

REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

CASO DE ESTUDO

CONSERVAÇÃO, RESTAURO E REABILITAÇÃO
DA ANTIGA ESCOLA DO MAGISTÉRIO PRIMÁRIO DE FARO

Martinho Mendonça dos Santos Tangarrinha

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Orientador: Professor Armando Inverno

Faro, 2014

REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

CASO DE ESTUDO

CONSERVAÇÃO, RESTAURO E REABILITAÇÃO
DA ANTIGA ESCOLA DO MAGISTÉRIO PRIMÁRIO DE FARO

Martinho Mendonça dos Santos **Tangarrinha**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Orientador: Professor Armando Inverno

Faro, 2014

FICHA TÉCNICA

Título: Redução do consumo de energia em edifícios históricos, caso de estudo: conservação, restauro e reabilitação da Antiga Escola do Magistério Primário de Faro

Autor: Martinho Mendonça dos Santos Tangarrinha

Objetivo: obtenção do grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Orientação científica do trabalho: Professor Armando Inverno.

Contatos do autor: mtangaha@gmail.com

Local: Faro

Ano: 2014

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.

(Marinho Mendonça dos Santos Tangarrinha)

“Copyright” – Marinho Mendonça dos Santos Tangarrinha, UAlg, ISE

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 objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

INTUIÇÃO

“... não a confiança instável dada pelos sentidos ou o juízo enganador de uma imaginação com más construções, mas o conceito que a inteligência pura e atenta forma com tanta facilidade e clareza que não fica absolutamente nenhuma dúvida sobre o que compreendemos; ...” [1]

(In Regras para a direção do Espírito).

Descartes (1596-1650)

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor e orientador, Professor Armando Inverno, pelo persistente impulso e apoio dado, pela sua disponibilidade e pela sua amizade.

A todos os professores do curso pelos ensinamentos e incentivo dispensados ao longo deste ciclo.

Aos colegas e amigos reencontrados, aos novos colegas, agora também amigos, pelo acolhimento, incentivo e partilha de experiência, e de saberes ao longo deste tempo.

À Câmara Municipal de Faro pela disponibilização do acesso ao material de arquivo e ao edifício.

À arquiteta Teresa Valente e a todos os meus colegas de gabinete pela partilha continuada de saberes, pelo incentivo e entusiasmo que me transmitiram.

Aos meus filhos João e Luís pelo desafio, incentivo vibrante e até exigência que me lançaram, e à minha mulher por toda a colaboração e paciência.

RESUMO

Este trabalho surge num tempo em que as dinâmicas económicas e sociais se direcionam no sentido da reabilitação dos edifícios em consequência da recuperação de valores culturais imateriais e materiais. Os núcleos urbanos consolidados colecionam edifícios de cariz residencial burguês e conjuntos urbanos modestos de origem centenária que pelas suas características arquitetónicas e de construção, vão resistindo aos tempos.

Para satisfação dos atuais requisitos de conforto e do consumo racional de energia importava estudar um destes edifícios para avaliação do seu desempenho, do comportamento dos materiais e das medidas a tomar para a sua reabilitação.

Uma vez que a regulamentação específica atual não se aplica aos edifícios que não sejam alvo de grande remodelação, ou a edifícios incluídos em zonas de proteção ao “património classificado”, não podem, apesar disso, ser desconsiderados os objetivos da redução do consumo de energia.

Neste sentido promoveu-se o levantamento e a caracterização global do edifício, à avaliação do seu estado de conservação, das patologias e suas causas, e à interpretação do funcionamento de eventuais sistemas de climatização passiva.

Na fase seguinte, através de simulação dinâmica, com a ajuda de *software* (*EnergyPlus* e *plugins de interface*), procedeu-se à procura de valores para a caracterização do ambiente térmico interior e da agressividade climática aos elementos de construção.

Foi possível observar que estes edifícios não divergem muito do objetivo atual de comportamento térmico, que os materiais têm bom comportamento à agressividade climática, em suma representam razoavelmente o conceito de “Arquitetura Solar Passiva”. O fato de serem estruturalmente constituídos por paredes monolíticas de grande espessura, em alvenarias de materiais crus que conservam “vida”, “alimentando-se” de clima e de ambiente, cobertos por telhados em desvão ventilado favorável à higienização do ar interior, a conservação e a manutenção pela aplicação de materiais locais, através de preceitos ancestrais, são determinantes para a longevidade e o bom desempenho destes edifícios.

A melhoria do desempenho energético pode ser conseguida por aplicação de materiais e equipamento de baixa tecnologia e custo, sem prejuízo dos valores culturais destes edifícios.

Palavras-chave: reabilitação, calor, temperatura, radiação, desempenho, eficiência energética.

ABSTRACT

This work comes at a time when the economic and social dynamics are directed towards rehabilitation of buildings as a result of the recovery of intangible cultural and material values. The consolidated urban centers collect bourgeois residential buildings and modest nature of urban complexes of centenary origin that because of architectural and construction features are still resisting.

In order to meet the current requirements of comfort and rational energy consumption, matter study of these buildings to evaluate their performance, the behavior of materials and the measures to be taken for their rehabilitation.

Being that current regulation specifies are not applicable to buildings that are not subject to major refurbishment or buildings included in zones of protection to "classified heritage sites", in spite of this, cannot be disregarded the objectives of reducing energy consumption.

In this sense the survey was promoted and the overall characterization of the building, the evaluation of the conservation status, the pathologies and its causes and interpretation of the functioning of any passive cooling systems.

In the following phase, through dynamic simulation, with the aid of software (EnergyPlus and plugins interface), proceeded to demand values for the characterization of indoor thermal environment and the aggressiveness to the building elements.

It was observed that these buildings do not differ much from the current objective of thermal performance, the materials have good behaviour to climate aggressiveness; in a word fairly represent the concept of "Passive Solar Architecture". The fact that they are structurally composed of monolithic walls of great thickness masonry of uncooked materials that preserve "life", feeding on climate and environment, covered by attic ventilated roofs favourable to indoor air cleaning, servicing and maintenance by applying local materials, through ancient precepts, are the key to longevity and to the proper performance of these buildings.

The improvement of energy performance can be achieved by applying materials and low-tech equipment and cost, without the detriment of cultural values of these buildings.

Keywords: rehabilitation, energy, heat, temperature, radiation, performance, energy efficiency.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Clima envolvente.....	3
2.1.1. A radiação solar.....	4
2.1.2. O vento	6
2.2. A ocupação.....	7
2.3. Os materiais de construção.....	7
2.3.1. Principais características higrotérmicas	8
2.3.2. Dilatação térmica e higroscopicidade.....	8
2.3.3. Propriedades óticas.....	9
2.3.4. Capacidade calorífica	10
2.4. A simulação dinâmica	11
2.5. As patologias de causas higrotérmicas	12
2.6. A energia para além do funcionamento.....	12
2.7. Arquitetura solar passiva	14
2.8. Síntese	15
3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	16
3.1. História.....	16
3.2. A arquitetura.....	17
3.3. A construção.....	19
3.4. Dispositivos de ventilação e climatização passiva	20

3.4.1. Saguão	20
3.4.2. Torre.....	20
3.4.3. Circulações internas	20
3.4.4. Outros dispositivos.....	21
3.5. Patologias devidas a causas térmicas	21
4. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	23
4.1. Introdução	23
4.2. Regulamentação em vigor	24
4.3. Verificação regulamentar	24
4.4. Tópicos orientadores	25
5. SIMULAÇÃO DINÂMICA	26
5.1. Introdução	26
5.1.1. EnergyPlus	26
5.2. Introdução de dados	29
5.2.1. Dados climáticos	29
5.2.2. Horários (<i>schedules</i>).....	30
5.2.3. Materiais.....	30
5.2.4. Elementos de construção.....	32
5.2.5. Vãos envidraçados.....	32
5.2.6. Cargas térmicas	34
5.2.7. Massas internas	35
5.2.8. Comentário.....	35
5.3. Análise de resultados.....	36
5.3.1. A radiação solar incidente	36
5.3.2. As temperaturas.....	37
5.3.3. Elementos de construção com maior amplitude térmica anual	39
5.3.4. Temperatura das paredes exteriores	41

5.3.5. Ganhos e perdas de calor sensível.....	51
5.3.6. Envidraçados com vidro duplo.....	58
5.4. Desempenho energético do edifício	60
5.4.1. Resultados nas condições de reabilitação do edifício sem controlo de temperatura	60
5.4.2. Resultados considerando controlo de temperatura	61
6. SOLUÇÕES TÉCNICAS	65
6.1. Introdução	65
6.2. Medidas de melhoria	65
6.2.1. Cobertura.....	65
6.2.2. Paredes exteriores.....	66
6.2.3. Janelas	66
6.2.4. Ventilação natural	69
6.2.5. Jardim.....	69
6.2.6. Climatização.....	69
6.2.7. Sombreamentos	70
7. CONCLUSÕES.....	71
7.1. Principais abordagens.....	71
7.2. Conclusões principais.....	73
7.3. Limitações	74
7.4. Trabalhos futuros.....	74
8. BIBLIOGRAFIA	77
9. ANEXOS	79
9.1. Desenhos	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do ciclo de reciclagem e reaproveitamento dos materiais de construção. [7]	13
Figura 2 - Fachada.....	16
Figura 3 – Mirante.....	16
Figura 4 - Porta fictícia.....	16
Figura 5 – Plantas.....	17
Figura 6 - Vista geral do edifício	18
Figura 7- Detalhe interior.....	18
Figura 8 - Detalhes construtivos.....	19
Figura 9 - Saguão.	20
Figura 10 - Interior da Torre.	20
Figura 11 – Estufa.	20
Figura 12 - Teto ventilado.....	21
Figura 13 - Telha de ventilação.....	21
Figura 14 - Corrosão em vigas.	21
Figura 15 – Modelo 3D do edifício.....	29
Figura 16 - Pala sobre porta Sul da estufa.....	39
Figura 17 - Telhado da caixa de escadas.....	40
Figura 18 – Torre.	44
Figura 19 – Radiação solar total incidente no dia em que se verifica o valor mais alto da radiação[kWh].....	49

Figura 20 – Radiação solar total incidente no dia em que se verifica a temperatura mais alta da face exterior [kWh].	50
Figura 21 - Distribuição geométrica das trocas mensais de energia do envidraçado VP4 FACHADA S 1 [kWh]......	54
Figura 22- Trocas de energia através do envidraçado VJ2 SALAS PS1 [kWh].	55
Figura 23 - Valores mensais dos ganhos de energia através envidraçados da torre [kWh].	57
Figura 24- Valores mensais das perdas de energia através envidraçados da torre [kWh]......	58
Figura 25 - Alçado Principal e Cobertura.	81
Figura 26 - Alçado Posterior e Planta do R/C.	82
Figura 27 - Alçado Sul e Alçado Norte.....	83
Figura 28 - Cortes.....	84

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais opacos.	31
Quadro 2 - Materiais sem massa.	31
Quadro 3 - Material dos Envidraçados.....	32
Quadro 4 – Construções.	32
Quadro 5 – Características do dispositivo de ocultação pelo interior.	33
Quadro 6 – Características do dispositivo de sombreamento exterior.	33
Quadro 7 – Caraterística térmicas e óticas de Molduras e separadores.	34
Quadro 8 - Potência média mensal da radiação solar incidente na envolvente exterior [W/m ²].	36
Quadro 9 - Potência máxima mensal da radiação solar incidente na envolvente exterior [W/m ²].	37
Quadro 10 - Temperatura média do ar interior e, as média, máxima e mínima do ar exterior [°C].	37
Quadro 11 - Horas anuais de temperaturas de desconforto [°C].	38
Quadro 12 - Temperaturas da face superior da pala [°C].	39
Quadro 13 - Temperaturas das faces da fachada Sul e do ar interior no dia 04 de outubro [°C].	41
Quadro 14 - Temperaturas das faces da fachada Sul e do ar interior no dia 20 de fevereiro [°C].	42
Quadro 15 - Temperaturas extremas para a parede Sul da torre [°C].....	44
Quadro 16 - Temperaturas extremas para a parede Norte da torre [°C].	45
Quadro 17 - Temperaturas extremas para a parede Este da torre [°C].	46
Quadro 18 - Temperaturas extremas para a parede Oeste da torre [°C].	47
Quadro 19 – Síntese dos extremos térmicos das paredes da torre [°C].	48

Quadro 20 – Extremos térmicos ao longo do ano.	48
Quadro 21 - Radiação solar total incidente no dia em que se verifica o valor mais alto da radiação.	49
Quadro 22 - Radiação solar total incidente no dia em que se verifica a temperatura mais alta da face exterior [W/m ²].	50
Quadro 23 - Valores de pico da radiação solar incidente nas paredes da torre [W/m ²].	51
Quadro 24 - Ganhos e perdas anuais de calor sensível [kWh].	51
Quadro 25 - Ganhos e perdas calor dos envidraçados ao longo do ano [kWh].....	52
Quadro 26 – Radiação solar transmitida ao longo ano através dos envidraçados [kWh].	53
Quadro 27 - Trocas mensais de energia através do envidraçado VP4 FACHADA S 1.	54
Quadro 28 - Trocas mensais de energia através do envidraçado VJ2 SALAS PS1.	55
Quadro 29 - Ganhos e perdas de calor através dos envidraçados orientados a Sul [kWh].	56
Quadro 30 - Valores dos ganhos e perdas de energia através dos envidraçados da torre [kWh].	57
Quadro 31 - Distribuição de ganhos e perdas de calor ao longo do ano através dos envidraçados [kWh].	59
Quadro 32 - Diferença de ganhos e de perdas de calor ao longo do ano [kWh].	59
Quadro 33 - Desempenho energético sem climatização.	60
Quadro 34 - Desempenho energético usando bombas de calor para climatização [kWh].....	61
Quadro 35 - Potências máximas necessárias [W].	62
Quadro 36 - Extrato do relatório de resultados da Folha de Cálculo STE-MONOZONA.....	63
Quadro 37.....	64
Quadro 38 – Comparação dos indicadores de eficiência energética [kWh].....	64
Quadro 39 - Percentagem de horas anuais em que se verificam temperaturas fora do intervalo [18;28]°C	67

1. INTRODUÇÃO

A motivação para elaboração deste trabalho surge num tempo em que as dinâmicas económicas e sociais se direccionam no sentido da reabilitação dos edifícios existentes em consequência da recuperação de valores culturais imateriais e materiais, numa época de carência económica e financeira, funcionando como “porto seguro” singelo, mas fiável, aglutinador dos fragmentos da identidade dispersos pela vã prosperidade tecnológica e de recursos a que se julgou ter acesso nas últimas décadas.

Neste contexto de carência e de revivalismo aparentemente saudável, são alvo de cobiça os edifícios mais antigos pelo desafio que constitui dar vida àqueles que em tempo foram o suporte da civilidade. Era nestes edifícios que se instalavam as atividades, as pessoas ativas, onde quase tudo era feito e decidido. Passadas algumas gerações, alguns deles, em particular os de maior porte entraram em colapso estrutural pelo mau uso e pelo abandono a que foram sujeitos. Estas e outras razões, nomeadamente a disponibilidade de meios instrumentais e tecnológicos, a curiosidade pela reaprendizagem dos métodos e dos materiais de construção antigos, das arquiteturas estruturantes e de funcionamento, vêm fundamentando a dinâmica da reabilitação dos edifícios e a regeneração urbana dos cascos históricos das cidades.

A questão energética e ambiental vem estando ligada a estas dinâmicas e a outras, por missão ou por moda, pensando-se erradamente, ser matéria nunca antes abordada ou trabalhada.

No âmbito deste trabalho importa perseguir os resultados que se prendem com os valores do conforto, da segurança sanitária e dos custos materiais para o utilizador no contexto da reabilitação de um edifício histórico.

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO TRABALHO

O edifício em estudo, a Casa de Domingos Guieiro, localizado no Núcleo Histórico de Faro, descrito no próximo capítulo, apresenta um conjunto de características que o poderão tornar numa referência para a reabilitação de outros edifícios de cariz histórico, em particular no que respeita aos consumos de energia devidos ao seu funcionamento.

O trabalho orienta-se pela busca de resultados que permitam avaliar o desempenho térmico do edifício, tanto no que se refere ao conforto e salubridade dos utilizadores, como ao estado de conservação e a rebustez do edifício.

Tomando como condições básicas a ocupação, o equipamento e a iluminação, e tendo como ponto de partida que as condições de utilização futuras, embora diferentes na sua distribuição temporal, sendo mais homogêneas, são semelhantes à sua utilização primitiva no que respeita às cargas térmicas, uma vez que não se prevê que o edifício venha a ter uma grande taxa de ocupação.

Pretende-se perceber o funcionamento térmico do edifício, identificar potencialidades e debilidades da arquitetura e da construção, tanto no que se refere aos materiais como às técnicas de construção, o efeito da manutenção ou da sua falta, assim como as consequências das reparações e das adaptações feitas ao longo do tempo.

Procura-se também perceber a diferença entre as exigências de conforto térmico à época de construção do edifício e das atuais, e a eventual discussão da classe energética em que o edifício se enquadraria à luz da regulamentação atual.

Por fim propor as medidas de melhoria compatíveis com os objetivos de preservação do edifício, numa perspectiva que não condicione qualquer opção, mais ou menos conservadora, que os “decisores” vierem a tomar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo constitui, sobretudo, um levantamento de tópicos relevantes para o estudo da análise do comportamento térmico dos edifícios, mais do que o simples levantamento de alguns dos trabalhos que sobre temas semelhantes já foram realizados, quer em Portugal, quer noutros países. Contudo foram consultadas algumas obras sobre matérias semelhantes às deste trabalho, adiante referenciadas, as quais constituem exemplos inspiradores.

Ao longo do capítulo descrevem-se, desde as principais variáveis que influenciam o comportamento térmico dos edifícios e cuja compreensão é fundamental porque elas encontram-se presentes nos programas de simulação, como é o caso da radiação solar, ou mais genericamente do clima, até à caracterização dos materiais de construção, através das suas propriedades, da descrição das patologias encontradas nas construções, ou mesmo de temas mais abrangentes como a energia e a arquitectura solar passiva.

2.1. CLIMA ENVOLVENTE

O clima de um determinado local é caracterizado por vários parâmetros: temperatura, humidade, vento, nebulosidade, precipitação, qualidade do ar, etc. A evolução destes parâmetros no tempo pode ser prevista através de um sistema complexo, cujos parâmetros principais são a radiação solar e o vento [2].

O clima padrão usado pelo *software* de simulação para a avaliação do comportamento térmico do edifício e que adiante será apresentado, corresponde à “normal climática” para a localização da cidade de Faro, compilada pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) a partir dos dados de clima recolhidos e compilados pelos serviços de meteorologia portugueses, hoje denominados por Instituto de Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Estas normais climáticas estão convencionadas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), sendo o clima caracterizado através dos valores médios das variáveis climáticas num período de 30 anos, onde o valor normal de cada variável corresponde ao seu valor médio num período extenso para permitir admitir que ele represente o valor predominante no local considerado. Segundo a OMM, as normais climáticas são os apuramentos estatísticos em períodos de 30 anos que começam no primeiro ano de cada década, embora possam ser calculadas e utilizadas outras normais climatológicas, exemplo: 1971-2000(IPMA), sendo as normais de referência

as seguintes: 1901-30, 1931-1960,..., 1961-1990 [3]. De forma idêntica, são tratados os máximos e os mínimos absolutos registados nas estações meteorológicas, seguindo as regras da OMM (*WCDP n°10 / WMO TD n° 341, 1989*) e denominados de “anomalias meteorológicas”.

2.1.1. A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar disponível na localização do modelo em estudo é uma condicionante importante do seu desempenho energético, quer do conforto térmico, quer do comportamento dos materiais aplicados na construção do edifício.

A radiação térmica solar é composta por várias categorias de radiação eletromagnética com características comuns, mas produzindo efeitos diferentes. A radiação térmica situa-se numa banda de comprimentos de onda (λ) do espectro solar entre os $0.1\mu\text{m}$ e $100\mu\text{m}$, composta por radiação ultravioleta $\lambda < 0,4\mu\text{m}$, todo o espectro visível entre $0,4\mu\text{m} < \lambda < 0,7\mu\text{m}$ e radiação infravermelha entre $0,7\mu\text{m} < \lambda < 3,5\mu\text{m}$. Percentualmente a radiação ultravioleta só representa 9% da radiação térmica solar total, a radiação visível 51%, cabendo os restantes 40% à radiação infravermelha.

A radiação térmica global que atinge uma superfície ao nível do solo é composta por duas frações, uma de radiação direta e outra de radiação difusa. Estas duas formas resultam da “resistência” oferecida à propagação da radiação solar direta através da atmosfera, em que parte da radiação direta segue o seu percurso até à superfície da Terra e a outra é perturbada pelos diferentes componentes da atmosfera e pela troca de radiação térmica entre a superfície da Terra e a atmosfera, constituindo a radiação difusa.

A radiação térmica global, ao incidir numa superfície, por sua vez, pode assumir três componentes radiativas: a refletida, a transmitida e a absorvida; a refletida, após a incidência, abandona a superfície mantendo a sua frequência, a componente transmitida é conduzida através dos corpos transparentes à radiação térmica sem alteração da frequência e a absorvida é acumulada na estrutura molecular do corpo. A equação de equilíbrio desta transformação da radiação incidente, adimensionalizada, pode ser estabelecida da seguinte forma:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.1)$$

sendo:

α : Fração da radiação absorvida ("absortividade")

ρ : Fração da radiação refletida ("refletividade")

τ : Fração da radiação transmitida ("transmissividade").

Por sua vez a energia radiante que abandona a superfície de um corpo tem duas componentes: a radiação refletida e a emitida, cuja quantidade depende das características de refletividade e emissividade da superfície, dependendo a última da temperatura do corpo, das características do material e da sua superfície. O conceito de "corpo negro" é um ponto de partida teórico em que o corpo não reflete nenhuma da radiação incidente, absorvendo a totalidade e em condições de equilíbrio térmico emite radiação à taxa máxima para a sua temperatura.

A lei de Wien estabelece que o comprimento de onda da radiação térmica, para o qual se verifica a máxima emissão monocromática do corpo negro, se relaciona com a sua temperatura da seguinte forma:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2897.6}{T} \quad (1.2)$$

O comprimento de onda é inversamente proporcional à temperatura (T) do corpo, ou seja, se a temperatura for elevada o comprimento de onda é "curto", por exemplo, a combustão do gás butano ocorre a temperaturas superiores a 1000°C produzindo uma chama com emissão no espectro da radiação visível, ao contrário o corpo humano emite em baixo comprimento de onda, portanto radiação infravermelha (invisível). A maioria das superfícies reais não se comporta como o corpo negro, a sua capacidade de emissão de radiação térmica é avaliada através do parâmetro designado por emissividade que relaciona a radiação efetivamente emitida com a que emitiria um corpo negro à mesma temperatura.

A emissividade, para além de depender da temperatura, pode também variar com a natureza da superfície no que refere ao estado da limpeza, da rugosidade ou da oxidação.

Para superfícies que troquem radiação, cujas temperaturas não sejam significativamente diferentes e sejam emissoras difusas, isto é, em que a radiação se propaga com igual intensidade em múltiplas direções no espaço, é possível admitir-se que a sua emissividade e a sua absorvidade são iguais, para um dado comprimento de onda e também para os respectivos valores globais. Esta igualdade constitui a Lei de Kirschhoff e é estabelecida, com rigor, no equilíbrio térmico.

Quando se trata de trocas radiativas entre corpos a temperaturas muito diferentes, como é o caso das superfícies que na Terra recebem radiação solar, deixa de ser válida a hipótese admitida no estabelecimento da Lei de Kirschhoff e para a superfície de uma parede, ou de uma cobertura, as

suas absorvidades para a radiação solar são diferentes daquelas que elas apresentam para a radiação proveniente das outras superfícies que lhe estejam próximas.

