

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RELATÓRIO DE ACTIVIDADE PROFISSIONAL

FÁBIO EMANUEL PERIQUITO COELHO
Nº25660

RELATÓRIO

MESTRADO EM ENERGIA E CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS

TRABALHO EFECTUADO SOB ORIENTAÇÃO DE:

PROFESSOR DOUTOR CELESTINO RUIVO

RELATÓRIO DE ACTIVIDADE PROFISSIONAL

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Assinado Fábio Coelho

COPYRIGHT, FÁBIO EMANUEL PERIQUITO COELHO, UALG

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Página intencionalmente deixada em branco

RESUMO

O presente relatório é apresentado com o objectivo de completar o grau de Mestre ao abrigo do Despacho RT.033/2011 pelo candidato “Fábio Emanuel Periquito Coelho”. Nele é destacada a experiência profissional do candidato relevante ao Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios.

Sendo detentor da habilitação académica Pré-Bolonha, Licenciatura em Engenharia Mecânica – Ramo Térmica, o candidato desenvolveu a sua experiência profissional no exercício de funções como profissional de engenharia mecânica nas empresas Rolear, Certiterm e Arup.

Sucintamente pode-se descrever as tarefas que desempenhou como: suporte de vendas de equipamentos de climatização; certificação energética; projecto de automação e controlo de edifícios (Gestão Técnica Centralizada); Auditoria energética; re-comissionamento de sistemas de AVAC; produção e avaliação de diagramas esquemáticos de instalação mecânica; produção de desenhos e especificações técnicas; análise técnico-económica para a selecção de sistemas energéticos; desenvolvimento de programas de cálculo; integração de tecnologias Internet e de automação.

Actualmente é colaborador a tempo inteiro na empresa Ove Arup and Partners Ltd. sediada em Londres, Reino Unido. Integrando uma equipa multi-disciplinar, desempenha com frequência tarefas exigentes que requerem soluções inovadoras e aquisição de novos conhecimentos, pelo que a formação contínua é uma realidade inevitável na sua actividade profissional.

Neste relatório inclui-se um tema seleccionado para discussão em prova pública. O tema explora uma realidade recorrente no projecto de edifícios em que a optimização do desempenho térmico e energético dos edifícios é dificultada pela colaboração tardia entre equipas – arquitectura e engenharia. Tendo em conta as limitações impostas pela arquitectura, descreve-se uma solução para redução do consumo energético e da potência de arrefecimento através do controlo de ganhos solares, aumento da inércia térmica e arrefecimento gratuito por ventilação nocturna. A solução proposta mostra que é ainda assim possível optimizar o desempenho do edifício, sem afectar significativamente o projecto de arquitectura inicial.

Palavras-chave: Auditoria energética / Automação e controlo / Energy Plus / Ventilação Natural / XML / Simulação dinâmica

ABSTRACT

This report was compiled with the aim of obtaining the Master's Degree under mandamus RT.033/2011 by the applicant Fábio Emanuel Periquito Coelho,. In it, it is highlighted the applicant's professional experience deemed relevant to the Master's in Energy and HVAC in Buildings study program.

Holder of the academic qualification pre-Bologna referenced as "Licentiate's degree in Mechanical Engineering – Thermal Studies" the applicant has developed his professional experience as a mechanical engineer professional in the companies known as Rolar, Certitem and Arup.

Summarizing, he performed a range of tasks as: sales support to HVAC equipment; energy certification; automation and building controls design; energy surveys; re-commissioning of HVAC systems; production and evaluation of HVAC diagrams, schematics, and specifications; technical and economic analysis of energy systems; development of calculation programs; integration of Internet technologies and automation.

Currently he is employed full-time, at Ove Arup and Partners Ltd. based in London, United Kingdom. Being part of a multi-disciplinary team he often performs demanding tasks that require innovative solutions and investigation, thus on-going learning is part of his day to day work.

This report includes a brief essay on a selected subject for discussion at the Masters defence. It explores a recurring reality in the design of buildings, where the optimization of the thermal and energy performance is difficult to apply due to the late collaboration between specialities – architecture and engineering. Given the constraints imposed by the building architecture, a solution is described that uses night ventilation for free cooling, whilst also reducing the solar gains and specifying higher thermal inertia for the building. The proposed solution proves that the optimization of the building performance is feasible, without affecting the draft design significantly.

Keywords: Energy survey / Controls and automation / Energy Plus / Natural ventilation / XML / Dynamic simulation

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1 TEMA SELECCIONADO PARA DISCUSSÃO.....	7
2 PERCURSO ACADÉMICO.....	8
2.1 Licenciatura em Engenharia Mecânica – Ramo Térmica.....	8
2.2 Bacharelato em Engenharia Mecânica – Ramo Térmica.....	9
2.3 Curso Tecnológico em Electrotecnia/electrónica.....	10
3 ACTIVIDADE PROFISSIONAL.....	11
3.1 Janeiro 2013 – Presente : Arup.....	11
3.2 Julho 2011 – Novembro 2012 : Certitem.....	19
3.3 Outubro 2008 – Junho 2011 : Arup.....	22
3.4 Abril 2007 – Outubro 2007 : Rolear.....	28
3.5 Junho 1999 – Setembro 2013 : Compta.....	29
4 OUTRAS COMPETÊNCIAS.....	30
4.1 Línguas.....	30
4.2 Informática geral.....	30
4.3 Programação.....	31
4.4 Programas informáticos com aplicação em Engenharia.....	31
4.5 Electricidade e electrónica.....	31
5 DISCUSSÃO CRÍTICA.....	32
BIBLIOGRAFIA.....	35
ANEXOS.....	37
Anexo I - Optimização de projecto e desempenho de um edifício em arrefecimento.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS

EPC – Energy Performance Certificate (Certificado de Desempenho Energético)

App – Aplicação informática para instalação em dispositivos móveis

API – Application programming interface

VBA – Visual Basic for Applications

AVAC – Aquecimento ventilação e ar condicionado

VAV – Volume de Ar variável

CE – Certificado Energético

DCR – Declaração de conformidade regulamentar

RCCTE – Regulamento das características e comportamento térmico dos edifícios

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CAD -Computer Aided Design

XML – Extended Markup Language

RSECE – Regulamento dos sistemas energéticos e de climatização em edifícios

3D – Três dimensões

UTCI – Universal Thermal Comfort Index

P&ID - Piping and instrumentation diagram (Diagrama esquemático de distribuição de tubagens e instrumentação)

P&ID - Air and instrumentation diagram (Diagrama esquemático de distribuição de ar e instrumentação)

1 TEMA SELECIONADO PARA DISCUSSÃO

Título: Optimização de projecto e desempenho de um edifício em arrefecimento.

Modalidade: Explicitação técnica sobre um trabalho realizado.

No anexo I, apresenta-se em detalhe um projecto seleccionado da experiência do candidato para discussão em prova pública. Este enquadra-se na modalidade de explicitação técnica de um trabalho realizado em que o candidato participou e é considerado uma mais valia na transmissão de conhecimentos adquiridos a outros profissionais do domínio Mestrado.

No âmbito comercial em que foi desenvolvido a apresentação de vários aspectos técnico-científicos foram omitidos por serem considerados irrelevantes ou de difícil compreensão para o leitor final.

O tema tratado pode-se resumir e denominar no contexto deste relatório como “Optimização de projecto e desempenho de um edifício em arrefecimento”, o material informativo criado previamente foi revisto e foram adicionados conteúdos científicos que descrevem a implementação e factos relevantes do estudo para profissionais da área com a mesma motivação e necessidades de projecto.

2 PERCURSO ACADÉMICO

2.1 LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA – RAMO TÉRMICA

2.1.1 DATAS

2006 – 2008, conclusão no dia 28 de Julho de 2008

2.1.2 CURSO

Engenharia Mecânica – Ramo Térmica (2º Ciclo)

2.1.3 INSTITUIÇÃO

Universidade do Algarve – Escola Superior de Tecnologia

2.1.4 CLASSIFICAÇÃO OBTIDA

Na escala de 0 a 20 valores foram obtidas as seguintes classificações:

- Classificação de *Bom*, (15) valores, constante do certificado final de curso.
- Média final do segundo ciclo: 15,5732 - média das classificações obtidas por disciplina no segundo ciclo do plano de estudo.
- Média Final bietápica : 15,4 - média das classificações obtidas por disciplina nos dois ciclos do plano de estudos, bacharelato e licenciatura.

2.1.5 TRABALHO FINAL DE CURSO

Desenvolvido no âmbito da disciplina “Projecto II” e denominado “Estudo do comportamento térmico e sugestão de reabilitação da zona do hall do bloco de formação do edifício de civil da UALG”, o trabalho final de curso do candidato consistiu num estudo com vista à optimização do edifício no título descrito.

Por se ter verificado que ocorrem períodos com temperaturas muito altas desconfortáveis aos ocupantes surgiu a oportunidade de estudar uma solução que reduzisse o efeito dos ganhos solares suspeitos de causar o sobreaquecimento do espaço pois uma das fachadas é praticamente toda composta por envidraçados. O estudo do comportamento térmico do espaço foi efectuado com recurso à simulação dinâmica computacional. Da caracterização das condições internas do espaço e origem dos ganhos foram definidas várias soluções de reabilitação do Hall com vista a reduzir os períodos com temperaturas muito altas e desconfortáveis aos ocupantes.

O candidato desenvolveu capacidades técnicas essenciais no âmbito da simulação dinâmica aplicada à térmica de edifícios. Estas capacidades permitem ao candidato na actualidade justificar o seu valor profissional pois este aplica e reproduz com frequência os conhecimentos adquiridos.

A classificação final obtida pelo candidato no trabalho final de curso foi de 19 valores.

2.2 BACHARELATO EM ENGENHARIA MECÂNICA – RAMO TÉRMICA

2.2.1 DATAS

2003 – 2006

2.2.2 CURSO

Engenharia Mecânica – Ramo Térmica (1º Ciclo)

2.2.3 INSTITUIÇÃO

Universidade do Algarve – Escola Superior de Tecnologia

2.2.4 CLASSIFICAÇÃO OBTIDA

Na escala de 0 a 20 valores foram obtidas as seguintes classificações:

- Classificação de *Bom*, (15) valores - constante do certificado final de curso.
- Média final: 15,3893 - média das classificações obtidas por disciplina para o plano de estudos do Bacharelato.

2.2.5 TRABALHO FINAL DE CURSO

O trabalho final de curso desenvolvido no âmbito do Bacharelato, para a disciplina de “Projecto I” foi dividido em duas partes, Parte A e B. O trabalho foi desenvolvido em colaboração com outro discente - Nelson Pedro.

A parte A, teve como objectivo essencial referenciar situações pertinentes descritas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e justificar as opções adoptadas durante a sua aplicação a um caso prático. Dado que o RCCTE não exemplifica num caso prático a metodologia descrita, o trabalho tentou elucidar os métodos e as opções tomadas baseado na interpretação dos autores. A abordagem foi de carácter pedagógico e simplificado na descrição dos temas abordados, de forma a promover a aprendizagem e sentido crítico na aplicação do regulamento.

A Parte B, foi desenvolvida com vista à aquisição de conhecimentos na área de projecto de sistemas solares térmicos e aquecimento ambiente com pavimento radiante, por forma a complementar a formação académica obtidas nas disciplinas de “Energias Renováveis” e “Ar condicionado”. Para um edifício de habitação uni-familiar foram estimadas as necessidades de aquecimento e de AQS, e foi desenvolvida uma única solução recorrendo a um sistema solar térmico com apoio por caldeira a gás. O estudo procurou um bom desempenho global de toda a instalação, tentando garantir as condições interiores de conforto térmico e elevados rendimentos energéticos com custos de exploração reduzidos.

2.3 CURSO TECNOLÓGICO EM ELECTROTECNIA/ELECTRÓNICA

2.3.1 DATAS

1995 – 1999

2.3.2 CURSO

Agrupamento 1 / Electrotecnia/electrónica

2.3.3 INSTITUIÇÃO

Escola Secundária Tomás Cabreira

2.3.4 CLASSIFICAÇÃO OBTIDA

Na escala de 0 a 20 valores foram obtidas as seguintes qualificações:

- Classificação 13 valores – para secundário e acesso ao ensino superior.
- Média final: 13,3 - média das classificações obtidas por disciplina para o plano de estudos.

3 ACTIVIDADE PROFISSIONAL

3.1 JANEIRO 2013 – PRESENTE : ARUP

Datas	Janeiro 2013 – Presente
Função e cargo	Engenheiro Mecânico – (Grade 3)
Nome da entidade empregadora	Arup
Morada da entidade empregadora	Arup - 13 Fitzroy Street, London W1T 4BQ, United Kingdom
Sector	Projecto e Consultoria em Engenharia

3.1.1 ACTIVIDADE DESENVOLVIDA – PRINCIPAIS TRABALHOS

3.1.1.1 Edifício 1

Edifício 1 é um novo complexo de edifícios de escritórios projectado para a cidade de Londres, a pensar principalmente nas empresas de base tecnológica como inquilinos. O cliente através da equipa técnica de projecto, requisitou a investigação e proposta para uma “App” que permiti-se consultar em detalhe os consumos de energia e conforto térmico no edifício, assim como promover a acção dos ocupantes no controlo da ventilação natural e racionalização do consumo energético. A App, deveria ser customizada para o edifício e integrada com outros sistemas para a transferência de dados.

Tendo em conta os vários factores restridentes para a criação de uma App funcional e integração de sistemas desejada, o candidato investigou:

- Apps existentes no mercado com funcionalidade equiparável.
- Requisitos de hardware (compatibilidade de dispositivos terminais, servidores, medidores de energia adicionais etc...)
- Requisitos de software e serviços (plataformas de desenvolvimento, serviços de design, programação e integração de sistemas).

- Comparação de protocolos para intercâmbio de dados entre os sistemas de gestão e controlo, servidor e base de dados da App, e API's de serviços públicos (previsão meteorológica, transportes públicos, etc..)
- Requisitos e funcionalidades da App desejáveis e relevantes para os ocupantes.

O candidato realizou estas tarefas autonomamente sob supervisão do gestor de projecto. O valor deste trabalho foi capturado e apresentado sob a forma de uma apresentação interna à equipa do candidato, e um esboço das páginas propostas para a App.

Este trabalho foi atribuído ao candidato essencialmente devido aos seus conhecimentos de tecnologias da Internet - incomum nos profissionais da área de engenharia mecânica – e energia e climatização de edifícios. O candidato demonstrou capacidade crítica, identificando entraves e limitações ao requisito do cliente, e de inovação e reflexão propondo soluções e identificando as tecnologias a usar e requisitos para o seu desenvolvimento.

3.1.1.2 Edifício 2

Numa central nuclear em fase de descomissionamento, a obrigatoriedade de manter a estrutura do edifício por um período temporal após a desactivação da central, fomentou o desenvolvimento de uma estratégia de ventilação natural do edifício por forma a evitar a formação de condensação na envolvente interior do edifício e mitigar a acção de potencial humidade ascendente.

Ao candidato na qualidade de especialista em automação e monitorização em edifícios, foi atribuída a tarefa de desenvolver uma estratégia para monitorização das condições ambientais no edifício. A tarefa exigiu ao candidato:

- Revisão de sensores e equipamentos para registo de dados, nomeadamente de temperatura, humidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do ar.
- Identificação dos requisitos para a integração de sensores, equipamento para registo de dados e alimentação eléctrica dos mesmos.
- Desenvolvimento e especificação de um dispositivo para a medição de caudais de ar através de grelhas de admissão de ar, e através da secção dos ductos técnicos.
- Elaboração de uma nota técnica e especificação dos sistemas para construção e/ou instalação.

Este trabalho permitiu ao candidato desenvolver os seus conhecimentos na área de controlo e automação. A natureza do problema obrigou ao desenvolvimento de um sentido crítico para garantir a selecção adequada de equipamentos, tendo em conta o compromisso entre precisão das medições e os custos associados. O conhecimento previamente adquirido no domínio da ventilação natural revelou-se essencial, pois só assim o candidato pôde seleccionar o equipamento adequado para medição de caudais de ar muito inferiores quando comparados com a ventilação mecânica em condutas para a qual muitos sensores são desenvolvidos.

3.1.1.3 Edifício 3

Edifício 3 é um edifício do século XVIII correntemente usado como escritórios de uma instituição de ensino superior.

O sistema de aquecimento instalado no edifício - radiadores servidos por um conjunto de caldeiras a gás - é posterior à data de construção do mesmo mas bastante antigo, obsoleto e apresenta uma configuração sem planeamento adequado, onde a sua implementação foi faseada de encontro às necessidades.

Devido à incapacidade do sistema em aquecer uniformemente satisfatoriamente todos os espaços, o cliente requisitou uma auditoria ao sistema, a serem reportadas sugestões de melhoria e um diagrama esquemático do sistema instalado – uma vez que não existiam quaisquer registos.

O candidato sob orientação inicial auditou os equipamentos do sistema de aquecimento e traçado das tubagens, autonomamente transpôs posteriormente a informação recolhida para um diagrama esquemático em CAD. Foram ainda validados circuitos do sistema relativo à demanda energética e caudais de água quente associados.

O candidato demonstrou capacidade técnica para identificar equipamentos e traçados num sistema de aquecimento, capacidade organizativa no planeamento das tarefas a executar, e aplicação de conhecimentos adquiridos no durante a sua formação académica tais como cálculo de caudais, perdas de cargas e conceitos para dimensionamento de sistemas hidráulicos.

O trabalho, permitiu ao candidato desenvolver experiência profissional, nomeadamente familiarização com os equipamentos de uma instalação e perspicácia no seguimento e identificação de más práticas de projecto com implicação significativa no desempenho de um sistema de aquecimento.

3.1.1.4 Edifício 4

Edifício 4 é um edifício construído em 1870 em Mayfair na cidade de Londres, Reino Unido, e foi projectado para albergar uma instituição de ensino. O edifício foi reconvertido para vários usos ao longo do tempo e mais recentemente para ser usado na exposição de trabalhos artísticos. Este tipo de utilização motivou a necessidade de avaliar o risco de condensação na face interior da cobertura no último piso e garantir assim a integridade das obras expostas.

Devido à incerteza relativo as características térmicas da envolvente, a técnica de termografia por infravermelhos foi identificada como meio de avaliar o risco de condensação e a homogeneidade do isolamento.

Autonomamente o candidato, fez auditoria aos espaços do edifício, e captou imagens termográficas com equipamento específico, e registou as condições ambientais.

Com os dados recolhidos foi avaliada a continuidade do isolamento, e em conjunto com registos históricos meteorológicos foi calculada a probabilidade de ocorrência de condensação nas superfícies e o requisito das condições do ar interior para evitar o fenómeno.

O candidato realizou este trabalho diligentemente, mostrando capacidade de planeamento, autonomia, proficiência no uso de equipamento termográfico e interpretação física dos dados registados. Foram adquiridos conhecimentos relativos às melhores práticas e recomendações da indústria para a avaliação do risco de condensação.

O estudo foi reportado ao cliente num relatório elaborado pelo candidato.

3.1.1.5 Edifício 5: Cargas térmicas de arrefecimento e caudais de ventilação num edifício de escritórios

No contexto de uma auditoria de re-comissionamento do sistema VAV, o candidato foi responsável pelo cálculo das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento do edifício e pelo cálculo dos caudais de ar diversificados para cada troço do sistema de ventilação.

O edifício onde se encontra instalado o sistema é usado como escritório em configuração mista de gabinetes privativos e em “Open Plan”¹. O candidato através de uma auditoria e revisão aos manuais de operação do edifício recolheu a informação necessária ao estudo.

1 Termo genérico usado em arquitectura para definir uma área de escritório partilhada entre ocupantes

As cargas térmicas de aquecimento/arrefecimento foram calculadas com recurso à simulação dinâmica em ambiente “DesignBuilder” e pós processamento em Excel. Os valores calculados foram reportados à empresa de manutenção técnica do edifício, estando o sistema actualmente a ser balanceado para os caudais máximos recomendados.

O cálculo dos caudais de ar diversificados em cada troço foi alcançado com recurso à programação em VBA no processamento dos dados da simulação. Através de funcionalidades do programa Autocad, foi desenvolvida uma estratégia de automação no preenchimento dos diagramas esquemáticos, o que permitiu à equipa reportar ao cliente a informação de uma maneira visual e perceptível num diminuto espaço de tempo com o detalhe habitual apenas em projectos extensos de AVAC.

A tarefa desempenhada pelo candidato permitiu consolidar conhecimentos no uso da simulação dinâmica e software associado, como também permitiu o desenvolvimento de metodologias de trabalho eficientes e essenciais em contexto comercial.

3.1.1.6 Edifício 6: Cargas Térmicas de Arrefecimento Centro Exposição de Artes

Para um centro de exposição de artes foi responsabilidade do candidato o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento sensíveis e latentes. Com base na arquitectura e novas especificações para remodelação das galerias, foram calculadas as cargas térmicas do espaço e caudais de ar do sistema de ar de volume constante. Os caudais foram comparados com dados recolhidos do comissionamento passado do edifício, tendo então sido feitas recomendações nos ajustes necessários ao sistema por forma a cumprir com a norma “*Government Indemnity Scheme (GIS) -Chapter 10/Environmental Control Provisions /4 Climate on Display*”. O cumprimento da norma habilita o espaço a receber exposições de peças de arte sensíveis com apertados requisitos térmicos e higrométricos.

Este trabalho permitiu ao candidato tomar conhecimento sobre as características de um edifício de exposição de artes do ponto de vista de projecto de AVAC. Permitiu também tomar conhecimento da norma acima mencionada.

3.1.1.7 Edifício 7: Peritagem a projecto de Aquecimento e AQS

A empresa através da empresa seguradora de um consultor projectista foi contratada para analisar e comentar o projecto de um sistema de águas quentes sanitárias e aquecimento central num edifício multi-familiar. O sistema apresentou um funcionamento deficiente desde o início da ocupação do edifício, com frequente privação de água quente nalgumas das habitações. Um das hipóteses avançadas para a falha verificada no fornecimento de água quente sanitária, foi de que o sistema teria sido sub-dimensionado de acordo com as condições contratuais do projectista.

