá diminuir, transformando-se, como é comumente designado, em “ar viciado”. Este ar é assim chamado quando aumenta a sua percentagem de dióxido de carbono, CO₂, proveniente do processo respiratório humano. De modo a restabelecer a qualidade do ar é possível, recorrendo a sensores instalados nos locais a climatizar para determinar o nível de CO₂, insuflar ar novo proveniente das UTAN's, como indicado neste subcapítulo, na Figura 3.13.

Nos espaços de maiores dimensões, como exemplo as salas de exposição, *foyers* e auditórios, a climatização é efetuada recorrendo às unidades de tratamento de ar e aos respetivos ventiladores instalados nestes equipamentos. As UTA's têm como principal objetivo garantir a qualidade do ar *in situ*, assim como reduzir a carga térmica do local para que a temperatura e a humidade se mantenham nos valores desejados, permitindo desta forma obter as condições ambientais de conforto pretendidas para determinado espaço. Tal

é possível através da realização de determinados processos que, de uma forma sucinta, se podem traduzir em: (i) insuflação e extração de ar; (ii) aquecimento ou arrefecimento do ar; (iii) admissão de ar novo; (iv) mistura de caudais de ar novo e de ar recirculado. De modo resumido, a instalação de unidades de tratamento de ar encontra-se esquematizada de seguida Figura 3.10 (70):

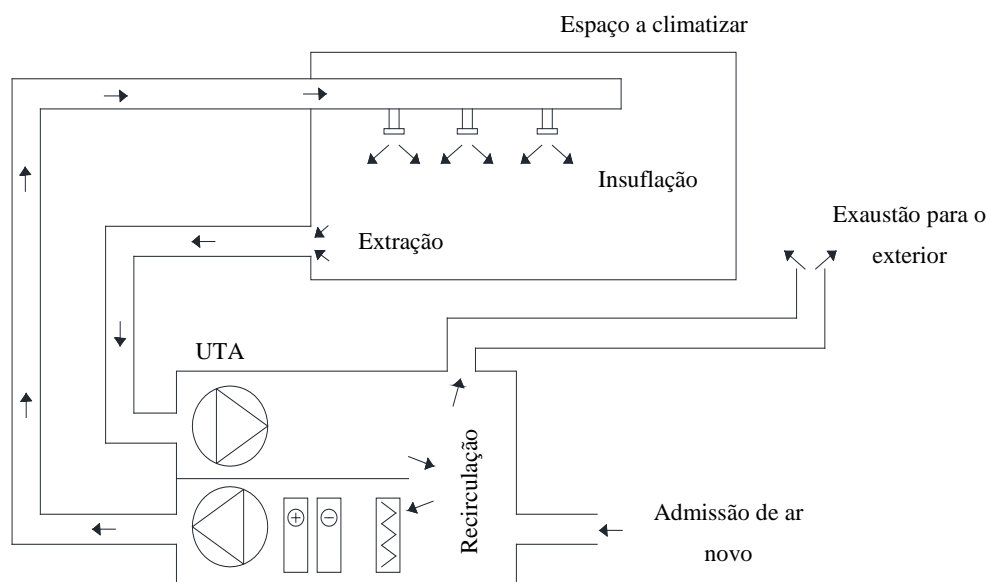


Figura 3.10 – Esquema ilustrativo do processo de climatização com recurso a UTA's

Realizado com base em: (70)

Mediante a necessidade de climatização, as UTA's, no Centro Cultural de Belém, poderão ser programadas de três modos distintos, como se descreve de seguida tendo por base o esquema da Figura 3.11. Apresenta-se ainda a legenda dos componentes do diagrama referido, sendo esta também transversal aos esquemas das Figura 3.12 e Figura 3.13 (71).

- Atuador de registo de ar “M3” e “M1” fechados e o registo “M2” aberto: permite unicamente a utilização do ar recirculado; o ar extraído do espaço a climatizar é tratado pela UTA, retornando ao mesmo local;
- Atuador de registo de ar “M2” fechado e os registos “M1” e “M3” abertos: o ar extraído no espaço a climatizar é conduzido diretamente para o exterior. É admitido ar novo proveniente do exterior que, após ser tratado, é insuflado até ao espaço a climatizar;
- Atuadores de registos parcialmente abertos: neste caso verifica-se a mistura de caudais de ar recirculado com ar novo. Uma percentagem do ar extraído do local é expulso para o exterior, sendo que é admitido uma quantidade de ar novo equivalente. Como tal, o restante ar necessário para a climatização é

proveniente da recirculação. Como exemplo, se o atuador de registo “M3” (ar conduzido para o exterior) estiver com uma percentagem de abertura de 70%, o atuador “M1” (ar novo) terá de funcionar com uma abertura idêntica, sendo que, por sua vez, o atuador “M2” (ar recirculado) funcionará a com uma percentagem de abertura de 30%.

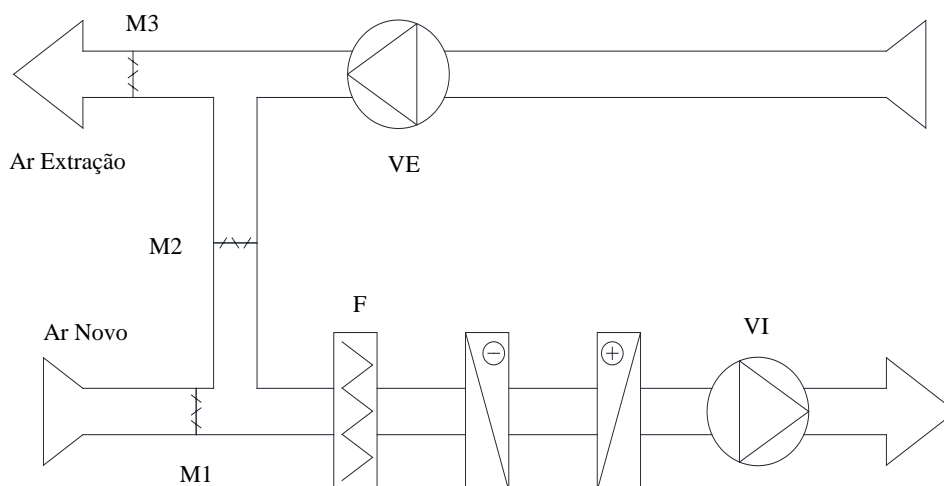


Figura 3.11 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTA

Realizado com base em: (71)

Legenda:

- “Ar extração”: conduta de extração de ar para o exterior;
- “Ar novo”: conduta de admissão de ar novo proveniente do exterior;
- “M1”, “M2” e “M3”: atuador de registo de ar (permite a regulação do caudal de ar novo admitido);
- “F”: Filtro de ar;
- “VE”: ventilador que permite a extração do ar proveniente do local a climatizar;
- “VI”: ventilador que permite a insuflação do ar para o local a climatizar;
- “-”: conduta de admissão de água fria, caso se verifique a necessidade de obter ar frio (processo descrito anteriormente no subcapítulo 3.6.1);
- “+”: conduta de admissão de água quente, caso se verifique a necessidade de obter ar quente (processo descrito anteriormente no subcapítulo 3.6.2);

Devido ao volume de caudal de ar necessário à climatização do Centro de Exposições, diretamente proporcional às suas elevadas dimensões, este espaço encontra-se servido por uma unidade onde está acoplado mais um ventilador que nas demais unidades, como se

pode verificar na Figura 3.12. Este ventilador, colocado no início da conduta de entrada de ar novo, permite a admissão de maior volume de ar proveniente do exterior.

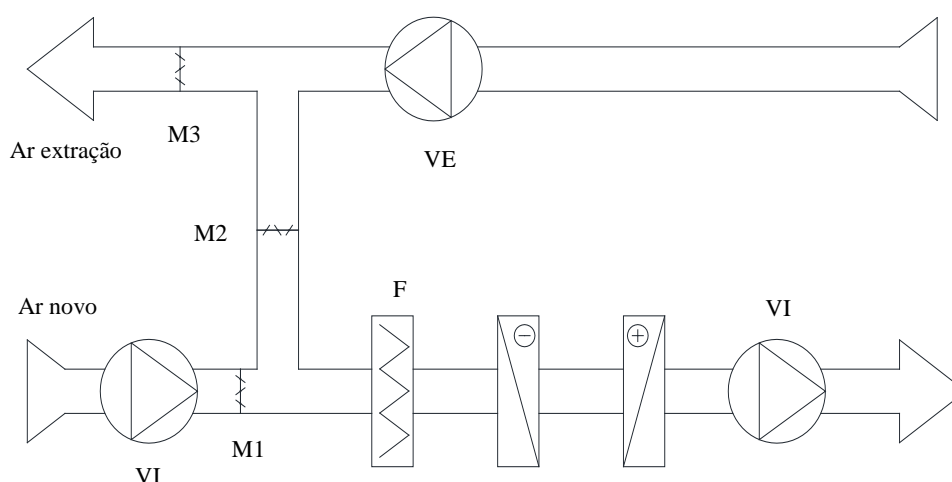


Figura 3.12 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTA (Módulo 3)

Realizado com base em: (71)

Por seu turno, as UTAN's, por consistirem em unidades que utilizam 100% do ar exterior, não recorrem a qualquer ar recirculado proveniente do interior dos espaços climatizados, como se poderá observar na Figura 3.13.

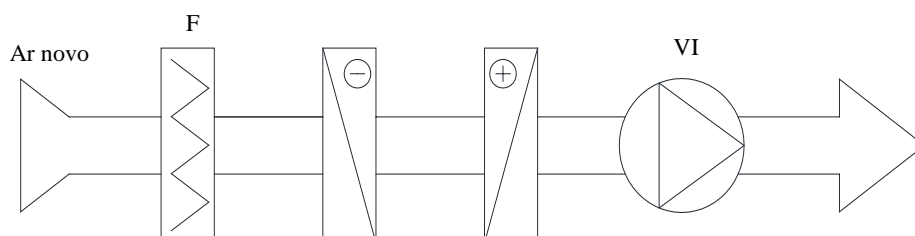


Figura 3.13 – Esquema ilustrativo do interior de uma UTAN

Realizado com base em: (71)

Em ambas as situações acima apresentadas, para a climatização de zonas munidas de ventiloconvectores ou UTA's, e no caso de as condições climatéricas exteriores “coincidirem” com necessidades dos utilizadores, a climatização do CCB poderá ser efetuada com recurso a *free cooling* ou, em português, arrefecimento direto, sempre que a diferença de temperatura entre o exterior e o espaço a climatizar proporcione essa possibilidade.

O Centro Cultural de Belém está ainda munido de um conjunto de ventiladores cuja função é unicamente a ventilação dos espaços. De acordo com o local onde estes equipamentos se encontram instalados, assim como a função a desempenhar, estes classificam-se por (72):

- Ventiladores de insuflação, designados por VIS, que funcionam mediante a deteção de incêndio, complementando os sistemas de desenfumagem e rede de *sprinklers*¹⁵ (73);
- Ventiladores de extração, sendo que a sua designação está associada ao local onde se encontram alojados:
 - VEW – instalações sanitárias;
 - VEP – parques de estacionamento;
 - VEG – serviços gerais (circulações/*foyers*; galerias de exposição; salas de espetáculos; serviços técnicos; restauração; gabinetes).

3.6.5 Tratamento da água

Pelo facto do processo de produção implementado funcionar num sistema de circuito aberto, verifica-se a necessidade de descrever sucintamente o sistema de tratamento de água. Devido à perda de água por evaporação nas torres de arrefecimento, torna-se necessário repor estes níveis, sendo que a água adicionada ao circuito deverá ser atempadamente submetida aos processos indicados e pela ordem apresentada: (65)

- Descalcificação (remoção dos iões de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) responsáveis pela formação de calcário);
- Salmoura (eliminação das bactérias de legionella);
- Inibidor de corrosão/incrustação (proteção e conservação dos equipamentos/tubagens/coletores metálicos);
- Biocida (controlo de substâncias orgânicas e micro-organismos).

Na restante instalação adjacente ao processo de distribuição, encontram-se ainda embutidos três sistemas de reposição de água tratada, caso seja necessário proceder a trabalhos de manutenção no sistema. (65)

3.6.6 Esquematização do processo de climatização

Apresenta-se na Figura 3.14 um fluxograma com as principais etapas inerentes ao processo de climatização implementado no CCB.

¹⁵ Sistemas fixos de extinção automática de incêndios por água através de aspersores.

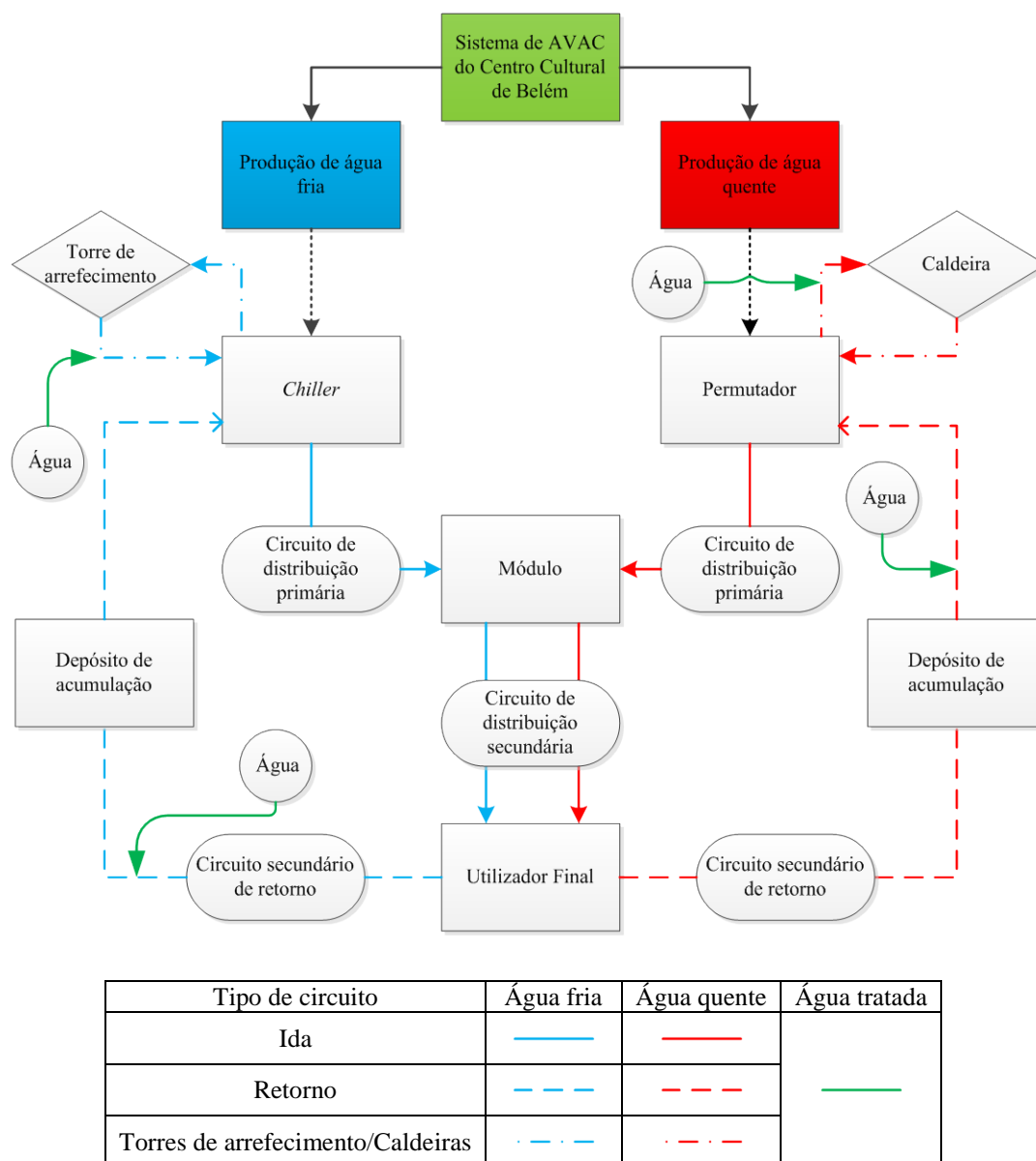


Figura 3.14 – Fluxograma do sistema de climatização

Realizado com base em: (65)

Com o intuito de clarificar a complexidade do processo de climatização, assim como a distribuição dos diversos equipamentos pelos módulos, de seguida apresenta-se o local onde os referidos equipamentos se encontram instalados:

- *Chillers* – Módulo 1 | Central Térmica (Piso -1);
- Torres de arrefecimento – Módulo 1 | Cobertura;
- Depósito de acumulação de água fria – Módulo 1 | Central Térmica (Piso -1);
- Caldeiras – Módulo 1 | Cobertura;
- Permutadores – Módulo 1 | Central Térmica (Piso -1);
- Depósito de acumulação de água quente – Módulo 1 | Piso -1.

3.7 Outras infraestruturas técnicas

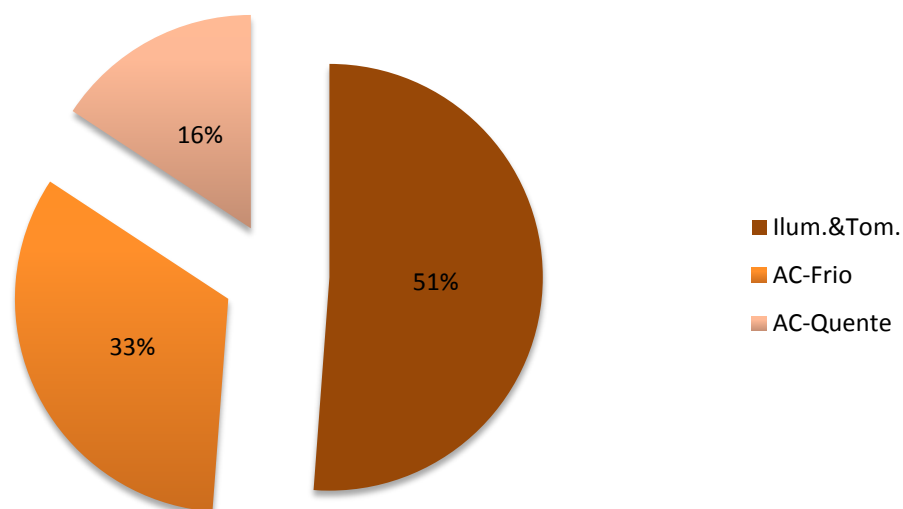
Dada a elevada complexidade do empreendimento, o Centro Cultural de Belém encontra-se dotado de uma vasta instalação de infraestruturas técnicas, permitindo desta forma a funcionalidade e segurança do espaço nas melhores condições possíveis, apresentando-se estas de seguida, de forma sucinta (54):

- Rede de esgotos e respetivas ligações às redes exteriores do município, abrangendo as redes interiores das águas residuais domésticas e pluviais instaladas nas cozinhas, sanitários e terraços, respetivamente;
- Rede de água, compreendendo a rede de água quente e fria instaladas no interior do edifício, assim como as redes exteriores para abastecimento dos sistemas de rega das zonas providas de jardins;
- Rede de extinção de incêndio, em que os tipos de equipamento, assim como a sua localização, estão diretamente relacionados com o risco de incêndio associado a determinada área. Deste modo, o edifício está contemplado com uma rede de *sprinklers* distribuída pelos parques de estacionamento, Pequeno e Grande Auditório, camarins, oficinas de apoio ao Centro de Exposições e em zonas técnicas específicas (Sala de Gestão e Controlo; Central de Segurança). Esta rede, assim como a dos carretéis instalados em todos os pisos dos módulos, é alimentada por uma central equipada com as respetivas bombas que permitem garantir a pressão e fornecimento de água ao sistema. Complementando a instalação já descrita, o CCB encontra-se ainda munido de 4 tanques de água de reserva para combate a incêndios, localizados no piso -1 do Módulo 1, com uma capacidade total de 270 m³ (74).
- Elevadores, concebidos para transporte de pessoas e cargas, estando estes dispostos em:
 - 13 elevadores hidráulicos, permitindo a circulação vertical, com capacidade compreendida entre 8 e 11 pessoas;
 - um elevador mecânico, localizado no Grande Auditório, possibilitando a deslocação de 2500 kg de carga;
 - um monta-pratos, localizado na cafetaria do Módulo 3, com capacidade de 50 Kg;
 - duas plataformas hidráulicas e dois monta-cargas no Módulo 2;
 - uma plataforma no grande *hall* de exposições, no Módulo 3;

- cinco plataformas de transporte de pessoas com mobilidade reduzida: duas destas situadas na Galeria 4; as restantes encontram-se distribuídas nas bilheteiras, parque de estacionamento e, a última, partilhada entre a rua de acesso à Praça CCB e Galeria Garagem Sul.
- Sistema de segurança, instalado na Central de Segurança, dotado de instalações de: (i) deteção e extinção de incêndio (anteriormente descrito no terceiro ponto da página anterior); (ii) controlo de acessos; (iii) intrusão; (iv) vigilância com recurso a um circuito fechado de vídeo; (v) deteção de monóxido de carbono.
- Sistema de audiovisuais, sendo possível a sua adaptação de acordo com o evento que se pretenda realizar. Este sistema apresenta uma maior evidência nas salas concebidas para conferências, sendo estas dotadas de sonorização própria, captação, gravação e projeção de imagem de vídeo e cabines de tradução simultânea. Também nos espaços do Pequeno e Grande Auditório este sistema está implementado com sonorização própria presente no anfiteatro da sala de espetáculos, nos palcos e nas salas de ensaio.

3.8 Consumo global

De acordo com os registos fornecidos pelo CCB e os objetivos definidos para esta dissertação, optou-se por analisar um período de seis anos, compreendido entre janeiro de 2007 e dezembro de 2012. Na contabilização que se apresenta no decorrer dos seguintes capítulos foram considerados apenas os sistemas consumidores no que ao consumo energético diz respeito, entenda-se: (i) iluminação e tomadas (*Ilum.&Tom.*); (ii) climatização. Tendo por base o raciocínio seguido no subcapítulo 3.6, os consumos da climatização foram desagregados em “ar condicionado frio” (*AC-Frio*) e “ar condicionado quente” (*AC-Quente*), para as necessidades de arrefecimento e aquecimento, respetivamente, apresentando-se no gráfico da Figura 3.15 a relação, em percentagem, destes três sistemas no período 2007-2012. Os cálculos efetuados encontram-se presentes no Anexo A.

Desagregação de consumos por sistemas consumidores**Figura 3.15 – Desagregação de consumos por sistemas consumidores**

Para que fosse possível contabilizar o gás natural usado nas caldeiras (subcapítulo 3.6.2), recorreu-se à conversão de unidades de m^3 para kWh. Este “fator de conversão” é determinado mensalmente pela empresa fornecedora de gás, de acordo com o poder calorífico superior, PCS, sendo posteriormente realizada a contabilização em kWh por parte do CCB, através da fórmula:

$$kWh = PCS * m^3$$

Com o intuito de expressar os consumos globais distribuídos pelos anos analisados e pelos três módulos, apresentam-se os gráficos da Figura 3.16 e Figura 3.17, respetivamente (Anexo A).

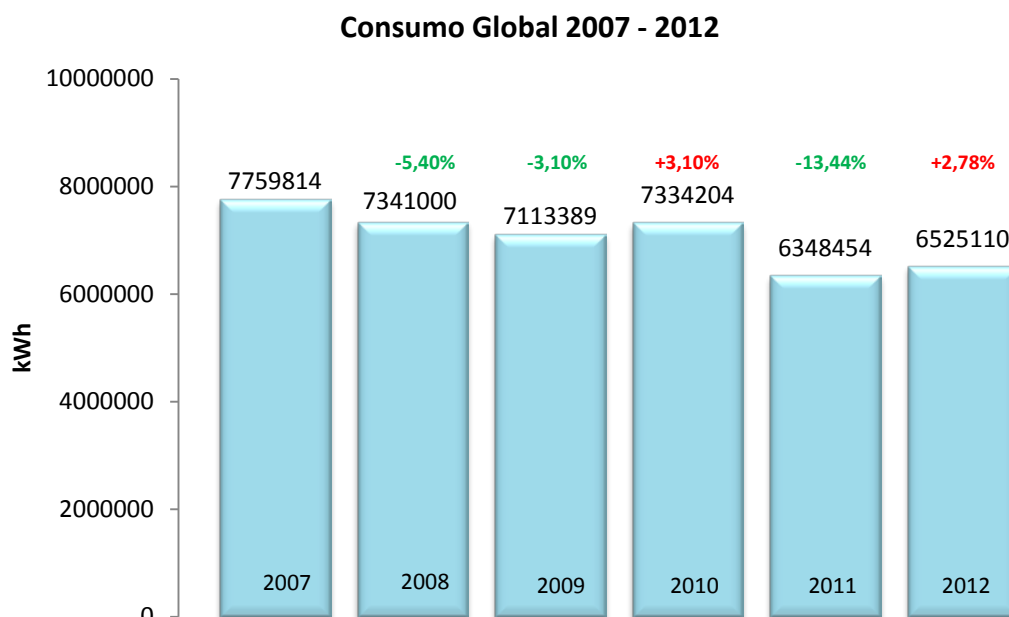


Figura 3.16 - Consumo global distribuído anualmente

No gráfico da Figura 3.16 foi ainda apresentado a diferença de consumo, em percentagem, relativamente ao ano precedente. Observa-se no gráfico da Figura 3.17 que o Centro de Exposições (Módulo 3) foi o edifício em que se verificou, em média, os consumos mais elevados, seguido do Centro de Reuniões (Módulo 1) e, por fim, com menor consumo médio o Centro de Espetáculos (Módulo 2).

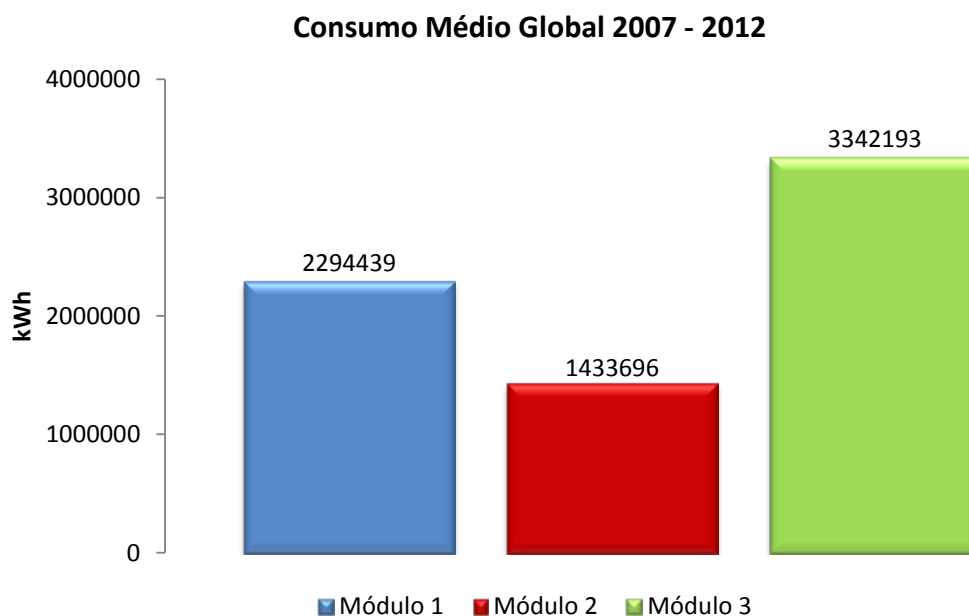


Figura 3.17 – Consumo médio global distribuído por módulos

3.9 Custos estimados de exploração

Os custos apresentados na Tabela 3.1 correspondem a estimativas de exploração tendo em conta os consumos indicados anteriormente no subcapítulo 3.8. De referir que os valores calculados, para além de serem estimativas, numa situação real não são na totalidade suportados pelo CCB. O Centro Cultural de Belém, devido à sua elevada versatilidade, possibilita a realização de inúmeros eventos culturais e comerciais temporários a entidades externas, verificando-se ainda a existência dos espaços concessionados (de carácter permanente) e a FAMC-CB no Módulo 3. Como se poderá depreender, cabe ao CCB mensalmente proceder à imputação de custos a quem de direito de tais atividades/espacos. Para este cálculo foram considerados valores de referência de mercado: (i) 0,12 €/kWh, para o fornecimento de energia elétrica; (ii) 0,054 €/kWh para o fornecimento de gás natural. Para o custo da energia elétrica, uma vez mais, foi adotada uma análise simples visto que na realidade o preço do kWh está dependente do horário em que a eletricidade é consumida. Este horário divide-se pelos períodos de verão e inverno, de acordo com a hora legal definida em Portugal. Por sua vez os meses seguem uma hierarquia semanal e diária, em que os dias são divididos em horas de ponta, cheia, vazio e supervazio, como apresentado no Anexo B. Na Tabela 3.1 é ainda apresentado a diferença de custo estimado, em percentagem, relativamente ao ano precedente (Anexo A).

Tabela 3.1 – Estimativa de custos de exploração

	Gás natural	%	Eletricidade	%	Total	%
2007	71202,66 €		772949,50 €		844152,16 €	
2008	59666,27 €	-16,20%	748328,24 €	-3,19%	807994,70 €	-4,28%
2009	53129,37 €	-10,96%	735541,37 €	-1,71%	788670,86 €	-2,39%
2010	64495,69 €	+21,39%	736780,69 €	+0,17%	801276,59 €	+1,60%
2011	49873,68 €	-22,67%	650984,09 €	-11,64%	700858,11 €	-12,53%
2012	60886,98 €	+22,08%	647708,83 €	-0,50%	708596,04 €	+1,10%

4 Caracterização do desempenho energético

Para uma eficiente caracterização do desempenho energético do Centro Cultural de Belém, foi tido em consideração o Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior. Este certificado, presente no Anexo C e emitido a 28 de julho de 2010, “*resulta de uma verificação efetuada ao edifício (...) em relação aos requisitos previstos no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE, Decreto-Lei 79/2006 de 4 de abril), classificando o imóvel em relação ao respetivo desempenho energético*” (75). A certificação energética permite atribuir aos edifícios certificados uma classe de desempenho energético que, de acordo com a legislação em vigor à data da elaboração desta dissertação, se traduz na Figura 4.1:



Figura 4.1 – Etiqueta de desempenho energético

Fonte: (76)

No que concerne à validade do Certificado de Desempenho Energético para edifícios sujeitos ao RSECE, esta é de seis anos. Relativamente ao Certificado da Qualidade do Ar Interior, terá de ser renovado de três em três anos (77).

O valor do indicador de eficiência energética nominal (IEEnom) calculado por simulação¹⁶, cujo valor obtido consiste em 29,9 kgep/m².ano, traduz o consumo nominal específico do CCB, ou seja, a “*energia necessária para o funcionamento do edifício durante um ano tipo, sob padrões nominais de funcionamento e por unidade de área, de*

¹⁶ Em Portugal, a simulação é efetuada recorrendo ao *software EnergyPlus*®.

forma a permitir comparações objetivas entre diferentes imóveis” (75). Recorrendo a outra nomenclatura, pode-se mencionar que o Centro Cultural de Belém para um funcionamento regular necessita de 29,9 quilogramas equivalentes de petróleo, por metro quadrado. Tal comparação realiza-se entre o valor do indicador de eficiência energética de referência (IEEref, limite inferior da classe B- para edifícios novos), que se encontra definido no RSECE, e o IEE_{nom}. No entanto, considerando que o Centro Cultural de Belém consiste num conjunto de edifícios com mais de uma tipologia de atividade, o IEEref corresponde a um valor ponderado de acordo com as áreas afetadas a cada tipologia. Posto isto, foi definido que o valor ponderado do IEEref seria de 23,2 kgep/m².ano (75). De modo a ser possível a determinação da classe de desempenho energético, para além dos indicadores acima apresentados, recorre-se ainda ao uso do parâmetro “S”, sendo que este corresponde à soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação, e que se encontram expressos na Tabela 4.1 (78). Os cálculos efetuados encontram-se presentes no Anexo D.

Tabela 4.1 - Consumos específicos para determinação do parâmetro "S"

Área Útil (m²)	Sistema consumidor	kgep	"S" Parcial (kgep/m²)
75344,00	Aquecimento	76649,10	1,017
	Arrefecimento	54857,81	0,728
	Iluminação	493844,44	6,555
		"S" Total	8,300

Comparando com o valor acima apresentado do IEE_{nom}, tendo ainda em consideração o enquadramento com a escala predefinida e aplicável a todos os edifícios de serviços de tipologia similar, como apresentado na Figura 4.2, conclui-se assim que o CCB se integra num edifício com classe de desempenho energético do tipo D (75). Os cálculos realizados para o enquadramento dos indicadores encontram-se expressos na Tabela 4.2 (Anexo D).

Classe de desempenho energético	IEE_{nom} (kgep/m ² .ano)
A +	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$
A	$IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$
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	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,50.S$
D	$IEE_{ref} + 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,50.S$
F	$IEE_{ref} + 1,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$
G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

Figura 4.2 – Determinação da classe de desempenho energético para edifícios de serviços

Fonte: (79)

Tabela 4.2 - Enquadramento matemático de indicadores

Classe de desempenho energético	Enquadramento matemático (kgep/m ²)				"Verifica" / "Não verifica"	
A +	29,90	≤	16,98			
A	16,98	<	29,90	≤	19,05	
B	19,05	<	29,90	≤	21,13	
B -	21,13	<	29,90	≤	23,20	
C	23,20	<	29,90	≤	27,35	
D	27,35	<	29,90	≤	31,50	
E	31,50	<	29,90	≤	35,65	
F	35,65	<	29,90	≤	39,80	
G	39,80	<	29,90			

Como anteriormente mencionado ⁽¹⁶⁾ o *software EnergyPlus®* é o programa de simulação em uso em Portugal. À data de início da presente dissertação este *software* era baseado nos regulamentos RCCTE e RSECE, pelo que se optou por elaborar este trabalho de acordo com os mesmos. Com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, 20 de agosto de 2013, foi assegurado a transposição dos citados documentos para o novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). No seguimento do RECS, foram publicadas Portarias com o intuito de definir a metodologia que possibilitem a sua aplicabilidade:

- Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro; define as competências da entidade gestora (ADENE) do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) (80);

- Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro; define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético, bem como os requisitos de comportamento térmico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção (81);
- Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro; define os elementos que deverão constar nos procedimentos de licenciamento (82);
- Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro; define os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço (83);

Encontra-se ainda em fase de execução a Diretiva que irá possibilitar a transposição da Diretiva 2012/27/UE, relativa à eficiência energética.

A elaboração do certificado referente ao CCB baseou-se no desempenho energético dos sistemas de climatização e de iluminação, já descritos nos subcapítulos 3.6 e 3.4, respetivamente. No entanto, a arquitetura do Complexo e os materiais de construção aplicados no Centro Cultural de Belém, assim como o processo construtivo, representaram também um papel preponderante para a caracterização energética. No que diz respeito às pontes térmicas lineares (ligação de dois elementos construtivos exteriores (84)) considerou-se uma simplificação das mesmas, utilizando um agravamento no consumo anual de aquecimento em 5% das diversas zonas climatizadas. Por seu turno, as pontes térmicas planas (heterogeneidade entre a envolvente e elementos construtivos como pilares, vigas e caixas de estore (84)) não foram consideradas (85).

Relativamente aos materiais que caracterizam a envolvente do edifício, foram classificados segundo os seguintes elementos construtivos: (i) paredes; (ii) coberturas; (iii) pavimentos; (iv) vãos envidraçados, apresentando-se de seguida uma descrição sucinta destes. Os respetivos pormenores construtivos das soluções adotadas encontram-se no Anexo E (86).

No decorrer deste subcapítulo será utilizado com alguma frequência a expressão “*layer genérico*”, nomenclatura concebida pelo Perito Qualificado (PQ) que elaborou o certificado do CCB. Quando se trata de construção edificada e a recolha de informação que o PQ efetua “em campo” não é suficientemente esclarecedora para refletir a realidade construída, terão de ser adotados valores ponderados para a elaboração do certificado tendo em conta a realidade em que se enquadra o restante edifício. Como tal “*layer genérico*” consistiu na designação atribuída pelo PQ para determinado elemento construtivo que não conseguiu caracterizar com maior rigor. Apenas a título complementar da justificação

anterior, a ADENE – Agência para a Energia – elaborou notas técnicas constituídas por regras e simplificações para determinação do coeficiente de transmissão térmica (U). Nesses documentos específicos para edifícios existentes, “na ausência de melhor informação para determinado índice ou parâmetro necessário ao cálculo, poderá o PQ recorrer a valores de referência, devidamente reconhecidos pelo SCE e divulgados pela ADENE no seu sítio na internet (www.adene.pt). De entre as fontes disponíveis para este efeito, caberá ao PQ decidir, para cada caso e para cada índice ou parâmetro, qual a fonte a utilizar, dando sempre preferência à que considere melhor traduzir a realidade existente.” (87).

4.1 Paredes

As paredes foram classificadas em três tipos: (i) parede de alvenaria (Tabela 4.3 e Tabela 4.4); (ii) parede de betão armado (Tabela 4.5 e Tabela 4.6); (iii) parede exterior de *layer* genérico (Tabela 4.7) (88).

(i) Parede de alvenaria

- a. de separação com espaços interiores não aquecidos de tijolo cerâmico furado:

Tabela 4.3 – Parede interior de alvenaria

Espessura do tijolo (cm)	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
7	2,12	
11	1,79	2,00
15	1,49	
20	1,25	

- b. exterior de tijolo cerâmico furado:

Tabela 4.4 – Parede exterior de alvenaria

Espessura do tijolo (cm)	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
11	2,14	2,00
15	1,72	

- (ii) Parede de betão armado
- a. de separação com espaços interiores não aquecidos:

Tabela 4.5 – Parede interior de betão armado

Espessura do betão (cm)	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
15	3,07	
20	2,88	
25	2,71	2,00
40	2,30	
60	1,92	

- b. exterior:

Tabela 4.6 – Parede exterior de betão armado

Espessura do betão (cm)	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
20	3,89	
25	3,59	
40	2,91	2,00
60	2,32	

- (iii) Parede exterior de *layer* genérico:

Tabela 4.7 – Parede exterior de *layer* genérico

Espessura do <i>layer</i> (cm)	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
7	3,09	
20	2,29	
25	1,75	2,00
45	0,91	
60	0,35	

4.2 Coberturas planas

As coberturas foram classificadas em três tipos, apresentadas na Tabela 4.8, sendo estas: (i) cobertura plana de *layer* genérico; (ii) cobertura plana de *layer* genérico com caixa-de-ar e teto de madeira; (iii) cobertura plana de *layer* genérico com caixa-de-ar e teto em placa de gesso (89).

Tabela 4.8 – Cobertura plana

Tipo de cobertura	U da solução (W/m ² .°C)	U máximo regulamentar (W/m ² .°C)
(i)	1,09	
(ii)	0,74	1,65
(iii)	0,77	

4.3 Pavimentos

Os pavimentos foram classificados em dois tipos: (i) pavimento de *layer* genérico (Tabela 4.9); (ii) pavimento de betão armado (Tabela 4.10). Para além destes dois tipos, considerou-se ainda a envolvente/acabamento em cada um destes elementos (90).