As trocas de calor entre um edifício e o meio envolvente, são muito influenciadas pela radiação solar, quer seja através das suas superfícies opacas, quer seja dos envidraçados, as quais dependem, para além da natureza das superfícies, também da sua orientação geográfica e da posição relativa do sol que, como é sabido, varia ao longo do ano tanto pelo fato da Terra ter uma órbita elíptica, como pela variação da verticalidade do seu eixo de rotação, consequentemente variando a distância que os raios solares têm que percorrer até atingirem a superfície terrestre. Mas dependem também da variação do ângulo de incidência dos raios solares, tal como se verifica ao longo de cada dia. [2]

2.1.2. O VENTO

O vento assume particular importância na formação do clima pela sua capacidade de transporte da humidade e do calor, incluindo aquele que está associado às partículas materiais que constituem o ar e dos poluentes que transportam.

O movimento destas massas de ar é impulsionado pela diferença de pressão atmosférica, correndo das altas para as baixas pressões em razão do equilíbrio estático. As altas pressões atmosféricas tanto se podem formar nos oceanos como no interior dos continentes devido ao desigual arrefecimento do ar num sítio, ou noutro. Quando se forma no interior dos continentes o vento gerado é pobre em humidade, verificando-se o inverso quando o vento tem origem nos oceanos. Estes movimentos das massas atmosféricas relacionam-se com a formação do orvalho e da geada, do nevoeiro e das nuvens, em função das temperaturas e do grau de saturação das camadas de ar em trânsito. [2]

As características do ar de ventilação, ou de infiltração, nos edifícios, quer em temperatura quer em humidade (conteúdo ou relativa), são responsáveis pelo estado do conforto térmico no interior dos edifícios e das condições de salubridade, assim como pelo desempenho da envolvente do edifício podendo promover perdas, ou ganhos de calor, significativas consoante a diferença de temperatura do ar e dos elementos da envolvente. São também responsáveis por fazer variar o teor de humidade dos materiais que constituem a envolvente, com consequências no seu comportamento termo-higrométrico, na sua eventual desagregação e no desenvolvimento de agentes patogénicos.

2.2. A OCUPAÇÃO

A permanência humana e a atividade desenvolvida constituem carga térmica sensível e latente para os espaços. O calor e o vapor de água libertado pelo corpo humano, em maior ou menor quantidade, dependem da atividade desenvolvida, do tipo de vestuário, das condições ambientais, das características metabólicas e físicas do indivíduo.

O vapor libertado converte-se imediatamente em carga térmica latente de arrefecimento, enquanto o calor sensível decompõe-se em duas componentes, uma radiativa e outra convectiva. A radiativa, em geral é aproximadamente 70%, é absorvida pelas superfícies interiores que, com algum atraso, se transforma em carga térmica, enquanto a componente convectiva transforma-se imediatamente em carga térmica. [4]

A importância do conhecimento das cargas devidas à ocupação obriga à sua caracterização no que respeita à respetiva distribuição temporal (perfis de ocupação). Estas cargas interagem com as outras cargas térmicas de origem interna, como sejam as devidas à iluminação e aos equipamentos, e com as cargas de origem externa, geradas pela radiação solar térmica e pela ventilação. O conhecimento da distribuição destas cargas no tempo e a sua conjugação permite antever os momentos de desconforto e de insalubridade do ambiente interior dos edifícios, encaminhando para soluções passivas ou mecânicas, com vista à satisfação dos objetivos de conforto, de segurança e de eficiência energética.

2.3. OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O conhecimento dos materiais de construção é fundamental à interpretação do desempenho energético dos edifícios, bem como da sua durabilidade e no planeamento da manutenção.

São vários os grupos de propriedades de natureza térmica e de relacionamento com o clima que conjugadas entre si determinam o ambiente no interior dos edifícios e asseguram a sua própria resiliência à severidade do clima e às ações mecânicas, dinâmicas e estáticas, resultantes das diferentes ações a que estão sujeitos os edifícios.

Muitos dos elementos de construção são constituídos por camadas de diferentes materiais por forma a conjugar as características necessárias a um bom desempenho global. Os revestimentos assumem particular importância nas construções, proporcionam desempenhos adequados de higiene, de resistência mecânica ao uso, de conforto visual, de proteção das camadas interiores, conferem às superfícies dos elementos de construção a rugosidade, a cor e a porosidade adequa-

das ao relacionamento com as variáveis de clima como sejam a absorvidade e a emissividade radiativa, a absorção de humidade ou a impermeabilização à água.

2.3.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS HIGROTÉRMICAS

Do ponto de vista energético, a capacidade calorífica, a condutibilidade térmica e a densidade são propriedades que revelam a capacidade que os materiais têm de armazenar e de transferir o calor através da sua massa. A rugosidade superficial e a cor condicionam a absorvidade e a emissividade radiativa, a rugosidade por consubstanciar um aumento da superfície de troca relativamente às superfícies mais polidas, a cor por se relacionar com o comprimento de onda (λ) da luz incidente, as cores quentes correspondem a maiores comprimentos de onda, mais próximos dos (λ) da radiação quente (infravermelha). A porosidade e as características moleculares dos materiais conferem a capacidade de reter e libertar humidade, particularmente importante na compensação da humidade do ar interior e no controlo da condensação superficial e interna dos elementos de construção. Por exemplo, as moléculas de argila em contacto com a humidade absorvem as moléculas de água ganhando plasticidade e aumentando o volume, traduzindo-se na capacidade de regeneração natural e cíclica de elementos de construção como a taipa e algumas alvenarias, refechando poros e fissuras, ou seja, tornando os paramentos mais impermeáveis em tempo húmido e religando as partículas em desagregação [5]. A argila não ceramizada (crua) comporta-se como matéria viva.

2.3.2. DILATAÇÃO TÉRMICA E HIGROSCOPICIDADE

As características dos materiais que se relacionam com a sua variação dimensional, a dilatação por variação térmica e do teor de humidade, quando semelhantes, em diferentes materiais, trabalham em conjunto, as suas juntas de ligação serão mais coesas uma vez que as tensões geradas pelas variações dimensionais serão pequenas, com valores acomodáveis dentro do limite de elasticidade e de plasticidade dos materiais. São exemplo de mau funcionamento a relação do betão com o aço em algumas aplicações, cujos coeficientes de dilatação térmica se relacionam na proporção aproximada de um para dois, ou das alvenarias leves com as rochas muito densas ou com o betão. Por outro lado a taipa e as alvenarias de pedras macias relacionam-se bem com as madeiras de média densidade, com as fibras vegetais e algumas fibras artificiais. [6]

Também importa relacionar estas características com as tensões limite de elasticidade e de plasticidade dos materiais e com os seus efeitos macro e microscópicos. Quanto aos efeitos macroscópicos, as diferentes temperaturas entre faces da mesma peça geram esforços de flexão que serão tanto maiores quanto maior for a diferença de temperatura. Num sistema de múltiplas faces resultarão sistemas de forças em varias direções, sentidos e intensidades dos quais resulta-

rão esforços de compressão/tração, flexão e torção, podendo resultar fissuração, fratura ou deformações, dentro do limite de plasticidade como a fluência. No domínio dos efeitos microscópicos, em geral, verifica-se a desagregação das partículas resultantes da fratura dos materiais ligantes e/ou dos materiais ligados, resultando a escamação superficial, a dilatação dos poros e a formação de lacunas superficiais. A oscilação no tempo destas cargas induz a fadiga, fenómeno melhor conhecido nos metais, dada a natureza cristalina da sua estrutura molecular.

2.3.3. PROPRIEDADES ÓTICAS

Os materiais transparentes e translúcidos são responsáveis pela “permeabilidade” da envolvente à luz podendo proporcionar as vantagens da iluminação natural e da aquisição do calor.

Os materiais “permeáveis” à luz mais utilizados na construção e equipamento de edifícios são, sobretudo, os diferentes tipos de vidro, mais ou menos seletivos às diferentes bandas de comprimento de onda. O vidro simples pode atingir uma transparência de 90% para $\lambda < 0,8\mu\text{m}$, no entanto é praticamente opaco a $\lambda > 5\mu\text{m}$, pelo que a radiação libertada pelo solo ou laje de pavimento e paredes se reflecte praticamente toda na face interior do vidro e não se perde para o exterior, produzindo-se assim o efeito de estufa. O espectro da radiação solar praticamente não se altera ao atravessar o vidro [2]. O vidro é um material de boa resiliência à agressividade do ambiente, não se degrada por ação da radiação ultravioleta, da água, não reage quimicamente com os poluentes atmosféricos comuns, como desvantagens apresenta a pouca resistência ao impacto, a exigência de manuseamento e transporte cuidadoso, o preço e a energia incorporada no processo de fabrico também têm que ser tidos em conta. Outros materiais alternativos começam a ser utilizados com vantagens e desvantagens que só se vão exemplificar dada a grande variedade e versões:

- Polietileno de baixa densidade;
- Etileno Vinilo de Acetato;
- Cloreto de Polivinilo (PVC);
- Resina de poliéster reforçado com fibra de vidro ou nylon;
- Policarbonato alveolar;
- O vidro acrílico.

Estes materiais vão sendo aplicados em substituição dos vidros em claraboias, lanternins, estufas e outros dispositivos expostos a ações mecânicas, ou pela grande extensão dos painéis.

2.3.4. CAPACIDADE CALORÍFICA

No papel do conforto higrotérmico há um aspeto tão ou mais importante que o isolamento dos elementos da envolvente dos edifícios, principalmente em climas moderados, é a inércia térmica, grandeza que se relaciona com a “massa térmica”, ou massa de acumulação. A “massa térmica” não é um exclusivo da envolvente, as lajes, as divisórias, todos os elementos de construção interiores, bem como o mobiliário e todos os objetos que ocupam o espaço interior dos edifícios, constituem elementos de armazenamento de calor cuja contribuição é particularmente desejável no caso dos edifícios de habitação. As fachadas deverão ser concebidas como elementos de massa térmica para benefício da gestão do calor a favor do conforto. Estes elementos de massa também favorecem o isolamento acústico e absorvem as ações mecânicas, dinâmicas e estáticas, devendo por isso ser também usados na edificação de divisórias, pisos, escadarias e coberturas. Os elementos construtivos leves, em regra têm menor capacidade de armazenamento térmico do que os elementos pesados.

A capacidade calorífica (C_t) de um elemento resulta da combinação da massa térmica com o seu calor específico relacionando-se da seguinte forma:

$$C_t = m \cdot c_p \quad (1.3)$$

Em que:

C_t – capacidade calorífica [$J/^\circ C$]

m – massa [kg];

c_p – calor específico [$J/kg \cdot ^\circ C$]

Por exemplo, um elemento constituído na sua maioria por água, uma parede, ou uma cobertura de água pode, pelo seu elevado calor específico, conservar uma maior quantidade de calor.

Importa também verificar a dinâmica dos fluxos de calor, de entrada e saída, a diferença destes fluxos à variação do calor armazenado na proporção da massa, do calor específico e da variação de temperatura, em que quantidade de calor (Q) em trânsito, num determinado intervalo de tempo, expressa-se da seguinte forma:

$$\dot{Q} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1.4)$$

Por outro lado a resistência térmica condutiva é proporcional à espessura do elemento na direção do fluxo e inversamente proporcional à condutividade, relacionando-se através da Lei de Fourier :

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.5)$$

k – condutividade térmica [W/m.°K]

A – Área de transferência de calor normal à direção do fluxo [m²]

T – temperatura [°K]

x – Espessura, percurso do fluxo [m]

Ou por analogia com a resistência elétrica dada pela lei de Ohm [7].

$$\dot{Q} = -\frac{\Delta T}{R'} \quad (1.6)$$

R' – Resistência térmica [°K/W]

Em qualquer processo tendente para o equilíbrio, os fluxos estabelecem-se no sentido do potencial mais elevado para o mais baixo, acontecendo que parte do calor em trânsito através das camadas de material vai ficando armazenado, sendo a parte a transferir cada vez menor, podendo, em função do tempo (Δt), esse equilíbrio acontecer quando se inverterm as condições do ambiente envolvente, invertendo-se, então, o sentido do fluxo de calor. À oscilação das temperaturas exteriores corresponderá uma oscilação na temperatura interior, mas sofrendo um amortecimento e um atraso em função da capacidade de acumulação térmica da parede [6].

Este mecanismo de acumulação e transferência de calor associado à capacidade calorífica dos materiais que determina a inércia térmica que é um parâmetro manifestamente importante para a garantia do conforto térmico no ambiente interior dos edifícios. É possível reter-se o calor excessivo numa fase e libertá-lo na fase de carência, admitindo-se, no entanto que, a sobreposição dos ciclos diários com os sazonais, possa levar a que se verifiquem extremos de carência das condições de conforto térmico tanto na estação quente como na estação fria.

2.4. A SIMULAÇÃO DINÂMICA

Através da História é possível perceber que harmonizar as cargas térmicas com o conforto e com o desempenho energético das construções era considerado e resolvido através do conhecimento científico disponível, do conhecimento empírico e da intuição.

Hoje é possível trabalhar analiticamente essas variáveis para encontrar soluções equilibradas e sustentáveis sobre vários pontos de vista, uma vez que se encontram quantificados e validados cientificamente os dados necessários: climáticos, características dos materiais, parâmetros de conforto e da qualidade do ar. Tornou-se acessível e corrente o cálculo eletrónico, quer seja

através de folhas de cálculo ou de *software* dedicado, sendo o *EnergyPlus*, *software*, que se detalhará mais à frente, um dos motores de cálculo mais utilizado e normalmente integrado ou associado a outras aplicações comerciais ou de utilização livre (*freeware*) que facilitam a introdução de dados gráficos e alfanuméricos, a interpretação de resultados, a verificação dos regulamentos em vigor aplicáveis à arte e a emissão dos relatórios, tanto para análise como para a instrução dos processos de licenciamento dos projetos de engenharia.

As ferramentas de simulação dinâmica permitem criar múltiplos cenários e obter resultados através de uma matriz complexa de *inputs* com um dispêndio de tempo reduzido. [8]

2.5. AS PATOLOGIAS DE CAUSAS HIGROTÉRMICAS

Ver-se-á mais à frente as ações de origem térmica que poderão implicar perda ou alteração da função dos elementos de construção ou das condições de salubridade do ambiente e também pela ação da água ou da humidade.

As patologias por causas térmicas mais comuns, em geral, são a fissuração, a fratura, a alteração da linearidade, a desagregação de partículas, o descolamento de materiais diferentes, etc., ocorrem em geral em superfícies extensas e em pontes térmicas por dilatação térmica.

As patologias provocadas pela humidade, pela água resultante de condensação, pela variação do teor de humidade dos materiais, ou por infiltração e propagação por capilaridade são fenómenos, em geral, facilitados por eventos térmicos, cuja propagação se faz através das fraturas e fissuras, levando à degradação dos materiais. A condensação pode verificar-se nas superfícies, em pontes térmicas e na superfície dos envidraçados, ou de outros elementos delgados, no interior dos materiais, nas superfícies interiores das caixas de ar e septos de tijolos furados, pela conjugação do teor de humidade interior do material com a temperatura de ponto de orvalho [9]. A degradação dos revestimentos, em especial as pinturas, por ação da radiação ultravioleta associado ao empolamento causado por evapotranspiração da massa material ou simplesmente pela insuficiência de elasticidade para acompanhar a dilatação, entram em rotura permitindo o funcionamento da corrosão eletroquímica e do apodrecimento anaeróbico ou por arejamento diferencial.

2.6. A ENERGIA PARA ALÉM DO FUNCIONAMENTO

A energia na construção e desconstrução (demolição), a energia incorporada durante a fabricação e colocação em obra de materiais e componentes, assumem valores a considerar em qual-

quer processo de investimento tanto do ponto de vista meramente económico como na envol-
vência ambiental. O diagrama da Figura 1 [10] procura explicitar o processo de desconstrução
associado à substituição de edifícios em fim de vida, sugerindo a reciclagem e o reaproveita-
mento dos materiais na construção civil.

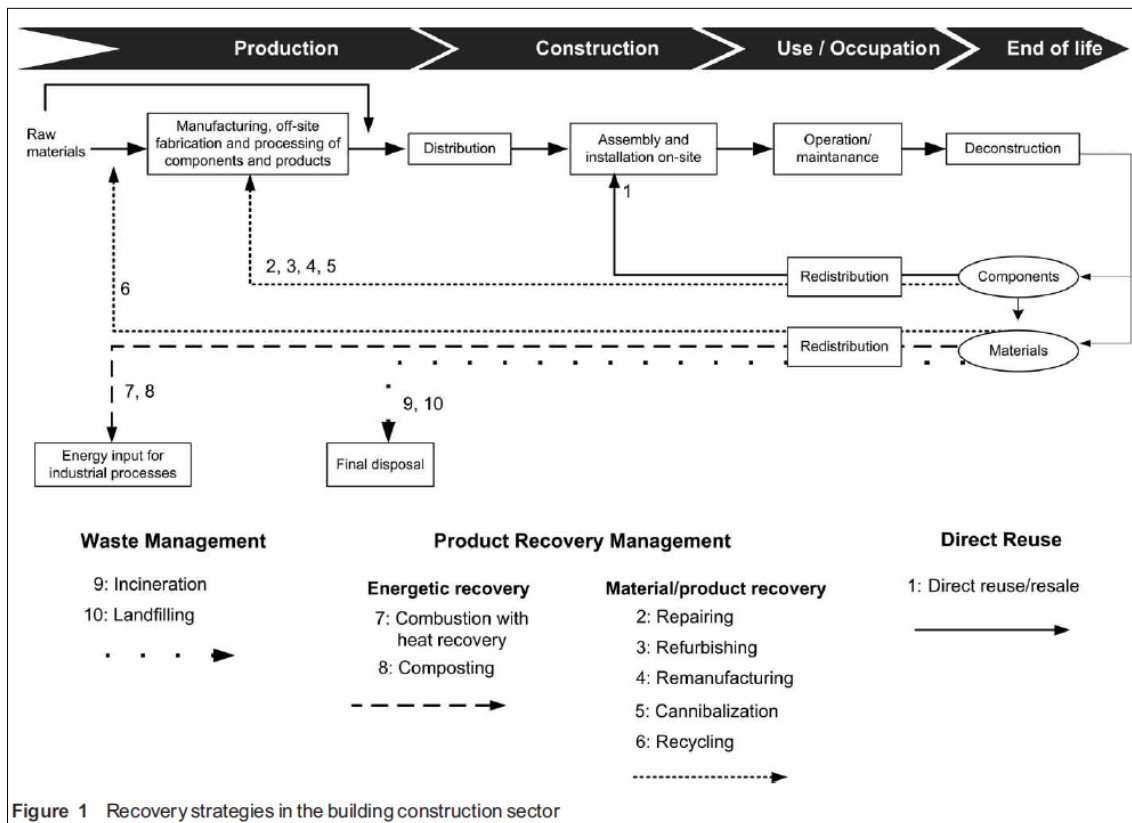


Figura 1 - Diagrama do ciclo de reciclagem e reaproveitamento dos materiais de construção. [10]

A questão deve ser vista também no âmbito das intervenções de restauro, reabilitação e de con-
servação, questionando a substituição de elementos construídos, ou instalados, através da decla-
ração de inutilidade ou de incapacidade para desempenho das futuras funções, muitas das vezes
baseadas em perspectivas descontextualizadas e em avaliações subjetivas. A desmobilização
destes materiais tem custos energéticos operacionais e de energia incorporada nos materiais a
aplicar, e a destruição da energia incorporada nos materiais e componentes a desmobilizar. [11]

Estes custos energéticos, normalmente avaliados em unidades energéticas [kWh], no limite po-
dem ser avaliados em unidades pecuniárias [€] como equivalente energético.

Defender a preservação ou a desmobilização dos elementos de construção exige bom senso, já que os valores energéticos e ambientais têm um equivalente económico que não pode ser descurado.

2.7. ARQUITETURA SOLAR PASSIVA

A arquitetura solar passiva assenta na concepção dos edifícios com vista a tirar o melhor partido possível do aquecimento através dos ganhos solares, da limuninação natural, do aproveitamento da inércia térmica, da ventilação natural para garantir a adequada qualidade do ar e a climatização através do arrefecimento, seja direto ou evaporativo.

As principais medidas assentam em técnicas como:

[6]”...

- *O controlo da quantidade de calor que atravessa a envolvente através de sombreamento ou isolamento térmico;*
- *O aproveitamento das massas térmicas;*
- *O controlo da radiação nos envidraçados através de sistemas de sombreamento e isolamento móveis;*
- *O arrefecimento radiativo e evaporativo através de cortinas de água, de repuxos ou de superfícies húmidas;*
- *A ventilação e iluminação natural através dos vãos funcionais, de vãos de ventilação e iluminação, claraboias, lanternins, chaminés e torres de ventilação.”*

As questões bioclimáticas, como já foram referidas de outra forma, remontam de mais de dois séculos nas construções vernaculares. Só há poucas décadas a sensibilização para as técnicas passivas perdeu a importância com o aparecimento dos equipamentos eletromecânicos de climatização, vidros e materiais de construção de tecnologia refinada que poderiam ter contribuído para a melhoria da qualidade global das construções, mas, pelo contrário, deram liberdade aos projetistas para conceberem edifícios alheios ao enquadramento no meio ambiente, acabando altamente dependentes de ajudas energéticas artificiais e vulneráveis a patologias higrotérmicas. Por isso os arquitetos e mesmo os leigos, em séculos anteriores, estavam mais preocupados com a “Arquitetura Solar Passiva” ou com a “Arquitetura Bioclimática”, aplicando-a como uma necessidade funcional básica [6].

Quando se trata de abordar a reabilitação dos edifícios, a “liberdade” na escolha de soluções é limitada pelo fato do edifício já existir, não ser possível melhorar a orientação geográfica ou

escolher uma melhor implantação ou fazer qualquer outro tipo de alteração estruturante, terão os intervenientes de condicionar as medidas de melhoria ao edifício existente.

Se o edifício está inserido num contexto de malha urbana consolidada onde predominam zonas de proteção a edifícios classificados, frentes urbanas ou sítio referenciado no âmbito de qualquer instrumento de gestão territorial que condicionem as intervenções arquitetónicas, a limitação será maior [12]. Por sorte muitos destes edifícios foram projetados e construídos antes da “febre perniciosa de modernidade”, em geral, edifícios com paredes resistentes de elevada espessura em alvaria monolítica de baixa condutividade térmica, inércia térmica elevada, sistemas de fenestração assentes em envidraçados com caixilharia em madeira com proteções opacas pelo interior e pelo exterior, cobertura em telhado sobre esteira leve, boas chaminés, postigos de ventilação e iluminação, e mais dispositivos favoráveis ao bom desempenho energético e de salubridade.

Na intervenção em edifícios cuja identidade e valores culturais intrínsecos importam preservar quer por imposição legal, quer pelo valor estimativo que representam, há que ter em conta o conceito de reversibilidade.

[9] *“Reversibilidade – é o conceito de levar a cabo um trabalho num edifício ou em parte deste, de forma que este possa retornar ao estado anterior, num qualquer momento futuro, com apenas alterações mínimas produzidos na construção, sem modificar qualquer dos elementos que lhe conferem autenticidade.”*

2.8. SÍNTESE

Após esta curta abordagem à questão da eficiência energética dos edifícios, orientada para os edifícios antigos de características vernaculares, importa sistematizar os aspetos a observar e as atitudes a tomar. [13]

Importa ainda considerar que os resultados obtidos serão afetados em curto prazo, inevitavelmente, pela adaptação dos materiais ao ambiente e ao funcionamento, como seja a alteração de cor e brilho das pinturas e a consequente modificação do desempenho radiativo, a alteração de estanqueidade e a sua relação com as infiltrações, entre outras, o que quer dizer que a conservação e manutenção têm que ser consideradas logo em fase de projeto e não mais esquecidas.

Muitas outras matérias e considerações não menos importantes poderiam ter sido trazidas a reflexão neste contexto, algumas mereceriam maior aprofundamento, no entanto, o caminho inicial, por vezes preconceituoso, deixa barreiras que limitam os percursos mais adequados.