Ao candidato foi delegada a tarefa de avaliar o caudal máximo instantâneo do edifício para as condições de projecto. As tarefas realizadas pelo candidato passaram pela elaboração de modelos de cálculo estatísticos, aplicação de vários métodos de cálculo e estimativa da diversidade no uso de água quente sanitária (sugeridos em guias da área e normas europeia) e a avaliação do desempenho das fontes de calor (co-geração) e acumulação (reservatórios). Numa fase posterior colaborou também na elaboração do relatório de peritagem e revisão técnica da defesa judicial.

As tarefas e contexto do trabalho realizado permitiram ao candidato ganhar experiência profissional em peritagem, familiarização com sistemas de aquecimento semi-instantâneos, e métodos de cálculo aplicáveis ao dimensionamento de sistemas de AQS. O candidato mostrou capacidade investigação e inovação no cálculo da diversidade no uso de água quente, propondo meios de cálculo refinados apoiados em fundamentos básicos de estatística seguidos pelas normas vigentes. Soube ainda transpor o problema para análise computacional por forma a efectuar cálculos extensos e complexos, tendo para tal desenvolvido folhas de cálculo com recurso a programação em VBA. O trabalho desenvolvido pelo candidato na sua abordagem probabilística e revisão de conceitos foi essencial no processo judicial e defesa da entidade projectista. Este trabalho desencadeou o reconhecimento do problema pelas instituições profissionais da área de projecto de águas no Reino Unido, pelo que se perspectiva uma nova fase de investigação desta vez com o intuito de rever as normas vigentes.

3.1.1.8 Desenvolvimento de um XML Schema para importação/exportação de dados.

DomEARM, Domestic Energy Assessment and Report Method, é uma ferramenta desenvolvida pelo candidato no ano de 2010. Esta ferramenta é usada pelo cliente para recolher dados sobre as características e consumo energético de edifícios de habitação. Tendo esta ferramenta sido desenvolvida em MS Excel a análise dos dados para efeitos estatísticos e comparativos não era possível.

Tendo o cliente expresso a necessidade de analisar os dados de todas as auditorias até então, o candidato propôs e desenvolveu um “XML Schema”² para captar os dados recolhidos de cada análise. Além do “Schema” desenvolvido, foi também programada a funcionalidade de importar e exportar ficheiros de dados em XML no programa.

Este trabalho permitiu ao candidato desenvolver os seus conhecimentos no processamento de dados em XML, quer relativo à linguagem para intercâmbio de dados XML como à programação em VBA e biblioteca do analisador MSXML 6.0.

O candidato mostrou estar consciente das necessidades do cliente sabendo identificar e propor uma solução tecnológica actual. A realização deste trabalho foi possível apenas devido à polivalência de conhecimentos e capacidade do candidato em conjugar com eficácia o uso da informática no desenvolvimento do seu trabalho e os requisitos da indústria. A experiência e conhecimentos adquiridos têm aplicação prática noutras áreas, nomeadamente em todas as aplicações onde a transferência de dados é necessária.

3.1.1.9 Edifício 8

Edifício 8, é na actualidade um dos edifícios mais altos no Reino Unido, com a peculiaridade de ser revestido a vidro e sem um telhado plano. Esta arquitectura condiciona a localização de sistemas, pelo que foram criados pisos técnicos onde se encontram instalados os equipamentos das centrais de aquecimento/arrefecimento, tais como as torres de arrefecimento. O edifício apresenta necessidades de arrefecimento mesmo com baixas temperaturas exteriores durante o Inverno. Esta condição leva ao aparecimento de plumas de condensação nas torres de arrefecimento, o que é usualmente aceitável nas torres de uma indústria ou na produção de energia, mas totalmente inaceitável quando este fenómeno acontece junto da fachada de um edifício. O problema foi resolvido através da instalação de baterias de

2 Descrição da estrutura e regras de preenchimento de um ficheiro XML com aplicação específica.

aquecimento que reduzem a humidade relativa do ar à saída da torre evitando assim a saturação do ar e o aparecimento das plumas de condensação. No entanto esta não é uma solução eficiente, e por forma a minimizar o consumo de energia deve-se aquecer o ar à temperatura mínima que extinga a pluma.

O candidato foi confrontado com o desafio de desenvolver uma estratégia de controlo para operar a bateria de aquecimento, tendo em conta a temperatura mínima do ar para extinguir a pluma, este problema nunca tinha até então sido abordado pela equipa ou implementado pelo construtor. Este abordou o problema cientificamente reconhecendo-o como dependente das características psicrométricas do ar. Através da transposição de equações das propriedades da água/ar em formato polinomial, e explicitação da temperatura do ar que mínima a formação de condensação, através de um sistema de 3 equações, o candidato testou e validou a resolução das equações simplificadas em folha de cálculo. Os passos do processo de cálculo foram então descritos num formato lógico para implementação num automatismo programável que controla a operação das baterias de aquecimento.

O candidato demonstrou neste trabalho capacidade de interpretar fenómenos físicos, e transpor métodos de resolução matemática para um processo lógico com implementação prática na automação de sistemas.

3.2 JULHO 2011 – NOVEMBRO 2012 : CERTITERM

Datas	Julho 2011 – Novembro 2012
Função e cargo	Engenheiro Mecânico Projectista
Nome da entidade empregadora	Certiterm, Lda
Morada da entidade empregadora	Universidade do Algarve Campus de Gambelas, Pav. A5.3 8005-139 Faro
Sector	Engenharia e Consultoria Energética de Edifícios

3.2.1 ACTIVIDADE DESENVOLVIDA

3.2.1.1 Projecto, certificação RSECE

Uma pequena percentagem do trabalho desenvolvido ao serviço da empresa Certiterm passou pela certificação energética de edifícios novos e existentes no âmbito do RSECE.

As tarefas desenvolvidas foram essencialmente no cálculo dos índices de eficiência energética e procedimentos previamente associados como: recolha de dados sobre equipamento instalado ou projectados; elaboração de modelos de simulação dinâmica; processamento de dados da simulação; e introdução de dados no portal de certificação energética.

Das tarefas realizadas recolheu experiência essencial na determinação de cargas térmicas de aquecimento/arrefecimento que ocorrem nas centrais produtoras de frio/calor de modo diversificado.

3.2.1.2 Projecto, certificação RCCTE

Uma grande percentagem do trabalho desenvolvido na empresa foi relativo ao projecto de verificação de RCCTE.

Usando o programa informático CYPE para modelação 3D e cálculo do RCCTE fez a verificação de vários projectos de arquitectura para edifícios de habitação uni e multi-familiares. Com os dados obtidos elaborou desenhos de soluções construtivas, memória descritiva e submeteu a informação para obtenção da Declaração de conformidade regulamentar.

Neste contexto de tarefas repetitivas o preenchimento de dados manualmente é ineficiente e moroso, uma situação indesejada do ponto de vista operacional de uma empresa. Consciente da ineficiência do processo o candidato programou uma folha de cálculo e um relatório padrão de preenchimento automático com base nos dados de saída em XML do programa CYPE. A automatização do processo requer intervenção mínima do utilizador no cálculo de medidas de melhoria, geração de gráficos de desempenho do sistema solar térmico, criação e anexação automática de anexos à Declaração de conformidade regulamentar e criação automática da memória descritiva de projecto sem qualquer redução significativa na qualidade e quantidade de informação fornecidas anteriormente. O método eliminou por completo a introdução de dados no portal da ADENE para a submissão de DCRs e CEs (certificados de eficiência energética). O novo método de trabalho com as ferramentas desenvolvidas permite à empresa reduzir a quantidade de erros no preenchimento de informações. Reduz também drasticamente o tempo necessário à elaboração de um certificado energético ou declaração de conformidade regulamentar em cerca de 25% a 50%.

Desta actividade foi adquirida experiência na análise de projectos quanto ao cumprimento do regulamento RCCTE, proficiência no uso do programa Autocad, e manipulação de informação em formato XML.

3.2.1.3 Consultoria a projecto de arquitectura

Em vários projectos de edifícios, o candidato trabalhou em colaboração com o arquitecto no desenvolvimento da arquitectura do edifício. Lançados os esboços de arquitectura, o candidato usou esta informação para construir e otimizar modelos de simulação dinâmica que representam o edifício. Os parâmetros estudados e tipicamente reportados ao arquitecto são:

- Comparação e selecção do tipo de envidraçado, com a melhor performance de conforto anual.
- Custo-benefício da espessura de isolamento.
- Materiais de construção para elementos da envolvente.
- Factores de iluminação natural e optimização da luz natural disponível.
- Estratégia de sombreamento para envidraçados.
- Horas de conforto anuais, sem recurso a sistemas de climatização.
- Mapas de iluminação natural.
- Diagramas CFD de escoamentos de ventilação natural.

A realização destas tarefas pelo candidato permitiu desenvolver conhecimentos e capacidade crítica essencialmente na avaliação do conforto, utilização de luz natural e no projecto de ventilação natural. Foram também adquiridas competências com vários softwares de simulação como por exemplo Ecotect, OpenStudio e Radiance.

Neste relatório apresenta-se como tema para discussão em prova pública, um destes estudos. Ver anexo I.

3.3 OUTUBRO 2008 – JUNHO 2011 : ARUP

Datas	Outubro 2008 – Junho 2011
Função e cargo	Engenheiro Mecânico – (Grade 3)
Nome da entidade empregadora	Arup
Morada da entidade empregadora	Arup - 13 Fitzroy Street, London W1T 4BQ, United Kingdom
Sector	Projecto e Consultoria em Engenharia

3.3.1 ACTIVIDADE DESENVOLVIDA – PRINCIPAIS TRABALHOS

3.3.1.1 Auditorias Energéticas

Um dos serviços oferecidos pela equipa nos quais o candidato participou com frequência é a auditoria energética de edifícios. Autonomamente ou em colaboração com colegas as seguintes tarefas foram desempenhadas:

- Auditoria a edifícios, levantamento de dados.
- Simulação Energética (quando aplicável).
- Análise dos consumos energéticos, com base nos dados registados no sistema de gestão centralizada e/ou facturas energéticas.
- Monitorização e análise de parâmetros de conforto, com recurso a equipamento.
- Análise de medidas de melhorias, tais como: instalação de co-geração; sistemas solares térmicos e fotovoltaicos; substituição de equipamentos; reconfiguração e balanceamento de sistemas de distribuição de água e ar para climatização; instalação de contadores energéticos.
- Preparação de desenhos, diagramas esquemáticos, e relatórios.
- Apresentação de resultados a clientes.

A diversidade de tarefas desenvolvidas pelo candidato associadas ao serviço de auditoria energética contribuem para a sua experiência na caracterização de sistemas energéticos dos edifícios e problemas que afectam o seu desempenho. O estudo de medidas de melhoria requer também uma actualização constante de conhecimentos sobre novos sistemas e equipamentos.

3.3.1.2 EPCs

Durante o período inicial ao serviço da entidade empregadora Arup, o candidato participou na realização de várias auditorias energéticas no âmbito da certificação energética.

Foram realizados vários EPCs (Energy Performance Certificate) para edifícios com áreas de até 25 mil m², exigindo auditorias extensas, longos períodos de modelação em 3D e introdução de dados no software de simulação certificado “Virtual Enviroment-IES”.

O candidato contribuiu significativamente no aperfeiçoamento da metodologia de trabalho do grupo, tendo desenvolvido e programado folhas de cálculo para automatizar a introdução de dados e validar resultados do cálculo. A experiência permitiu ao candidato tomar conhecimento da norma europeia 2002/91/EC (EPBD, 2003) segundo a implementação inglesa. Nomeadamente a sua aplicação a edifícios de serviços com potências de aquecimento superior a 100 kW e/ou de geometria complexa.

3.3.1.3 Edifício 9

Edifício 9 é um projecto para um edifício de escritórios em ambiente semi-urbano com 2 pisos. Este foi desenvolvido no seguimento do sucesso obtido pelo mesmo promotor na construção de um edifício semelhante com características de construção sustentável. A Arup participou neste projecto como consultor no desenvolvimento de uma estratégia de design que minimiza-se a emissão de gases com efeito de estufa e o consumo energético, replicando o sucesso alcançado anteriormente.

Com recurso à simulação em IES e Excel, o candidato estudou vários parâmetros do edifício que foram reportados ao arquitecto com o intuito de otimizar o design. Foram analisados entre outros os seguintes parâmetros: Orientação do edifício; percentagem de envidraçado

ideal; níveis de Iluminação natural; ventilação natural, estudo de caudais, efeito chaminé, otimização das aberturas e controlo; cargas térmicas e consumos de energia anual; Desconforto, sobre-aquecimento no verão.

O projecto estendeu-se por várias etapas até obtenção de um design final aceitável por todas as partes como um compromisso satisfatório. Através do seu envolvimento no projecto, o candidato desenvolveu capacidades na utilização do software VE-IES e as funcionalidades deste para a simulação de ventilação natural e cálculo de factores de iluminação natural. A nível interpessoal e comercial iniciou-o na consultoria em design sustentável e na colaboração com as equipas de arquitectura.

3.3.1.4 Entidade 11

Entidade 11, é um colégio no Reino Unido, que ocupa vários edifícios de um Campus. O mau estado geral da rede de aquecimento centralizado motivou o cliente a pedir uma auditoria energética para identificação de problemas e oportunidades de melhoria.

Na elaboração deste trabalho o candidato estudou o consumo de gás, e electricidade dos edifícios e identificou opções viáveis para a reabilitação do sistema central de aquecimento e AQS e respectiva rede de distribuição.

A principal medida de melhoria sugerida consistiu na substituição das caldeiras a gás, por um sistema de co-geração. Após preparação dos perfis de consumo com base em medições efectuadas, o candidato simulou o desempenho de uma máquina de co-geração. Para este estudo desenvolveu uma folha de cálculo que permitiu simular e dimensionar uma máquina adequada aos perfis de consumo do edifício e maximizar o retorno do investimento através da venda de electricidade à rede. No estudo foi identificada como viável a instalação de uma máquina de 50Kwe, entretanto já instalada.

3.3.1.5 Edifício 12

A Arup esteve presente no design do novo terminal do aeroporto da Cidade 12, como projectista e no acompanhamento da obra. Já numa fase final, o cliente requereu a elaboração de um plano de monitorização energética, que identifica o tipo e os consumidores finais de energia por tipo de uso.

O candidato com base na recomendação do manual de aplicação CIBSE TM39, analisou e quantificou a percentagem de consumo de energia e a utilização final passível de ser identificada. O exercício requereu a análise de todos os sistemas energéticos presentes no edifício, a identificação de todos os contadores de energia, e funcionalidades dos sistemas para reportar o uso de energia (iluminação, geradores, co-geração, etc.). Com base na informação recolhida e requisitos recomendados, foi criada uma estratégia para estimar os consumos finais por categoria, onde se identificou a necessidade de instalar sub-contadores de energia adicionais e o método para estimar o consumo em sub-circuitos sem contadores.

3.3.1.6 DomEARM

DomEarm (Domestic Energy Assessment Methodology), é um método de cálculo para estimar o consumo de energia e tipo de utilização final em habitações. O método é baseado na metodologia CIBSE TM22 e consiste num programa (folha de cálculo) onde a introdução de dados foi simplificada através de menus e contextos de ajuda que guiam o auditor do início ao fim. É utilizado pelo cliente para a recolha de dados em novos edifícios de habitação projectados para cumprir com o nível 4 e 6 do standard “Code for Sustainable Homes”.

O candidato desenvolveu e programou na íntegra a metodologia e o programa em “Excel” associado. Os métodos de cálculo programados exigiram a investigação dos consumos típicos em edifícios de habitação e relações entre consumos totais de energia e outras características como a dimensão do agregado familiar, o tipo de edifício, eficiência de sistemas, etc... Muitas das funcionalidades do programa foram programadas em VBA, o que exigiu a aprendizagem de novas técnicas e uma evolução significativa das habilitações do candidato.

3.3.1.7 Edifício 13

Edifício 13, é um complexo de 5 edifícios projectado para a cidade de Al-Rhyad na Arábia Saudita como centro de investigação e de eventos. Este é composto por um centro de congressos, centro de investigação, biblioteca, centro de processamento de dados (datacenter) e um pavilhão para práticas religiosas (Musalla). A Arup foi responsável pelos serviços de engenharia, onde o candidato fez parte da equipa de projecto dos sistemas de automação e controlo.

As tarefas desempenhadas pelo candidato foram: a produção dos esquemas de controlo (A&IDs P&IDs); Programação, e execução de scripts LISP Autocad para automatização e actualização de desenhos; Produção dos mapas de pontos; Plantas de localização de sensores e controladores.

Durante o desenrolar do projecto, o candidato ganhou um papel bastante activo na gestão e responsabilidade documental do projecto. Foram automatizados imensos processos no preenchimento dos mapas (pontos, medições etc...), usando programação em VBA que permitiu à equipa minimizar incoerências e o tempo para completar as várias fases do projecto.

Este projecto representou um marco significativo na carreira do candidato, nomeadamente na experiência e conhecimentos ganhos na área de automação e controle em edifícios bem como na gestão de projecto e cooperação entre equipas.

3.3.1.8 Edifício 14

Devido ao desconforto sentido pelos operadores de malas nas novas docas exteriores do novo terminal de um aeroporto, o cliente encomendou à Arup um estudo para caracterizar a solução actual e identificar uma solução viável para o problema. Após o estudo inicial para mitigação da intensidade do vento pela equipa de “Wind Engineering”, o estudo avançou para a caracterização das condições de conforto e eficácia dos radiadores de infravermelhos exteriores já instalados, tendo estas tarefas sido atribuídas ao candidato.

Este simulou as condições de conforto do cenário inicial em condições de projecto predefinidas e avaliou o impacto das medidas propostas para mitigação do vento e aumento da potência radiante através da instalação de radiadores adicionais. Para realização do estudo foi desenvolvida uma folha de cálculo onde foi programado o cálculo de factores de forma, radiação incidente nos ocupantes da zona, temperaturas radiantes, algoritmos do método UCTI (Universal Thermal Comfort Index) e processos iterativos para cálculo da sensibilidade aos diversos parâmetros.

O estudo identificou que os radiadores têm um impacto limitado na melhoria das condições de conforto e reforçou a decisão de instalar barreiras de protecção para reduzir a velocidade do vento. O candidato através deste trabalho adquiriu experiência na caracterização de condições de conforto exterior, modelos termo-fisiológicos, e de radiadores por infravermelhos.

3.3.1.9 Edifício 15

Num projecto de reabilitação e ampliação de uma das principais estações ferroviárias em Londres, o cliente requisitou a verificação do cumprimento do regulamento energético. Embora não sujeito a obrigação de cumprir com a regulamentação o edifício foi simulado e efectuado o cálculo por forma a informar a equipa de projecto sobre as tecnologias a usar por forma a reduzir o consumo energético para um nível compatível com a regulamentação de 2013.

O candidato foi responsável pela elaboração do modelo de simulação dinâmica usando o software IES, e pela elaboração de um relatório com os resultados e recomendações.

A natureza singular do edifício que ocupa os arcos do viaduto usado pela linha ferroviária, exigiu do candidato uma abordagem crítica no desenvolvimento do modelo, pois foi necessário identificar as características e geometria relevante a representar na impossibilidade de transpor fielmente a geometria do edifício. Durante a elaboração destas tarefas os resultados foram reportados frequentemente ao cliente, o que proporcionou o desenvolvimento de capacidades comunicativas e de apresentação de resultados no âmbito da simulação dinâmica. O grau de exigência para elaboração do modelo, permitiu também consolidar a experiência desenvolvida anteriormente no uso do programa IES.

3.4 ABRIL 2007 – OUTUBRO 2007 : ROLEAR

Datas	Abril 2007 – Novembro 2007
Função e cargo	Estagiário profissional – suporte de vendas
Nome da entidade empregadora	Rolear S.A.
Morada da entidade empregadora	Parque Rolear, Sítio do Areal Gordo, 8000 Faro, Portugal
Sector	Comercialização de material eléctrico e Climatização

3.4.1 ACTIVIDADE DESENVOLVIDA

3.4.1.1 Suporte de Vendas

Enquanto estagiário profissional na empresa Rolear S.A. o candidato desempenhou tarefas no suporte técnico dado a clientes relativo ao material comercializado e na elaboração de orçamentos para fornecimento de equipamentos de AVAC e para captação solar.

As tarefas desempenhadas permitiram ao candidato aprender sobre os equipamentos fornecidos pela empresa, os quais foram objecto de estudo teórico no plano de estudos da Licenciatura. De destaque referem-se os sistemas solar térmicos, pois o impulso e subsídio dados à data para a aquisição destes equipamentos exigiu o suporte constante ao departamento de vendas na selecção de componentes. Esta exigência dotou o candidato com conhecimentos com aplicação recorrente ao longo da sua carreira.

3.5 JUNHO 1999 – SETEMBRO 2013 : COMPTA

Datas	Junho 1999 – Setembro 2003
Função e cargo	Técnico de telecomunicações e electrónica
Nome da entidade empregadora	Compta
Morada da entidade empregadora	Compta S.A. - R. Combatentes da Gr. Guerra, Gv. P. A, Lj. R/C Esq, 8100-545 LOULÉ, Portugal
Sector	Serviços de Telecomunicações e redes de voz e dados empresariais

3.5.1 ACTIVIDADE DESENVOLVIDA

3.5.1.1 Instalação e programação de equipamentos de telecomunicações

Em 1999 após conclusão do curso Tecnológico de Electricidade e Electrónica o candidato foi convidado a integrar a empresa Compta S.A onde desempenhou funções como técnico de telecomunicações e electrónica. Sendo as telecomunicações o principal ramo de actividade da empresa as principais tarefas desenvolvidas pelo candidato foram a instalação e manutenção de centrais telefónicas dos fabricantes Matra e Nortel. Teve também formação e contacto com equipamentos de transmissão e roteamento de dados.