- (i) Pavimento de *layer* genérico, com U máximo regulamentar de 1,65 W/m².°C:

Tabela 4.9- Pavimento de *layer* genérico

Envolvente do <i>layer</i> genérico	U da solução (W/m ² .°C)	Designação no anexo
<i>Layer</i> genérico	1,09	(a)
Mosaico		
<i>Layer</i> genérico	0,73	(b)
Caixa-de-ar		
Teto em placa de gesso		
<i>Layer</i> genérico	0,78	(c)
Caixa-de-ar		
Teto de metal		
<i>Layer</i> genérico	0,74	(d)
Caixa-de-ar		
Teto em placa de gesso		
Pavimento de pedra	0,79	(e)
<i>Layer</i> genérico		
Mosaico	0,89	(f)
<i>Layer</i> genérico		
Mosaico	0,78	(g)
<i>Layer</i> genérico		
Argamassa de cimento		

Mosaico		
<i>Layer</i> genérico	0,78	(h)
Caixa-de-ar		
Teto de metal		
Pavimento de pedra		
<i>Layer</i> genérico	0,78	(i)
Argamassa de cimento		
Pavimento de pedra		
<i>Layer</i> genérico	0,70	(j)
Caixa-de-ar		
Teto de metal		
Soalho		
<i>Layer</i> genérico	0,70	(l)
Argamassa de cimento		
Soalho		
<i>Layer</i> genérico	0,71	(m)
Alcatifa		
<i>Layer</i> genérico	0,66	(n)
Argamassa de cimento		
Mosaico		
<i>Layer</i> genérico	0,70	(o)
Caixa-de-ar		
Teto de madeira		
<i>Layer</i> genérico		
Caixa-de-ar	0,71	(p)
Teto de madeira		

(ii) Pavimento de betão armado, com U máximo regulamentar de $1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$:

Tabela 4.10 – Pavimento de betão armado

Envolvente do betão armado	U da solução ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	Designação no anexo
Laje de betão armado	3,57	(a')
Mosaico		
Laje de betão armado	1,88	(b')
Caixa-de-ar		
Teto em placa de gesso		

Laje de betão armado		
Caixa-de-ar	1,92	(c')
Teto em placa de gesso		
Laje de betão armado	3,43	(d')
Argamassa de cimento		
Mosaico	2,32	(e')
Laje de betão armado		
Mosaico	2,26	(f')
Argamassa de cimento		
Soalho	1,72	(g')
Laje de betão armado		
Argamassa de cimento		
Soalho	1,75	(h')
Laje de betão armado		
Mosaico	1,92	(i')
Camada de regularização de betão leve		
Laje de betão armado		

4.4 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados apresentados na Tabela 4.11, constituídos por caixilharia metálica e vidro duplo com caixa-de-ar (de dimensões 5/10/6 mm), foram classificados em dois tipos: (i) com proteção interior recorrendo a cortinas ligeiramente transparentes; (ii) sem proteção. Deve-se referir ainda que foram apenas considerados os “vãos envidraçados com área superior a 5% da área útil do pavimento do espaço que servem, não orientados a Norte e considerando o(s) respetivo(s) dispositivo(s) de proteção 100% ativos (portadas, persianas, estores, cortinas)” (91).

Tabela 4.11 – Vãos envidraçados

Tipo de vão	U da solução (W/m².°C)	U máximo regulamentar (W/m².°C)
(i)	0,47	0,56
(ii)	0,75	

Após a apresentação dos elementos construtivos, pode-se constatar que 22 dos 49 elementos listados apresentam coeficientes de transmissão térmica acima do máximo

regulamentar, o que corresponde sensivelmente a 45% dos mesmos. Por sua vez, dos citados 22 elementos, 18 destes têm na sua constituição betão armado, isto é 82%. Verifica-se desta forma que nas soluções construtivas adotadas no Centro Cultural de Belém, de acordo com o RSECE, os elementos com betão armado estão associados aos piores comportamentos térmicos. Consequentemente, estas soluções condicionam o desempenho energético da envolvente dos espaços em que este material de construção está presente.

4.5 Análise de consumos

Neste tipo de caracterizações é usual expressar as análises efetuadas considerando dois indicadores distintos, $kWh/m^2.ano$ e $kWh/pessoa.ano$, sendo este último usado quando exista a informação do número de pessoas que usufruem das áreas envolvidas. Especificamente para esta dissertação, a unidade predominante foi o kWh/m^2 . Foi adotada esta unidade de medida, em detrimento do outro indicador apresentado, uma vez que não existem registos no CCB que permitam efetuar uma análise consistente de “consumo por pessoa”.

O facto do Centro Cultural de Belém consistir num edifício que possibilita a receção de um considerável número de visitantes em simultâneo, leva a que o “fator humano” assuma um papel preponderante no consumo energético do edifício. O metabolismo humano, de acordo com o sexo da pessoa, localização e atividade que se encontre a desenvolver, conduz a uma libertação de calor que se traduz em ganhos térmicos. Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, e de acordo com os fatores anteriormente mencionados, a libertação de calor por pessoa está compreendida entre 97 W/h e 586 W/h (92). Todavia, em Portugal, é usual no cálculo deste fator considerar-se valores, por pessoa, compreendidos entre 50 W/h e 100 W/h.

Como já referido por diversas vezes neste documento, a versatilidade do Centro permite a realização de inúmeros eventos, como são exemplo os comerciais ou de entrada livre, em que não é possível contabilizar o número de pessoas presentes. No entanto, foi possível proceder a essa contabilização em situações específicas, nomeadamente:

- Funcionários da FCCB e FAMC-CB;
- Visitantes do Centro de Exposições – Módulo 3 (“*Coleção Berardo*”);
- Salas de espetáculos/apoio a eventos:

- Pequeno Auditório;
- Grande Auditório;
- Sala de Ensaios/*Black Box*;
- Sala Luís Freitas Branco.

Apresenta-se na Tabela 4.12 o consumo médio para os casos acima listados, expressos em kWh/pessoa. Os cálculos auxiliares efetuados para determinação deste indicador encontram-se no Anexo F.

Tabela 4.12 – Indicadores de consumo médio (kWh/pessoa)

Descrição	Consumo médio (kWh/pessoa)
Funcionários	4,92
Visitantes Módulo 3	5,03
Pequeno Auditório	15,00
Grande Auditório	8,30
Sala de Ensaios	3,94
Sala Luís Freitas Branco	1,17

Como se poderá verificar, o Pequeno Auditório apresentou um valor consideravelmente superior aos demais, em virtude de um sistema de climatização sobredimensionado, quando comparado com o espaço análogo, isto é, o Grande Auditório. Os equipamentos alocados a estas duas salas são bastante semelhantes, no entanto, como foi referido anteriormente, as salas têm lotações bastante distintas: 348 lugares no Pequeno Auditório e 1467 lugares no Grande Auditório (54).

Como observado na Figura 3.17, inserida no subcapítulo 3.8, no qual foi abordado o consumo global, o Centro Cultural de Belém apresenta consumos bastante díspares entre os três módulos que constituem o Complexo. De um modo sucinto, essa diferença pode-se justificar pela polivalência dos três edifícios. Assim sendo, optou-se por apresentar uma análise de consumos afeta a cada um dos módulos, expressa no decorrer dos próximos subcapítulos.

A operacionalização nos últimos anos da gestão técnica centralizada destinada ao controlo dos equipamentos e à redução de consumos energéticos, com o apoio da Direção de Edifícios e Instalações Técnicas (DEIT), apesar das fortes restrições financeiras que se têm

progressivamente agravado, tem permitido tornar a exploração do Complexo cada vez mais eficiente. Desde a entrada em exploração o Centro Cultural de Belém tem-se pautado por uma utilização racional dos recursos energéticos. A implementação de medidas técnicas de gestão de equipamentos e sistemas, assim como na sensibilização dos funcionários do CCB para uma utilização sustentável dos recursos disponíveis, tiveram um peso preponderante para a redução dos consumos energéticos. Como tal neste subcapítulo apresentam-se as quatro medidas mais representativas para essas mesmas reduções, enquadradas nos respetivos módulos, que foram implementadas durante o período dos seis anos que abrange o estudo desta dissertação. De modo a tornar a análise gráfica das reduções mais clara, recorreu-se ao uso de duas cores: o azul e o vermelho para os consumos antes e depois da implementação das referidas medidas, respetivamente (93).

Os cálculos efetuados na análise que se segue encontram-se presentes em: (i) Módulo 1 – Anexo G; (ii) Módulo 2 – Anexo H; Módulo 3 – Anexo I. Em comum às três análises citadas, no Anexo J estão contemplados os cálculos do índice “taxa de ocupação”.

4.6 Centro de Reuniões – Módulo 1

O gráfico da Figura 4.3 traduz a evolução anual dos consumos do Módulo 1, no período 2007-2012. Verificou-se uma descida gradual dos consumos no Centro de Reuniões no período analisado, com uma menor expressão no ano 2010 em relação ao homólogo período anterior.

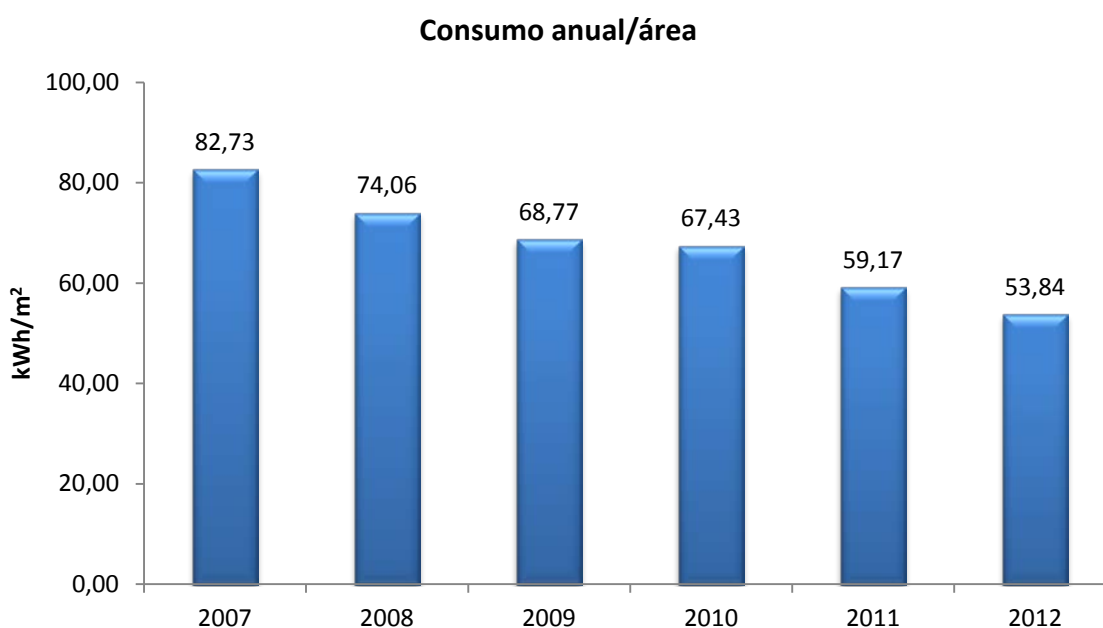


Figura 4.3 – Evolução anual dos consumos do Módulo 1

Com base no ciclo anual médio do gráfico da Figura 4.4 (período 2007-2012), foi possível observar a distribuição média de consumos ao longo dos doze meses do ano.

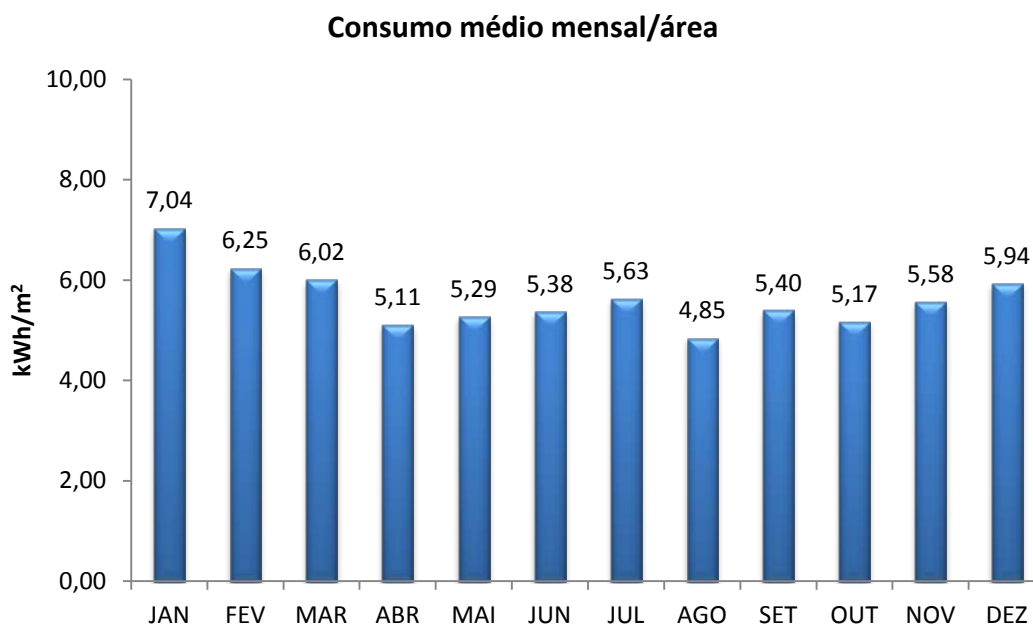


Figura 4.4 – Ciclo anual médio do Módulo 1 (período 2007-2012)

Verificou-se um consumo máximo absoluto no mês de janeiro, período correspondente a necessidades de aquecimento e de significativa iluminação artificial. Relativamente ao máximo relativo para as necessidades de arrefecimento, este verificou-se no mês de julho. Deve-se ter em conta que o mês de agosto corresponde a um período tendencialmente com menor número eventos, o que inclusivamente levou a Administração do CCB a decretar o encerramento dos Módulos 1 e 2 por um período de quinze dias desde 2012, inclusive.

A distribuição sazonal verificada no gráfico da Figura 4.4 foi tomada em conta para relacionar os consumos com o índice “taxa de ocupação”, representado graficamente a vermelho, como se demonstra em seguida. Este índice, expresso em “número de eventos realizados mensalmente na área envolvida”, permitiu a realização de uma análise comparativa entre a atividade do CCB no período em estudo com os consumos registados.

No período compreendido entre janeiro a março, expresso no gráfico da Figura 4.5, tendencialmente a redução de consumos e a taxa de ocupação evoluíram de modo similar.

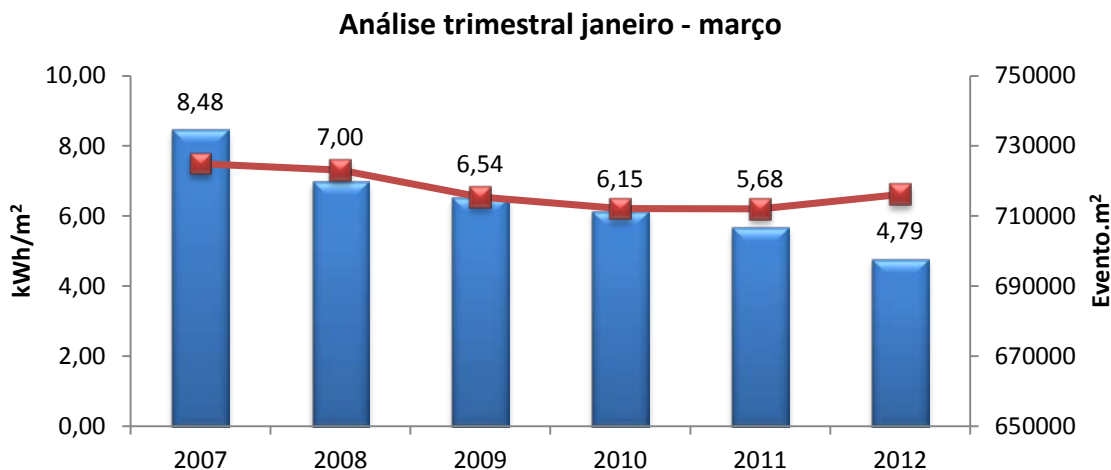


Figura 4.5 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 1

Verificou-se um ligeiro aumento da taxa de ocupação em 2012 comparativamente ao ano anterior. No entanto, a descida dos consumos no Módulo 1 manteve-se, por força da implementação da medida que se apresenta:

- Desligar os *chillers* no inverno; após novembro de 2011, inclusive, as necessidades de arrefecimento nos meses de temperaturas exteriores mais baixas, período compreendido normalmente entre outubro a março, que coincide com a utilização das caldeiras para colmatar as necessidades de aquecimento, foram obtidas recorrendo exclusivamente ao processo de *free cooling*, abordado no subcapítulo 3.6.4. Apresenta-se de seguida os gráficos das reduções afetas ao Módulo 1.
 - Gráfico da Figura 4.6, representa a implicação da medida nos consumos globais:

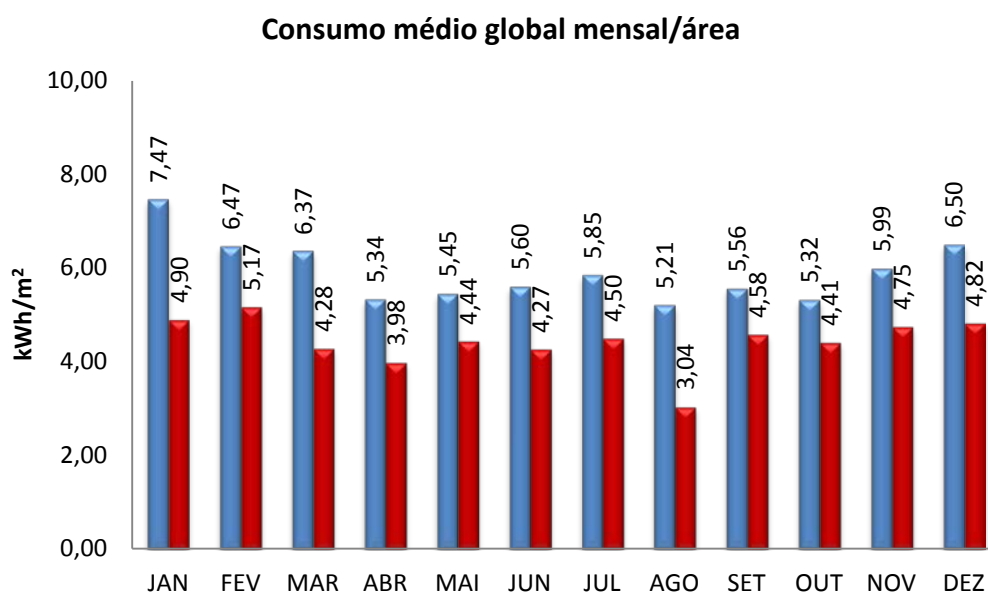


Figura 4.6 – Desligar os *chillers* – consumos globais – Módulo 1

- Gráfico da Figura 4.7, representa a implicação da medida nos consumos de produção de ar condicionado frio:

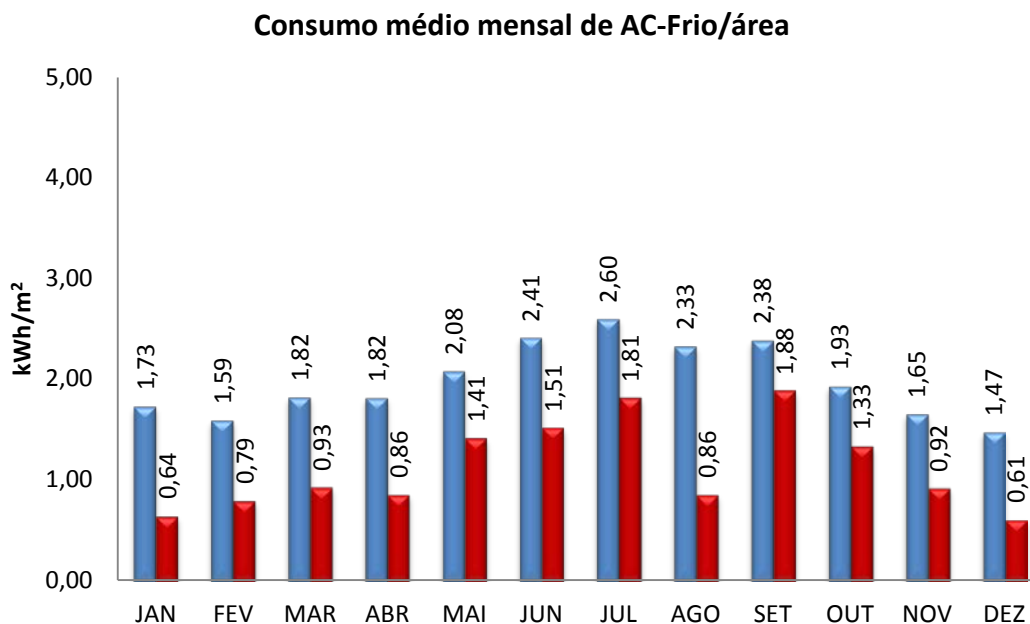


Figura 4.7 – Desligar os *chillers* – consumos de AC-Frio – Módulo 1

No trimestre seguinte, representado no gráfico da Figura 4.8, período em que se verificou o aumento gradual do uso dos *chillers* (necessidade de arrefecimento) em detrimento das caldeiras relativamente aos três meses anteriores, uma vez mais, a redução de consumo e a taxa de ocupação foram consistentes.

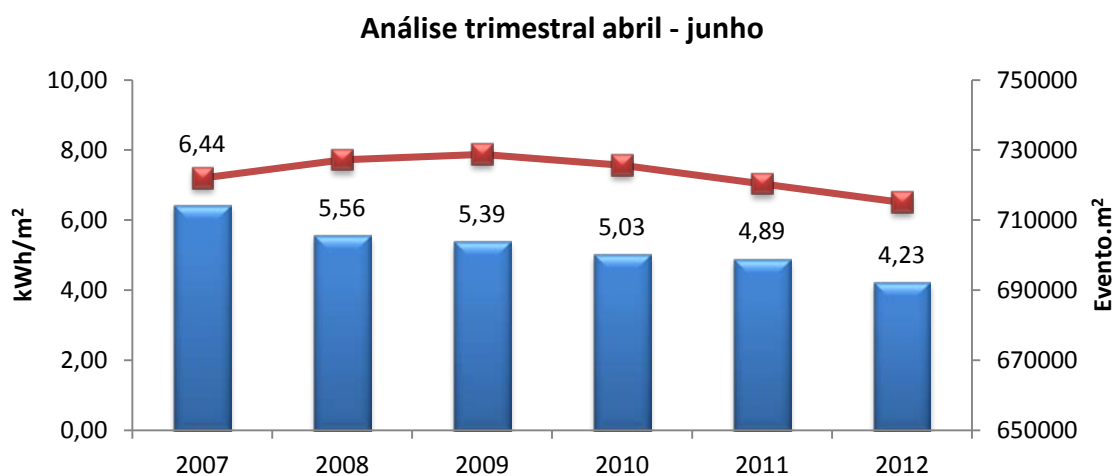


Figura 4.8 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 1

No trimestre de julho a setembro, representado no gráfico da Figura 4.9, apesar de não se ter verificado uma descida nos consumos nestes meses ao longo dos anos em análise (2007

a 2012), à semelhança dos dois trimestres anteriores, a taxa de ocupação foi acompanhando a evolução dos consumos.

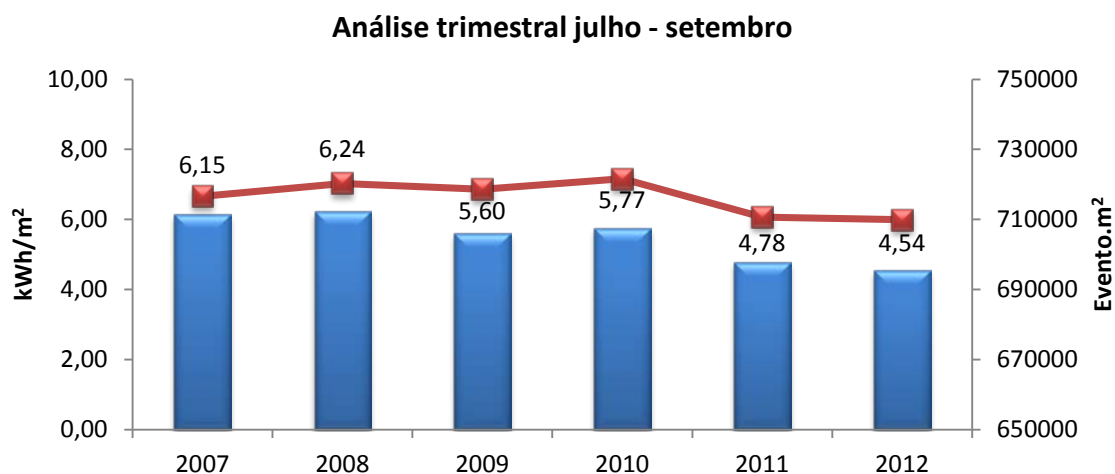


Figura 4.9 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 1

Na conclusão da análise do Módulo 1, representada no gráfico da Figura 4.10, o consumo registado e a taxa de ocupação apresentaram evoluções similares. No ano de 2011, verificou-se uma ligeira descida nos consumos, correspondente ao período em que foi implementada a medida mencionada na análise do primeiro trimestre [Desligar os *chillers* no inverno; novembro de 2011].

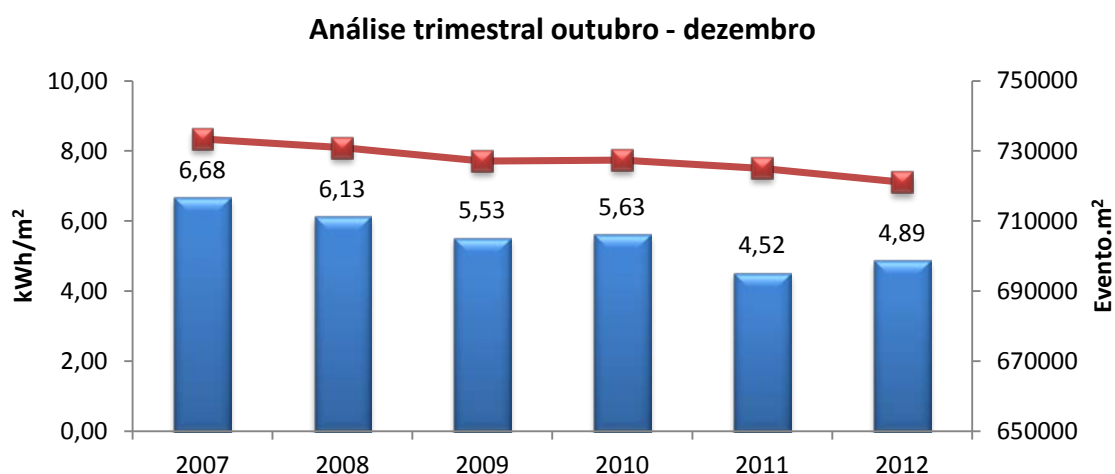


Figura 4.10 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 1

Após a caracterização dos consumos globais, apresenta-se no subcapítulo seguinte a desagregação pelos sistemas consumidores (iluminação e tomadas; climatização). Este tipo de análise demonstrou ser relevante dada a já referida heterogeneidade dos módulos.

4.6.1 Desagregação de consumos

Recorrendo aos mesmos dados que permitiram a análise efetuada dos consumos globais (Figura 3.17) concluiu-se que, em média, a energia consumida no Centro Cultural de Belém repartiu-se de acordo com o gráfico da Figura 4.11 (Anexo A): (i) 33% no Módulo 1; (ii) 20% no Módulo 2; (iii) 47% no Módulo 3. O citado gráfico permite ainda observar as percentagens médias dos três sistemas consumidores do Módulo 1, face ao consumo total do CCB.

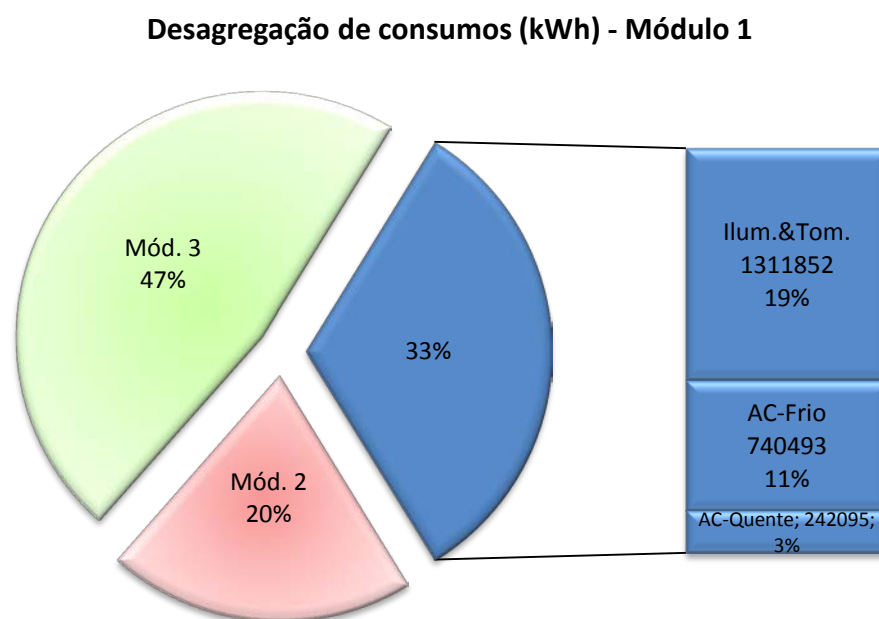


Figura 4.11 – Desagregação de consumos do Módulo 1 em relação ao CCB (média)

Para que fosse possível analisar a distribuição dos consumos no decorrer dos seis anos em análise (2007 a 2012), cingido ao estudo do Módulo 1, elaborou-se o gráfico da Figura 4.12 (Anexo A).

Desagregação de consumos (kWh) - Módulo 1

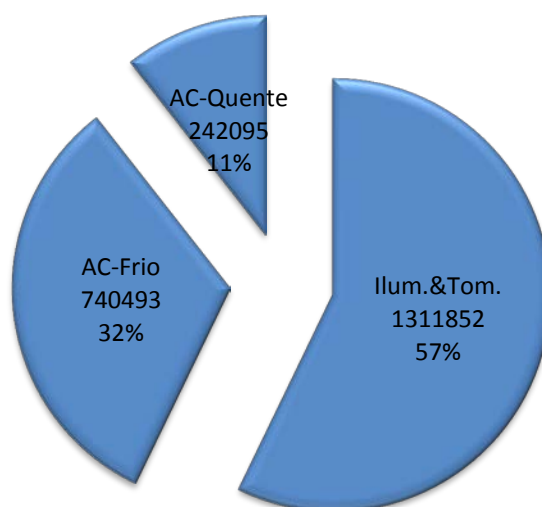


Figura 4.12 – Desagregação de consumos do Módulo 1 (média)

Conclui-se, desta forma que para o Centro de Reuniões a distribuição média de consumos é: (i) 57% em iluminação e tomadas; (ii) 43% em climatização, com a seguinte repartição: 32% e 11% para as necessidades de arrefecimento e aquecimento, respetivamente.

O estudo realizado permitiu averiguar que, no período em análise, a distribuição de consumos, em percentagem, foi idêntica à média acima apresentada, como se pode constatar na Tabela 4.13 (Anexo A), com uma ligeira disparidade em 2007 e 2012:

Tabela 4.13 – Distribuição de consumos – Módulo 1

	Média	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ilum.&Tom.	57%	49%	57%	58%	58%	61%	64%
AC-Frio	32%	38%	32%	33%	32%	30%	26%
AC-Quente	11%	13%	11%	9%	10%	9%	10%

Para se tornar esclarecedor o verificado em 2007 e 2012, foi elaborado o gráfico da Figura 4.13, que representa a tendência de consumos no decorrer do período em estudo (2007 a 2012).

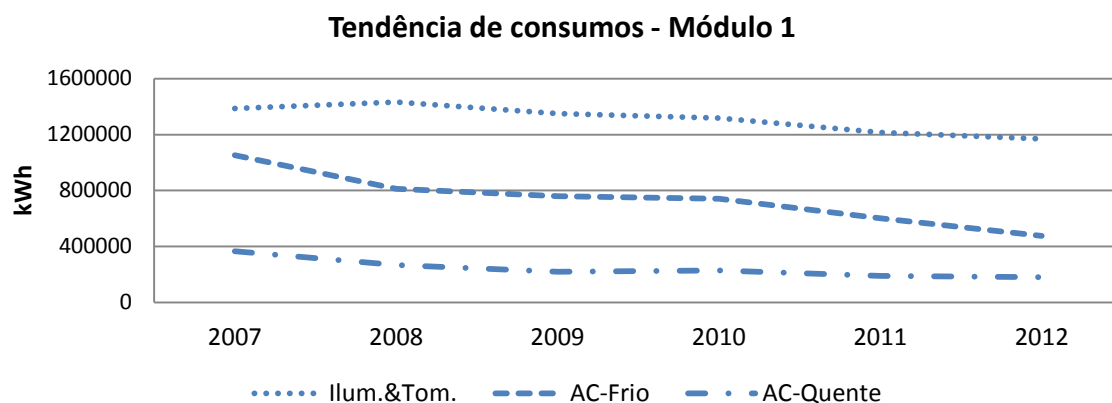


Figura 4.13 – Tendência de consumos - Módulo 1

4.7 Centro de Espetáculos – Módulo 2

O gráfico da Figura 4.14 traduz a evolução anual dos consumos do Módulo 2 no período 2007-2012. Verificou-se uma descida gradual dos consumos no Centro de Reuniões no período analisado, à semelhança do ocorrido no Módulo 1, com exceção do ano de 2010, em que o consumo se manteve praticamente inalterado em relação ao ano anterior.

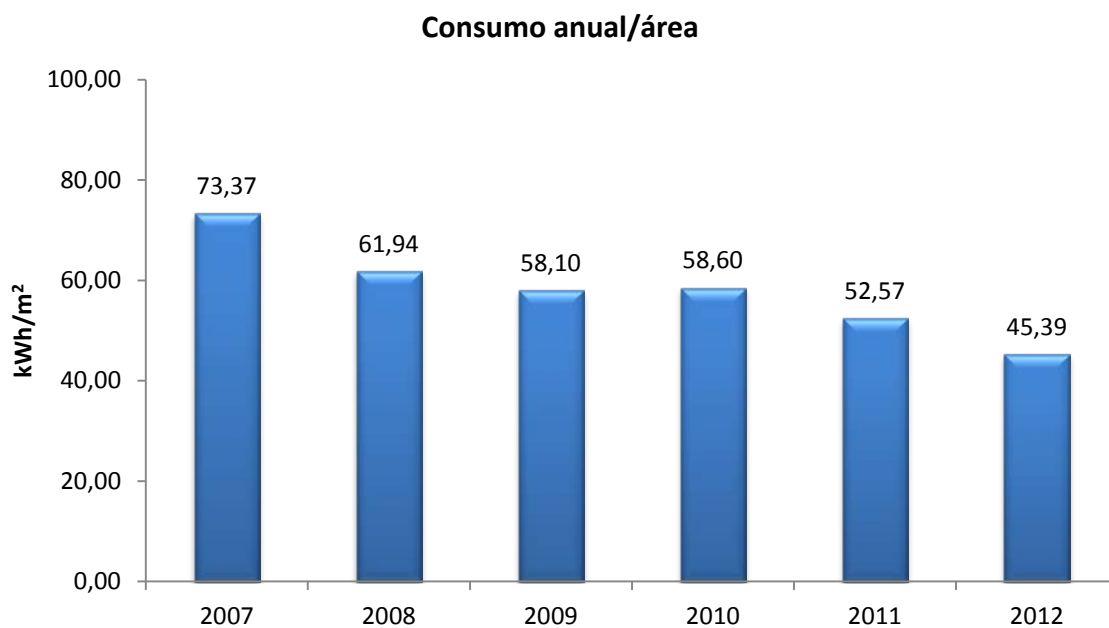


Figura 4.14 – Evolução anual dos consumos do Módulo 2

Com base no ciclo anual médio do gráfico da Figura 4.15 (período 2007-2012), foi possível observar a distribuição média de consumos ao longo dos doze meses do ano.

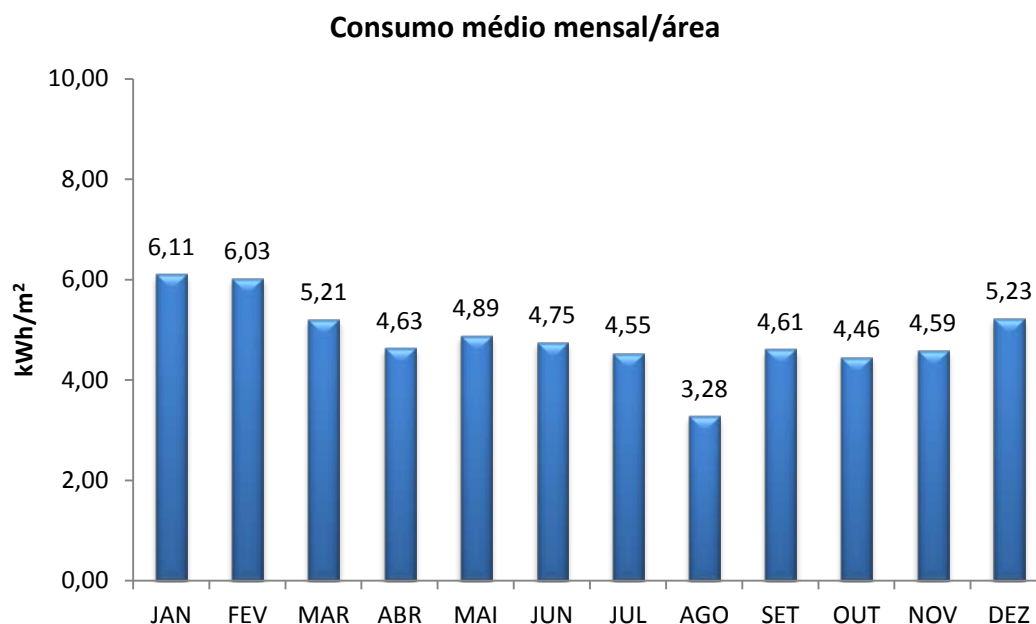


Figura 4.15 – Ciclo anual médio do Módulo 2 (período 2007-2012)

Verificou-se um consumo máximo absoluto no mês de janeiro, período correspondente a necessidades de aquecimento e de significativa iluminação artificial. Relativamente ao máximo relativo para as necessidades de arrefecimento, este verificou-se no mês de junho. Deve-se ter em ponderação o reduzido consumo do mês de agosto, facto já justificado na caracterização de consumos do Módulo 1 (período tendencialmente com menor número eventos). Considerou-se o uso do mesmo critério da tendência sazonal, apesar de menos pronunciado comparativamente à análise realizada no Módulo 1, para relacionar os consumos com a taxa de ocupação, representado graficamente a vermelho.

No período compreendido entre janeiro a março, expresso no gráfico da Figura 4.16, tendencialmente a redução de consumos e a taxa de ocupação aparecem interligados, embora não se tenha verificado um comportamento linear.