3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

3.1. HISTÓRIA

Não será propósito deste trabalho o levantamento da história do edifício, no entanto o conhecimento de alguns de detalhes é fundamental.

A História não poderá ser encarada como um repositório de lembranças inconsequentes, mas como um espaço interpretativo das múltiplas áreas de conhecimento, em particular, conhecer as épocas das suas mutações e os fins a que se destinaram, ajudam a recolher os métodos e técnicas de construção, as exigências funcionais e relacioná-las, neste caso com o desempenho energético.

Nas pesquisas efetuadas ao material bibliográfico mais acessível, nomeadamente no título “Faro Edificações Notáveis”, publicado pela Câmara Municipal de Faro, 1995, subscrito pelo prof. Francisco Lameira, de entre as cem edificações referidas nada consta sobre o edifício em estudo. No entanto, duas pequenas notas encontradas na *internet* abrigam alguma informação útil:



Figura 2 - Fachada

[14], “Embora a fachada mantenha traços do século XVIII, o restante edifício sofreu grandes alterações. Pertenceu a Domingos Guieiro no final do século XIX. De entre as remodelações feitas no século XIX por este proprietário, salienta-se a construção de uma torre de onde se vigiavam os barcos que regressavam da pesca do atum e que, através de sinalização, indicavam a quantidade obtida”.



Figura 3 – Mirante.

[15], “A Escola do Magistério Primário de Faro abriu em meados da década 40 do séc. XX e fechou em 1988, quando passou testemunho à Escola Superior de Educação de Faro.

Funcionou na zona histórica da capital do Algarve, num edifício setecentista que o senhor Dominginhos comprou nos finais do séc. XIX para lhe servir de residência depois de lhe ter construído uma torre com mirante com traços góticos, para dali poder ver as suas salinas.



Figura 4 - Porta fictícia.

Depois de ter sido casa burguesa e escola, o edifício aguarda desesperadamente por obras e enquanto não ganha vida nova vai tendo uma porta fictícia ...

Há quem diga que a casa de Domingos Guieiro vai ser hotel de charme ...”

Pode concluir-se que o atual edifício resulta da reabilitação de um edifício existente, cujo uso inicial terá sido habitação burguesa, posteriormente escola e desde 1988 encontra-se sem uso.

3.2. A ARQUITETURA

Trata-se de um edifício com cêrcea de dois pisos funcionais e uma torre elevada em um piso acima da cobertura.

A implantação é de uma planta em “T” formada por dois volumes ligados por um istmo de dois pisos em corredor de circulação.

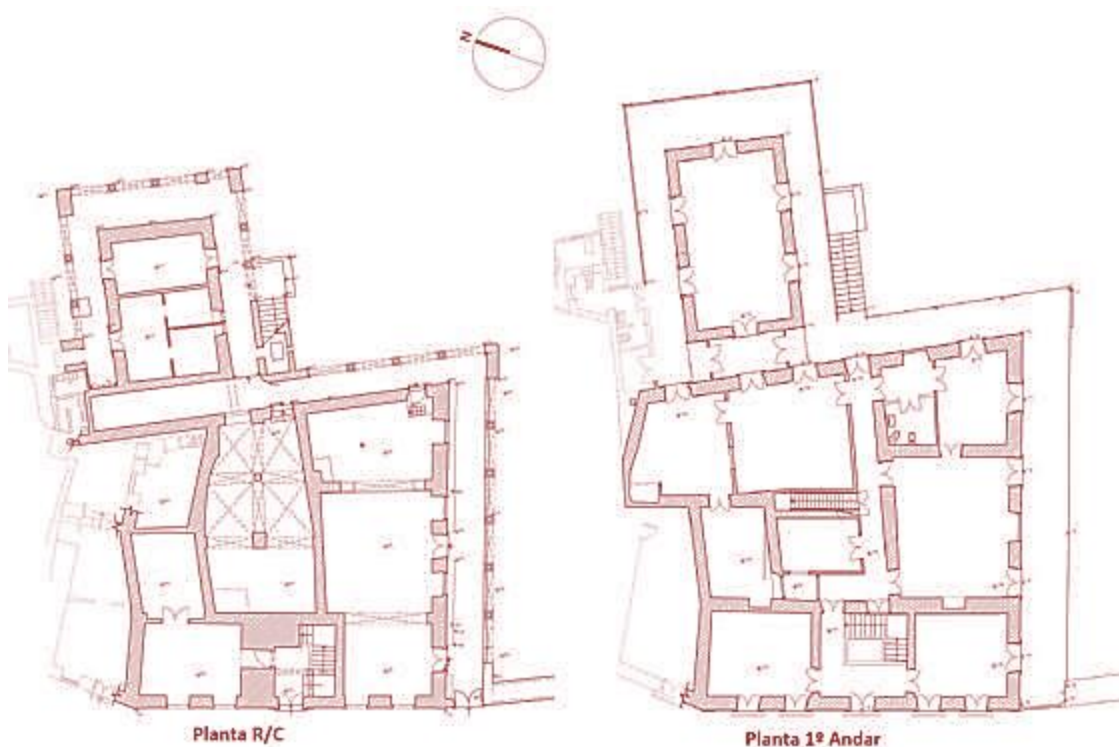


Figura 5 – Plantas.

O piso térreo é constituído por três espaços que se articulam através de corredores cobertos por varanda suportada por arcos e dois que, comunicando entre si, se ligam ao piso superior, internamente, através do átrio da escadaria da entrada principal e ao exterior através de duas janelas no alçado principal.



Figura 6 - Vista geral do edifício

Um dos espaços comporta a fachada sul, comunica com o exterior através de três portas, quatro janelas e um postigo, e não tem qualquer comunicação interior com o resto do edifício; outro, um espaço interior comunica com o exterior através de uma porta e uma janela, também não tem comunicação interior com o resto do edifício, no entanto comporta uma comunicação vertical para ventilação e iluminação, constituída por um saguão de dimensões generosas; o terceiro espaço está dividido em três pequenas salas, todas se ligam ao exterior através de portas ou janelas e também não têm comunicação interior com o resto do edifício. Os revestimentos interiores destes espaços são simples, não apresentam qualquer aplicação decorativa.

O piso superior é a zona nobre do edifício com características residenciais, é constituído por onze compartimentos e dois corredores; todos os espaços têm luz e ventilação natural através de vãos exteriores ou de um saguão. Tem dois salões luxuosos, um espaço de cozinha, instalações sanitárias e os restantes compartimentos têm geometria aproximadamente quadrada, dimensões e decoração mais contidas. Este piso é circundado por uma varanda que estabelece a ligação através de escadas com um logradouro ajardinado. É também através deste piso que se faz a ligação à torre-miradouro por meio de uma escada interior em madeira.



Figura 7- Detalhe interior

A torre é composta por um piso intermédio ao nível da cobertura, a partir do qual é lançada outra escada em madeira para o seu terraço, a cerca de 14,50 m acima da soleira, ou seja, à cota absoluta de 22,10 m.

3.3. A CONSTRUÇÃO

O edifício está implantado na zona mais alta da cidade velha a uma cota média de 8,00 m. Assume-se que as fundações sejam diretas ao solo através de muros de pedra aparelhada, construídos em caboucos escavados no terreno, sobre os quais foram construídas as paredes mestras que estruturam o edifício.

O pavimento térreo está construído sobre o solo e revestido por ladrilho cerâmico regional.

As paredes resistentes são em alvenaria de pedra calcária macia e muito macia, com preenchimentos pontuais em tijolo maciço e encasques em ladrilho cerâmicos, tudo ligado por argamassa bastarda de cal aérea e areia, revestido por reboco de argamassa bastarda de cal e areão. A espessura das paredes varia entre 0,60m e 0,80m, sendo contraventadas no piso térreo com arcos de alvenaria idêntica à das paredes, tanto no material como na espessura. Estas paredes desenvolvem-se em geral até à cobertura com as mesmas características dimensionais e construtivas.

O pavimento do piso superior é de três tipos: na zona central do edifício, que será a mais antiga, o pavimento é em abóbada de alvenaria suportada por arcos, nos flancos Norte e Sul os pavimentos são em solho de pinho suportado por vigeamento de madeira com revestimento inferior em placas de gesso e estopa e os pavimentos do corpo a nascente e do terraço envolvente são constituídos por laje vigada com perfis tipo “IPE” em aço e abobadilhas de alvenaria rebocada, revestido superiormente por mosaico hidráulico. As paredes e os tabiques no piso superior são revestidos com estuque, lambris em azulejos nos corredores e instalações sanitárias, os tetos em forro de madeira de pinho pintada, exceto numa sala em que as paredes e o teto são revestidos com azulejo e madeira. A cobertura do edifício é um desvão ventilado com estrutura de madeira formada por um sistema comum de asnas, madres, varas e ripado, revestida por telhas de canudo, sendo a cobertura da torre em terraço.

A drenagem de águas pluviais faz-se através de uma rede de algerozes.



Figura 8 - Detalhes construtivos.

O pé direito do piso térreo é em geral inferior a 3,00m, mas no piso superior predomina o valor de 4,50m, 8,00m para o saguão e 5,9m para a sala da torre.

3.4. DISPOSITIVOS DE VENTILAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO PASSIVA

3.4.1. SAGUÃO

O saguão, com uma secção de 2,40m², desenvolve-se no interior do edifício a partir do piso térreo, sendo fechado na cobertura com uma claraboia hermética. As suas três janelas no piso superior, abertas para as salas adjacentes interiores e para o corredor, proporcionam-lhes luz da claraboia e temperatura estabilizada proveniente do piso térreo.

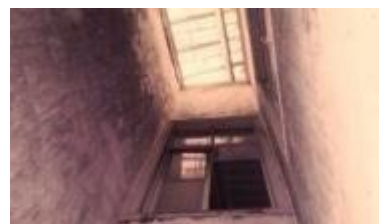


Figura 9 - Saguão.

3.4.2. TORRE

A torre, o elemento mais elevado do edifício (14,50m), onde se admite que seja explorado o efeito de chaminé para promover a circulação ascendente do ar, estabelece a ligação do corredor central do piso superior com o terraço e é seccionada ao longo do percurso por três portas. A sala da torre tem quatro janelas envidraçadas de grande dimensão (4,90m² cada), uma em cada face, sem proteção opaca, permitindo a troca de ar com o exterior através de duas folhas móveis na base (1,30m²).



Figura 10 - Interior da Torre.

3.4.3. CIRCULAÇÕES INTERNAS

A ligação entre os dois corpos do edifício faz-se com o exterior através de dois vãos envidraçados com cerca de 10m², um orientado a Sul e outro a Norte. Estão implantados em posição recuada da face exposta, em cerca de 1m, e são rematados superiormente por uma extensão da laje de cobertura. Este conjunto de características permite aceitar que uma correta manobra de abertura ou fecho destes vãos, em boa articulação com os dispositivos da torre, permite gerir ganhos e perdas de calor para o interior do edifício.



Figura 11 – Estufa.

Um corredor central ao corpo principal do edifício assegura a circulação entre a escadaria da entrada principal e o seu tardoz. Este corredor comunica diretamente com a maioria dos compartimentos, proporciona a ventilação cruzada no piso superior e a distribuição de luz natural.

3.4.4. OUTROS DISPOSITIVOS

O teto da sala do bloco principal é constituído por um forro em madeira, elegantemente produzido, que incorpora vários elementos decorativos. Existem algumas aberturas que permitem a circulação de ar para o desvão da cobertura.



No salão do bloco posterior o forro do teto é um gradil de madeira para suporte de azulejos, cujas juntas estão propositalmente abertas para permitir a circulação de ar entre a sala e o desvão.



Figura 12 - Teto ventilado.

Estas salas pelas suas características, de dimensão e de decoração, permitem admitir que se destinassem a receber uma forte ocupação humana, sendo necessário promover uma forte renovação de ar.

Também a cobertura está equipada com pequenas chaminés cerâmicas cujas funções ultrapassam a colaboração com os sistemas de ventilação do edifício. Estas se destinam essencialmente a promover a ventilação do telhado necessária à higienização das estruturas de madeira com vista à sua longevidade.



Figura 13 - Telha de ventilação.

3.5. PATOLOGIAS DEVIDAS A CAUSAS TÉRMICAS

A generalidade das patologias hoje identificadas deve-se principalmente à falta de manutenção e conservação, uma vez que desde 1988 o edifício deixou de ter qualquer utilização.

Embora as patologias como a desagregação de rebocos, a fissuração superficial e até as fraturas estruturais se relacionem com as variáveis de clima, temperatura e humidade, é certo que o seu agravamento poderia ter sido contido pela conservação e restauro, pelo que estas patologias não deverão ser relacionadas apenas com estas variáveis climáticas.



Figura 14 - Corrosão em vigas.

Foram notadas patologias em elementos estruturais, cuja causa primeira e maior, se deve à grande diferença do coeficiente de dilatação térmica dos materiais. São exemplos disso, as varandas que circundam o edifício, bem como a laje do istmo de ligação entre blocos, que são constituídas por perfis em aço e abobadilhas de alvenaria, materiais cujos coeficientes de dilata-

ção se relacionam numa proporção de aproximadamente 2:1, o recobrimento do aço é singelo e inexistente na face inferior. Estas estruturas estão expostas à radiação solar direta durante a maior parte do dia. A descolagem entre o aço e a alvenaria é campo fértil para o alojamento de biomassa, de água proveniente de condensação e de infiltração alimentando vários tipos de corrosão, especialmente eletroquímica e bioquímica.

Não é evidente a existência de pontes térmicas, embora se admita condições favoráveis para isso. Os dois cunhais do alçado principal são em calcário rijo com faces expostas, os outros cunhais estão revestidos por reboco em relevo, em bom estado de conservação e total integridade, não permitindo confirmar se são constituídos por alvenaria de calcário rijo aparelhado como é normal neste tipo de edifícios. Estes cunhais por serem de material mais denso e por terem duas faces expostas ao exterior são elementos de grande variação térmica, o que facilita a condensação da água, a fissuração e até a fratura da alvenaria. Nenhuma desta sintomatologia, relacionável com causas térmicas, foi encontrada. Mas, também se pode admitir que, por estarem revestidos por uma camada espessa de argamassa bastarda, material de baixa condutividade térmica e razoável resistência à tração, tenha um efeito retardador e dissipador dos fluxos de calor, baixando a concentração de perdas e logo não se verificarem patologias de causas térmicas. A forte ventilação do edifício também não facilita as condensações.

4. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

4.1. INTRODUÇÃO

Com a massificação da construção de edifícios em betão armado e alvenaria de tijolo cerâmico furado alimentou-se a memória do desconforto térmico, das condensações interiores e os consequentes bolores e odores inerentes. O mercado, as tendências sociais e o maior acesso à energia final, levaram à satisfação das necessidades de conforto através de meios ativos que facilmente se adquiriam e instalavam. A atitude levou a consumos de energia elevados, atingindo o setor dos edifícios residenciais e de serviços valores superiores à média nacional.

Portugal, em 6 de Fevereiro de 1990, publica o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), o primeiro instrumento legal que impõe os requisitos de projeto para os edifícios novos e para os que fossem alvo de grandes remodelações, excluindo apenas os situados em zonas históricas ou edifícios classificados, para salvaguarda da satisfação das necessidades de conforto térmico sem consumos excessivos de energia, quer na estação de arrefecimento, quer de aquecimento. [16]

As dinâmicas geradas pelo Protocolo de Quioto (1997) solidificaram discussões e políticas globais em torno das questões do ambiente e da energia que levaram a União Europeia a produzir a Diretiva 2002/91/CE, aprovada em 16 de Dezembro de 2002 e publicada em 4 de Janeiro de 2003. Este documento impôs aos estados membros a sua transposição para regulamentos nacionais que melhorassem o comportamento térmico dos edifícios novos e dos que fossem objeto de grande remodelação e que também contabilizassem as necessidades de energia para a produção de água quente sanitária (AQS) através de painéis solares térmicos, mas observando a viabilidade técnica e económica. [17]

A Diretiva n.º 2002/91/CE, foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através dos:

- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE-QAI),
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Este pacote legislativo esteve em vigor até Dezembro de 2013.

4.2. REGULAMENTAÇÃO EM VIGOR

O Parlamento Europeu publicou a Diretiva n.º 2010/31/UE em 19 de maio de 2010, cuja transposição para a regulamentação nacional é feita através da publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, documento que se anuncia como:

[18] “... *uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma:*

- *O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE),*
- *O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e*
- *O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS),*
- *Vem atender simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de carácter predominantemente técnico.*
- *Promove a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando:*
- *O REH a incidir exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e*
- *O RECS a incidir sobre os edifícios de comércio e serviços. ...”*

Esta regulamentação entrou em vigor no princípio de dezembro de 2013 com a publicação de um pacote legislativo composto por cinco portarias e dez despachos. Documentos que vêm apresentar as regras técnicas e os parâmetros a usar.

4.3. VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

Os regulamentos acima referidos poupam os edifícios históricos e todos os que não forem alvo de obras de grande remodelação.

O edifício em estudo não será alvo de grande remodelação, não se enquadra assim no âmbito do n.º 1 do Artigo 3.º - Âmbito de aplicação positivo, e está integrado em sítio classificado: os espaços urbanos históricos, definidos no art.º 53 do Regulamento do Plano Diretor Municipal de Faro, enquadrando-se no Artigo 4.º - Âmbito de aplicação negativo, do Decreto-Lei n.º

118/2013 de 20 de Agosto e ainda por estar dentro da zona de proteção a edifício classificado, a Sé de Faro.

4.4. TÓPICOS ORIENTADORES

A regulamentação atual incentiva à utilização de sistemas e soluções passivas nos edifícios, com vista à redução dos consumos de energia devidos aos sistemas ativos de climatização, anuncia o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, uma meta a atingir nos edifícios novos a partir de 2020 e privilegia a ventilação natural em detrimento da ventilação mecânica. [18]

Estes três tópicos dão impulso à avaliação da arquitetura solar passiva dos edifícios existentes, ao mesmo tempo geram o estímulo da adição de dispositivos que beneficiem a climatização passiva e o enriquecimento da cultura do bom uso dos recursos energéticos, à consequente redução do desperdício e das falsas necessidades.

Em muitos dos edifícios existentes, o objetivo traçado para 2020 pela regulamentação já poderá ser atingido atualmente bastando para isso o empenho dos técnicos e dos utilizadores envolvidos.

5. SIMULAÇÃO DINÂMICA

5.1. INTRODUÇÃO

Tendo por objetivo interpretar o comportamento térmico do edifício e dos seus elementos de construção, recorreu-se a programas informáticos que possibilitassem explorar, com o detalhe possível, os elementos da envolvente exterior do edifício.

Programas informáticos usados:

- *Energy Plus, versão 8.1, do US Department of Energy*
- *Google-SketchUp, versão 8, da Trimble Navigation Limited*
- *Plugin Legacy OpenStudio, versão 1.0.11, do National Renewable Energy Laboratory, desenvolvido para o US Department of Energy*

Este “pacote” inclui um motor de cálculo, o *Energy Plus*, que, por sua vez, integra um conjunto de ferramentas de introdução de dados alfanuméricos, parametrização, edição, correção, análise de resultados e conversão de versões; um *plugin*, o *Legacy OpenStudio* que para além de fazer a integração com o motor gráfico *Google SketchUp*, permite completar a parametrização, fazer a análise gráfica e acionar os meios de cálculo. Este conjunto de programas informáticos está disponível na *internet* e é de utilização livre.

De entre as várias combinações possíveis das diferentes versões destas aplicações informáticas, após vários testes, deu-se preferência ao conjunto de interface menos amigável por ser o que gerava menos erros de tradução da informação trocada entre as aplicações.

5.1.1. ENERGYPLUS

O *EnergyPlus* tem origem no *software* BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e no DOE-2, ambos desenvolvidos na transição da década de 1970 para a década de 1980 como ferramentas de simulação dinâmica das cargas energéticas dos edifícios e do seu consumo global de energia. O objetivo inicial era auditar os projetos de engenharia e arquitetura dos edifícios com vista à optimização dos sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), e como instrumento de apoio às análises de desempenho económico e energético. Estas ferramentas resultaram das dinâmicas geradas pela crise do início da década de 1970 e do reconhecimento que o sector dos edifícios norte-americanos era responsável por consumos avul-

tados de energia. Qualquer delas tentou resolver, de forma diferente, o mesmo problema, com méritos e insuficiências, defensores e críticos, e são utilizados dentro e fora dos Estados Unidos.

Tal como os seus progenitores, o *EnergyPlus*, é uma ferramenta de análise e de simulação dinâmica de cargas térmicas, partindo da descrição física do edifício, dos sistemas mecânicos instalados, da utilização e do clima exterior. O *EnergyPlus* calcula as cargas necessárias para manter os valores nominais de controle térmico através de sistemas de AVAC, calcula os detalhes das cargas nas baterias de aquecimento e de arrefecimento e os consumos globais de energia do edifício necessários ao confronto com o funcionamento real do edifício. O *EnergyPlus* mantém muitas das características dos seus progenitores, destacando-se as seguintes:

- Integração simultânea de soluções das respostas do edifício, e dos sistemas primário e secundário;
- Intervalos de tempo ajustáveis para permitir relacionar o clima local com as zonas térmicas e com os sistemas de AVAC, com variação automática dos intervalos para garantir a estabilidade do ambiente interior;
- Ficheiros de dados climáticos, ficheiros de entrada e de saída de dados e resultados em texto ASCII, configuração de intervalos de tempo inferiores a uma hora, das variáveis do clima envolvente e dos relatórios de resultados;
- Soluções baseadas em balanços de calor, técnica para o cálculo das cargas térmicas dum edifício que permite determinar em simultâneo os efeitos radiativo e convectivo nas superfícies interior e exterior em cada intervalo de tempo;
- Transmissão de calor em regime transitório através dos elementos de construção do edifício tais como paredes, coberturas, pavimentos, etc.;
- Modelação melhorada da transferência de calor através do terreno, a partir da modelação tridimensional em diferenças finitas dos terrenos e de modelos simplificados de análise;
- Modelo de combinação dos balanços de energia e massa que têm em conta a absorção e a rejeição de humidade, quer através dos elementos constituídos por camadas, quer através de um modelo de penetração efetiva de humidade (*EMPD - Energy Management and Power Delivery*);

- Modelação do conforto térmico, baseado na atividade, na temperatura de bolbo seco do ar interior, na humidade, etc.;
- Modelo anisotrópico de clima que permite o cálculo da radiação difusa em superfícies inclinadas;
- Cálculo avançado de aberturas nas fachadas (janelas, portas e outros), incluindo o controlo da ocultação de envidraçados, vidros eletrocromáticos, balanços de calor por camadas permitindo a atribuição das quantidades de energia absorvidas pelos panos de janela e biblioteca de desempenho de vários envidraçados existentes no mercado;
- Controlo da iluminação natural, incluindo o cálculo da iluminação interior, simulação e controlo de brilho forte, de candeeiros, e o efeito da redução da iluminação artificial no aquecimento e no arrefecimento do ambiente;
- Configuração de sistemas de climatização quer aqueles em que se controla a temperatura das superfícies da envolvente interior (pisos, paredes e/ou tetos radiantes), quer sistemas de fluxo de ar com temperatura controlada (AVAC), permitindo a modelação de sistemas típicos e ligeiramente modificados sem recompilação do código de programação;
- Cálculo da emissão de poluentes, CO₂, SO_x, NO_x, CO, partículas sólidas e hidrocarbonetos produzidos no local ou remotamente;
- Ligação com outras aplicações informáticas de simulação dinâmica, tal como o *WINDOW 5 e 6* e *DELight* para permitir maior detalhe na análise dos componentes de construção.

O *EnergyPlus* pretende operar com diferentes opções de projeto de edifícios e de AVAC, tanto direta com indiretamente, através da ligação com outras ferramentas informáticas para calcular as cargas térmicas e os consumos de energia, a partir do dia típico de projeto ou de um período mais alargado de tempo podendo ser superior a um ano.