Os conhecimentos adquiridos viriam a ser fundamentais no desenvolvimento da sua experiência profissional, nomeadamente na facilidade de apreensão de conceitos lógicos de programação que encontra aplicação prática no dia a dia do candidato.

4 OUTRAS COMPETÊNCIAS

4.1 LÍNGUAS

Para cada uma das cinco rubricas abaixo indicadas (Compreensão oral, Leitura, Interação oral, Produção oral, Escrever), indicam-se o nível de competência linguística, determinado por auto-avaliação do candidato.

	Compreender		Falar		Escrever
	Compreensão oral	Leitura	Interação oral	Produção oral	
Inglês	Utilizador experiente	Utilizador experiente	Utilizador experiente	Utilizador experiente	Utilizador experiente
Francês	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar
Espanhol	Utilizador Independente	Utilizador Independente	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar	Utilizador Elementar

4.2 INFORMÁTICA GERAL

Da experiência profissional como técnico de telecomunicações/informática e por aprendizagem autodidacta o candidato apresenta conhecimentos de:

- Sistemas Operativos, Linux e Windows: Conhecimentos básicos em instalação e manutenção.
- Protocolos de Rede, TCP/IP.
- Tecnologias da Internet: conhecimentos gerais no âmbito de integração de sistemas, Javascript, HTML5, APIs do Google tais como Maps, Fusion Tables.

4.3 PROGRAMAÇÃO

Experiência com as seguintes linguagens de programação:

- Pascal: sem aplicação prática actual, a aprendizagem desta linguagem foi efectuada no âmbito do Bacharelato em Engenharia Mecânica.
- VBA: A linguagem de programação VBA implementada nas aplicações do MS OFFICE, é usada com frequência por forma a expandir as capacidades dos programas Excel e Word.
- XML: usada na vertente de armazenamento e transmissão de dados.

4.4 PROGRAMAS INFORMÁTICOS COM APLICAÇÃO EM ENGENHARIA

O candidato usa frequentemente e com proficiência vários programas informáticos na sua actividade profissional com aplicação em engenharia mecânica e projecto de edifícios:

- Design Builder: Programa de interface para o software de simulação Energy Plus.
- Energy Plus: Programa de simulação térmica e dinâmica de edifícios.
- IES – Virtual Enviroment: Programa de simulação térmica e dinâmica de edifícios.
- Autodesk Autocad: Elaboração de desenhos esquemáticos e plantas de sistemas mecânicos.
- Revit MEP: Projecto de sistemas de climatização mecânica em 3D.
- Cype – módulo RCCTE: Elaboração de modelos 3D e cálculo do cumprimento regulamentar com RCCTE.
- SketchUp: Programa de modelação 3D de aplicação geral e prototipagem rápida.

4.5 ELECTRICIDADE E ELECTRÓNICA

O candidato adquiriu conhecimentos nas áreas de Electricidade e Electrónica durante a frequência do curso tecnológico do ensino secundário e durante a actividade profissional com a empresa Compta S.A.

Como passatempo, repara e implementa circuitos de electrónica analógica e digital, usando a plataforma de desenvolvimento Arduino.

5 DISCUSSÃO CRÍTICA

O percurso profissional do candidato não segue um desenvolvimento típico de outros profissionais da área, pois este iniciou a sua formação académica aos 23 anos, já contando na altura com alguma experiência profissional. Após um curso tecnológico na área de Electricidade e Electrónica, o candidato integrou a empresa Compta S.A. como técnico de telecomunicações. Ao serviço desta empresa durante 4 anos, a sua formação na área de electrónica foi complementada por vários cursos e conhecimentos em informática que este procurou obter voluntariamente para desempenhar eficazmente as suas funções. Embora esta área onde iniciou actividade profissional aparente não estar relacionada no âmbito do Mestrado a que requisita a equivalência, esta experiência foi determinante no seu sucesso e desenvolvimento da sua carreira. O ambiente a que esteve exposto e a equipa técnica que o apoiou no início da carreira potenciaram a sua vontade de aprender e o espírito crítico e autodidacta. As bases informáticas que adquiriu continuam até hoje a dar valências ao candidato, essencialmente no processamento de dados, optimização de projecto e automação de métodos de cálculo com recurso à programação.

Durante os anos de 2003 a 2008 o candidato frequentou e terminou a licenciatura em Engenharia Mecânica – Ramo Térmico, que se predispôs a concluir no tempo mínimo e necessário de 5 anos lectivos consecutivos. A sua experiência profissional anterior foi determinante na sua atitude e empenho na conclusão do plano de estudos, tendo este programado e estabelecido objectivos aos quais se manteve fiel. O proveito que retira hoje desse empenho é sentido no conhecimento abrangente de conceitos físicos aplicados na engenharia de edifícios. A sua formação e qualidade do planos de estudos que frequentou são frequentemente reconhecidas na polivalência de tarefas atribuídas na sua actividade profissional.

Durante o ano de 2006 o candidato iniciou a sua actividade como engenheiro técnico na empresa Rolear. Esta experiência viria a durar apenas seis meses, mais uma vez a sua determinação no planeamento da sua carreira levaram-no a favorecer o tempo e energia disponível à conclusão da licenciatura no tempo a que se predispôs. Foi nesta altura que tomou a decisão de procurar sempre explorar o máximo das suas habilitações e perseguir uma carreira numa consultora multinacional. Da experiência adquirida no departamento de suporte de vendas, o candidato teve contacto comercial com muitos dos equipamentos e sistemas

objecto do seu planos de estudos na Licenciatura, tais como colectores solares térmicos e fotovoltaicos, sistemas de ar condicionado e ventilação. A exigência comercial no atendimento e suporte de vendas desenvolveram a sua capacidade de tomar decisões e responsabilidade exigidas para manter uma actividade comercial sustentável.

Na primavera de 2008, o candidato iniciou a procura de emprego no Reino Unido ainda antes de terminar a sua Licenciatura, tendo em Outubro de 2008 integrado a empresa Ove Arup and Partners Ltd. Nesta empresa viria a desenvolver a experiência profissional com maior relevância no contexto de energia e climatização de edifícios. A sua equipa “Building Performance and Systems” no grupo “Advanced Technology and Research” viria a revelar-se o ambiente ideal na promoção das capacidades que já o distinguiam, onde o apetite ávido pela descoberta é frequentemente satisfeito pela necessidade de desenvolver soluções inovadoras ou incomuns apresentadas à equipa. As soluções e métodos de cálculo de trabalho como os aqui descritos, tomando como exemplo o estudo de aquecimento radiante, abatimento de plumas em torres de arrefecimento ou na peritagem de projecto de água quente sanitária, são uma prova de que este aplica com sucesso conceitos de engenharia dignos de reconhecimento.

No ano de 2011 por decisão pessoal o candidato regressou a Portugal. Onde, entre Julho de 2011 e Novembro de 2012 foi colaborador na empresa Certiterm. Ao serviço desta empresa desenvolveu estudos de optimização do desempenho energético de edifícios e trabalhou em certificação energética de edifícios e projecto de AVAC. As tarefas desempenhadas com mais frequência foram a certificação energética no âmbito do projecto de RCCTE. Neste contexto desenvolveu ferramentas e métodos de trabalho que permitem à empresa desenvolver um projecto em menos tempo e com maior eficácia. No desenvolvimento desta experiência o candidato está actualmente capacitado para a elaboração de ferramentas de cálculo como modelo de negócio. Recentemente terminou o projecto de uma ferramenta baseada em Excel e Visual Basic for Applications a pedido de um cliente externo. Esta habilitação é considerada uma mais valia na empresa que integra actualmente, tanto nos serviços que pode oferecer como na optimização de processos internos, pois permite a automação de muitas tarefas e a minimização de erros de cálculo.

É actualmente responsável pela organização de sessões técnicas na equipa que integra com vista à disseminação de conhecimentos e formação contínua dos membros da equipa. Sempre disponível na partilha de conhecimentos tanto em ambiente académico como profissional,

criou recentemente um programa de formação que ministra aos restantes membros da equipa sobre o uso do programa Excel, métodos de cálculo avançado e programação VBA para MS Word e Excel.

A empresa onde colabora actualmente implementa um sistema de reconhecimento, e progressão de carreira com revisões anuais. Este sistema permite identificar oportunidades de melhoria e capacidades a desenvolver para progressão carreira. De futuro, o candidato deseja continuar a progressão natural de carreira definida pela empresa relativo à gestão de projectos e ascensão a cargos de maior responsabilidade. Tecnicamente, deseja progredir as suas habilitações no domínio da análise de dados e optimização computacional, tendo identificado com este objectivo a necessidade de desenvolver conhecimentos sobre bases de dados e programação em ferramentas especializadas, como por exemplo Python e Matlab.

Da análise aqui descrita às habilitações académicas e experiência profissional do candidato, acredita-se que este tenha alcançado um grau de conhecimento superior ao que o plano de estudos do Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios possa ter proporcionado isoladamente.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE Guide F: Chartered institution of building services engineers, Energy efficiency in buildings* (2012)
- [2]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE KS17: Indoor air quality and ventilation* (2011)
- [3]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE AM12: Small-scale CHP combined heat and power for buildings* (2012)
- [4]. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook: HVAC systems and equipment* (2012)
- [5]. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook: HVAC applications* (2011)
- [6]. Building Services Research and Information Association, *BSRIA: Thermal imaging of building fabric* (2011)
- [7]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE TM39: Building energy metering* (2009)
- [8]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE TM46: Energy benchmarks* (2008)
- [9]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE Guide to building services for historic buildings* (2002)
- [10]. Building Services Research and Information Association, *BSRIA: Commissioning air systems: Application procedures for buildings* (2001)
- [11]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE Guide K: Electricity in buildings* (2004)
- [12]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE TM41: Degree days: theory and application* (2006)
- [13]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE Guide A: Environmental design* (2006)
- [14]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE Guide B: Heating, ventilating, air conditioning and refrigeration* (2002)
- [15]. Chartered institution of building services engineers, *CIBSE AM14: Non-domestic hot water heating systems* (2010)
- [16]. Chartered institution of building services engineers, *AM10 Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings (CIBSE Applications Manual 10)* (2005)
- [17]. Lawrence Berkeley National Laboratory, *EnergyPlus Engineering Reference* (2012)
- [18]. Building Regulations, *Approved Document L2A: Conservation of fuel and power (New buildings other than dwellings)* (2010)
- [19]. Building Regulations, *Approved Document L2B: Conservation of fuel and power (Existing buildings other than dwellings)* (2010)

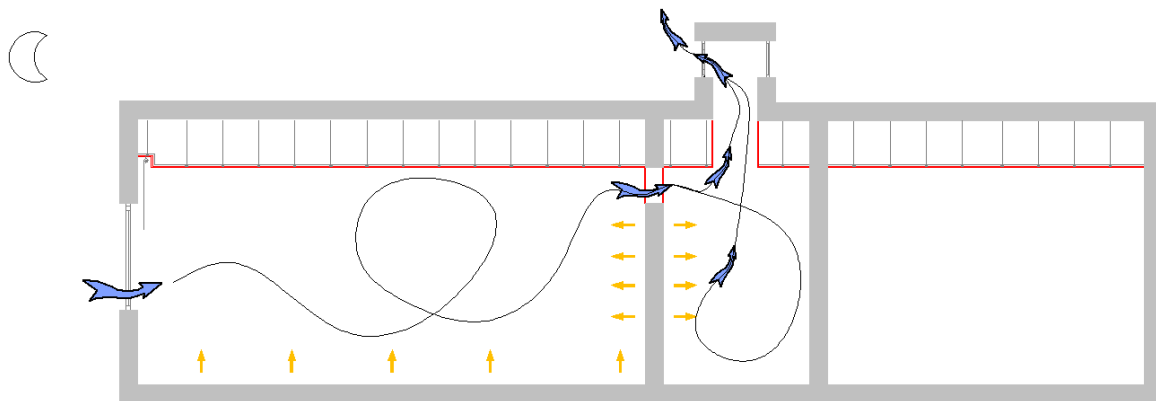
- [20]. Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).
- [21]. A. Canha da Piedade, *Térmica de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*, Lisboa 2000
- [22]. RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (2006). Decreto de Lei nº 79/2006 de 4 de Abril.
- [23]. Santos, C e Matias, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – I.T.E. 50. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (2006)*

ANEXOS

ANEXO I - OPTIMIZAÇÃO DE PROJECTO E DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO EM ARREFECIMENTO

OPTIMIZAÇÃO DE PROJECTO E DESEMPENHO DE UM EDIFÍCIO EM ARREFECIMENTO

Tema para discussão em prova pública no âmbito do “Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios” do candidato Fábio Emanuel Periquito Coelho.



Estudo realizado por: Certitem Lda., com a colaboração de Fábio E. P. Coelho

Adaptação de conteúdos para apresentação em prova pública: Fábio Emanuel Periquito Coelho, Aluno nº25660

Revisão à adaptação de conteúdos, sob orientação de: Professor Doutor Celestino Ruivo

AGRADECIMENTOS

À gerência da empresa Certiterm Lda. por permitir a apresentação deste estudo como tema para discussão em prova pública no âmbito do Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios do candidato Fábio Emanuel Periquito Coelho. O tema aqui apresentado é baseado no trabalho desenvolvido pelo candidato e outros enquanto colaborador na empresa.

RESUMO

Este estudo explora as oportunidades de melhoria a implementar no projecto de um edifício de escritórios, que permitem reduzir a carga térmica e energia para arrefecimento ambiente. As intervenções exploradas apresentam um impacto mínimo na arquitectura já desenvolvida, por forma a tornar a sua execução viável.

A análise centra-se essencialmente na redução das cargas térmicas de origem solar, e promoção de características que promovem a ventilação natural como forma de arrefecimento gratuito. As medidas de melhoria recomendadas foram validadas recorrendo à simulação dinâmica em Energy Plus, tendo sido criados vários modelos de simulação para comparação com um caso inicial.

Para o caso de estudo é demonstrado que é possível reduzir significativamente a capacidade do sistema de arrefecimento e consumo de energia, aumentar o conforto térmico dos ocupantes e dotar o edifício de maior resiliência climática, sem no entanto interferir significativamente com o planeamento arquitectónico e directrizes iniciais do projecto.

ABSTRACT

This study explores a set of feasible improvement measures to the design of an office building, for the reduction of cooling loads and cooling energy consumption. The recommended interventions to the building architecture have minimum impact on the building design plans to improve its chances for implementation in construction.

The analysis emphasizes on the reduction of solar gains and promotion of natural ventilation as a means for free cooling. The suggested measures have been tested and validated on thermal dynamic models created for Energy Plus. Several models were created for comparison with the notional building as per the initial design.

For the study building, it is shown that it is feasible to reduce considerably the peak cooling load and energy consumption for space cooling, improve the thermal comfort and build on future resilience for the building to climate changes. Still, the recommended interventions are relatively discrete on their impact to the already developed architecture planning.

LISTA DE ABREVIATURAS

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

UCTI – Universal Thermal Comfort Index

AVAC – Aquecimento ventilação e ar condicionado

VRV – Volume de Refrigerante Variável

3D – Três dimensões: imagens de duas dimensões elaboradas de forma a proporcionarem a ilusão de terem três dimensões.

SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	METODOLOGIA.....	10
1.2	SOFTWARE	10
1.3	ESTRUTURA	11
2	CASO DE ESTUDO.....	12
2.1	APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO	12
2.1.1	Envolvente.....	13
2.1.2	Uso e ganhos internos.....	15
2.1.3	Climatização	17
2.2	DESEMPENHO DO EDIFÍCIO.....	18
2.2.1	Análise horária do caso Base.....	18
2.2.2	Consumo energético	21
3	OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	22
3.1	REDUÇÃO DOS GANHOS SOLARES.....	23
3.1.1	Motivação	23
3.1.2	Descrição da alteração proposta	24
3.1.3	Método e modelos de cálculo	25
3.2	AUMENTO DA INÉRCIA TÉRMICA.....	26
3.2.1	Motivação	26
3.2.2	Descrição da alteração proposta	26
3.2.3	Método e modelos de cálculo	27
3.3	INTRODUÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL E NOCTURNA	28

3.3.1	Motivação	28
3.3.2	Descrição da alteração proposta	29
3.3.3	Método e modelos de cálculo	30
3.4	AUMENTO DA TEMPERATURA MÁXIMA DE CONDICIONAMENTO DO AR INTERIOR.....	34
3.4.1	Motivação	34
3.4.2	Descrição da alteração proposta	34
3.4.3	Método e modelos de calculo	34
3.5	RESUMO DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS - CASOS.....	36
4	RESULTADOS	38
4.1	PICO DA CARGAS TÉRMICAS.....	38
4.2	ANÁLISE PARA O DIA TÍPICO DE VERÃO	42
4.2.1	Conforto Térmico – Sala 010	42
4.2.2	Análise horária do Caso E – Sala 010	45
4.3	DESEMPENHO ANUAL.....	48
4.3.1	Consumo energético	48
4.3.2	Ventilação	50
5	CONCLUSÕES	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Escala de conforto térmico UTCI.....	35
Tabela 2: Modelos iterativos simulados, para obtenção do caso final recomendado.....	36
Tabela 3: Resumo do pico das cargas térmicas de arrefecimento em cada espaço para os diferentes casos.	39
Tabela 4: Período de ocorrência do pico da carga térmica por espaço nos casos Base e E.	41

Tabela 5: Comparação temperatura em cada Caso, na Sala 010.....	42
Tabela 6:UCTI, comparação Caso Base e Caso E	44
Tabela 7:Resumo, Comparação dos Casos.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Temperatura mínima e máxima - Loulé.....	12
Figura 2: Planta da cave (sem escala)	13
Figura 3: Planta do Rés de chão (sem escala).....	14
Figura 4:Perfil de ocupação diário	15
Figura 5:Perfil de uso - Equipamentos.....	16
Figura 6:Perfil de uso – Iluminação	16
Figura 7:Perfil de disponibilidade do sistema de arrefecimento	17
Figura 8: Temperaturas durante o dia típico de Verão – Sala 010.....	18
Figura 9: Fluxos de Calor para o dia típico de Verão – Caso Base	19
Figura 10: Potência térmica de arrefecimento- Caso Base	20
Figura 11: Diagrama Solar, para o dia 20 Julho, Altura e azimute solar mostrado às 07h.	23
Figura 12: Dia de meia estação. Edifício em modo de ventilação natural.....	32
Figura 13:Dia de verão, temperatura exterior maior que interior. Edifício em modo de ventilação mecânica.	33
Figura 14:Noite de Verão. Edifício em modo de ventilação nocturna.	33
Figura 15:Esquema de princípio da estratégia de optimização do projecto.....	37
Figura 16: Carga térmica de arrefecimento por espaço para cada caso	38
Figura 17: Soma do pico das cargas térmicas dos espaços para cada caso.	40
Figura 18:Comparação da Temperatura média dos espaços em cada Caso.	43
Figura 19: Fluxos de Calor para o dia típico de Verão – Caso E	45

Figura 20: Potência térmica de arrefecimento- Caso Base	46
Figura 21: Temperatura durante o dia típico de Verão – Caso E.....	47
Figura 22:Consumo de electricidade anual para arrefecimento ambiente.	49
Figura 23:Custo anual da energia eléctrica para arrefecimento ambiente, por metro quadrado de àrea climatizada.	49
Figura 24: Distribuição de tempo,+ de 80% dos espaços com condições para usar ventilação natural	50
Figura 25: Distribuição de tempo,100% dos espaços com condições para usar ventilação natural.....	51

1 INTRODUÇÃO

No actual contexto energético mundial e nacional, o aumento no preço de combústiveis apresenta-se como um desafio corrente na gestão financeira de muitas empresas. Em edifícios de serviços existe a necessidade de manter condições de conforto mas também a necessidade de manter custos de exploração energéticos baixos o que é inequivocamente difícil de otimizar para ambas simultâneamente. O sector da construção reconhece a necessidade de reduzir as necessidades energéticas nos edifícios, no entanto a rapidez de execução dos projectos e cultura comercial enraizada limita a colaboração das equipas técnicas de especialidades ao mínimo para o cumprimento da legislação aplicável. O potencial de criar um edifício mais resiliente e com menores custos de operação durante o seu ciclo de vida fica assim muitas vezes por realizar. Em alternativa usam-se equipamentos de climatização que tornam o edifício altamente dependentes para a manutenção das condições de conforto.

É neste contexto que surge este caso de estudo, um projecto típico em que a coordenação e cooperação entre as equipas de projecto acontece já tarde no desenrolar da sua execução em que a equipa projectista é requisitada essencialmente para verificar o cumprimento dos requisitos regulamentares e projectar o sistema de AVAC para a arquitectura já desenvolvida.

No entanto para o caso de estudo foi ainda dada a oportunidade de explorar e propôr alterações exequíveis com baixo impacto na arquitectura já projectada. O aumento e gestão de ganhos solares para aquecimento passivo estava à partida restringindo - impossibilidade de actuar na orientação do edifício e dimensão das aberturas - pelo que foram exploradas apenas soluções que pela sua natureza optimizam o desempenho do edifício essencialmente nas categorias de arrefecimento e ventilação.

1.1 METODOLOGIA

As permissas para execução deste estudo permitia a análise e implementação de medidas com impacto na arquitectura do edifício, no entanto havia o risco de inviabilizar detalhes do projecto já executados e discutidos com o cliente. Tendo isto em conta, as alterações propostas foram testadas seguindo um método evolutivo, de modo a reportar um caso mínimo viável e consequentes evoluções. A análise foi desenvolvida tendo como objectivo reportar o caso mais favorável com impacto na redução da capacidade térmica dos equipamentos de climatização, aumento do conforto térmico, diminuição no consumo de energia e maior resiliência na manutenção das condições de conforto.