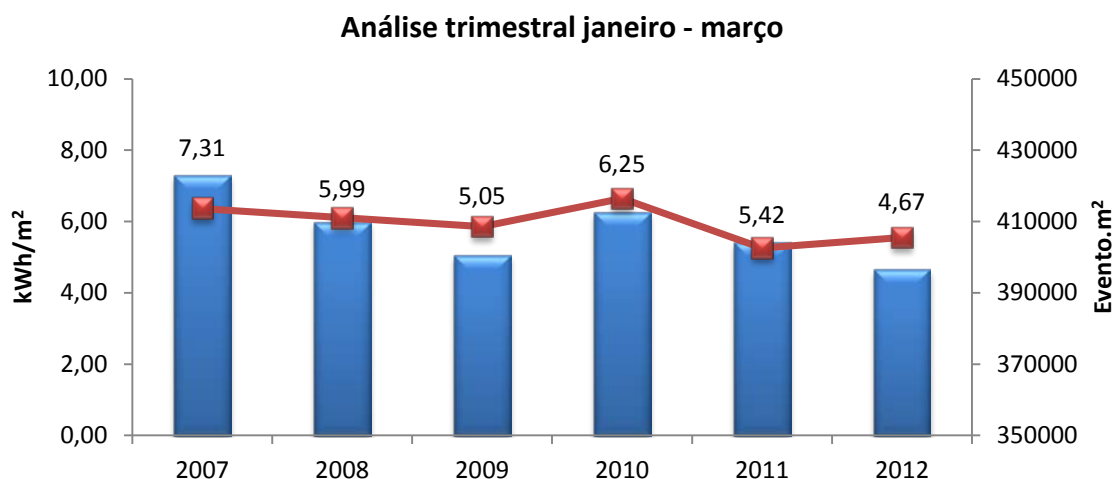


Figura 4.16 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 2

A implementação em março de 2009 da medida apresentada de seguida terá contribuído para a redução verificada nesse ano:

- Instalação de comando *in situ* de “fim de ocupação” dos *foyers* do Pequeno e Grande Auditório. Este comando, disponível a data citada, inclusive, permite aos funcionários do CCB “comunicarem” à gestão técnica que determinado evento terminou antes do horário pré-definido, levando a que a iluminação e o sistema de AVAC sejam desligados após a desocupação desses espaços. Apresentam-se os gráficos das reduções afetadas a cada uma destes sistemas consumidores.
 - Gráfico da Figura 4.17, representando a implicação da medida nos consumos globais:

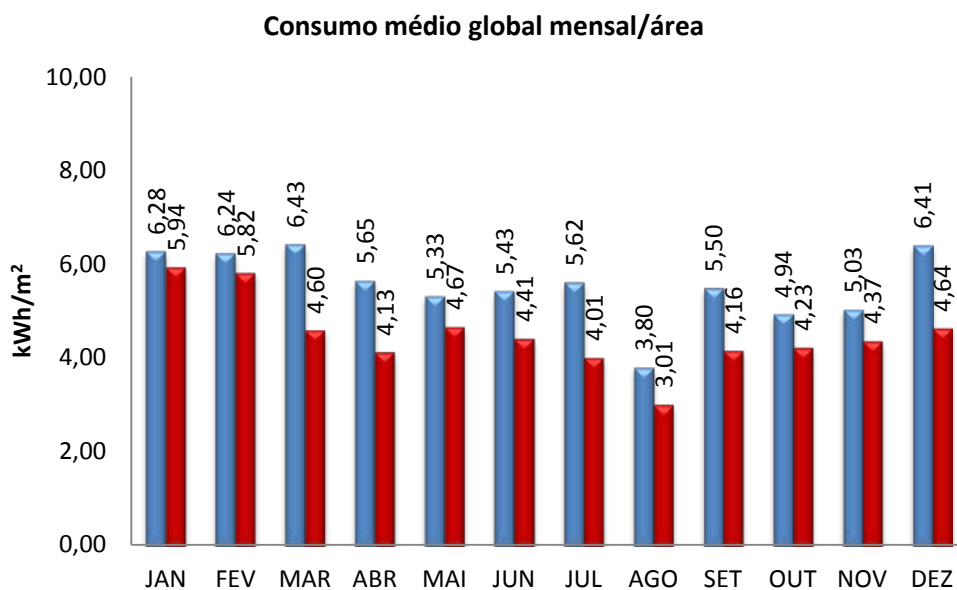


Figura 4.17 – Comando “fim de ocupação” *foyer* do Módulo 2 – consumos globais

- Gráfico da Figura 4.18, representa a implicação da medida nos consumos de produção de ar condicionado frio:

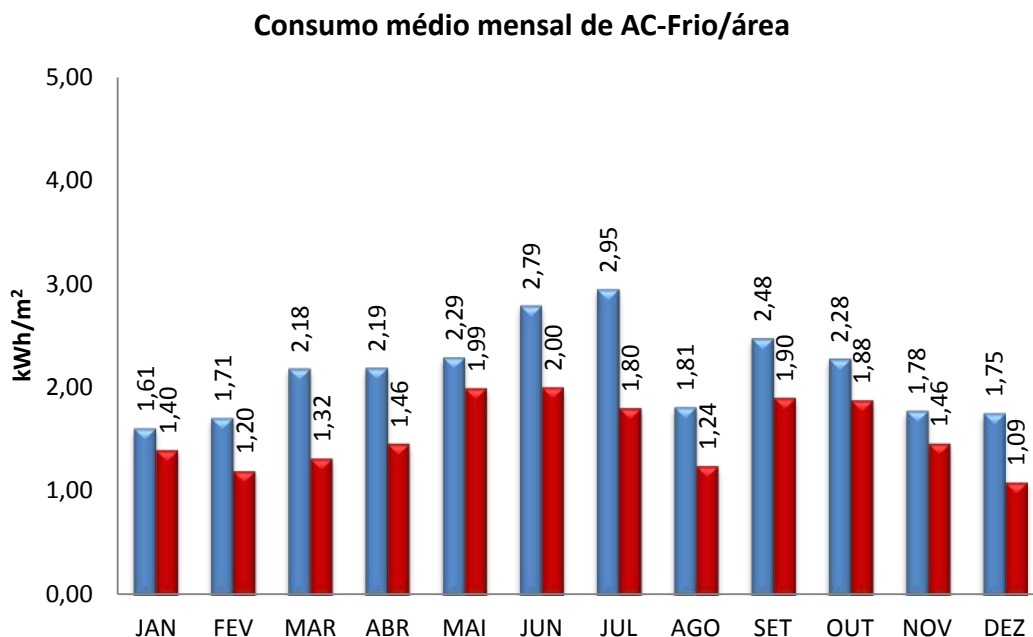


Figura 4.18 - Comando "fim de ocupação" foyer do Módulo 2 – consumos de AC-Frio

- Gráfico da Figura 4.19, representa a implicação da medida nos consumos de produção de ar condicionado quente:

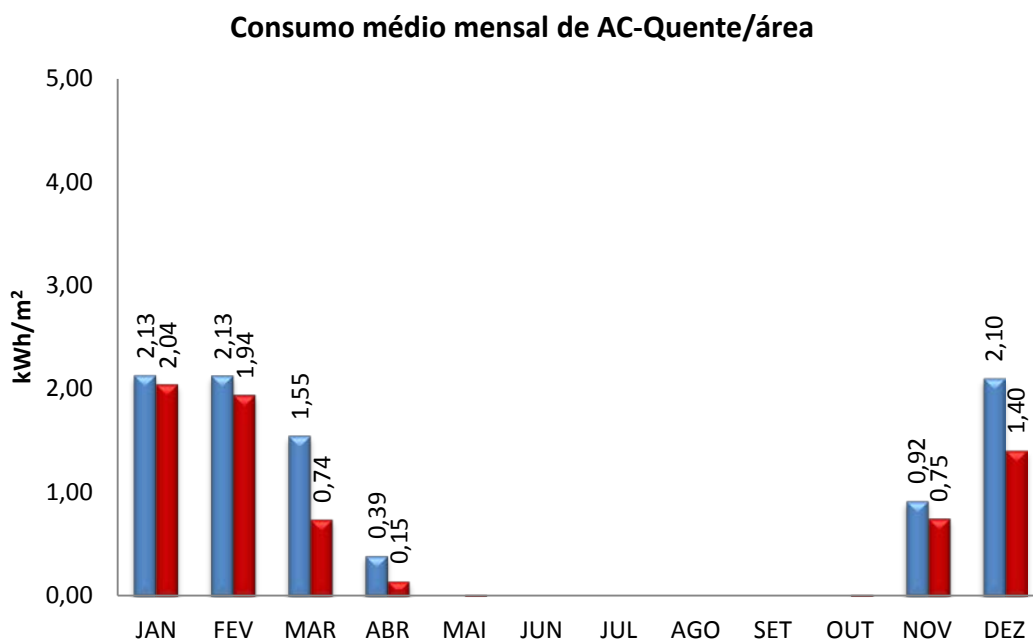


Figura 4.19 – Comando "fim de ocupação" foyer do Módulo 2 – consumos de AC-Quente

- Gráfico da Figura 4.20, representa a implicação da medida nos consumos de iluminação e tomadas:

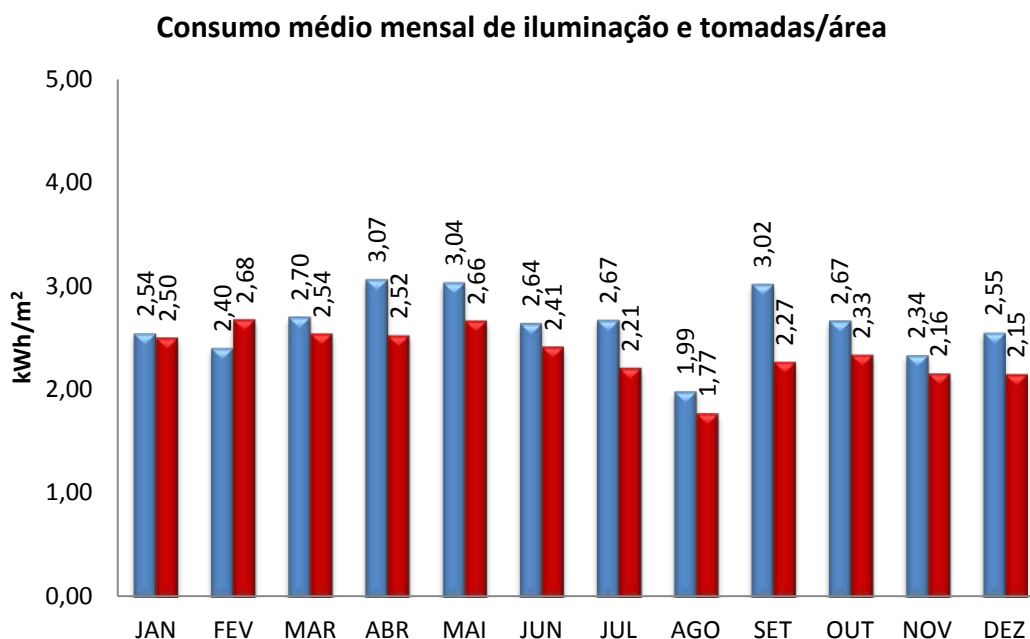


Figura 4.20 – Comando "fim de ocupação" foyer do Módulo 2 – consumos de iluminação e tomadas

Ainda relativamente ao primeiro trimestre, verificou-se um ligeiro aumento da taxa de ocupação em 2012 comparativamente ao ano anterior. No entanto, a descida dos consumos manteve-se, facto inerente à implementação da medida já apresentada na análise realizada sobre o Módulo 1 [Desligar os *chillers* no inverno; novembro de 2011], tendo esta também implicações nos consumos do Módulo 2. Apresentam-se os gráficos das citadas reduções.

- Gráfico da Figura 4.21, representa a implicação da medida nos consumos globais:

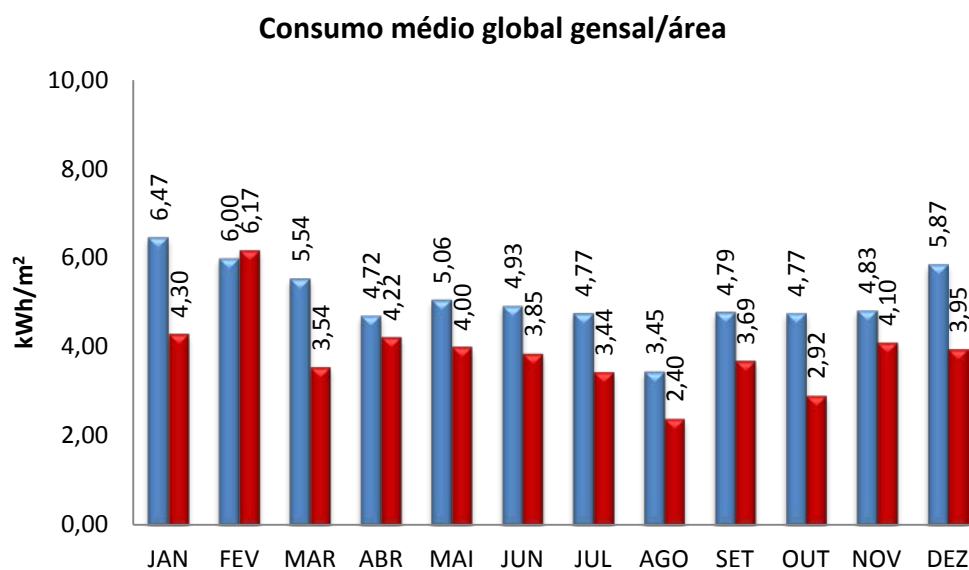


Figura 4.21 – Desligar os *chillers* – consumos globais – Módulo 2

- Gráfico da Figura 4.22, representa a implicação da medida nos consumos de produção de ar condicionado frio:

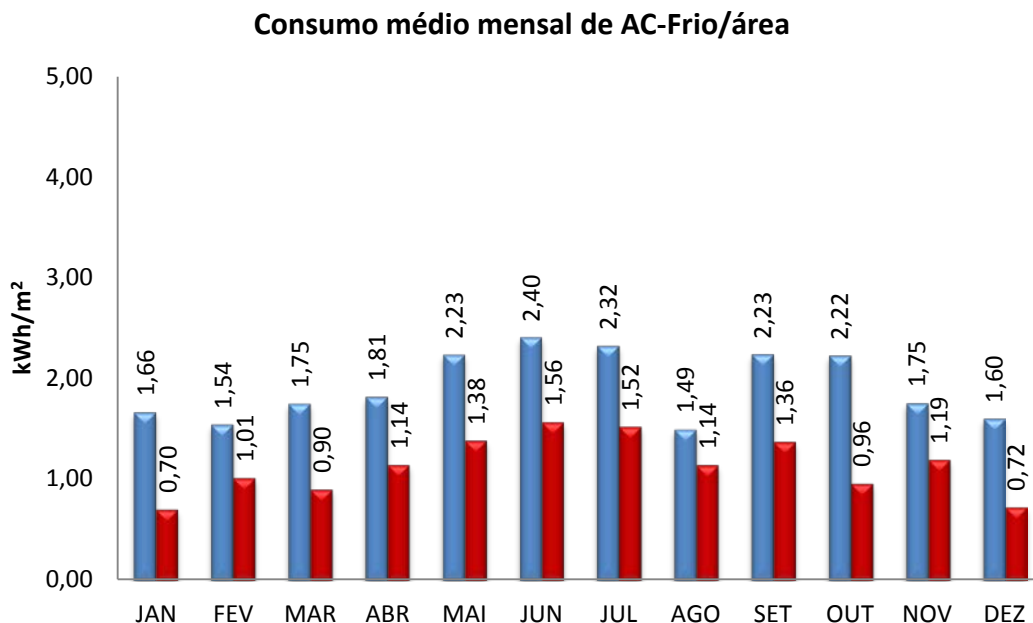


Figura 4.22 – Desligar os *chillers* - consumos de AC-Frio – Módulo 2

A análise sazonal no seguinte trimestre não permitiu verificar significativas alterações de consumos entre os anos abrangentes, à exceção de 2007. Verificou-se que neste período, caracterizado no gráfico da Figura 4.23, os consumos e a taxa de ocupação evoluíram de forma semelhante.



Figura 4.23 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 2

Relativamente à descida de consumos que se verificou após 2008, inclusive, corresponde ao período em que foi implementada a medida de seguida descrita, que terá contribuído para a redução verificada:

- Instalação de comando *in situ* de “fim de ocupação” das salas de espetáculos do Pequeno e Grande Auditório. Este comando, disponível após abril do citado ano, inclusive, permite aos funcionários do CCB “comunicarem” à gestão técnica que determinado evento terminou antes do horário pré-definido, levando a que a iluminação seja desligada após a desocupação desses espaços. Apresentam-se os gráficos das reduções afetadas a esse sistema consumidor.
 - Gráfico da Figura 4.24, representa a implicação da medida nos consumos globais:

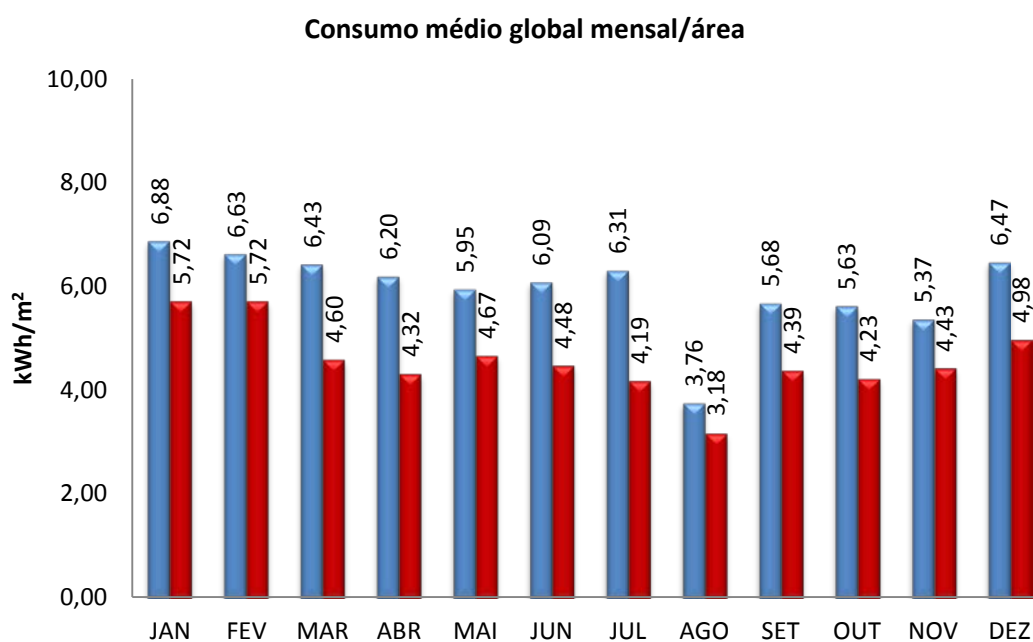


Figura 4.24 - Comando "fim de ocupação" do Módulo 2 – consumos globais

- Gráfico da Figura 4.25, representa a implicação da medida nos consumos de iluminação e tomadas:

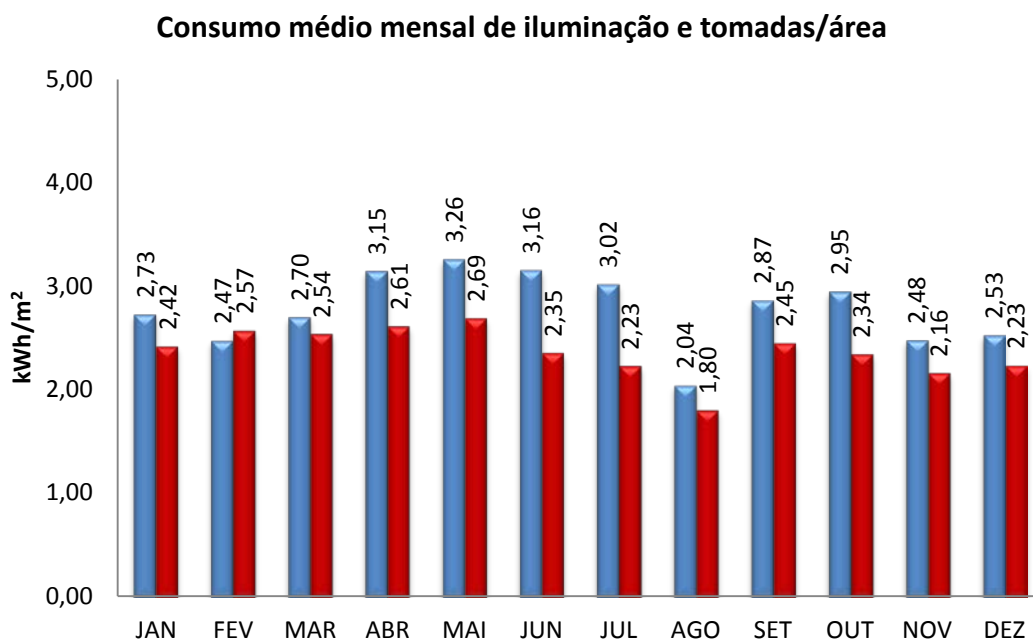


Figura 4.25 - Comando "fim de ocupação" do Módulo 2 – consumos de iluminação e tomadas

No trimestre entre julho e setembro, representado no gráfico da Figura 4.26, foi aquele em que se verificou a maior descida gradual de consumos entre os anos analisados. A taxa de ocupação também registou uma descida relativamente aos trimestres anteriores, facto justificado pelo período sazonal tendencialmente com menor número eventos.

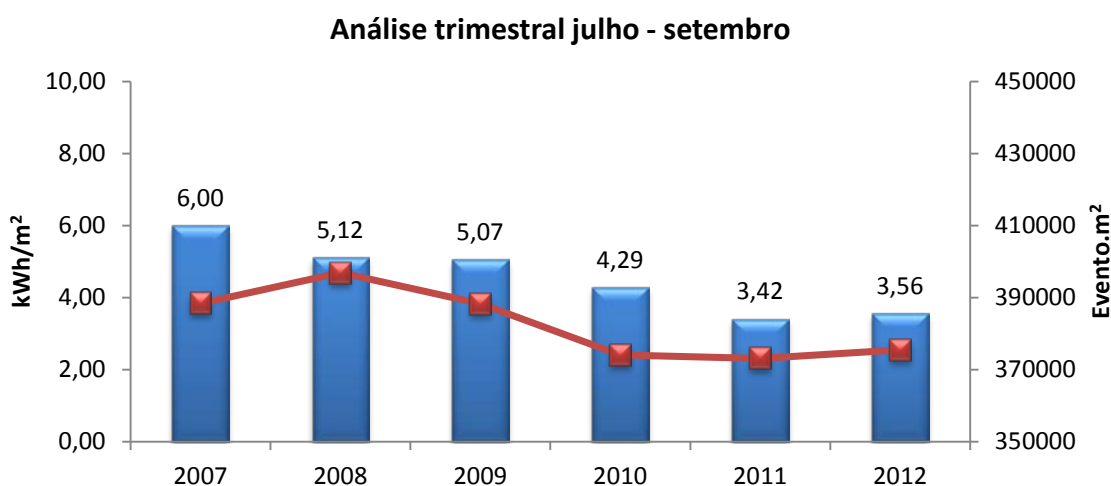


Figura 4.26 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 2

A relação inversa verificada entre o consumo e a taxa de ocupação, no ano de 2007, poderá estar relacionada com a variabilidade climática no ano em estudo. Contudo essa análise detalhada, embora pertinente, encontra-se fora do âmbito deste trabalho final de mestrado.

Por fim, nos meses entre outubro e dezembro, representados graficamente na Figura 4.27, verificou-se uma descida gradual dos consumos, expeto em 2009, mas com reduzida incidência.

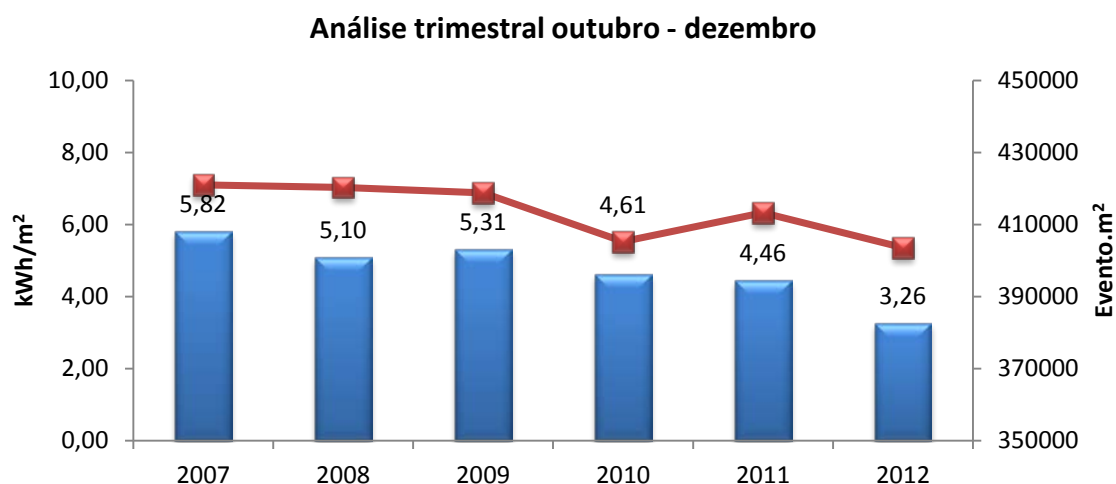


Figura 4.27 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 2

A taxa de ocupação de um modo geral foi-se desenvolvendo proporcionalmente ao consumo, com exceção em 2011. Tal facto coincidiu com a medida implementada neste período [Desligar os *chillers* no inverno; novembro de 2011], como já apresentado nos gráficos da Figura 4.21 e Figura 4.22, conseguindo-se colmatar a subida da taxa de ocupação.

Após a caracterização dos consumos globais, apresenta-se no subcapítulo seguinte a desagregação pelos sistemas consumidores (iluminação e tomadas; climatização).

4.7.1 Desagregação de consumos

Recorrendo aos mesmos dados que permitiram a análise efetuada dos consumos globais (Figura 3.17), foi elaborado o gráfico da Figura 4.28 (Anexo A) que permitiu observar as percentagens médias dos três sistemas consumidores do Módulo 2, face ao consumo total do CCB.

Desagregação de consumos (kWh) - Módulo 2

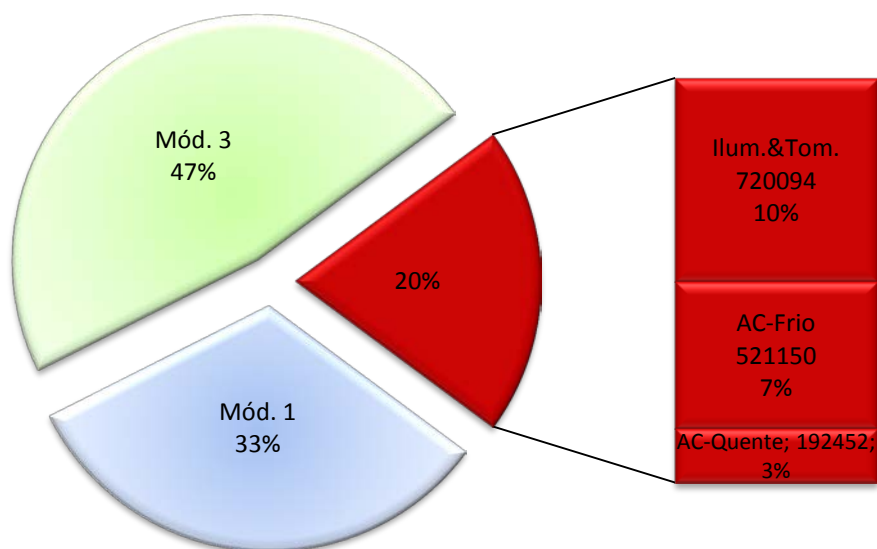


Figura 4.28 – Desagregação de consumos do Módulo 2 em relação ao CCB (média)

Para que fosse possível analisar a distribuição dos consumos no decorrer dos seis anos, cingido o estudo ao Módulo 2 (Anexo A), elaborou-se o gráfico da Figura 4.29.

Desagregação de consumos (kWh) - Módulo 2

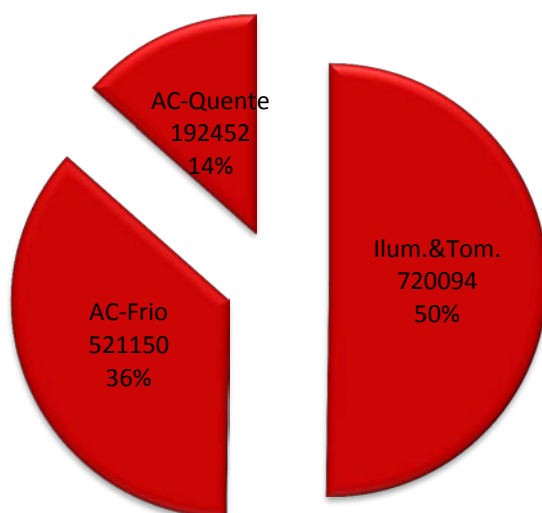


Figura 4.29 – Desagregação de consumos do Módulo 2 (média)

Conclui-se, desta forma, que para o Centro de Espetáculos a distribuição média de consumos é: (i) 50% em iluminação e tomadas; (ii) 50% em climatização, com a seguinte repartição: 36% e 14% para as necessidades de arrefecimento e aquecimento, respetivamente.

O estudo realizado permitiu demonstrar que, no período em análise, a distribuição de consumos, em percentagem, foi idêntica à média acima apresentada, como se pode constatar na Tabela 4.14 (Anexo A), com uma ligeira disparidade em 2012:

Tabela 4.14 – Distribuição de consumos – Módulo 2

	Média	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ilum.&Tom.	50%	46%	48%	51%	50%	53%	56%
AC-Frio	36%	39%	39%	39%	36%	34%	30%
AC-Quente	14%	15%	13%	10%	14%	13%	14%

Para se tornar esclarecedor o verificado em 2012, foi elaborado o gráfico da Figura 4.30, que representa a tendência de consumos no decorrer do período em estudo (2007-2012).

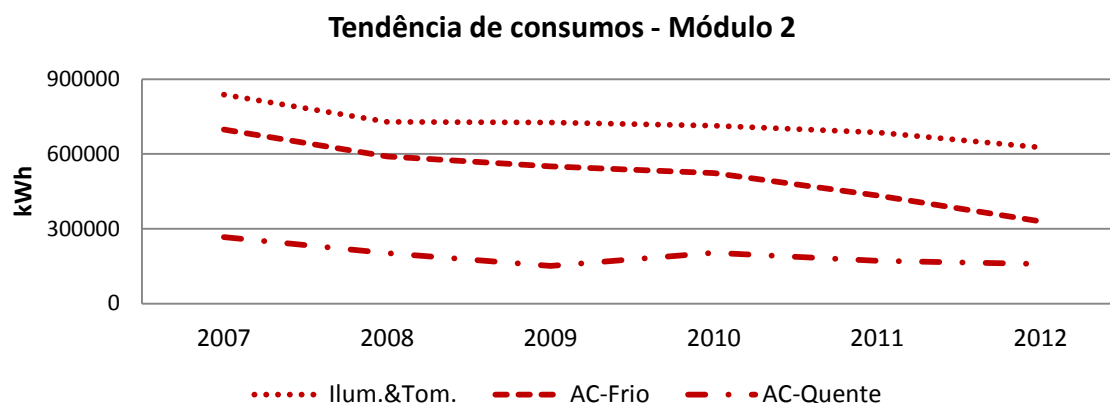


Figura 4.30 – Tendência de consumos - Módulo 2

4.8 Centro de Exposições – Módulo 3

O gráfico da Figura 4.31 traduz a evolução anual dos consumos do Módulo 3 no período 2007-2012. Verificou-se uma subida gradual dos consumos no Centro de Exposições no período analisado, com exceção em 2011, em que se registou uma ligeira descida em relação ao homólogo período anterior. No ano seguinte de 2012, verificou-se uma nova subida de consumos, para valores idênticos aos registados em 2010.

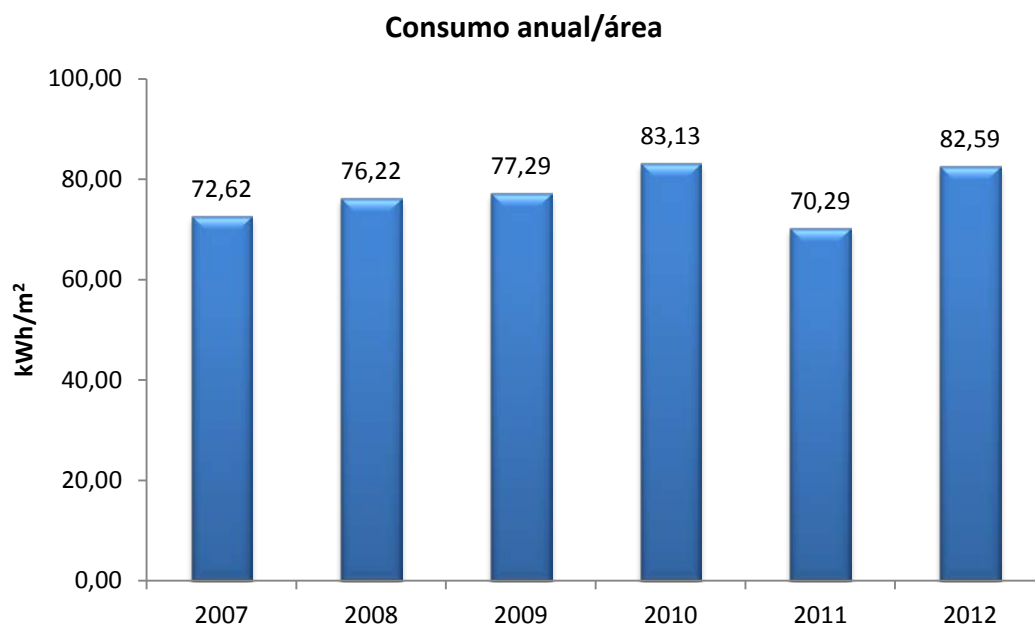


Figura 4.31 – Evolução anual dos consumos do Módulo 3

Com base no ciclo anual médio do gráfico da Figura 4.15 (período 2007-2012), foi possível observar a distribuição média de consumos ao longo dos doze meses do ano.

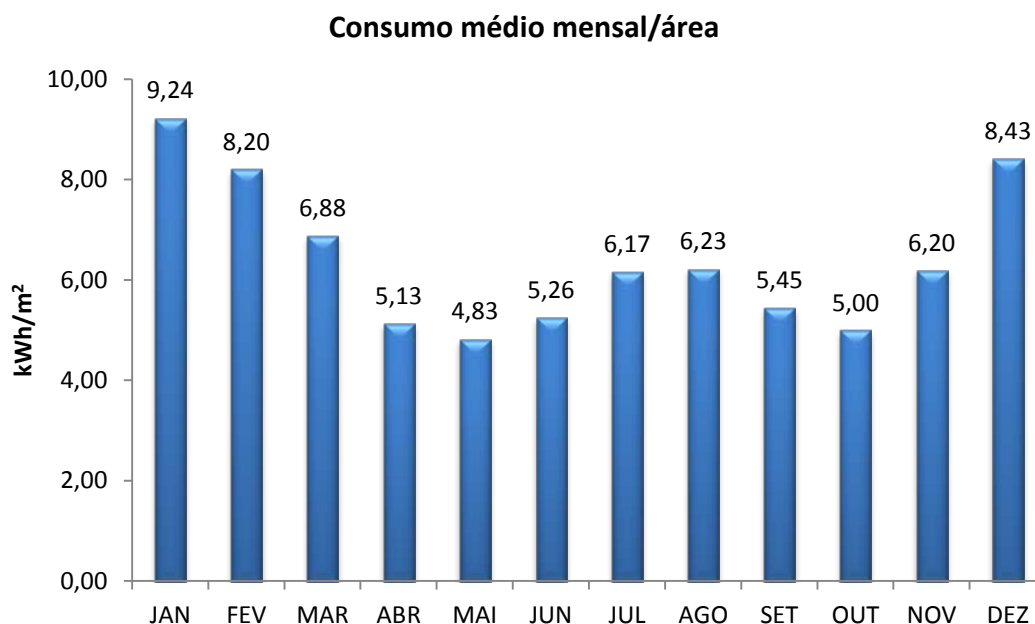


Figura 4.32 – Ciclo anual médio do Módulo 3 (período 2007-2012)

Verificou-se, uma vez mais, um consumo máximo absoluto no mês de janeiro, período correspondente a necessidades de aquecimento e de significativa iluminação artificial. Relativamente ao máximo relativo para as necessidades de arrefecimento, no Centro de Exposições verificou-se no mês de agosto, contrariamente ao verificado nos Módulos 1 e 2, com um consumo muito próximo em julho. Deve-se ter em conta que, contrariamente ao

verificado nos restantes módulos, o Centro de Exposições não encerra durante o mês de agosto. No Módulo 3, devido à sua utilização atual, isto é, a “*Coleção Berardo*”, impõe-se que o sistema de climatização se encontre em funcionamento 24 horas/dia, 365 dias/ano. O mês de agosto corresponde a um período de temperaturas elevadas o que obriga a um consumo energético acentuado para garantir adequada climatização (para arrefecimento), pois as obras de arte exigem a manutenção de uma temperatura de *set-point* em contínuo. Justifica-se desta forma o consumo máximo relativo.

Considerou-se novamente a utilização do critério da tendência sazonal. No Módulo 3, comparativamente aos outros edifícios do Complexo, foi onde se verificou que este tipo de análise teve maior expressão. Contudo, como se poderá verificar nos três primeiros trimestres, os consumos e a taxa de ocupação não evoluíram de modo similar, por eventual erro nos valores obtidos para o cálculo deste índice.

Nos meses de janeiro a março, representado no gráfico da Figura 4.33, registou-se o trimestre onde os consumos foram mais elevados, como acima mencionado pelo ciclo anual médio do gráfico da Figura 4.32. Observou-se que os consumos foram similares ao longo do período analisado (2007-2012), exceto em 2010, devido a possíveis variações climáticas distintas dos restantes anos.