Não sendo uma interface deve ser considerado um motor de cálculo. A entrada de dados e a saída de relatórios é feita através de ficheiros de texto ASCII facilmente decifráveis, característica que facilita a sua integração com ferramentas de interface gráfica como seja o *Google SketchUp*, através da aplicação de ligação *OpenStudio* e de outros conjuntos de ferramentas disponíveis no mercado.

Não é uma ferramenta de análise de desempenho económico, produz resultados para municiar aplicações informáticas apropriadas, desenvolvidas respeitando as leis em vigor e as boas práticas da economia e da gestão.

O *EnergyPlus* também não é uma ferramenta de projeto de arquitetura ou engenharia aferida a normas e leis em vigor, nem está equipado com proteções contra erros de introdução de dados e não interpreta resultados, apenas dá conta do que não conseguiu resolver ou poderá ter resolvido incorretamente devido a dados inadequados ao seu bom funcionamento, ou seja quando se lhe fornece “lixo” ele devolve “lixo”. [8]

5.2. INTRODUÇÃO DE DADOS

Com a observação do edifício foram retidas as características dos materiais utilizados, a orientação geográfica, os dispositivos de climatização, as funcionalidades ambientais e as condicionantes da envolvente.

A modelação foi realizada em *Google SketchUp*.

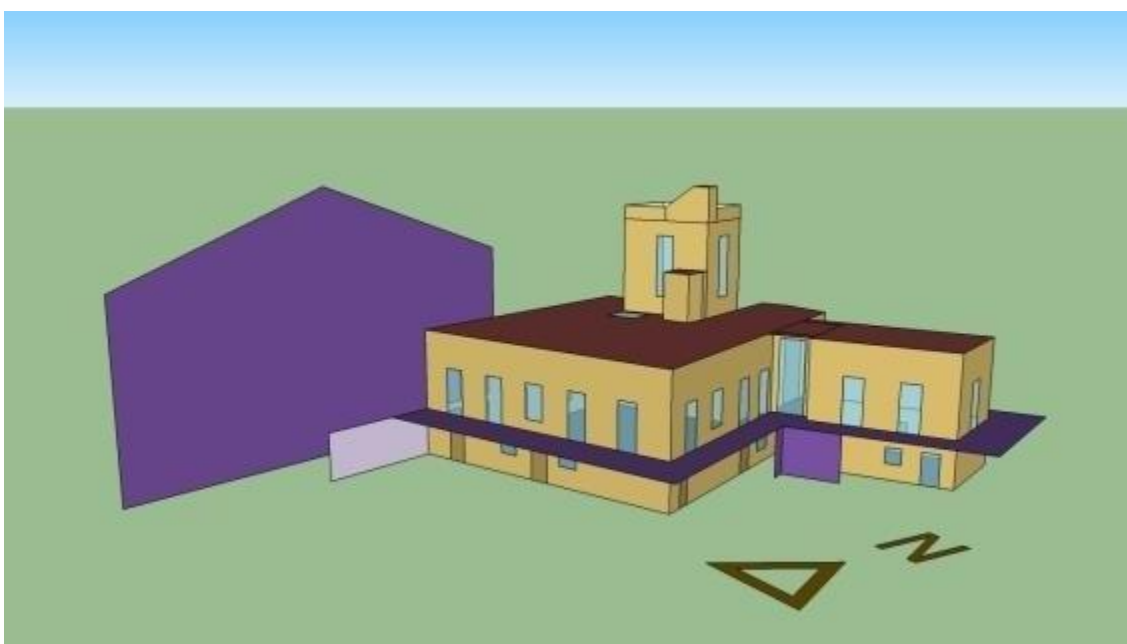


Figura 15 – Modelo 3D do edifício.

5.2.1. DADOS CLIMÁTICOS

Foram usados os dados climáticos da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) para Faro através dos ficheiros *Location and Design Day Data* e *Weather File*, o primeiro ficheiro contém os dados de localização geográfica do lugar e os

perfis climáticos dos dias típicos de inverno e de verão, o segundo contém os dados climáticos do sítio.

LOCALIZAÇÃO

- Nome: FARO_PRT Design_Conditions
- Latitude [grau]: 37,02
- Longitude [grau]: -7,97
- Fuso horário (Greenwich) [h]: 0
- Cota [m]: 4

PERÍODO DE SIMULAÇÃO

- 01 de janeiro – 31 de dezembro
- Dias especiais (fim-de-semana, feriados) – 0 (zero)

DIA TÍPICO DE PROJETO:

- Inverno – 21 de janeiro
- Verão – 21 de julho

HORÁRIO DE VERÃO

- Início – último domingo de Março
- Fim – último domingo de Outubro

5.2.2. HORÁRIOS (*SCHEDULES*)

Foram estabelecidos perfis horários para a determinação de cargas térmicas devidas a:

- Ocupação
- Atividade
- Iluminação
- Equipamentos
- Ventilação/infiltração
- Sombreamento de vãos envidraçados

5.2.3. MATERIAIS

Os materiais identificados com relevância para o desempenho energético do edifício foram agrupados de acordo com as características funcionais do *software* em uso.

Foram usados os materiais opacos descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Materiais opacos.

Material	Rugosidade	Condutividade [W/m-K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]	Absortividade térmica	Absortividade solar	Absortividade óptica
Alvenaria de Calcário Macio	Média	0,85	1590,00	920,00	0,90	0,70	0,70
Argamassa de Cal e Areia	Média	0,80	1600,00	900,00	0,90	0,70	0,70
Ladrilho Cerâmico de Barro Vermelho	Média	1,15	1900,00	920,00	0,90	0,70	0,70
Betão	Grande	2,15	2400,00	900,00	0,90	0,70	0,70
Lã de Rocha 35kg/m ³	Grande	0,05	35,00	750,00	0,90	0,70	0,70
Madeira Abeto	Suave	0,15	600,00	1630,00	0,90	0,70	0,70
Madeira Pinho	Média	0,23	700,00	1170,00	0,90	0,70	0,70
Mosaico Hidráulico	Suave	1,80	2560,00	790,00	0,90	0,70	0,70
Painel Gesso	Média	0,35	800,00	1090,00	0,90	0,70	0,70

A designação usada no *software* “*Material: no mass*” corresponde a materiais de espessura residual que se entende como películas de aplicação superficial e que condicionam a transmissão da energia, incluindo nas suas características a resistência térmica, idêntica à resistência térmica superficial definida no RCCTE e que se listam no Quadro 2.

Quadro 2 - Materiais sem massa.

Material	Rugosidade	Resistência Térmica [m ² ,K/W]	Absortividade Térmica	Absortividade Solar	Absortividade da Luz
Resistência Térmica Superficial Exterior – Tinta Cal	Suave	0,04	0,12	0,7	0,7
Resistência Térmica Superficial Interior - Tinta Clara	Suave	0,13	0,3	0,7	0,7
Resistência Térmica Superficial Exterior – Tinta Verde Escuro	Suave	0,04	0,7	0,7	0,7
Resistência Térmica Superficial Interior – Tinta Verde Escuro	Suave	0,13	0,7	0,7	0,7

Os materiais transparentes ou translúcidos constituem o terceiro grupo de materiais considerados no modelo. Neste caso foi usado somente o vidro simples de 3 mm de espessura com superfícies iguais em ambas as faces, cujas características constam do Quadro 3.

Quadro 3 - Material dos Envidraçados.

Nome	Vidro claro de 3 mm
Tipo de Dados Ópticos	Média Espectral
Espessura [m]	0,003
Transmissividade Solar para Incidência Normal	0,837
Refletividade Solar da Incidência Normal (ambas faces)	0,075
Transmissividade visível em Incidência Normal	0,898
Refletividade Visível em Incidência Normal (ambas faces)	0,081
Transmissividade de Infravermelhos em Incidência Normal	0,000
Emissividade Hemisférica dos Infravermelhos (ambas faces)	0,840
Condutividade térmica [W/m,K]	0,900

5.2.4. ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

A designação “*construction*” do *software* corresponde à família de dados que descrevem cada elemento de construção em uso no modelo. Cada um é descrito pelas camadas dos materiais constituintes, sendo daí extraído um conjunto de indicadores físicos usados nos cálculos da simulação dinâmica.

Os diversos elementos de construção e os seus coeficientes globais de transmissão térmica apurados são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Construções.

Elementos de construção	Camadas					U*	U**
						[W/m²,K]	[W/m²,K]
Janela	Vidro claro de 3 mm						5,894
Cobertura em Telhado	Telha Cerâmica de Barro Vermelho	Ar Camada Horizontal	Lã de Rocha 35kg/m3	Madeira de Pinho		0,465	0,497
Parede Exterior	Resistência Superficial Exterior - Tinta Cal	Argamassa de Cal e Areia	Alvenaria de Calcário Macio	Argamassa de Cal e Areia	Resistência Superficial Interior - Tinta Clara	0,829	0,947
Pavimento Térreo	Ladrilho Cerâmico de Barro Vermelho	Alvenaria de Calcário Macio				1,863	2,669
Piso Laje	Mosaico Hidráulico	Argamassa de Cal e Areia	Betão	Argamassa de Cal e Areia	Resistência Superficial Interior - Tinta Clara	2,166	3,337
Porta Exterior	Resistência Superficial Exterior - Verde Escuro	Madeira Abeto	Resistência Superficial Interior - Verde Escuro			1,987	1,987

*- coeficiente global de transmissão térmica considerando a resistência térmica superficial

** - coeficiente global de transmissão térmica sem resistência térmica superficial.

5.2.5. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de madeira de abeto, em duas folhas para manobra e suporte dos vidros.

OCULTAÇÃO E SOMBREAMENTO

A ocultação é feita pelo interior, através de portadas de madeira de abeto em duas folhas.

O Quadro 5 lista as características das portadas interiores.

Quadro 5 – Características do dispositivo de ocultação pelo interior.

Nome		Portada Interior
	Orientação	Vertical
Tábua de persiana	Largura [m]	0,1
	Afastamento [m]	0,08
	Espessura [m]	0,03
	Condutividade [W/m,K]	0,15
	Transmissividade da radiação solar direta	0
	Refletividade Solar da Incidência Normal (ambas faces)	0,5
	Transmissividade da radiação solar difusa	0
	Refletividade da radiação solar difusa (ambas faces)	0,5
	Transmissividade da luz direta	0
	Refletividade da luz direta (ambas faces)	0,5
	Transmissividade da luz difusa	0
	Refletividade da luz difusa (ambas faces)	0,5
	Transmissividade hemisférica de infravermelhos	0
	Emissividade hemisférica de infravermelhos (ambas faces)	0,9
Distância entre a portada e o vidro [m]	0,05	

O sombreamento dos vãos mais expostos à radiação solar direta é feito por persianas de madeira colocadas pelo exterior.

O Quadro 6 lista as características das persianas exteriores.

Quadro 6 – Características do dispositivo de sombreamento exterior.

Nome	Persiana exterior em madeira de refletividade média
Transmissividade solar	0
Refletividade solar	0,5
Transmissibilidade da luz	0,4
Refletividade da luz	0,5
Emissividade hemisférica de infravermelhos	0,9
Transmissividade de infravermelhos	0
Espessura [m]	0,005
Condutividade [W/m,K]	0,15
Distância entre a persiana e o vidro [m]	0,05

MOLDURAS E SEPARADORES DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

A caixilharia de emolduramento dos vidros é constituída por molduras e separadores em madeira de abeto.

O Quadro 7 lista as características dimensionais, óticas e térmicas das molduras e dos separadores dos envidraçados.

Quadro 7 – Características térmicas e óticas de molduras e separadores.

Nome		Porta Estufa	Janelas 3X2	Porta Vidro 2X1	Porta Vidro 1x1W
Moldura	Largura [m]	0,1	0,08	0,08	0,08
	Projeção exterior [m]	0,02	0,02	0,02	0,02
	Projeção interior [m]	0,02	0,02	0,02	0,02
	Condutividade [W/m2,K]	0,13	0,13	0,13	0,13
	Rácio de transmissão térmica entre o centro e o bordo do vidro *	1	1	1	1
	Absortividade Solar	0,12	0,12	0,12	0,12
	Absortividade de luz	0,7	0,7	0,7	0,7
	Emissividade térmica hemisférica	0,9	0,9	0,9	0,9
Separadores	Largura [m]	0,015	0,015	0,015	0,015
	Horizontal	2	3	2	1
	Vertical	3	2	1	1
	Projeção exterior	0,02	0,02	0,02	0,02
	Projeção interior	0,02	0,02	0,02	0,02
	Condutividade [W/m2,K]	0,13	0,13	0,13	0,13
	Rácio de transmissão térmica entre o centro e o bordo do vidro *	1	1	1	1
	Absortividade Solar	0,12	0,12	0,12	0,12
	Absortividade de luz	0,7	0,7	0,7	0,7
	Emissividade térmica hemisférica	0,9	0,9	0,9	0,9

* Este parâmetro relaciona-se com o “efeito de bordo”, caracteriza a faixa periférica do envidraçado através de um coeficiente de transmissão térmica distinto (U_{eg}) do da zona central (U_{cg}), neste caso, estes coeficientes foram considerados iguais.

5.2.6. CARGAS TÉRMICAS

Para o cálculo das cargas térmicas foram adotados os valores indicados nos pontos seguintes. Convém salientar que o valor usado para a ventilação é um valor consensualizado para o tipo de uso e de ocupação pressuposto, tratando-se de ventilação natural não regulada através de dispositivos de gestão centralizada, sómente regulada por ação humana em reação à sensação de desconforto de cada momento. A não consideração da ventilação conduziria a um maior afastamento das condições do edifício real.

OCUPAÇÃO

- Área útil do modelo = 487,62 m²
- 48 pessoas ⇔ 10,16 m²/pessoa

ATIVIDADE

- Calor metabólico total = 120,0W
- Fração sensível = 0,3

ILUMINAÇÃO

- Potência total = 6,0W/m²
- Fração radiante = 0,4
- Fração luminosa = 0,2

EQUIPAMENTO

- Potência total = $3,0\text{W/m}^2$
- Fração radiante = 0,1
- Fração perdida = 0,1

VENTILAÇÃO

- Caudal = 0,6 renovações/hora
- Tipo = natural

INFILTRAÇÃO

- Caudal = 0,1 renovações/hora

5.2.7. MASSAS INTERNAS

No modelo desenvolvido para a simulação dinâmica não foi considerada a definição geométrica dos elementos de construção que constituem a compartimentação, em virtude de se ter considerado apenas uma única zona térmica para o edifício. Para efeitos de inércia térmica foi feita uma avaliação quantitativa que o *software* trata como massas internas aferindo essas quantidades a materiais de construção equivalentes.

PAREDES INTERNAS

- Equivalente a 620 m^2 de Parede Exterior

PISOS EM BETÃO

- Equivalente a 445 m^2 de Piso Laje

PISO EM MADEIRA

- Equivalente a 238 m^2 de Porta Exterior (madeira de abeto 0,05m espessura)

5.2.8. COMENTÁRIO

Os dados aplicados assentam no pressuposto de que o edifício será reparado e restaurado para recuperar todas as suas características originais, aceitando-se como única alteração, a introdução de mantas de lã de rocha sobre o forro dos tetos do piso superior com vista à redução das perdas de calor pela cobertura, por não induzir qualquer perda dos valores culturais do edifício.

Os valores utilizados acolhem alguma incerteza, tanto pela dificuldade na caracterização rigorosa dos materiais como na previsão da evolução dos fatores externos envolventes, da ocupação e da utilização.

Não se prevê que o edifício venha a acolher uma carga térmica elevada devida a ocupação, nem atividades com alto valor metabólico. Ao contrário, admitiu-se uma carga de utilização típica das áreas sociais dos hotéis de charme, funcionando todos os dias do ano.

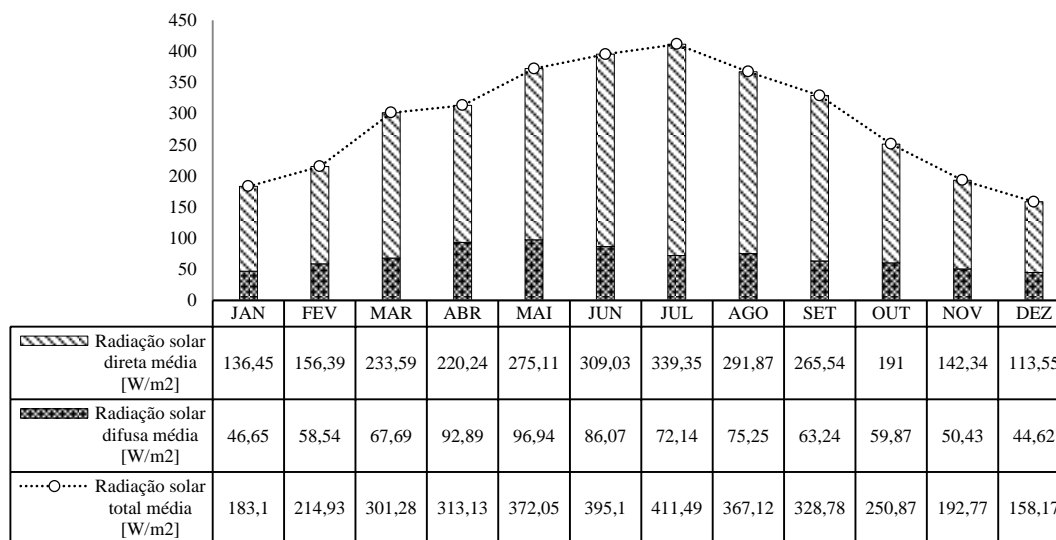
O modelo para a simulação considera uma única zona térmica por não se prever a utilização de qualquer equipamento de climatização, pretender-se especialmente estudar o comportamento dos diferentes elementos da envolvente exterior e perceber qual o entendimento das questões energéticas que determinaram as soluções usadas para a concepção deste edifício nos finais do século XIX.

5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

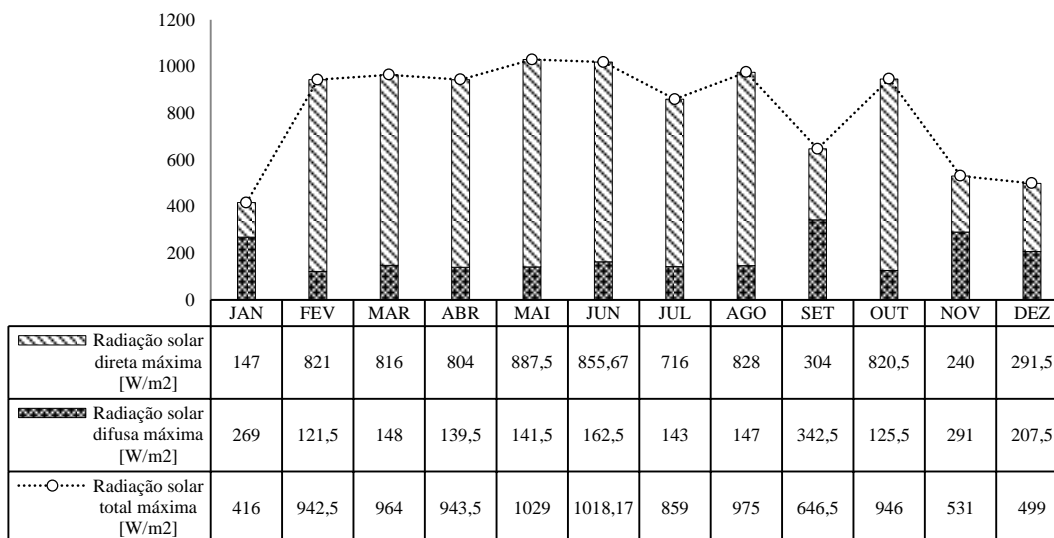
5.3.1. A RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE

Os Quadros 8 e 9 apresentam a distribuição das potências da radiação solar média e máxima incidente na envolvente do edifício ao longo do ano. Estes valores resultaram da conjugação dos dados climáticos do lugar, das condições do modelo de simulação em que são consideradas a obstrução e a reflexão da radiação solar, e dos algoritmos utilizados pelo *software*.

Quadro 8 - Potência média mensal da radiação solar incidente na envolvente exterior [W/m2].



Quadro 9 - Potência máxima mensal da radiação solar incidente na envolvente exterior [W/m2].

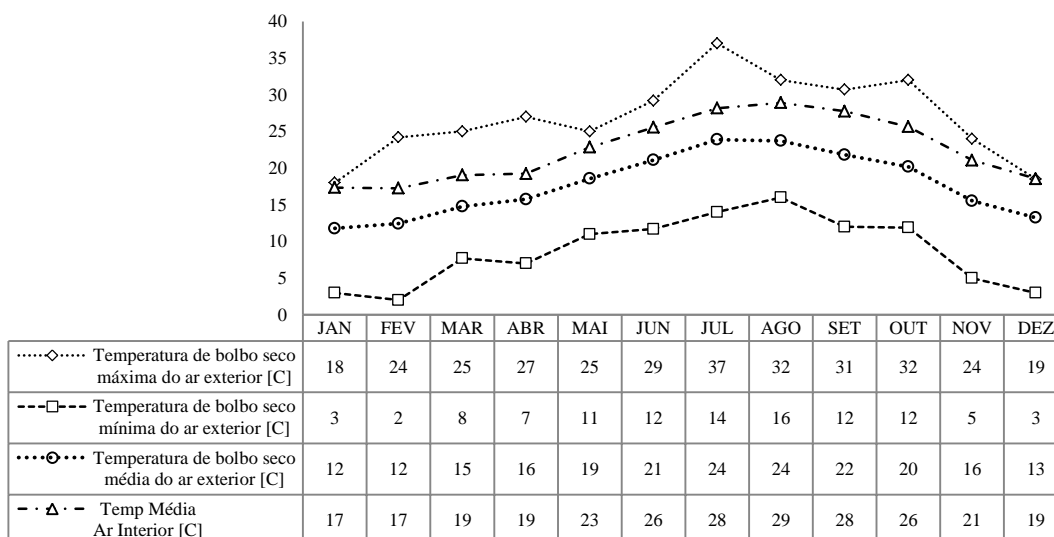


5.3.2. AS TEMPERATURAS

TEMPERATURAS MÉDIAS DO AR INTERIOR, MÁXIMA E MÍNIMA DO AR EXTERIOR.

O Quadro 10 apresenta a distribuição das temperaturas obtidas por simulação ao longo do ano, a média do ar interior, as média, máxima e mínima do ar exterior ao edifício.

Quadro 10 - Temperatura média do ar interior e, as média, máxima e mínima do ar exterior [°C].



- Máxima anual do ar interior: 31,43°C;
- Mínima anual do ar interior: 14,73°C.

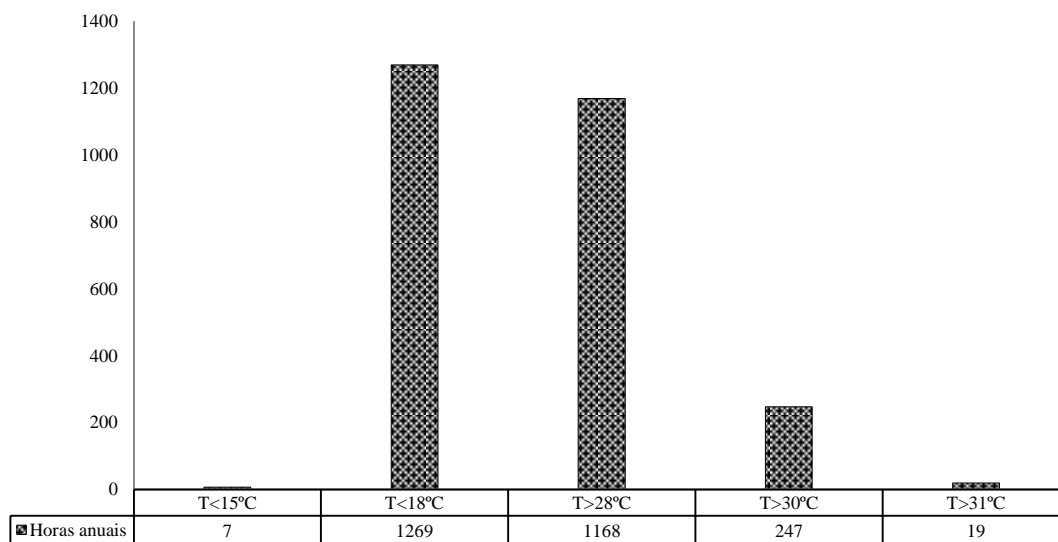
DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS AO LONGO ANO

A verificação da ocorrência de valores médios fora do intervalo [18°C;28°C] suscitou a análise detalhada dos resultados obtidos, em especial porque se considera que o edifício está permanentemente ocupado, ou seja todos os dias do ano, 24 horas por dia, uma ocupação típica de hotel.

