



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação de medidas de eficiência energética dos sistemas de um hotel

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

Evaluation of energy efficiency measures of a hotel systems

Autor

Miguel Custódio Reis

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Engenheiro José Vaz Monteiro Afonso

Júri

Presidente Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas
Assistente Convidado da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Engiprior – Consultoria, Estudos e Projetos,
Unipessoal Lda.

Coimbra, julho, 2016

Os antepassados dos Engenheiros de hoje, antepassados remotos ou próximos,
foram sempre essenciais para os períodos de maior desenvolvimento do País.

Marcelo Rebelo de Sousa, 2016

Aos meus pais e à minha irmã.

Agradecimentos

O documento que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração, quer direta ou indireta, de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento e gratidão.

Assim, em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais por me oferecerem a oportunidade de poder frequentar um tão bom curso e me providenciarem o apoio necessário para que nunca fique nada em falta.

De seguida gostaria de agradecer a todos os docentes do DEM pela partilha de conhecimentos com os alunos, em especial ao Professor Doutor Adélio Gaspar e Professor Francisco Lamas pela valiosa ajuda e esclarecimento de dúvidas, contando sempre com boa disposição.

Agradecer também ao Engenheiro José Afonso e restantes colaboradores da Engiprior pelo bom acolhimento na empresa e pela indispensável ajuda na realização desta Dissertação. Um agradecimento especial para o Engenheiro Mário Santos pela grande ajuda prestada e pelo conhecimento partilhado.

Também gostaria de agradecer à Engenheira Carina João, minha madrinha, pelo aconselhamento e pelas oportunidades de entrar em contacto com o meio empresarial e de trabalho, profundamente determinante para que existisse força de vontade para querer ser Engenheiro.

Por fim, mas certamente não menos importante, aos meus amigos por todos os momentos passados, quer nas intermináveis horas de estudo, no companheirismo nos pontos mais altos e nos mais baixos do curso e, também, nas excelentes formas de convívio ocorridas. Sem dúvida serão para a vida.

Resumo

A otimização e eficiência energética são os temas na ordem do dia, cada vez mais se torna imperativo tomar extremo rigor quando o assunto é a eficiência energética. A legislação e medidas europeias são claras quanto ao objetivo que pretendem atingir: a implementação do conceito de edifícios com necessidades nulas de energia. Para isto, em Portugal já se começam a sentir os esforços feitos nesse sentido, através de atualizações na legislação regulamentar em edifícios.

Esta dissertação tem como caso de estudo um hotel, situado na Ilha de S. Miguel, na Região Autónoma dos Açores. Os picos de ocupação ocorrem no mês de agosto, conseqüentemente sendo o mês no qual os consumos energéticos, eléctricos e de águas quentes sanitárias atingem os valores mais elevados.

Através de ferramentas de simulação dinâmica como o *Solterm* e o *Hourly Analysis Program* foram propostas alternativas aos sistemas energéticos e de iluminação e a partir de metodologias para determinação de perdas térmicas e de consumos de água foram propostas medidas de correção, complementadas com uma análise económica.

O objetivo de otimização de consumos foi cumprido, com análises energéticas a corresponder a diminuição de consumos e a recuperação de capital de investimento a ser realizada em períodos regulamentares e bastante interessantes do ponto de vista empresarial.

Palavras-chave: Eficiência energética, Consumo energético, Hotelaria, Consumos em hotéis, Simulação energética de edifícios.

Abstract

Optimization and energy efficiency are major concerns nowadays, each time it becomes more imperative to be accurate when it comes to energy efficiency. Legislation and European measures are clear about the objective they want to reach: the implementation of the concept of the nearly-zero energy buildings. For this; Portugal is already feeling the efforts made on that way, through updates in legislation.

This thesis has as case study a hotel, located in S. Miguel island, in Azores. The load peaks occur in August, therefore being the month in which energy, electrical and hot water consumptions reach the highest values.

Through dynamic simulation tools like *Solterm* and *Hourly Analysis Program* were suggested alternatives to energy and lighting systems and through methodologies to determine heat losses and water consumptions were suggested corrective measures, complemented by economic analysis.

The consumption optimization objective was fulfilled, with energy analysis registering decrements on consumptions and the investment paybacks happening within statutory periods and quite interesting from a business point of view.

Keywords Energy efficiency, Energy consumption, Hotels, Hotel consumptions, Building dynamic simulation.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Simbologia e Siglas	xv
Simbologia.....	xv
Siglas	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Legislação nacional no âmbito da eficiência energética.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Estrutura da Dissertação	5
2. FERRAMENTAS DE ANÁLISE E METODOLOGIA	7
2.1. Procedimento para auditorias energéticas.....	7
2.1.1. Análise preliminar à utilização de energia	7
2.1.2. Nível 1 – Análise deambulatória	8
2.1.3. Nível 2 – Análise de avaliação de energia.....	8
2.1.4. Nível 3 – Análise detalhada a medidas de grande intervenção	9
2.1.5. Auditorias-alvo	9
2.2. Dimensionamento de sistemas solares térmicos.....	9
2.3. <i>Hourly Analysis Program</i> (HAP)	11
2.4. Iluminação LED.....	12
2.5. Transferência de calor em equipamentos térmicos.....	13
2.6. Condução de calor através de isolamento.....	14
2.7. Análise económica de investimentos.....	15
3. CASO DE ESTUDO	17
3.1. Descrição do edifício	17
3.2. Ocupação	18
3.3. Área técnica	18
3.4. Descrição dos sistemas de energia.....	19
3.4.1. Sistemas de AVAC.....	19
3.4.2. Sistemas de preparação de AQS.....	19
3.4.3. Sistemas de iluminação	20
3.5. Caracterização do consumo energético do edifício	22
3.5.1. Repartição do uso da energia.....	22
3.5.2. Calibração e resultados da simulação.....	23
3.6. Consumos de AQS.....	25
3.7. Torneiras de duchas	26
3.8. Análise termográfica.....	27
3.9. Notas conclusivas	29

4.	ESTUDO DE MEDIDAS DE MELHORIA	31
4.1.	Sistema solar térmico para AQS.....	31
4.2.	Iluminação	34
4.3.	Válvulas reguladoras de caudal nas torneiras de duches.....	35
4.4.	Isolamento da tubagem.....	37
4.5.	Isolamento dos permutadores de calor	39
5.	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO A – FICHA TÉCNICA DA CALDEIRA.....	45
	ANEXO B – SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	47
	ANEXO C – IMAGENS TERMOGRÁFICAS	49
	APÊNDICE A – PERDAS TÉRMICAS EM TUBAGEM.....	51
	APÊNDICE B – PERDAS TÉRMICAS EM PERMUTADORES.....	53
	APÊNDICE C – PREÇO UNITÁRIO DE LED’S.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Geometria considerada para efeitos de cálculo em permutadores de calor.	14
Figura 3.1. Localização e envolvimento do edifício.	17
Figura 3.2. Perfil de consumo do edifício.	23
Figura 3.3. Consumos simulado e faturado mensais.	23
Figura 3.4. Fachada e respetivo gradiente térmico.	27
Figura 3.5. Fachada e respetivo gradiente térmico.	27
Figura 3.6. Permutador de calor e respetivo gradiente térmico.	28
Figura 3.7. Tubagem e respetivo gradiente térmico.	28
Figura 4.1. Imagem termográfica de tubagem sem isolamento.	37
Figura 4.2. Imagem termográfica em permutador de calor sem isolamento.	39
Figura A.1 Ficha técnica da caldeira.	45
Figura B.1 Iluminação fluorescente linear.	47
Figura B.2 Iluminação halogéneo.	47
Figura B.3 Iluminação fluorescente compacta.	47
Figura B.4 Iluminação LED.	47
Figura B.5 Iluminação fluorescente linear.	47
Figura B.6 Iluminação fluorescente linear.	47
Figura B.7 Iluminação fluorescente linear.	48
Figura B.8 Iluminação fluorescente linear.	48
Figura C.1 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.	49
Figura C.2 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.	49
Figura C.3 Imagem termográfica de tubagem sem isolamento térmico.	49
Figura C.4 Imagem termográfica de fachada.	50
Figura C.5 Imagem termográfica de envidraçado.	50
Figura C.6 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Consumos diários de referência sugeridos pela ADENE. (ADENE, 2009).....	10
Tabela 2.2. Tradução de potências convencionais para potências LED. (LEDLife, 2014).	12
Tabela 2.3. Valores de iluminância por tipo de espaço.....	13
Tabela 3.1. Perfil de ocupação no período de referência.....	18
Tabela 3.2. Características das caldeiras.....	20
Tabela 3.3. Quantidade de luminárias em função da tipologia.....	20
Tabela 3.4. Levantamento de luminárias do edifício.....	21
Tabela 3.5. Potência instalada por tipologia e total.....	21
Tabela 3.6. Consumos nominais do edifício.....	22
Tabela 3.7. Consumos médios faturado e simulado de energia eléctrica.....	24
Tabela 3.8. Consumo mensal desagregado e total de AQS do edifício.....	25
Tabela 3.9. Consumo mensal de água e energia por dormida.....	26
Tabela 4.1. Balanço energético mensal.....	32
Tabela 4.2. Preço dos combustíveis utilizados.....	33
Tabela 4.3. Síntese de custos de aplicação de sistema solar.....	33
Tabela 4.4. Parâmetros relativos aos diferentes sistemas de apoio.....	33
Tabela 4.5. Custos energéticos relativamente a consumos.....	35
Tabela 4.6. Consumo mensal de água e energia nas condições propostas.....	36
Tabela 4.7. Redução do consumo energético e do consumo de água.....	36
Tabela 4.8. Perdas térmicas em tubagem.....	38
Tabela 4.9. Perdas térmicas em permutador <i>FHL 01</i>	40
Tabela 4.10. Perdas térmicas em permutador <i>FHL 10</i>	40
Tabela A.1 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor na tubagem.....	51
Tabela B.1 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor em <i>FHL 01</i>	53
Tabela B.2 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor em <i>FHL 10</i>	54
Tabela C.1 Preços unitários de LED's relativamente à potência.....	55

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

A_s – Área da superfície [m^2]

e_{isol} – Espessura do isolamento [m]

g – Aceleração gravítica [m/s^2]

Gr – Número de *Grashof*

h – Coeficiente de transferência de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

k_{isol} – Condutibilidade térmica do isolamento [$W/m \cdot ^\circ C$]

L – Comprimento característico da geometria [m]

Nu – Número de *Nusselt*

Pr – Número de *Prandtl*

\dot{Q} – Taxa de transferência de calor [W]

\dot{Q}_{conv} – Taxa de transferência de calor por convecção natural [W]

\dot{Q}_{rad} – Taxa de transferência de calor por radiação térmica [W]

r_1 – Raio exterior da tubagem [m]

Ra – Número de *Rayleigh*

R_{conv} – Resistência térmica de convecção [$^\circ C/W$]

r_{crit} – Raio crítico de isolamento [m]

R_{isol} – Resistência térmica do isolamento [$^\circ C/W$]

T_1 – Temperatura superficial da tubagem [$^\circ C$]

T_s – Temperatura superficial [$^\circ C$]

T_∞ – Temperatura ambiente [$^\circ C$]

\dot{V} – Caudal volúmico [m^3/s]

β – Coeficiente de expansão térmica volumétrica [$1/K$]

ε – Emissividade do material

σ – Constante de *Stefan-Boltzmann*

ν – Viscosidade cinemática do fluido [m^2/s]

Siglas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

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

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

ICE – Índice de Custo Energético

ECO.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

UE – União Europeia

IUE – Índice de Utilização Energético

FER – Fontes de Energia Renovável

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GES – Grande Edifício de Serviços

HAP – *Hourly Analysis Program*

LED – *Light Emitting Diode*

NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*

PCI – Poder Calorífico Inferior

PEA – *Preliminary Energy Analysis*

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PR – Período de Retorno

QAI – Qualidade do Ar Interior

QEPiC – Quadro Estratégico para a Política Climática

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

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

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VAL – Valor Atualizado Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os Estados-membro da União Europeia (UE) estão cada vez mais empenhados em implementar medidas para redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera. É necessário tomar medidas para que a dependência de combustíveis fósseis seja substituída por outras fontes de energia e, conseqüentemente, haja uma adaptação do estilo de vida dos cidadãos europeus a comportamentos mais sustentáveis. Para mais, a dependência de combustíveis fósseis fornecidos por países fora da EU, com grande instabilidade política, torna-se prejudicial pois o fornecimento de energia é instável, originando variações muito irregulares dos preços (Green Paper, 2000).