A apresentação do estudo em formato evolutivo permite apresentar ao cliente e outras equipas de projecto o impacto das várias medidas necessárias para otimizar o projecto. Pode-se assim avaliar o impacto cumulativo de cada caso e investigar posteriormente e em pormenor a viabilidade de execução das alterações.

As alterações propostas foram exploradas com o objectivo final de otimizar o arrefecimento gratuito por ventilação natural. Por ordem de prioridades apresentam-se nos capítulos seguintes as alterações propostas:

- Redução de ganhos solares.
- Amortecimento dos picos da potência de arrefecimento, pelo aumento de inércia térmica.
- Introdução da ventilação natural.
- Aumento da temperatura de condicionamento do ar.

1.2 SOFTWARE

O desempenho do edifício foi avaliado através de um modelo de simulação dinâmica em Energy Plus. A geometria e introdução de dados foi efectuada em Design Builder, e através do editor de texto que acompanha o software de simulação utilizado - Energy Plus.

Para validar o impacto e benefícios das alterações propostas, foram criados vários

modelos de simulação. Como referência de comparação foi criado um modelo base que representa o edifício como projectado inicialmente. Com base neste foram aplicadas as características que definem as alterações propostas isoladamente ou combinadas por forma a validar a reciprocidade entre estas.

1.3 ESTRUTURA

A apresentação do estudo foi estruturada pela seguinte ordem:

- Apresentação e discussão do caso inicial.
- Apresentação das alterações propostas, a motivação, métodos e modelos de cálculo.
- Comparação e análise de resultados, de um dia típico de verão e do desempenho anual.
- Conclusão e reflexão sobre as medidas propostas e requisitos técnicos para a sua implementação.

2 CASO DE ESTUDO

2.1 APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

O caso de estudo aqui apresentado é referente ao projecto de um edifício de serviços para uso exclusivo como escritórios. Com uma área útil aproximada de 700 m² e climatizada de 407 m². A ocupação varia entre 25 (média) e 50 (máxima) ocupantes.

A localização definida para o edifício é o litoral algarvio no concelho de Loulé. A temperatura mínima exterior para a localização é de 4,8 °C para o dia 30 de Dezembro e a máxima de 36,3 °C para o dia 31 de Julho (referência ficheiro climático de Loulé, INETI).

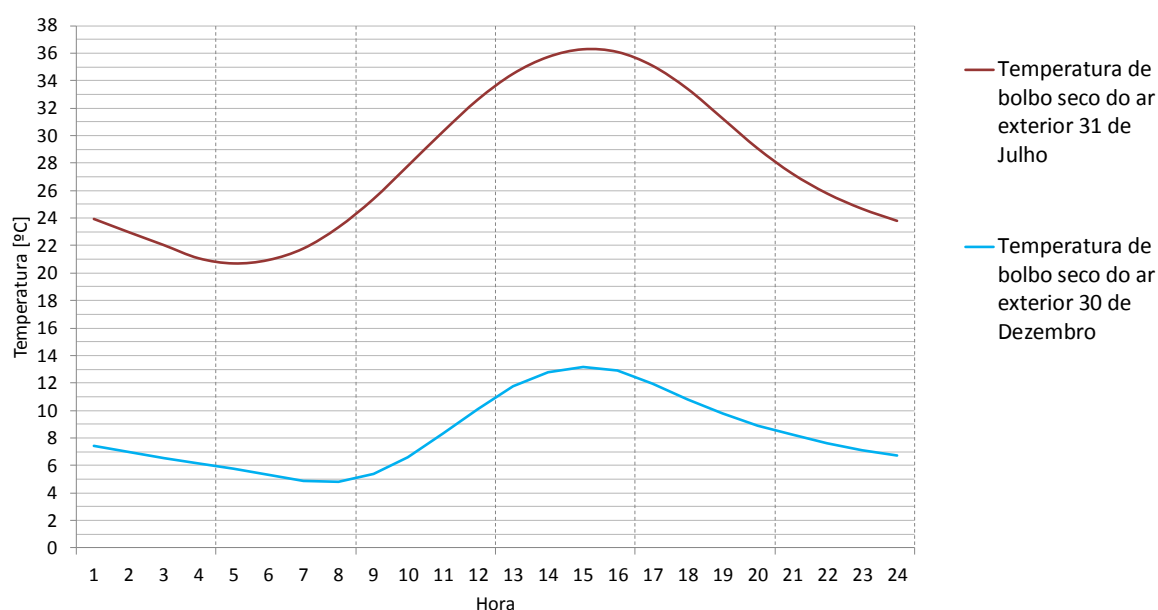


Figura 1: Temperatura mínima e máxima - Loulé

O projecto foi apresentado à equipa de engenharia já na fase de pormenores de arquitectura, estando a divisão dos espaços e muitos dos elementos da envolvente, tais como tipo de parede e envidraçados já definidos e apenas sujeitos ainda à verificação dos cumprimentos regulamentares.

2.1.1 Envolvente

O edifício é composto por cave e rés-de-chão. Na cave é composto por circulações duas salas de arrumos, e uma sala polivalente de arrumo/formação. No Rés-de-chão é composto por 7 gabinetes, 4 escritórios em “open-space”, 4 salas de reunião, instalações sanitárias, uma sala de pessoal, sala de computadores, circulações, recepção e sala de espera.

A zona da recepção e entrada para o edifício apresenta um duplo pé direito. Deste espaço acede-se às outras divisões pelo corredor central.

A orientação do edifício segue o desenvolvimento da estrada adjacente, com a fachada principal orientada a Este onde foram localizados a maioria dos gabinetes. Os espaços de apoio como copas e casas de banho apresentam a fachada para oeste.

A fachada Este apresenta uma pala de sombreamento horizontal com um efeito basicamente estético. A Oeste foram projectados alguns elementos verticais também com efeito estético e para a privacidade dos espaços.

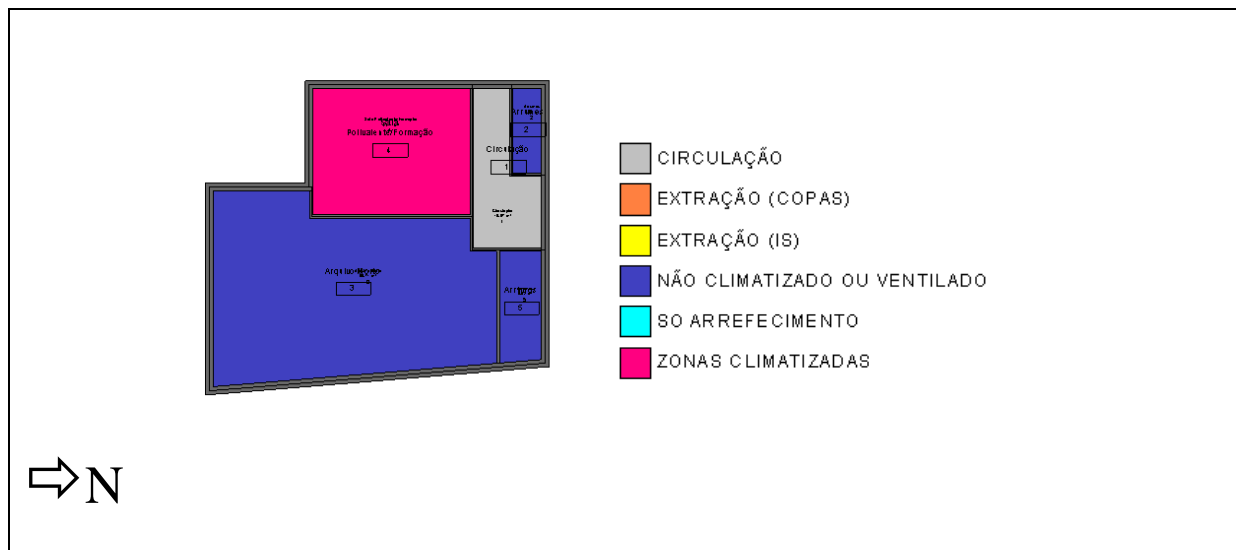


Figura 2: Planta da cave (sem escala)

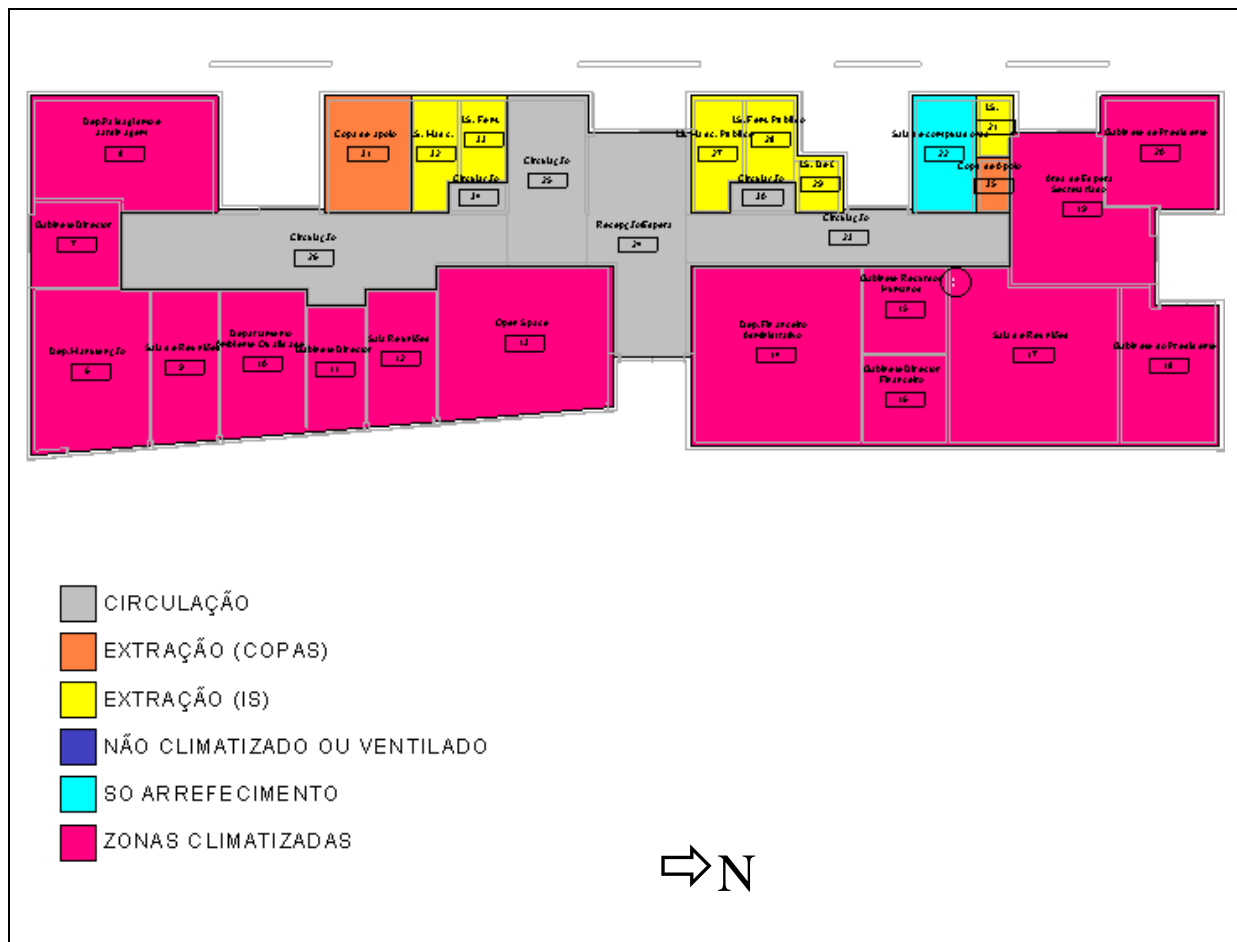


Figura 3: Planta do Rés de chão (sem escala)

As construções especificadas no projecto inicial são típicas para uma construção tradicional em alvenaria, em resumo as principais construções são:

- Parede dupla em alvenaria, com tijolo cerâmico de furação horizontal 15cm na face exterior e 11 cm na face interior, com isolamento entre panos em poliestireno expandido extrudido de 5 cm. Coeficiente de transmissão térmica global = $0.43 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Cobertura exterior do tipo invertida, laje de betão armado com 25 cm, camadas de regularização e isolamento em poliestireno expandido extrudido. Coeficiente de transmissão térmica global = $0.43 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Envidraçados, vidro duplo com pano exterior de 6mm, pano interior de 4mm e caixa de ar de 12mm. Coeficiente de transmissão térmica global = $2.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, Factor Solar = 0.73. Protecções solares em estore de rolo ligeiramente transparente.

O particionamento do edifício é feito essencialmente em parede de gesso cartonado com algumas excepções (casas de banho, ductos técnicos).

2.1.2 Uso e ganhos internos

Os ganhos internos para este tipo de edifício foram considerados tendo em conta os projectos de especialidades e os valores definidos no RSECE o qual descreve padrões típicos para escritórios:

- A ocupação do edifício é prevista com base no projecto de interiores, variando entre 0,1 ocupantes/m² para um gabinete particular, e aproximadamente 0,5 para uma sala de reuniões. A produção de energia que se traduz em ganhos internos sensíveis no edifício por pessoa para este tipo de actividade é considerada em média igual 75 W/pessoa.
- Equipamentos eléctricos: Ganho médio de 15 W/m².
- Iluminação: Ganho médio de 8 W/m².

Os ganhos internos acima descritos são valores máximos que variam ao longo do tempo com a ocupação e actividade do edifício. Os perfis de variação considerados são definidos abaixo, em percentagem do valor máximo.

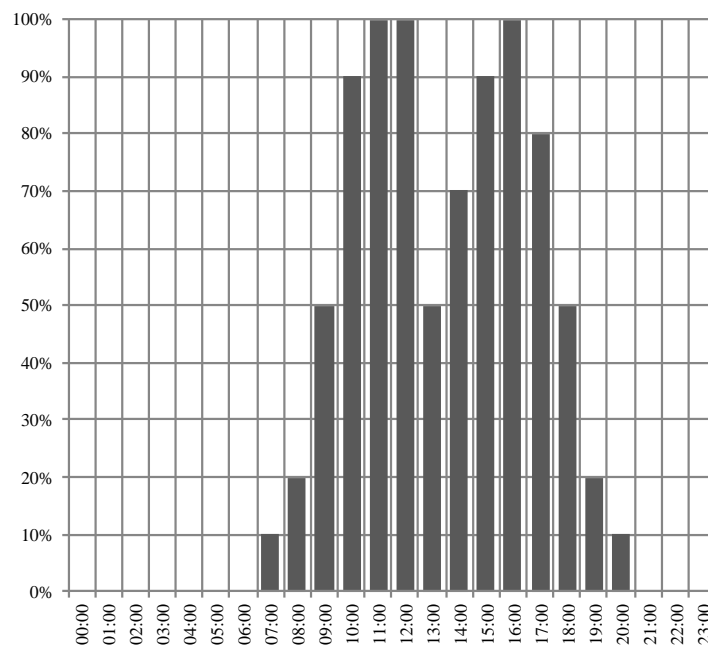


Figura 4: Perfil de ocupação diário

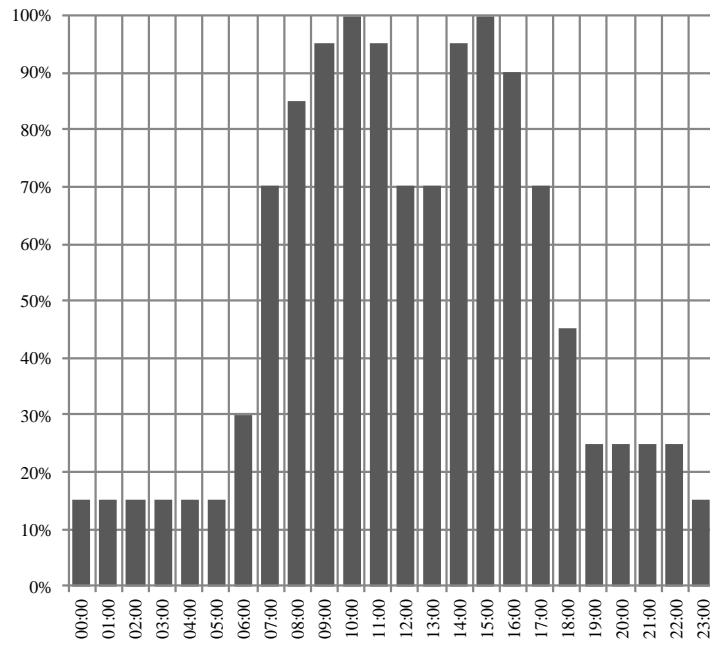


Figura 5: Perfil de uso - Equipamentos

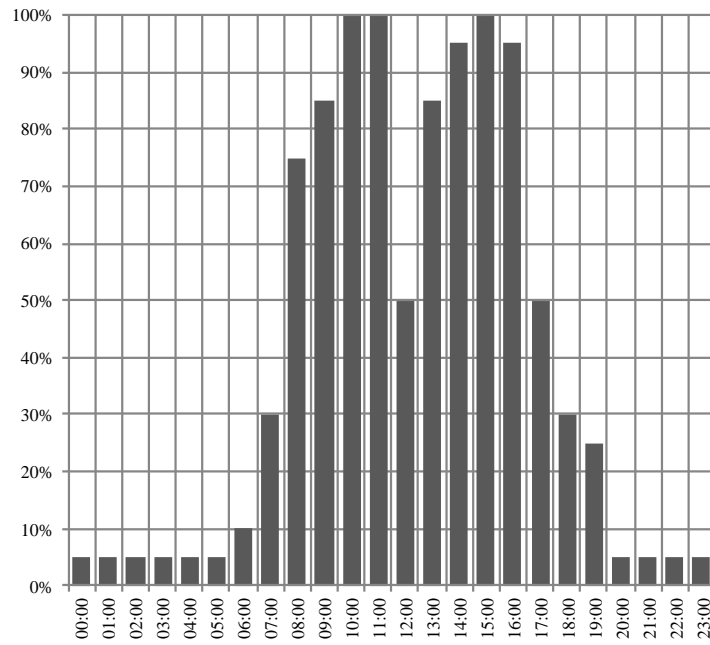


Figura 6: Perfil de uso – Iluminação

2.1.3 Climatização

Os sistema de climatização e ventilação não se encontram definidos aquando da submissão da arquitectura à equipa de projecto de Térmica e AVAC.

A temperatura interior para climatização dos espaços é de 24°C durante a estação de arrefecimento e de 21°C na estação de aquecimento.

A operação do sistema de climatização está condicionada pela disponibilidade programada para o mesmo. A Figura 7 mostra a disponibilidade considerada, sendo que um valor de 100% permite o funcionamento do sistema, e um valor de 0% proíbe o seu funcionamento.

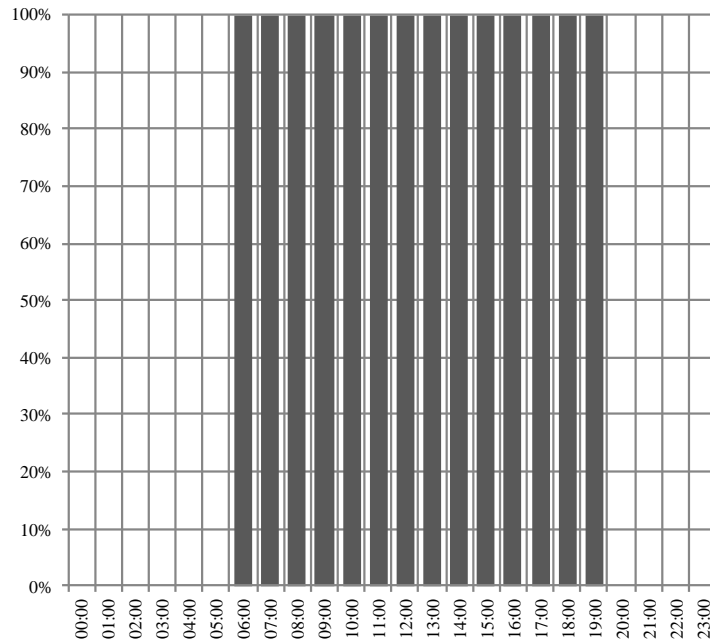


Figura 7: Perfil de disponibilidade do sistema de arrefecimento

2.2 DESEMPENHO DO EDIFÍCIO

Os parâmetros do edifício tal como projectado foram introduzidos num modelo de simulação. Adiante este modelo e resultados são também apresentados como o Caso Base. É com base neste que se fundamentam quaisquer alterações propostas por comparação do consumo energético, conforto, capacidade do sistema de arrefecimento ambiente e custos de exploração.

Os dados apresentados foram seleccionados pela relevância que têm neste estudo para a redução dos ganhos de calor sensíveis, pelo que as condições higrométricas dos espaços e cargas latentes no sistema são omitidas da análise.

Para o caso inicial e conseqüentes propostas de alteração apresentam-se os resultados da análise para um dia típico de Verão, tendo sido arbitrado o dia 20 de Julho, em que a temperatura de bolbo seco máxima é de 31,5 °C às 15:00. Na Figura 8 pode-se observar a variação da temperatura do ar exterior para este dia.

2.2.1 Análise horária do caso Base

Para brevidade apresenta-se apenas a análise à Sala 010, sendo este espaço considerado representativo dos espaços existentes climatizados.