O número de horas anuais em que a temperatura do ar interior conduz ao estado de desconforto, temperaturas inferiores a 18°C e superiores a 28°C, em estágios de “desconfortável”, “muito desconfortável” e de “desconforto extremo”, é de 2710h, cuja distribuição é expressa no Quadro 11.

Tendencialmente estes estados de desconforto verificam-se nos períodos do dia em que os ocupantes disfrutam de condições particulares de proteção, as temperaturas baixas ocorrem no período normal de repouso (a dormir) e as temperaturas mais altas em períodos em que os ocupantes dedicam mais tempo a atividades fora do edifício. No entanto os períodos de desconforto superiores a doze horas poderão ser incontornáveis, resultando em desconforto efetivo e até em insalubridade humana.

Quadro 11 - Horas anuais de temperaturas de desconforto [°C].



Verifica-se que existem 60 dias com temperatura inferior a 18°C durante mais de 12 horas consecutivas e 40 dias com temperatura superior a 28°C durante mais de 12 horas consecutivas, e ainda que possam existir seis dias consecutivos com temperatura inferior a 18°C e um dia completo com temperatura superior a 28°C.

5.3.3. ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO COM MAIOR AMPLITUDE TÉRMICA ANUAL

PALA SOBRE A PORTA SUL DA ESTUFA

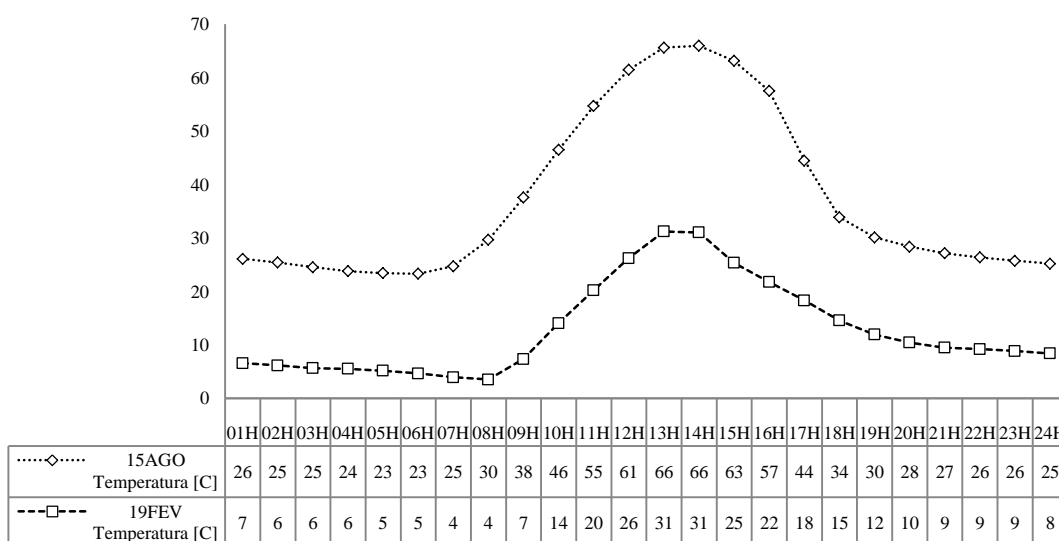
O elemento de construção pesada encontrado com maior amplitude térmica é a pala sobre a porta Sul da estufa, uma laje formada por vigas em perfil de aço do tipo IPE e abobadilhas de alvenaria sem isolamento térmico e exposto ao ambiente exterior em ambas as faces.



Figura 16 - Pala sobre porta Sul da estufa.

O Quadro 12 lista as temperaturas, obtidas por simulação, da face superior do elemento para os dias em que se verificam os extremos térmicos anuais, com o máximo no dia 15 de agosto e o mínimo no dia 19 de fevereiro.

Quadro 12 - Temperaturas da face superior da pala [°C].



- Temperatura máxima em 15 de agosto: 65,93°C;
- Temperatura mínima em 15 de agosto 23,31°C;
- Amplitude térmica diária em 15 de agosto: 42,62°C;
- Temperatura máxima em 19 de fevereiro: 31,19°C;
- Temperatura mínima em 19 de fevereiro: 3,50°C;
- Amplitude térmica diária em 19 de fevereiro: 27,69°C;
- Amplitude térmica anual: 62,43°C.

COBERTURA EM TELHADO NO PONTO MAIS ALTO DO EDIFÍCIO

A maior amplitude térmica encontrada verificou-se na cobertura da caixa de escadas de acesso ao mirante, constituída por um telhado de área reduzida e fortemente ventilado.



Figura 17 - Telhado da caixa de escadas.

Valores da temperatura da face exterior:

- Em 16 de agosto: 67,96°C;
- Em 19 de fevereiro: 3,30°C;
- Diferença: 64,66°C.

Tratando-se de um elemento de construção formado por material descontínuo e revestido por placas refratárias (telhas), estas variações térmicas não condicionam a função ou a “sanidade” do elemento, nem tão pouco condiciona significativamente o desempenho energético global do edifício.

5.3.4. TEMPERATURA DAS PAREDES EXTERIORES

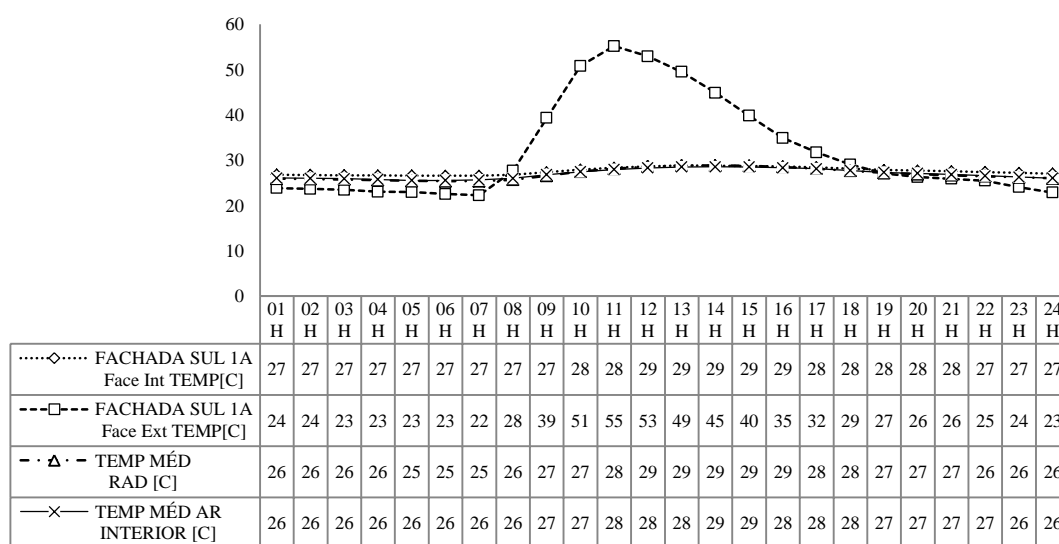
FACHADA SUL DO 2º PISO

Trata-se de uma parede estrutural em alvenaria de calcário macio revestida por argamassa de cal aérea e areia, caiada de branco pelo exterior e constitui a maior superfície orientada a Sul.

A temperatura mais alta do ano da face exterior verifica-se no dia 04 de outubro, de acordo com os dados utilizados incluindo os climáticos já referidos no ponto 5.2.1.

O Quadro 13 lista a distribuição das temperaturas das faces interior e exterior, bem como as temperaturas radiantes e do ar interior para aquele dia.

Quadro 13 - Temperaturas das faces da fachada Sul e do ar interior no dia 04 de outubro [°C].



- Temperatura máxima da face exterior: 55,15°C;
- Amplitude térmica diária entre faces exterior e a interior: 28,61°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 32,92°C;
- Amplitude térmica diária da face interior: 2,26°C;
- Amplitude térmica diária radiante: 3,47°C;
- Amplitude térmica diária do ar interior: 3,01°C.

As diferenças de temperatura entre faces das paredes induzem esforços de flexão, tanto maiores quanto maiores forem estas diferenças de temperatura. As diferenças que ocorrem na mesma face são responsáveis por esforços de tração e de compressão.

Estes eventos ocorrem de forma cíclica, de periodicidade diária e anual e são propícios à verificação da fadiga.

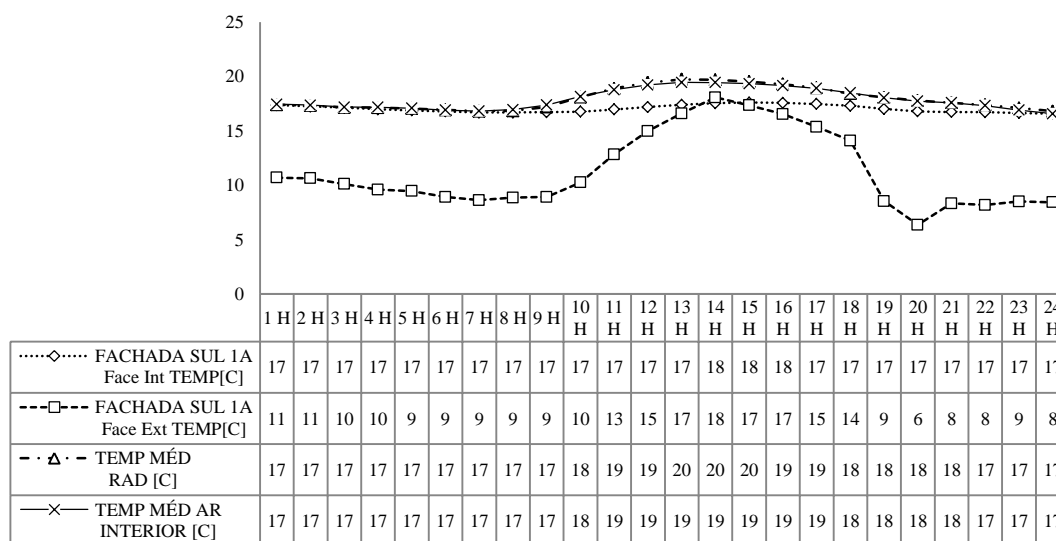
Quando os esforços aplicados nas paredes pela variação de temperatura atingem valores iguais ou superiores às tensões limites de elasticidade, ou de rotura, ocorrem fraturas, fissuração superficial e interna, escamação de rebocos, desagregação das partículas das argamassas, das pinturas, de outras aplicações superficiais e a perda de consistência das ancoragens metálicas do tipo: parafusos, pregos, grampos, consolas metálicas e outros.

As temperaturas da face interior, radiante e a do ar interior são muito próximas e variam pouco ao longo do dia, pelo que se pode admitir existir um bom nível de trocas de calor entre a parede e o ar interior, grande inércia térmica e resistência térmica.

A temperatura mais baixa do ano da face exterior verifica-se no dia 20 de fevereiro.

O Quadro 14 lista a distribuição das temperaturas das faces interior e exterior, bem como as temperaturas radiante e do ar interior para o dia 20 de fevereiro.

Quadro 14 - Temperaturas das faces da fachada Sul e do ar interior no dia 20 de fevereiro [°C].



- Temperatura mínima da face exterior: 6,35°C;
- Amplitude térmica diária entre faces exterior e a interior: 11,24°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 11,72°C;
- Amplitude térmica diária da face interior: 1,14°C;
- Amplitude térmica diária radiante: 2,93°C;

- Amplitude térmica diária do ar interior: 2,89°C;
- Amplitude térmica anual da face exterior: 48,80°C.

As temperaturas, para o dia em que esta fachada atinge o valor mais baixo do ano, manifestam diferenças menos acentuadas do que no dia em a temperatura mais alta é alcançada.

Verifica-se o descolamento da temperatura da face interior da parede das temperaturas radiante e do ar interior no período mais quente do dia. Admite-se que a inércia térmica, a menor diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior, e a elevada resistência térmica das paredes, expliquem o que se observa.

A temperatura da face exterior é, em geral, inferior à temperatura da face interior e sempre inferior à temperatura do ar interior. Esta conjugação de temperaturas é responsável por episódios de descolamento de revestimentos interiores rígidos (pedras naturais e artificiais, e rebocos de argamassas rígidas), de empeno ou empolamento dos revestimentos flexíveis (madeiras e aglomerados, compósitos de resinas em painel), também origina encravamento e empenamento de portas e janelas.

TEMPERATURAS EXTREMAS DAS PAREDES DA TORRE

A torre do edifício apresenta uma planta aproximadamente quadrada e faces verticais idênticas orientadas nas quatro direções geográficas principais. Pela sua forma e enquadramento na envolvente, ambas regulares, proporciona a comparação de resultados.

As paredes são em geral idênticas às outras paredes da envolvente exterior no que respeita a materiais e espessura.

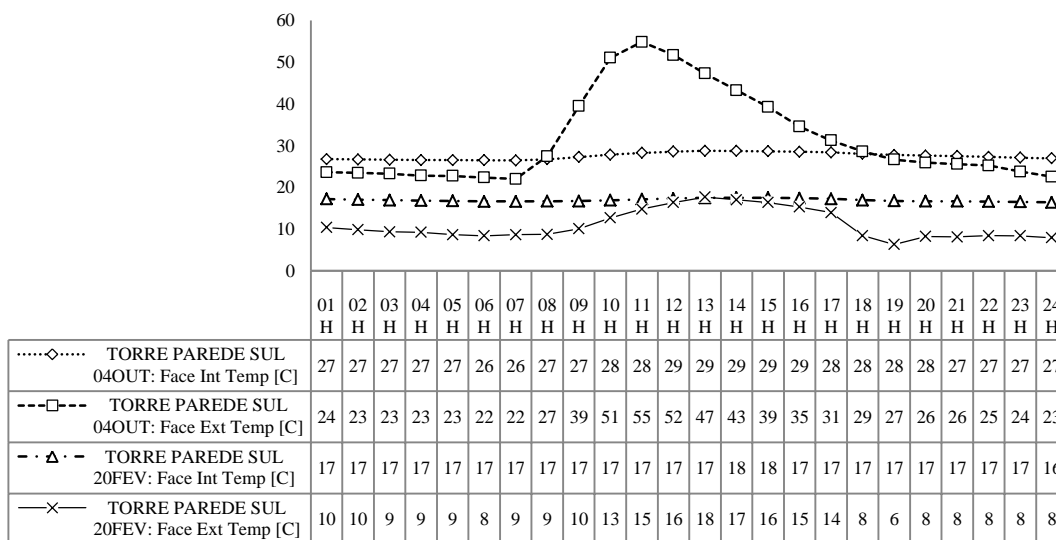


Figura 18 – Torre.

A parede orientada a Sul apresenta os extremos térmicos para a face exterior nos dias 04 de outubro e 20 de fevereiro.

O Quadro 15 lista a distribuição das temperaturas ao longo do dia das faces interior e exterior.

Quadro 15 - Temperaturas extremas para a parede Sul da torre [°C].



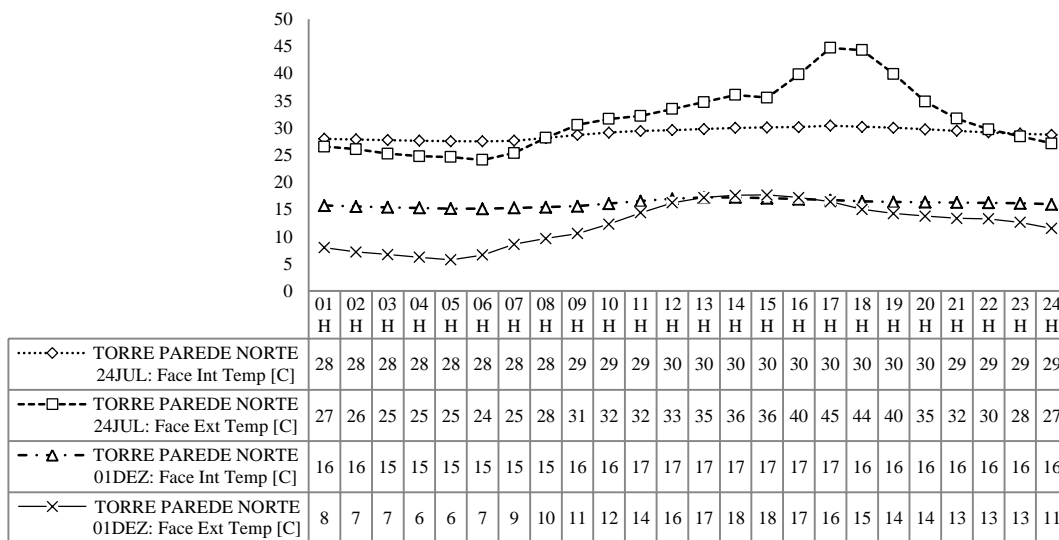
- Temperatura máxima da face exterior: 54,81°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 28,35°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 32,81°C;
- Temperatura mínima da face exterior: 6,31°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 11,22°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 11,36°C;

- Amplitude térmica anual: 48,50°C.

A parede orientada a Norte apresenta os extremos térmicos para a face exterior nos dias 24 de julho e 01 de dezembro.

O Quadro 16 lista a distribuição das temperaturas ao longo do dia das faces interior e exterior.

Quadro 16 - Temperaturas extremas para a parede Norte da torre [°C].

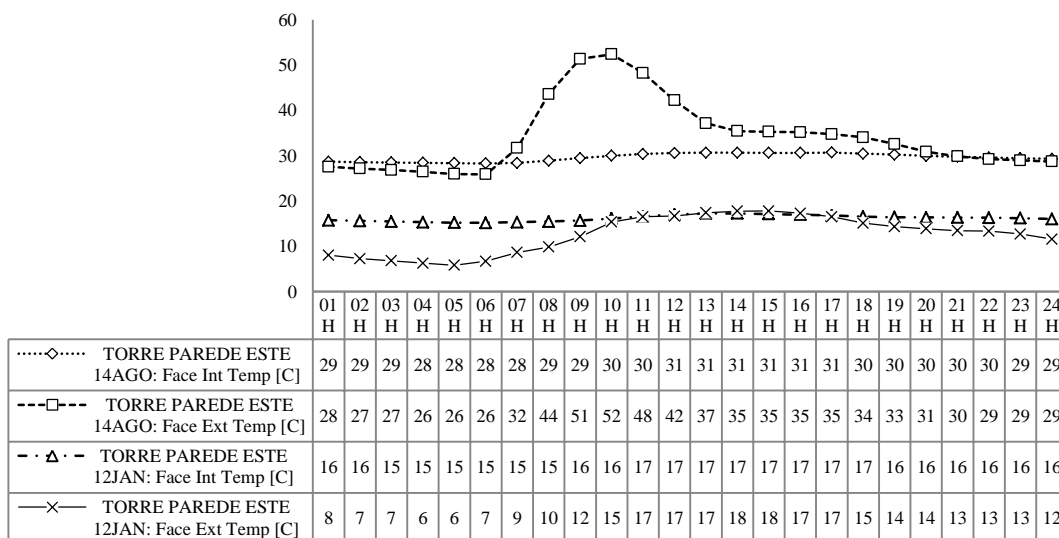


- Temperatura máxima da face exterior: 44,69°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 17,17°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 29,60°C;
- Temperatura mínima da face exterior: 7,73°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 11,47°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 11,91°C;
- Amplitude térmica anual: 38,96°C.

A parede orientada a Este apresenta os extremos térmicos para a face exterior nos dias 14 de agosto e 12 de janeiro.

O Quadro 17 lista a distribuição das temperaturas ao longo do dia das faces interior e exterior.

Quadro 17 - Temperaturas extremas para a parede Este da torre [°C].

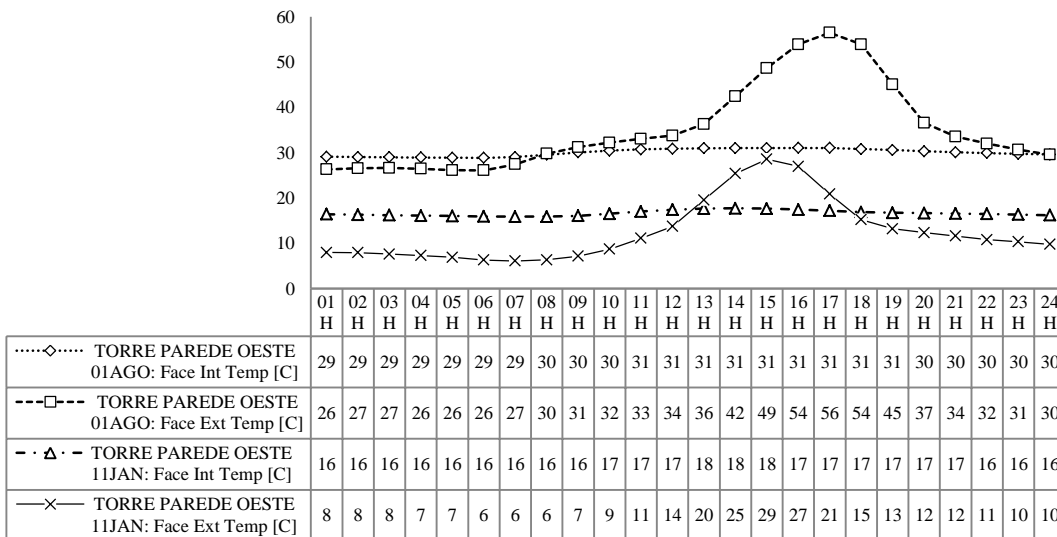


- Temperatura máxima da face exterior: 52,35°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 24,06°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 26,48°C;
- Temperatura mínima da face exterior: 5,81°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 11,46°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 11,97°C;
- Amplitude térmica anual: 46,54°C.

A parede orientada a Oeste apresenta os extremos térmicos para a face exterior nos dias 01 de agosto e 11 de janeiro.

O Quadro 18 seguinte lista a distribuição das temperaturas ao longo do dia das faces interior e exterior.

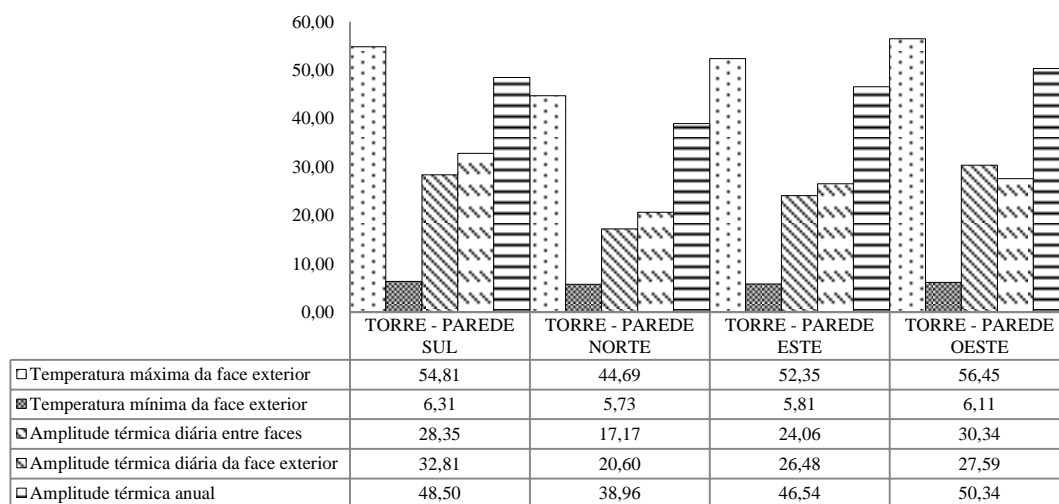
Quadro 18 - Temperaturas extremas para a parede Oeste da torre [°C].