É da responsabilidade dos Governos, empresas e cidadãos conjugar esforços, cada um no seu leque de possibilidades, para que haja uma mudança de paradigma quanto ao uso excedentário de energia. De facto, é neste sentido que se têm desenvolvido grande parte das intervenções político-ambientais a nível mundial. Exemplo disso é o Protocolo de Quioto, surgindo a 4 de Fevereiro de 1991, sendo um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas. Inclui os compromissos assumidos pelos países industrializados de reduzirem as suas emissões de determinados gases de efeito de estufa, responsáveis pelo aquecimento global, em 5% em relação aos níveis de 1990, num período compreendido entre 2008 e 2012 (Fernandes, 2014).

O Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o setor da energia, estabelecendo a ENE (Estratégia Nacional para a Energia), firmando, pela Diretiva FER (Fontes de Energia Renovável), o aumento da quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia para 31% e o aumento da utilização de fontes renováveis no setor dos transportes para 10%, até 2020. Ainda, o Programa do XVIII Governo pretende aumentar a quota das FER no consumo final de energia elétrica para 60%, até 2020 (Rodrigues, 2011).

Para alcançar estes resultados, Portugal desenvolveu planos e programas específicos que visam dinamizar medidas e concretizá-las de forma mais efetiva, tais como

o PNAEE (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética) para o período entre 2013 e 2016, e o PNAER (Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis) para o período entre 2013 e 2020. Estes visam o cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, minimizando o investimento necessário e aumentando a competitividade nacional. A revisão integrada do PNAEE e do PNAER veio permitir que as medidas difíceis de quantificar ou com impacto reduzido dessem lugar a medidas mais eficazes, e reforçar as medidas existentes de menor custo e maior facilidade de implementação. Para os Organismos e Serviços da Administração Pública foi lançado o programa ECO.AP (Programa de Eficiência Energética na Administração Pública) que visa alcançar um nível de eficiência energética no setor público na ordem dos 30% até 2020 (Cabral, 2013).

Mais recentemente, foi desenvolvido o PNAC 2020/2030 (Programa Nacional para as Alterações Climáticas), subscrito por Portugal e pela UE, elemento que constitui o QEPiC (Quadro Estratégico para a Política Climática) que assumiu como visão o desenvolvimento de uma economia competitiva e de baixo carbono, estabelecendo um novo paradigma de desenvolvimento para Portugal num contexto de “crescimento verde”. Constitui objetivo do PNAC assegurar uma trajetória sustentável de redução das emissões nacionais de GEE de forma a alcançar uma meta de -18% a -23% em 2020 e de -30% a -40% em 2030 em relação a 2005, garantindo o cumprimento dos compromissos nacionais de mitigação e colocando Portugal em linha com os objetivos europeus (Santos et al., 2015).

No entanto, não é possível atingir todas estas metas e objetivos sem o uso eficiente da energia. Para isso foram também definidas medidas para os vários setores da energia, sendo criado um programa de Certificação Energética que visa classificar os edifícios com uma etiqueta energética, segundo o SCE (Sistema de Certificação Energética dos Edifícios), definida através da necessidade de consumo específico do edifício.

As auditorias energéticas assumem um papel determinante na avaliação do desempenho energético e na obtenção de um apropriado nível de eficiência energética, tais que representam um “retrato energético” dos edifícios. O correto diagnóstico de um edifício permite identificar pontos críticos e equacionar medidas de melhoria, através da desagregação de consumos. Posteriormente, uma simulação dinâmica permite testar as medidas de melhoria quanto à viabilidade económica.

1.2. Legislação nacional no âmbito da eficiência energética

A Certificação Energética e da QAI (Qualidade do Ar Interior) surgiu da transposição da Diretiva Europeia nº 2002/91/CE, permitindo a avaliação do desempenho energético de edifícios, tendo dado origem aos regulamentos RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios), relativo a edifícios de comércio e serviços, e ao RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), relativo a edifícios de carácter habitacional. Com a revogação desta diretiva pela Diretiva nº 2010/31/EU, surgiram novos regulamentos, o RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) e o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação), substituindo os antigos RSECE e RCCTE, respetivamente, e inseridos no SCE (Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e da QAI).

Esta atualização da legislação nacional existente envolve alterações a vários níveis, com especial ênfase para as modificações estruturais e de síntese, que permitem a reorganização de uma matéria que anteriormente era disposta em três diplomas distintos, facilitando a tarefa de consulta e interpretação dos destinatários das normas. Em segundo lugar, a diferenciação objetiva do âmbito de aplicação do RECS e do REH, passando o primeiro a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de comércio e serviços e o segundo sobre os edifícios de habitação. Desta forma, torna-se mais simples o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, ao mesmo tempo que são discriminadas as especificidades técnicas de cada tipo de edifício, naquilo que é mais relevante para a caracterização e melhoria do desempenho energético.

De acordo com o Decreto-lei nº 118/13 de 20 de Agosto, com esta diferenciação, nos edifícios de habitação assumem relevância o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, sendo acrescidos aos edifícios de comércio e serviços, a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos. Para cada uma destas características são, ainda, definidos princípios gerais, materializados em requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes.

A definição de um mapa evolutivo de requisitos com horizonte temporal até 2020 permite facilitar a antecipação e adaptação do mercado, ao mesmo tempo que são promovidos edifícios cada vez mais eficientes.

Além da atualização de requisitos de qualidade térmica, são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios. Assim, estão sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de AQS (Águas Quentes Sanitárias), de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis.

Para consolidar a eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, em especial do aproveitamento solar, considerado um recurso abundante no nosso país. Do mesmo modo, é incentivada a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, bem como um menor recurso a sistemas ativos de climatização. Neste contexto, surge o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*), que passará a ser padrão de referência na construção a partir de 2020, ou de 2018 no caso de edifícios novos de entidades públicas. Este padrão consiste em edifícios eficientes energeticamente em que as suas necessidades energéticas sejam muito baixas e capazes de serem suprimidas recorrendo a fontes de energias renováveis.

Destaque ainda para o reconhecimento do pré-certificado e do certificado SCE como certificações técnicas, pretendendo-se simplificar a sua aplicação em assunto de consulta e vistorias, tornando-as obrigatórias na instrução de operações urbanísticas.

Quanto à política de qualidade do ar interior, considera-se indispensável a conservação dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção de saúde dos ocupantes dos espaços. Neste sentido, evidencia-se que passa a privilegiar-se a ventilação natural em vez do uso de equipamentos de ventilação mecânica, com vista a obter redução de custos e eficiência energética.

São eliminadas as auditorias à qualidade do ar interior, no entanto, não deixa de ser relevante proceder ao controlo das fontes de poluição e à adoção de medidas preventivas, no sentido da conceção de edifícios e do seu funcionamento, de maneira a que se cumpram os requisitos legais para a não-ocorrência de riscos para a saúde pública.

Apesar do facto de nos Açores se encontrar em fase de transição a legislação referente ao RECS e o REH, a aplicação de medidas de melhoria a sistemas energéticos não é afetada por essa diferença. É somente afetada a Classe Energética do edifício em relação à legislação atual, e ainda mais a partir de 2020, com nova legislação mais

exigente, com o objetivo de implementação do conceito de edifícios novos com necessidades quase nulas de energia.

1.3. Objetivos

A presente Dissertação tem como objetivo principal o estudo de medidas de aumento da eficiência energética dos sistemas de energia num hotel na Região Autónoma dos Açores, através da implementação de medidas de melhoria adicionais às propostas aquando da auditoria energética ao hotel.

Assim, serão estudadas e simuladas propostas de substituição a sistemas implementados e propostas medidas de correção em equipamentos cujos consumos revelaram ser excessivos. Posteriormente serão realizadas análises económicas para aferição da viabilidade do investimento exigido.

1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos que apresentam as várias fases do estudo e das análises desenvolvidas. Neste primeiro capítulo é feita uma retrospeção e um enquadramento dos temas abordados na atualidade, nas medidas europeias e nacionais existentes e na legislação nacional no âmbito da eficiência energética que visam alcançar elevados índices de eficiência energética, ao mesmo tempo que tentam diminuir o impacto ambiental.

O segundo capítulo apresenta as metodologias e ferramentas necessárias às análises que são feitas, complementado com uma breve explicação dos programas de simulação dinâmica utilizados. Contém ainda uma síntese de informação acerca de métodos de auditorias sugeridos pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), classificados em diferentes níveis (Deru e Kelsey, 2011).

No terceiro capítulo é feita a apresentação do caso de estudo em que é feita uma descrição geral do hotel, dos sistemas energéticos, da calibração do modelo real de simulação dinâmica, do perfil de ocupação, dos consumos de energia e de AQS e de imagens termográficas em vários locais. Para completar, é feita uma comparação entre a

auditoria realizada pela empresa e os níveis de auditoria da ASHRAE e como pode a auditoria realizada ao hotel ascender ao nível mais elevado.

No quarto capítulo são apresentados os pontos de partida para estudo de medidas de melhoria, no qual é feita uma análise técnica e económica, com apresentação dos resultados mais relevantes efetuados.

Por fim, o quinto capítulo é composto pelas conclusões, no qual é feita uma retrospectiva às metodologias de cálculo e ferramentas de análise utilizadas e uma breve aferição da viabilidade das medidas de melhoria propostas.

2. FERRAMENTAS DE ANÁLISE E METODOLOGIA

2.1. Procedimento para auditorias energéticas

A ASHRAE sugere a existência de três “níveis de esforço” para as auditorias energéticas, variando consoante a necessidade de obter uma análise mais detalhada e rigorosa (Deru e Kelsey, 2011).

A análise energética dos edifícios de comércio e serviços pode geralmente ser classificada segundo os três “níveis de esforço” seguintes:

- Nível 1 – Análise deambulatória (*Walk Through Analysis*);
- Nível 2 – Análise de avaliação de energia (*Energy Survey Analysis*);
- Nível 3 – Análise detalhada a medidas de grande intervenção (*Detailed Analysis of Capital Intensive Modifications*).

Adicionalmente, existe uma análise preliminar à utilização de energia, PEA (*Preliminary Energy-Use Analysis*), que representa um pré-requisito para qualquer auditoria. Existem também auditorias-alvo (*Targeted Audits*), as quais não seguem um determinado “nível de esforço”, no entanto podem ser úteis ou necessárias em algumas situações.

2.1.1. Análise preliminar à utilização de energia

A PEA antecede a auditoria a um edifício. Durante a PEA o auditor analisa o historial de uso de energia, picos de consumo e custos e calcula o Índice de Custo Energético (ICE) e o Índice de Utilização Energético (IUE) do edifício. Estes parâmetros são calculados a partir de folhas de cálculo disponibilizadas pela ASHRAE. De seguida, compara-se o IUE do edifício com os IUE's de edifícios semelhantes para avaliar o potencial dos sistemas energéticos e determinar até que ponto é vantajoso efetuar estudos de engenharia que resultem em poupanças energéticas significativas.

A análise do historial de utilização e informação preliminar do edifício podem conferir uma visão preponderante no funcionamento nominal do edifício, uso de energia e desempenho. Isto é um fator decisivo na determinação da viabilidade da execução de estudos e análises de engenharia que representem poupanças significativas de energia, e assim determiná-las. Também é possível identificar quaisquer anomalias na fatura

energética, preparando o auditor para posteriormente investigar as incongruências. A PEA deverá determinar quaisquer usos de energia mensais ou anuais irregulares, destacar quais os equipamentos que consomem mais energia e identificar oportunidades para mudança de hábitos.

2.1.2. Nível 1 – Análise deambulatória

O primeiro nível, o mais básico de todos, pode ser descrito como uma análise e visita deambulatória. Consiste numa análise às faturas energéticas, provenientes da PEA, para avaliar os custos e eficiência energética, complementada com uma ligeira vistoria ao local.

A nível de medidas para aumento da eficiência energética, apenas são aplicadas medidas de nulo ou baixo custo. Nesta fase a complexidade e quantidade de cálculos é mínima, daí os custos e poupanças constituírem valores muito próximos.