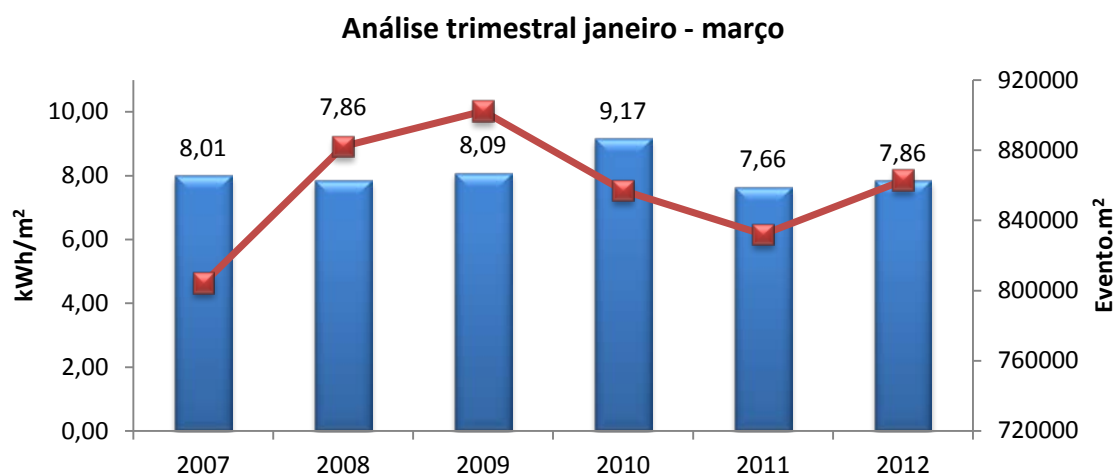


Figura 4.33 – Análise sazonal de janeiro a março – Módulo 3

No que concerne aos meses entre abril e junho, como apresentado no gráfico da Figura 4.34, verificou-se uma evolução de consumos idêntica à da evolução anual (Figura 4.31).

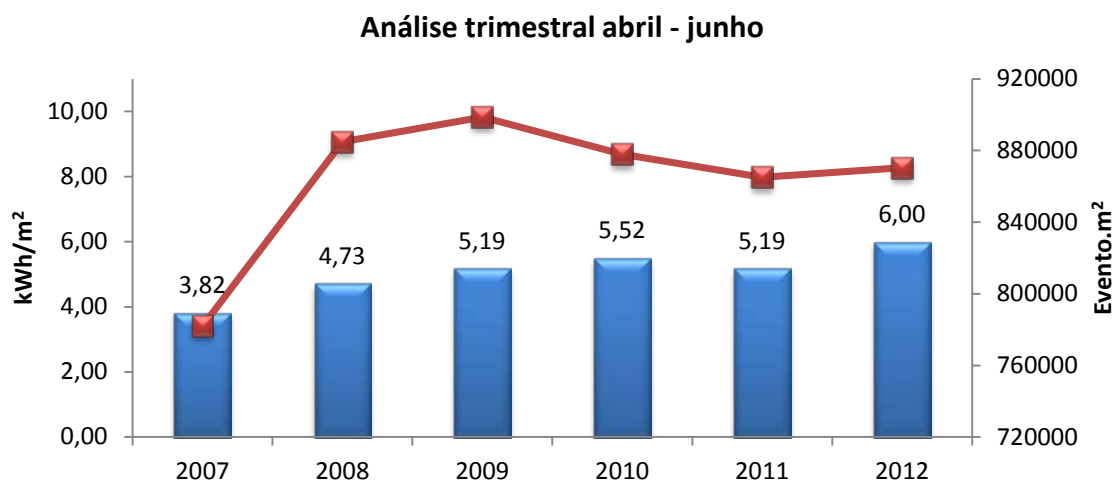


Figura 4.34 – Análise sazonal de abril a junho – Módulo 3

Nos meses entre julho e setembro, conforme representado no gráfico da Figura 4.35, verificaram-se consumos idênticos ao longo dos anos em estudo. Como já mencionado, as temperaturas elevadas registadas neste período sazonal exigem um consumo energético considerável, relativamente ao trimestre anterior, para garantir a climatização das obras de arte.

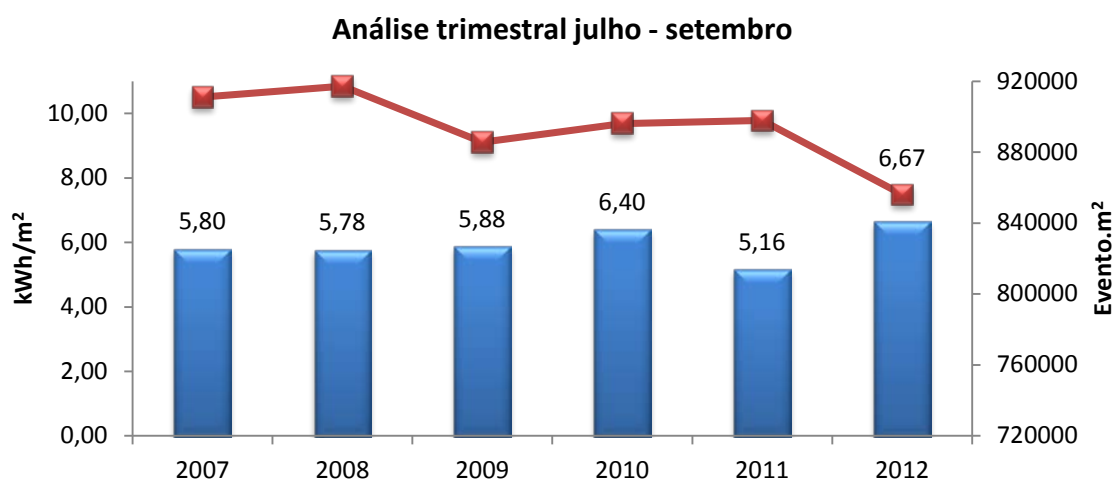


Figura 4.35 – Análise sazonal de julho a setembro – Módulo 3

Contrariamente aos anteriores trimestres analisados, apenas nos meses de outubro a dezembro se verificou uma evolução similar entre os consumos e a taxa de ocupação, como caracterizado pelo gráfico da Figura 4.36.

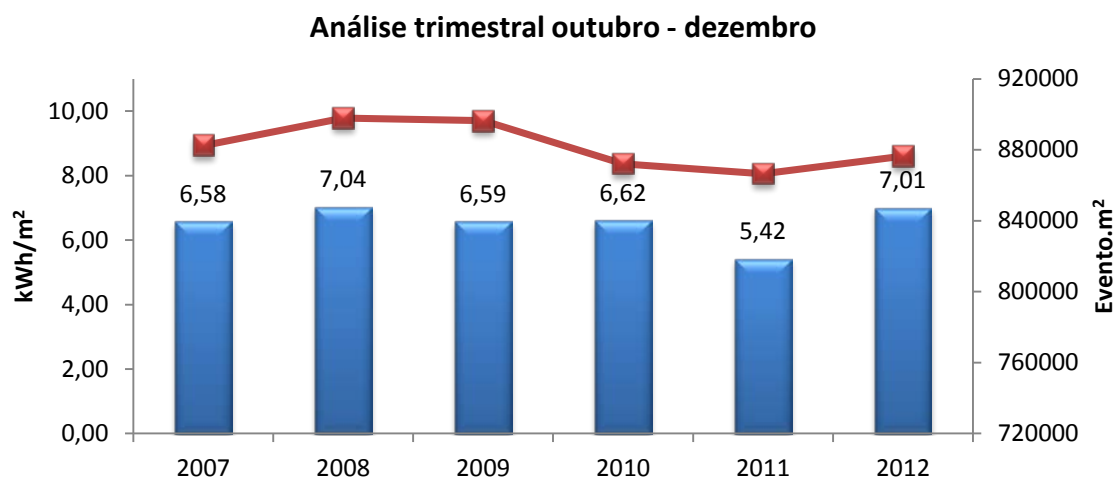


Figura 4.36 – Análise sazonal de outubro a dezembro – Módulo 3

Apesar de não ser elucidativo no anterior gráfico, em outubro de 2008 verificou-se a implementação da medida:

- Instalação de comando *in situ* de “fim de ocupação” do Módulo 3. Este comando, disponível após o citado período, inclusive, permite aos funcionários do FAMC-CB “comunicarem” à gestão técnica que os visitantes já não se encontram nas exposições após o horário pré-definido, levando a que a iluminação seja desligada após a desocupação desses espaços. Apresentam-se os gráficos dos consumos afetos a esta instalação.
 - Gráfico da Figura 4.37, representa a implicação da medida nos consumos globais:

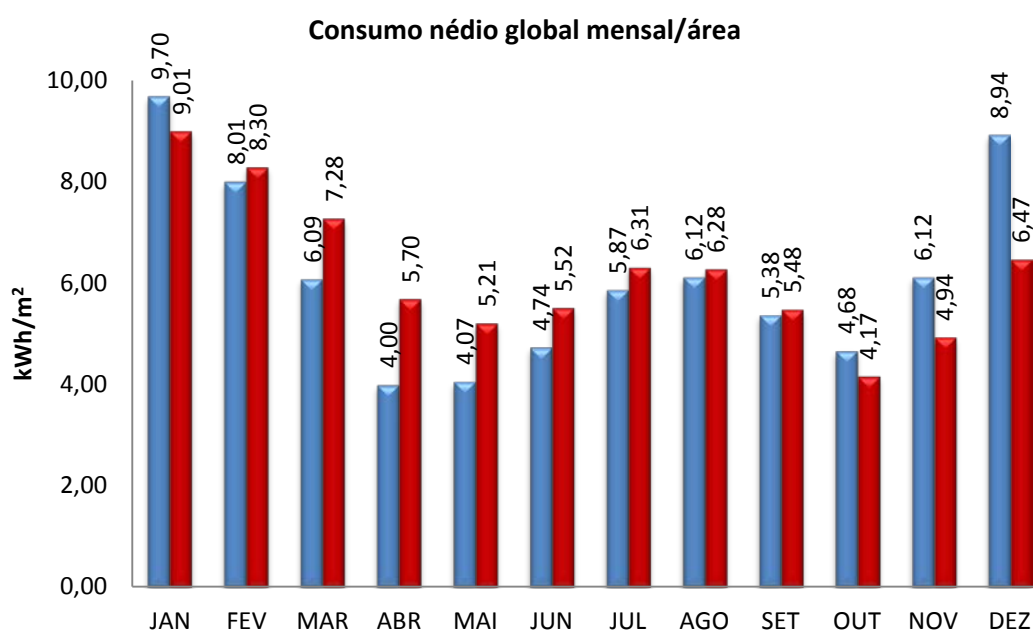


Figura 4.37 – Comando “fim de ocupação” do Módulo 3 – consumos globais

- Gráfico da Figura 4.38, representa a implicação da medida nos consumos de iluminação e tomadas:

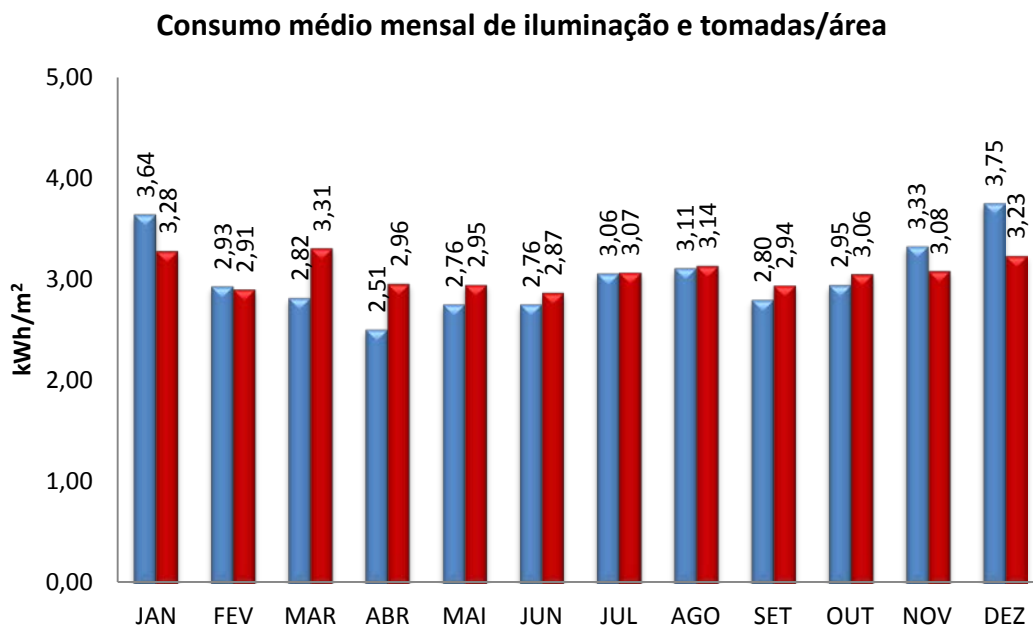


Figura 4.38 – Comando "fim de ocupação" do Módulo 3 – consumos de iluminação e tomadas

Ainda referente ao último trimestre, registou-se novamente o decréscimo de consumos em 2011, facto inerente à implementação da medida já apresentada no Módulo 1 [Desligar os *chillers* no inverno; novembro de 2011], tendo esta também implicação no Centro de Exposições. Apresentam-se os gráficos dos citados consumos após a medida.

- Gráfico da Figura 4.39, representa a implicação da medida nos consumos globais:

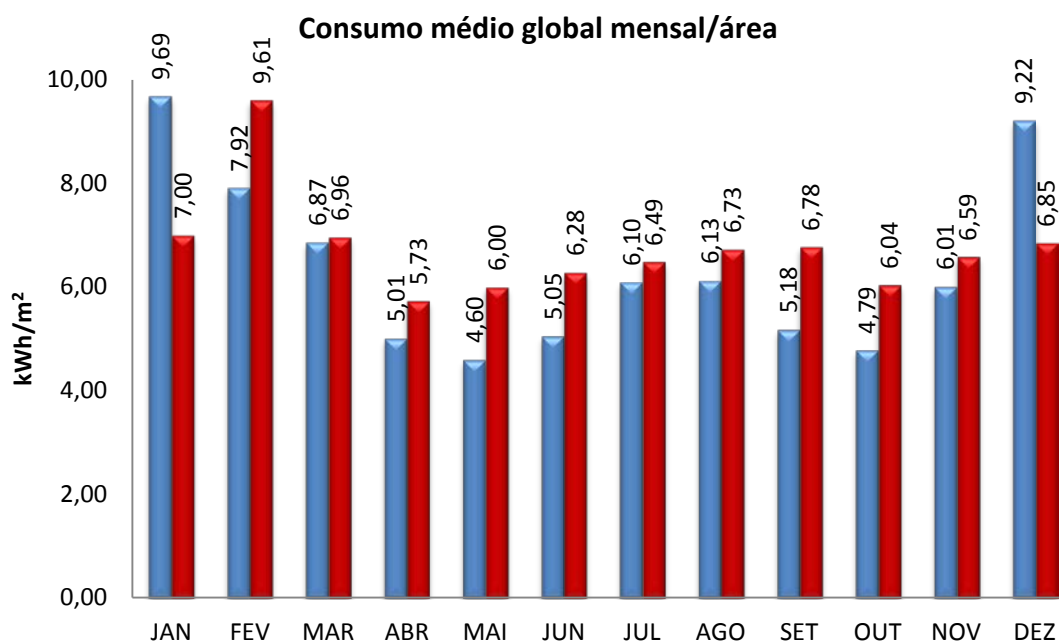


Figura 4.39 – Desligar os *chillers* – consumos globais – Módulo 3

- Gráfico da Figura 4.40, representando a implicação da medida nos consumos de produção de ar condicionado frio no Módulo 3:

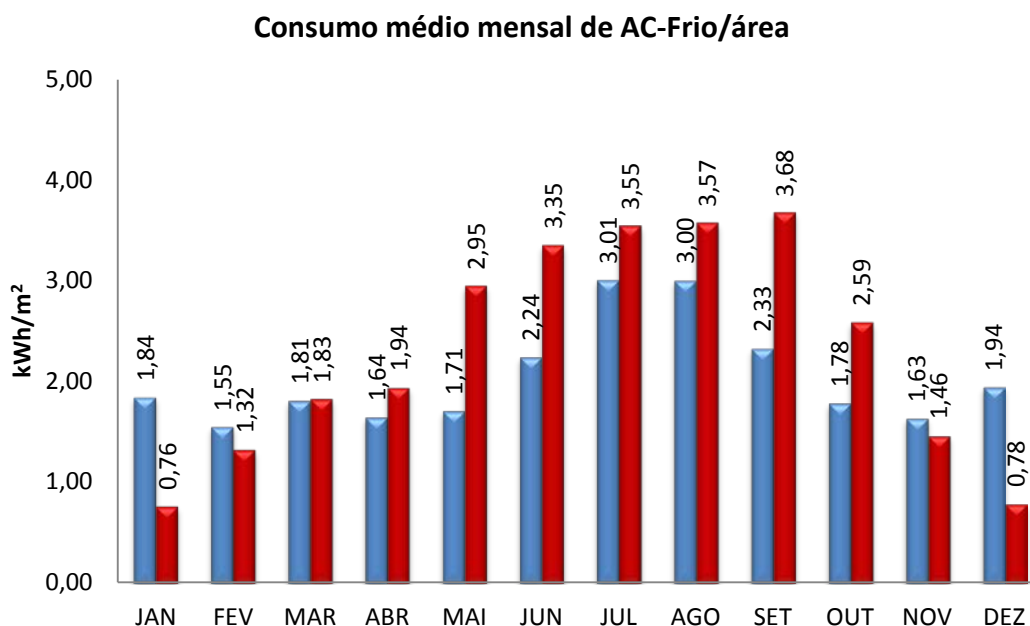


Figura 4.40 – Desligar os *chillers* - consumos de AC-Frio – Módulo 3

Constata-se que após a implementação das medidas afetas ao Centro de Exposições, contrariamente ao verificado nos consumos dos Módulos 1 e 2, estas não se traduziram numa descida de consumos. As características singulares da atual utilização deste espaço, devido à constante necessidade de estabilizar parâmetros como a temperatura e a humidade, têm contribuído para uma subida gradual dos consumos energéticos. Como tal, as medidas implementadas no Módulo 3 possibilitaram que a referida subida dos consumos fosse minimizada.

Após a caracterização dos consumos globais, apresenta-se no subcapítulo seguinte a desagregação pelos sistemas consumidores (iluminação e tomadas; climatização).

4.8.1 Desagregação de consumos

Recorrendo aos mesmos dados que permitiram a análise efetuada dos consumos globais (Figura 3.17), foi elaborado o gráfico da Figura 4.41 (Anexo A) que permitiu observar as percentagens médias dos três sistemas consumidores do Módulo 3, face ao consumo total do CCB.

Desagregação de consumos (kWh) - Módulo 3

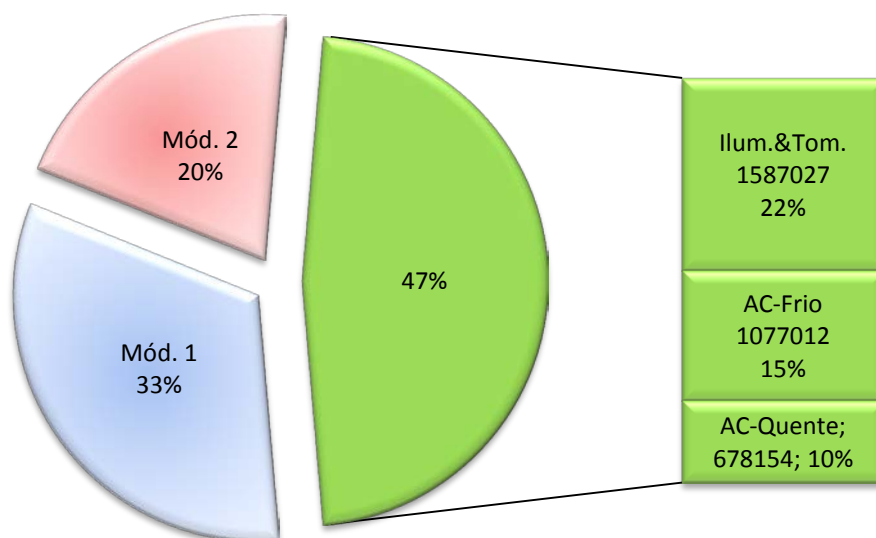


Figura 4.41 – Desagregação de consumos do Módulo 3 em relação ao CCB (média)

Para que fosse possível analisar a distribuição dos consumos no decorrer dos seis anos, cingido o estudo ao Módulo 3, elaborou-se o gráfico da Figura 4.42 (Anexo A).

Desagregação de consumos (kWh) - Módulo 3

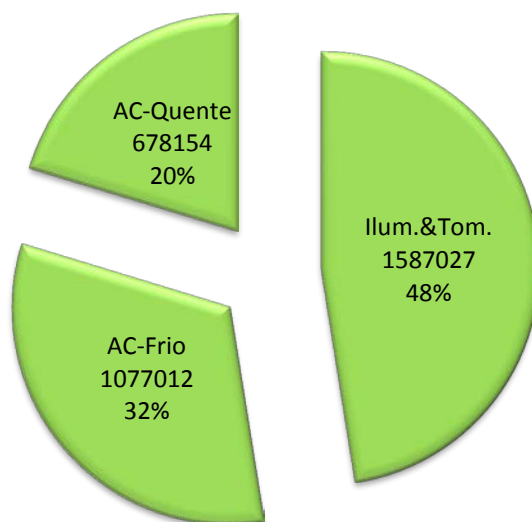


Figura 4.42 – Desagregação de consumos do Módulo 3 (média)

Conclui-se, desta forma, que para o Centro de Exposições a distribuição média de consumos é: (i) 48% em iluminação e tomadas; (ii) 52% em climatização, com a seguinte repartição: 32% e 20% para as necessidades de arrefecimento e aquecimento, respetivamente.

O estudo realizado permitiu concluir que no período em análise a distribuição de consumos, em percentagem, foi idêntica à média acima apresentada, como se pode constatar na Tabela 4.15 (Anexo A), com uma ligeira disparidade em 2011:

Tabela 4.15 – Distribuição de consumos – Módulo 3

	Média	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ilum.&Tom.	48%	49%	48%	47%	45%	52%	45%
AC-Frio	32%	29%	33%	35%	34%	27%	35%
AC-Quente	20%	22%	19%	18%	21%	21%	20%

Para se tornar esclarecedor o verificado em 2011, foi elaborado o gráfico da Figura 4.43, que representa a tendência de consumos no decorrer do período em estudo (2007-2012).

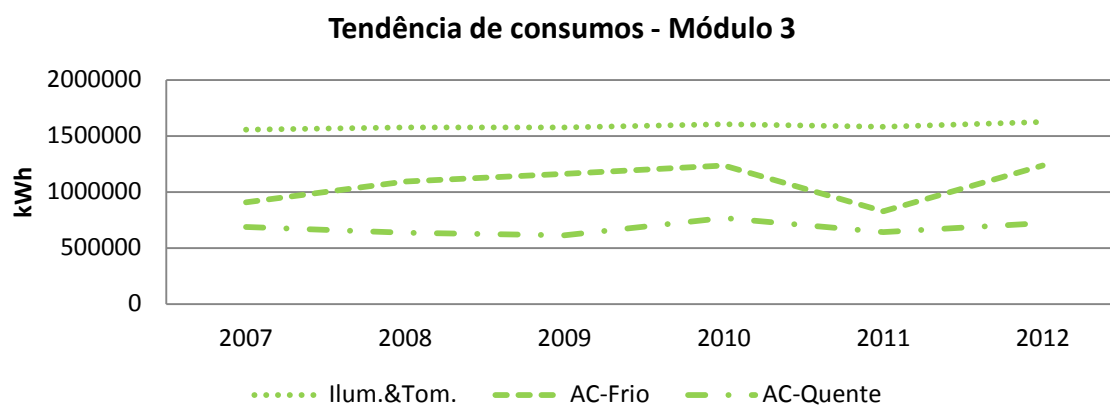


Figura 4.43 – Tendência de consumos - Módulo 3

5 Propostas de melhoria do desempenho energético

A crise financeira que afeta Portugal, assim como a escassez de fundos próprios da Fundação Centro Cultural de Belém para a realização de intervenções onerosas, limitam a realização de investimentos sem o apoio do Estado Português, através da Secretaria de Estado da Cultura. Como tal, para a abordagem de melhorias do desempenho energético, tiveram-se em consideração não só as restrições financeiras mencionadas pela FCCB, como também as impostas pelo erário público.

Posto isto, foram considerados os seguintes fatores para a definição das propostas de melhoria:

- Garantir o normal funcionamento do CCB, assim como o conforto e bem-estar dos seus visitantes e funcionários;
- Manter e preservar os aspetos arquitetónicos de um Complexo ímpar de edifícios e com uma imagem cultural associada;
- Obter retorno do investimento, através da redução dos consumos energéticos, considerando o tempo de vida útil dos equipamentos a instalar.

Deve-se ainda ter em conta que, como referido no Certificado de Desempenho Energético, outras melhorias poderiam ser implementadas e que levariam a uma possível integração do Centro Cultural de Belém numa classe de desempenho energético superior. No entanto, face aos condicionalismos acima abordados, essas outras medidas requereriam um avultado investimento financeiro a que o CCB ou o Estado não podem atualmente corresponder. Das referidas sugestões descritas no certificado do Anexo C, destacam-se (94):

- Substituição de iluminação;
- Instalação de novas UTA's;
- Instalação de painéis solares fotovoltaicos;
- Substituição das caldeiras para as necessidades de aquecimento;
- Substituição das bombas dos circuitos de circulação da água;
- Instalação de painéis solares térmicos;
- Substituição dos *chillers*;

Para além das citadas propostas, existem outras soluções que, apesar de não se enquadrarem num conceito de reabilitação energética, poderão ter um forte impacto nos

consumos energéticos. Entenda-se que qualquer melhoria do comportamento térmico dos edifícios, ao nível da aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, reflete-se de imediato na redução de custos associados à climatização. No ponto de vista académico, o estudo destas soluções seria uma mais-valia, contudo o enquadramento arquitetónico em que se insere o Centro Cultural de Belém não possibilita a sua implementação. Como exemplo de soluções de melhoria do comportamento térmico tem-se:

- Sistemas de sombreamento:
 - Interiores (estores e cortinas);
 - Exteriores (pelas horizontais e verticais)
- Melhoramento de vãos envidraçados (instalação de vidros duplos);
- Sistemas de isolamento térmico pelo exterior (como exemplo, *ETICS*);
- Sistemas de ventilação natural noturna.

5.1 Soluções tecnológicas de climatização

A necessidade de munir o Centro Cultural de Belém com equipamentos mais eficientes do que os existentes tem como principal objetivo a redução dos consumos energéticos. No entanto, os equipamentos atualmente em uso no processo de climatização são os instalados aquando da edificação do CCB, isto é, com mais de 20 anos, sendo necessário um investimento anual considerável para a sua manutenção. Como tal, a instalação de novos equipamentos irá permitir associar a redução de dois custos, entenda-se, de energia e de manutenção.

No caso dos grupos produtores de água fria, dos quatro equipamentos instalados, apenas três se encontraram atualmente operacionais, como já abordado no subcapítulo 3.6.1. Se um dos três *chillers* em funcionamento sofrer uma avaria, o normal funcionamento do CCB poderá ser afetado. Contudo a sua reparação/substituição está também condicionada por imposições legislativas. Segundo o regulamento europeu nº 1005/2009, de 16 de setembro de 2009, que aborda a emissão de substâncias nocivas para a camada de ozono, é proibido comercializar novos equipamentos que usem o fluido refrigerante R22 após 31 de dezembro do referido ano para os sistemas de ar condicionado e, depois de 31 de dezembro de 2014, será proibido o uso deste fluido em quaisquer unidades de climatização (95). Como tal, torna-se inadiável a substituição destes equipamentos, antes que o CCB seja afetado por incumprimento da legislação acima mencionada.

A solução apresentada para a climatização tem por base informação fornecida pela Direção de Edifícios e Instalações Técnicas do CCB. Os equipamentos listados consistem nos aparelhos que efetivamente irão ser adquiridos, conforme previsto em projeto, uma vez que representam a solução que melhor se irá adequar às necessidades do edifício. Por sua vez, a estimativa de redução de consumos e, conseqüentemente, o análise da viabilidade económica foram realizados no âmbito desta dissertação. O processo afeto à solução estudada, como já acima referido, consiste na substituição dos *chillers*. No entanto, esta alteração implica a substituição de outros equipamentos associados à produção de água fria, como descrito no subcapítulo 3.6.1. Como tal tornar-se-á também necessária a aquisição de novas torres de arrefecimento e de eletrobombas. Apresenta-se a listagem dos equipamentos a instalar:

- Três *chillers*, como apresentado no Anexo L:
 - dois equipamentos da marca comercial *Carrier*®, modelo *30 XWV 1150*, potência frigorífica de 1107 kW;
 - um equipamento da marca comercial *Carrier*®, modelo *30 XWH 1154*, potência frigorífica de 1115 kW;
- três torres de arrefecimento, da marca comercial *Baltimore*®, modelo *VFL-964 P*, potência do motor de 32,2 kW; como apresentado no Anexo M;
- vinte eletrobombas *Grundfos*®.

Nota: para além das alterações “físicas” no processo de climatização, ter-se-á de proceder a algumas atualizações de programação no sistema de gestão técnica centralizada, que serão mencionadas no subcapítulo 5.4, referente ao estudo económico.

5.2 Soluções tecnológicas de iluminação

A iluminação, como anteriormente descrito no capítulo 4, é responsável por elevados consumos de energia elétrica. Esta situação deve-se à existência de um número não desprezável de lâmpadas incandescentes de halogéneo em funcionamento (60), que corresponde a 48%, pelo que se torna necessária a implementação de lâmpadas fluorescentes de alto rendimento e baixo consumo, ou preferencialmente lâmpadas com tecnologia *LED*, de modo a reduzir consumos energéticos.

Para fundamentar esta proposta tecnológica, considerou-se o levantamento já realizado do tipo de luminárias e lâmpadas existentes, assim como os locais onde se encontram e

respetiva quantidade (96). Uma vez mais, as limitações financeiras *versus* custo, redução de consumos de energia elétrica e durabilidade foram consideradas neste estudo. Como tal, esta proposta cingiu-se a duas áreas específicas, sendo estas os gabinetes de serviços do CCB e o Grande Auditório. Para esta escolha considerou-se dois critérios distintos, sendo estes: (i) abranger espaços com utilização, localização e áreas díspares; (ii) salas com períodos de ocupação distintas. De forma sucinta, podem-se caracterizar os gabinetes como espaços de ocupação diária, por um período de 12 horas, de 2ª a 6ª feira, com área média unitária de 50 m². O Grande Auditório corresponde à maior sala de espetáculos do CCB, com uma área de 1700m², tendo uma ocupação dependente do número de eventos afetos à sala (considerando os respetivos períodos de ensaio, montagem e desmontagem de cenários e de equipamentos de apoio) (54).

Recorrentemente são utilizadas tabelas comparativas pelos fornecedores de lâmpadas de modo a elucidar o consumidor do tipo de equipamento a adquirir. Como se pode verificar na Figura 5.1, para lâmpadas que garantam o mesmo fluxo luminoso (em lúmens¹⁷), existem opções no mercado bastante eficientes e com uma durabilidade superior, para a mesma utilização corrente.

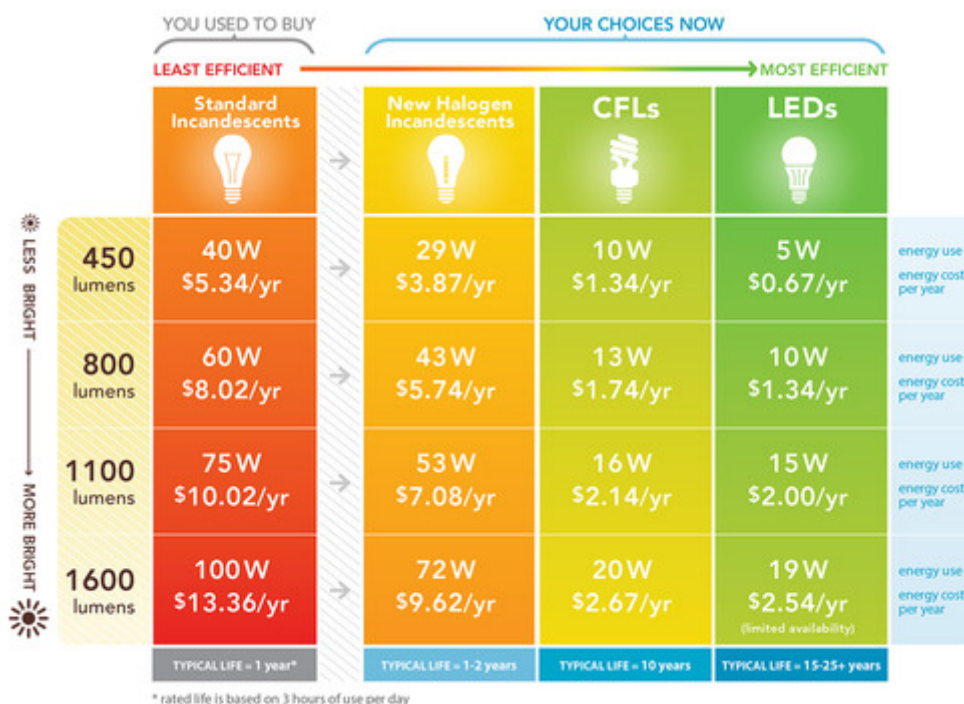


Figura 5.1 - Análise comparativa de lâmpadas

Fonte: (97)

¹⁷ Lúmen (lm) consiste na unidade de média do fluxo luminoso, isto é, a “quantidade de luz” que a lâmpada fornece; 1 lm = 1 cd.sr.

Consequentemente, propôs-se a substituição das lâmpadas incandescentes de halogéneo existentes nos referidos espaços por lâmpadas de tecnologia *LED*, tendo incidido a escolha destas de acordo com a especificidade de cada sala:

- Gabinetes de serviços, marca comercial *Sillaba*®, modelo *LED Seoul Acrich2* – 8,7 W, como apresentado no Anexo N (ou equipamento semelhante);
- Grande auditório, marca comercial *Philips*®, modelo *Master LEDspot LV D 10 W*, como apresentado no Anexo O (ou equipamento semelhante).

Na escolha das lâmpadas ponderou-se a especificidade de cada sala no que diz respeito à tonalidade da luz que é necessário garantir. Como tal, para os gabinetes foram adotadas lâmpadas de tecnologia *LED* com uma tonalidade de “branco neutro” (luz branca), de 4000 K, aconselhável para iluminação de trabalho. No que diz respeito ao Grande Auditório, adotou-se uma tonalidade de “branco quente” (luz amarelada), de 2700 K, aconselhável para iluminação ambiente, espaços de lazer, museus, salas de espetáculos (98).

Tendo como foco o elevado número de horas de funcionamento destes equipamentos, a escolha da marca/modelo da lâmpada teve em consideração esse fator, o que levou à apresentação de lâmpadas com um preço unitário significativo, sendo apenas desejável realizar este investimento expressivo quando o retorno do investimento e a redução de consumos de energia elétrica assim o justifiquem, como se aborda nos subcapítulos 5.4.2 e 5.4.3.

5.3 Soluções tecnológicas para produção de energia elétrica em edifícios

Para um edifício com elevadas necessidades energéticas e cumulativamente com inúmeras restrições arquitetónicas, tornou-se imperativo avaliar soluções para a produção de energia elétrica, de modo a fazer convergir o edifício o mais possível para a sua sustentabilidade energética. Assim, a solução tecnológica que se afigurou mais adequada consistiu em considerar a implementação de painéis fotovoltaicos na cobertura dos três distintos módulos do Centro Cultural de Belém. Outra solução tecnologicamente possível, mas inviável do ponto de vista de impacto visual e enquadramento arquitetónico, consistiria na instalação de turbinas de miniprodução eólica. Como tal, esta opção não foi desenvolvida.

De um modo sucinto, os painéis fotovoltaicos possibilitam a conversão da luz solar para eletricidade. A luz solar ao incidir nas células fotoelétricas, pequenos elementos de sensivelmente 10 cm^2 , possibilita a produção unitária de potência de um a dois Watt (W). As células, constituídas por silício, podem ser de três tipos consoante a estrutura molecular utilizada na sua composição: (i) monocristalina; (ii) policristalina; (iii) amorfa. O silício monocristalino, em detrimento dos outros dois tipos, caracteriza-se por ser o material mais utilizado para a produção das células, atingindo cerca de 60% do mercado, uma vez que a sua estrutura molecular resulta da utilização de um cristal único, potenciando a produção fotovoltaica, o que não se verifica com o silício policristalino (constituído por mais que um cristal) ou amorfo (sem estrutura cristalina). Para que seja possível o aumento da potência das células estas são ligadas em série, constituindo desta forma um módulo fotovoltaico. Normalmente os módulos são constituídos por 33 a 36 células. Por teu turno, os módulos combinados em série e em paralelo, em número suficiente de modo a permitir a produção energética estipulada nos requisitos do projeto, dão origem aos vulgarmente designados por painéis fotovoltaicos, como se pode constatar na Figura 5.2:



Figura 5.2 - Constituição de painéis fotovoltaicos

Fonte: (99)

A energia elétrica gerada pelos painéis é “transmitida” por corrente contínua, contrariamente à maioria dos equipamentos elétricos e sistemas de iluminação, tornando-se desta forma necessário instalar um inversor para converter a corrente contínua em corrente alternada sinusoidal (100); (101).

Para uma maior eficiência deste tipo de instalações, deve-se ter em conta a inclinação e a orientação dos painéis para que a radiação solar incidente, expressa em $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, seja maximizada. Na latitude de Portugal, tal é conseguido com grandes inclinações no inverno (entre 50° e 60°) e pequenas inclinações no verão (entre 5° e 10°). Como não é prático nem económico alterar a inclinação dos painéis consoante as estações do ano, normalmente adotam-se planos com inclinação fixa. Em Portugal, por se situar no hemisfério norte,

devem-se instalar os painéis orientados a sul, sendo aconselhável que em Lisboa, com base em estudos sobre esta temática, a inclinação seja de 38,7° (100).

Considerando o anteriormente mencionado, propôs-se a instalação dos seguintes módulos fotovoltaicos:

- Módulos da marca comercial *Bosch®*, modelo *Solar Module c-SI M60 265W*, como apresentado no Anexo P (ou equipamento semelhante).

Especificamente para a cidade de Lisboa, é possível identificar a radiação solar incidente para todos os edifícios da capital, através de uma aplicação *online* com recurso ao *Google Maps®*. A título informativo, a entidade *Lisboa E-Nova*, promotora da Carta do Potencial Solar do concelho, apresenta ainda a estimativa de produtividade para sistemas solares térmicos e fotovoltaicos (102).

No contexto da miniprodução fotovoltaica, o acesso à atividade de produção elétrica encontra-se limitado pela legislação aplicável, sendo necessário a verificação dos seguintes requisitos cumulativos (103):

- A potência de ligação da unidade de miniprodução não seja superior a 50% da potência contratada;
- A energia elétrica consumida na instalação de utilização seja igual ou superior a 50% da energia elétrica produzida pela unidade de miniprodução.

De acordo com a potência contratada pelo Centro Cultural de Belém, 1744 kW, assim como a energia elétrica consumida anualmente no edifício, o CCB encontra-se legível para a instalação de uma unidade de miniprodução. A verificação de ambos os requisitos foi efetuada no contexto do estudo da viabilidade económica da instalação de painéis fotovoltaicos, presente no Anexo T.