- Temperatura máxima da face exterior: 56,45°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 27,59°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 30,34°C;
- Temperatura mínima da face exterior: 6,11°C;
- Amplitude térmica diária entre faces: 11,60°C;
- Amplitude térmica diária da face exterior: 22,47°C;
- Amplitude térmica anual: 50,34°C.

O Quadro 19 permite comparar as temperaturas das faces internas e externas, amplitudes térmicas diárias e anuais das quatro paredes que constituem os paramentos exteriores verticais da torre.

Quadro 19 – Síntese dos extremos térmicos das paredes da torre [°C].



O Quadro 20 lista a distribuição anual dos extremos térmicos nas paredes da torre.

Quadro 20 – Extremos térmicos ao longo do ano.

	Máx.	Min.
Torre – Parede Oeste	24-JUL	21-DEZ
Torre – Parede Norte	1-AGO	11-JAN
Torre – Parede Este	14-AGO	12-JAN
Torre – Parede Sul	4-OUT	21-DEZ

O Quadro 21 lista a distribuição ao longo do dia da potência da radiação solar total incidente nas paredes da torre no dia em é atingido o valor máximo anual.

Quadro 21 - Radiação solar total incidente no dia em que se verifica o valor mais alto da radiação.

HORA	TORRE PAREDE OESTE: 20MAR RSolarInc [W/m2]	TORRE PAREDE SUL: 04FEV RSolarInc [W/m2]	TORRE PAREDE NORTE: 17MAR RSolarInc [W/m2]	TORRE PAREDE ESTE: 01JUN RSolarInc [W/m2]
1:00	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
6:00	0	0	12,92	61,79
7:00	4,85	0	53,6	311,72
8:00	39,08	43,5	92,39	603,4
9:00	78,06	265,31	112,29	694,96
10:00	103,37	557,27	131,12	616,63
11:00	118,36	737,51	138,49	450,47
12:00	130,2	808,54	142,91	236,74
13:00	299,63	759,2	143,47	140,67
14:00	520,07	637,46	142,6	141,38
15:00	697,79	465,37	207,14	137,01
16:00	770,39	272,59	338,27	127,25
17:00	673,3	95,53	426,66	104,98
18:00	386,8	13,01	412,43	80,5
19:00	47,45	0	247,82	43,53
20:00	0	0	34,71	7,28
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0
Máximo	770,39	808,54	426,66	694,96

A Figura 19 ilustra a projeção geométrica dos dados do quadro anterior.

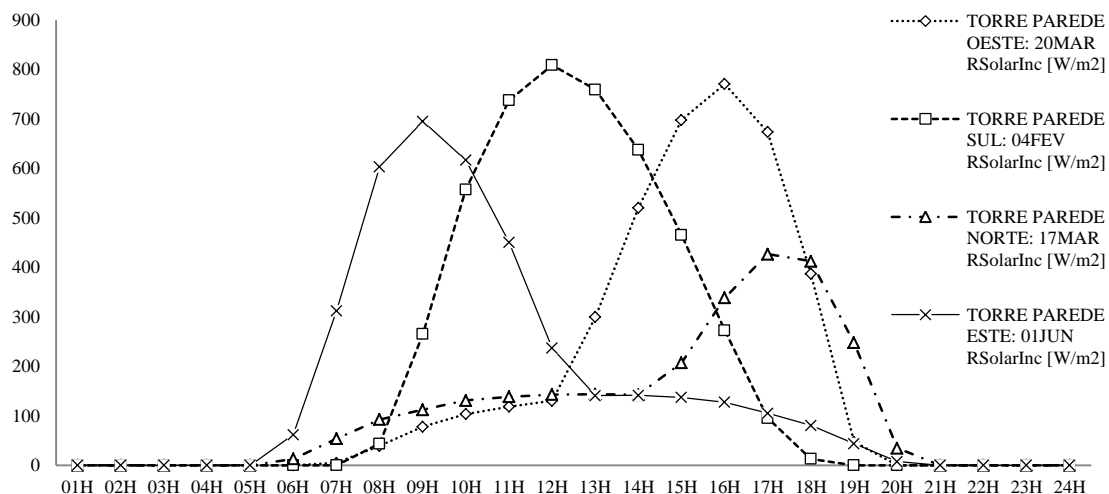


Figura 19 – Radiação solar total incidente no dia em que se verifica o valor mais alto da radiação[kWh].

O Quadro 22 lista a distribuição ao longo do dia da potência da radiação solar total incidente nas paredes da torre no dia em que é atingido o valor máximo anual da temperatura da face exterior.

Quadro 22 - Radiação solar total incidente no dia em que se verifica a temperatura mais alta da face exterior [W/m2].

HORA	TORRE PAREDE OESTE:01AGO	TORRE PAREDE SUL: 04OUT	TORRE PAREDE NORTE: 24JUL	TORRE PAREDE ESTE: 14AGO
	Radiação solar incidente [W/m2]			
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	4,48	0,00	6,42	11,82
7:00	37,60	34,90	41,02	172,24
8:00	82,20	221,74	89,63	473,71
9:00	105,11	481,31	122,39	616,08
10:00	124,29	656,29	130,77	587,50
11:00	137,35	730,37	139,53	435,42
12:00	140,85	719,93	141,38	225,65
13:00	140,77	625,67	142,50	131,42
14:00	129,86	480,62	140,49	130,63
15:00	136,57	307,33	156,28	123,66
16:00	249,02	128,89	287,00	114,76
17:00	348,11	55,56	379,83	98,71
18:00	328,16	22,20	357,82	72,45
19:00	180,42	0,00	190,04	33,13
20:00	24,52	0,00	25,62	3,29
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	348,11	730,37	379,83	616,08

A Figura 20 ilustra a projeção geométrica dos dados do quadro anterior.

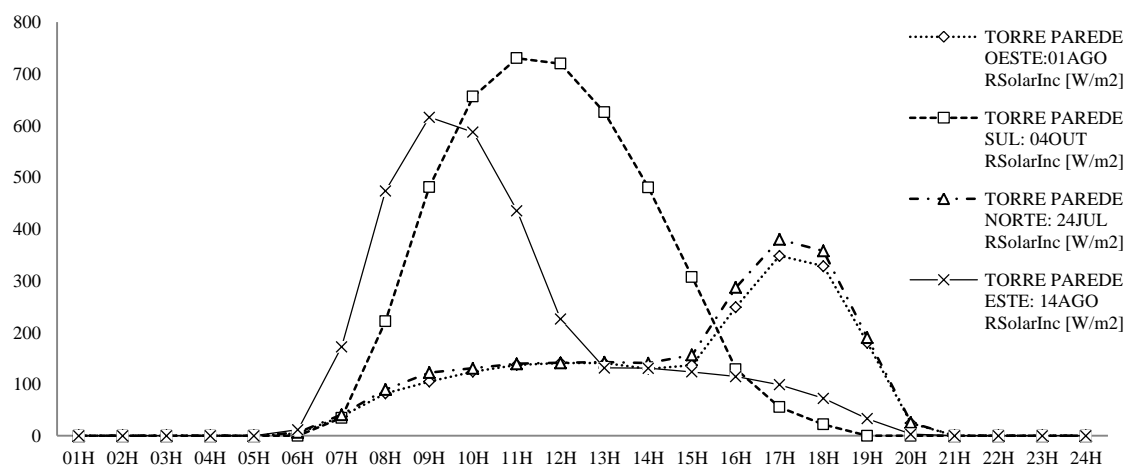


Figura 20 – Radiação solar total incidente no dia em que se verifica a temperatura mais alta da face exterior [kWh].

Os resultados obtidos para as temperaturas das superfícies das diferentes paredes e os respetivos valores da radiação solar incidente permitem perceber a forma como esta contribui para os ganhos de calor através das paredes, verificando-se a tendência para a coincidência dos valores

diários mais altos da temperatura da superfície exterior com os valores diários mais altos da radiação solar incidente.

O Quadro seguinte mostra que os picos anuais da potência da radiação incidente em cada uma das paredes não se verifica nos dias em que ocorrem os picos da temperatura da superfície exterior das paredes.

Quadro 23 - Valores de pico da radiação solar incidente nas paredes da torre [W/m²].

	TORRE PAREDE OESTE	TORRE PAREDE SUL	TORRE PAREDE NORTE	TORRE PAREDE ESTE
	Radiação Solar Incidente [W/m²]			
Valor do pico anual	770,39	808,54	426,66	694,96
Valor no dia de pico anual de temperatura	348,11	730,37	379,83	616,08

Por outro lado também a assimetria da distribuição dos valores da potência da radiação solar incidente expressa no quadro anterior, permite admitir a contribuição da temperatura do ar exterior e da velocidade do vento na constituição do valor da temperatura da face exterior.

É perceptível a distribuição dos diferentes picos de temperatura no tempo, quer no ciclo diário quer no ciclo anual e da diferente forma como se relacionam com as variáveis de clima que, embora se verifique a maior contribuição da radiação solar, também é significativo o condicionamento introduzido pela temperatura do ar e pelo efeito do vento. Esta complexa distribuição de temperaturas permite uma leitura de rotatividade geométrica e temporal, alternando em sentido, o que permite admitir a ocorrência de esforços de torção aplicados a subconjuntos dos elementos de construção do edifício e ao edifício no seu todo.

5.3.5. GANHOS E PERDAS DE CALOR SENSÍVEL

O Quadro 24 lista os valores anuais obtidos dos ganhos e perdas anuais de calor sensível associados aos diversos processos.

Quadro 24 - Ganhos e perdas anuais de calor sensível [kWh].

Ganhos de calor sensível						Perdas de calor sensível		
Ocupação	Iluminação	Equipamento	Envidraçados	Infiltração	Envolvente Opaca	Envidraçados	Infiltração	Envolvente Opaca
[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
12963,06	10155,56	4238,33	64183,06	44,44	0,56	-16715,28	-17604,44	-57264,44

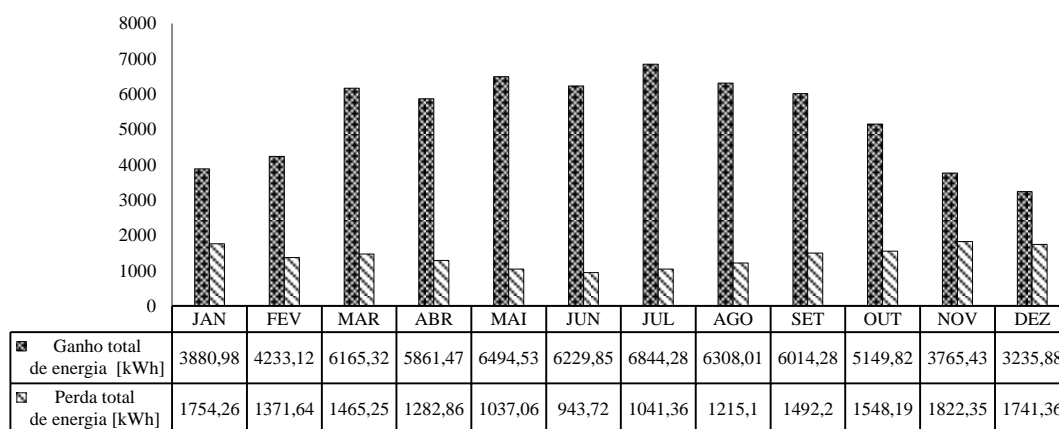
Tratando-se de uma situação de simulação sem climatização, ou seja, em que não existe controlo da temperatura do ar interior, verifica-se que as perdas de calor anulam os ganhos, ou seja, o somatório de ganhos e de perdas é ≈ 0 (0,83kWh).

Sendo os ganhos mais relevantes os obtidos pelos envidraçados, cerca de 70% dos ganhos totais, e que poderão ser modelados através de adequada manobra dos dispositivos associados, persianas exteriores, portadas e cortinas interiores, leva a que se observe, em detalhe, a distribuição das trocas de calor ao longo do tempo através dos envidraçados, tendo presente, no entanto, as hipóteses de cálculo introduzidas (sombreamento resultante das envolventes fixa e também as dos elementos móveis considerados).

ENVIDRAÇADOS

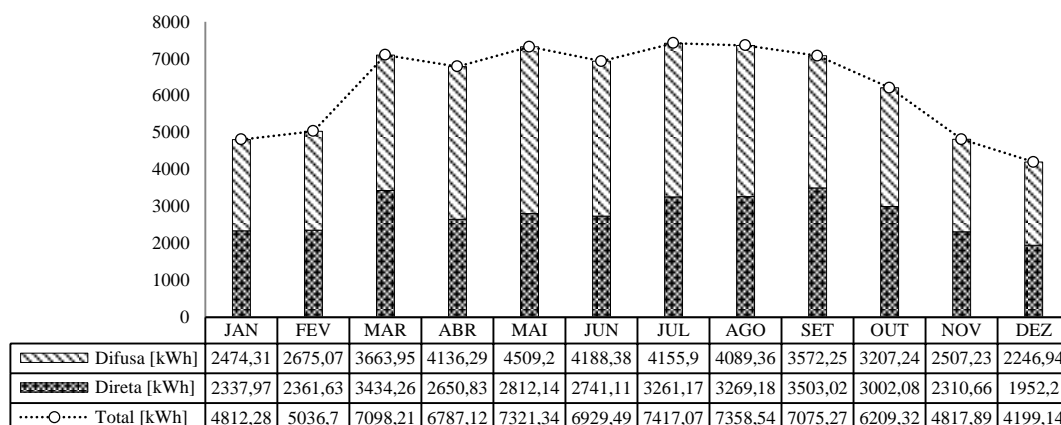
As trocas de calor ao longo do ano através dos envidraçados do edifício, expressas através do Quadro 25.

Quadro 25 - Ganhos e perdas calor dos envidraçados ao longo do ano [kWh].



Verificam-se maiores perdas no período frio e menor no período quente, uma vez que a temperatura interior é superior à temperatura exterior durante mais tempo do ciclo diário no período frio do que no período quente do ano.

Quadro 26 – Radiação solar transmitida ao longo do ano através dos envidraçados [kWh].



Os ganhos e as perdas de calor através dos envidraçados são consequência da radiação solar direta e difusa transmitida. Em particular observa-se que os andamentos dos valores representativos dos ganhos e das perdas se afastam no período do horário de verão, o maior peso da radiação solar difusa na formação do valor da radiação solar total durante o período quente explica-se pela expressiva área envidraçada a Sul, pelo sombreamento de alguns vãos através da varanda envolvente sobre o 1º piso, pelos dispositivos de proteção dos envidraçados e do trajeto mais vertical do sol, também pelos envidraçados da fachada Oeste equipados com dispositivos de proteção idênticos e pelo sombreamento prestado pelo edifício da Sé Catedral.

Constata-se que o calor total anual ganho através dos envidraçados é 64182,97kWh e que a radiação solar total anual transmitida é de 75062,37kWh, mais 10879,40kWh que o calor total ganho, podendo corresponder este valor à radiação em espectro visível e a valores residuais de radiação de muito grande comprimento de onda.

ENVIDRAÇADOS DA FACHADA SUL

Verificação do comportamento de dois vãos envidraçados idênticos expostos a Sul sem sombreamento relevante de elementos envolventes, mas com dispositivos de proteção distintos, um com persiana pelo exterior o outro com portadas interiores.

O Quadro 27 lista a dispersão de valores das trocas de energia ao longo do ano através de um envidraçado sombreado pelo exterior, designado por VP4 FACHADA S 1.

Quadro 27 - Trocas mensais de energia através do envidraçado VP4 FACHADA S 1.

	Ganho total de energia	Perda total de energia	Radiação solar total transmitida	Radiação solar direta transmitida	Radiação solar difusa transmitida
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
JAN	293,8	32,78	315,03	205,41	109,63
FEV	273,43	25,36	291,38	182,78	108,59
MAR	330,88	27,86	351,24	215,92	135,33
ABR	240,52	25,02	262,83	123,19	139,64
MAI	198,56	22,75	219,53	81,05	138,48
JUN	157,27	21,08	176,56	53,83	122,73
JUL	184,09	22,84	200	78,05	121,94
AGO	231,42	26,35	256,46	125,7	130,76
SET	297,25	29,43	320,91	195,24	125,67
OUT	314,22	28,99	338,7	213,35	125,35
NOV	276,6	35,16	300,46	193,86	106,59
DEZ	254,15	33,38	276,74	175,77	100,97
Total anual	3052,21	330,99	3309,83	1844,15	1465,68

A Figura 21 apresenta a distribuição geométrica dos valores das trocas de energia do envidraçado VP4 FACHADA S 1.

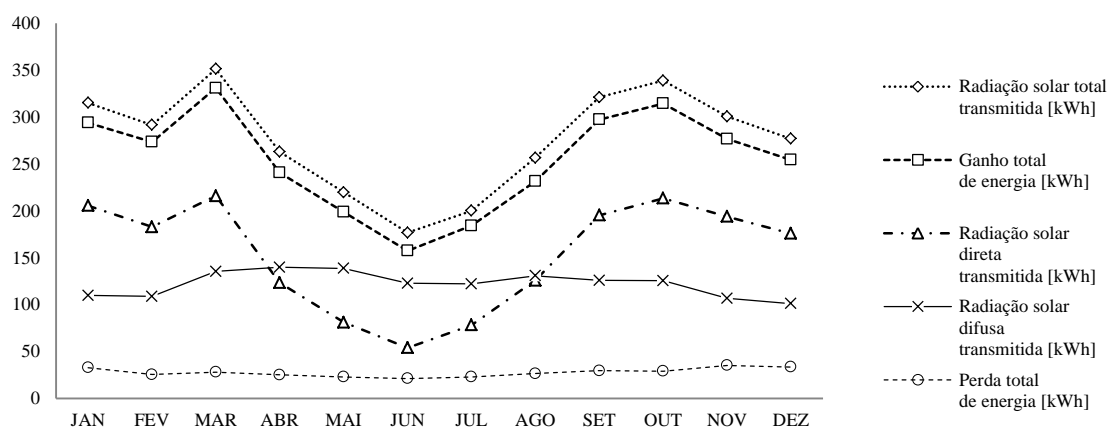


Figura 21 - Distribuição geométrica das trocas mensais de energia do envidraçado VP4 FACHADA S 1 [kWh].

O Quadro 28 lista a dispersão de valores das trocas de energia ao longo do ano de um envidraçado com proteção interior, designado por VJ2 SALAS PS1.

Quadro 28 - Trocas mensais de energia através do envidraçado VJ2 SALAS PS1.

	Ganho total de energia	Perda total de energia	Radiação solar total transmitida	Radiação solar direta transmitida	Radiação solar difusa transmitida
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
JAN	290,29	49,94	312,6	201,2	111,39
FEV	274,17	38,66	292,55	181,27	111,27
MAR	335,52	41,77	354,87	216,28	138,59
ABR	256,05	36,69	278,17	133,37	144,8
MAI	224,47	30,4	243,89	98,91	144,99
JUN	184,34	27,56	201,61	72,13	129,48
JUL	217,03	30,4	230,14	101,42	128,72
AGO	253,55	35,42	278,34	141,76	136,58
SET	306,08	42,47	330,63	201,08	129,55
OUT	314,01	43,03	339,5	210,82	128,68
NOV	274,64	52,14	299,14	190,35	108,8
DEZ	249,92	49,39	273,56	171,4	102,16
Total anual	3180,07	477,87	3435,01	1920	1515,01

A Figura 22 apresenta a distribuição dos valores das trocas de energia através do envidraçado VJ2 SALAS PS1.

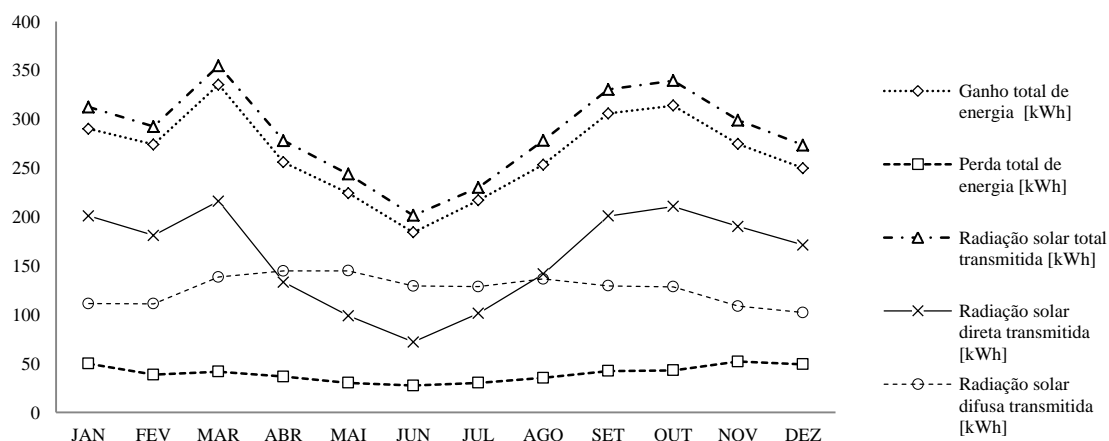
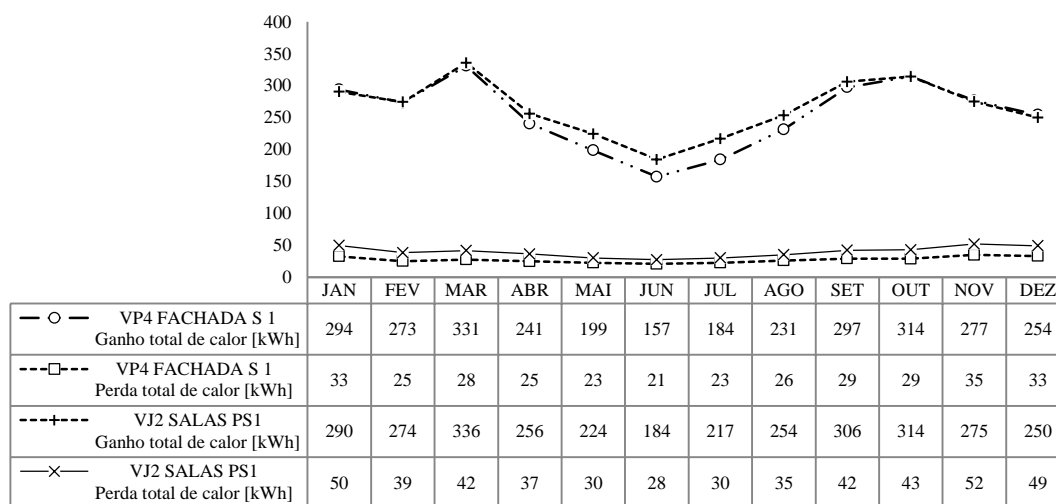


Figura 22- Trocas de energia através do envidraçado VJ2 SALAS PS1 [kWh].

O Quadro 29 permite comparar os ganhos e perdas de calor através destes envidraçados idênticos divergindo apenas nas suas proteções opacas.

Quadro 29 - Ganhos e perdas de calor através dos envidraçados orientados a Sul [kWh].



O envidraçado VP4 FACHADA S 1, protegido por persiana exterior apresenta menores perdas de calor, menores ganhos no período de horário de verão e uma ligeira vantagem nos ganhos no período de horário de inverno. A persiana exterior condiciona de forma drástica a incidência da radiação solar na superfície do envidraçado reduzindo o efeito de estufa, ao contrário do que acontece com os envidraçados protegidos pelo interior com portadas opacas. Sendo estas as condicionantes fundamentais, há que considerar os horários (*schedules*) de operação dos dispositivos de sombreamento desenhados na simulação que não estão aferidos à evolução do horário solar ao longo do ano, somente aos períodos de verão e de inverno. Os horários de operação determinariam um melhor desempenho energético se, para além de abrirem durante o dia e fecharem durante a noite no inverno, invertendo este mecanismo durante o período de verão, ajustassem a hora de operação em função da hora do nascer do sol e do ocaso, que como se sabe varia ao longo do ano.