Uma auditoria de nível 1 é aplicada quando se pretendem estabelecer potenciais medidas de poupança energética de um edifício ou estabelecer quais os edifícios num portfólio que conferem maiores poupanças. Os resultados desta auditoria podem ser usados para desenvolver futuras auditorias de nível 2 e 3.

2.1.3. Nível 2 – Análise de avaliação de energia

Uma auditoria de nível 2 envolve uma inspeção mais rigorosa e detalhada ao edifício, incluindo análise aos consumos de energia e picos de consumo.

Neste tipo de auditoria são identificadas e disponibilizadas análises a custos e poupanças de praticamente todas as medidas de eficiência energética que vão ao encontro das restrições do proprietário/operador e critérios económicos, em conjunto com propostas de alterações a procedimentos de operação e manutenção. Também pode ser fornecida uma listagem de potenciais medidas de melhoria que necessitem de uma recolha de dados e análise de engenharia mais completas, bem como uma avaliação a potenciais custos e poupanças. Este nível de análise vai providenciar informação adequada para que o proprietário/operador possa aplicar as recomendações da maior parte das medidas em edifícios.

2.1.4. Nível 3 – Análise detalhada a medidas de grande intervenção

O terceiro nível de auditoria é focado essencialmente em potenciais medidas de melhoria em projetos identificados durante uma análise de nível 2. Esta análise requer uma maior recolha de dados de campo, tais como análises económicas e de engenharia mais rigorosas, complementadas com simulação dinâmica do comportamento energético anual do edifício e preços do fornecedor. Esta auditoria fornece custos de projeto e cálculos de poupança detalhados com elevado grau de fiabilidade, suficientes para tomada de decisões no que respeita a grandes investimentos de capital.

Este nível de auditoria vai para além da análise económica feita numa auditoria de nível 2, podendo ser utilizada uma análise ao custo do ciclo de vida (LCCA) como ferramenta de tomada de decisões.

2.1.5. Auditorias-alvo

Uma auditoria-alvo consiste num estudo com objetivo limitado, tipicamente um sistema singular de uso de energia ou determinada área do edifício. Alguns exemplos incluem auditorias à iluminação, reposições de torres de arrefecimento e projetos de melhorias em habitações.

Uma auditoria-alvo identifica e fornece análise de custos e poupanças e controla estratégias de melhoria para os sistemas de interesse. O nível de esforço pode vir a ser ajustado consoante as necessidades da instalação. Devido ao caráter limitativo da auditoria a um determinado espaço do edifício, não podem ser realizadas extrapolações ao edifício. Da mesma forma, uma simulação a todo o edifício tipicamente não representa benefícios, exceto para grandes sistemas. Por esta razão, as auditorias-alvo baseiam-se em medições, registo de dados e dados de tendência.

2.2. Dimensionamento de sistemas solares térmicos

O dimensionamento de um sistema solar de AQS começa com a definição de perfis de consumo, levantamento das características do local e utilização de *software* adequado para simulação do sistema (Soares, 2014). O *software* utilizado para o efeito foi o *Solterm*.

O perfil de consumo de AQS depende de um consumo de referência relativo à tipologia do espaço em estudo e, no caso de edifícios, geralmente, de um perfil de

ocupação. Segundo o Caderno de Perguntas e Respostas sobre o RCCTE, fornecido pela ADENE (Agência para a Energia), a pergunta L.17 sobre estimativa de consumos de AQS, representada na Tabela 2.1, fornece informação sobre o consumo diário de referência a considerar em função de uma certa tipologia de espaço.

Tabela 2.1. Consumos diários de referência sugeridos pela ADENE. (ADENE, 2009)

Tipologia do espaço	Consumo diário de referência a 60°C
Hospital e clínica	55 l/cama
Hotel ****	70 l/cama
Hotel ***	55 l/cama
Hotel/residencial **	40 l/cama
Residencial/pensão *	35 l/cama
Campismo	40 l/lugar
Lar de idosos	55 l/cama
Escola	3 l/aluno (só refeição)
Quartel	20 l/pessoa
Fábrica ou oficina	15 l/pessoa
Escritório	3 l/pessoa
Ginásio	20~25 l/pessoa
Lavandaria	3~5 l/kg de roupa
Restaurante	5~10 l/refeição
Cafetaria	1 l/pequeno almoço

Como primeira abordagem ao dimensionamento é calculada uma área de coletores solares térmicos teórica que será posteriormente otimizada no *Solterm*. O cálculo da área de coletores considera o volume de acumulação solar, V , correspondente ao pico máximo de consumo diário ocorrido no período. Seguidamente é estimado um número de coletores-padrão com 2 m^2 de área de captação, recorrendo à Equação (2.1):

$$N^{\circ} \text{ coletores} = \frac{V \times 3}{500} \quad (2.1)$$

A partir deste número de coletores-padrão é estimado um número de coletores com diferente área de captação.

O volume do depósito de acumulação de AQS é estimado a partir da média diária anual de consumo.

Com recurso ao *Solterm*, são inseridos estes valores iniciais e realizada otimização sob critérios energéticos, tais como:

- aumento da fração solar;
- redução de desperdício de energia solar;
- redução de fornecimento de energia de apoio;
- otimização da orientação dos coletores.

Após otimização obtém-se informação sobre a fração de energia solar que é aproveitada pelo sistema e a energia que é necessária fornecer pelo sistema de apoio, para que as necessidades de AQS do edifício sejam suprimidas.

2.3. Hourly Analysis Program (HAP)

O *software* de simulação dinâmica HAP (*Hourly Analysis Program*) permite uma análise profunda em edifícios, possibilitando a obtenção de informação relevante em termos de consumos energéticos.

Para tal, o *software* necessita de um *input* de dados e características detalhados referentes a cada espaço (área, pé-direito, potências de iluminação e equipamentos, perfil de ocupação, requisitos de ventilação, contacto com espaços climatizados ou não-climatizados). Os espaços com requisitos de climatização e ventilação idênticos são depois agrupados em sistemas (*Systems* para efeito do HAP), para posterior associação em grupos de sistemas (*Buidings*). O *software* simula e emite relatórios de cada *Building*, os quais contêm a informação sobre os consumos energéticos desagregados de ventiladores, sistema de aquecimento, sistema de arrefecimento, bombas, iluminação e equipamentos elétricos.

A partir da análise destes relatórios podem ser identificados consumos excessivos e analisadas medidas que provoquem alteração de consumos de sistemas energéticos.

2.4. Iluminação LED

As luminárias do tipo LED possuem valores de eficiência relativamente superiores aos valores referentes a outras tipologias de luminárias, inclusivamente fluorescentes e *spots* de halogéneo. Esta eficiência é medida em lúmens por *Watt* (lm/W) e, em condições normais, no caso dos LED's varia entre 60 e 130 lm/W, em contraste com as fluorescentes (cerca de 65 lm/W) e as de halogéneo (cerca de 19 lm/W) (LEDLife, 2014).

Relativamente ao período de vida útil, estas permitem uma longa duração, de cerca de 50.000 horas de funcionamento ininterrupto, condição indispensável no caso de um hotel, em que determinadas zonas a iluminação tem de estar em funcionamento durante todo o dia. Por outro lado, o período de vida útil de luminárias do tipo fluorescente e de halogéneo é consideravelmente baixo em comparação, cerca de 7.000 horas e 3.000 horas, respectivamente (LEDLife, 2014).

A potência associada a luminárias LED não é igual à potência de outros tipos de luminárias convencionais. No entanto existem valores de potências de luminárias LED equivalentes às potências de outro tipo de luminárias, conforme disposto na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Tradução de potências convencionais para potências LED. (LEDLife, 2014)

Tipologia	Potência convencional [W]	Potência equivalente em LED's [W]
Compactas	7	3
Compactas	9	3
Compactas	11	3
Compactas	13	5
Compactas	15	9
Compactas	16	9
Compactas	18	10
Compactas	26	13
Compactas	30	15
Compactas	36	18
Lineares	18	10

Lineares	36	20
Lineares	58	23
<i>Spots</i> halogéneo	35	4
<i>Spots</i> halogéneo	60	6

Um fator decisivo no correto desempenho das funções de um profissional no seu local de trabalho é a luminosidade disponível, estando intrinsecamente relacionada com o conforto, produtividade e saúde dos profissionais.

A norma europeia EN 12464-1 estabelece valores mínimos de iluminância a manter, consoante o tipo de espaço em questão. A Tabela 2.3 apresenta os valores de iluminância a manter para as diferentes tipologias de espaços do presente edifício.

Tabela 2.3. Valores de iluminância por tipo de espaço.

Tipo de espaço	Iluminância mantida [lux]
Gabinetes	500
Salas de reunião	500
Instalações sanitárias	200
Salas de estar/cantina	200
Arquivo	200

2.5. Transferência de calor em equipamentos térmicos

A transferência de calor por convecção natural ocorre unicamente devido a correntes convectivas induzidas por forças de flutuação, que são devidas às diferenças de densidade causadas por variações de temperatura no ar. Para calcular as perdas de calor devidas a este fenómeno recorreu-se à Equação (2.2), característica da transmissão de calor por convecção natural:

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty), \quad (2.2)$$

em que \dot{Q}_{conv} é a potência convectiva libertada, h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A_s a área da superfície, T_s a temperatura à superfície e T_∞ a temperatura ambiente.

Na transferência de calor por radiação térmica a transmissão de energia é feita por ondas eletromagnéticas. O corpo liberta calor por radiação, tal como por convecção natural. Assim, para calcular as perdas de calor devidas a este fenómeno recorreu-se à Equação (2.3), característica de transmissão de calor por radiação térmica.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4), \quad (2.3)$$

em que \dot{Q}_{rad} é a potência radiante libertada, ε é a emissividade do material, A_s a área da superfície, σ a constante de *Stefan-Boltzmann*, T_s a temperatura à superfície e T_∞ a temperatura ambiente.

Caso específico de permutadores de calor

Na determinação de perdas térmicas em permutadores de calor de placas foram consideradas hipóteses simplificadoras, já que estes são constituídos por diversos materiais e a geometria deste tipo de permutadores é bastante complexa, não permitindo uma análise rigorosa às perdas de calor. Desta forma, foi considerado que cada permutador é caracterizado por uma forma paralelepipedal, conforme ilustrado na Figura 2.1.

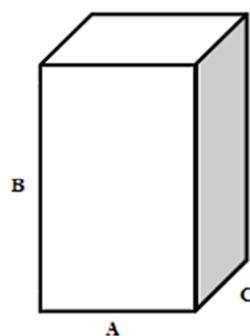


Figura 2.1. Geometria considerada para efeitos de cálculo em permutadores de calor.

As dimensões características destes modelos serão representadas, de acordo com a Figura 2.1, na seguinte forma: [A; B; C] [mm].

2.6. Condução de calor através de isolamento

Sendo conhecida a temperatura à superfície de um material, é possível determinar o decréscimo de temperatura que ocorre através do isolamento e, assim, a

temperatura à superfície do isolamento. A transferência de energia por condução ocorre segundo a Equação (2.4).

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{isol} + R_{conv}}, \quad (2.4)$$

em que \dot{Q} é a potência libertada, T_1 a temperatura à superfície da tubagem, T_∞ a temperatura ambiente, R_{isol} a resistência térmica do isolamento e R_{conv} a resistência térmica de convecção. A temperatura à superfície do isolamento é então obtida conforme a Equação (2.5).

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_{isol}}{R_{isol}}, \quad (2.5)$$

em que \dot{Q} é a potência libertada, T_1 a temperatura à superfície da tubagem, T_{isol} a temperatura à superfície do isolamento e R_{isol} a resistência térmica do isolamento.

Espessura crítica de isolamento térmico

No caso específico de tubos a aplicação de isolamento deve obedecer a uma condição relativa à espessura de isolamento. Ao isolar-se um tubo está a reduzir-se a potência térmica transmitida por condução, devido ao aumento da resistência condutiva. No entanto, o isolamento adicional diminui a resistência convectiva, devido ao aumento da área de superfície exterior sujeita a convecção.

Assim, pode existir uma espessura ótima de isolamento que torna mínima a quantidade de calor transmitida. Ou seja, na prática deve escolher-se um isolamento, tal que a condição descrita na Equação (2.6) seja verificada.

$$\frac{k_{isol}}{h} = r_{crít} < r_1, \quad (2.6)$$

em que k_{isol} é a condutibilidade térmica do isolamento, h o coeficiente de transmissão de calor do isolamento, $r_{crít}$ o raio crítico de isolamento e r_1 o raio exterior da tubagem.