No que concerne ao destino a dar à energia elétrica produzida, a legislação em vigor estipula que o produtor deve “*entregar a totalidade da eletricidade produzida (...) à rede pública de distribuição (...)*.” (104). No entanto, a redução de tarifas aplicadas à miniprodução verificada no final do ano de 2012 colocam os sistemas fotovoltaicos num paradigma, isto é, este meio de produção de energia elétrica nos próximos anos poderá deixar de ser visto como um produto financeiro (para gerar dinheiro), mas sim ser encarado como um instrumento de poupança. Atualmente vende-se a eletricidade à rede pública a 0,32 €/kWh e, por seu turno, compra-se a 0,12 €/kWh (preços de referência do mercado),

como tal não se verifica qualquer interesse em utilizar os sistemas fotovoltaicos numa vertente de autoconsumo. Estima-se que nos próximos anos o preço de compra de eletricidade ultrapasse o valor do kWh gerado pelos sistemas fotovoltaicos, sendo espectável que nesse panorama conceitos como o de autoconsumo e *net metering* ganhem relevância. Num sistema de *net metering* o consumidor utiliza a eletricidade gerada por tecnologias renováveis no seu imóvel e, quando há um excedente, este é enviado para a rede pública para abastecer outros edifícios (105). No contexto desta dissertação, apenas será apresentado no subcapítulo 5.4.4 o estudo de um sistema fotovoltaico num cenário de venda à rede pública. Contudo, a inviabilidade económica do mesmo sistema, mas num cenário de autoconsumo, poderá ser verificada nos cálculos efetuados no Anexo T.

5.4 Viabilidade económica

Para a realização do presente estudo económico foram considerados alguns conceitos, comuns a todas as soluções tecnológicas anteriormente referidas, com o intuito de aferir a viabilidade económica dos investimentos. Estes conceitos, de seguida apresentados, correspondem ainda à nomenclatura usada nas tabelas de cálculo:

- “*Ano*” – Definido pelo intervalo $[0; “n”]$, em que “0” corresponde ao período de tempo compreendido entre a adjudicação à empresa fornecedora do bem até à instalação do(s) equipamento(s). Por sua vez, “n” corresponde ao tempo de vida útil do equipamento, em anos, tendo em consideração as especificações do fabricante;
- “*Investimento*” – Define o valor (em euros, no ano “0”) da aquisição do equipamento e, quando aplicado, do respetivo custo de manutenção afeto da inflação anual após o ano “1”, inclusive;
- “*€/kWh*” – Expressa o valor unitário do custo energético afeto da inflação anual. Para os cálculos efetuados foram arbitrados, para o ano “1”, os valores de 0,12 €/kWh para a eletricidade e de 0,054 €/kWh para o gás natural (valores de referência do mercado);
- “*Redução de custos de consumo*” – Define o valor (em euros) do consumo energético que se irá economizar com a substituição dos equipamentos, visto serem mais eficientes. Especificamente para os painéis fotovoltaicos, este parâmetro será descrito aquando da apresentação do estudo de viabilidade económica, no subcapítulo 5.4.4.

- “*Cash Flow*” – Define o fluxo anual financeiro da medida implementada. Quando o fluxo é positivo, representa que a “*redução de custos*” é superior ao “*investimento*”;
- “*Payback Period*” – Define o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado gerado pela economia do projeto, se iguala ao valor desse investimento, isto é, quando o retorno acumulado é igual a 0.
- “*Return on investment*” (*ROI*) – Expresso em percentagem, define o retorno sobre o investimento, isto é, a relação entre o “*retorno acumulado*” de determinado projeto (“*ganhos*”) relativamente ao “*investimento acumulado*”.

Torna-se imperativo justificar ainda um parâmetro usado para determinação dos conceitos acima descritos, sendo este a inflação anual. Aplicando a determinado custo uma taxa de “*x*”%, permite quantificar o aumento geral do preço dos bens. Com base nas estimativas do Banco de Portugal (106), para esta dissertação foi adotado o valor de 2,5%.

5.4.1 Climatização – Substituição dos *chillers*

Para a realização do estudo económico da substituição dos *chillers* tiveram-se em consideração os fatores de seguida apresentados. Os cálculos detalhados referentes a este estudo encontram-se no Anexo Q.

- Dado o período temporal compreendido entre 2007 e 2012 no estudo da presente dissertação, no que concerne aos consumos de produção de ar frio foram adotados os valores referentes ao ano de 2012, de modo a tornar a análise o mais atual possível;
- Os custos de aquisição, instalação e manutenção dos equipamentos foram obtidos por ponderação face aos valores atuais de mercado, apresentando-se na Tabela 5.1 o resumo destes:

Tabela 5.1 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição dos *chillers*

Resumo de custos (€)	
<i>Chillers</i> (3 unidades)	
Custo unitário	150000 €
Instalação	80000 €
Aquisição e instalação	530000 €
Torres de arrefecimento (3 unidades)	
Custo unitário	55000 €
Aquisição e instalação	165000 €

Eletrobombas (20 unidades)	
Custo unitário	5000 €
Aquisição e instalação	100000 €
Gestão técnica centralizada	
Alterações necessárias	100000 €
Total do investimento	895000 €
Manutenção anual	7000 €

- A redução anual de consumos energéticos, e a conseqüente diminuição de custos de exploração, foram determinados efetuando a diferença entre os consumos registados pelos atuais equipamentos, no ano de 2012, e a previsão de consumos dos novos equipamentos, como apresentado na Tabela 5.2:

 Tabela 5.2 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição dos *chillers*

Redução de consumos e custos			Totais
Redução energética (kWh)	Eletricidade (kWh)	413074	943769 kWh
	Gás natural (kWh)	530695	
Redução de custos (€)	Eletricidade (0,12 €/kWh)		78226 €
	Gás natural (0,054 €/kWh)		

- “*Redução de custos de manutenção*” – Define o valor (em euros) que se irá economizar com a instalação de novos equipamentos mais eficientes que os existentes, uma vez que o custo de manutenção será inferior.

Após a apresentação do estudo realizado para a substituição dos *chillers*, apresenta-se na Tabela 5.3 os cálculos efetuados para determinar o *Payback Period* e o *ROI*, de modo a analisar-se a viabilidade económica do projeto.

 Tabela 5.3 – Estudo de viabilidade económica – Substituição dos *chillers*

Estudo de viabilidade económica - Substituição dos <i>Chillers</i> (€)									
Ano	Investimento	€/kWh		Redução de custos de consumo	Redução de custos de manutenção	Cash Flow	Retorno acumulado	Investimento acumulado	Redução de custos acumulado
		Eletricidade	Gás natural						
0	895000					-895000	-895000	895000	
1	7000	0,120	0,054	78226	9225	80451	-814549	902000	87451
2	7175	0,123	0,055	80182	9456	82463	-732086	909175	177089
3	7354	0,126	0,057	82187	9692	84524	-647562	916529	268968
4	7538	0,129	0,058	84241	9934	86637	-560924	924068	363143
5	7727	0,132	0,060	86347	10183	88803	-472121	931794	459673
6	7920	0,136	0,061	88506	10437	91023	-381098	939714	558616
7	8118	0,139	0,063	90719	10698	93299	-287799	947832	660033
8	8321	0,143	0,064	92987	10966	95631	-192167	956153	763986

9	8529	0,146	0,066	95311	11240	98022	-94145	964682	870537
10	8742	0,150	0,067	97694	11521	100473	6328	973424	979751
11	8961	0,154	0,069	100136	11809	102985	109312	982384	1091697
12	9185	0,157	0,071	102640	12104	105559	214871	991569	1206440
13	9414	0,161	0,073	105206	12407	108198	323070	1000983	1324053
14	9650	0,165	0,074	107836	12717	110903	433973	1010633	1444605
15	9891	0,170	0,076	110532	13035	113676	547648	1020523	1568172
16	10138	0,174	0,078	113295	13361	116518	664166	1030662	1694828
17	10392	0,178	0,080	116128	13695	119431	783597	1041053	1824650
18	10651	0,183	0,082	119031	14037	122416	906013	1051704	1957717
19	10918	0,187	0,084	122006	14388	125477	1031490	1062622	2094112
20	11191	0,192	0,086	125057	14748	128614	1160103	1073813	2233916
<i>Payback Period</i>								9,94	
<i>ROI</i>								108,04%	

Para uma análise sucinta da anterior tabela apresenta-se o gráfico Figura 5.3:

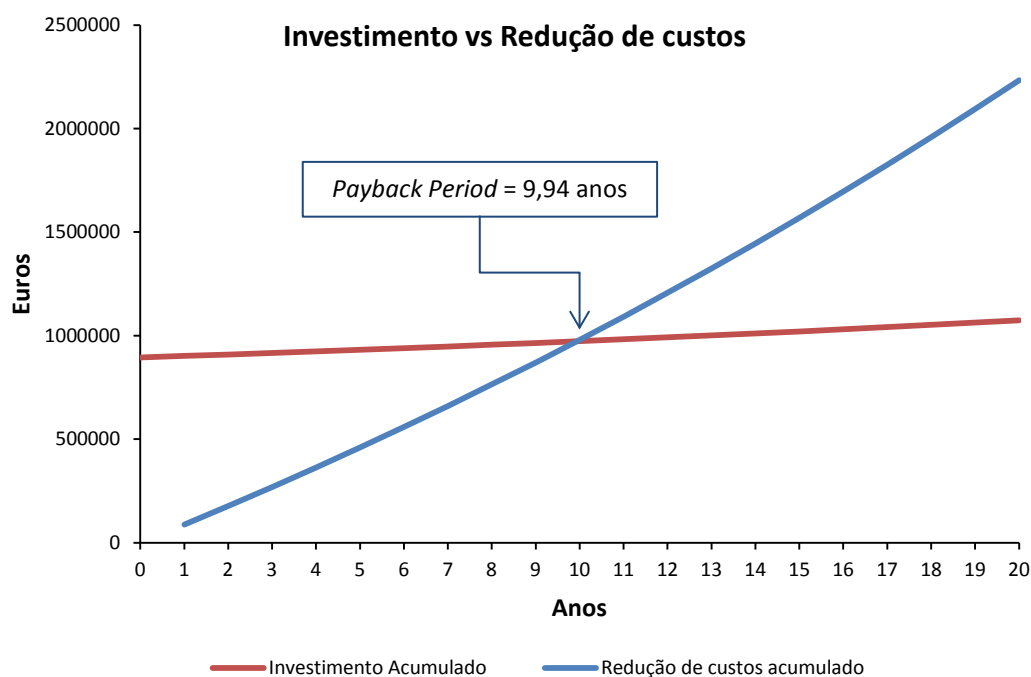


Figura 5.3 – Investimento vs Redução de custos & ROI – Substituição dos chillers

Resumo da viabilidade económica:

- $ROI = 108,04\%$;
- A estimativa para a liquidação do investimento é de 9 anos e 343 dias (*Payback Period*: 9,94 anos), período compreendido no tempo de vida útil dos equipamentos (20 anos).

5.4.2 Iluminação – Substituição de iluminação nos gabinetes

Para a realização do estudo económico da substituição da iluminação nos gabinetes de serviços ponderaram-se os fatores apresentados de seguida. Os cálculos detalhados referentes a este estudo encontram-se no Anexo R.

- Considerou-se que os gabinetes de serviços têm uma ocupação diária (em dias úteis) de 12 horas, repercutidas pelas 52 semanas do ano, ao que se conclui que o recurso à iluminação ocorre num total de 3120 horas anuais.
- Os custos de aquisição e instalação das lâmpadas de tecnologia *LED* foram obtidos por ponderação face aos valores atuais de mercado, apresentando-se na Tabela 5.4 o resumo destes:

Tabela 5.4 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição da iluminação nos gabinetes

Resumo de custos (€)	
Custo unitário do <i>LED</i>	70 €
Total do investimento (384 unidades)	26880 €

- A redução anual de consumos energéticos, e consequente diminuição de custos de exploração, foram determinados efetuando a diferença entre os consumos registados pelas atuais lâmpadas de halogéneo e a previsão de consumos das lâmpadas de tecnologia *LED*, como apresentado na Tabela 5.5:

Tabela 5.5 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição da iluminação nos gabinetes

Redução de consumos e custos		Total
Redução energética (kWh)	Eletricidade (kWh)	31510 kWh
Redução de custos (€)	Eletricidade (0,12 €/kWh)	3781 €

Após a apresentação do estudo realizado para a substituição da iluminação, apresenta-se na Tabela 5.6 os cálculos efetuados para determinar o *Payback Period* e o *ROI*, de modo a analisar-se a viabilidade económica do projeto.

Tabela 5.6 – Estudo de viabilidade económica – Substituição da iluminação nos gabinetes

Estudo de viabilidade económica - Substituição de iluminação nos gabinetes (€)							
Ano	Investimento	€/kWh	Redução de custos de consumo	Cash Flow	Retorno acumulado	Investimento acumulado	Redução de custos acumulado
0	26880			-26880	-26880	26880	
1		0,120	3781	3781	-23099	26880	3781
2		0,123	3876	3876	-19223	26880	7657
3		0,126	3973	3973	-15251	26880	11629
4		0,129	4072	4072	-11179	26880	15701

5		0,132	4174	4174	-7005	26880	19875
6		0,136	4278	4278	-2727	26880	24153
7		0,139	4385	4385	1658	26880	28538
8		0,143	4495	4495	6152	26880	33032
9		0,146	4607	4607	10759	26880	37639
10		0,150	4722	4722	15482	26880	42362
11		0,154	4840	4840	20322	26880	47202
12		0,157	4961	4961	25283	26880	52163
13		0,161	5085	5085	30368	26880	57248
14		0,165	5212	5212	35580	26880	62460
15		0,170	5343	5343	40923	26880	67803
16		0,174	5476	5476	46399	26880	73279
<i>Payback Period</i>					6,62		
<i>ROI</i>					172,62%		

Para uma análise sucinta da anterior tabela apresenta-se o gráfico Figura 5.4:

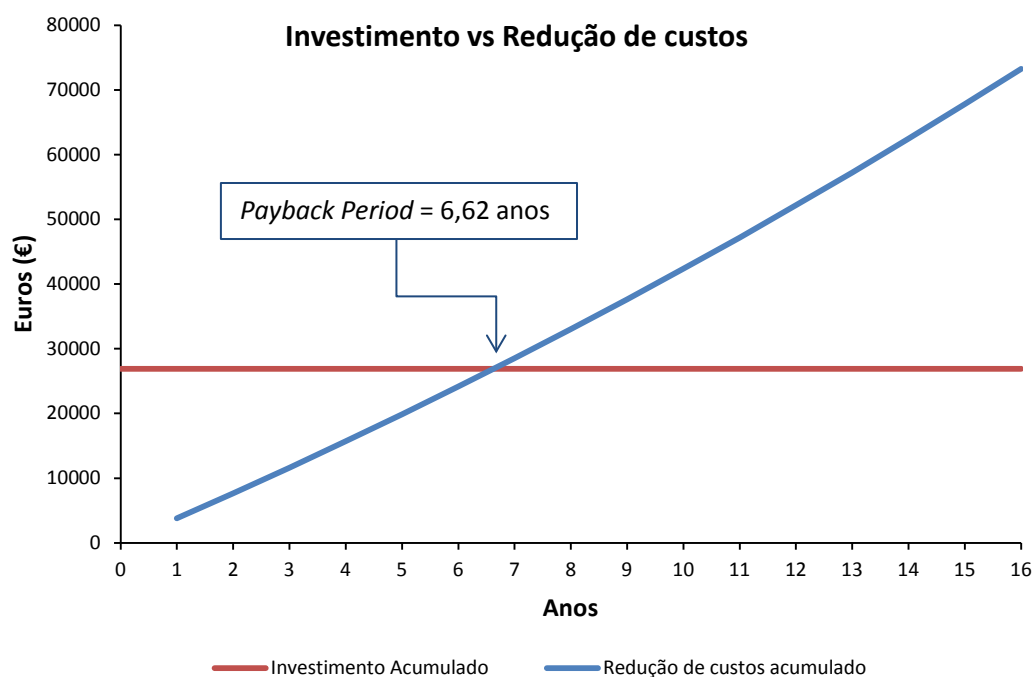


Figura 5.4 – Investimento vs Redução de custos & ROI – Substituição da iluminação dos gabinetes

Resumo da viabilidade económica:

- $ROI = 172,62\%$;
- A estimativa para a liquidação do investimento é de 6 anos e 226 dias (*Payback Period*: 6,62 anos), período compreendido no tempo de vida útil dos equipamentos (16 anos).

5.4.3 Iluminação – Substituição de iluminação no Grande Auditório

Para a realização do estudo económico da substituição da iluminação no Grande Auditório teve-se em conta os fatores de seguida apresentados. Os cálculos detalhados referentes a este estudo encontram-se no Anexo S.

- O Grande Auditório tem uma ocupação diária de 7 horas, repercutidas pelos 365 dias do ano, concluindo-se desta forma que o recurso à iluminação ocorre num total de 2555 horas anuais.
- Os custos de aquisição e instalação das lâmpadas de tecnologia *LED* foram obtidos por ponderação face aos valores atuais de mercado, apresentando-se na Tabela 5.7 o resumo destes:

Tabela 5.7 – Resumo de custos de investimento inicial – Substituição da iluminação no Grande Auditório

Resumo de custos (€)	
Custo unitário do <i>LED</i>	20 €
Total do investimento (212 unidades)	4240 €

- A redução anual de consumos energéticos, e a conseqüente diminuição de custos de exploração, foram determinados efetuando a diferença entre os consumos registados pelas atuais lâmpadas de halogéneo e a previsão de consumos das lâmpadas de tecnologia *LED*, como apresentado na Tabela 5.8:

Tabela 5.8 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Substituição da iluminação no Grande Auditório

Redução de consumos e custos		Total
Redução energética (kWh)	Eletricidade (kWh)	13542 kWh
Redução de custos (€)	Eletricidade (0,12 €/kWh)	1625 €

Após a apresentação do estudo realizado para a substituição da iluminação, apresenta-se na Tabela 5.9 os cálculos efetuados para determinar o *Payback Period* e o *ROI*, de modo a analisar-se a viabilidade económica do projeto.

Tabela 5.9 – Estudo de viabilidade económica – Substituição da iluminação no Grande Auditório

Estudo de viabilidade económica - Substituição de iluminação no Grande Auditório (€)							
Ano	Investimento	€/kWh	Redução de custos de consumo	Cash Flow	Retorno acumulado	Investimento acumulado	Redução de custos acumulado
0	4240			-4240	-4240	4240	
1		0,120	1625	1625	-2615	4240	1625
2		0,123	1666	1666	-949	4240	3291
3		0,126	1707	1707	758	4240	4998
4		0,129	1750	1750	2508	4240	6748
5		0,132	1794	1794	4301	4240	8541
6		0,136	1839	1839	6140	4240	10380
7		0,139	1884	1884	8024	4240	12264
8		0,143	1932	1932	9956	4240	14196
9		0,146	1980	1980	11936	4240	16176
10		0,150	2029	2029	13965	4240	18205
11		0,154	2080	2080	16045	4240	20285
12		0,157	2132	2132	18177	4240	22417
<i>Payback Period</i>					2,56		
<i>ROI</i>					428,71%		

Para uma análise sucinta da anterior tabela apresenta-se o gráfico da Figura 5.5:

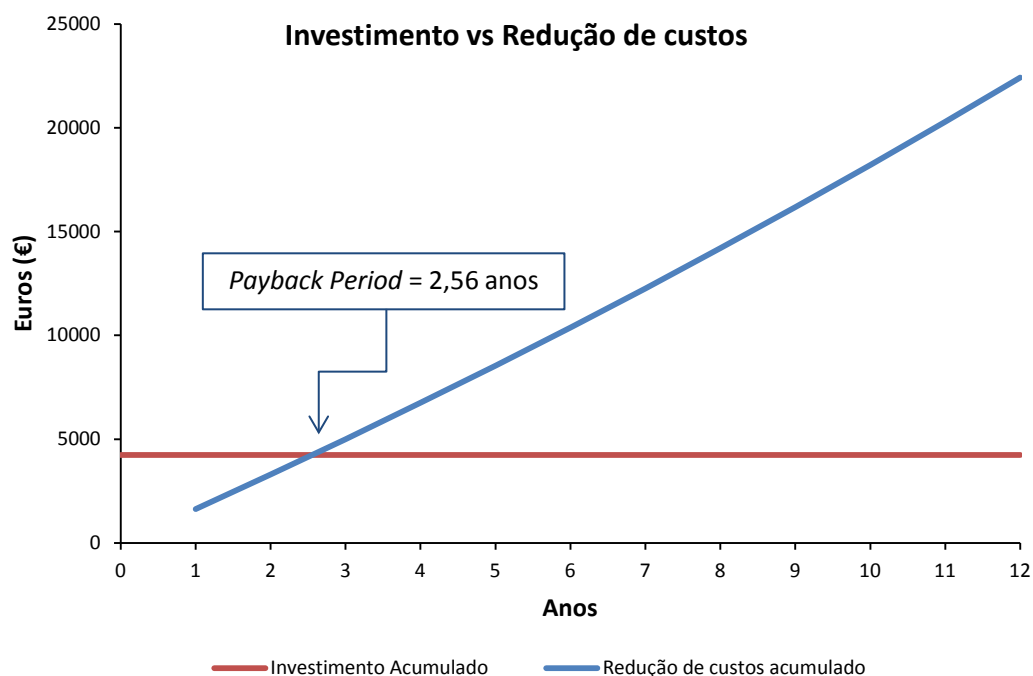


Figura 5.5 – Investimento vs Redução de custos & ROI – Substituição da iluminação no Grande Auditório

Resumo da viabilidade económica:

- $ROI = 428,71\%$;
- A estimativa para a liquidação do investimento é de 2 anos e 204 dias (*Payback Period*: 2,56 anos), período compreendido no tempo de vida útil dos equipamentos (12 anos).

5.4.4 Produção de energia elétrica – Instalação de painéis fotovoltaicos

Para a realização do estudo económico da instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do CCB incluíram-se os fatores de seguida apresentados. Os cálculos detalhados referentes a este estudo encontram-se no Anexo T.

- Foi definida, pelo CCB, que a área útil para a instalação dos painéis será de 300 m², a distribuir pela cobertura do Complexo. Considerando as dimensões de cada módulo fotovoltaico, determinou-se a aquisição total de 182 módulos;
- Os custos de aquisição e instalação dos módulos foram obtidos por ponderação face aos valores atuais de mercado, apresentando-se na Tabela 5.10 o resumo destes:

Tabela 5.10 – Resumo de custos de investimento inicial – Instalação de módulos fotovoltaicos

Resumo de custos (€)	
Módulos (182 unidades)	
Custo unitário	500 €
Instalação	35000 €
Aquisição e instalação	126000 €
Manutenção anual	1260 €

- A produção anual de energia elétrica dos módulos, que consequentemente irá corresponder uma redução de custos na fatura energética, foi estimada considerando as características técnicas do módulo, assim como a radiação incidente média anual para a cidade de Lisboa (100), obtendo-se os valores apresentados na Tabela 5.11:

Tabela 5.11 – Resumo da redução anual de consumos e custos – Instalação de módulos fotovoltaicos

Redução de consumos e custos		Total
Redução energética (kWh)	Eletricidade (kWh)	57819 kWh
Redução de custos (€)	Eletricidade (0,23 €/kWh)	13298 €

- Após a apresentação do estudo realizado para a instalação dos módulos, apresenta-se na Tabela 5.12 os cálculos efetuados para determinar o *Payback Period* e o *ROI*, de modo a analisar-se a viabilidade económica do projeto.

Tabela 5.12 - Estudo de viabilidade económica – Instalação de módulos fotovoltaicos

Estudo de viabilidade económica - Instalação de módulos fotovoltaicos - Venda à rede (€)							
Ano	Investimento	€/kWh	Redução de custos de consumo	Cash Flow	Retorno acumulado	Investimento acumulado	Redução de custos acumulada
0	126000			-126000	-126000	126000	
1	1260	0,230	13298	12038	-113962	127260	13298
2	1292	0,236	13631	12339	-101623	128552	26929
3	1324	0,242	13971	12648	-88975	129875	40900
4	1357	0,248	14321	12964	-76011	131232	55221
5	1391	0,254	14679	13288	-62723	132623	69900
6	1426	0,260	15046	13620	-49103	134049	84946
7	1461	0,267	15422	13961	-35142	135510	100368
8	1498	0,273	15807	14310	-20832	137008	116175
9	1535	0,280	16203	14667	-6165	138543	132378
10	1574	0,287	16608	15034	8869	140116	148985
11	1613	0,294	17023	15410	24279	141729	166008
12	1653	0,302	17448	15795	40074	143382	183457
13	1695	0,309	17885	16190	56265	145077	201341
14	1737	0,317	18332	16595	72859	146814	219673
15	1780	0,325	18790	17010	89869	148594	238463
16	1825	0,333	19260	17435	107304	150419	257723
17	1870	0,341	19741	17871	125175	152290	277465
18	1917	0,350	20235	18318	143493	154207	297699
19	1965	0,359	20741	18776	162268	156172	318440
20	2014	0,368	21259	19245	181513	158186	339699
<i>Payback Period</i>					9,41		
<i>ROI</i>					114,75%		

Para uma análise sucinta da anterior tabela apresenta-se o gráfico da Figura 5.6:

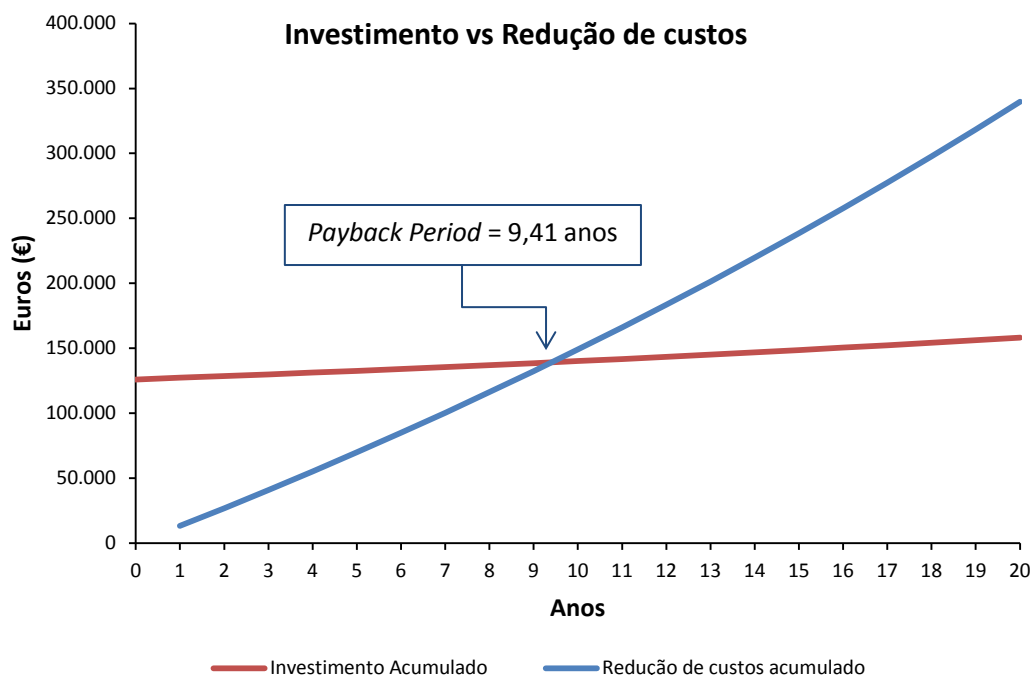


Figura 5.6 - Investimento vs Redução de custos & ROI – Instalação de módulos fotovoltaicos

Resumo da viabilidade económica:

- $ROI = 114,75\%$;
- A estimativa para a liquidação do investimento é de 9 anos e 150 dias (*Payback Period*: 9,41 anos), período compreendido no tempo de vida útil dos equipamentos (20 anos).

Após a apresentação destas quatro medidas, pode-se constatar que em todas as propostas se estima que o investimento seja liquidado, tendo por base o indicador *Payback Period*, considerando que o mesmo é inferior ao período de tempo de vida útil dos equipamentos. No entanto, num ponto de vista de se realizar investimentos visando a criação de riqueza, (especificamente no contexto em que se insere o CCB, para uma redução significativa nos custos de exploração), nas soluções tecnológicas de iluminação verificou-se que todos os negócios são lucrativos, com especial destaque na substituição para lâmpadas de tecnologia *LED* no Grande Auditório, em que é espetável que o retorno sobre o investimento realizado seja de 428,71%, o que se poderá considerar um negócio bastante atrativo.

6 Considerações finais, conclusões e perspetivas futuras

Atualmente as ciências da engenharia civil, arquitetura e respetivas entidades associadas à construção e reabilitação de imóveis deparam-se com um desafio ambicioso de projetar e executar soluções que, simultaneamente, possibilitem o conforto e redução de consumos energéticos. As energias renováveis, técnicas de arrefecimento passivo, ar condicionado e a eficiência energética de equipamentos constituem temáticas que não devem ser encaradas de forma isolada, mas sim como um todo, de modo a que a sua interligação permita que as soluções construtivas implementadas funcionem eficazmente. Contudo este desafio não se traduz apenas na redução de consumos energéticos. Segundo o Presidente do Conselho Europeu, Herman Van Rompuy, estima-se que a reabilitação do parque edificado necessária para atingir as metas estipuladas pela UE estimule a inovação tecnológica e crie dois milhões de novos postos de trabalho diretos no espaço europeu até 2020 (107).

Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) em Portugal, no período compreendido entre 2002 e 2012 (108), embora se tenha verificado uma redução acentuada no número de licenças concedidas pelas câmaras municipais, para imóveis não habitacionais, as intervenções realizadas corresponderam maioritariamente a novas construções, como se pode verificar no gráfico da Figura 6.1:

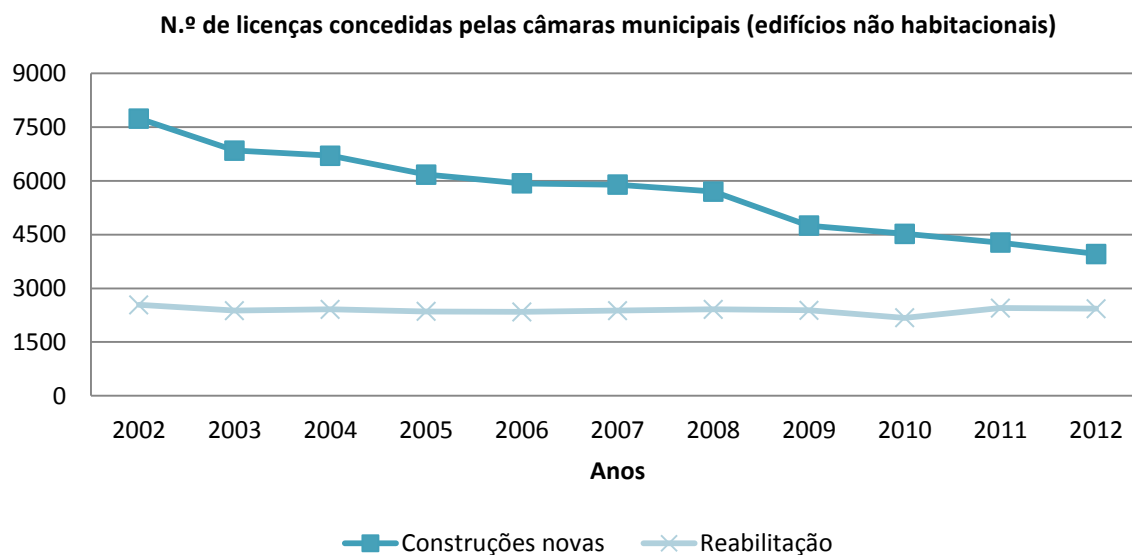


Figura 6.1 – N.º de licenças concedidas pelas câmaras municipais (edifícios não habitacionais)

Realizado com base em: (108)

Observa-se ainda que, face aos novos edifícios construídos, o número de licenças atribuídas para alterações, ampliações e reconstruções (que por simplificação o INE

designou de obras de reabilitação (108)), mantiveram-se praticamente inalteradas no período citado. Perante este cenário, urge a necessidade de abordar o parque imóvel existente numa perspetiva de conservação e manutenção do mesmo. No entanto, a crise financeira atual, assim como o número de imóveis entregues por falta de pagamento dos proprietários às entidades financiadoras dos empréstimos, poderão condicionar o acesso a financiamento perante as entidades bancárias para intervenções de reabilitação. Espera-se, contudo, que sejam concretizadas linhas de crédito, destinadas a operações de reabilitação de edifícios, ao abrigo do QREN ou de outro programa europeu, em linha com as preocupações da Comissão Europeia de redução de consumos energéticos. É de notar que os edifícios são responsáveis por cerca de 40% da energia consumida na Europa (109).

Para além da pesquisa da temática geral supra mencionada, com a realização deste trabalho final de mestrado foi possível caracterizar os consumos energéticos do Centro Cultural de Belém num período de seis anos, desagregados pelos três módulos que constituem o complexo edifício, numa análise que se baseou em dois princípios de estudo: (i) consumos globais; (ii) consumos associados aos processos de climatização, iluminação e tomadas. Apresenta-se em síntese no quadro da Tabela 6.1, os consumos referentes ao último ano estudado, isto é, 2012:

Tabela 6.1 – Síntese de consumos do CCB no ano de 2012

	Área (m ²)	Desagregação de consumos							
		Consumo global		Ilum.&Tomadas		AC-Frio		AC-Quente	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Centro de Reuniões - Módulo 1	33909,00	1825567	53,84	1168163	34,45	476223	14,04	181181	5,34
% relativamente ao Módulo 1		100,00%		63,99%		26,09%		9,92%	
% relativamente ao CCB		27,98%		17,90%		7,30%		2,78%	
Centro de Espetáculos - Módulo 2	24589,50	1115600	45,37	626570	25,48	329596	13,40	159434	6,48
% relativamente ao Módulo 2		100,00%		56,16%		29,54%		14,29%	
% relativamente ao CCB		17,10%		9,60%		5,05%		2,44%	
Centro de Exposições - Módulo 3	43391,90	3583943	82,59	1625852	37,47	1237318	28,51	720774	16,61
% relativamente ao Módulo 3		100,00%		45,36%		34,52%		20,11%	
% relativamente ao CCB		54,93%		24,92%		18,96%		11,05%	

A análise da tabela permite concluir que, por unidade de área, o Centro de Exposições (Módulo 3) caracteriza-se por ser o edifício onde os consumos energéticos são mais elevados. Numa análise abrangente dos três módulos, verifica-se ainda que a iluminação e tomadas, em detrimento dos restantes sistemas consumidores, são responsáveis por um consumo de energia superior. Contudo, para compreender a origem dos citados consumos,

verificou-se a necessidade de estudar a complexidade com que um edifício de serviços é projetado, nomeadamente no fornecimento de energia elétrica e produção de ar condicionado, sendo estes serviços interligados e geridos por um sistema informático centralizado.

Com a tomada de consciência da necessidade de conduzir um edifício de dimensões consideráveis para o uso sustentável de recursos energéticos, complementada pelo esforço para atingir a redução de custos associados ao seu normal funcionamento, levou a que a Direção de Edifícios e Instalações Técnicas do CCB implementasse medidas com o objetivo de alcançar a utilização racional de tais recursos. Considerando os seis anos em estudo, a medida que possibilitou a redução de consumos mais expressiva foi a não utilização dos *chillers*, após novembro de 2011, num período normalmente compreendido entre outubro e março, em que as necessidades de arrefecimento foram garantidas recorrendo exclusivamente ao processo de *free cooling*.

A dissertação desenvolvida permitiu refletir o estudo de soluções tecnológicas que foram analisadas com o intuito de melhorar o desempenho energético do Centro Cultural de Belém. Dever-se-á ter em atenção que estas medidas, apesar de deterem potencial para implementação em edifícios de serviços, foram estudadas de acordo com considerações específicas que se enquadram na realidade do CCB. Das três soluções em estudo, entenda-se, vocacionadas para a climatização (substituição dos *chillers*), iluminação (substituição por lâmpadas de tecnologia *LED*) e produção de energia elétrica (instalação de painéis solares fotovoltaicos), respetivamente, a única que se apresenta como carácter obrigatório, de acordo com as imposições legislativas, consiste na substituição dos *chillers*, implicando que o investimento seja efetuado até término do ano de 2014. Este investimento, estimado em 895000€, irá possibilitar uma redução do custo anual de energia de 78226 €, após o primeiro ano de implementação do novo sistema de climatização. Esta economia advém do facto de equipamentos mais eficientes apresentarem necessidades de energia inferiores para o seu funcionamento, face aos atuais, traduzindo-se numa redução de consumos energéticos e, conseqüentemente, no decréscimo do valor acima mencionado na exploração do Centro. Pesa o facto deste trabalho ter unicamente um carácter académico, no entanto a DEIT poderá equacionar a implementação das restantes duas soluções estudadas, na medida em que para a sua concretização, poder-se-á valer dos proveitos dos fluxos financeiros obtidos com a substituição dos *chillers*. Tendo como metodologia recorrer à economia de medidas implementadas para futuros investimentos, esta linha de raciocínio

poderá conduzir gradualmente o Centro Cultural de Belém para um edifício energeticamente mais eficiente e com custos de exploração mais reduzidos face ao atual quadro. Este trabalho permitiu ainda concluir que o ineficiente comportamento térmico da maioria dos materiais de construção aplicados no CCB conduz a uma utilização mais expressiva dos recursos de climatização, traduzindo-se tal facto num acréscimo de custos para garantir o normal funcionamento do edifício. Contudo, do ponto de vista arquitetónico e económico, não serão exequíveis alterações/substituições de elementos construtivos que possibilitem uma melhoria do comportamento térmico do Complexo.

Face ao exposto nestas considerações finais, esta dissertação demonstrou deter um importante carácter multidisciplinar, abrangendo distintas áreas como as ciências da eletrotecnia, mecânica, telecomunicações e economia que, associados a conhecimentos de engenharia civil, se verificaram ser bastante enriquecedores na formação académica e pessoal.

Como perspetivas futuras apresenta-se o estudo de programas de modelação que possibilitam a análise de comportamento térmico e energético de edifícios. Estes *softwares*, como é exemplo o *Design Builder*®, possibilitam inúmeras funcionalidades das quais se destaca (110): (i) construção de edifícios em 3D, assim como a importação de ficheiros de desenho assistido por computador (exemplo: *AutoCAD*®); (ii) implementação de sistemas de AVAC; (iii) modelação de sistemas de ventilação natural; (iv) configuração de vãos envidraçados, definindo parâmetros como o tipo de vidro e o número de divisórias horizontais e verticais; (v) criação de sistemas de sombreamento interiores (estores) e exteriores (palas horizontais e verticais); (vi) modelação da iluminação, natural e artificial; (vii) atribuição de dados climáticos; (viii) definição do número de equipamentos eletrónicos existentes, assim como da ocupação humana espectável. Adicionalmente, acoplado ao modelo *EnergyPlus*®, permite simular ciclos anuais de desempenho energético do edifício, e estudar as soluções tecnológicas com imenso detalhe e com uma base física, permitindo obter, com maior exatidão, as medidas passíveis de implementar, tendo como principal objetivo a sustentabilidade e a eficiência energética dos imóveis, assegurando desta forma o menor investimento possível associado a determinada melhoria. Ainda numa vertente investigação, como desenvolvimento futuro, menciona-se o estudo aprofundado de técnicas de arrefecimento passivo quando aplicadas a edifícios de serviços.