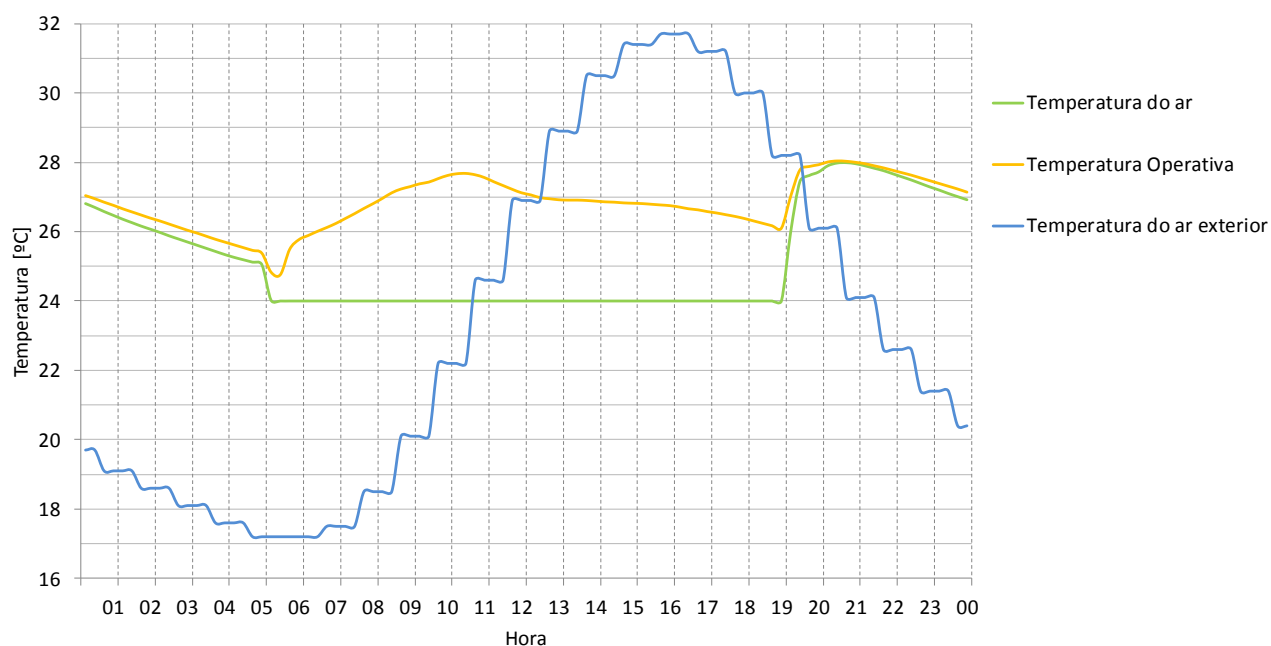


Figura 8: Temperaturas durante o dia típico de Verão – Sala 010

Durante o período de ocupação a temperatura do ar é controlada e mantida a 24°C pelo sistema de climatização. Estando o sistema de climatização disponível a partir das 5h, este entra em funcionamento imediatamente, pois a temperatura do espaço é bastante alta durante a noite.

Apesar da temperatura do ar permanecer controlada durante o período de ocupação, verifica-se que a temperatura operativa - média da temperatura do ar e temperatura- mantém-se acima dos 27°C, sendo esta uma representação mais realista da temperatura sentida pelos ocupantes. Tal facto deve-se essencialmente à radiação incidente durante a manhã e consequente aquecimento da envolvente interior onde são acumulados parte destes ganhos.

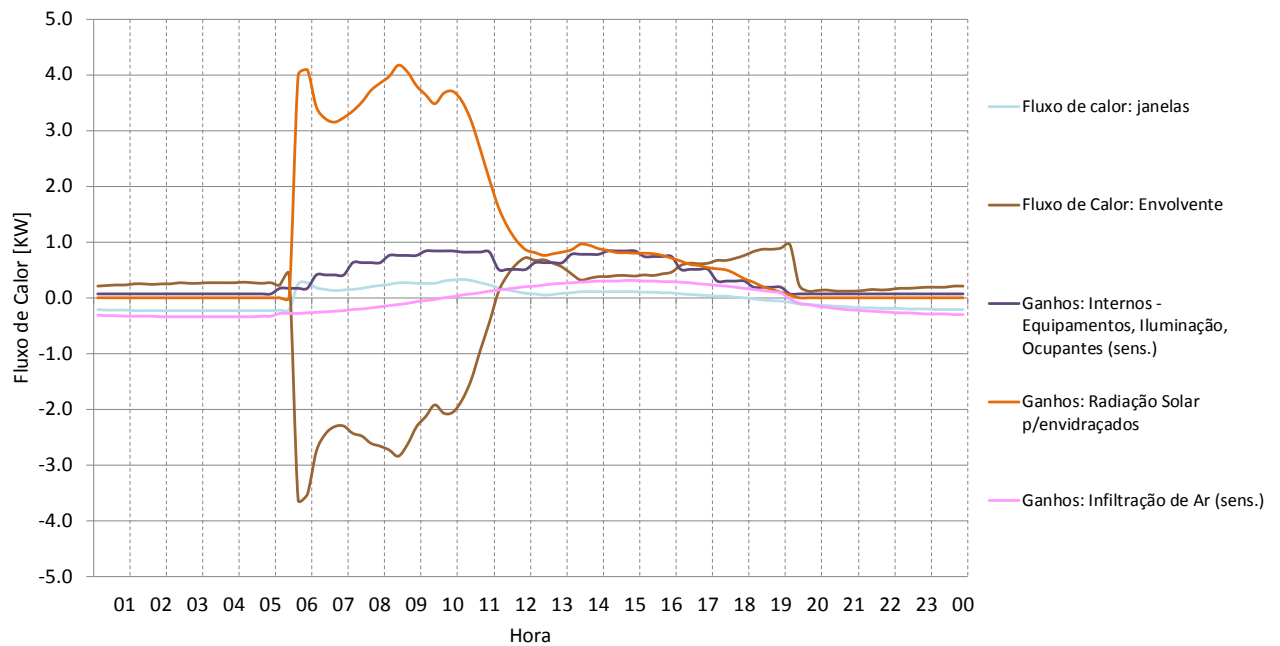


Figura 9: Fluxos de Calor para o dia típico de Verão – Caso Base

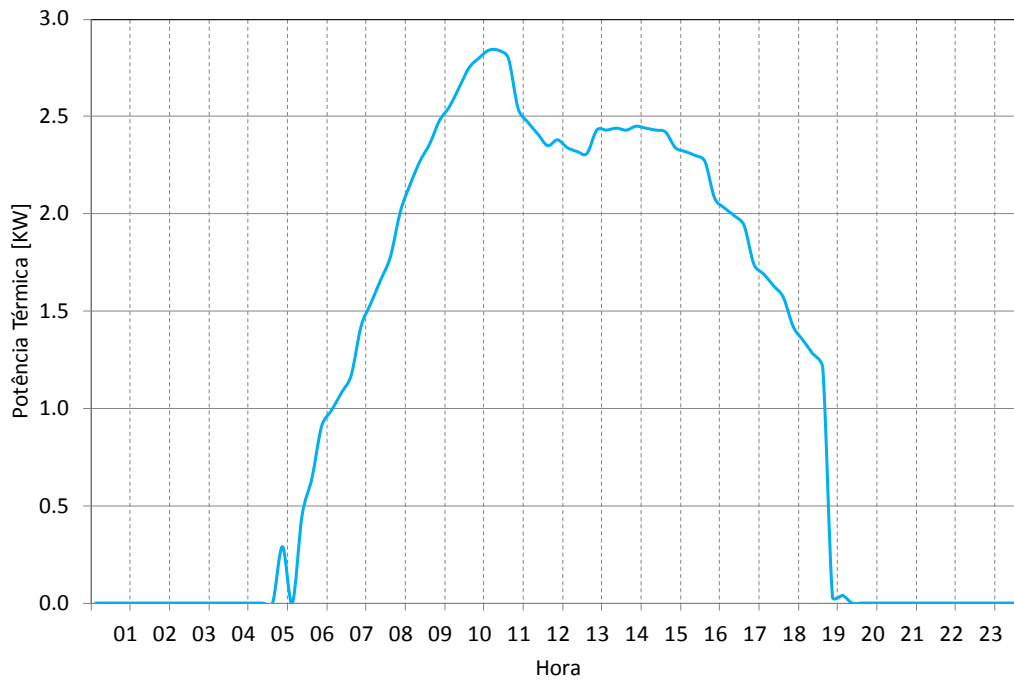


Figura 10: Potência térmica de arrefecimento- Caso Base

Da análise do gráfico dos fluxos de calor (Figura 9) para a Sala 010, constata-se elevados ganhos solares durante a manhã, típico para uma fachada Este. Estes ganhos são relativamente altos só diminuindo significativamente após as 11h, quando o sol ultrapassa o azimute sul ficando a fachada naturalmente sombreada. A envolvente absorve grande parte dos ganhos solares, reflectindo-se assim na análise como um fluxo negativo, no entanto a sua capacidade de absorção esgota-se rapidamente devido aos fortes ganhos e de facto a climatização mecânica (Figura 10) entra em funcionamento ainda antes dos ganhos internos constituírem uma carga significativa. Após as 11h quando os ganhos solares directos cessam, a envolvente começa a libertar parte dos ganhos acumulados, que serão removidos pelo sistema de arrefecimento.

2.2.2 Consumo energético

O consumo de energia pelos sistemas de climatização e ventilação não pode ser calculado com exactidão uma vez que estes ainda não foram projectados. No entanto para referência e comparação do impacto de medidas a aplicar ao edifício apresenta-se uma estimativa onde se assumem valores típicos tendo em conta as características conhecidas do caso Base e condições de operação esperadas.

Usando um modelo de simulação simplificado em Energy Plus, em que se garante a remoção da carga térmica através do arrefecimento do ar do espaço, a componente de carga sensível e os consumos anuais foram calculados. O consumo de energia necessário para arrefecer¹ o ar dos espaços a uma temperatura de conforto deverá ser de aproximadamente 45 KWh.ano/m², para uma eficiência sazonal de 3 na conversão de energia eléctrica em térmica.

O consumo de energia para ventilação poderá variar bastante em função dos componentes do sistema. Assumindo-se os seguintes parâmetros, é efectuada uma estimativa rudimentar:

- SFP_E Classe 4², (Specific Fan Power) igual a 2000 Ws/m³ (típico de um sistema com unidade de tratamento de ar sem recuperação de calor).
- 3132 horas de funcionamento anuais, assumindo a operação do sistema com a ocupação do edifício.

O consumo da energia anual de ventilação para a área climatizada deverá ser aproximadamente 7,6 KWh/m².

¹ A componente de arrefecimento latente não foi estimada nesta fase.

² EN 13779 especifica, “Specific Fan Power” (SFP) como uma medida de consumo de energia eléctrica para o transporte de ar. SFP é determinado como o consumo de energia eléctrica por todos os ventiladores no sistema de ventilação, dividido pelo maior volume de ar veiculado no edifício sob condições nominais, em W.m/3s.

3 OPORTUNIDADES DE MELHORIA

A motivação para as soluções estudadas e propostas para o caso de estudo foram identificadas com base no desempenho do caso inicial e características observadas, nomeadamente:

- Ganhos solares elevados durante a manhã.
- Pico da carga de arrefecimento devido aos ganhos solares directos matinais.
- Edifício com ocupação exclusivamente diurna.
- Pé direito duplo na zona da recepção, favorável à exploração do efeito de estratificação térmica.

Os capítulos seguintes descrevem com detalhe as oportunidades exploradas com vista ao alcance de um projecto de arquitectura mais sustentável e desejável energética e confortavelmente.

3.1 REDUÇÃO DOS GANHOS SOLARES

3.1.1 Motivação

Na análise dos ganhos solares anuais do edifício, teve-se em maior atenção a fachada principal do edifício por ser a envolvente envidraçada da maioria dos espaços climatizados.

A fachada pelo facto de estar orientada a Este, está sujeita ao pico da radiação nas primeiras horas da manhã quando o sol ainda está baixo. Durante a estação de arrefecimento este pico verifica-se ainda antes do período de ocupação, como pôde ser observado na Figura 9, página 19.

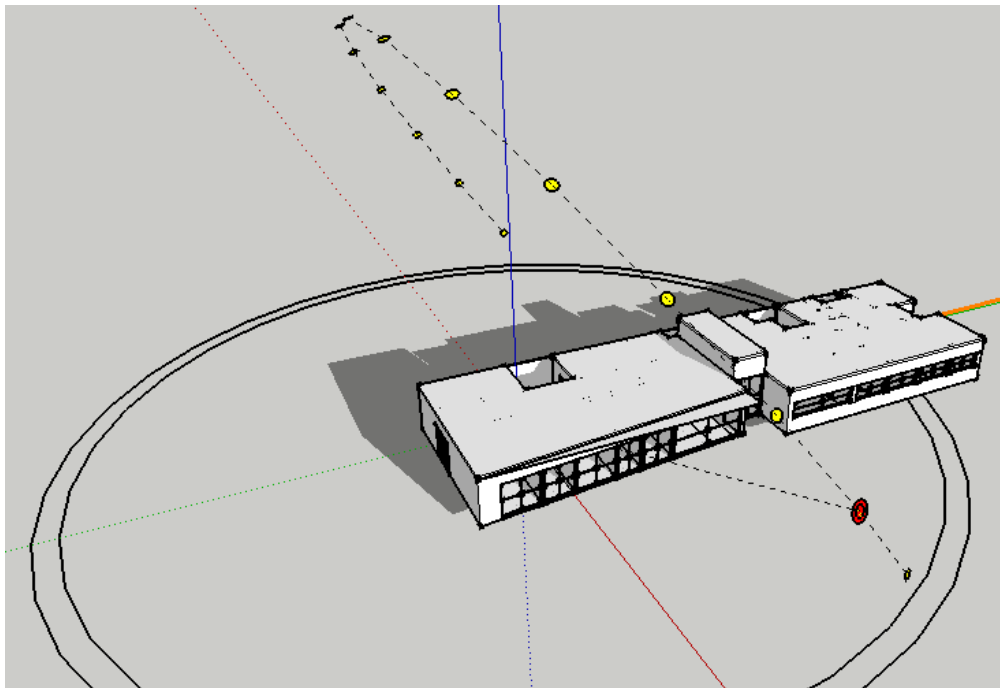


Figura 11: Diagrama Solar, para o dia 20 Julho, Altura e azimute solar mostrado às 07h.

A Figura 11 apresenta um diagrama solar 3D para o dia típico de verão, onde se pode antever a incidência solar directa durante as primeiras horas da manhã. O ponto a vermelho representa a posição teórica solar que causa a radiação directa incidente na fachada – representada na linha a tracejado.

Dada a baixa altitude solar durante o período da manhã o sombreamento das janelas por elementos da construção (pala horizontais e verticais exteriores) não tem efeito significativo

na redução dos ganhos solares que se verificam maioritariamente pelos envidraçados. Apesar de se perspectivar o uso de protecções interiores, essenciais e eficazes na redução do encadeamento e luminosidade, estas não bloqueiam a entrada de radiação que mesmo assim traduzirá no aumento da carga térmica do espaço.

3.1.2 Descrição da alteração proposta

O controlo dos ganhos solares através de elementos de sombreamento verticais exteriores aparenta assim ser uma solução capaz de reduzir os ganhos solares matinais. Visto que a construção de quaisquer elementos que bloqueassem com eficácia a radiação iria também obstruir a vista dos ocupantes para o exterior, esta opção foi rapidamente dispensada. O uso de vidro com baixo solar foi também dispensado pois uma análise intermédia não demonstrou melhoria significativa. Assim a escolha recaiu sobre o uso de estores ou portadas exteriores pois este tipo de dispositivos pode bloquear por completo qualquer ganho de radiação directa que se daria através dos envidraçados nas fachadas Sul e Este.

Na operação dos dispositivos de sombreamento exteriores, existe o risco de a partir do período de ocupação os ocupantes os desactivarem por desejo de controlar a admissão de luz natural ou vistas para o exterior, consequentemente passarão a haver ganhos solares directos no entanto a partir das 9h, a altitude solar é já maior e a carga térmica por radiação será bastante inferior à radiação directa que se quis evitar durante o nascer do dia.

A alteração a validar no caso de estudo foi então definida como:

- Instalação de estores de lâminas exteriores com reflexão média em todas as janelas dos gabinetes, nas fachadas SUL e ESTE.

Idealmente estes estores serão controlados mecânicamente por autómato programável, que memoriza e calcula as condições em que os estores de protecção solar devem ser activados.

É também durante as últimas horas da madrugada (nascer do dia) que se verificam as temperaturas exteriores mais baixas, sendo que a limitação deste ganhos permitirá à ventilação natural continuar a remover parte dos ganhos acumulados do dia anterior, adiando assim a capacidade de amortização dos ganhos pela massa térmica da envolvente - desenvolvido adiante.

O sombreamento através de dispositivos interiores continua a ser aconselhável, no entanto

este tipo de solução permitirá ainda assim a subida da temperatura dos espaços muito rapidamente durante a manhã.

3.1.3 Método e modelos de cálculo

O controlo dos ganhos solares pelos estores exteriores é feito automaticamente sempre que a radiação incidente é superior a 120W/m^2 . Deste modo é garantido no modelo de simulação que os ganhos solares matinais são controlados, a tendência natural dos ocupantes controlarem o ofuscamento deverá surtir o mesmo efeito, no entanto os mesmos deverão também actuar o sombreamento no final do dia anterior para que o pico dos ganhos solares matinais - início do período de ocupação - sejam evitados.

3.2 AUMENTO DA INÉRCIA TÉRMICA

3.2.1 Motivação

O edifício do caso de estudo apresenta a estabilidade e lajes projectadas em betão armado, no entanto tal não se traduz numa construção pesada do ponto de vista térmico. Os acabamentos interiores da envolvente como o tecto falso, carpetes, e divisórias em gesso cartonado isolam os elementos pesados do contacto com o ambiente interior, limitando o inércia térmica e os seus benefícios.

Uma selecção cuidada dos materiais a usar e uma exposição planeada ao ambiente interior das construções pesadas permitirá aumentar a sua interação com o ambiente interior do edifício, com os seguintes benefícios:

- Estabilização da temperatura interior, com impacto no conforto térmico.
- Amortecimento e redução dos picos de carga térmica, e consequentemente da capacidade térmica dos sistemas de arrefecimento.
- Aumentar o potencial de arrefecimento passivo.
- Diminuir a necessidade de arrefecimento e aquecimento simultâneos nos periodos de meia estação.

3.2.2 Descrição da alteração proposta

A alteração proposta consiste em alterar o tipo de construção das divisórias interiores leves projectadas em parede de gesso cartonado, por uma construção “pesada” do tipo betão, blocos de adobe ou similares. Idealmente estas paredes não deverão ser cobertas com materiais que diminuam a admitância térmica do conjunto.

Sob pena de condicionar o re-particionamento futuro do edifício, admite-se que apenas as paredes entre os espaços e o corredor central recorrem a materiais de construção “pesada”. Em consideração ao impacto no projecto de execução, não foram consideradas outras medidas com vista ao aumento da inércia térmica.

A alteração proposta e simulada para o caso de estudo apresenta-se assim:

- Construção das paredes interiores de separação entre os gabinetes e o corredor central em betão, com uma espessura média de 25cm, com face exposta.

A capacidade da ventilação noturna - por meios mecânicos ou naturais – para remover os ganhos térmicos diurnos é potenciada pela massa térmica existente. A inclusão de materiais densos com uma condutibilidade térmica moderada na construção permitem absorver energia térmica, sendo esta re-radiada mais tarde quando se verificam condições para inverter o fluxo de calor.

3.2.3 Método e modelos de cálculo

A avaliação da inércia térmica de um material e da sua influência no edifício requer a resolução de equações de calor transientes que têm em conta diferentes amplitudes térmicas e ganhos de calor dinâmicos. Este é um processo complexo onde é preciso contabilizar os fluxos energéticos ao longo do tempo, o software Energy Plus onde são criados os modelos tem em conta as características dos materiais e implementa um modelo de cálculo para a transferência de calor e balanço térmico das superfícies baseado na resolução de equações de transferência de calor. Assim nenhum método especial para além da definição correcta dos materiais é necessário, para caracterizar e simular o uso de materiais com maior inércia térmica.

3.3 INTRODUÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL E NOCTURNA

3.3.1 Motivação

O caso de estudo foi inicialmente projectado como um edifício totalmente climatizado e dependente do sistema de ventilação mecânica para garantir as condições de conforto térmico e renovação de ar. No entanto o clima local apresenta durante parte do ano temperaturas exteriores confortáveis e também condições favoráveis ao arrefecimento passivo através de ventilação natural.

A utilização do edifício como escritórios, onde se verifica apenas ocupação diurna não requer a manutenção de condições de conforto durante a noite, uma vez que o edifício se encontra desocupado. A utilização de materiais com massa térmica e um atraso térmico significativo é ideal para explorar o efeito de arrefecimento passivo por ventilação nocturna.

A aplicação de um sistema de ventilação natural eficaz combinado com o arrefecimento passivo permitirá poupar energia a redução da capacidade dos sistemas de climatização:

- Oportunidade de poupança de energia no sistema de ventilação mecânica.
- Oportunidade de poupança de energia no sistema de arrefecimento.
- Diminuição da potência térmica dos equipamentos terminais de climatização, e consequentemente do preço do sistema.

As forças motrizes capazes de provocar o ingresso natural de ar num edifício são o vento e o efeito chaminé ou tiragem térmica causados pela diferença de temperaturas e pressões que ocorrem entre o exterior e interior do espaço.

Observou-se que a arquitectura do edifício tem potencial de ser adaptada por forma a promover a ventilação natural. Da disposição dos espaços para um corredor central único, e a cota do piso da recepção antevê-se um escoamento com admissão de ar ao nível inferior nos gabinetes e extracção no corredor ao nível superior da laje da recepção.

3.3.2 Descrição da alteração proposta

A ventilação natural considerada admite a possibilidade de ventilar o edifício pelo meio da abertura de janelas e/ou dispositivos de admissão de ar quer durante o dia, quer durante a noite.