2.7. Análise económica de investimentos

Devido às exigências da atualidade, uma análise económica a um projeto de investimento reveste-se de igual importância quando comparada com uma análise técnica e energética. O parâmetro a ser utilizado é o PR (Período de Retorno) e é calculado pela Equação (2.7).

$$PR = \frac{\textit{Investimento inicial}}{\textit{Redução anual}}, \quad (2.7)$$

em que *Investimento inicial* é quantificado em € e *Redução anual* em €/ano.

No entanto, dado que o *software Solterm* faz uma análise económico-financeira mais rigorosa a preços variáveis, optou-se por aproveitar essa metodologia no estudo da viabilidade económica do sistema solar térmico.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Descrição do edifício

O edifício em estudo é um hotel, classificado, para efeitos do SCE, na tipologia de Grande Edifício de Serviços (GES). No que à descrição do edifício diz respeito, enquadra-se na tipologia de hotel de 4 ou mais estrelas.

O hotel está localizado no concelho de Ponta Delgada, ilha de S. Miguel, Região Autónoma dos Açores e foi construído no ano 2008. É constituído por 5 pisos acima do solo, sendo a comunicação entre pisos feita por escadas e elevadores. As frações principais do edifício são quartos, *suites*, salas de estar, sala de refeições, bares, piscina, ginásio, gabinetes, cozinhas, circulações, instalações sanitárias, balneários, armazéns, arrumos e áreas técnicas.

Em termos de construção, em todos os pisos as paredes são rebocadas e pintadas, os pavimentos constituídos por mosaicos e alcatifa e os tetos são falsos e fechados. Os pisos 2, 3 e 4 têm a particularidade de serem constituídos também por teto acústico. Este edifício não está dotado de sistemas de aproveitamento de energias renováveis.



Figura 3.1. Localização e envolvimento do edifício.

3.2. Ocupação

O perfil de ocupação mensal é apresentado na Tabela 3.1. Os dados de ocupação consistem em uma média referente à ocupação registada desde Outubro de 2013 a Junho de 2015.

Tabela 3.1. Perfil de ocupação no período de referência.

Mês	Dormidas
Janeiro	923
Fevereiro	1.233
Março	2.399
Abril	5.397
Maio	7.661
Junho	9.316
Julho	8.503
Agosto	10.424
Setembro	8.185
Outubro	6.408
Novembro	1.868
Dezembro	1.032
Total	63.349

3.3. Área técnica

A área técnica da sala das caldeiras encontra-se a uma temperatura, em geral, mais elevada que a temperatura no exterior e até em outros espaços, encontrando-se a cerca de 28°C. Tal facto deve-se ao funcionamento ininterrupto de alguns equipamentos e à falta de isolamento térmico em alguns equipamentos aí existentes, provocando desperdício de energia térmica, e elevando a temperatura ambiente.

A tubagem possui DN 100 e através do levantamento fotográfico é possível identificar 30 m de tubagem com falta de isolamento térmico. Foram também identificados 10 permutadores de calor da *Arsopi Thermal*, igualmente divididos em dois modelos, os

FHL 01 e *FHL 10*. A estrutura é composta por aço carbono pintado e as placas são constituídas por aço inoxidável. De acordo com a Figura 2.1 e a forma [A; B; C], são definidas as dimensões dos modelos *FHL 01* [350; 860; 200] e *FHL 10* [410; 1084; 420].

3.4. Descrição dos sistemas de energia

3.4.1. Sistemas de AVAC

Os sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) destinados à climatização e ventilação dos espaços interiores são constituídos por *chillers*/bombas de calor, UTA's (Unidades de Tratamento de Ar), UTAN's (Unidades de Tratamento de Ar Novo), ventiloconvectores, ventiladores e sistemas de expansão direta.

A produção de água aquecida e arrefecida é realizada através de dois *chillers*/bombas de calor. O fluido térmico é encaminhado para unidades de tratamento de ar e ventiloconvectores através de sistemas de tubagem isolada em todo o seu percurso e revestida a forra mecânica em percursos no exterior e à vista.

A difusão e emissão da energia térmica nos espaços é efetuada com recurso a unidades terminais do tipo ventiloconvectores que recebem ar, tratado no caso de UTA's ou filtrado no caso de ventiladores de insuflação, e o insuflam nos espaços através de grelhas e difusores. Em alguns casos o ar é tratado termicamente pelas UTA's e insuflado diretamente nos espaços através de difusores ou grelhas.

A climatização de alguns dos espaços, tais como o economato, cabeleireiro, sala da gestão técnica e depósito do lixo é efetuada com recurso a sistemas de expansão direta do tipo *mono-split*.

3.4.2. Sistemas de preparação de AQS

A preparação de AQS é realizada prioritariamente por dois *chillers*/bombas de calor da marca *Climaveneta*, situados na área técnica, sendo o apoio efetuado por duas caldeiras, uma a *pellets* e outra a gás, da marca *Buderus*. O pré-aquecimento da água é maioritariamente feito com recurso apenas a uma das caldeiras, nomeadamente à caldeira a *pellets*. Não foi possível obter informações técnicas relativas ao *chiller*/bomba de calor, no entanto é de conhecimento o valor da sua eficiência, sendo que o COP é 3.

A caldeira a gás foi instalada com vista a substituir a caldeira a *pellets* no caso de existirem anomalias no funcionamento. Ainda assim, a caldeira a gás é posta em funcionamento um dia por semana de forma a elevar a temperatura do sistema acima de 50°C para efeitos de destruição da bactéria *Legionella*. Em relação às caldeiras, existe outro parâmetro determinante no consumo da fonte de energia destas, como é o caso do PCI (Poder Calorífico Inferior). No caso da caldeira a gás butano, o PCI é de 47 MJ/kg, sendo na caldeira a *pellets* 18 MJ/kg.

Na Tabela 3.2 é descrito o tipo de caldeira e respetivos parâmetros associados. A ficha técnica da caldeira encontra-se no Anexo A.

Tabela 3.2. Características das caldeiras.

Marca	Modelo	Rendimento	Fonte de energia
<i>Buderus</i>	<i>Logano GE515</i>	85%	Gás butano/ <i>pellets</i>

3.4.3. Sistemas de iluminação

A iluminação do edifício é efetuada através de luminárias do tipo fluorescentes tubulares e compactas, *spots* de halogéneo e uma pequena percentagem do tipo LED (*Light Emitting Diode*), cujo levantamento é descrito na Tabela 3.3.

No Anexo B encontram-se imagens descritivas de alguns dos sistemas de iluminação utilizados.

Tabela 3.3. Quantidade de luminárias em função da tipologia.

Tipologia	Fluorescentes compactas	Fluorescentes lineares	<i>Spots</i> de Halogéneo
Quantidade	1720	493	118

Posteriormente foi realizado um levantamento mais detalhado, com ênfase na quantidade e diversidade de potências de cada tipologia de luminária de todos os espaços do edifício de estudo. Assim, conforme o levantamento representado nas plantas do edifício, o levantamento fotográfico resumidamente apresentado no Anexo B e considerando as cargas internas de iluminação de cada espaço para averiguação das potências das luminárias, é apresentada a Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Levantamento de luminárias do edifício.

Tipologia	Potência [W]	Quantidade
Compactas	7	486
Compactas	9	2
Compactas	11	759
Compactas	13	48
Compactas	15	2
Compactas	16	210
Compactas	18	98
Compactas	26	59
Compactas	30	43
Compactas	36	13
Lineares	18	112
Lineares	36	237
Lineares	58	144
<i>Spots</i> halogéneo	35	112
<i>Spots</i> halogéneo	60	6

Na Tabela 3.5 é apresentado o somatório de potência por tipologia e total, para ter a ordem de grandeza da potência instalada relativa a iluminação.

Tabela 3.5. Potência instalada por tipologia e total.

Tipologia	Potência [W]	Quantidade
Compactas	20.839	1.720
Lineares	18.900	493
<i>Spots</i> halogéneo	4.280	118
Total	44.019	2.331

3.5. Caracterização do consumo energético do edifício

O consumo energético global de um edifício é o resultado de diferentes consumos unitários referidos a determinados fins: energia para o sistema AVAC (aquecimento, arrefecimento e ventilação) e energia para sistemas não-associados ao AVAC (iluminação interior, iluminação exterior, equipamentos e outros). A cada um destes consumos está associado um perfil de utilização que caracteriza as necessidades energéticas dos espaços ao longo de um ano. Estes perfis são necessários para calibração da simulação e respetiva desagregação de consumos de energia.

Certamente um hotel não terá um contrato de tarifa de eletricidade fixa, no entanto, devido à falta de informação detalhada sobre as faturas de eletricidade, considera-se uma tarifa de 0,1438 €/kWh.

3.5.1. Repartição do uso da energia

Os consumos nominais de energia do edifício em estudo são apresentados na Tabela 3.6 e na Figura 3.2, em função do tipo de utilização e dos espaços complementares considerados.

São designados equipamentos não-AVAC os elevadores, bombas, equipamentos de lavandaria e equipamentos de cozinha.

Tabela 3.6. Consumos nominais do edifício.

Tipo de utilização	Consumo Edifício [kWh/ano]	Fator de conversão [kgep/kWh]	Consumo Edifício [kgep/ano]
Aquecimento (eletricidade)	334.670	0,29	97.054
Arrefecimento (eletricidade)	374.606	0,29	108.636
Iluminação interior	356.565	0,29	103.404
Equipamentos	713.015	0,29	206.774
AQS (eletricidade, gás e <i>pellets</i>)	419.845	ponderado	38.555

Iluminação exterior	14.850	0,29	4.307
Outros equipamentos	331.766	0,29	96.212
Total	2.545.317	ponderado	654.942

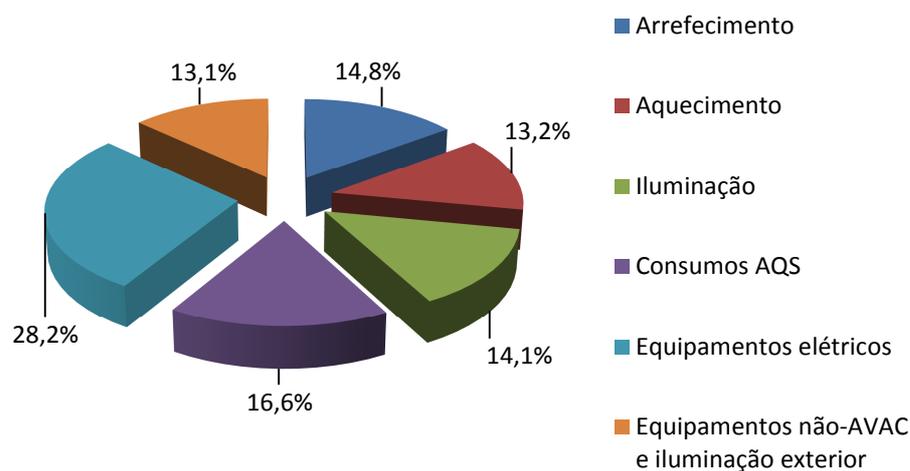


Figura 3.2. Perfil de consumo do edifício.

3.5.2. Calibração e resultados da simulação

Para analisar a qualidade do modelo de simulação real desenvolvido é necessário comparar os resultados da simulação com os registos de energia faturados. Deste modo, efetuam-se dois tipos de comparação, mensal e anual, para o período referente aos últimos 3 anos. Na Figura 3.3 são indicados os valores respetivos a cada mês.