Bibliografia

1. **APREN - Associação de Energias Renováveis.** APREN. *Dados Técnicos*. [Online] [Citação: 04 de maio de 2013.] www.apren.pt/dadostecnicos/index.php?id=47&cat=34.
2. **Monteiro, Ana David.** *O impacto das energias renováveis na economia dos países emergentes: o caso de Cabo Verde*. s.l. : ISCTE - IUL, 2012. p. 26.
3. **APREN - Associação de energias renováveis.** APREN. *Dados Técnicos*. [Online] [Citação: 04 de Maio de 2013.] www.apren.pt/dadostecnicos/index.php?id=47&cat=34.
4. **EIA - Energy Information Administration.** *International Energy Outlook 2013*. 2013. p. 2. DOE/EIA - 0484(2013).
5. **EIA - Energy Information Administration.** Long-Term World Oil Supplies. *Long-Term World Oil Supply Scenarios*. [Online] 18 de agosto de 2004. [Citação: 04 de maio de 2013.] http://www.eia.gov/pub/oil_gas/petroleum/feature_articles/2004/worldoilsupply/oilsupply04.html.
6. **INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.** Energias endógenas de Portugal. *Gráficos - Evolução da potência*. [Online] [Citação: 21 de dezembro de 2013.] <http://e2p.inegi.up.pt/>.
7. **Costa, António Sá da.** Ponto de vista sobre a nova versão do Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis. *Edifícios e Energia*. 2013, Vol. 87, pp. 30-31.
8. **União Europeia.** União Europeia. *Como funciona a UE - Países*. [Online] 2013. [Citação: 22 de maio de 2013.] http://europa.eu/about-eu/countries/member-countries/index_pt.htm.
9. **Comissão Europeia.** *Desafio e políticas no domínio da energia*. s.l. : Comissão Europeia, 2013. Anexo 1: Progressos para os objetivos de 2020; Execução da Diretiva Energias Renováveis.
10. **PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo.** PORDATA. *Pordata - Europa - Ambiente, Energia e Território - Poluição Atmosférica*. [Online] [Citação: 01 de Maio de 2013.]

[http://www.pordata.pt/Europa/Emissao+de+gases+com+efeito+de+estufa+\(potencial+de+a+quecimento+global\)+total+e+por+alguns+sectores+de+emissao+de+gases-1481](http://www.pordata.pt/Europa/Emissao+de+gases+com+efeito+de+estufa+(potencial+de+a+quecimento+global)+total+e+por+alguns+sectores+de+emissao+de+gases-1481).

11. **União Europeia.** *Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009.* s.l. : Jornal Oficial da União Europeia, 2009. p. L 140/17. Consideração (7).

12. **União Europeia.** *Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009.* s.l. : Jornal Oficial da União Europeia, 2009. p. L 140/27. Artigo 1.º.

13. **União Europeia.** Europa. *Sínteses da legislação da UE - Ambiente - Luta contra as alterações climáticas.* [Online] 04 de abril de 2011. [Citação: 24 de maio de 2013.] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm.

14. **União Europeia.** *Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009.* s.l. : Jornal Oficial da União Europeia, 2009. p. L 140/16. Consideração (1).

15. **Governo de Portugal.** Ministério da Agricultura e do Mar. [Online] [Citação: 29 de maio de 2013.] <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministerio-da-agricultura-e-do-mar.aspx>.

16. **Governo de Portugal.** *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013.* s.l. : Diário da República, 2013. p. 2022. Vols. 1ª série - N.º 70 - 10 de abril de 2013.

17. **Governo de Portugal.** *Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008.* s.l. : Diário da República, 2008. p. 2824. Vols. 1ª série - N.º 97 - 20 de maio de 2008 .

18. **Governo de Portugal.** *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013.* s.l. : Diário da República, 2013. p. 2023. Vols. 1ª série - N.º70 - 10 de abril de 2013.

19. **Cabral, Pedro.** *O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020: Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis.* s.l. : Associação Portuguesa de Energia, 2013. p. 8.

20. **DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia.** *Portugal Eficiência 2015.* s.l. : ADENE - Agência para a Energia, 2008. pp. 15,23,38.

-
21. **APREN - Associação de Energias Renováveis; "et al".** *PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis*. 2010. p. iii.
 22. **Cabral, Pedro.** *O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020: Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis*. s.l. : Associação Portuguesa de Energia, 2013. p. 29.
 23. **APREN - Associação de Energias Renováveis; "et al".** *PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis*. 2010. p. 14.
 24. **Eurostat.** *EU27 energy dependence rate at 54% in 2011*. 2013. p. 2.
 25. **Comissão Europeia.** *Progressos realizados no cumprimento dos objetivos de Quioto*. s.l. : Comissão Europeia, 2012. p. 8.
 26. **Governo de Portugal.** *RMUEL - Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa*. s.l. : Diário da República, 2009. p. 1454. Vols. 2ªSérie - N.º8 - 13 de janeiro de 2009, Artigo 60.º - ponto 6.
 27. **Governo de Portugal.** *RMUEL - Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa*. s.l. : Diário da República, 2009. p. 1455. Vols. 2ªSérie - N.º8 - 13 de janeiro de 2009, Artigo 63.º - ponto 8.
 28. **Câmara Municipal de Lisboa.** *PDML - Regulamento do Plano Diretor Municipal de Lisboa*. s.l. : Câmara Municipal de Lisboa, 2012. p. 24. Artigo 20.º.
 29. **BCSD Portugal - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável.** *Manual de boas práticas de eficiência energética*. 2005. p. 8.
 30. **PER - Portal das Energias Renováveis.** Portal das Energias Renováveis. *Glossário*. [Online] [Citação: 1 de julho de 2013.] <http://www.energiasrenovaveis.com/>.
 31. **PER - Portal das Energias Renováveis.** Portal das energias renováveis. [Online] 2009. [Citação: 11 de Setembro de 2013.] <http://www.energiasrenovaveis.com/>.
 32. **APREN - Associação de Energias Renováveis.** APREN. [Online] [Citação: 11 de Setembro de 2013.] <http://www.apren.pt/>.
 33. **INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.** Energias endógenas de Portugal . [Online] [Citação: 11 de Setembro de 2013.] <http://e2p.inegi.up.pt/>.

34. **APREN - Associação de Energias Renováveis.** APREN. *Energias renováveis - Eólica.* [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2013.] <http://www.apren.pt/gca/?id=49>.
35. **EDP - Energias de Portugal.** ecoedp. *Gerar a sua própria energia - Energia Eólica.* [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2013.] <http://www.eco.edp.pt/pt/energia-eolica>.
36. **APREN - Associação de Energias Renováveis.** APREN. *Energias renováveis - Solar.* [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2013.] <http://www.apren.pt/gca/?id=52>.
37. **EDP - Energias de Portugal.** ecoedp. *Gerar a sua própria energia - Energia solar e painéis solares.* [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2013.] <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/gerar/gerar-a-sua-propria-energia/energia-solar-paineis-solares>.
38. **Programa de Eficiência Energética na Administração Pública.** ECO.AP. *Âmbito.* [Online] Janeiro de 2011. [Citação: 15 de Setembro de 2013.] <http://ecoap.adene.pt/ambito>.
39. **Programa de Eficiência Energética na Administração Pública.** ECO.AP. *Áreas.* [Online] Janeiro de 2011. [Citação: 15 de Setembro de 2013.] <http://ecoap.adene.pt/areas>.
40. **QREN - Quadro de Referência Estratégica Nacional.** *Glossário POPH.* p. 2.
41. **QREN - Quadro de Referência Estratégica Nacional.** QREN. *Programas Operacionais.* [Online] [Citação: 01 de Outubro de 2013.] <http://www.qren.pt/np4/POs>.
42. **IFDR - Instituto Financeiro para o Desenvolvimento Regional.** IFDR. *Iniciativa JESSICA Portugal.* [Online] 2009. [Citação: 19 de Setembro de 2013.] <http://www.ifdr.pt/content.aspx?menuid=362>.
43. **JESSICA Holding Found Portugal.** Fundo JESSICA Portugal. [Online] [Citação: 19 de Setembro de 2013.] <http://www.fundojessicaportugal.org/>.
44. **Iniciativa JESSICA Portugal.** *Iniciativa JESSICA - Perguntas Frequentes.* 2008.
45. **Governo de Portugal.** igespar - Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico. *Património - Património imóvel.* [Online] [Citação: 01 de Outubro de 2013.] <http://www.igespar.pt/pt/patrimonio/pesquisa/geral/patrimonioimovel/>.
46. **Lisboa E-Nova; APISOLAR.** UrbanSolPlus. *UrbanSolPlus em Portugal.* [Online] Junho de 2011. [Citação: 04 de Setembro de 2013.] <http://www.urbansolplus.eu/pt/>.

-
47. **APISOLAR.** *Aproveitar o sol nos edifícios de Lisboa.* 2011.
48. **Governo de Portugal.** *RCCTE - Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios.* s.l. : Diário da República, 2006. Vols. 1ª série-A, N.º 67 de 4 de abril de 2006, Artigo 2.º - ponto 9 c).
49. **Universidade de Lisboa.** Universidade Verde de Lisboa. *Painéis Fotovoltaicos.* [Online] Dezembro de 2012. [Citação: 04 de Dezembro de 2013.] <http://universidadeverde.campus.ul.pt/paineis-fotovoltaicos>.
50. **Caixa Geral de Depósitos.** CGD. *Institucional - Ambiente - Central Solar.* [Online] 2009. [Citação: 10 de Outubro de 2013.] <https://www.cgd.pt/Institucional/Caixa-Carbono-Zero/Projectos/Pages/Central-Solar.aspx>.
51. **Climatização.** Gestão Técnica Centralizada - Um enorme potencial de ponpança! *Climatização.* 2010, Vol. 69, pp. 6-14. Tema de capa.
52. **Banco de Portugal.** *A Sede do Banco de Portugal - Reabilitação e Restauro.* Lisboa : s.n., 2012. p. 5. ISBN 978-989-678-145-3.
53. **Fundação Calouste Gulbenkian.** Gulbenkian. *Fundação - História e Missão.* [Online] [Citação: 29 de Setembro de 2013.] <http://www.gulbenkian.pt/Institucional/pt/Fundacao/HistoriaEMissao?a=22>.
54. **Fundação Centro Cultural de Belém.** *Nota Técnica.* Lisboa : DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas, 2010.
55. **Fundação de Arte Moderna e Contemporânea - Coleção Berardo.** *Informação e Estatística.* Lisboa : FAMC-CB, 2012. p. 1.
56. **Fundação de Arte Moderna e Contemporânea - Coleção Berardo.** Museu Berardo. *O Colecionador.* [Online] Museu Coleção Berardo, 2007. [Citação: 1 de Maio de 2013.] <http://pt.museuberardo.pt/>.
57. **Fundação de Arte Moderna e Contemporânea - Coleção Berardo.** *Relatório e Contas.* Lisboa : FAMC-CB, 2011. p. 14.
58. **Santos, Jaime A.** *Liquefação dos Solos (Recomendações do Euro Código 8).* Lisboa : UTL-IST (DECivil). p. 2.

59. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Posto de Transformação - Esquema Geral.* Documentação confidencial. Peça desenhada: PT-DF-001.
60. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. p. 21. CE0000032567730.
61. **Contimetra - Instalações Mecânicas Lda.** Contimetra. *Catálogos - Controladores digitais DDC.* [Online] [Citação: 29 de Setembro de 2013.] <http://www.sistimetra.pt/paginas/comuns/catalogos/arcondicionado/produtos/178/28/>.
62. **Hormigo, João Antunes.** *Relatório Técnico: Seia - Contact Center - HVAC e GTC.* 2011. Documentação confidencial.
63. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Sistema de Gestão Técnica - Configuração.* Documentação confidencial. Peça desenhada: 0226-00/Conf.
64. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Visita da equipa técnica do Centro Cultural de Belém.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão da Manutenção, 1998. Documentação confidencial.
65. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Produção de água quente e fria - Esquema de princípio hidráulico.* Documentação confidencial. Peça desenhada: DEIT 021 08 001.
66. **Air Liquide.** *Ficha de dados de segurança.* Algés : S.P.A.L. "Ar Liquido" Lda., 2010. p. 1.
67. **EFFETEC.** EFFETEC International Inc. *Resources - Chiller.* [Online] [Citação: 29 de Maio de 2013.] <http://www.efftec.com/resources/chiller-basics.php>.
68. **KVA Stainless.** KVA Stainless. *Applications - Heat Exchange.* [Online] [Citação: 02 de Maio de 2013.] <http://www.kvastainless.com/heat-exchangers.html>.
69. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Ventiloconvectores.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão da Manutenção. Documentação confidencial.
70. **Verlag Dashofer.** Reabilitação e Manutenção de Edifícios Online. *Climatização.* [Online] [Citação: 16 de Setembro de 2013.] <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/>.

-
71. **Contimetra - Instalações Mecânicas Lda.** *Cadernos Técnicos - Aplicações de Sistemas VAV.* s.l. : Contimetra - Instalações Mecânicas Lda. p. A 3.12.
72. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Ventiladores.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão da Manutenção. Documentação confidencial.
73. **Governo de Portugal.** *Portaria n.º 1532/2008.* s.l. : Diário da República, 2008. p. 9093. Vols. 1.ª série — N.º 250 — 29 de dezembro de 2008, Artigo 173º.
74. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Rede de incêndios.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão e Manutenção. Documentação confidencial.
75. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. p. 1. CE0000032567730.
76. **GreenTime.** GreenTime. *Certificação.* [Online] [Citação: 24 de Setembro de 2013.] <http://www.greentime.pt/certificacao.html>.
77. **ADENE - Agência para a Energia.** *Certificação Energética e Ar Interior - Edifícios. Certificação de Edifícios - Validade dos certificados.* [Online] [Citação: 07 de Outubro de 2013.] <http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Apresentacao/Certificacaodeedificios/Paginas/Validadedoscertificados.aspx>.
78. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 19,21. CE0000032567730.
79. **ADENE - Agência para a Energia.** *Certificação Energética e Ar Interior. Processo da certificação - Classes de desempenho energético.* [Online] [Citação: 03 de Maio de 2013.] <http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Apresentacao/ProcessodaCertificacao/Paginas/Classesdedesempenhoenergetico.aspx>.
80. **Governo de Portugal.** *Portaria n.º 349-A/2013 de 29 de novembro.* s.l. : Diário da República, 2013. pp. 6624-(13). Vols. 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013, Artigo 1.º.

81. **Governo de Portugal.** *Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro.* s.l. : Diário da República, 2013. pp. 6624-(18). Vols. 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013, Artigo 1.º.
82. **Governo de Portugal.** *Portaria n.º 349-C/2013 de 2 de dezembro.* s.l. : Diário da República, 2013. pp. 6628-(20). Vols. 1.ª série — N.º 233 — 2 de dezembro de 2013, Artigo 1.º.
83. **Governo de Portugal.** *Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro.* s.l. : Diário da República, 2013. pp. 6644-(2). Vols. 1.ª série — N.º 235 — 4 de dezembro de 2013, Artigo 1.º. 1.ª série — N.º 235 — 4 de dezembro de 2013.
84. **ADENE - Agência para a Energia.** *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE.* 2011. p. 40.
85. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 19,26. CE0000032567730.
86. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 3-15; 15; 15-19; 19. CE0000032567730.
87. **ADENE - Agência para a Energia.** *Método de cálculo simplificado para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE.* s.l. : ADENE, 2009. p. 2. Ponto 4 - Valores de referência. NT-SCE-01.
88. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 3-15. CE0000032567730.
89. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. p. 15. CE0000032567730.
90. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 15-19. CE0000032567730.
91. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.* Lisboa : ADENE, 2010. p. 19. CE0000032567730.

-
92. **ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.** Healthy Heating. *Thermal Comfort Working.* [Online] [Citação: 01 de Dezembro de 2013.] http://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/Images/Table_1.JPG.
93. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Obras realizadas pela Divisão de Gestão Técnica.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão e Manutenção. Documentação confidencial.
94. **Coelho, José e Rodrigues, Filipe.** *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior - CCB.* Lisboa : ADENE, 2010. pp. 2; 19-22; 23; 25-27. CE0000032567730.
95. **União Europeia.** *Regulamento (CE) n.º 1005/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Setembro de 2009.* s.l. : Jornal Oficial da União Europeia, 2009. p. L 286/9. Artigo 11.º - Ponto 3.
96. **DEIT - Direção de Edifícios e Instalações Técnicas.** *Armaduras e lâmpadas.* s.l. : FCCB - Serviço de Gestão da Manutenção. Documentação confidencial.
97. **Planetsave.** Planetsave. *Green Your Life.* [Online] [Citação: 17 de Novembro de 2013.] <http://planetsave.com/2013/11/27/5-green-gifts-will-keep-green-pocket/>.
98. **Comissão Europeia.** Energia. *Lâmpadas economizadoras.* [Online] [Citação: 16 de Dezembro de 2013.] http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/howtochoose/packaging/packaging_pt.htm.
99. **Electrónica PT.** Electrónica. *Energia Solar - Painel Solar Fotovoltaico.* [Online] [Citação: 20 de Outubro de 2013.] <http://www.electronica-pt.com/energia-solar/painel-solar-fotovoltaico>.
100. **Castro, Rui M. G.** *Introdução à energia fotovoltaica.* Lisboa : UTL - IST (DEEC), 2008.
101. **Fotovoltaicos, Painéis Solares e.** Painéis Solares. *Como funcionam os painéis solares fotovoltaicos?* [Online] [Citação: 2 de Dezembro de 2013.] <http://www.paineissolaresfotovoltaicos.com/>.

102. **E-Nova, Lisboa.** Lisboa E-Nova. *Carta do Potencial Solar do Concelho de Lisboa*. [Online] [Citação: 20 de Dezembro de 2013.] <http://lisboaenova.org/cartasolarlisboa>.
103. **Governo de Portugal.** *Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de março*. s.l. : Diário da República, 2011. Vols. 1ª série - N.º 47 - 8 de março de 2011, Artigo 3º.
104. **Governo de Portugal.** *Decreto-Lei n.º 25/2013*. s.l. : Diário da República, 2013. p. 1044. Republicação do Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro - Artigo 6.º. 1ª série - n.º 35 - 19 de fevereiro de 2013.
105. **Edifícios e Energia.** *Edifícios e Energia*. 2013. pp. 44-46. Vol. 86.
106. **Banco de Portugal.** *Projeções para a economia portuguesa: 2013-2015*. s.l. : Banco de Portugal, 2013. p. 18.
107. **EurActiv.** EurActiv - European Union Information Website. *Energy - News*. [Online] 08 de Outubro de 2013. [Citação: 30 de Novembro de 2013.] <http://www.euractiv.com/energy/van-rompuy-flags-buildings-effic-news-530945>.
108. **INE - Instituto Nacional de Estatística.** *Estatísticas da Construção e Habitação*. s.l. : INE, Volumes: 2002 a 2012.
109. **União Europeia.** *Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios*. s.l. : Jornal Oficial da União Europeia, 2012. p. L 153/13. Consideração (3).
110. **Natural Works.** Design Builder Software. *Interface para o EnergyPlus*. [Online] [Citação: 27 de Dezembro de 2013.] <http://www.natural-works.com/db/interface-para-o-energyplus>.

Anexos

Anexo A	Consumos globais e consumos desagregados pelos sistemas consumidores no período 2007-2012.....	1
Anexo B	Horários de média tensão	3
Anexo C	Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior	5
Anexo D	Determinação da classe de desempenho energético	33
Anexo E	Pormenores construtivos (sem escala).....	35
Anexo F	Indicadores de consumo kWh/pessoa.ano	47
Anexo G	Análise de consumos – Módulo 1	49
Anexo H	Análise de consumos – Módulo 2	51
Anexo I	Análise de consumos – Módulo 3	53
Anexo J	Taxa de ocupação	55
Anexo L	Soluções tecnológicas de climatização (<i>chillers</i>)	57
Anexo M	Soluções tecnológicas de climatização (torres de arrefecimento).....	67
Anexo N	Soluções tecnológicas de iluminação (gabinetes)	71
Anexo O	Soluções tecnológicas de iluminação (Grande Auditório)	75
Anexo P	Soluções tecnológicas para produção de energia elétrica (Módulos fotovoltaicos).....	79
Anexo Q	Viabilidade económica – Substituição dos <i>chillers</i>	81
Anexo R	Viabilidade económica – Iluminação nos gabinetes	83
Anexo S	Viabilidade económica – Iluminação no Grande Auditório.....	85
Anexo T	Viabilidade económica – Instalação de módulos fotovoltaicos	87

**Anexo A Consumos globais e consumos desagregados pelos sistemas
consumidores no período 2007-2012**

Apenas disponível em formato digital

Anexo B Horários de média tensão

[empresas](#) > [Tarifas e Horários](#) > [Horários](#) > Horários Média Tensão

Horários Média Tensão

	horário de Inverno	horário de Verão
ponta	das 09:30 às 11:30 das 19:00 às 21:00	das 10:30 às 12:30 das 20:00 às 22:00
cheias	das 08:00 às 09:30 das 11:30 às 19:00 das 21:00 às 22:00	das 09:00 às 10:30 das 12:30 às 20:00 das 22:00 às 23:00
vazio normal	das 22:00 às 02:00 das 06:00 às 08:00	das 23:00 às 02:00 das 06:00 às 09:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00

Horários

Este texto foi escrito ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

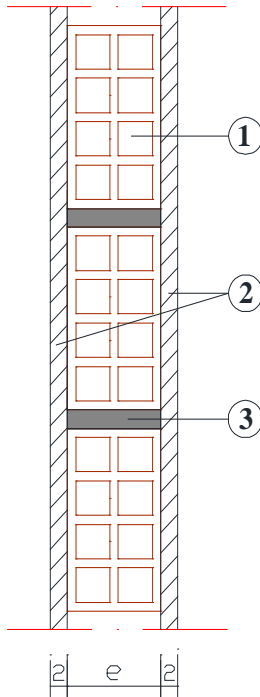
**Anexo C Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar
Interior**

Anexo D Determinação da classe de desempenho energético

Apenas disponível em formato digital

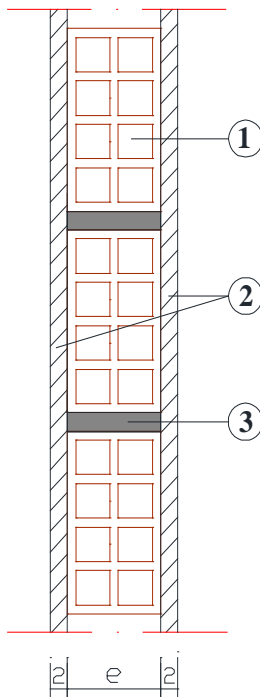
Anexo E Pormenores construtivos (sem escala)

- Paredes
 - Parede interior de alvenaria (Tabela 4.3):



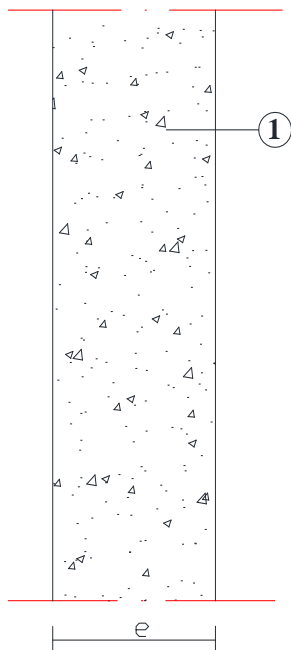
- 1- Tijolo cerâmico furado
 - 2- Reboco tradicional de 2 cm
 - 3- Argamassa de assentamento
- “e” - Espessura variável (7, 11, 15 e 20 cm)

- Parede exterior de alvenaria (Tabela 4.4):



- 1- Tijolo cerâmico furado
 - 2- Reboco tradicional de 2 cm
 - 3- Argamassa de assentamento
- “e” - Espessura variável (11 e 15 cm)

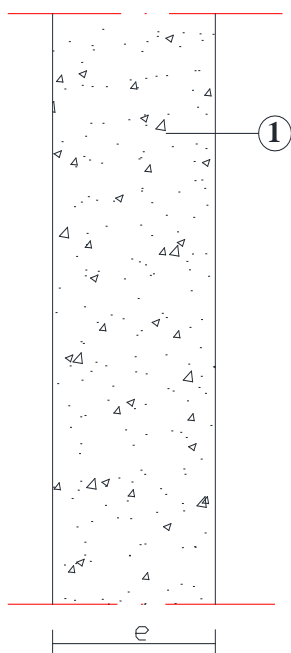
- Parede interior de betão armado (Tabela 4.5):



1- Betão armado

“e” - Espessura variável (15, 20, 25, 40 e 60 cm)

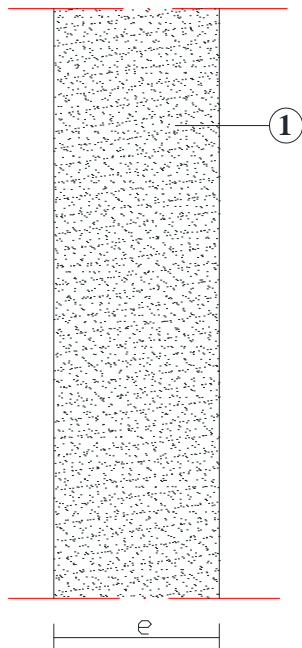
- Parede exterior de betão armado (Tabela 4.6):



1- Betão armado

“e” - Espessura variável (20, 25, 40 e 60 cm)

- Parede exterior de *layer* genérico (Tabela 4.7):

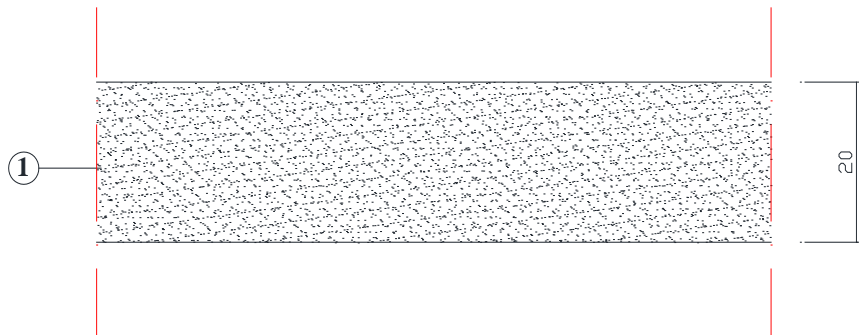


1- *Layer* genérico

“e” - Espessura variável (20, 25, 40 e 60 cm)

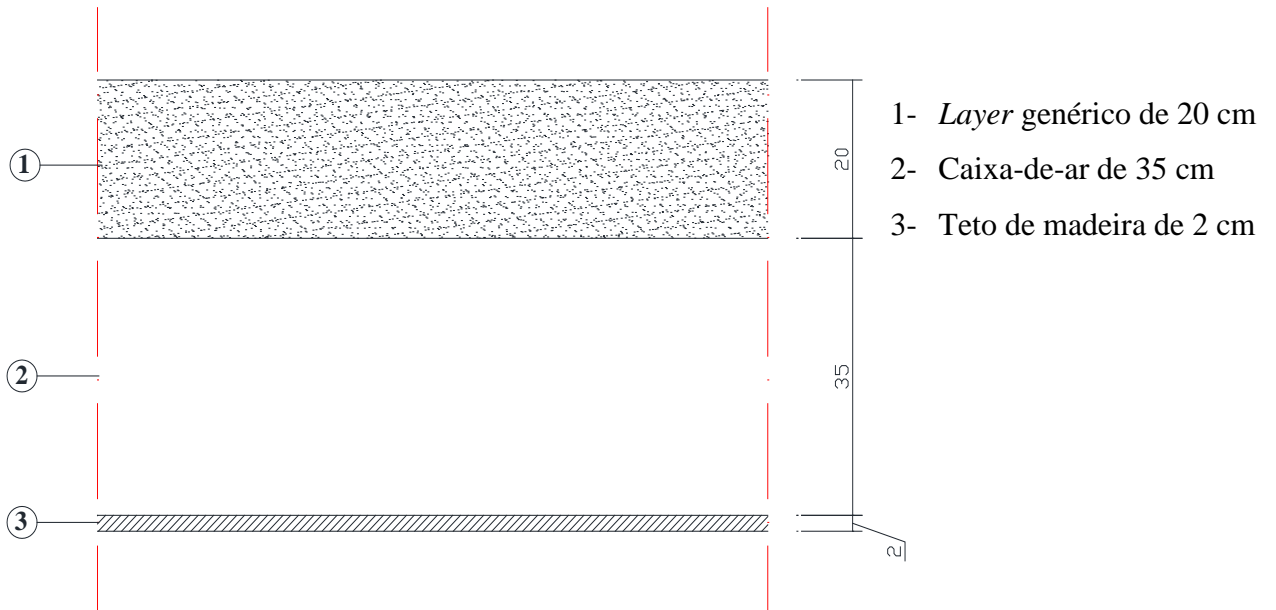
- Coberturas (Tabela 4.8):

- Cobertura plana de *layer* genérico [Tipo (i)]:

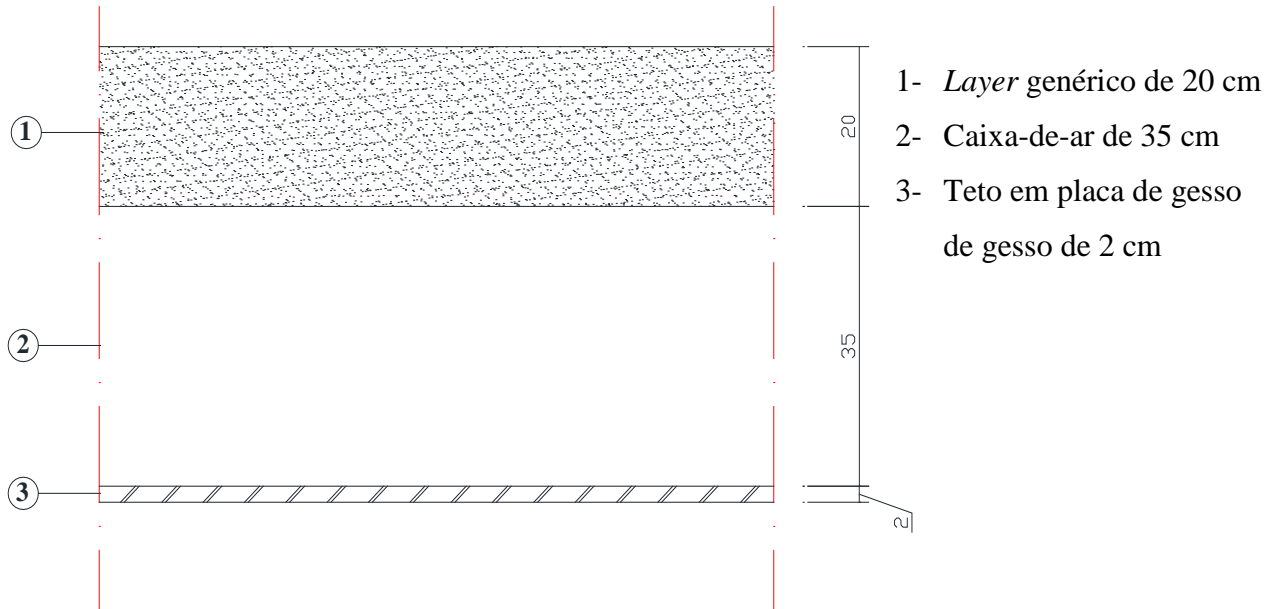


1- *Layer* genérico de 20 cm

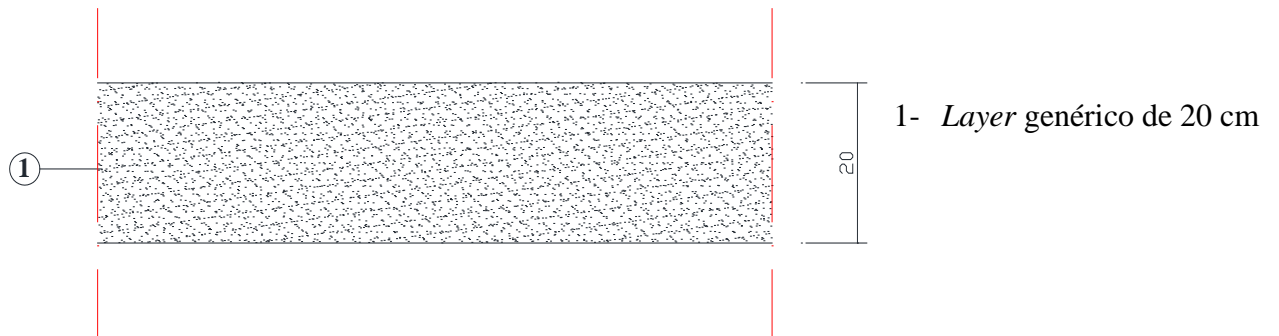
- Cobertura plana de *layer* genérico com caixa-de-ar e teto de madeira [Tipo (ii)]:



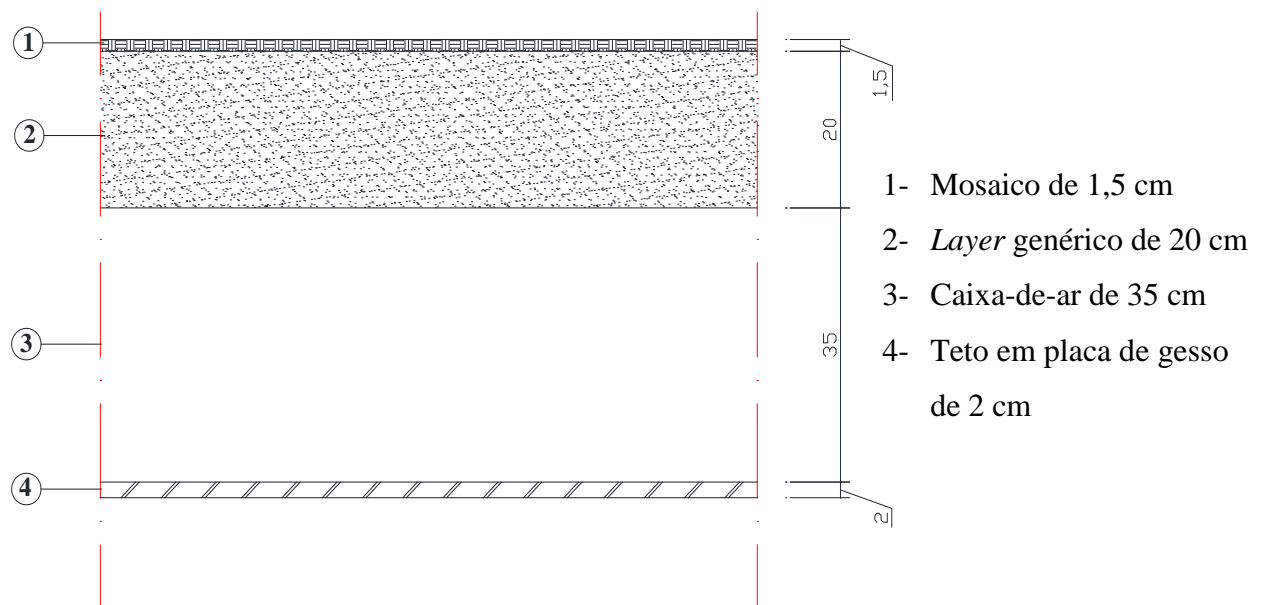
- Cobertura plana de *layer* genérico com caixa-de-ar e teto em placa de gesso [Tipo (iii)]:



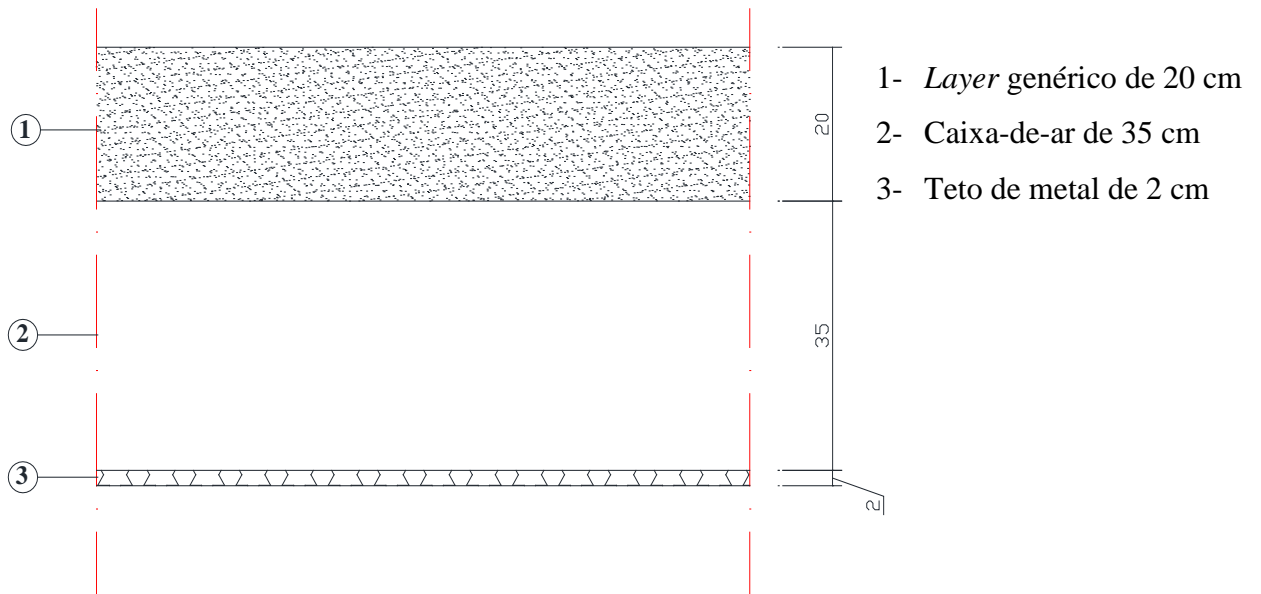
- Pavimentos
 - Pavimento de *layer* genérico (Tabela 4.9):
 - Tipo (a)