ENVIDRAÇADOS DA TORRE

Os envidraçados da torre têm geometria igual, não têm qualquer proteção interna ou externa e diferem na orientação geográfica.

O Quadro 30 lista a dispersão de valores das trocas de energia ao longo do ano através dos envidraçados da torre.

Quadro 30 - Valores dos ganhos e perdas de energia através dos envidraçados da torre [kWh].

	Ganho total de energia VJ TORRE PAREDE S	Ganho total de energia VJ TORRE PAREDE N	Ganho total de energia VJ TORRE E	Ganho total de energia VJ TORRE W	Perda total de energia VJ TORRE PAREDE S	Perda total de energia VJ TORRE PAREDE N	Perda total de energia VJ TORRE E	Perda total de energia VJ TORRE W
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
JAN	361,84	45,38	63,65	201,42	86,63	92,29	88,16	90,75
FEV	327,13	59,32	98,95	217,35	69,36	72,22	70,02	71,16
MAR	390,42	96,22	189,34	349,81	73,95	76,92	74,3	76,34
ABR	294,35	139,46	242,63	336,94	65,35	66,21	64,8	65,72
MAI	261,91	208,01	320,84	406,01	54,62	54,87	53,36	54,54
JUN	217,97	223,21	330,96	392,65	49,78	50,17	48,65	49,89
JUL	255,49	222,01	359,65	423,31	54,77	55,98	52,37	55,62
AGO	291,02	157,53	279,44	393,59	62,7	63,07	61,66	62,58
SET	349,81	98,99	202,59	360,81	76,1	77,96	76,25	77,37
OUT	366,6	69,47	131,9	291,13	79,39	82,94	79,68	82,04
NOV	338,39	42,95	66,79	204,16	90,23	94,95	91,37	92,46
DEZ	316,41	37,6	50,63	168,82	86,19	91,8	87,98	89,89

A Figura 23 apresenta a distribuição dos valores dos ganhos de energia através dos envidraçados da torre.

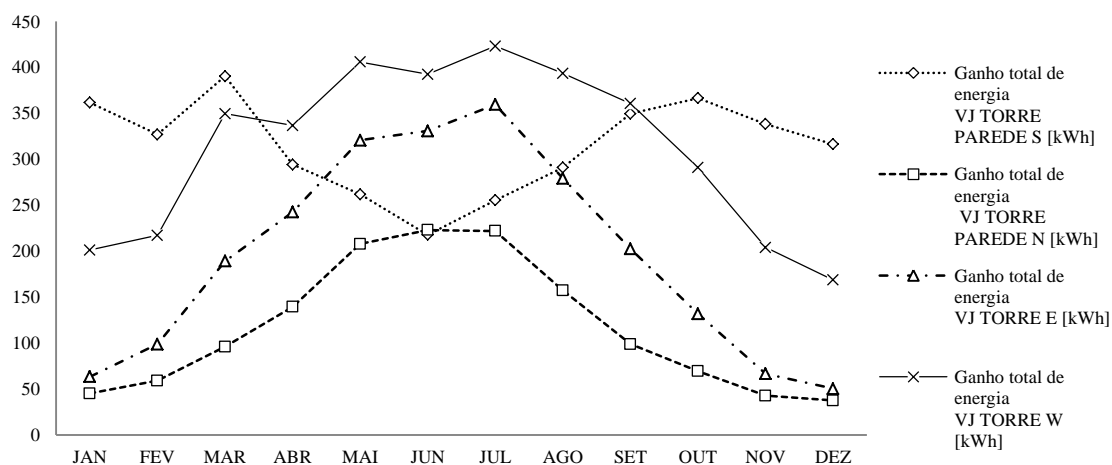


Figura 23 - Valores mensais dos ganhos de energia através envidraçados da torre [kWh].

A curva correspondente ao envidraçado da fachada Sul apresenta uma inflexão nos meses de verão enquanto o envidraçado da fachada Oeste acompanha por cima o andamento dos envidraçados das fachadas Este e Norte. Só o envidraçado da fachada Sul tem maiores ganhos no período de inverno que no período de verão, enquanto os outros envidraçados têm um comportamento inverso. No período do horário de verão a radiação solar incidente sobre o envidraçado da fachada Sul ocorre no horário em que a radiação tem uma incidência mais tangencial refletindo-se na superfície do vidro.

A Figura 24 apresenta a distribuição dos valores das perdas de energia através dos envidraçados da torre.

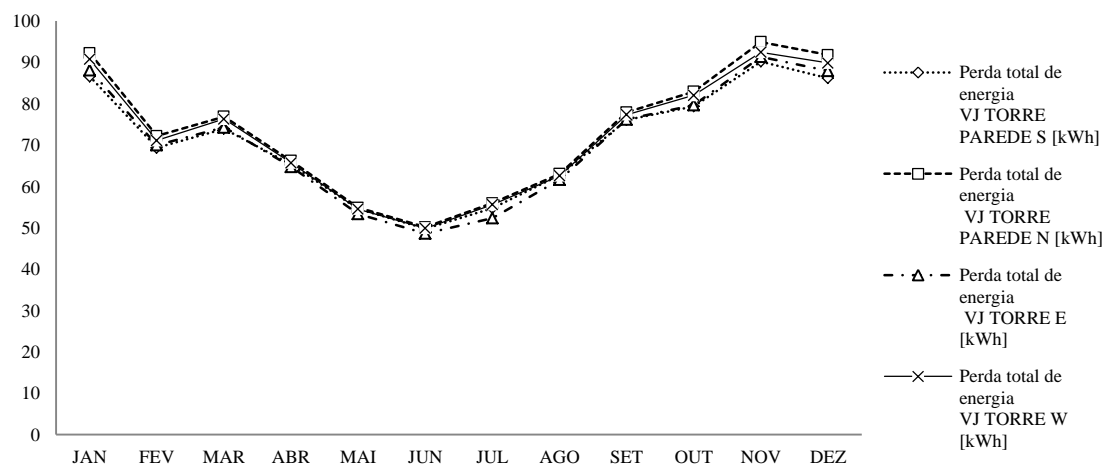


Figura 24- Valores mensais das perdas de energia através envidraçados da torre [kWh].

O andamento das curvas das perdas de energia dos quatro envidraçados é idêntico e os valores substancialmente mais baixos que os valores dos ganhos de energia. As perdas são mais baixas no período de verão que no período de inverno.

5.3.6. ENVIDRAÇADOS COM VIDRO DUPLO

A observação dos resultados da simulação referente aos envidraçados com vidro simples suscitou a simulação usando vidros duplos, o vidro claro de 3mm com lâmina de ar de 6mm, com as seguintes características:

- Coeficiente global de transmissão térmica $U=3,122\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$;
- Fator solar total (*Solar Heating Gain Coefficient* –*SHGC*)= $0,762$.

Recordem-se os valores correspondentes para os envidraçados com vidro simples:

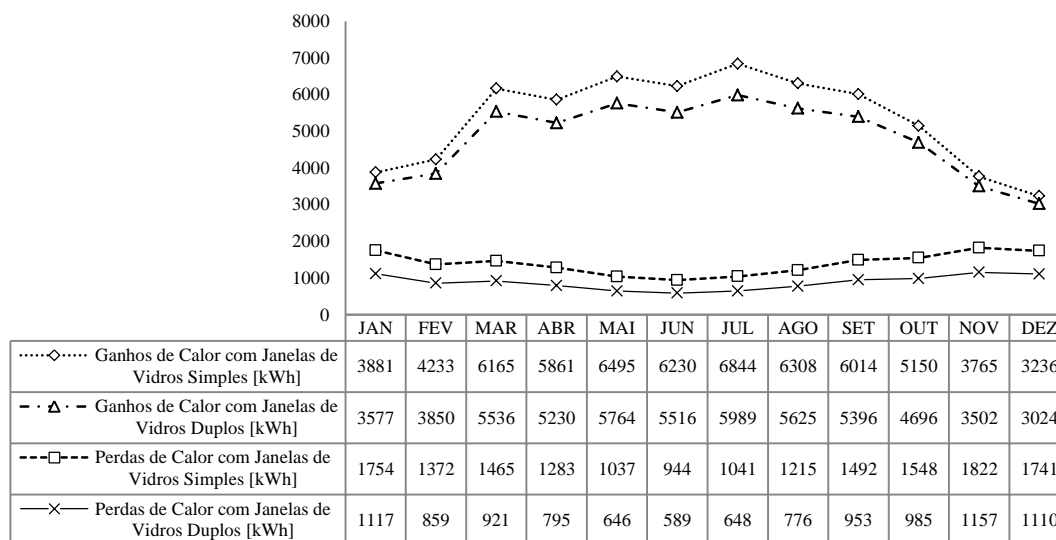
- Coeficiente global de transmissão térmica, $U= 5,894\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$;
- Fator solar total, $SHGC=0,861$.

A escolha desta combinação para a constituição do envidraçado, sendo modesta é, de entre as alterações das soluções construtivas originais, a que se afigura ainda compatível com os objetivos da conservação dos valores patrimoniais do edifício.

COMPARAÇÃO DE GANHOS E PERDAS DE CALOR

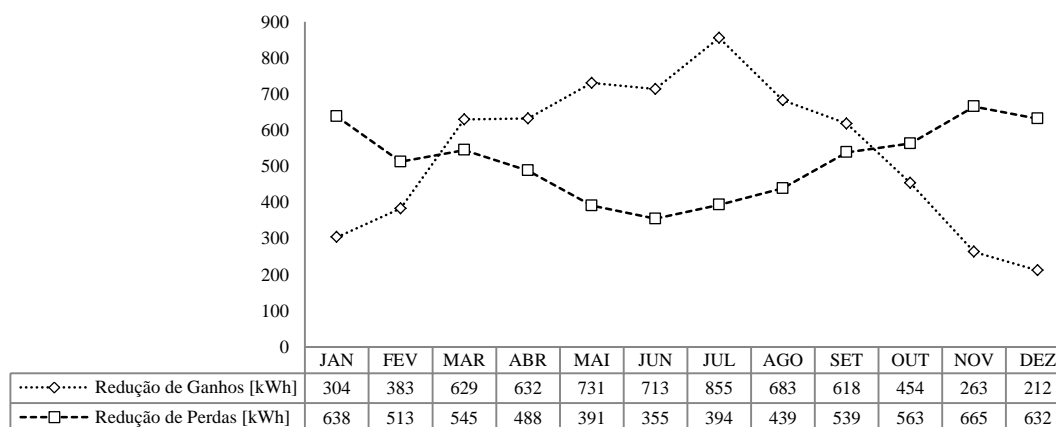
O Quadro seguinte mostra a distribuição dos ganhos e das perdas de calor através dos envidraçados ao longo do ano.

Quadro 31 - Distribuição de ganhos e perdas de calor ao longo do ano através dos envidraçados [kWh].



Verificou-se a redução dos ganhos e das perdas anuais de calor, respetivamente de 11% e 58%, a que correspondem os valores médios anuais de 540kWh e de 513kWh. Verificou-se também que o andamento destas distribuições não é absolutamente paralelo, acentuando-se a redução de perdas nos meses mais frios e a redução de ganhos nos meses quentes como se mostra no Quadro 32.

Quadro 32 - Diferença de ganhos e de perdas de calor ao longo do ano [kWh].



Estes resultados encaminham-se no sentido dos objetivos do conforto térmico e da redução dos consumos globais de energia.

AS TEMPERATURAS DO AR INTERIOR

Verificou-se acontecer 50 dias em que as temperaturas são inferiores a 18°C, em períodos superiores a 12 horas consecutivas e 41 dias em que as temperaturas são superiores a 28°C, em períodos superiores a 12 horas consecutivas, e ainda que possam existir cinco dias consecutivos com temperaturas inferiores a 18°C e dois dias consecutivos com temperaturas superiores a 28°C. O que resulta em vantagem no que respeita aos períodos com temperaturas inferiores a 18°C.

5.4. DESEMPENHO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO

5.4.1. RESULTADOS NAS CONDIÇÕES DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO SEM CONTROLO DE TEMPERATURA

As condições de partida consideradas consistem na conservação de todas as características atuais: a arquitetura, as técnicas e os materiais de construção.

Admitiu-se à partida a inclusão de isolamento térmico na cobertura por não ter natureza intrusiva, não destruir ou modificar os valores culturais do edifício e saber-se previamente da sua vantagem para melhoria do desempenho energético do edifício.

Neste modelo de simulação não foram consideradas as temperaturas de controlo para determinação das cargas térmicas envolvidas no controlo da temperatura do ar interior.

As energias final e primária obtidas por simulação, necessárias ao funcionamento do edifício sem climatização, considerando o factor de conversão de EF para EP de 1,0 kWhEF:2,5 kWhEP definido no Regulamento dos Edifícios de Comércio e Serviços (RCES), são:

Quadro 33 - Desempenho energético sem climatização.

Energia	Consumo anual	Consumo anual por m2 de área útil	Consumo por m2 de área climatizada
Final [kWhEF]	14864,87	30,48	0
Primária [kWh EP]	37162,18	76,2	0

Os consumos são apenas os devidos aos equipamentos e à iluminação, tratando-se de energia elétrica.

5.4.2. RESULTADOS CONSIDERANDO CONTROLO DE TEMPERATURA

Observando-se que as temperaturas do ar interior atingem valores fora das temperaturas de referência para os períodos de verão e de inverno definidos no RCES, cujos extremos são os seguintes:

- Máxima anual do ar interior: 31,43°C
- Mínima anual do ar interior: 14,73°C

Procedeu-se a uma simulação para determinar as cargas térmicas a remover para dar satisfação aos limites indicados no RCES.

SIMULAÇÃO COM O ENERGYPLUS

Foi feita uma simulação com o termóstato a 20°C para garantir a temperatura mínima e a 25°C para a máxima, funcionando todos os dias do ano. Desta forma poder-se-á determinar a quantidade de calor a fornecer ou a retirar para manter a temperatura ambiente dentro dos limites indicados.

Considerando que a climatização seria feita através de bombas de calor com EER=3,5 e COP=4,0 o quadro de consumos energéticos seria o seguinte:

Quadro 34 - Desempenho energético usando bombas de calor para climatização [kWh].

Energia [kWh]	Iluminação + Equipamentos	Arrefecimento	Aquecimento
Aquecimento			16434,64
Arrefecimento		25235,47	
Iluminação	10155,52		
Equipamento	4709,34		
Bomba de calor EER/COP		3,5	4
Energia Total	14864,86	7210,13	4108,66
Energia elétrica total	26183,65		
Consumo anual de energia final por m2	53,70		
Fator de conversão Energia Final em Energia Primária	2,50		
Consumo anual de energia primária por m2	134,24		

O consumo anual de energia para arrefecimento é 7210,13kWh e para aquecimento 4108,66kWh, o que apresenta um acréscimo de 11318,79kWh (76%) relativamente ao valor sem climatização.

O consumo anual de energia primária por metro quadrado é de 134,24kWh.

As potências máximas necessárias para satisfação das necessidades energéticas do edifício são as indicadas no Quadro 35.

Quadro 35 - Potências máximas necessárias [W].

Potência [W]	Eletricidade	Arrefecimento	Aquecimento
Data de pico	01-JAN-20:10	24-JUL-16:10	12-JAN-04:00
Aquecimento			22808,82
Arrefecimento		26845,11	
Iluminação	2925,69		
Equipamento	965,48		
Total	3891,17	26845,11	22808,82

SIMULAÇÃO COM A FOLHA DE CÁLCULO STE-MONOZONA DO LNEG

Embora, como já referido anteriormente, o edifício em estudo esteja fora da abrangência dos regulamentos do comportamento térmicos publicados através do DL 118/2013 em 20 de agosto, os resultados obtidos suscitaram a comparação com os resultados proporcionados pelo cálculo efetuado através da folha de cálculo STE-MONOZONA, versão 1.05 (13 janeiro 2014), desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) no âmbito da regulamentação actualmente em vigor.

A simulação foi feita para o modelo inicial, mantendo toda a configuração original do edifício, mas com a inclusão de isolamento térmico na cobertura em telhado, considerando que a climatização será feita utilizando um sistema baseado em bombas de calor com $EER=3,5$ e $COP=4,0$.

Foram também obtidos os valores do IEE_{Ref} de $136,8kWh/m^2$ e do IEE_{Edif} de $161,71kWh/m^2$. Os rendimentos utilizados por defeito pela folha de cálculo STE-MONOZONA para o cálculo do IEE_{Ref} foram os indicados na Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, $EER_{ref}=2,70$ e $COP_{Ref}=2,80$ para máquinas de classe C. Os Quadros 36, 37 e 38 apresentam os valores obtidos.

Quadro 36 - Extrato do relatório de resultados da Folha de Cálculo STE-MONOZONA.

Necessidades anuais de energia útil			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	43133 kWh	88.46 kWh/m ²	88.46 kWh/m ²
Arrefecimento	9135 kWh	18.73 kWh/m ²	18.73 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
referência			
Aquecimento	47507 kWh	97.43 kWh/m ²	97.43 kWh/m ²
Arrefecimento	9766 kWh	20.03 kWh/m ²	20.03 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			

Consumo anual de energia final (por tipo de uso)			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	12324 kWh	25.27 kWh/m ²	25.27 kWh/m ²
Arrefecimento	2284 kWh	4.68 kWh/m ²	4.68 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Iluminação interior	11609 kWh	23.81 kWh/m ²	23.81 kWh/m ²
Equipamentos	5324 kWh	10.92 kWh/m ²	10.92 kWh/m ²
Bombas climatização e AQS			
Ventiladores UTA e UTAN			
Ventiladores Extração e exaustão			
Aquecimento de Água de Piscina			
Humidificação e Desumificação			
referência			
Aquecimento	17595 kWh	36.08 kWh/m ²	36.08 kWh/m ²
Arrefecimento	3488 kWh	7.15 kWh/m ²	7.15 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Iluminação interior	271 kWh	0.56 kWh/m ²	0.56 kWh/m ²
Equipamentos	5324 kWh	10.92 kWh/m ²	10.92 kWh/m ²
Bombas climatização e AQS			
Ventiladores UTA e UTAN			
Ventiladores Extração e exaustão			
Aquecimento de Água de Piscina			
Humidificação e Desumificação			

Consumo anual de energia final (por fonte de energia)			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Electricidade	31541 kWh	64.68 kWh/m ²	0.13 kWh/m ²
Combustíveis Fósseis			
Outros Combustíveis Renováveis			
Solar Térmico			
Solar Fotovoltaico			

Quadro 37

Índices de Eficiência Energética		
	edifício	referência
IEE _S	134.4 kWh/m ²	109.5 kWh/m ²
IEE _T	27.3 kWh/m ²	27.3 kWh/m ²
IEE _{REN}	0.0 kWh/m ²	0.0 kWh/m ²
IEE	161.7 kWh/m ²	136.8 kWh/m ²
R	1.23	

Quadro 38 – Comparação dos indicadores de eficiência energética [kWh].

Energia	Resultados da Simulação EnergyPlus			FC - LNEG
	Eletricidade			Eletricidade
Aquecimento [kWh]			16434,64	43133,00
Arrefecimento [kWh]		25235,47		9135,00
Iluminação [kWh]	10155,52			11609,00
Equipamento [kWh]	4709,34			5324,00
Bomba de calor EER/COP		3,50	4,00	
Energia Total [kWh]	14864,86	7210,13	4108,66	31540,46
Energia elétrica total	26183,65			31540,46
Consumo anual de energia final por m2 [kWh/m2]	53,70			64,68
Fator de conversão Energia Final em Energia Primária	2,5		IEEref	IEE
Consumo anual de energia primária por m2 [kWh/m2]	134,24		136,8	161,71
R	0,98			1,18
Classe	B-			C

Os valores de rendimento considerados (EER/COP) para as bombas de calor são valores típicos referidos nos catálogos de fabricantes, e foram aplicados tanto na simulação feita com o *EnergyPlus* como na simulação feita com a Folha de Cálculo STE-MONOZONA.

Globalmente os valores do consumo de energia são semelhantes em ambos os modelos, mas parcialmente não, os resultados obtidos com o *EnergyPlus* penalizam mais os consumos de energia para arrefecimento, enquanto a Folha de Cálculo STE-MONOZONA penaliza os consumos de energia para aquecimento.

Apesar de não se ter aprofundado as razões que levaram àquelas diferenças, verificou-se que, em termos globais, os valores obtidos por ambos os métodos apresentam alguma convergência.

Poderá concluir-se que, em qualquer dos cenários considerados, o edifício em estudo tem um desempenho energético aceitável.

6. SOLUÇÕES TÉCNICAS

6.1. INTRODUÇÃO

Ao longo do estudo do edifício foi possível perceber o seu funcionamento, a forma como a sua concepção o tornou “refém” do clima envolvente, as vivências desenvolvidas e as que se adaptaram a partir da exploração das potencialidades que ao longo do tempo foram descobertas e valorizadas.

Pode-se concluir estar perante um edifício de “arquitetura solar passiva”, mesmo tendo em conta as condicionantes da sua envolvente.

É evidente no desenho do edifício, uma orientação geográfica de fachadas que visava tirar o proveito possível da envolvente climática, favorecer os ganhos de calor, de luz solar e a ventilação natural. As fachadas a Sul, Sul-Sueste e Este livres de obstáculos permitem a recolha do calor e de luz solar desde o nascer do sol, o aproveitamento da sombra proporcionada pela Sé Catedral a Oeste, da proteção aos ventos predominantes, e a Norte a fenestração mais reduzida.

Foram criados detalhes de arquitetura para favorecer o arrefecimento e humedificação do ar da envolvente que contribuem para o equilíbrio térmico do ar interior, como é exemplo a galeria arqueada que circunda o rés-do-chão ligando o Nordeste com o Sudoeste, que encaminha o ar arrefecido pela evaporação nas superfícies envolventes ocupadas com vegetação rasteira e arbustiva. Outros exemplos já referidos são o saguão central, o torreão, e os grandes vãos envidraçados existentes na ligação dos dois blocos do edifício no segundo piso, um orientado a Sul e outro a Norte.

6.2. MEDIDAS DE MELHORIA

6.2.1. COBERTURA

Em fase de simulação considerou-se o isolamento da cobertura por se saber que estas são responsáveis por elevadas trocas de calor entre o interior dos edifícios e o exterior, neste caso uma cobertura em telhado sobre desvão fortemente ventilado, com telhas de ventilação e esteira leve permeável ao ar, ou seja, sem resistência térmica relevante. Considerou-se inquestionável a aplicação de isolante térmico sobre a esteira (lã de rocha em duas camadas de 0,04 m de espessura) resultando uma cobertura com um coeficiente de transmissão térmica com $U=0,465\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, uma solução não intrusiva e sem consequências nos valores a preservar.

Esta solução é a que melhor responde às exigências funcionais e de aplicação, é permeável ao vapor, não compromete a ventilação do desvão, pela sua textura e consistência acomoda-se bem aos elementos de construção existentes, aos movimentos, às dilatações dos seus suportes e contenções.

6.2.2. PAREDES EXTERIORES

A envolvente vertical é responsável por perdas significativas de calor, embora apresente um valor de coeficiente de transmissão térmica baixo, $U = 0,829 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. O fator de forma de aproximadamente 0.5 é indicador de um valor relativamente elevado da superfície da envolvente em relação ao volume do edifício e conseqüente responsável por “maior” dissipação de calor.

Sendo estas paredes uma reserva significativa da identidade do edifício, melhorar-lhe o desempenho térmico pelos métodos conhecidos é incompatível com a integridade de tal reserva, pelo que não se prescreve qualquer outro tipo de intervenção que não seja o seu restauro através das técnicas e dos materiais originais. Recomenda-se ainda que a caiação (pintura) seja renovada anualmente no início da época estival como forma de favorecer a reflexão da radiação solar e conseqüentemente conter o aumento da temperatura interior.