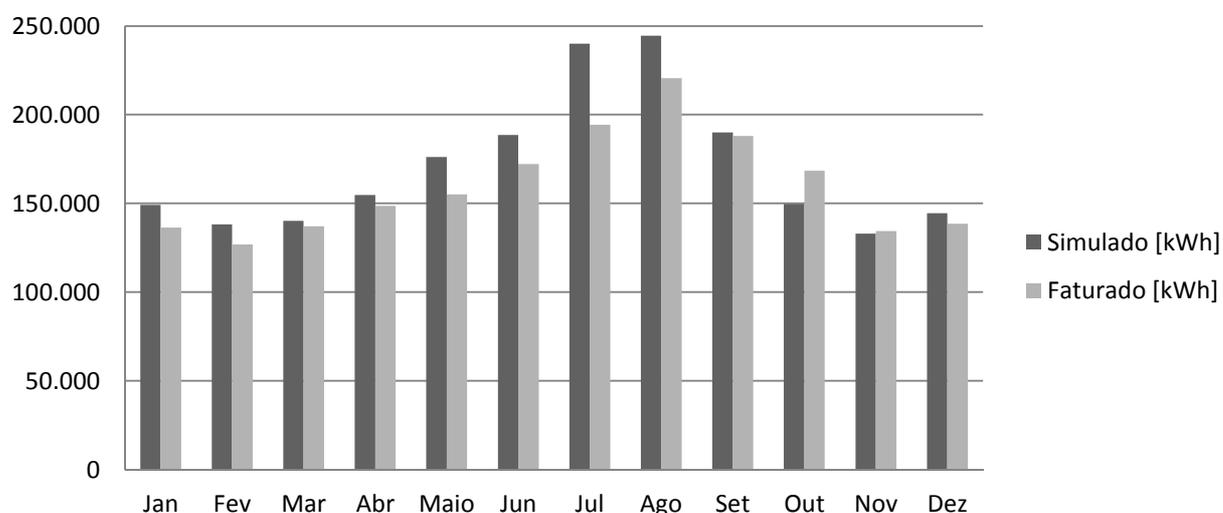


Figura 3.3. Consumos simulado e faturado mensais.

O ajuste do modelo da simulação real é feito diminuindo ao máximo o desvio entre os resultados simulados e os valores das faturas de eletricidade. A Tabela 3.7 mostra os desvios conseguidos nesse sentido, para o período referente aos últimos 3 anos de consumo de energia elétrica.

Tabela 3.7. Consumos médios faturado e simulado de energia eléctrica.

Mês	Valor médio faturado [kWh]	Valor simulado [kWh]
Janeiro	136.402	149.213
Fevereiro	126.771	138.216
Março	137.025	140.216
Abril	148.593	154.685
Maio	155.140	176.102
Junho	172.247	188.492
Julho	194.239	240.029
Agosto	220.572	244.444
Setembro	187.977	189.933
Outubro	168.385	149.763
Novembro	134.490	132.897
Dezembro	138.616	144.408
Total Anual	1.920.456	2.048.397
Desvio Anual	6%	

A diferença anual entre os consumos registados nas faturas e os valores obtidos como resultado da simulação dinâmica, com base no modelo criado para o edifício, é de 6%, podendo considerar-se que o modelo criado representa com fiabilidade o comportamento do edifício (considera-se uma aproximação aceitável quando a diferença é inferior a 10%).

Para realizar a simulação dinâmica neste projeto foram considerados três *Buildings* diferentes, nos quais são desagregados os consumos referentes a cada componente consumidor de energia: um para os consumos do *chiller*/bomba de calor e

iluminação em espaços não-úteis, outro para consumos em espaços sem climatização e ventiladores e outro para as unidades exteriores de *mono-splits*.

De notar que no relatório de consumo associado ao *Building* no qual estão inseridos os consumos em aquecimento respetivos ao *chiller*/bomba de calor, não é tido em conta a eficiência do mesmo. A esta parcela é necessário atualizar os valores para que seja obtido o valor real do consumo do *chiller*/bomba de calor. Assim, o consumo energético obtido na situação atual é de 1.048.071 kWh/ano.

3.6. Consumos de AQS

Os registos de consumo de AQS foram contabilizados desde Outubro de 2013 a Junho de 2015. Os consumos estão desagregados em consumo por dormida e outros consumos. Como método de simplificação foi considerada a média mensal dos consumos nestes meses, conforme apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Consumo mensal desagregado e total de AQS do edifício.

Mês	Consumo por dormida [l]	Outros consumos [l]	Consumo total [l]
Janeiro	64.610	246.186	310.796
Fevereiro	86.310	246.186	332.496
Março	167.930	295.423	463.353
Abril	377.790	344.660	722.450
Mai	536.270	393.897	930.167
Junho	652.120	443.135	1.095.255
Julho	595.210	492.371	1.087.582
Agosto	729.680	492.371	1.222.052
Setembro	572.950	443.135	1.016.085
Outubro	448.560	373.897	842.457
Novembro	130.760	295.423	426.183
Dezembro	72.240	344.660	416.900

3.7. Torneiras de duches

Depois de instaladas as torneiras dos duches de casas de banho de quartos, *suites* e balneários, foram verificados os valores de caudal de algumas destas, através de um método tradicional, consistindo no enchimento de um recipiente com dado volume, com contagem do tempo de enchimento.

A partir deste método, foi calculado o caudal nas torneiras, \dot{V} , assumindo valores na ordem dos 10 l/min, valor considerado excessivamente elevado para o efeito. Existem 207 torneiras nestas condições de caudal.

Recorrendo à Tabela 2.1 sobre consumos diários de referência de AQS e ao perfil de ocupação da Tabela 3.1, é determinado o consumo mensal de água e de energia para a aquecer, conforme a Tabela 3.9.

Tabela 3.9. Consumo mensal de água e energia por dormida.

Mês	Dormidas	Consumo diário por dormida [l]	Consumo total [l]	Consumo de energia [kWh]
Janeiro	923	70	64.610	2.630
Fevereiro	1.233	70	86.310	3.513
Março	2.399	70	167.930	6.836
Abril	5.397	70	377.790	15.379
Mai	7.661	70	536.270	21.830
Junho	9.316	70	652.120	26.546
Julho	8.503	70	595.210	24.229
Agosto	10.424	70	729.680	29.703
Setembro	8.185	70	572.950	23.323
Outubro	6.408	70	448.560	18.260
Novembro	1.868	70	130.760	5.323
Dezembro	1.032	70	72.240	2.941

Nesta condição serão consumidos 4.434.430 l/ano de água em duches, sendo necessários 180.512 kWh/ano para aquecer essa água.

3.8. Análise termográfica

A termografia por raios infravermelhos permite uma análise de valores de temperatura de superfícies. Estes valores são obtidos a partir de uma câmara termográfica que permite traduzir a radiação infravermelha do espectro eletromagnético numa distribuição cromática. A análise termográfica em edifícios, através das diferenças nos padrões de temperatura, permite identificar problemas como infiltrações, falta de isolamento térmico ou roturas em tanques ou depósitos.

Recorrendo a uma câmara termográfica *Trotec IC* foi possível obter imagens com a distribuição da temperatura em fachadas, tubagem e permutadores de calor. Posteriormente foram identificados pontos suscetíveis de melhoria. O *software* de leitura de imagens termográficas *Thermal Image Analysis Management System* permite uma análise mais detalhada às imagens. As Figuras seguintes e as apresentadas no Anexo C são representativas da distribuição de temperatura em várias zonas.

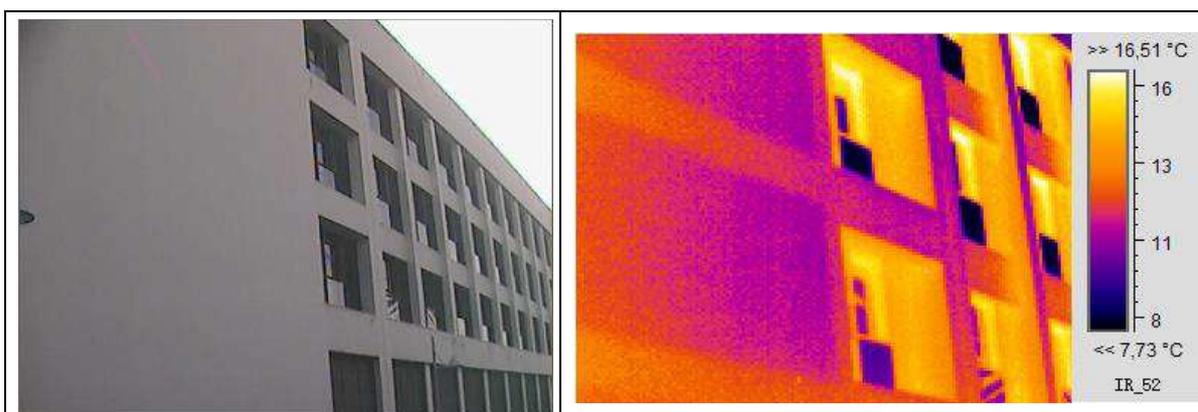


Figura 3.4. Fachada e respetivo gradiente térmico.

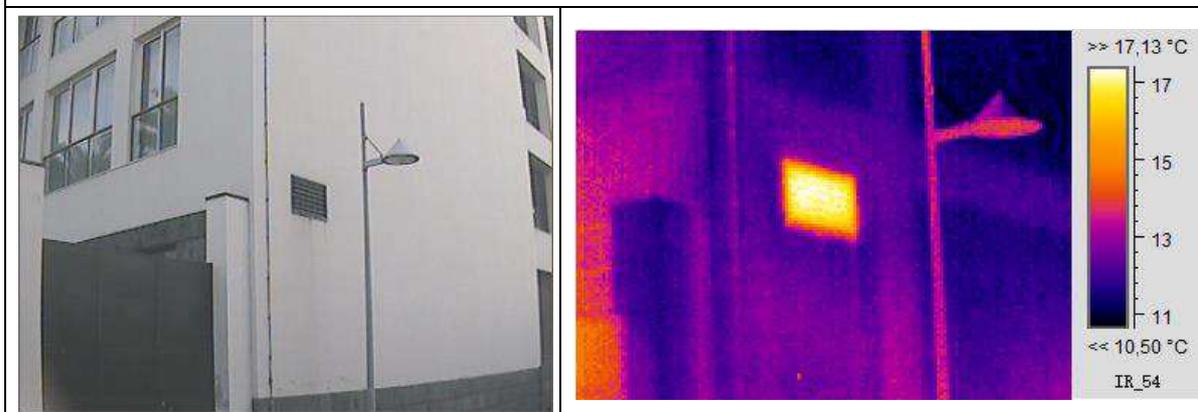


Figura 3.5. Fachada e respetivo gradiente térmico.

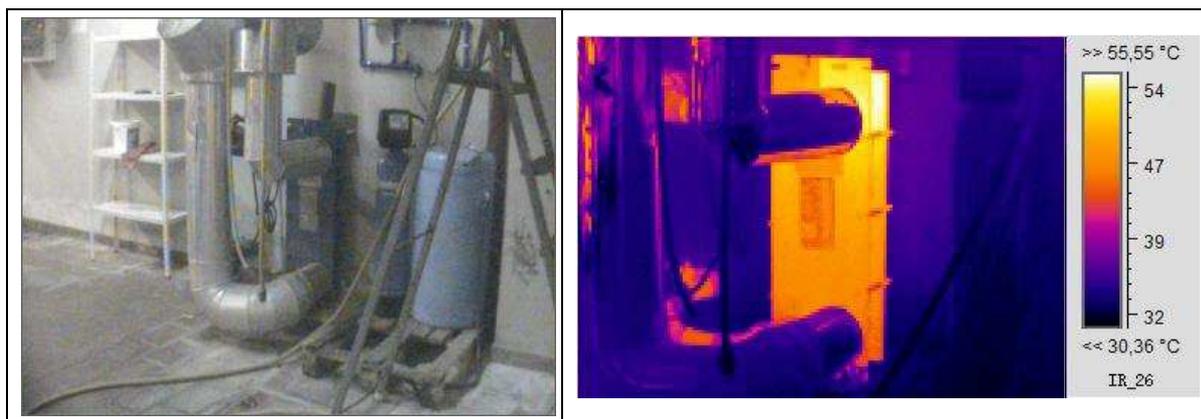


Figura 3.6. Permutador de calor e respetivo gradiente térmico.