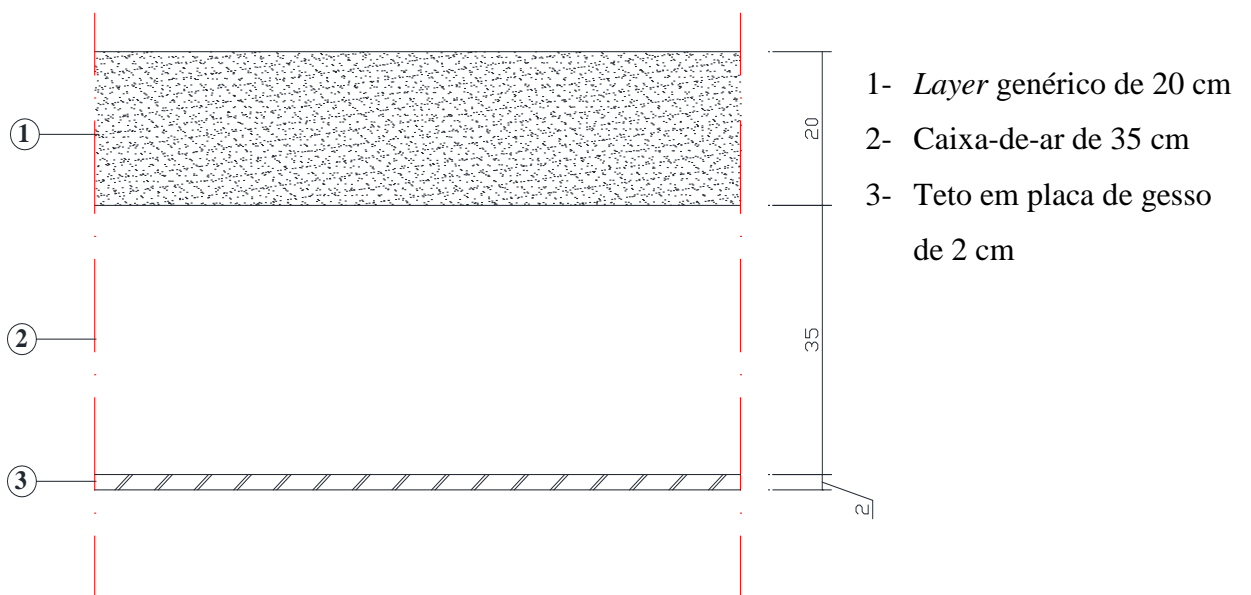
- Tipo (b)



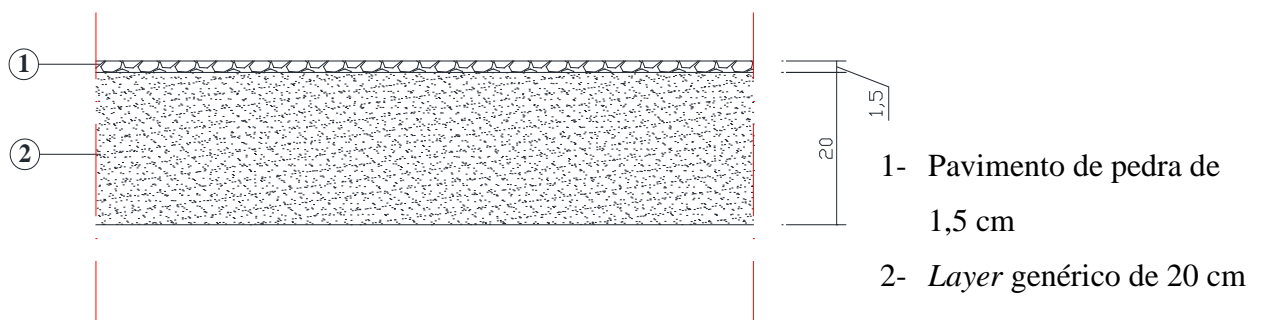
▪ Tipo (c)



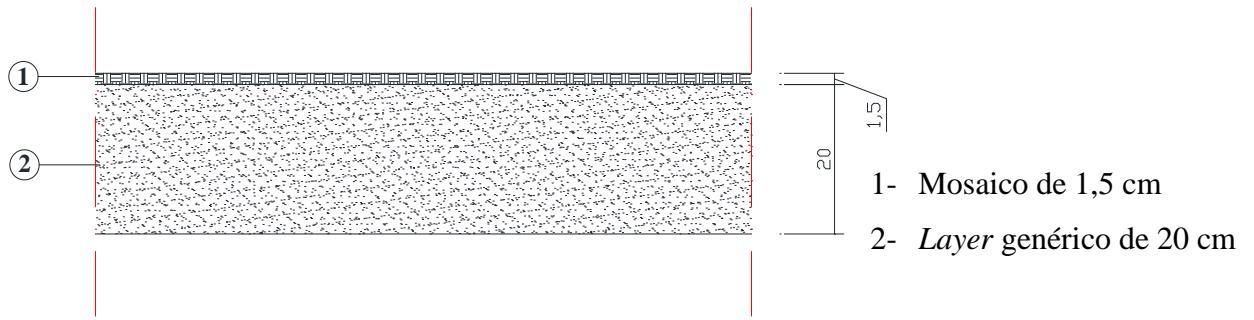
▪ Tipo (d)



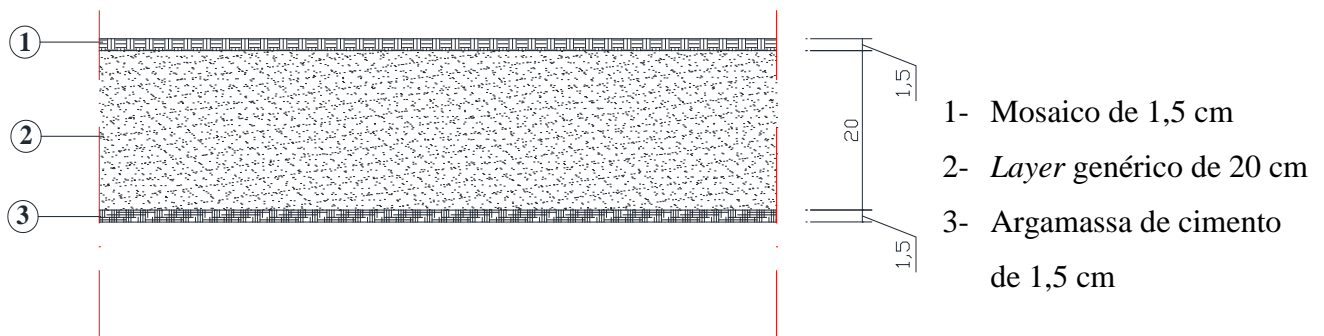
▪ Tipo (e)



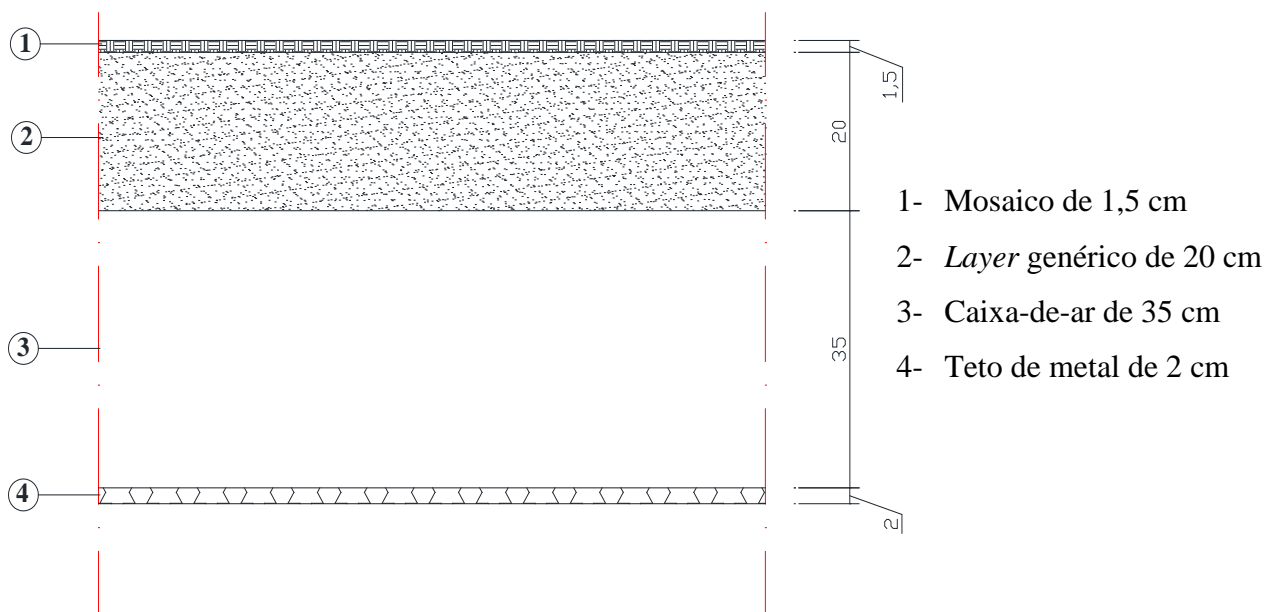
▪ Tipo (f)



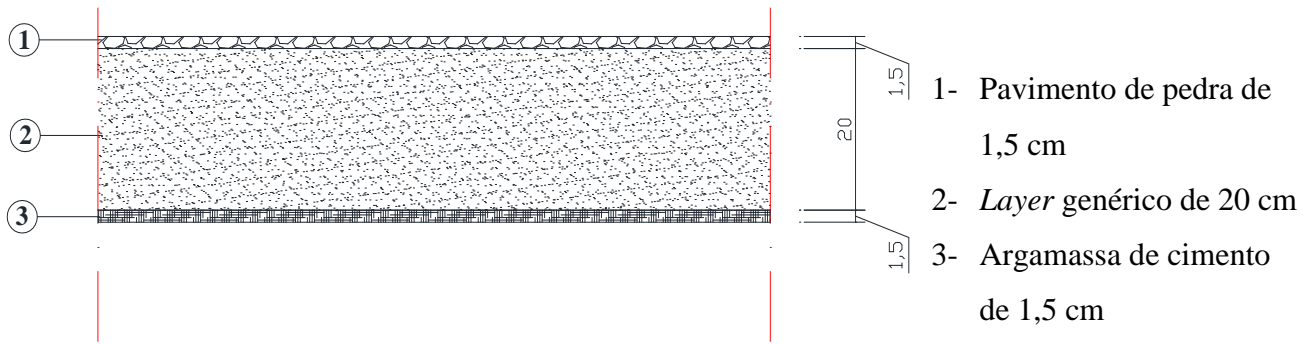
▪ Tipo (g)



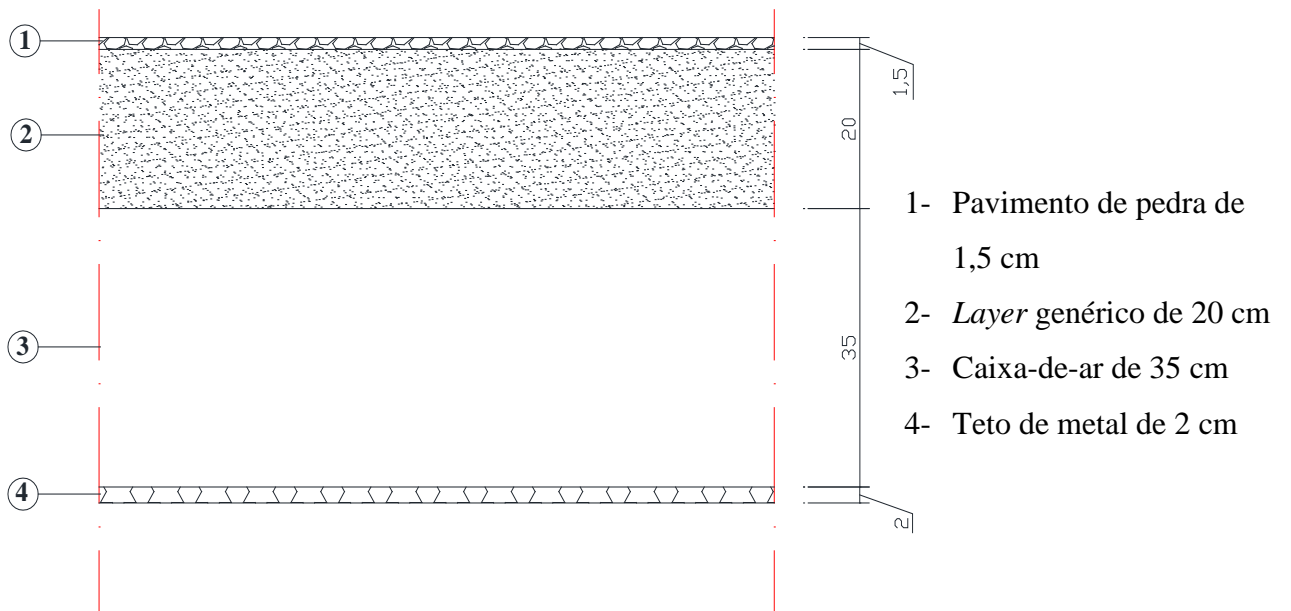
▪ Tipo (h)



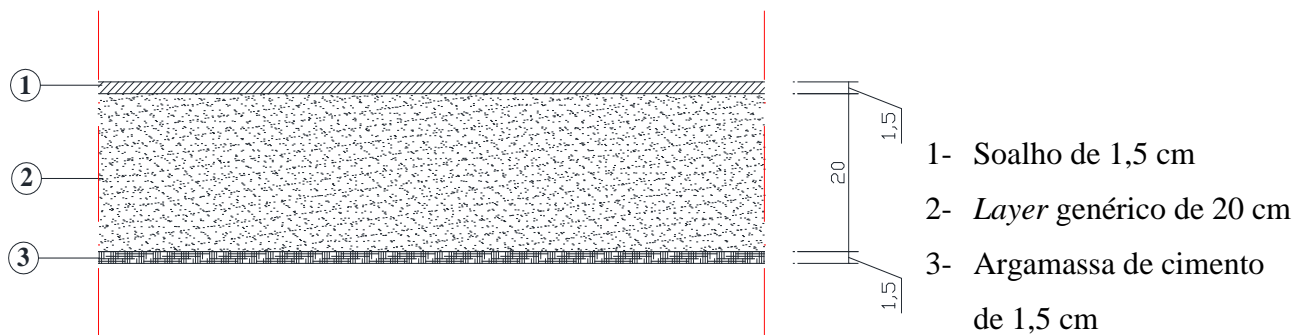
▪ Tipo (i)



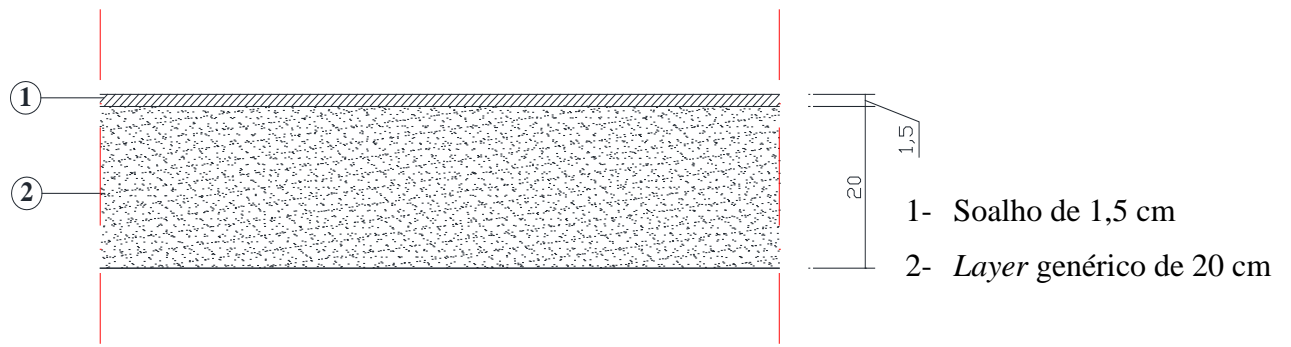
▪ Tipo (j)



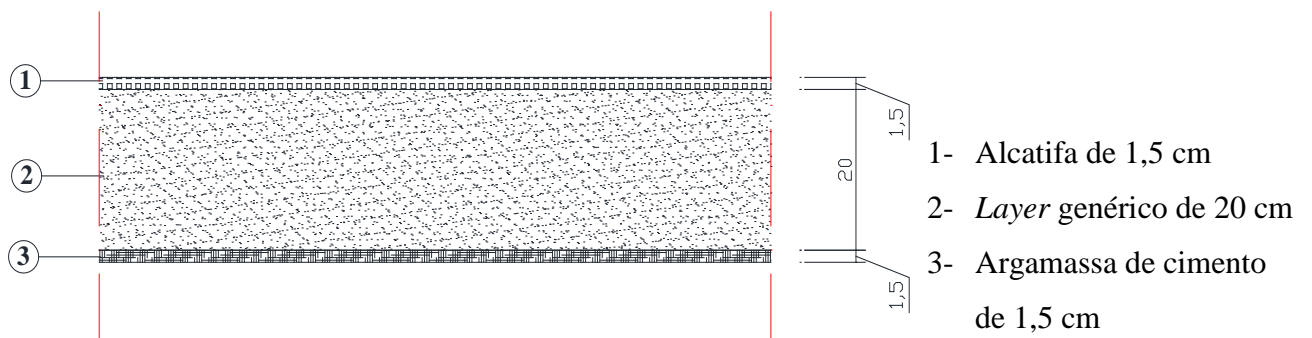
▪ Tipo (l)



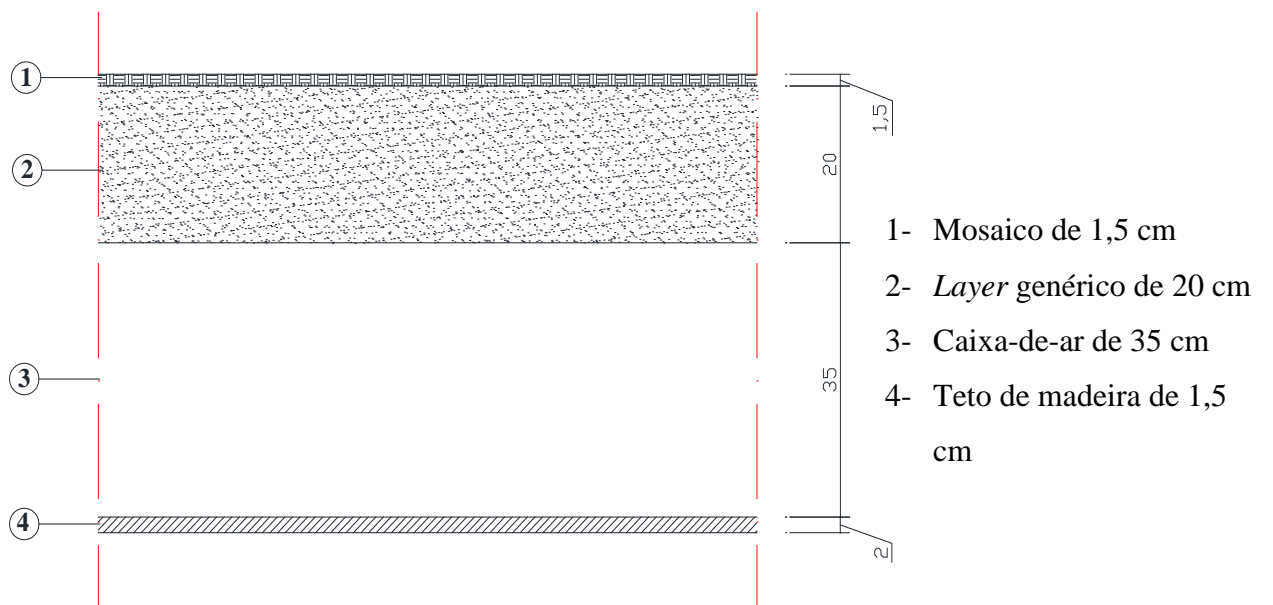
▪ Tipo (m)



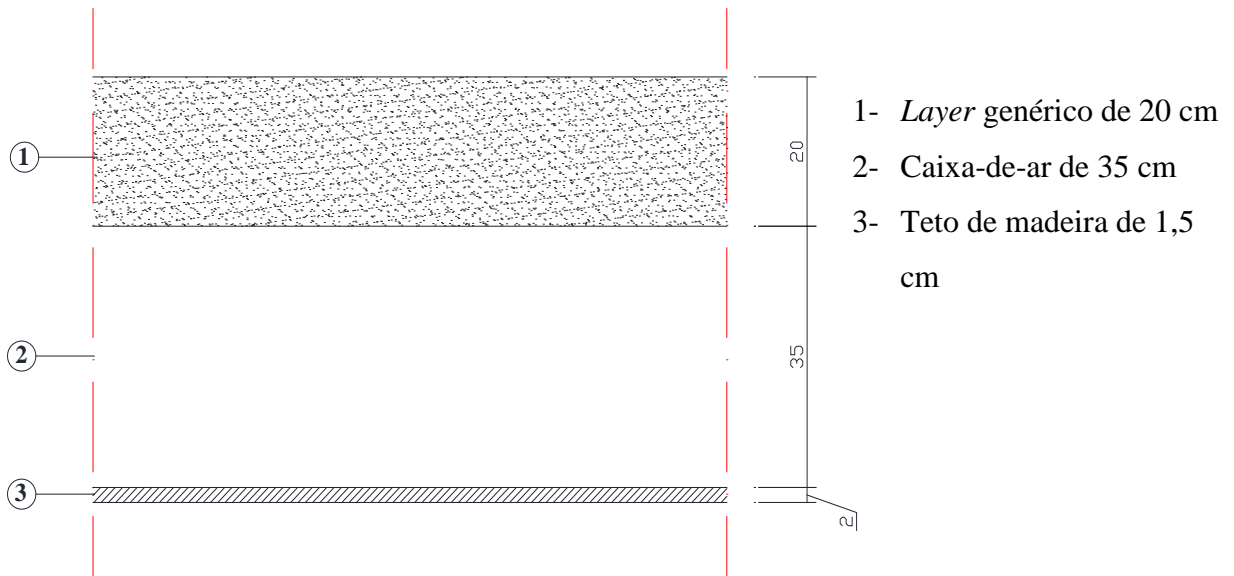
▪ Tipo (n)



▪ Tipo (o)

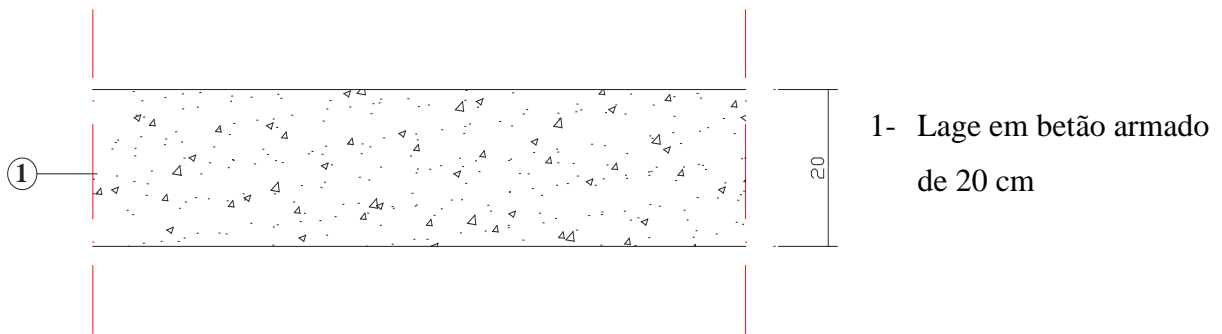


▪ Tipo (p)

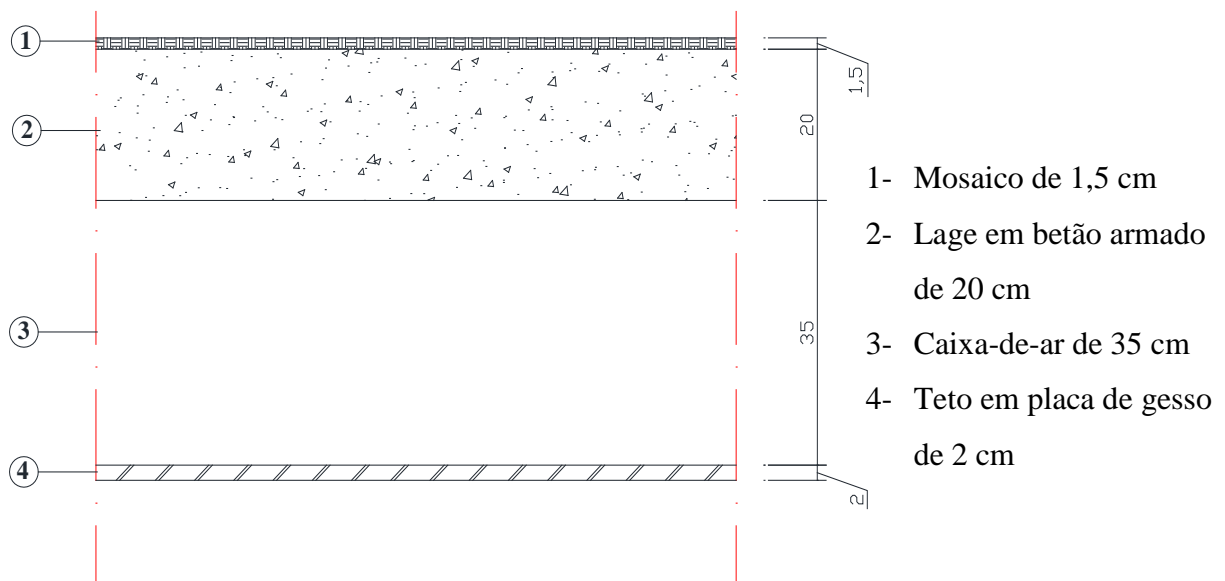


○ Pavimento de betão armado (Tabela 4.10):

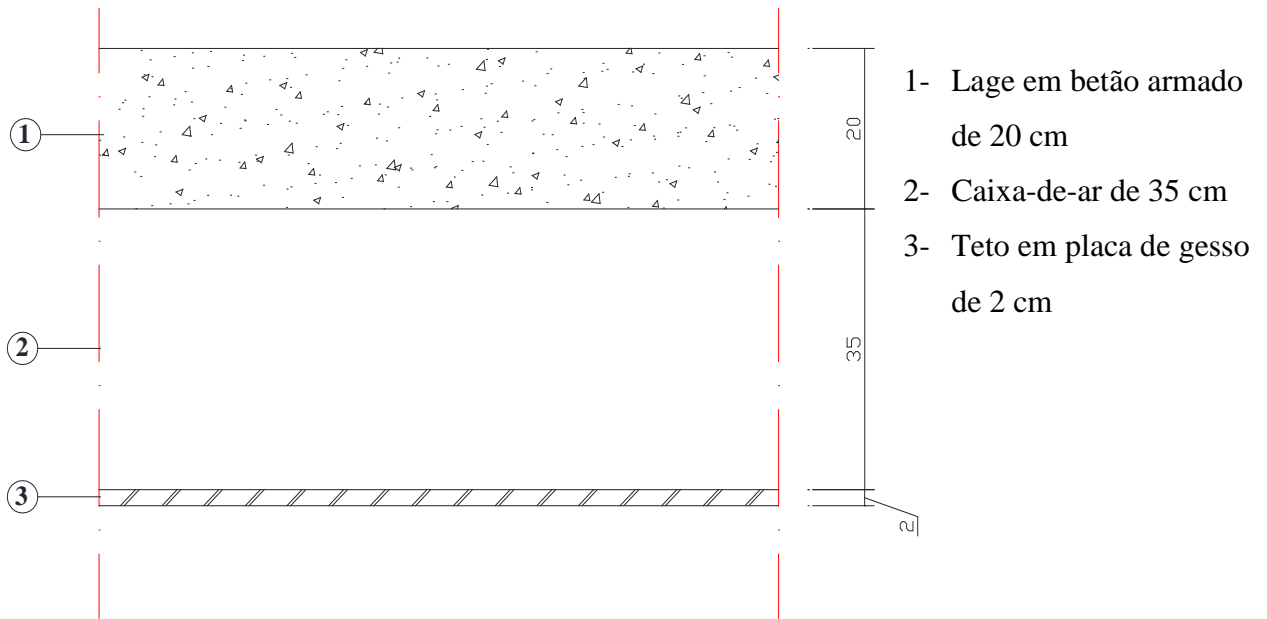
▪ Tipo (a')



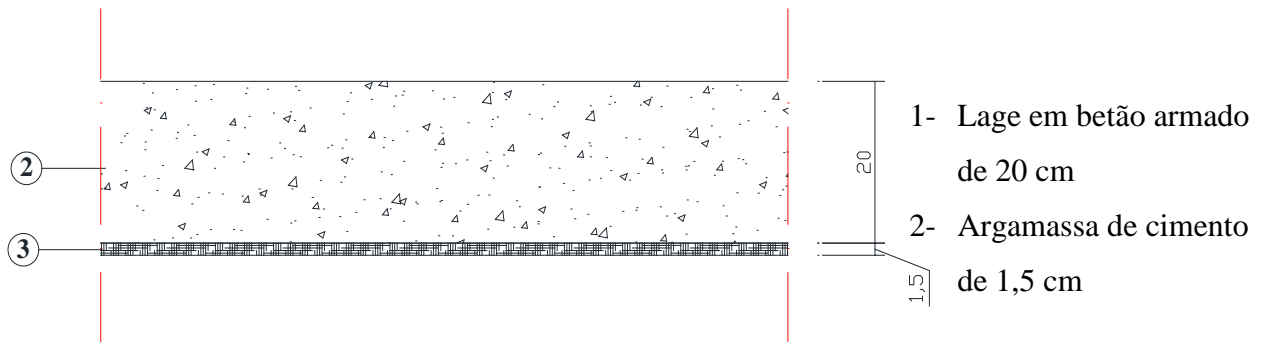
▪ Tipo (b')



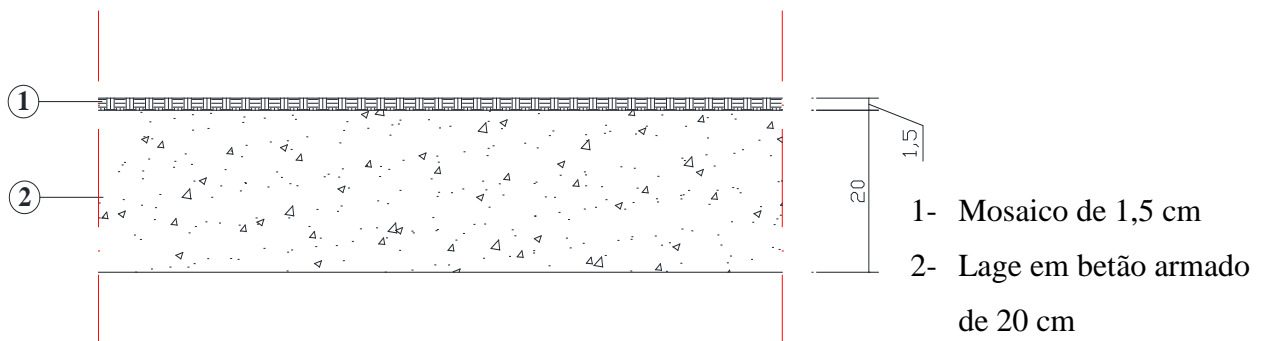
▪ Tipo (c')



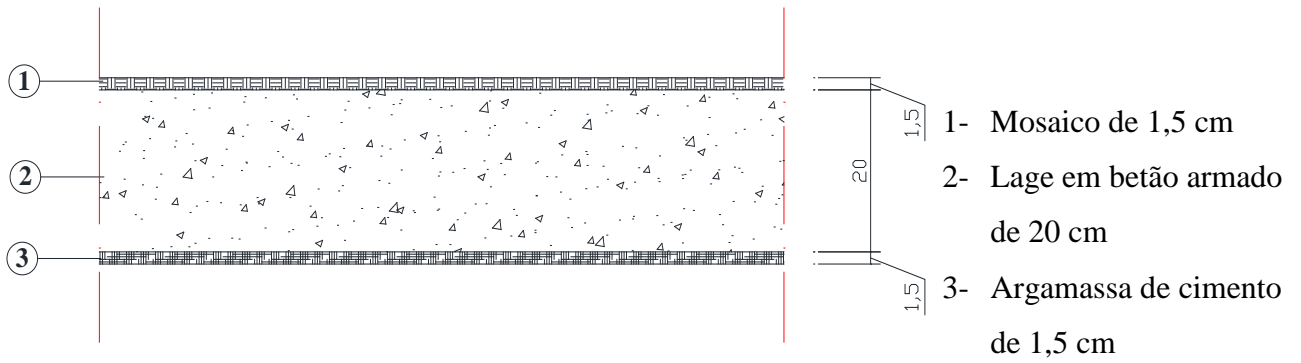
▪ Tipo (d')



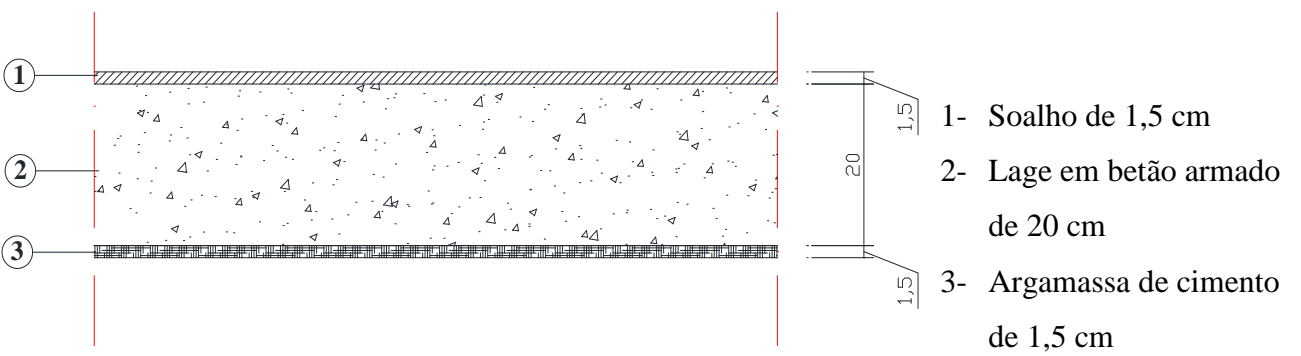
▪ Tipo (e')



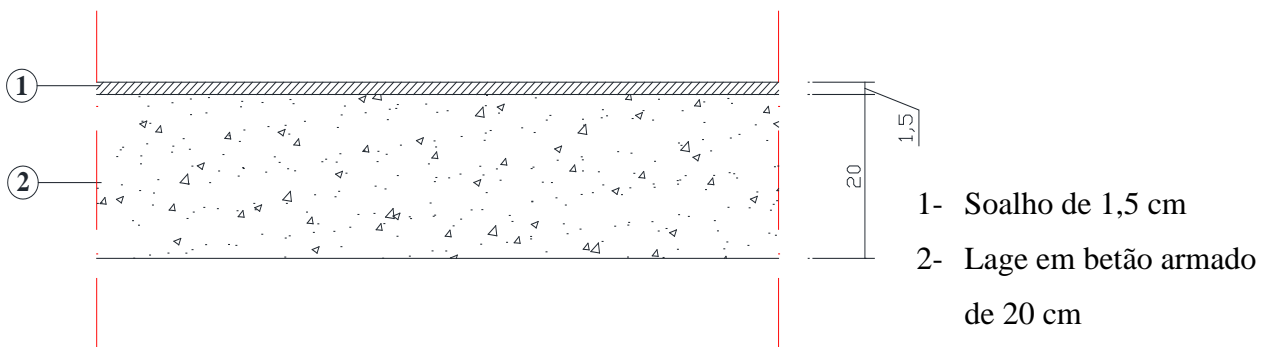
▪ Tipo (f')



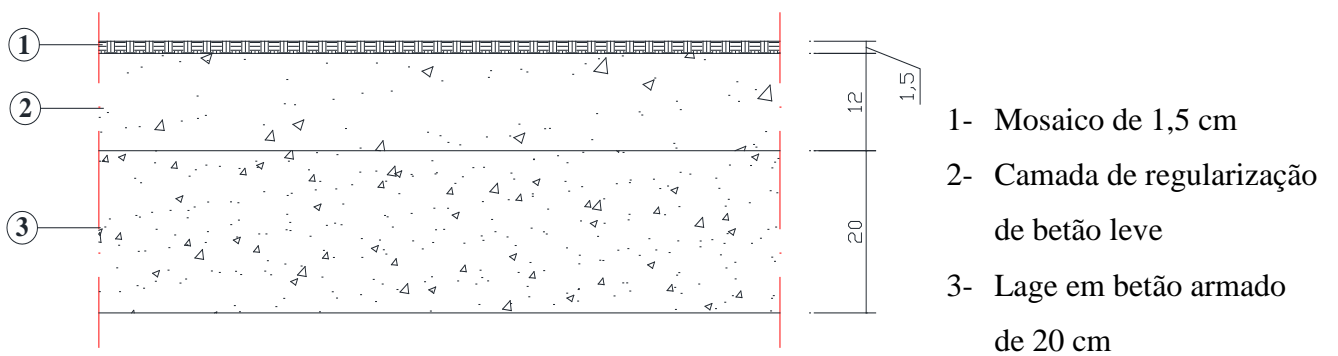
▪ Tipo (g')



▪ Tipo (h')



▪ Tipo (i')



Anexo F Indicadores de consumo kWh/pessoa.ano

Apenas disponível em formato digital

Anexo G Análise de consumos - Módulo 1

Apenas disponível em formato digital

Anexo H Análise de consumos - Módulo 2

Apenas disponível em formato digital

Anexo I Análise de consumos - Módulo 3

Apenas disponível em formato digital

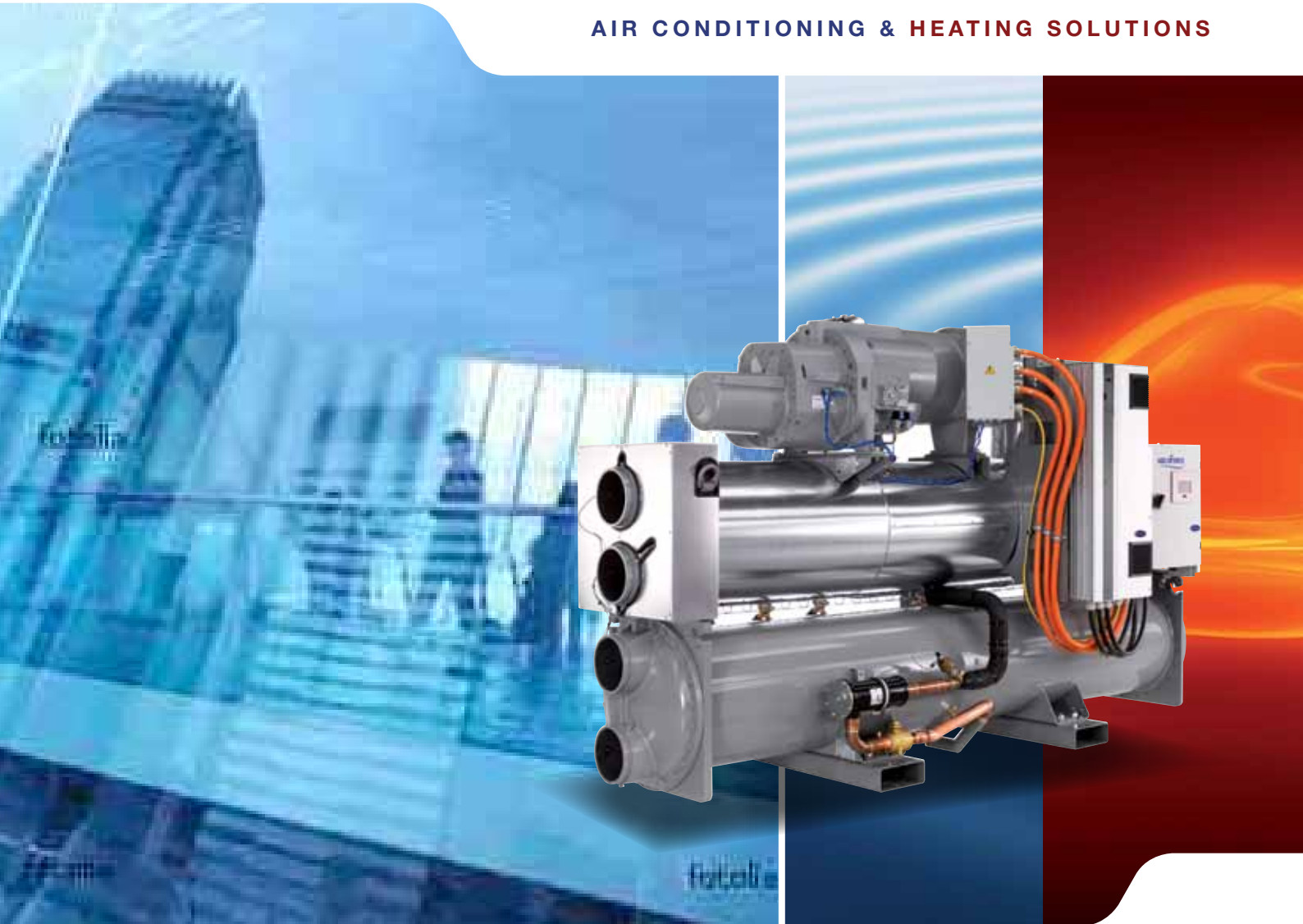
Anexo J Taxa de ocupação

Apenas disponível em formato digital

Anexo L Soluções tecnológicas de climatização (*chillers*)



AIR CONDITIONING & HEATING SOLUTIONS



Variable-speed, water-cooled chillers
and heat pumps

580 – 1700 kW

30XW-V/30XWHV

AQUAFORCE^{PLUS}

Performance^{PLUS}

The latest Aquaforce generation: Carrier expertise **turned**



Aquaforce^{PLUS} – the renowned Aquaforce features enhanced for variable-load building demands

Carrier has developed its own state-of-the-art answer to market-challenging requirements: a complete product range featuring new inverter-driven screw compressors, based on the successful Aquaforce series. The new line - Aquaforce^{PLUS} offers increased global performance as well as Carrier's acclaimed product quality, reliability and customer service support.