Para esta solução perspectivam-se dois cenários de utilização:

1. Durante o pico da estação de arrefecimento a ventilação natural será vantajosa no contexto de ventilação nocturna como meio de remover os ganhos acumulados pela massa térmica do edifício. Durante o período de ocupação verificar-se-ão ocasiões em que a temperatura exterior é superior à temperatura interior – devido à operação do sistema de AVAC - sendo neste caso não aconselhável a ventilação natural dos espaços.
2. Nos períodos menos severos que antecedem e precedem a estação de arrefecimento, o edifício pode beneficiar do arejamento natural durante o dia, permitindo-se assim desligar o sistema de ventilação mecânica (assumindo-se a qualidade do ar exterior dentro de parâmetros mínimos).

O uso eficaz da ventilação natural pelo efeito de tiragem térmica requer a criação de um “circuito de ar” inexistente na arquitectura inicialmente projectada, no entanto é possível adaptar algumas características já existentes para este fim. As alterações à arquitectura por forma a criar as condições que favorecem a ventilação natural foram assim identificadas:

- Construção de uma clarabóia sobre toda a extensão do corredor central. (Uma área efectiva de abertura mínima próxima de 11.5 m² foi identificada como desejável). A existência de aberturas a uma cota superior às janelas dos gabinetes permite a ventilação natural por tiragem térmica, sem depender do vento para forçar a entrada/saída do ar pelas aberturas.
- Grelhas de admissão de ar exterior, ou dispositivos de admissão de ar. Preferencialmente estas aberturas são instaladas ao nível mais baixo possível da fachada. (Uma área efectiva de 7% da área total da janela foi identificado como desejável).
- Instalação de aberturas sob as portas interiores dos gabinetes. Uma área efectiva de abertura próxima de 0.32 m² mostrou produzir bons resultados.

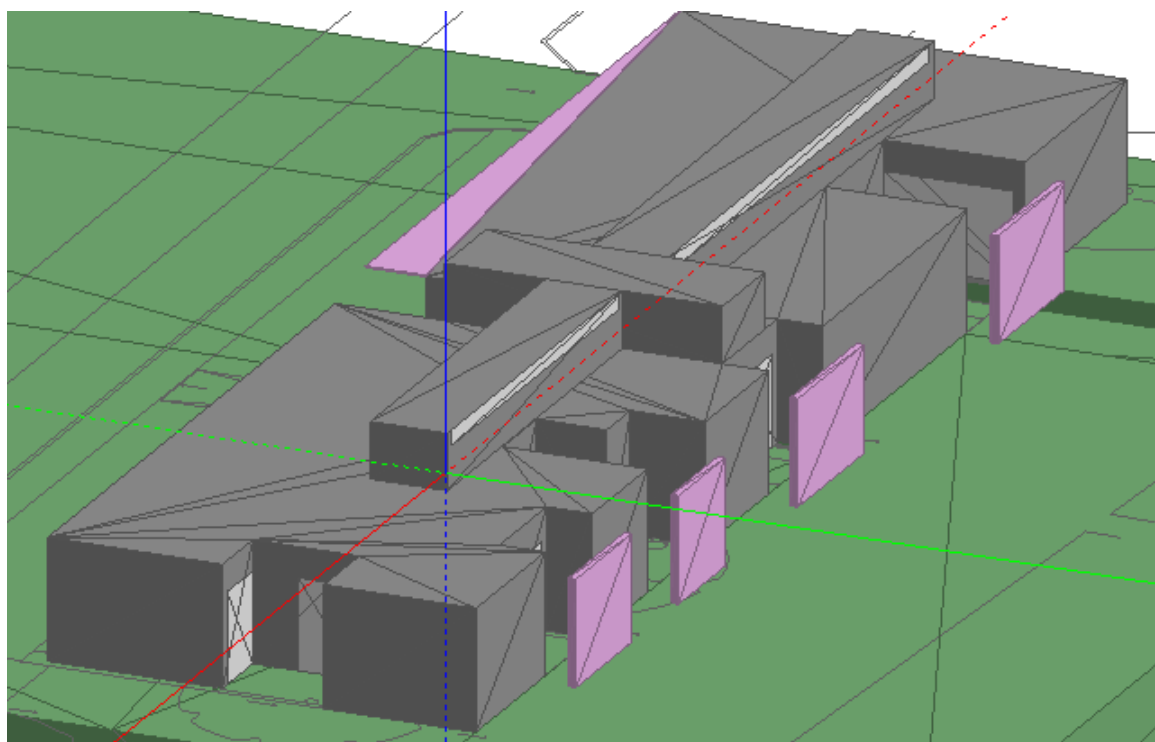


Figure 1: Visualização do modelo 3D adaptado do caso base para simular o benefício da ventilação natural.

3.3.3 Método e modelos de cálculo

3.3.3.1 Modelo de cálculo

O modelo de cálculo implementado no software de simulação Energy Plus, é um modelo nodal. Este modelo caracteriza as zonas e as fachadas exteriores para as quais têm aberturas por um nó (ponto espacial). A ligação entre os nós é dada por forma a completar a rede nodal. A pressão nos nós exteriores é dada pela pressão atmosférica e pela pressão causada pelo efeito do vento que incide na fachada, sendo estes parâmetros inicialmente conhecidos. A pressão nos nós interiores é calculada iterativamente pelo programa através das equações de equilíbrio de massa entre nós.

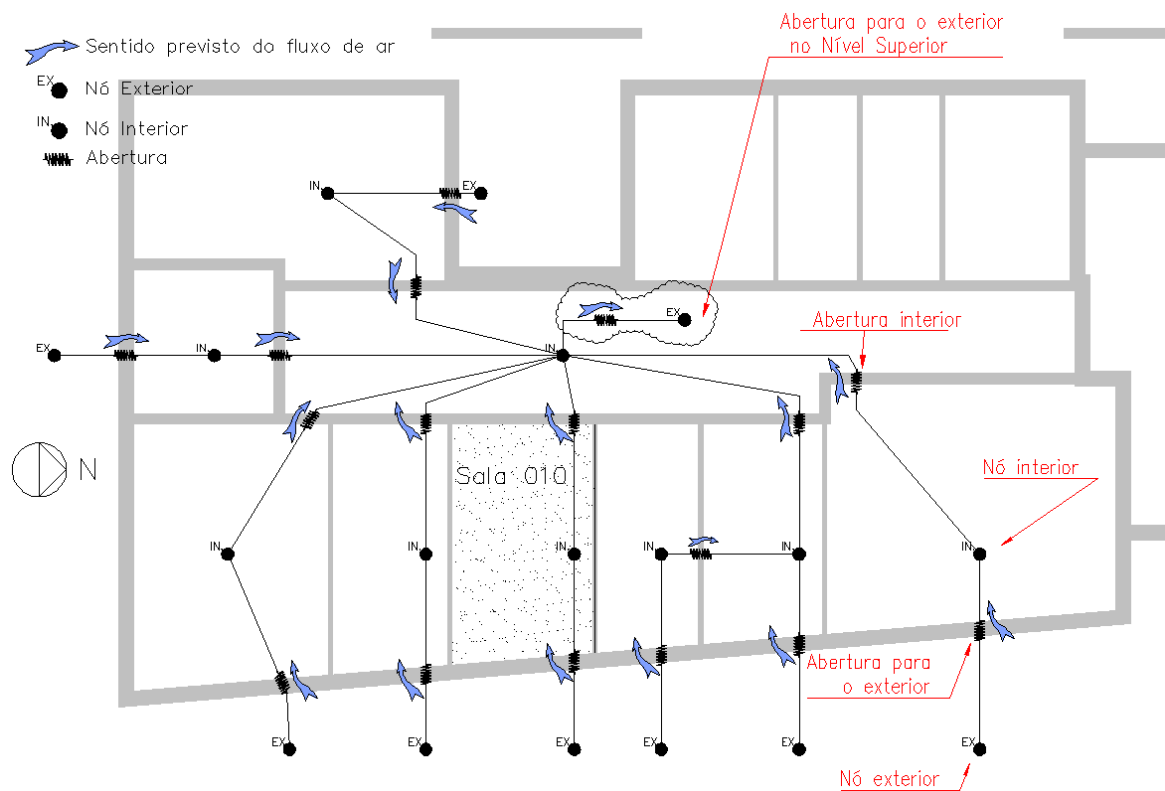


Figure 2: Diagrama esquemático da rede nodal no modelo de simulação. Exemplo para a ala sul do caso de estudo.

Os parâmetros de entrada para este tipo de modelo são essencialmente a descrição das aberturas para o exterior, descrição das aberturas entre zonas e os coeficientes de pressão previstos para a fachada onde se encontra a abertura exterior.

A descrição das aberturas no modelo de simulação requer a introdução dos coeficientes de descarga, área da abertura, e a cota média da mesma.

Os nós exteriores requerem os coeficientes de pressão exercidos pelo vento na fachada para diferentes orientações. No entanto, para o caso de estudo o vento não é considerado força motriz para ventilar o edifício, pelo que estes parâmetros não são necessários.

3.3.3.2 Controlo

Para o caso de estudo interessa definir os períodos de tempo em que a ventilação natural deverá ocorrer. Visto que uma das principais motivações para promover a ventilação natural é a remoção das cargas térmicas de arrefecimento, a operação das aberturas/janelas exteriores é definida pela temperatura de climatização e conforto que se deseja obter no espaço. Assim,

assumiu-se as seguintes condições iniciais para que se dê a abertura das janelas:

- Temperatura do ar do espaço é superior a 21 °C durante o período de ocupação ou superior a 17°C durante a noite (não ocupado).
- Temperatura do ar exterior é inferior à temperatura do ar do espaço.
- As portas dos gabinetes e/ou as aberturas acima destas estão abertas durante a noite.

Por forma a remover o máximo de calor acumulado na massa térmica é permitido o abaixamento da temperatura dos espaço para níveis abaixo de condições de conforto. Pois quanto mais baixa for a temperatura da envolvente interior maior será o potencial de absorção de calor no dia seguinte, e por conseguinte menor o pico da carga térmica.

As figuras seguintes representam o edifício em secção para os vários modos de operação da ventilação natural como forma de arrefecer e ventilar os espaços.

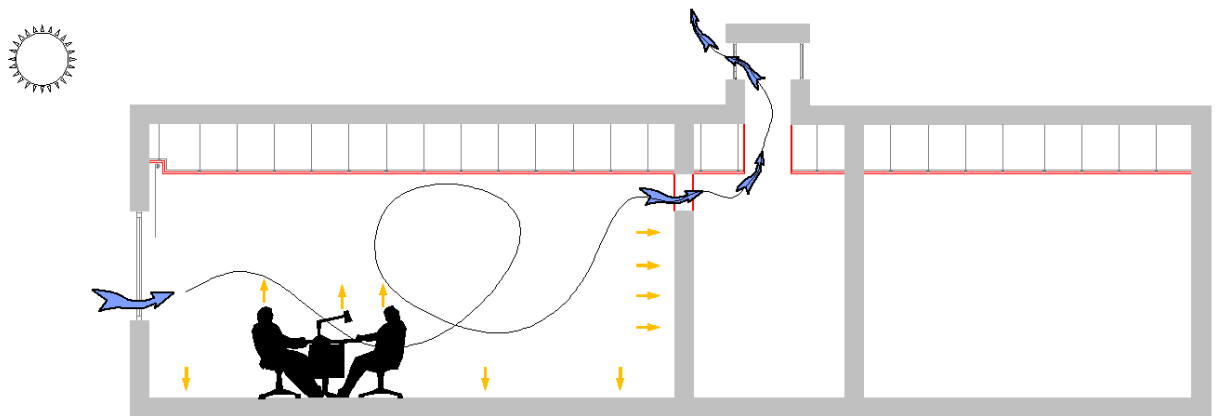


Figura 12: Dia de meia estação. Edifício em modo de ventilação natural.

Durante as meias estações ou início do Verão, deverá ser possível o uso de ventilação natural durante o dia. Sempre que o valor da temperatura exterior se encontre dentro de um intervalo de conforto as janelas podem ser abertas para ventilar os espaços.

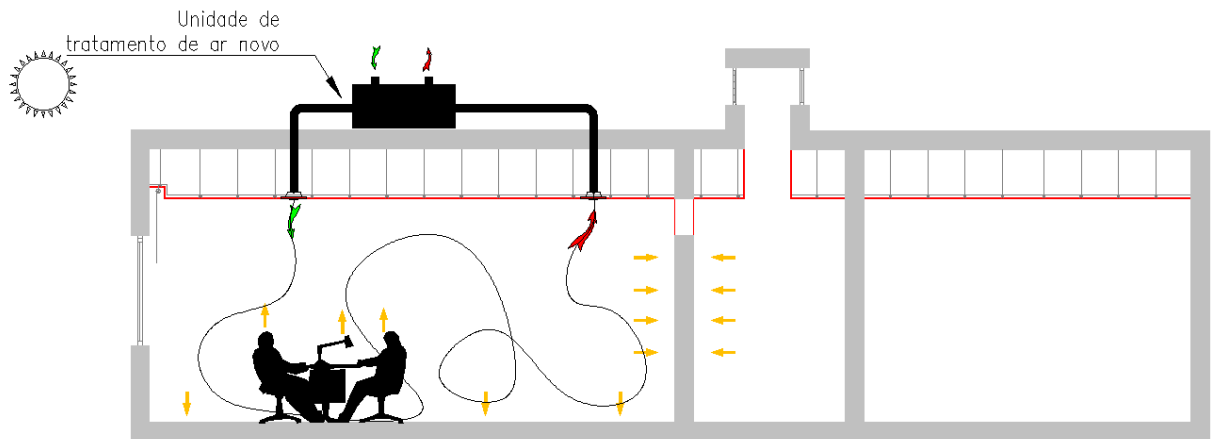


Figura 13: Dia de verão, temperatura exterior maior que interior. Edifício em modo de ventilação mecânica.

Durante um dia típico de Verão, Figura 13, a ventilação diurna não é recomendada devido à temperatura do ar exterior ser superior à interior. Neste caso, o sistema de ventilação mecânica é activado por forma a garantir as necessidades de ar novo dos espaços.

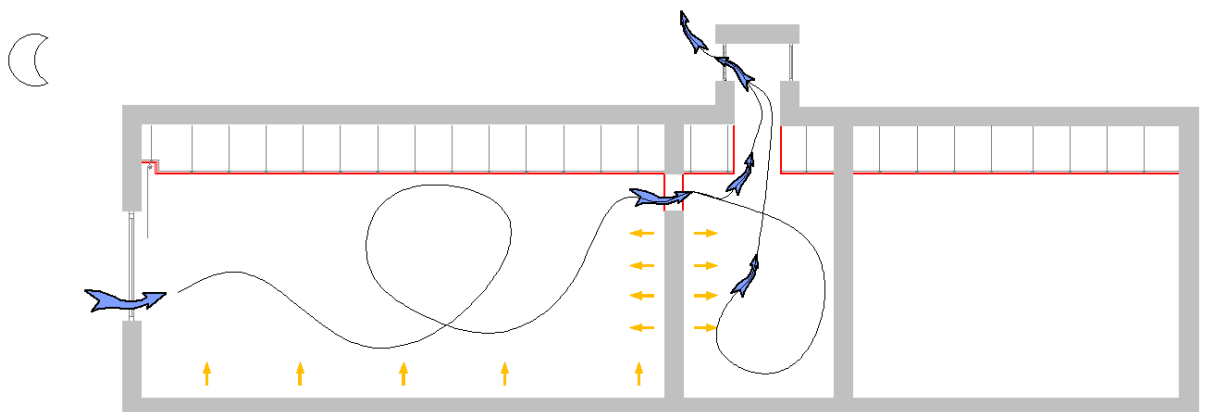


Figura 14: Noite de Verão. Edifício em modo de ventilação noturna.

A Figura 14 representa o modo de ventilação noturna. A inexistência de ocupação durante este período permite a abertura de janelas sempre que a temperatura exterior seja inferior à temperatura do ar interior. O arejamento do espaço com ar a uma temperatura inferior permite aos materiais da envolvente descarregar a energia acumulada durante o dia o que irá repor o potencial de absorção de calor.

3.4 AUMENTO DA TEMPERATURA MÁXIMA DE CONDICIONAMENTO DO AR INTERIOR

3.4.1 Motivação

A motivação para aumento da temperatura de climatização do ar interior, advém da análise dos cálculos efectuados para o caso de estudo. Foi verificado que as alterações propostas para o edifício baixariam também a temperatura radiante nos espaços, assim e por comparação com o caso inicial o conforto dos ocupantes pode ser mantido mesmo para uma temperatura de condicionamento do ar superior.

3.4.2 Descrição da alteração proposta

A temperatura de condicionamento do ar definida em projecto inicialmente para o valor de 24°C deverá ser relaxada até ao máximo de 25°C. Este aumento na temperatura do ar interior reduz consideravelmente a energia dispendida para arrefecimento do edifício.

O aumento da temperatura de condicionamento do ar potencia também o desempenho da estratégia criada para a acumulação de ganhos na massa térmica dos materiais e a ventilação nocturna por estratificação térmica que depende fortemente do diferencial de temperaturas.

3.4.3 Método e modelos de cálculo

O teste da medida proposta não requer a definição de qualquer método de simulação no modelo, além da definição da temperatura de condicionamento do ar para 25°C em vez de 24°C durante o período de ocupação. Assim o software de simulação irá efectuar o cálculo tornando disponível o sistema de arrefecimento apenas quando a temperatura do ar ultrapassa os 25°C.

A avaliação das condições de conforto são efectuadas com recurso ao método de cálculo UCTI previamente implementado em folha de cálculo. Este método permitiu avaliar rapidamente o conforto dos ocupantes usando os dados de saída já disponíveis das várias simulações de cada caso.

A metodologia UCTI – Universal thermal comfort index - relativamente recente permite classificar o conforto por comparação com condições conhecidas da metodologia, e classificar o stress térmico sentido. Este modelo, admite as variáveis de temperatura radiante, temperatura do ar, e humidade considerando também a adaptabilidade dos ocupantes ao ambiente que os rodeia vestindo ou despindo peças de vestuário.

Para cada caso o índice UCTI é calculado, permitindo classificar qual o caso que oferece melhores condições de conforto.

Tabela 1: Escala de conforto térmico UCTI

Intervalos UCTI (°C)	Categoria Stress Térmico³
Acima de +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
Abaixo de -40	extreme cold stress

³ Termos na língua inglesa, introduzidos pelos criadores da metodologia

3.5 RESUMO DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS - CASOS

As alterações propostas foram simuladas em vários modelos, que evoluem para a combinação de medidas que alcança o caso final mais favorável e recomendado. A Tabela 2 apresenta um resumos das combinações escolhidas, onde cada combinação e modelo é definida como um Caso.

Tabela 2: Modelos iterativos simulados, para obtenção do caso final recomendado

Caso	Ventilação Natural - VN	Dispositivos Móveis de Sombreamento - SMB	Aumento da inércia térmica nas paredes interiores do corredor – IT	Aumento da temperatura máxima de climatização do espaço para 25°C – T25
Caso Base				
Caso A IT			✓	
Caso B IT-VN	✓		✓	
Caso C IT-SMB	✓	✓		
Caso D IT-VN-SMB	✓	✓	✓	
Caso E IT-VN-SMB-T25	✓	✓	✓	✓

A Figura 15 representa esquematicamente as alterações simuladas. Para o Caso E, todas características resumidas no diagrama são aplicadas.

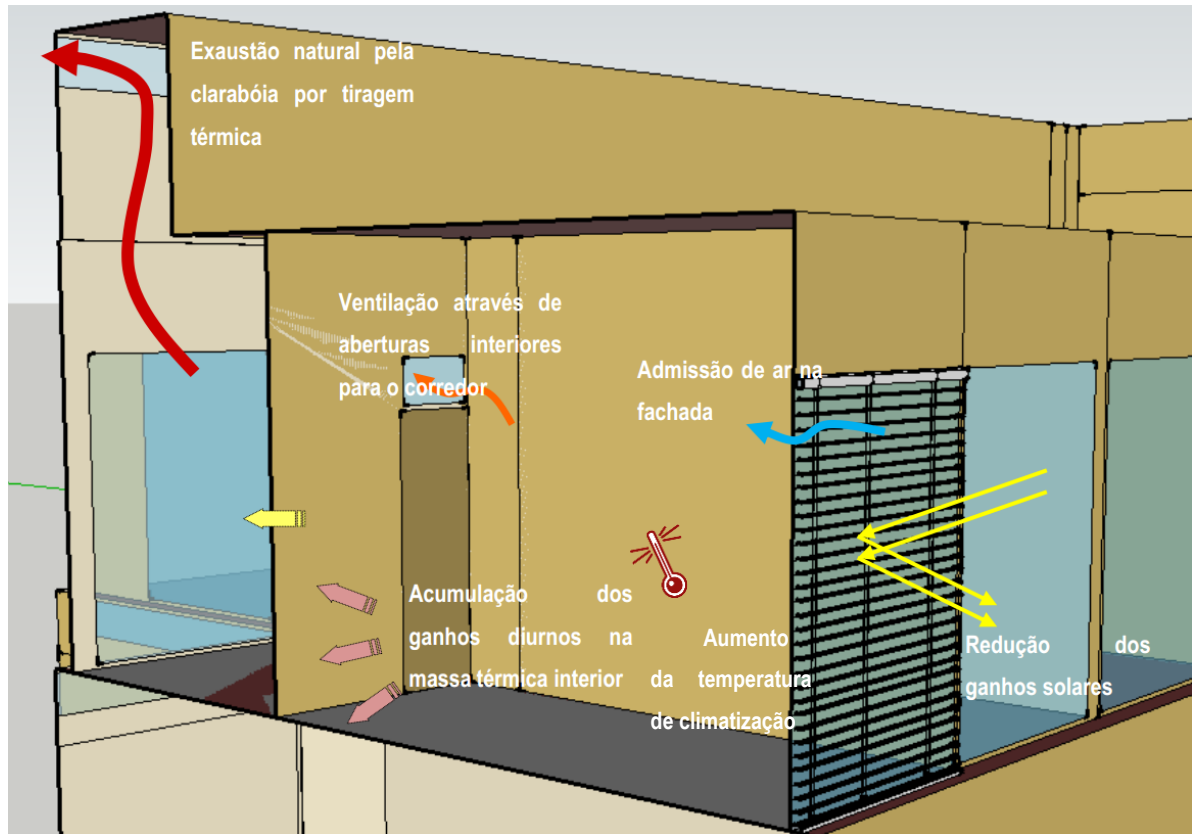


Figura 15: Esquema de princípio da estratégia de otimização do projecto

4 RESULTADOS

Os valores apresentados deverão ser interpretados numa base qualitativa. Pois dada a complexidade envolvida numa simulação dinâmica de comportamento térmico e a imprevisibilidade de factores tais como a ocupação, equipamento conectado, e acção dos ocupantes não é possível quantificar com exactidão o desempenho do edifício. Os valores previstos permitem essencialmente comparar os Casos simulados e validar as alterações propostas.