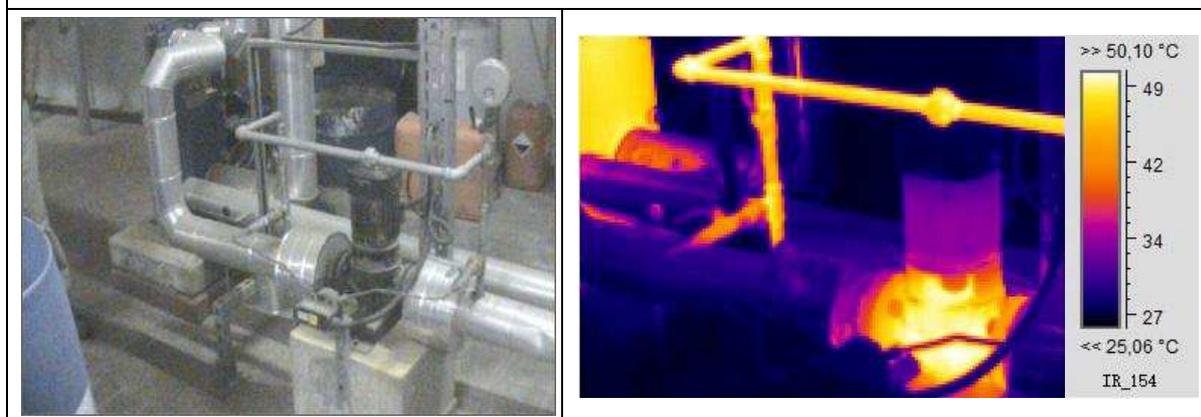


Figura 3.7. Tubagem e respetivo gradiente térmico.

Pela análise da distribuição de temperatura foram detetados alguns pontos críticos. A Figura 3.4 permite saber a localização de elementos estruturais da fachada, não apresentando irregularidades em termos de variação de temperatura. A Figura 3.5 mostra uma acentuada variação de temperatura que, tratando-se de uma grelha que faz a ligação entre o exterior e o interior do edifício, não representa irregularidades. No entanto, na Figura 3.6 representativa de um permutador de calor de placas e na Figura 3.7 representativa de tubagem, as variações de temperatura são bastante elevadas, devido à falta de isolamento térmico. Desta maneira, é estabelecido um ponto de partida para ser realizada uma análise a perdas térmicas neste tipo de equipamentos que apresente as mesmas condições.

3.9. Notas conclusivas

Em termos práticos, pode afirmar-se que a auditoria realizada pela empresa enquadra-se numa auditoria de nível 2, segundo a ASHRAE. Foram analisados consumos energéticos, identificados picos de consumo e propostas algumas medidas de eficiência, ainda que não tenham sido complementadas com uma análise rigorosa quanto a impactos financeiros adjacentes. Complementando a auditoria com as análises realizadas nesta dissertação poderá atingir-se o nível 3 de auditoria. A partir das análises económicas complementadas com simulações dinâmicas em *software* adequado, foi possível obter custos de projeto e cálculos de poupança detalhados, permitindo ao investidor tomar decisões quanto a consideráveis investimentos de capital.

4. ESTUDO DE MEDIDAS DE MELHORIA

4.1. Sistema solar térmico para AQS

Dado que, por opção do projetista, a preparação de AQS é feita com recurso a *chillers*/bombas de calor, sendo o apoio efetuado por duas caldeiras, como referido anteriormente na descrição do sistema de preparação de AQS, será tomada em consideração a aplicação de um sistema de aproveitamento de energia solar em detrimento do atual sistema.

Quanto à escolha do sistema de apoio ao sistema solar térmico, consideraram-se três cenários diferentes: o primeiro com o apoio a ser realizado pelo *chiller*/bomba de calor; o segundo em que a caldeira a gás butano assume a função de sistema de apoio; e, por fim, um cenário em que é a caldeira a *pellets* a funcionar como sistema de apoio. A escolha destes sistemas de apoio foi feita devido à prévia existência destes equipamentos no sistema de preparação de AQS. Complementarmente, no caso do sistema de apoio escolhido for composto por uma das caldeiras, deve entrar em funcionamento uma vez por semana, de maneira a elevar a temperatura no circuito a 50°C, para destruição da bactéria *Legionella*.

Tendo em conta os consumos de AQS representados na Tabela 3.8, verifica-se que o pico máximo de consumo ocorre no mês de agosto, perfazendo uma média de 39.421 litros por dia. Considerando a metodologia para dimensionamento de um sistema solar térmico do Subcapítulo 2.2 assumiu-se uma área de coletores de, aproximadamente, 474 m². Considerando o modelo *FKC-2S* da *Vulcano* como modelo de coletor escolhido, com 2,25 m² de área de captação, seriam necessários 211 módulos para cumprir os requisitos de consumo. Considerando a média diária anual de consumo de AQS, assumiu-se que um volume de acumulação de 20.000 litros seria suficiente para satisfazer as necessidades de utilização.

Posteriormente, com recurso ao *software* de simulação dinâmica do *Solterm* e às ferramentas de otimização sob critérios energéticos, a melhor opção passa por instalar 189 módulos com 23° de inclinação, orientados a Sul e mantendo os 20.000 litros de

volume de acumulação. Os resultados da simulação dinâmica são apresentados na Tabela 4.1. Nestas condições é possível obter uma fração de aproveitamento solar de 59,7%, sem existir desperdício de energia no sistema principal.

Tabela 4.1. Balanço energético mensal.

Mês	Carga pedida [kWh]	Carga a fornecer pelo sistema [kWh]	Carga a fornecer pelo apoio [kWh]
Janeiro	16.357	10.591	5.765
Fevereiro	17.597	12.514	5.083
Março	24.378	17.009	7.368
Abril	37.688	23.951	13.736
Mai	47.743	30.323	17.420
Junho	54.911	28.292	26.619
Julho	53.198	32.489	20.709
Agosto	58.993	35.073	23.920
Setembro	49.434	28.266	21.168
Outubro	41.990	23.302	18.687
Novembro	21.812	12.804	9.008
Dezembro	21.761	11.688	10.073

A escolha do sistema de apoio é baseada nas ferramentas de estudo de análise económico-financeira do *Solterm*.

O preço do investimento inicial em cada uma das situações será o mesmo, dado que a área de captação solar e o volume de acumulação em depósitos de água quente é igual, resultando numa área de 189 módulos e armazenamento de 20.000 litros distribuídos por quatro depósitos de 5.000 litros cada. Desta forma, o investimento inicial será de 212.625 €, considerando a vida útil do sistema de 20 anos, manutenção anual a 0,1% do preço do sistema e renovação de componentes a 1% do preço do sistema. A análise económica em cada uma das situações considera inflação a 1,5% ao ano e a deriva do preço da energia substituída a 2% acima do valor da inflação.

A Tabela 4.2 representa o preço de combustível de cada um dos sistemas de apoio considerados.

Tabela 4.2. Preço dos combustíveis utilizados.

<i>Chiller/bomba de calor</i>	<i>Caldeira a gás butano</i>	<i>Caldeira a pellets</i>
[€/kWh]	[€/kg]	[€/kg]
0,1438	1,58	0,246

A Tabela 4.3 representa a síntese de resultados da análise de investimento em sistema solar térmico.

Tabela 4.3. Síntese de custos de aplicação de sistema solar.

Investimento inicial [€]	Manutenção [€]	Reparações [€]	Gastos com energia de apoio [€]
212.625	4.990	2.505	731.209

A ferramenta de análise económica do *Solterm* permite simular os parâmetros necessários na identificação da melhor opção para o sistema de apoio. A Tabela 4.4 compara estes parâmetros para, posteriormente, serem retiradas conclusões sobre qual a melhor opção para sistema de apoio. Neste caso a melhor situação é a de associação de um *chiller/bomba de calor* como sistema de apoio ao sistema solar térmico.

Tabela 4.4. Parâmetros relativos aos diferentes sistemas de apoio.

Sistema de apoio	Fonte de energia	VAL [€]	Vantagem do investimento [€]	PR [anos]
<i>Chiller/bomba de calor</i>	Eletricidade	641.746	540.929	8
<i>Caldeira a gás</i>	Gás butano	632.677	531.860	8
<i>Caldeira a pellets</i>	<i>Pellets</i>	160.218	59.401	19

4.2. Iluminação

Os consumos de iluminação interior do edifício representam cerca de 14% do consumo total do edifício, conforme disposto na Figura 3.2. No entanto, é possível otimizar o consumo de energia elétrica despendida na iluminação sem interferir nos requisitos luminotécnicos. A solução proposta será a substituição da iluminação existente por iluminação do tipo LED, pelo facto de representar maior eficiência e menor consumo elétrico.

Considerando as diferentes tipologias e quantidades de luminárias apresentadas na Tabela 3.4 e as potências de luminárias LED equivalentes às potências convencionais da Tabela 2.2, no HAP são atualizados os valores de potência de iluminação referentes a cada espaço do edifício e posteriormente realizada uma simulação dinâmica dos consumos do edifício para averiguar a vantagem da substituição da iluminação em termos energéticos.

No entanto, o facto de a iluminação ser composta por LED's não é, por si só, condição para que ocorra redução na fatura energética do edifício. Embora a iluminação LED sejam associadas a maior eficiência energética devido à redução de potência consumida, o facto de haver menor potência dissipada pela lâmpada diminui a carga de aquecimento do espaço em que está inserida. Desta maneira, é exigido aos sistemas de climatização um maior consumo de energia para que a carga térmica perdida na redução de potência referente à iluminação seja compensada. Daí podem advir maiores consumos energéticos em relação a uma situação de maior potência de iluminação despendida.

Na simulação do consumo em situação de iluminação composta por LED's, após inserir as potências equivalentes no separador de iluminação em cada zona, o consumo energético obtido foi de 973.957 kWh/ano. Conclui-se, portanto, que foi obtida uma redução de 7% na fatura energética, em contraste com os 1.048.071 kWh/ano consumidos na situação atual.

Na determinação do investimento inicial a ser realizado e a taxa de redução anual de energia foram considerados os preços unitários de luminária LED relativamente à potência consumida, indicados na Tabela C.1 do Apêndice C e as quantidades de luminárias a substituir. Assim, o preço total de investimento inicial é de 77.820 €.

Tal que o preço de energia elétrica considerado é de 0,1438 €/kWh, a Tabela 4.5 expõe o consumo energético anual do hotel na situação atual (iluminação

convencional) e na situação proposta e respetivos custos, para aferição da poupança anual em energia elétrica.

Tabela 4.5. Custos energéticos relativamente a consumos.

Tipo de iluminação	Consumo energético [kWh/ano]	Custos energéticos [€]
Convencional	1.048.071	150.712,61
LED	973.957	140.055,02

Obtém-se uma redução em custos anuais de energia de 10.657,59 €. Desta forma, o período de retorno calculado é de 7,3 anos, correspondente a cerca de 7 anos e 3 meses.

4.3. Válvulas reguladoras de caudal nas torneiras de duchas

De forma a diminuir o desperdício excessivo de água nas torneiras de duchas, foi estudada a instalação de válvulas reguladoras de caudal nas torneiras e, assim, obtida a redução, de forma significativa, do consumo de água no edifício sem afetar o uso eficiente da mesma. Consequentemente reduz-se também o consumo de energia que seria necessário para aquecer essa água.

Considerando válvulas reguladoras de caudal do modelo *Aquastrom VT* da marca *Oventrop*, pode ser definido um valor máximo de caudal de passagem nas torneiras. Neste caso será adotada uma redução de 40% ao caudal inicial. Portanto a análise será feita considerando que as válvulas estão reguladas para permitir um caudal máximo de 6 l/min.

Assim, o consumo de água por dormida passa a ser de 42 litros, sendo que os consumos de água e de energia para a aquecer tomam valores menores, sendo apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Consumo mensal de água e energia nas condições propostas.

Mês	Dormidas	Consumo diário por dormida [l]	Consumo total [l]	Consumo de energia [kWh]
Janeiro	923	42	38.766	1.578
Fevereiro	1.233	42	51.786	2.108
Março	2.399	42	100.758	4.102
Abril	5.397	42	226.674	9.227
Mai	7.661	42	321.762	13.098
Junho	9.316	42	391.272	15.927
Julho	8.503	42	357.126	14.538
Agosto	10.424	42	437.808	17.822
Setembro	8.185	42	343.770	13.994
Outubro	6.408	42	269.136	10.956
Novembro	1.868	42	78.456	3.194
Dezembro	1.032	42	43.344	1.764

Na condição proposta serão consumidos 2.660.658 l/ano de água em duches, sendo necessários 108.307 kWh/ano para aquecer essa água.

Como há redução no consumo de água para banhos, há também redução de consumo de energia que seria necessário para aquecer essa percentagem de água que deixa de ser consumida. Para tal são representados na Tabela 4.7 os valores da redução referente a estes consumos.