Quality: simply in Carrier's culture

Carrier is committed to delivering perfect operational products to every customer. Components and processes are accurately defined, tested and monitored during the entire product development process. In addition, Eurovent regularly tests our products to certify their accurate performance.

Rely on Carrier commitment long after the sale

Our commitment to our products extends far beyond the factory gate. Carrier continues to support you, offering a variety of service maintenance contracts and control solution packages. These services ensure that the equipment always operates at peak efficiency and offer added advantages of faster fault diagnosis, minimising the risk of operational downtime.



Carrier participates in the ECC programme for Liquid Chilling Packages. Check ongoing certification validity: www.eurovent-certification.com or www.certiflash.com

Carrier GREEN



30XW-V/30XWHV: the air conditioning and heating solution for green buildings

Sustainability is the issue that most affects the real-estate value of modern buildings. A high-efficiency air conditioning system with a low carbon footprint is a must to support green building design, gaining points with current sustainability protocols such as LEED® or GreenStar. To make an air conditioning unit the right choice for a green building it needs to meet a number of requirements: high efficiency, low noise, recyclability, reliability, flexibility. Carrier meets these targets and sets new standards with an innovative new product -Aquaforce^{PLUS}.

to meet customer needs

Seasonal efficiency^{PLUS}

The exclusive inverter-driven Carrier compressor used for the Aquaforce^{PLUS} ensures high energy efficiency, both at full and part load. The ESEER of the 30XW-V is up to 40% higher than that of traditional fixed-speed units and in line with more recent oil-free centrifugal chillers. High seasonal efficiency means minimised energy consumption and lower electricity bills.



Reliability^{PLUS}

For applications such as data centres or industrial processes reliability comes first, but to minimise maintenance and operating costs reliability is always a key point.

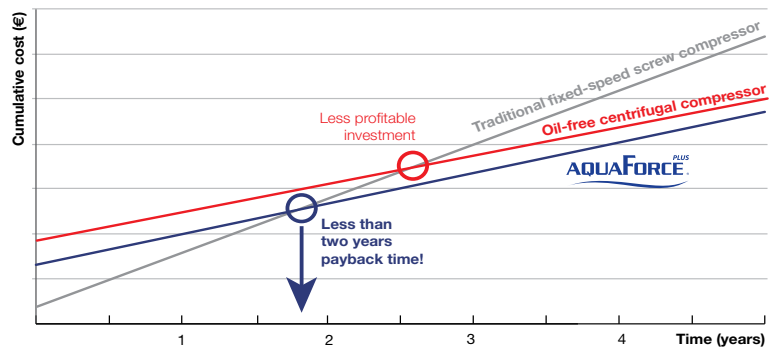
Aquaforce^{PLUS} can operate even at high condensing temperatures without surge risk. The complete range was continually tested during the development stage to ensure exceptional reliability, making Aquaforce^{PLUS} a preferred solution even for the most critical applications.



Economy^{PLUS}

Designing a new building, consultants and owners need to consider budgetary constraints and the return-on-investment analysis. The optimal air conditioning system guarantees lowest total life cycle cost, compared to alternative systems, with a payback time that can be lower than two years.

Carrier helps customers find the best solution for a specific application, and Aquaforce^{PLUS} offers exceptional cost benefits.



Costs calculated for a typical hospital application (3000 h/year, 0.15 €/kWh) with a cooling demand profile in line with the ESEER base.

Versatility^{PLUS}

Each building or application has specific unique air conditioning and heating requirements.

The Aquaforce^{PLUS} range was developed for heating systems, high-water-column hydronic plants and variable-flow applications. The wide range of unit configurations makes Aquaforce^{PLUS} the right choice for many different applications.



Carrier Aquaforce^{PLUS}: designed to use

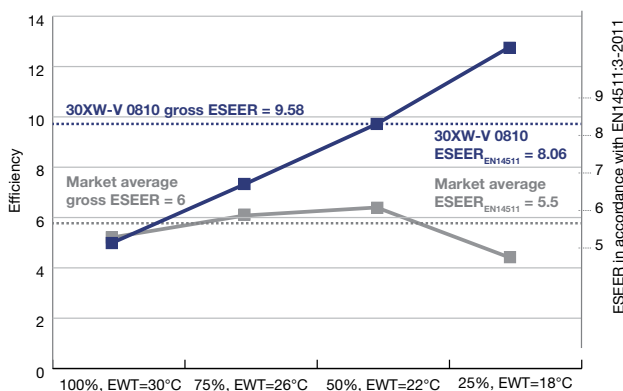
INVERTER-DRIVEN SCREW COMPRESSORS

(CARRIER PROPRIETARY TECHNOLOGY)

- Improved efficiency, especially at part load
- Negligible start-up current and high cos (φ) at all load conditions
- Accurate capacity control
- Surge-free, positive-displacement technology

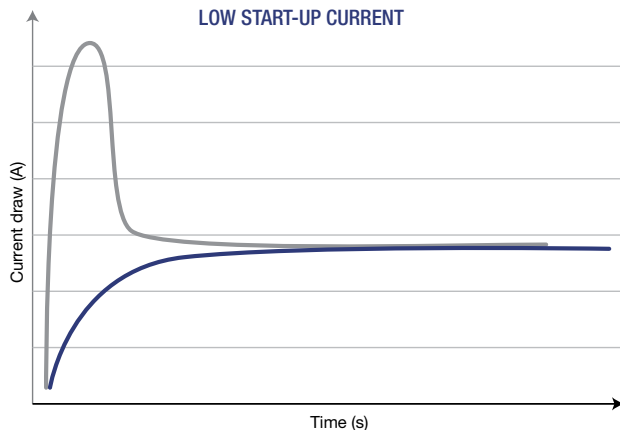
■ Aquaforce^{PLUS} ■ Traditional fixed-speed screw-compressor chiller

PART-LOAD EFFICIENCY



Load [%], condenser EWT [°C] and evaporator LWT [°C] defined by ESEER, European Seasonal Energy Efficiency Ratio index

LOW START-UP CURRENT



Aquaforce^{PLUS} is...

- Seasonal energy efficiency
- Economy
- Reliability
- Versatility



the full potential of the latest technologies



... with all the advantages of the acclaimed Aquaforce line

- **Experience**
Proven technology, demonstrated by thousands of installations world-wide
- **Compactness**
Compact chillers designed for standard door widths and for easy retrofit installation
- **Efficiency**
Chillers and heat pumps that exceed Eurovent Class A standards, for reduced building energy consumption and CO₂ emissions

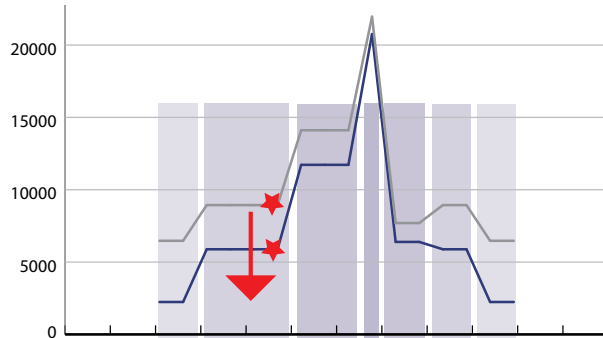
NEW TOUCHPILOT CONTROL

- User-friendly touch screen interface
- Status of all main parameters on one screen
- Direct access to the unit's technical drawings and main service documents
- Easy enhanced remote monitoring via the internet
- Easy access to unit parameters with different security access levels: enter your password and get access to your unique parameters.



Discover new Aquaforce^{PLUS} strengths

Energy consumption (kWh)



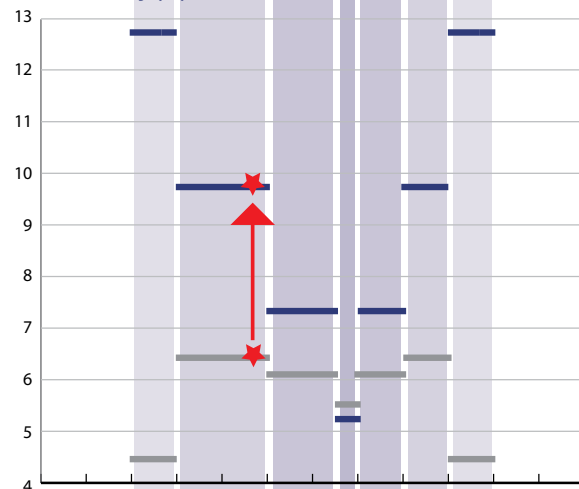
32% lower energy consumption!

Energy consumption comparison for a unit that works every day, except Saturdays and Sundays, from 7 am to 8 pm. Assumes two further weeks off during August, the total yearly operating hours are 2158.

★ **Example**
month of May, 50% load = 400 kW
> 34% lower energy consumption!

■ Aquaforce^{PLUS}
■ Traditional fixed-speed screw-compressor chiller

Unit efficiency (%)



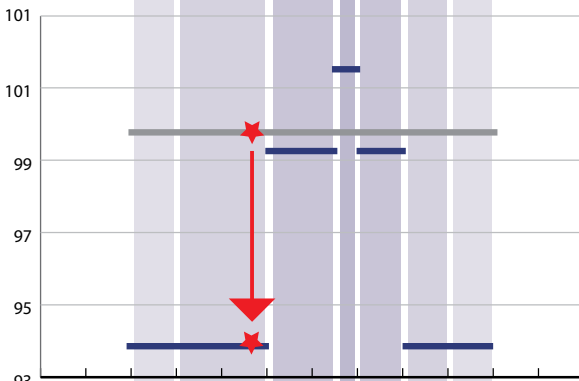
Significantly higher efficiency 97% of year

Energy efficiency comparison at ESEER conditions.

★ **Example**
month of May, 50% load
> Aquaforce^{PLUS} (ELWT = 7°C, CEWT = 22°C): EER 9.7,
traditional unit (ELWT = 7°C, CEWT = 22°C): EER 6.4
> 52% higher efficiency!

■ Aquaforce^{PLUS}
■ Traditional fixed-speed screw-compressor chiller

Unit sound power level (dB(A))



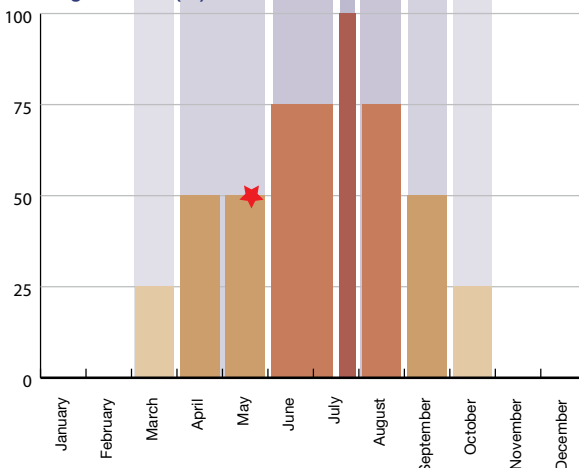
Less noise 64% of year

Sound emission comparison.

★ **Example**
month of May, 50% load
> Aquaforce^{PLUS}: 94 dB(A), traditional unit: 99 dB(A)
> 5 dB(A) less noise!

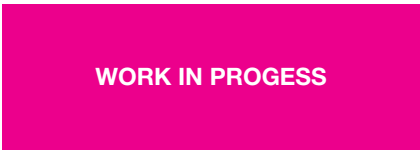
■ Aquaforce^{PLUS}
■ Traditional fixed-speed screw-compressor chiller

Cooling demand (%)



Simplified cooling demand for an office building with load distribution according to ESEER index.

★ **Example**
month of May
> building cooling load = 50% of peak load



Physical data

30XW-V/30XWHV		0580	0630	0810	0880	1150*	1280*	1470*	1570*	1710*
Refrigerant		R134a								
Compressor		Inverter-driven screw type								
Number of circuits		1	1	1	1	2	2	2	2	2
Capacity control steps		20% - 100%				10% - 100%				
Performance in cooling mode										
Cooling capacity ⁽¹⁾	kW	584	641	808	869	1140	1271	1460	1557	1694
EER ⁽¹⁾	kW/kW	5,34	5,30	5,29	5,00	5,38	5,30	5,08	5,02	4,94
Eurovent class		A	A	A	B	A	A	A	B	B
ESEER ⁽¹⁾		7,70	7,50	7,75	7,47	7,90	7,71	7,40	7,14	6,91
Cooling capacity ⁽²⁾	kW	586	643	810	872	1144	1277	1468	1566	1706
EER ⁽²⁾		5,57	5,56	5,51	5,22	5,62	5,57	5,39	5,36	5,31
ESEER ⁽²⁾		9,00	9,03	9,58	9,04	9,25	9,25	9,18	8,98	8,92
Performance in heating mode										
Heating capacity ⁽³⁾	kW									
COP ⁽³⁾	kW/kW									
Eurovent class										
Heating Capacity ⁽⁴⁾	kW	688	755	953	1033	1341	1499	1732	1850	2017
COP ⁽⁴⁾	kW/kW	6,54	6,53	6,48	6,19	6,59	6,53	6,36	6,33	6,27
Sound level										
Sound power level ⁽⁵⁾	dB(A)	99	99	99	99	102	102	102	102	102
Sound pressure level @ 1 m	dB(A)									
Unit dimensions										
Length	mm	3059	3059	3290	3290	4730	4730	4730	4730	4730
Width	mm	1132	1132	1138	1138	1190	1190	1212	1212	1212
Height	mm	1743	1743	1950	1950	1997	1997	2051	2051	2051
Operating weight	kg	3120	3160	4025	4050	7100	7170	7330	7525	7560

Main options

- Low-noise option
- EMC EN61800-3 - C2 compliance, for residential applications
- Service valve set
- Customised heat exchangers (one or two passes, 1 or 2.1 MPa water pressure resistance, reversed water boxes)
- Units optimised for cooling tower applications
- Various BMS communication protocols

(1) Performances based on EN14511. Evaporator entering/leaving water temperatures = 12/7°C; condenser entering/leaving water temperatures = 30/35°C

(2) Gross performances: Evaporator entering/leaving water temperatures = 12/7°C; condenser entering/leaving water temperatures = 30/35°C

NOTE: During 2013 Eurovent will certify unit performances based on EN14511. For more information please contact the Carrier sales team

(3) Performances based on EN14511. Condenser inlet/outlet temperatures = 40/45°C; Evaporator inlet temperature = 10°C

(4) Gross performances: Condenser entering/leaving water temperatures = 40/45°C; Evaporator entering water temperature = 10°C
NOTE: During 2013 Eurovent will certify unit performances based on EN14511. For more information please contact the Carrier sales team.

(5) Sound power level with option 257

* The data for sizes 1150 to 1710 is preliminary.

Anexo M Soluções tecnológicas de climatização (torres de arrefecimento)

Engineering data

- [VFL 24X-48X](#)
- [VFL 72X-96X](#)
- [Sound attenuation HS](#)
- [Sound attenuation HD](#)
- [Sound attenuation VS](#)

REMARK: Do not use for construction. Refer to factory certified dimensions & weights. This page includes data current at time of publication, which should be reconfirmed at the time of purchase. In the interest of product improvements, specifications, weights and dimensions are subject to change without notice.

General notes

1. All location dimensions for coil connections are approximate and should not be used for prefabrication of connection piping.
2. If discharge hoods with positive closure dampers are furnished, see table in section Engineering Data Straight Discharge Hood with PCD for added weight and height.
3. For external static pressure up to 125 Pa use next larger motor size.
4. For indoor applications of fluid coolers, the room may be used as a plenum with ductwork attached to the discharge only. If inlet ductwork is required, an enclosed fan section must be specified; consult your BAC Baltimore representative for details.
5. Fan cycling results only in on-off operation. For additional steps of control, two-speed fan motors are available. More precise

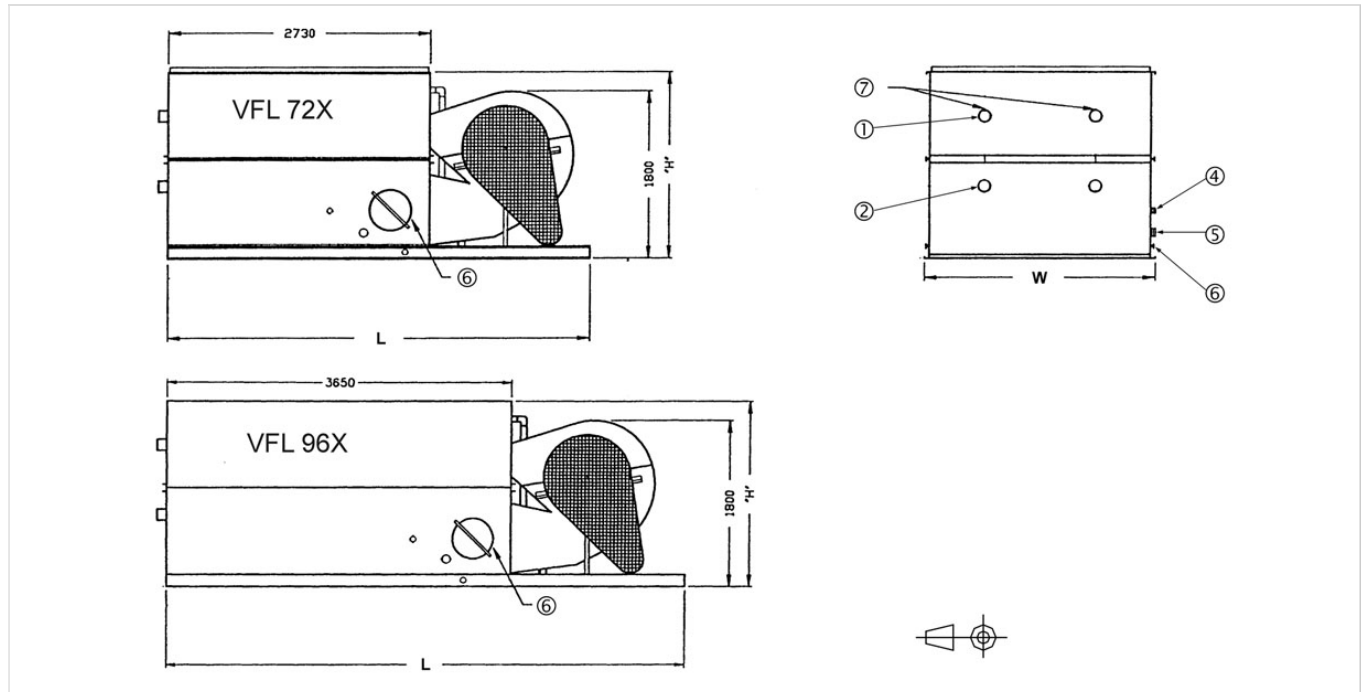
capacity control can be obtained with modulation fan discharge dampers or a BALTIguard® Drive System.

6. Make up, overflow, suction, drain connection and access door can be provided on side opposite to that shown; consult your BAC Baltimore representative.

7. Shipping/operating weights indicated are for units without accessories such as sound attenuators, discharge hoods, plume abatement coils, etc. Consult factory certified prints to obtain weight additions and the heaviest section to be lifted.

Last update: 05 March 2012

VFL 72X-96X



1. Fluid in ND100; 2. Fluid out ND100; 3. Access door; 4. Make up ND40; 5. Overflow ND80; 6. Drain ND50; 7. Vent ND15.

Model	Weights (kg)			Dimensions (mm)				Air Flow (m³/s)	Fan Motor (kW)	Water Flow (l/s)	Pump Motor (kW)	Coil Volume (L)
	Oper. Weight (kg)	Ship. Weight (kg)	Heaviest Section (kg)	L1	L2	W	H					
VFL 721-L	5150	3150	3150	4560	2730	2400	1855	20.0	(1x) 11.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 258
VFL 721-M	5160	3160	3160	4560	2730	2400	1855	21.8	(1x) 15.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 258
VFL 721-O	5190	3190	3190	4560	2730	2400	1855	24.6	(1x) 22.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 258
VFL 722-N	5880	3700	3700	4560	2730	2400	2090	22.8	(1x) 18.5	17.9	(1x) 1.1	(2x) 338
VFL 722-O	5900	3720	3720	4560	2730	2400	2090	24.0	(1x) 22.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 338
VFL 723-L	6610	4210	4210	4560	2730	2400	2350	19.3	(1x) 11.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 418
VFL 723-O	6650	4250	4250	4560	2730	2400	2350	23.4	(1x) 22.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 418
VFL 724-O	7320	4790	4790	4560	2730	2400	2560	22.9	(1x) 22.0	17.9	(1x) 1.1	(2x) 498
VFL 961-P	6520	3850	3850	5480	3650	2400	1855	28.7	(1x) 30.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 341
VFL 962-N	7285	4360	4360	5480	3650	2400	2090	24.5	(1x) 18.5	24.2	(1x) 2.2	(2x) 448
VFL 962-O	7310	4400	4400	5480	3650	2400	2090	25.9	(1x) 22.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 448

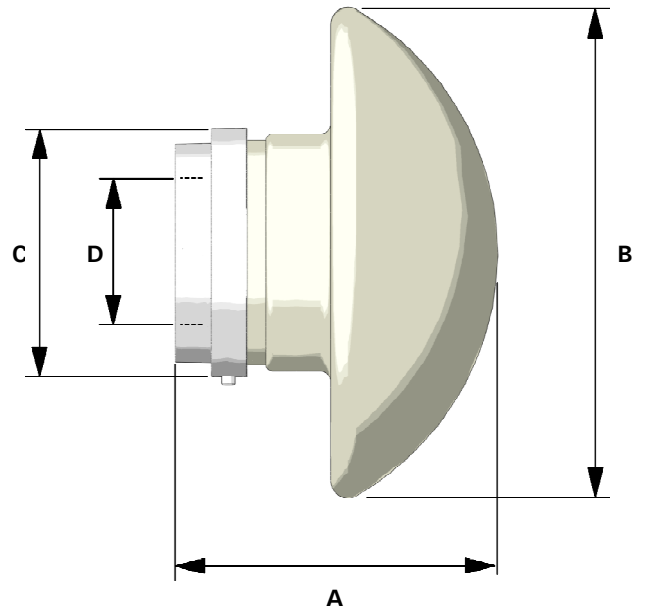
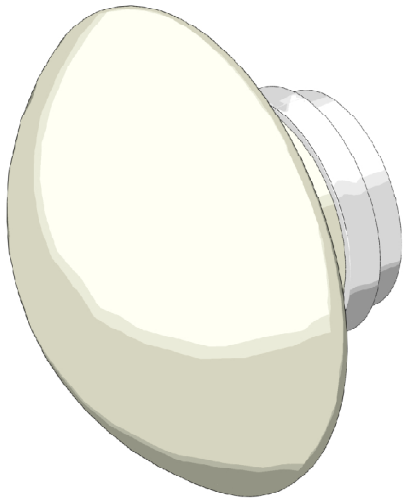
VFL 72X-96X | BAC

VFL 962-P	7400	4500	4500	5480	3650	2400	2090	28.3	(1x) 30.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 448
VFL 963-O	8210	5060	5080	5480	3650	2400	2350	25.6	(1x) 22.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 556
VFL 963-P	8310	5160	5160	5480	3650	2400	2350	27.9	(1x) 30.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 556
VFL 964-P	9300	5810	5810	5480	3650	2400	2560	27.4	(1x) 30.0	24.2	(1x) 2.2	(2x) 664

© Baltimore Aircoil - all rights reserved

Anexo N Soluções tecnológicas de iluminação (gabinetes)

Piero Castiglioni, 2012



CODICE Code/Code Kode/Código	TENSIONE Voltage/Tension Spannung/Tensión	LAMPADINA Bulb/Ampoule Leuchtmittel/Bombilla	CARATTERISTICHE Features/Caractéristiques Merkmale/Características	DIMENSIONI in cm Dimensions in cm/Dimensions en cm Abmessungen in cm/Dimensiones en cm
4221/7/23	230V	1x13W max (LED)	IP40 	A: 9 - B: 14 - C: 7,3 - D: 5,1



Conforme alla norma di riferimento EN 60598-1:2004 e EN 60598-2-1:1989 e quindi conforme alla direttiva 2006/95.
In compliance with EN 60598-1:2004 and EN 60598-2-1:1989 and so with Directive 2006/95.
Conforme à la norme de référence EN 60598-1:2004 et EN 60598-2-1:1989 et donc à la Directive 2006/95.
Entspricht der Norm EN60598-1:2004 und EN 60598-2-1:1989 und der Richtlinie 2006/95.
Conforme a la norma EN60598-1:2004 y EN 60598-2-1:1989 y por consiguiente a la directiva 2006/95.



Applicabile su superfici normalmente infiammabili.
Can be applied to normally inflammable surfaces.
Installable sur des surfaces normalement inflammables.
Kann auf normal entflammbaren Oberflächen montiert werden.
Aplicable sobre superficies normalmente inflamables.



Prima di ogni operazione sull'apparecchio, disinserire la tensione di rete.
Before any operation on the fixture, please disconnect the power supply.
Avant toute opération sur l'appareil déconnecter l'alimentation électrique.
Den Strom vor jeder Montage oder Instandsetzung des Geräts ausschalten.
Antes de efectuar cualquier operación sobre el aparato, desconectar la tensión de red.



In caso di danneggiamento del cavo di alimentazione, per la sostituzione contattare un rivenditore FontanaArte o personale qualificato.
In case of damage to the feeding cable, please contact a FontanaArte dealer or qualified personnel for replacement.
En cas d'endommagement du câble d'alimentation, et en vue de son remplacement, contactez votre revendeur FontanaArte ou une personne dûment habilitée.
Bei Beschädigung des elektrischen Speisekabels, bitte Kontakt mit einem FontanaArte Händler oder mit Fachpersonal aufnehmen.
Si el cable de alimentación estuviera dañado, contactar a un vendedor de FontanaArte o a personal cualificado para sustituirlo.

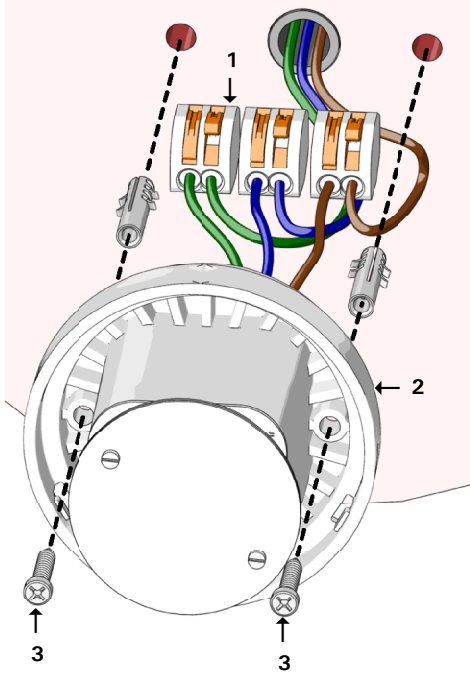
FontanaArte si riserva di apportare tutte le modifiche necessarie al miglioramento del presente prodotto in qualsiasi momento e senza preavviso.

FontanaArte reserves the right to introduce all changes required for the improvement of this product at any time and without prior notice.

FontanaArte se réserve le droit d'apporter toute modification nécessaire à l'amélioration du produit, et ce, sans préavis.

FontanaArte kann jederzeit und ohne Vorankündigung die technischen und die strukturellen Merkmale verändern, um ihre Produkte zu verbessern.

FontanaArte se reserva el derecho de efectuar las modificaciones que considera puedan mejorar este producto en cualquier momento y sin aviso previo.



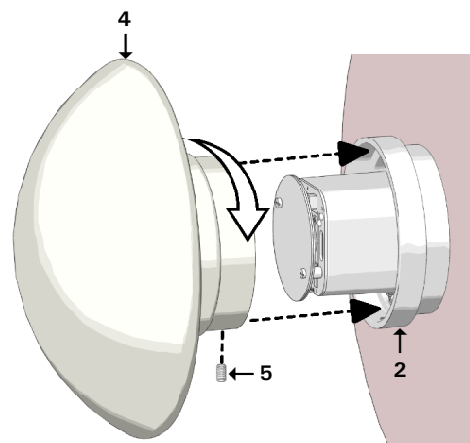
Effettuare i collegamenti elettrici agli appositi morsetti (1). Praticare i due fori laterali e fissare la base (2) al muro mediante le viti (3).

Make the electrical connections to the proper terminals (1). Drill the two side holes and fasten base (2) to the wall by means of screws (3).

Brancher aux bornes adéquates (1). Percer les deux trous latéraux et fixer la base (2) à la paroi à l'aide des vis (3).

Die Kabel an den dazu bestimmten Klemmen (1) anschliessen. Durch die beiden seitlichen Löcher durchbohren und die Basis (2) mit den Schrauben (3) an der Wand befestigen.

Efectuar las conexiones eléctricas a los bornes adecuados (1). Realizar los dos agujeros laterales y fijar la base (2) a la pared mediante los tornillos (3).



Avvitare il diffusore (4) sulla base (2) e fissarlo tramite il grano (5).

Screw diffuser (4) on base (2) and fix it by means of dowel (5).

Visser le diffuseur (4) sur la base (2) et le fixer à l'aide du goujon (5).

Den Diffusor (4) an der Basis anschrauben und mit dem Gewindestift (5) befestigen.

Atornillar el difusor (4) en la base (2) y fijarlo mediante el pasador (5).

Integrated AC LED Solution

Acrich2 – 8.7W

SMJE-XV08W1P3



Product Brief

Description

- The Acrich2 series of products are designed to be driven directly off of AC line voltage, therefore they do not need the standard converter essential for conventional general lighting products.
- The converter or driver found in most general lighting products can limit the overall life of the product, but with the Acrich2 series of products the life of the product can more closely be estimated from the LED itself. This will also allow for a much smaller form factor from an overall fixture design allowing for higher creativity in the fixture.
- The modules have a high power factor which can contribute to a higher energy savings in the end application.

Features and Benefits

- Connects directly to AC line voltage
- High Power Efficiency & Factor
- Low THD
- Long Life Time
- Simple BOM
- Miniaturization
- Lead Free Product
- RoHS Compliant

Key Applications

- Bulb Light
- Down Light
- Factory Ceiling Light
- Industrial Light

Table 1. Product Selection (CCT)

Part No.	Vin [Vac]	P [W]	Color	CCT [K]	CRI
					Min.
SMJE-2V08W1P3	120	8.7	Cool	4700 – 6000	80
SMJE-3V08W1P3	220		Neutral	3700 – 4200	
			Warm	2600 – 3200	

Table 2. Product Selection (Flux)

Part No.	Vin [Vac]	P [W]	Flux Bin	Flux [lm]	
				Min.	Typ.
SMJE-2V08W1P3	120	8.7	8a	590	650
SMJE-3V08W1P3	220		8b	740	800

Anexo O Soluções tecnológicas de iluminação (Grande Auditório)



MASTER LEDspot LV

MASTER LEDspotLV D 10-50W WW MR16 36D

Emitindo um feixe de acentuação quente semelhante ao das lâmpadas de halogéneo/incandescentes, a lâmpada MASTER LEDspot MR16 é uma solução para aplicações de iluminação direccionada e geral na indústria hoteleira. É particularmente adequada a zonas públicas como recepções, entradas, corredores, escadas e lavabos, em que a luz está sempre acesa. O MASTER LEDspot MR16 de design robusto apresenta um ângulo de abertura de 24° possibilitando uma difusão do feixe bem definida. O feixe não tem UV ou IR, o que o torna adequado à iluminação de objectos sensíveis ao calor (alimentos, materiais orgânicos, tintas, etc.).



PHILIPS

Dados do produto

• General Characteristics

Cap-Base	GU5.3
Bulb	MR16 [MR 16inch/50mm]
Rated Lifetime (hours)	30000 hr
Rated Lifetime (years)	20 an

• Light Technical Characteristics

Color Code	WW
Color Designation (text)	Warm White
Beam Angle	36 D
Beam Description	36D [Medium beam]
Correlated Color Temperature	2700 K
Luminous Flux	470 Lm
Luminous Intensity	1500 cd
Color rendering index	80
Color Temperature	2700 K [CCT 2700K]
Rated Luminous Flux	470 Lm

• Electrical Characteristics

Wattage	10 W
Wattage Technical	10 W
Voltage	12 V
Line Frequency	50-60 Hz
Power Factor	0.8 -
Lamp Current mA	715 mA
Dimmable	Yes
Wattage Equivalent	50 W
Starting Time	0.5 (max) s

• Environmental characteristics

Energy Efficiency Label (EEL)	A
-------------------------------	---

• Measuring Conditions

Switching cycle	50000x
-----------------	--------

• Product Dimensions

Overall Length C	54 mm
Diameter D	50 mm

• Dados do Produto

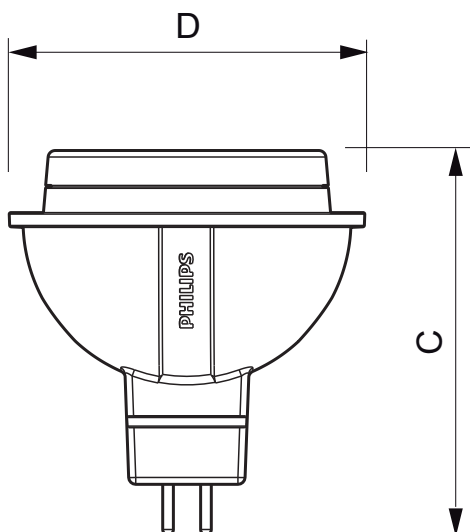
Código de Encomenda	210573 00
Código do Produto	871829121057300
Nome do Produto	MASTER LEDspotLV D 10-50W WW MR16 36D
Nome de Encomenda do produto	MAS LEDspotLV D 10-50W WW MR16 36D
Unidades por Embalagem	1
Configuração de Embalagem	10
Embalagens por Caixa Exterior	10
Código de barras do Produto	8718291210573
Código de barras da Embalagem exterior	8718291210580
eop_12nc	929000227902
Peso Líquido por unidade	0.042 kg

Avisos e Segurança

- Operating temperature range is between -20° C and 45° C ambient

- Only to apply in dry or damp locations and most of open fixtures with lamp-holders that offer sufficient space (10 mm free air space)
- Not intended for use with emergency light fixtures or exit lights

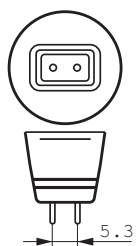
Desenho dimensional



MASTER LEDspotLV D 10-50W WW MR16 36D

Product	C (Norm)	C1 (Max)	D (Norm)	D1 (Norm)
LED D 10-50W WW MR16 36D	54	-	50	-

Desenho dimensional



GU5.3



© 2013 Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips)
Todos os direitos reservados

As especificações estão sujeitas a alterações sem aviso prévio. As marcas comerciais são propriedade de Koninklijke Philips Electronics NV ou de seus respectivos proprietários.

www.philips.com/lighting

2013, Novembro 12
Dados sujeitos a alteração

**Anexo P Soluções tecnológicas para produção de energia elétrica
(Módulos fotovoltaicos)**



Bosch Solar Module c-Si M60 265W + EU44117

Eficiência

16.13%

Garantía

Produto garantido por 10 anos.
90% potência taxada durante 10 anos.
80% potência taxada durante 25 anos.

Certificações

IEC/TÜV , Protection Class 2

Dados elétricos

Potência [Wp]	265.0
Vmpp [V]	30.6
Impp [A]	8.7
Vca [V]	37.9
Icc [A]	9.3
Tolerância	+4,99 Wp
Vmax [V]	1000.0

Coefficientes térmicos

Coef. P [%/°C]	-0.44
Coef. I [%/°C]	0.03
Coef. V [%/°C]	-0.31

Dimensões e peso

Longo [mm]	1660
Largo [mm]	990
Alto [mm]	50
Peso [kg]	21
Área [m2]	1.64



Desde 1886

Bosch, empresa FV e símbolo de garantia indiscutível no setor das energias renováveis, fabrica módulos para os clientes da Krannich Solar desde 2009. A Bosch entrou no mercado das ER adquirindo várias empresas do setor. Assim, a fábrica FV ganhou uma quota significativa do mercado da energia solar.

A fabricação de lingotes, wafers e células solares é feita nas fábricas da Bosch Solar. Além disso, os painéis fotovoltaicos são feitos nas antigas instalações das outras empresas adquiridas. A empresa é, portanto, integrada verticalmente na cadeia de valor fotovoltaico, o que lhe permite implementar economias de escala.

Componentes

Tipo célula	Monocristalino
Nº Células	60
Célula [mm]	156
Conector	MC4

Embalagem pallet

Unidades por pallet	30
Medidas do pallet [mm]	1760x1100x1800
Peso [kg]	640.0

Contenedor

Pallets	15
Unidades	450
Peso [kg]	9600.0

Ref: KD20092

Anexo Q Viabilidade económica - Substituição dos *chillers*

Apenas disponível em formato digital

Anexo R Viabilidade económica - Iluminação nos gabinetes

Apenas disponível em formato digital

Anexo S Viabilidade económica - Iluminação no Grande Auditório

Apenas disponível em formato digital

Anexo T Viabilidade económica - Instalação de módulos fotovoltaicos

Apenas disponível em formato digital