4.1 PICO DA CARGAS TÉRMICAS

A Figura 16 apresenta o pico das cargas de arrefecimento verificadas em cada caso, obtidas através da simulação de um período anual.

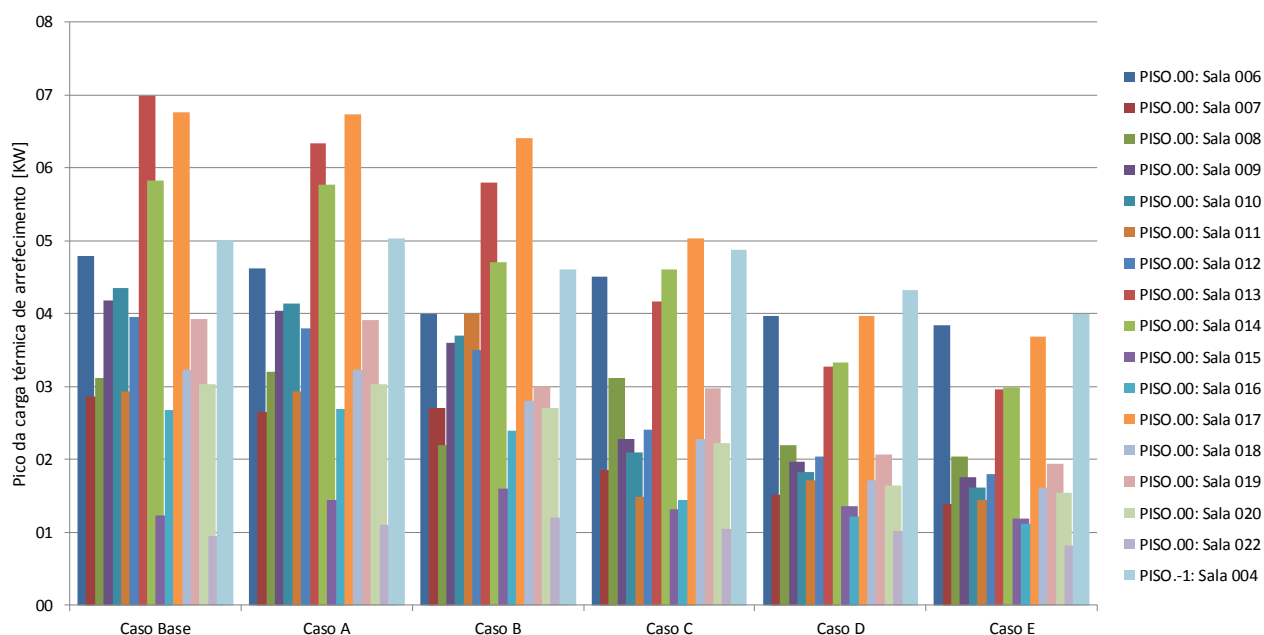


Figura 16: Carga térmica de arrefecimento por espaço para cada caso

Tabela 3: Resumo do pico das cargas térmicas de arrefecimento em cada espaço para os diferentes casos.

<i>Espaço</i>	<i>Caso Base</i>	<i>Caso A</i>	<i>Caso B</i>	<i>Caso C</i>	<i>Caso D</i>	<i>Caso E</i>
<i>PISO.00: Sala 006</i>	4.8	4.6	4.0	4.5	4.0	3.8
<i>PISO.00: Sala 007</i>	2.9	2.7	2.7	1.9	1.5	1.4
<i>PISO.00: Sala 008</i>	3.1	3.2	2.2	3.1	2.2	2.0
<i>PISO.00: Sala 009</i>	4.2	4.0	3.6	2.3	2.0	1.8
<i>PISO.00: Sala 010</i>	4.4	4.1	3.7	2.1	1.8	1.6
<i>PISO.00: Sala 011</i>	2.9	2.9	4.0	1.5	1.7	1.4
<i>PISO.00: Sala 012</i>	3.9	3.8	3.5	2.4	2.0	1.8
<i>PISO.00: Sala 013</i>	7.0	6.3	5.8	4.2	3.3	3.0
<i>PISO.00: Sala 014</i>	5.8	5.8	4.7	4.6	3.3	3.0
<i>PISO.00: Sala 015</i>	1.2	1.4	1.6	1.3	1.4	1.2
<i>PISO.00: Sala 016</i>	2.7	2.7	2.4	1.4	1.2	1.1
<i>PISO.00: Sala 017</i>	6.8	6.7	6.4	5.0	4.0	3.7
<i>PISO.00: Sala 018</i>	3.2	3.2	2.8	2.3	1.7	1.6
<i>PISO.00: Sala 019</i>	3.9	3.9	3.0	3.0	2.1	1.9
<i>PISO.00: Sala 020</i>	3.0	3.0	2.7	2.2	1.6	1.5
<i>PISO.00: Sala 022</i>	1.0	1.1	1.2	1.0	1.0	0.8
<i>PISO.-1: Sala 004</i>	5.0	5.0	4.6	4.9	4.3	4.0
<i>Total Pico [KW]</i>	65.8	64.6	58.9	47.7	39.1	35.7

Pode-se verificar uma descida gradual do pico das cargas de arrefecimento por implementação cumulativa das medidas. Note-se por exemplo que o aumento da inércia térmica no Caso A não diminui significativamente o pico das cargas em relação ao caso base, tal poder-se-á explicar pelo facto das paredes do corredor não estarem directamente expostas à radiação solar directa.

Já o sombreamento Caso C reduz notoriamente a carga. A ventilação natural com a redução das cargas por sombreamento em conjunto Caso D é ainda mais eficaz na redução do pico do que quando aplicada isoladamente Caso B, o que se deve essencialmente à maior

disponibilidade da massa térmica.

A soma dos picos da carga térmica de arrefecimento é também inferior para cada um dos casos em comparação com o caso base. Embora esta soma não represente a potência térmica diversificada da central de arrefecimento, fornece uma ideia inicial do impacto e base de comparação das alterações no edifício. A redução do pico permitirá ajustar a capacidade máxima dos equipamentos terminais de arrefecimento assim como da central produtora de frio e tubagens e/ou condutas associadas. O custo total da instalação de AVAC será por afinidade também menor.

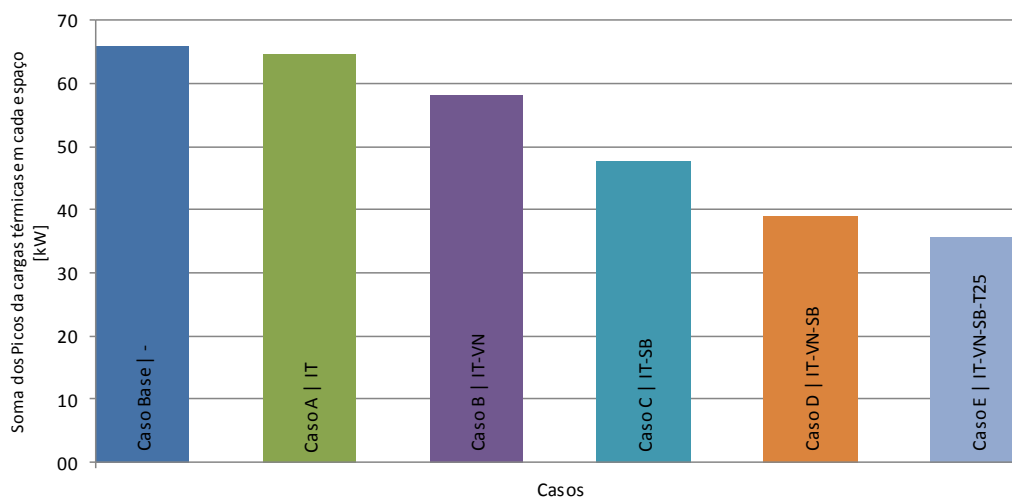


Figura 17: Soma do pico das cargas térmicas dos espaços para cada caso.

O pico das cargas térmicas de arrefecimento ocorre no dia 31 de Julho para a maioria dos espaços. Note-se que as soluções do Caso E, alteram a ocorrência do pico de alguns espaços para o dia 31 Julho, verificando-se assim uma dependência directa da temperatura do ar exterior que é superior nesse dia.

Tabela 4: Período de ocorrência do pico da carga térmica por espaço nos casos Base e E.

Espaço	Caso Base		Caso E	
	Hora	Pico carga de arrefecimento [kW]	Hora	Pico carga de arrefecimento [kW]
PISO.00: Sala 006	07/17 10:00:00	4.8	07/17 10:00:00	3.8
PISO.00: Sala 007	10/09 16:00:00	2.9	07/31 15:00:00	1.4
PISO.00: Sala 008	08/07 16:00:00	3.1	07/31 16:00:00	2.0
PISO.00: Sala 009	07/17 10:00:00	4.2	07/31 10:00:00	1.8
PISO.00: Sala 010	07/31 10:00:00	4.4	07/31 09:00:00	1.6
PISO.00: Sala 011	07/31 09:00:00	2.9	07/31 09:00:00	1.4
PISO.00: Sala 012	07/31 10:00:00	3.9	07/31 10:00:00	1.8
PISO.00: Sala 013	07/31 09:00:00	7.0	07/31 09:00:00	3.0
PISO.00: Sala 014	07/31 11:00:00	5.8	08/07 10:00:00	3.0
PISO.00: Sala 015	08/07 15:00:00	1.2	07/31 06:00:00	1.2
PISO.00: Sala 016	07/17 10:00:00	2.7	07/17 10:00:00	1.1
PISO.00: Sala 017	07/31 11:00:00	6.8	07/31 11:00:00	3.7
PISO.00: Sala 018	08/07 16:00:00	3.2	07/31 15:00:00	1.6
PISO.00: Sala 019	08/07 16:00:00	3.9	07/31 16:00:00	1.9
PISO.00: Sala 020	07/17 11:00:00	3.0	07/31 16:00:00	1.5
PISO.00: Sala 022	08/07 16:00:00	1.0	07/31 06:00:00	0.8
PISO.-1: Sala 004	08/09 15:00:00	5.0	07/31 15:00:00	4.0

4.2 ANÁLISE PARA O DIA TÍPICO DE VERÃO

4.2.1 Conforto Térmico – Sala 010

Para análise horária do desempenho do edifício, são apresentados os resultados para o dia típico de verão arbitrado como 20 de Julho. Para brevidade apresenta-se apenas a “Sala 010”, aceitando-se este como um espaço representativo, e em que o impacto de cada estratégia é facilmente observado.

4.2.1.1 Temperatura média

Tabela 5: Comparação temperatura em cada Caso, na Sala 010

Caso	CONDIÇÕES				RESULTADOS					
	Ventilação Natural - VN	Dispositivos Móveis de Sombreamento - SMB	Aumento da inércia térmica nas paredes interiores do corredor – IT	Aumento da temperatura máxima de climatização do espaço para 25 °C	Temperatura média do ar [°C] - das 8:30 às 18:30	Temperatura Radiante média [°C] - das 8:30 às 18:30	Temperatura Operativa média [°C] - das 8:30 às 18:30	Pico da carga de arrefecimento [KW]	Consumo diário energia arrefecimento [KWh]	Carga térmica diária, removida pela ventilação natural [KWh]
Caso Base					24.0	30.9	27.4	3.2	30.0	0
Caso A IT			✓		24.0	30.7	27.4	3.1	29.6	0
Caso B IT-VN	✓		✓		24.0	29.8	26.9	2.7	22.7	11.84
Caso C IT-SMB	✓	✓			24.0	27.1	25.5	1.7	15.7	0.0
Caso D IT-VN-SMB	✓	✓	✓		24.0	26.3	25.1	1.6	12.2	8.2
Caso E IT-VN-SMB-T25	✓	✓	✓	✓	25.0	26.7	25.8	1.4	10.1	8.9

O sistema de climatização controla a temperatura do ar, no entanto a temperatura radiante

depende da temperatura das superfícies da envolvente do espaço e da radiação proveniente de fontes radiantes como o sol ou iluminação artificial. A utilização dos dispositivos de sombreamento tem um grande impacto na temperatura radiante como se verifica pelo gráfico abaixo, por conseguinte a temperatura operativa será também maior. Note-se que a temperatura operativa é definida como a média da temperatura do ar e da temperatura radiante, e usada como um indicador inicial de conforto.

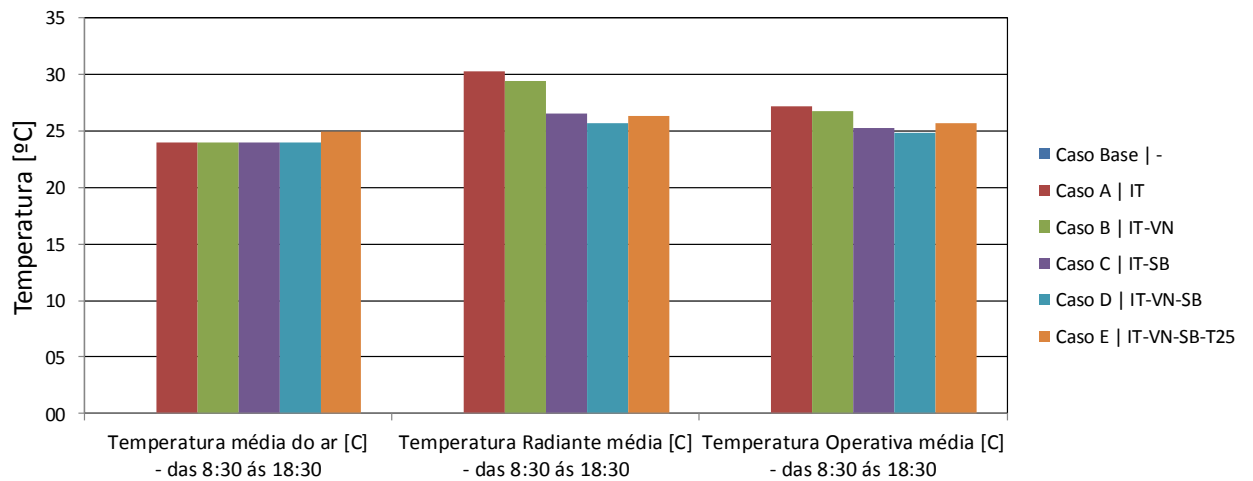


Figura 18: Comparação da Temperatura média dos espaços em cada Caso.

4.2.1.2 UCTI, Comparação Caso base e Caso E

A análise das temperaturas segundo o método UCTI permite constatar que o caso E, é teoricamente mais confortável que o caso base.

O índice UCTI para o caso base, é de 25.99°C e muito próximo de uma situação de stress térmico. Para o caso E, e apesar da temperatura do ar ser superior, o índice UCTI é inferior e igual a 25.33°C.

Conforme a Tabela 6, a temperatura de condicionamento do ar no caso base deveria descer até aos 23.2 °C para se alcançar o grau de conforto previsto para o Caso E.

Tabela 6: UCTI, comparação Caso Base e Caso E

<i>Caso</i>	<i>Temperatura do Ar</i>	<i>Temperatura Radiante</i>	<i>Temperatura Operativa</i>	<i>Humidade Ar</i>	<i>Velocidade Ar</i>	<i>Temperatura perceptiva - Índice UCTI</i>	<i>Categoria Stress Térmico</i>
<i>Caso Base</i>	24.0 °C	30.9 °C	27.4 °C	50%	0.14 m/s	25.9 °C	<i>no thermal stress</i>
<i>Caso E</i>	25.0 °C	26.7 °C	25.8 °C	50%	0.14 m/s	25.4 °C	<i>no thermal stress</i>
<i>Caso Base = Caso E</i>	23.2 °C	30.9 °C	27.0 °C	50%	0.14 m/s	25.4 °C	<i>no thermal stress</i>
<i>Caso E = Caso Base</i>	25.7 °C	26.7 °C	26.2 °C	50%	0.14 m/s	25.9 °C	<i>no thermal stress</i>

4.2.2 Análise horária do Caso E – Sala 010

Para brevidade apresenta-se apenas a análise ao Caso E, sendo este o que apresenta a maior poupança em comparação com o inicial. Relembrando o caso proposto “E”, recorre-se ao uso de dispositivos de sombreamento exteriores, aumento da inércia térmica, ventilação natural diurna/nocturna e ao aumento da temperatura de bolbo seco do ar até ao máximo de 25°C.

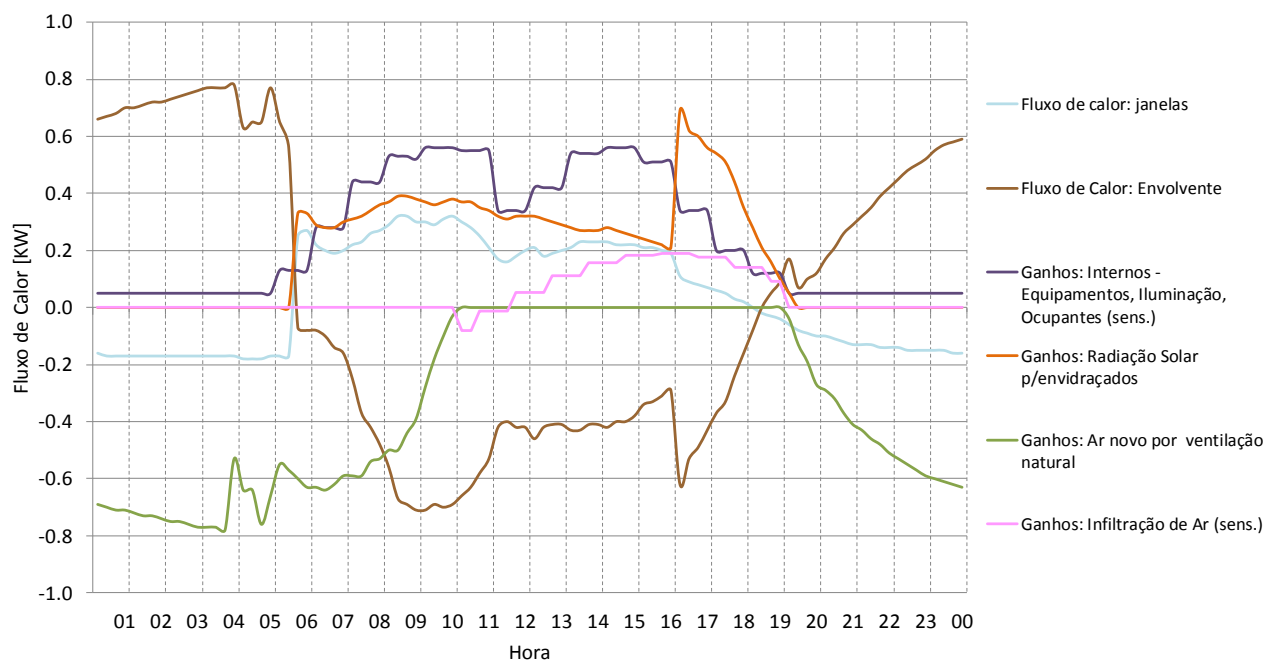


Figura 19: Fluxos de Calor para o dia típico de Verão – Caso E

Da análise, verifica-se que ao usarmos os dispositivos de sombreamento os ganhos solares são fortemente reduzidos, o que permite adiar a capacidade da inércia térmica de absorver ganhos. A absorção dos ganhos pela envolvente faz-se assim gradualmente ao longo de todo o período de ocupação, esta absorção representa uma ganho “negativo” para o espaço reduzindo assim a potência térmica máxima necessária de arrefecimento do sistema de climatização.

No final do dia assim que se desliga o sistema de AVAC para arrefecimento e cessam os ganhos internos e solares, a inércia térmica do edifício começa imediatamente a libertar os ganhos acumulados. A ventilação natural do espaço permite baixar a sua temperatura interior o que promove a inversão do fluxo de calor nos elementos da construção, mantendo-se assim durante todo o período nocturno, este processo permite “descarregar” os ganhos diurnos e

recuperar o potencial da inércia térmica dos materiais para o dia seguinte.

Relativo à carga de arrefecimento, repare-se que o sistema de climatização só é solicitado após as 8h:30m.