Tabela 4.7. Redução do consumo energético e do consumo de água.

Redução consumo de água [l/ano]	Redução consumo energético [kWh/ano]
1.773.772	72.205

A tarifa de água na região de Ponta Delgada foi considerada como sendo 2,8204 €/m³. Considerando as tarifas de água, energia elétrica e os dados da Tabela 4.7, são calculadas as reduções nas faturas correspondentes, sendo que em relação ao consumo

de água são salvos 5.002,75 €/ano e em relação ao consumo de energia são salvos 10.383,08 €/ano. No total são poupados 15.385,83 €/ano relativamente à diminuição do caudal das torneiras de duches.

O modelo de válvulas escolhido tem um custo unitário de 124,35 €, estimando-se que o investimento inicial seja de 25.740,45 € considerando as 207 torneiras em situação de caudal excessivo. Posto isto, o PR deste projeto é de 1 ano e 8 meses.

4.4. Isolamento da tubagem

Com recurso à Figura 4.1 obtida através da câmara termográfica e ao *software* de análise de imagens termográficas *Thermal Image Analysis Management System*, é obtida com detalhe a distribuição de temperaturas que ocorre à superfície da tubagem. Pela análise das imagens termográficas representativas de tubagem sem isolamento, concluiu-se que a superfície da tubagem está a 49°C.

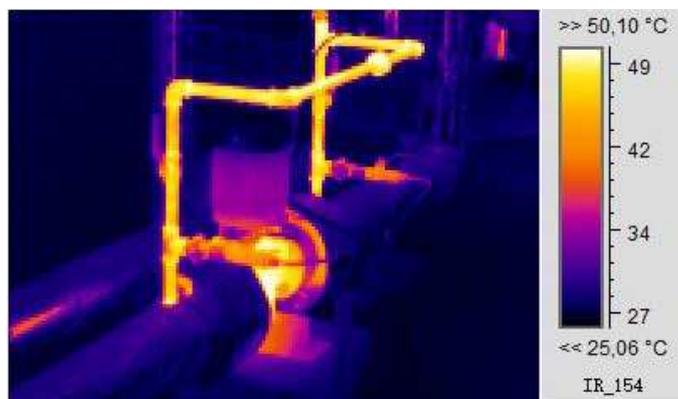


Figura 4.1. Imagem termográfica de tubagem sem isolamento.

Assim, foi estudada a proposta de aplicação de isolamento na tubagem na qual se verifiquem tais perdas, de maneira a que a energia térmica não seja difundida no meio ambiente mas transferida através da tubagem, conferindo um melhor aproveitamento para o objetivo a que a energia é destinada.

Na Tabela 4.8 são apresentados os resultados relativos a perdas de calor na tubagem considerada, sem e com isolamento e a respetiva percentagem de redução. Em termos de isolamento, foi considerado o modelo *Tubolit DG* da marca *Armaflex*, fabricado

em polietileno de célula fechada, com espessura e_{isol} de 20 mm, emissividade ε de 0,95 e condutibilidade térmica k_{isol} de 0,038 W/m°C.

Nestas condições, ocorre um decréscimo de temperatura de 13,6°C, estando a superfície do isolamento a 35,4°C. A partir deste valor, poder-se-ão estimar as perdas de calor que ocorrem na tubagem considerando isolamento.

Tabela 4.8. Perdas térmicas em tubagem.

Parâmetros	Perdas em tubagem sem isolamento [W]	Perdas em tubagem com isolamento [W]
Convecção	591	313
Radiação	1.073	596
Total	1.664	909
Redução [%]	45,4	

Com a aplicação de isolamento, atinge-se uma redução de perdas de calor por convecção natural de 47% e por radiação térmica de 44,5%. Nestas condições, na tubagem sem isolamento são dissipados 1.663,95 W, enquanto que considerando o isolamento, são dissipados 908,78 W de energia, sendo a redução de potência de 755,17 W. Assim, atinge-se uma redução de 45,4% em perdas de calor.

Na Tabela A.1 do Apêndice A está representado um quadro-resumo com os valores intermédios determinantes para o cálculo das perdas de calor de ambos os tipos.

Os preços do isolamento considerado estão estipulados em 15,05 €/m, sendo fornecido em caixas com custo de 10 m/caixa. Como são necessários isolar 30 m de tubagem, são necessárias 3 caixas com um custo total de 451,50 €.

Considerando a redução de potência dissipada pela tubagem (755,17 W), deixam de ser consumidos 6.615,29 kWh/ano. Tendo em conta tarifa de eletricidade considerada, esta redução corresponde a uma poupança de 949,29 €/ano. O PR deste projeto é de 6 meses.

4.5. Isolamento dos permutadores de calor

Tal como referido para a tubagem, com recurso à Figura 4.2 e às do Anexo C obtidas através da câmara termográfica e ao *software* de análise de imagens termográficas, foi obtida a distribuição de temperaturas superficiais que permitiram concluir acerca da temperatura à superfície das diferentes partes dos permutadores de calor. De acordo com a forma definida na Figura 2.1, as superfícies [A x B] estão a 50°C e as superfícies [B x C] e [A x C] a igual temperatura, sendo 55°C.



Figura 4.2. Imagem termográfica em permutador de calor sem isolamento.

Desta maneira, foi estudada a proposta de isolamento de permutadores de calor de placas que apresentem falta de isolamento térmico.

Na Tabela 4.9 são apresentados os valores relativos a perdas de calor nos permutadores *FHL 01* e na Tabela 4.10 os valores relativos ao modelo *FHL 10*. Em termos de isolamento para os permutadores, é considerado polipropileno, com espessura e_{isol} de 20 mm, emissividade ε de 0,9 e condutibilidade térmica k_{isol} de 0,17 W/m°C.

Nestas condições, nos modelos *FHL 01*, a superfície do isolamento em [A x B] encontra-se à temperatura de 30,23°C, em [B x C] a 32,2°C e em [A x C] a 41,66°C. Nos modelos *FHL 10*, a superfície do isolamento em [A x B] encontra-se à temperatura de 29,94°C, em [B x C] a 30,21°C e em [A x C] a 41,11°C

Tabela 4.9. Perdas térmicas em permutador *FHL 01*.

Parâmetros	Perdas em permutadores sem isolamento [W]	Perdas em permutadores com isolamento [W]
Convecção	113	19,39
Radiação	53	21,48
Total	166	40,87
Redução [%]	75,4	

Tabela 4.10. Perdas térmicas em permutador *FHL 10*.

Parâmetros	Perdas em permutadores sem isolamento [W]	Perdas em permutadores com isolamento [W]
Convecção	223	19
Radiação	105	34,43
Total	328	53,43
Redução [%]	83,7	

Tendo sido contabilizados cinco permutadores de calor de cada modelo, as perdas de calor (por convecção natural e radiação) nos permutadores com falta de isolamento são de 2.470 W. No entanto, com aplicação de isolamento o valor de perdas de calor dos permutadores decresce para 471,40 W. A redução de potência libertada nas condições de isolamento consideradas situa-se na ordem dos 1.998,60 W, deixando de ser consumidos 17.507,30 kWh/ano. Tendo em conta tarifa de eletricidade considerada, esta redução corresponde a uma poupança de 2.512,30 €/am.

Os preços do isolamento considerado têm um custo de 130 € por permutador, ou seja, são gastos 1.300 € em isolamento térmico para permutadores. O PR deste projeto é de 6 meses.

5. CONCLUSÃO

Foram tidos em conta todos os consumos do edifício relevantes a uma análise para deteção de pontos de partida para o estudo de medidas de melhoria. No caso do sistema solar térmico, a escolha deveu-se ao facto de não existirem sistemas de aproveitamento de energias renováveis no hotel. Assim, revelou-se interessante a consideração de um sistema solar térmico em que o sistema de apoio consiste num dos sistemas já existente.

A organização de uma metodologia de cálculo facilitou a abordagem aos problemas, e, em conjunto com algumas hipóteses simplificadoras quando necessário, foi possível realizar as análises programadas.

As propostas de implementação de sistema solar térmico, substituição da iluminação por LED's, instalação de válvulas reguladoras de caudal nas torneiras dos duches e aplicação de isolamento térmico em tubagem e permutadores de calor assumem carácter vantajoso do ponto de vista energético e económico. Os respetivos períodos de retorno encontram-se regulamentares relativamente ao critério de definição de viabilidade económica das medidas de melhoria de eficiência energética em edifícios, definido no Decreto-lei nº 79/2006 do RSECE, que determina obrigatoriedade de implementação de medidas de melhoria que tenham um período de retorno simples igual ou inferior a 8 anos. Dado que o maior período de retorno registado é de 8 anos, referente à implementação de sistema solar térmico, as medidas sugeridas poderiam vir a ser interessantes do ponto de vista económico e de engenharia.

A título sugestivo poderá ainda ser relevante mencionar que poderia ser alcançada maior poupança energética se se deixasse de aquecer a piscina exterior no inverno. Dado que a sua utilização é reduzida, também devido à menor taxa de ocupação do hotel, e devido ao facto de a piscina se localizar junto ao alçado norte do hotel, existindo, por isso, sombreamento significativo sobre a mesma, faz sentido ponderar o seu aquecimento. Alternativamente poderia também ser avaliado o potencial geotermal do local para aproveitamento de energia geotérmica para aquecimento da água da piscina exterior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2009, março), “Perguntas & Respostas sobre o RCCTE – L.17”. Acedido em 5 de julho de 2016, em : http://www.classe-energetica.com/Regulamento_Caracteristicas_Comportamento_Termico_dos_Edificios_Perguntas_Repostas.pdf
- Apolinário, J., P., F. (2015), “Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu”. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente na especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cabral, P. (2013). “O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020: Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis”. Associação Portuguesa de Energia. Lisboa.
- Çengel, Y., A. (2009), “Transferência de Calor e Massa – Uma Abordagem Prática”, 3ª Ed., Mc Graw Hill.
- Decreto-lei nº 118/2013 de 20 de agosto. “Diário da República nº 159/2013 – 1ª Série”. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de abril. “Diário da República nº 67/2006 – I Série-A”. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Deru, M. e Kelsey, J. (2011), “Procedures for commercial building energy audits”, 2ª Ed., Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- ETAP (2012, junho), “Dossier EN-12464-1 – Descrição resumida da norma”. Acedido em 2 de maio de 2016, em: http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/brochures_ETAP_verlichting/Dossier%20EN%2012464-1_AT_PT_A4_lr.pdf
- Fernandes, J., R., M. (2014). “Auditoria Energética a um Edifício de Indústria”. Tese de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Guia, J., M., F. (2014), “Auditoria Energética e Plano de Racionalização de Energia”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- LEDLife (2014), “Inteligência & Poupança – Catálogo 2014”. Abrangente & Eficaz Lda.
- Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013 de 10 de abril. “Diário da República nº 70/2013 – 1ª Série”. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Rodrigues, M., C., B., P. (2011). “Eficiência Energética no Setor Residencial”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente; Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia,

Universidade de Coimbra, Coimbra.

Santos, E., Rodrigues, A., P., Daam, A., Paulino, J. e Silva, J., V. (2015, maio). “Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030”. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.

Soares, P., M. (2014). “Dimensionar Sistema Solar Térmico AQS”. Acedido em 3 de junho de 2016, em: <http://climainstalador.net/dimensionar-sistemas-solares-aqs/>

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DA CALDEIRA

Technical description 2

2 Technical description

2.1 Equipment level of the Ecostream cast iron boilers Logano GE315, GE515 and GE615



Fig. 1 Ecostream cast iron boiler Logano GE615 with Logamatic 4311 control unit

The Ecostream cast iron boilers Logano GE315, GE515 and GE615 are tested to EN 303, type-tested and CE-designated. Quality assurance measures to DIN ISO 9001 and EN 29001 contribute to the high manufacturing quality and functional reliability.

All Ecostream cast iron boilers are made from Buderus special GL 180 M grey cast iron which is resistant to corrosion and high temperatures. They are designed for therostream technology. This is why they are suitable as low temperature boilers for modulating operation with no minimum start temperature.

Ecostream cast iron boilers feature all-round thermal insulation and painted casing (RAL 5015). The thermal insulation on the Logano GE315 and GE515 cast iron boilers is 80 mm thick, and on the Logano GE615 cast iron boilers is 100 mm thick. The combustion chamber and the secondary heating surfaces are easily accessible through large front doors that can be pivoted to the left or right.