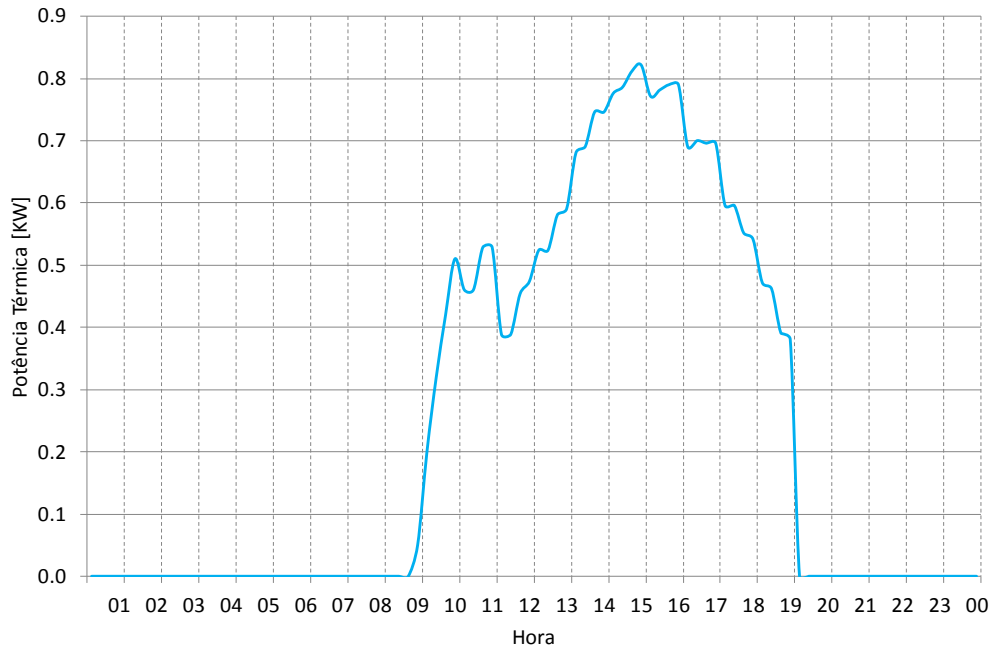


Figura 20: Potência térmica de arrefecimento- Caso Base

A temperatura do ar do espaço é mantida a 25°C pelo sistema de climatização e superior ao caso base de 24°C, no entanto a temperatura média operativa durante o período de ocupação é de 25.8°C em comparação com o caso base onde se regista um valor de 27.6°C.

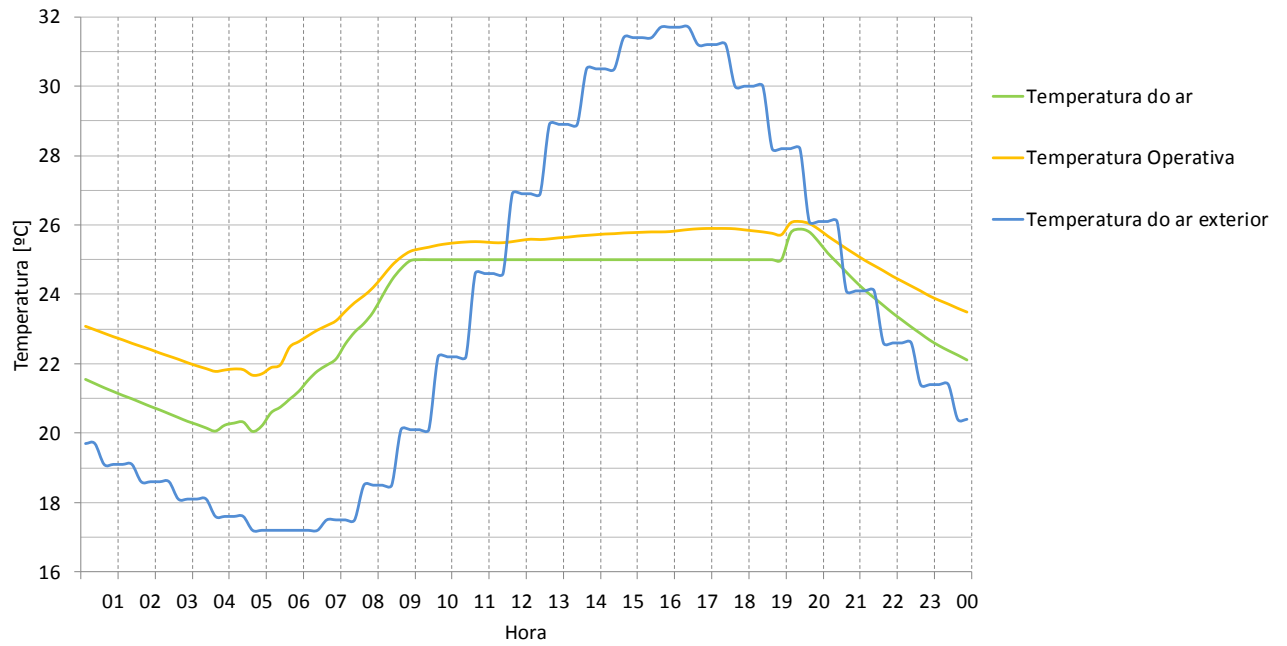


Figura 21: Temperatura durante o dia típico de Verão – Caso E

O recurso à ventilação natural permite baixar consideravelmente a temperatura do espaço durante os períodos sem ocupação, o que é essencial para a remover a energia calorífica acumulada na envolvente.

4.3 DESEMPENHO ANUAL

4.3.1 Consumo energético

Cada um dos Casos foi simulado para um período anual, tendo estes resultados sido usados para estimar a poupança de energia de arrefecimento e ventilação, decorrente da adopção das estratégias definidas para cada caso.

Assim verifica-se que face ao caso Base – situação inicial - o caso E em que são implementadas todas as medidas propostas deverá permitir uma poupança de até 64% em energia de arrefecimento.

O caso B e C são de particular importância, pois tanto a abertura de janelas como o sombreamento amovível não podem ser garantidos 100% do tempo em que seriam favoráveis, seja por acção dos ocupantes, avaria/configuração dos automatismo etc. Considerando estas variáveis, poder-se-á estimar então uma poupança entre os 30% (caso B) e os 64% (caso E).

Tabela 7:Resumo, Comparação dos Casos

Caso	Consumo energia de arrefecimento [KWh]	Soma do Pico de potências térmicas para arrefecimento [KW]	Consumo anual de electricidade para arrefecimento [KWh/m²]	Custo anual por metro quadrado de área climatizada ⁴	Custo anual total
Caso Base	136.9	65.8	45.6	5.6 €	2 268 €
Caso A IT	134.7	64.6	44.9	5.5 €	2 231 €
Caso B IT-VN	96.5	58.3	32.2	3.9 €	1 599 €
Caso C IT-SB	83.4	47.7	27.8	3.4 €	1 382 €
Caso D IT-VN-SB	62.9	39.1	21.0	2.6 €	1 042 €
Caso E IT-VN-SB-T25	48.8	35.7	16.3	2.0 €	808 €

4

Custo da energia eléctrica assumido de 0.1221 €/KWh

O consumo de electricidade pelos equipamentos produtores de frio depende não só da carga como das condições de funcionamento sendo a sua eficiência variável, assim foi assumido para os presentes cálculos uma eficiência sazonal da central de arrefecimento igual a SEER=3.

Á poupança de electricidade usada para arrefecimento soma-se também a poupança relativa à energia usada nos ventiladores de ar novo, pois a ventilação natural durante o período de ocupação – durante as meias estações – permitirá desligar os ventiladores do sistema de ventilação.

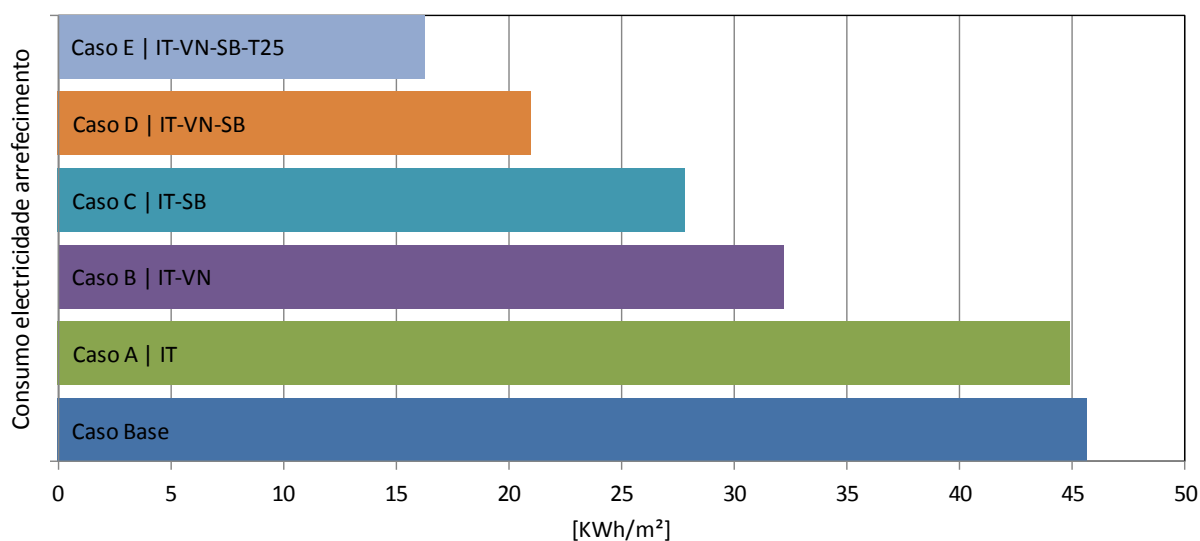


Figura 22: Consumo de electricidade anual para arrefecimento ambiente.

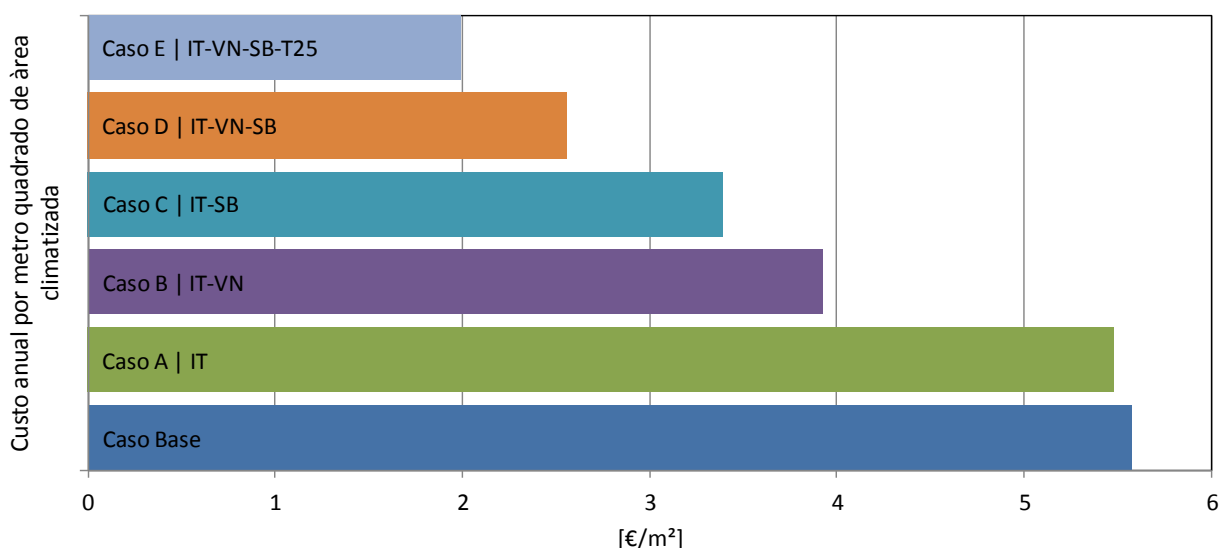


Figura 23: Custo anual da energia eléctrica para arrefecimento ambiente, por metro quadrado de área climatizada.

4.3.2 Ventilação

Assumindo-se o funcionamento do sistema das 8h às 19h, 12 horas por dia, e tendo em conta os caudais de ar novo exigidos para o qual o sistema de ventilação mecânica foi projectado, o consumo de energia anual poderá ser superior a 7,6 KWh /m² como estimado no parágrafo 0.

A utilização de ventilação natural durante os períodos de ocupação e quando as condições são favoráveis permitirá desligar os sistemas de ventilação mecânica e poupar energia associada aos mesmos. Para condições de controlo da ventilação natural, e as mesmas características do caso Base para o sistema de ventilação mecânica é possível fazer uma estimativa rudimentar desta poupança.

Para o caso E, assumindo-se uma condição de controlo em que se permite a ventilação natural sempre que a temperatura interior seja superior a 21°C, e a exterior inferior à interior. A ventilação natural poderá substituir a mecânica durante 35% do tempo de ocupação anual para 80% dos espaços, ou 23% se exigirmos que todos os espaços (100%) apresentem a condição simultaneamente.

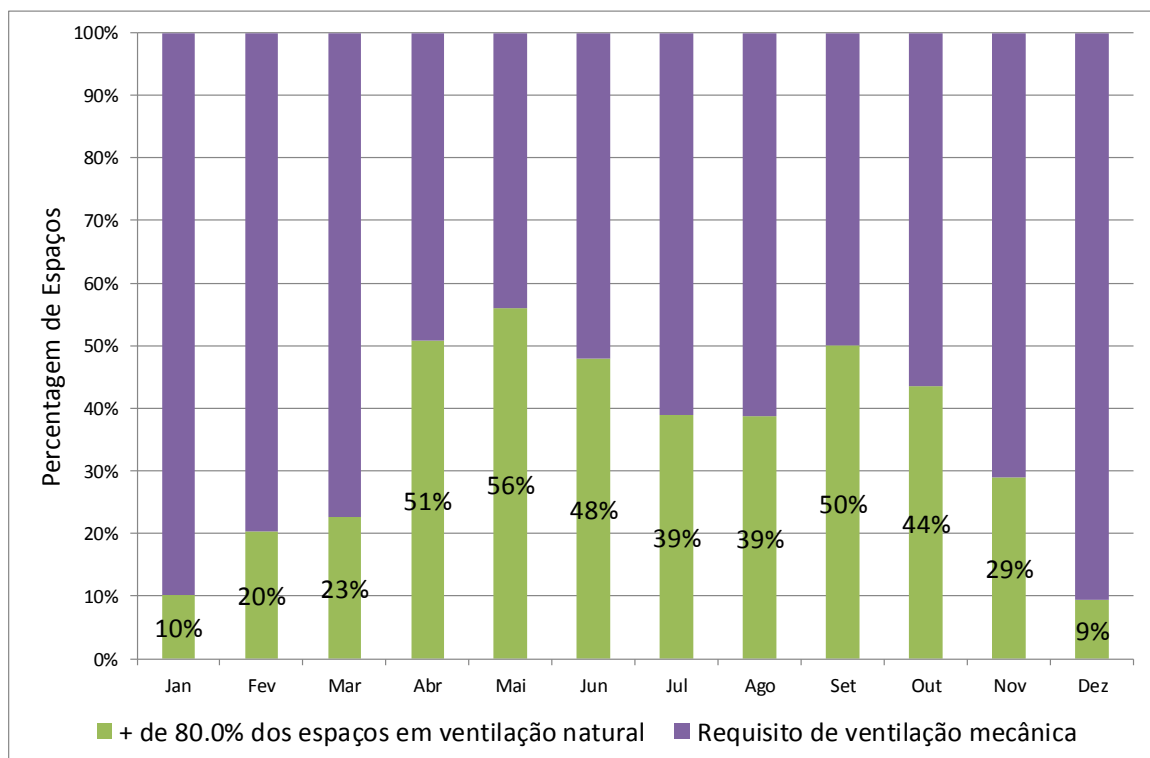


Figura 24: Distribuição de tempo, + de 80% dos espaços com condições para usar ventilação natural

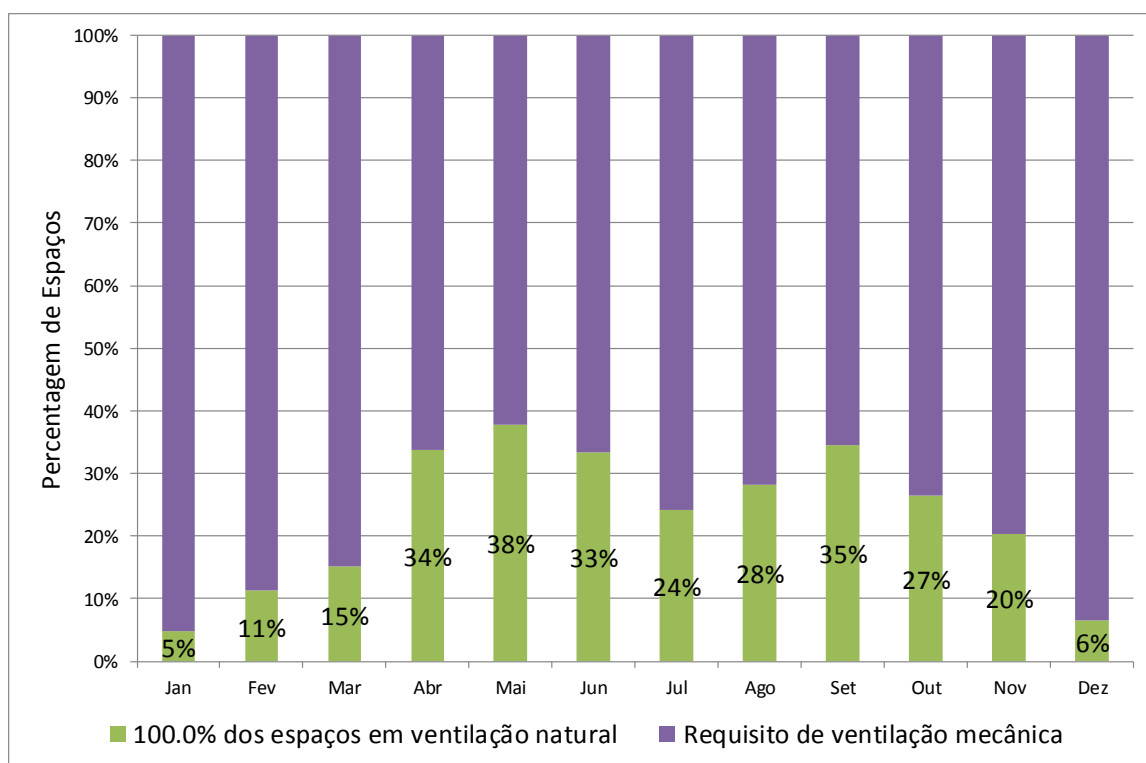


Figura 25: Distribuição de tempo, 100% dos espaços com condições para usar ventilação natural

Assim com os critérios definidos acima para desligar o sistema central de ventilação, a estratégia permitirá uma poupança anual aproximada entre 1,7 e 2,6 KWh/m² de energia eléctrica para 80% ou 100% dos espaços com potencial para usar ventilação natural respectivamente.

5 CONCLUSÕES

Os casos simulados no presente estudo exploraram a implementação cumulativa de diferentes propostas. Como esperado, o caso E é que apresenta maior redução no consumo de energia, pois além da inércia térmica, ventilação natural e sombreamento do vão envidraçado, aumenta-se também a temperatura de condicionamento do ar, diminuindo assim a exigência do sistema de climatização. O aumento da temperatura do ar interior potencia também a eficácia da ventilação natural por tiragem térmica.

O caso E não é uma proposta vinculativa, pois esta temperatura de climatização pode a qualquer momento ser alterada no sistema, no entanto ilustra que o conforto térmico dos ocupantes não depende só da climatização do ar, podendo o conforto ser alcançado consumindo-se menos energia.

O caso C da análise expõe o benefício de se sombrear os vão envidraçados, pois além da redução dos ganhos e consumos de energia, diminui bastante a temperatura radiante do espaço. A assimetria entre a temperatura radiante das superfícies e do ar tende a provocar diferentes sensações de conforto térmico dentro do mesmo espaço. Com base nos resultados obtidos é recomendado a aplicação das medidas propostas pela seguinte ordem de preferência:

1. Diminuição dos ganhos solares: implementação de dispositivos de sombreamento exterior verticais. Os ganhos solares ao nascer do dia deverão ser reduzidos ao máximo durante a estação de arrefecimento. Devido à orientação da fachada envidraçada, tal só será possível através de elementos verticais, como por exemplo estores de lâminas.

2. Aumento da inércia térmica interior: o uso de materiais com elevada inércia térmica interior permitirá reduzir o pico da potência de arrefecimento. Um edifício com maior inércia térmica está também mais protegido do sobre-aquecimento excessivo que possa ocorrer caso o sistema de climatização não esteja disponível.

3. Abertura de janelas: A abertura das janelas durante os períodos de meia estação permitirá aos ocupantes regular a temperatura e o ingresso de ar novo no espaço, sem necessidade de recorrer ao sistema de climatização e ventilação. A existência de aberturas que

possam ser abertas durante a noite trará o benefício da ventilação noturna, no entanto este efeito é mais eficaz se existir massa térmica exposta.

4. Ventilação noturna por tiragem térmica: A promoção da ventilação noturna por tiragem térmica deverá ser a mais difícil de implementar, pois requer a criação de um circuito para o ar inexistente neste momento. No entanto a disposição interna dos espaços no edifício é favorável à criação deste circuito devido ao seu corredor central e a maioria das salas adjacentes a este. Para implementar esta solução é essencial admitir ar pela fachada dos gabinetes através da abertura de elementos do vão envidraçado ou persianas, definir aberturas interiores para ventilação entre as salas e o corredor ou permitir a abertura das portas interiores e finalmente permitir a exaustão do ar no corredor à cota máxima possível, devendo no mínimo ser superior à cota das aberturas de admissão nas salas. Esta solução permitirá ao edifício operar sem recurso ao sistema de arrefecimento/ventilação durante uma parte substancial do ano e reduzir bastante o consumo de energia. Esta estratégia não deverá ser implementada sem o aumento da massa térmica exposta, sob pena de não produzir a poupança e o desempenho esperado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 13786 - Thermal performance of building components -- Dynamic thermal characteristics - Calculation methods
- [2] RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril
- [3] Andrew Martin, Jason Fitzsimmons - *Making Natural ventilation work: Guidance Note GN7/2000*, BSRIA Junho 2000
- [4] N Barnard, P Concannon, Oscar Faber, Denice Jaunzens - *Modelling the performance of thermal mass, Information Paper, IP 6/01*, Abril 2001
- [5] Chartered institution of building services engineers, *Natural ventilation in non domestic buildings CIBSE AM10*, Março 2005