The boilers are supplied either in individual sections (→ Fig. 41) or as a pre-assembled boiler block.

Finely stepped output levels

The following Ecostream cast iron boilers are available:

- Logano GE315 with output of 86 kW to 230 kW
- Logano GE515 with output of 201 kW to 510 kW
- Logano GE615 with output of 511 kW to 1200 kW

Available components

- The Logamatic 4211, 4212, 4311 and 4312 control units in a modular design
- Pressure-jet oil and gas burners
- Drilled burner plates onto which the pressure-jet gas and oil burners are mounted
- Numerous matching accessories (→ page 56 ff.)

Buderus

6 720 646 864 (12/2010) – Technical guide Logano GE315, GE515 and GE615

5

Figura A.1 Ficha técnica da caldeira.

ANEXO B – SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

	
<p>Figura B.1 Iluminação fluorescente linear.</p>	<p>Figura B.2 Iluminação halogéneo.</p>
	
<p>Figura B.3 Iluminação fluorescente compacta.</p>	<p>Figura B.4 Iluminação LED.</p>
	
<p>Figura B.5 Iluminação fluorescente linear.</p>	<p>Figura B.6 Iluminação fluorescente linear.</p>



Figura B.7 Iluminação fluorescente linear.



Figura B.8 Iluminação fluorescente linear.

ANEXO C – IMAGENS TERMOGRÁFICAS



Figura C.1 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.

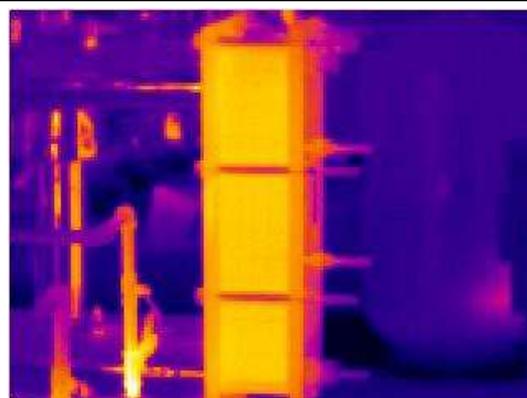


Figura C.2 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.



Figura C.3 Imagem termográfica de tubagem sem isolamento térmico.

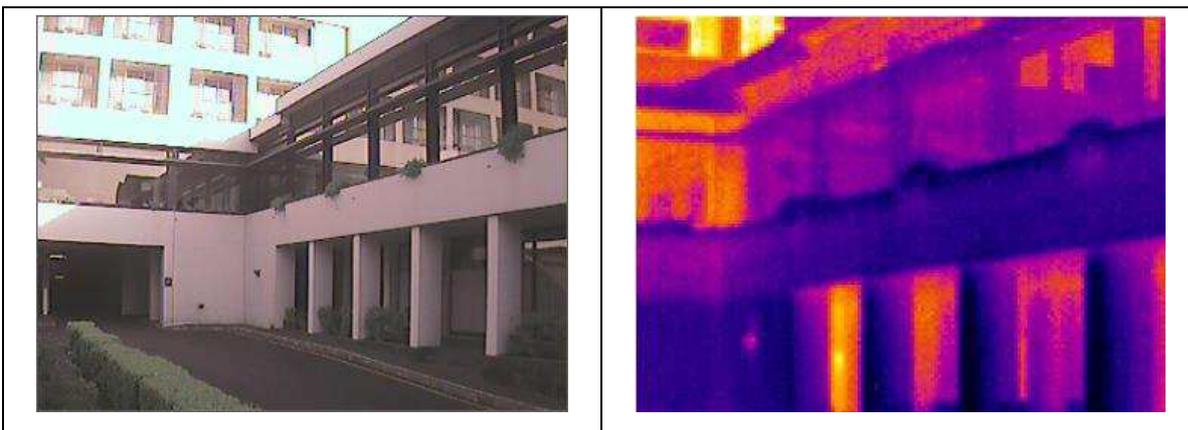


Figura C.4 Imagem termográfica de fachada.

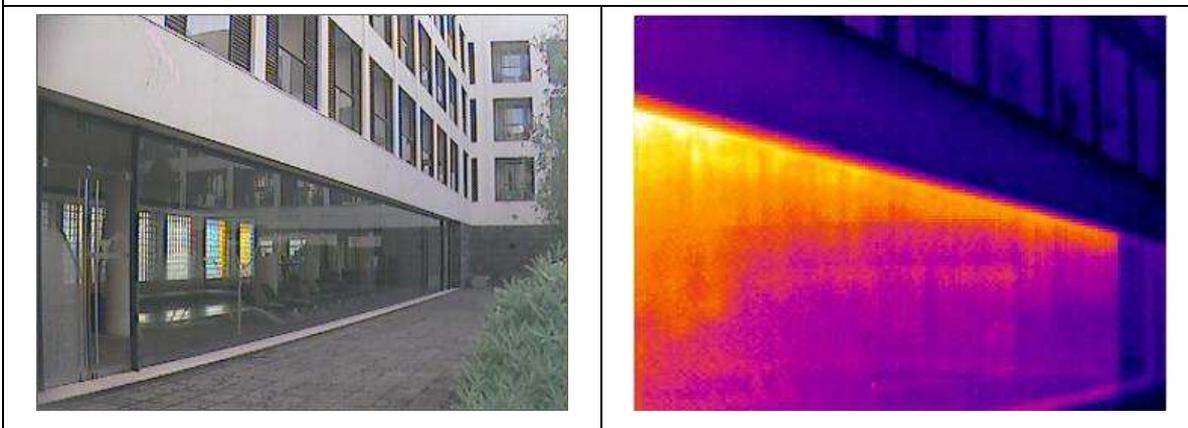


Figura C.5 Imagem termográfica de envidraçado.

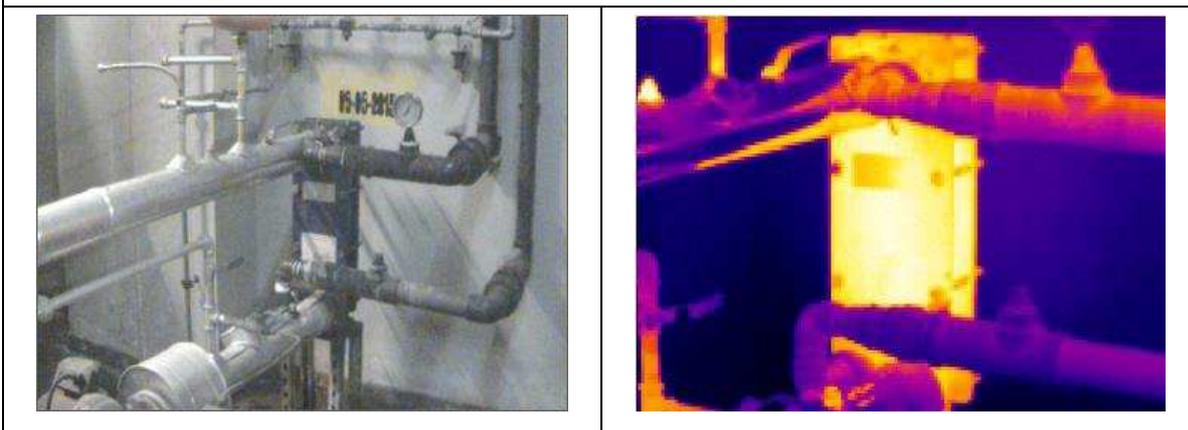


Figura C.6 Imagem termográfica de permutador de calor sem isolamento térmico.

APÊNDICE A – PERDAS TÉRMICAS EM TUBAGEM

Tabela A.1 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor na tubagem.

Parâmetros	Sem isolamento	Com isolamento
T_s [°C]	49	35,4
T_∞ [°C]	28	28
D [m]	0,10	0,14
g [m/s ²]	9,81	9,81
β [K ⁻¹]	0,00321	0,00330
ν [m ² /s]	$1,69 \times 10^{-5}$	$1,62 \times 10^{-5}$
Pr	0,726	0,730
k [W/m.°C]	0,0265	0,0260
L [m]	30	30
Ra_D	1.683.169,26	1.826.621,96
Nu_D	16,89	17,30
h [W/m ² .°C]	2,986	3,210
A_s [m ²]	9,43	13,19
\dot{Q}_{conv} [W]	590,88	313,32
ε	0,79	0,95
\dot{Q}_{rad} [W]	1.073,07	595,46

Em que:

$$Ra_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot D^3}{\nu^2},$$

$$Nu_D = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0,559/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2,$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot L,$$

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu_D.$$

APÊNDICE B – PERDAS TÉRMICAS EM PERMUTADORES

Tabela B.1 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor em *FHL 01*.

Parâmetros	Sem isolamento			Com isolamento		
	[A x B]	[B x C]	[A x C]	[A x B]	[B x C]	[A x C]
T_{∞} [°C]	28	28	28	28	28	28
T_s [°C]	50	55	55	29,12	32,20	41,66
L [m]	0,860	0,860	0,064	0,860	0,860	0,064
g [m/s ²]	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
β [K ⁻¹]	0,00321	0,00320	0,00320	0,00330	0,00330	0,00325
Pr	0,7258	0,7251	0,7251	0,7285	0,7280	0,7269
Ra_L	$1,54 \times 10^9$	$1,82 \times 10^9$	$7,38 \times 10^5$	$1,79 \times 10^8$	$3,34 \times 10^8$	$8,12 \times 10^5$
Nu_L	140,92	148,38	15,83	73	88,11	16,21
h [W/m ² .°C]	4,35	4,61	6,49	2,19	2,65	6,67
A_s [m ²]	0,301	0,172	0,070	0,301	0,172	0,070
\dot{Q}_{conv} [W]	57,62	42,84	12,57	2,94	3,84	12,61
ε	0,32	0,30	0,30	0,90	0,90	0,90
\dot{Q}_{rad} [W]	29,24	19,70	4	7,56	8,22	5,70

Tabela B.2 Parâmetros de cálculos auxiliares de perdas de calor em *FHL 10*.

Parâmetros	Sem isolamento			Com isolamento		
	[A x B]	[B x C]	[A x C]	[A x B]	[B x C]	[A x C]
T_{∞} [°C]	28	28	28	28	28	28
T_s [°C]	50	55	55	29,94	30,21	41,11
L [m]	1,084	1,084	0,104	1,084	1,084	0,104
g [m/s ²]	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
β [K ⁻¹]	0,00321	0,00320	0,00320	0,00331	0,00331	0,00325
Pr	0,7258	0,7251	0,7251	0,7285	0,7290	0,7270
Ra_L	$3,09 \times 10^9$	$3,65 \times 10^9$	$3,20 \times 10^6$	$3,14 \times 10^8$	$3,57 \times 10^8$	$1,71 \times 10^6$
Nu_L	174,94	184,27	22,84	86,44	89,93	19,54
h [W/m ² .°C]	4,28	4,54	5,88	2,06	2,14	4,94
A_s [m ²]	0,444	0,460	0,172	0,444	0,460	0,172
\dot{Q}_{conv} [W]	83,78	111,72	27,36	3,54	4,30	11,14
ε	0,32	0,30	0,30	0,90	0,90	0,90
\dot{Q}_{rad} [W]	43,16	52,14	9,86	9,70	11,32	13,41

Em que:

$$L_{[A \times C]} = \frac{A_s}{\text{Perímetro}},$$

$$h = \frac{k}{L} \cdot Nu_L,$$

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu^2}.$$

- No caso de superfície vertical:

$$Nu_L = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(0,492 / Pr \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2.$$

- No caso de superfície horizontal:

$$Nu_L = 0,54 \cdot Ra_L^{1/4}.$$

APÊNDICE C – PREÇO UNITÁRIO DE LED'S

Tabela C.1 Preços unitários de LED's relativamente à potência.

Tipo de luminária substituída	Potência LED's [W]	Custo unitário [€]
Compacta	3	12,00
Compacta	5	28,00
Compacta	9	40,00
Compacta	10	40,00
Compacta	13	63,00
Compacta	15	73,00
Compacta	18	80,00
Linear	10	50,00
Linear	20	80,00
Linear	23	105,00
Halogéneo	4	12,00
Halogéneo	6	32,00