6.2.3. JANELAS

Os envidraçados são responsáveis por cerca de 70% dos ganhos de calor total anuais do edifício, embora em simulação tenha sido desenhado um perfil horário de sombreamento através de dispositivos móveis, procurava-se favorecer os ganhos de calor na estação de aquecimento, mesmo assim os ganhos na estação de arrefecimento são superiores aos da estação de aquecimento, verificando-se o inverso no que refere a perdas de calor, embora as perdas sejam inferiores a 1/3 dos ganhos (27%).

Os vidros existentes são finos (3mm), com o valor da transmissividade solar de 0,837, condutividade de $0,900 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, refletividade solar 0,075, transmissividade de Infravermelhos 0,000, estes quatro parâmetros permitem perceber a razão dos ganhos solares muito altos e das perdas razoavelmente modestas, o que é favorável no período frio.

As caixilharias, as persianas e as portadas interiores são em madeira pintada de branco, com uma taxa de transmissão térmica de $0,13 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, absorvidade solar 0,12, emissividade térmica 0,9, estes três parâmetros permitem perceber que através destes componentes passa pouco calor e que o calor acumulado se liberta com facilidade.

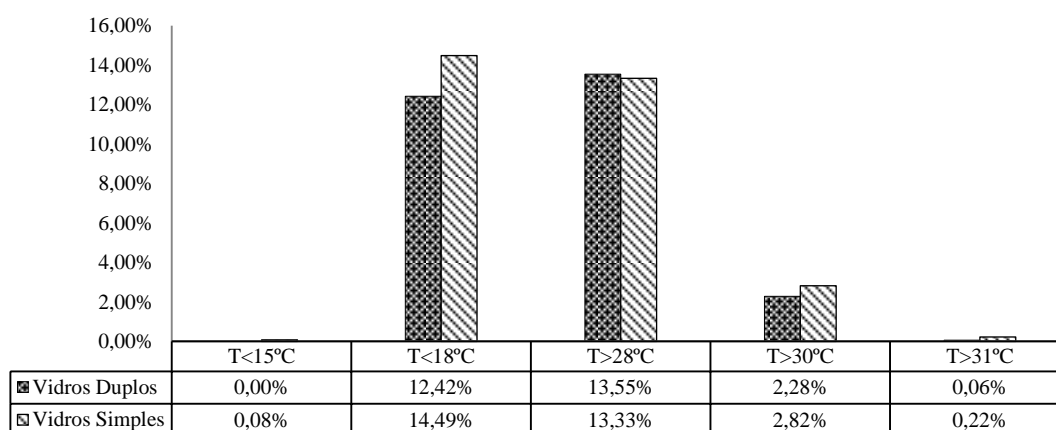
Não foi considerada a existência de cortinados interiores.

Também se verificou, através de simulação, que os envidraçados com proteção exterior permitem ganhos e perdas de calor mais favoráveis ao equilíbrio térmico do edifício que os protegidos pelo interior.

Dos resultados obtidos por simulação com envidraçados de vidro simples extraiu-se que o número de horas anuais em que as temperatura do ar caem fora do intervalo [18;28]°C é de 23,6%, dos quais 10,22% das horas anuais correspondem a temperaturas inferiores a 18°C e 13,33% a temperaturas superiores a 28°C.

Os resultados da simulação feita com envidraçados de vidros duplos mostram alguma vantagem no equilíbrio térmico do ar interior, em especial na contenção das perdas. Este fato também é observado através da contagem e comparação do número de dias em que ocorrem temperaturas fora do intervalo referido em períodos superiores a 12 horas: 60 dias para temperaturas inferiores a 18°C e 40 dias para temperaturas superiores a 28°C no caso de envidraçados de vidro simples, a contagem é de 50 e 41 dias respetivamente para envidraçados com vidro duplo.

Quadro 39 - Percentagem de horas anuais em que se verificam temperaturas fora do intervalo [18;28]°C



Perante estes resultados, dependente das considerações já expressas parece evidente a vantagem na utilização de vidros duplos para melhoria do conforto térmico, contudo, esta poderá ser anulada pela forma de funcionamento do edifício, do comportamento, das necessidades dos utilizadores, e de outras condicionantes circunstanciais como, por exemplo, o desrespeito dos princípios referentes ao sombreamento dos vãos, abertura e fecho dos envidraçados no sentido de controlar a ventilação natural, necessidades de funcionamento em contra ciclo com os interesses da eficiência energética resultantes da inadaptação ao clima local dos utilizadores oriundos de outras latitudes, entre outros.

Os envidraçados apresentam-se assim como uma “janela de oportunidade” a explorar no sentido da melhoria da eficiência energética. Importa desenvolver soluções que potenciem os ganhos no período de aquecimento, a redução de ganhos e a promoção das perdas no período de arrefecimento.

Os materiais e sistemas existentes são favoráveis ao cumprimento do objetivo global pelo que serão de manter, no entanto, nem todos os envidraçados têm proteções pelo exterior e os quatro envidraçados da torre não têm qualquer tipo de proteção opaca. Propõe-se então, a instalação de persianas de madeira pelo exterior em todos os envidraçados com incidência de radiação solar significativa (potência > 300W/m²), a correta e adequada conservação das portadas interiores instaladas em todos os envidraçados dos compartimentos destinados à permanência de pessoas.

Não se vê vantagem na aplicação de qualquer tipo de proteção opaca nos envidraçados da torre, os ganhos de calor proporcionados são facilmente perdidos por convecção e ventilação, o seu aproveitamento em cotas inferiores do edifício não é energeticamente viável, e as perdas do calor proveniente dos compartimentos inferiores podem ser contidas através da correta manobra das portas interiores de acesso à sala da torre.

Outros dispositivos favoráveis ao controlo dos fluxos de energia através dos envidraçados serão inevitavelmente instalados por razões decorativas e funcionais, são exemplo as cortinas interiores, normalmente em duas camadas, uma opaca e outra translúcida.

Este complexo de proteções adequadamente manobrado proporciona o controlo da ventilação, dos fluxos de calor e da luz, levando à redução do consumo de energia final.

Um sistema de gestão centralizada que atue sobre estes dispositivos em sintonia com o clima real e com as necessidades de conforto da massa de ocupantes, maioritariamente pessoas de diferentes latitudes, diferentes idades e condição física, entre outras diferenças, embora fosse possível seria desproporcionado.

Em síntese defende-se a manutenção dos atuais envidraçados e dos materiais que os constituem, o alargamento da instalação de proteções opacas exteriores e dos cortinados interiores a todos os vãos dos compartimentos destinados à permanência de pessoas.

Uma conduta de boas práticas na gestão da abertura e do fecho dos dispositivos móveis do sistema de fenestração do edifício será imprescindível ao sucesso da climatização passiva.

6.2.4. VENTILAÇÃO NATURAL

Os sistemas e dispositivos já referidos, conjugados com a promoção da ventilação cruzada através dos envidraçados e dos vãos interiores de comunicação entre compartimentos, integram uma malha de canais de circulação de ar que, quando corretamente controlados, podem promover um arrefecimento significativo do ar interior em todo o edifício.

Sem qualquer embargo à preservação dos valores inerentes ao edifício, a atual claraboia do saguão poderá ser modificada por forma a acolher dispositivos que permitam controlar a estancuecidade em favor de uma ventilação regulada.

6.2.5. JARDIM

O edifício é circundado por uma levada de rega do jardim, instalada junto à galeria. Esta levada deverá ser mantida em funcionamento e plena de água em especial na estação quente. As plantações na margem da levada deverão ser adequadas a substratos saturados em água por forma a ser possível manter uma área húmida significativa para promoção de arrefecimento evaporativo, criando assim uma envolvente fresca na maior parte do perímetro do edifício.

As cortinas arbóreas não induzem proteção significativa útil ao edifício contra a radiação solar, situar-se-iam a Sul e a um afastamento tal que a sua sombra estival, não atingiria as fachadas do edifício, já que o sombreamento útil não aconteceria devido à trajetória mais vertical do sol nas posições mais a Sul, no inverno verificar-se-ia o oposto embora estes efeitos pudessem ser atenuados utilizando espécies de folha caduca.

6.2.6. CLIMATIZAÇÃO

Perante o quadro de temperaturas do ar interior fora dos limites razoáveis de conforto que se estima ocorrerem, Quadro 39, foram encontrados alguns dias nos meses de janeiro, fevereiro, julho e agosto cujo número de horas diárias é superior a 12. Não sendo desejável equipar o edifício com um sistema de climatização ativo, as melhorias previstas resultantes das medidas indicadas para os envidraçados poderão reduzir o número de horas em que não são atingidos os objetivos de conforto, admite-se a necessidade ao recurso pontual a equipamento de climatização do tipo “AC portátil” a instalar em lugares destinados à permanência de funcionários em funções de muito baixa atividade física por períodos de tempo prolongados.

Caso venham a ser consideradas outras premissas, em especial no âmbito de condições de conforto térmico mais exigentes, será fisicamente possível instalar, de forma permanente, sistemas de climatização compatíveis com os objetivos de preservação dos valores culturais do edifício.

A instalação de um sistema baseado em superfícies radiantes através dos pisos e dos tetos pode ser considerada. Em geral os revestimentos dos pavimentos e dos tetos serão objeto de trabalhos profundos de reparação que levarão ao seu desmonte parcial ou total, cuja execução possibilitará a instalação das tubagens necessárias ao funcionamento de um sistema de climatização por superfície radiante.

6.2.7. SOMBREAMENTOS

Tendo a varanda Sul vocação para o funcionamento em esplanada, será de esperar a instalação de dispositivos de sombreamento e também que algumas das portas adjacentes sejam abertas com frequência, ou até mesmo que venham a ficar abertas. Esta funcionalidade proporciona dinâmicas que quando adequadamente geridas favorecem o equilíbrio térmico do ar interior.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho foi motivado pela necessidade de avaliar o desempenho energético dos edifícios antigos que se enquadram numa tipologia vulgar nos centros urbanos, edifícios de cariz residencial burguês, construídos, ou adaptados, até ao primeiro quartel do século XX e que vieram posteriormente a ser utilizados para fins institucionais, serviços, rendimento ou simplesmente abandonados.

O interesse e a necessidade crescente da reabilitação do espaço urbano enquanto espaço físico e de cidadania, em que a reabilitação dos edifícios é só mais uma vertente, mas a que foi o objeto deste estudo, levou a que fossem observados outras matérias relacionadas, nomeadamente as patologias de causas higrotérmicas e a resposta estrutural às ações induzidas pelas oscilações térmicas e higroscópicas.

7.1. PRINCIPAIS ABORDAGENS

A análise aos resultados do primeiro ensaio de simulação revelou a dimensão da amplitude térmica a que alguns elementos principais da envolvente exterior estavam sujeitos, nomeadamente paredes e coberturas, elementos de importância primária nos edifícios. Embora o valor mais elevado (64,66°C) da amplitude térmica anual seja verificado num elemento da cobertura em telhado, também foram encontrados valores elevados em lajes de cobertura (62,43°C) e em paredes (>50°C), que a temperatura da face interior das paredes e lajes ao contrário têm uma amplitude térmica pequena ($\approx 16^\circ\text{C}$). Estas observações suscitaram a reflexão sobre os efeitos mecânicos nos elementos estruturais, motivados pelas variações de temperatura e das possíveis patologias induzidas. Sem ter sido materializada qualquer qualificação e quantificação das ações relacionadas, é possível admitir a ação de esforços de tração/compressão, flexão e torção, todos variáveis no tempo, acompanhando os ciclos diários e sazonais das variáveis climáticas, num ritmo capaz de gerar um fenómeno idêntico à fadiga dos metais, tudo resultante das variações dimensionais causadas pelas oscilações de temperatura no tempo. As consequências destas ações só são evidentes numa pequena laje de cobertura, constituída por um vigamento em perfis de aço tipo IPE e abobadilhas de alvenaria argamassada, onde é visível a corrosão profunda do aço causado pela fissuração das juntas entre os dois materiais por estes terem coeficientes de dilatação muito diferentes. Não são evidentes outras consequências de causas térmicas na superestrutura pelo que se poderá admitir que as soluções de construção adotadas foram adequadas.

No âmbito do trabalho importava observar como é que o calor se “movimenta” entre o interior e o exterior do edifício, e como se podem controlar estes fluxos por forma a favorecer o conforto e a redução dos consumos de energia final. Com a revisão ao estado da arte foi possível confirmar e avaliar as limitações com que outros se têm deparado, pela quantidade de fatores que condicionam o balanço energético dos edifícios, a análise dos resultados obtidos por simulação e a incerteza sobre o desempenho dos materiais [6]. Assumiu-se como principais atores os que conduzem os maiores fluxos de calor: a envolvente opaca (paredes e coberturas) e os vãos, em particular os envidraçados.

As paredes encontradas na envolvente são de grande espessura, entre 0,60m e 0,80m, constituídas por camadas de materiais homogêneos de características térmicas muito próximas perfazendo o coeficiente de transmissão térmica $U=0,829 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, valor semelhante ao das paredes atualmente usadas nos edifícios modernos de duplo pano de alvenaria de tijolo furado com caixa de ar e rebocos de argamassa de areia e cimento Portland, mas prejudicados pelas pontes térmicas devidas à estrutura e aos pavimentos em betão armado. A solução encontrada parece ser a mais vantajosa para este tipo de edifícios pelo seu monolitismo que proporciona gradientes térmicos mais equilibrados, a elevada massa é favorável a uma inércia térmica adequada ao bom desempenho energético, em consequência da sua boa capacidade de acumular calor e de retardar a sua propagação, e poupar a utilização de materiais isolantes térmicos cujo funcionamento é por vezes incompatível com o funcionamento térmico global da parede e até responsável pela condensação interna do vapor de água.

As coberturas são, na sua generalidade, em telhado ($\approx 92\%$) com $U=0,465 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, constituído por camadas de materiais que não estão solidamente aderentes entre si, a camada exterior é formada por telhas cerâmicas, um material refratário assente sobre uma estrutura de madeira e uma esteira em duas camadas, uma de madeira e outra de lã de rocha. As madeiras e a lã de rocha também estão livres entre si podendo absorver os movimentos determinados pelas dilatações higrotérmicas, somente as madeiras mantêm uma ligação mais rígida com as paredes, o que não é constrangedor pela grande proximidade dos parâmetros higrotérmicos dos dois materiais. Só as coberturas em laje, como foi já referido, têm comportamentos menos adequados.

De entre os vãos só os envidraçados pela sua extensão e particularidade das características físico-ondulatórias merecem apreciação. Concluiu-se da importância das proteções opacas pelo interior e pelo exterior, pela diferença das suas funções que se complementam, enquanto a primeira assume principal papel no controlo das perdas de calor, a segunda controla os ganhos. Analisados os resultados nas duas simulações feitas, uma com vidro simples outra com vidros duplos,

pode-se concluir da vantagem na aplicação dos últimos para a melhoria do conforto térmico e por inerência na redução dos consumos de energia para a climatização.

Por fim, os valores de desempenho atingidos e a entrada em vigor da nova regulamentação (DL 118/2013 de 20 de Agosto), cujo espírito encoraja a exploração de sistemas de climatização passiva e a ventilação natural, levou a que se testasse a recém-divulgada folha de cálculo STE-MONOZONA do LNEG para avaliação do posicionamento do desempenho energético do edifício em relação às metas regulamentares. Embora se admita algum desvio à correta interpretação do regulamento e à boa utilização da aplicação informática, os resultados globais obtidos, para avaliação do mérito energético do edifício em termos de desempenho energético, são manifestamente simpáticos.

7.2. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Pode-se concluir que o conceito de “Arquitetura Solar Passiva” marcou a concepção deste edifício, quer pelo seu desenho global, quer pela implantação e pela orientação geográfica.

Admitindo que os padrões de conforto na época fossem menos exigentes que hoje, há que considerar que este edifício foi concebido para residência de uma família abastada que se imagina exigente, onde não foi encontrada qualquer evidência de ter existido algum sistema de aquecimento do tipo salamandra ou fogão de sala e que a única chaminé destinada à exaustão de fumos se encontra na cozinha em posição pouco favorável à partilha do calor aí gerado com o ambiente interior, o que pode levar a concluir-se que o clima interior satisfazia cabalmente as exigências de conforto térmico.

As exigências de conforto atuais, expressas na regulamentação em vigor, podem ser satisfeitas através de três medidas compatíveis com a defesa dos interesses de preservação dos valores culturais do edifício: acondicionamento da fenestração através da colocação de vidros duplos acessíveis e da recuperação das proteções opacas, colocação de isolamento térmico na cobertura e a instalação de um sistema de climatização por piso e teto radiantes.

Também se pode concluir que os materiais utilizados na construção da superestrutura têm respondido com mérito às exigências de integridade estrutural do edifício. Os materiais usados em maior quantidade são materiais de produção local de muito baixa energia incorporada (pedras, calço, areia e terra), à exceção da cal, das telhas e dos ladrilhos cerâmicos do piso térreo. O aproveitamento do edifício pré-existente é marcado pela fachada do século XIII e por um conjunto de paredes e abóbadas que definem compartimentos de geometria irregular, embora sem

datação conhecida, poderão ser anteriores ao século XIII, fato que confirma a boa longevidade destes materiais e a importância dada à época pelo reaproveitamento dos materiais e das construções existentes como forma da racionalização do uso dos recursos.

Por fim importa concluir-se que os resultados obtidos são encorajadores à defesa da reabilitação deste tipo de edifícios através do recurso a materiais e a técnicas compatíveis com as que foram usadas na sua concepção e na sua manutenção. A preocupação com as questões de conforto e ambiente não eram desconsideradas como foram em épocas posteriores. Cada edifício merece um estudo adequado pelas características da sua inserção geográfica e na envolvente urbana, pela inserção em fase de construção ou posteriormente de materiais incompatíveis com a superestrutura. Convém ainda observar que nem todos os edifícios desta família estão sujeitos a deveres de respeito pela sua originalidade, como o edifício em estudo, quer pela falta de consistência dos elementos erigidos quer pela utilização que se lhes pretende dar.

7.3. LIMITAÇÕES

No que respeita à execução do presente trabalho, as principais limitações relacionam-se com o tempo dispendido na exploração do *software*, na escolha das opções mais adequadas ao cumprimento dos objetivos definidos, e à interpretação e aplicação da nova regulamentação.

As limitações à aplicação das medidas propostas advêm da adaptação dos atores (técnicos, indústria e clientes) à realidade da reabilitação dos edifícios centenários pelo afastamento tecnológico induzido nas últimas décadas através da dinâmica da construção de edifícios novos, dos materiais e equipamentos impostos pela indústria e pelo mercado, das exigências dos utilizadores e dos instrumentos legais em vigor aplicáveis, ou da interpretação inadequada que deles se faz.

7.4. TRABALHOS FUTUROS

No âmbito das questões térmicas há que desenvolver trabalhos que incluam também a exploração da ventilação e da iluminação natural no sentido da eficiência energética.

Também, no âmbito das ferramentas de cálculo automático, os algoritmos utilizados e a parametrização regulamentar merecem dedicação, a interpretação dos resultados das diferentes ferramentas de cálculo com vista à sua conseqüente optimização para a real satisfação das necessidades de redução do consumo de energia final, nunca perdendo de vista a eficiência económica do utilizador final.

Usar, através dos meios adequados, a divulgação dos resultados já obtidos para suscitar a discussão de soluções e as formas de abordar a questão da eficiência energética em torno da reabilitação, encorajar a prática da simulação dinâmica como ferramenta de ajuda à construção das melhores soluções no sentido de aliviar a afetação de recursos escassos em favor da real eficiência económica através da redução do investimento inicial, tudo em favor de aprendizagens partilhadas e contínuas.

Importa não ter medo de testar, nem de reconhecer que o que se faz, ou diz, no refúgio da intuição, pelo simples facto de não se saber explicar, ou justificar, esteja necessariamente errado.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. S. Kahlmeyer-Mertens, "Consciência - Filosofia e Ciências Humanas," [Online]. Available: http://www.consciencia.org/descartes-regras_direcao_espirito. [Acesso em 04 Março 2014].
- [2] C. Ruivo, *Capítulo 3 - Dados Climáticos*, Faro: UAIG - ISE.
- [3] IPMA, "ipma.pt/pt," 2014 . [Online]. Available: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>. [Acesso em 16 Fervereiro 2014].
- [4] C. Ruivo, *Capítulo 8 - Cálculo de cargas térmicas*, Faro: UAIG - ISE.
- [5] Madalena Achenza; Ulrico Sanna, *Il Manual tematico della Terra Cruda*, Sardegna: ITACA, 2006.
- [6] P. J. F. d. A. U. d. Mendonça, Tese de Doutoramento "Habitar sob uma segunda pele", Guimarães: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2005.
- [7] C. Ruivo, *Capítulo 7 - Transmissão de Calor em Edifícios*, Faro: UAIG - ISE.
- [8] University of Illinois and the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, *Getting Started with EnergyPlus*, Orlando: US Department of Energy, 2013, p. 73.
- [9] Alice Tavares, Aníbal costa, Humberto Varum, *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios*, Aveiro: Inovadomus - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2011.
- [10] F. S. & N. Sunke, *Energy-oriented deconstruction and recovery planning*, Siegen: University of Siegen, 2007.
- [11] J. Appleton, *Reabilitação de Edifícios Antigos e Sustentabilidade*, Évora: VII ENEEC 2010 - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil, 2010.
- [12] Município de Faro, *Novo Regulamento da Urbanização e da Edificação do Município de Faro*, Lisboa: Diário da República, 2013.
- [13] Direcção Geral de Geologia e Energia, *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.
- [14] Ministério da Cultura, "RADIX - Ministério da Cultura," [Online]. Available: <http://radix.culturalg.pt/visualizar.html?id=2998>. [Acesso em 14 9 2013].
- [15] Desconhecido, "Marafado," 2009 01 2009. [Online]. Available: <http://marafado.wordpress.com/2009/01/13/a-escola-do-magisterio-primario-de-faro>. [Acesso em 14 09 2013].

- [16] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios, Decreto-Lei 40/90 de 06 de Fevereiro, Lisboa: Diário da República, 1990.
- [17] Concelho de Ministros, RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei 80/2006 de 04 de Abril, Lisboa: Diário da República, 2006.
- [18] Ministério da Economia e do Emprego, Decreto-Lei n.º 118/2013 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, Lisboa: Diário da República, 2013.
- [19] Conselho de Ministros, RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/98, de 7 de Maio, Lisboa: Diário da República, 1998.
- [20] F. C. Giacomini, J. J. L. Teixeira e R. H. C. F. Póvoas, “Reabilitação de edifícios correntes de valor patrimonial.,” em *Seminário "Cuidar das casas. A manutenção do património corrente"*, Porto, 2013.
- [21] M. M. F. d. Sousa, *Patologia da construção - Elaboração de um catálogo*, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [22] Porto Vivo, *Reabilitação de Edifícios do Centro Histórico do Porto, Guia de Termos de Referência para o Desempenho Energético-Ambiental*, Porto: Porto Vivo, SRU, 2010.
- [23] Gabinete dos Centros Históricos de Setúbal, *Manual de Boas Práticas de Intervenção no Património Histórico do Concelho de Setúbal*, Setúbal: Município de Setúbal, 2010.
- [24] C. R. Ruivo, A. C. Inverno e A. H. Lamarão, *Qualidade Térmica Ambiental em Salas de Aula*, Faro: Universidade do Alharve - Escola Superior de Engenharia, 2000.
- [25] C. P. Santos e L. Matias, *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50*, Lisboa: LNEC, 2006.
- [26] J. M. G. Helder Gonçalves, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, Lisboa: INETI, 2004.
- [27] M. I. L. M. D. d. Abreu, *Correcção de Pontes Térmicas em Intervenções de Reabilitação*, Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2003.
- [28] P. Faria, “ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS,” em *2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono*, Almada, 2012.
- [29] J. S. B. Farinha e A. C. d. Reis, *Tabelas Técnicas*, Setúbal: P. O. B., 1993.

9. ANEXOS

9.1. DESENHOS

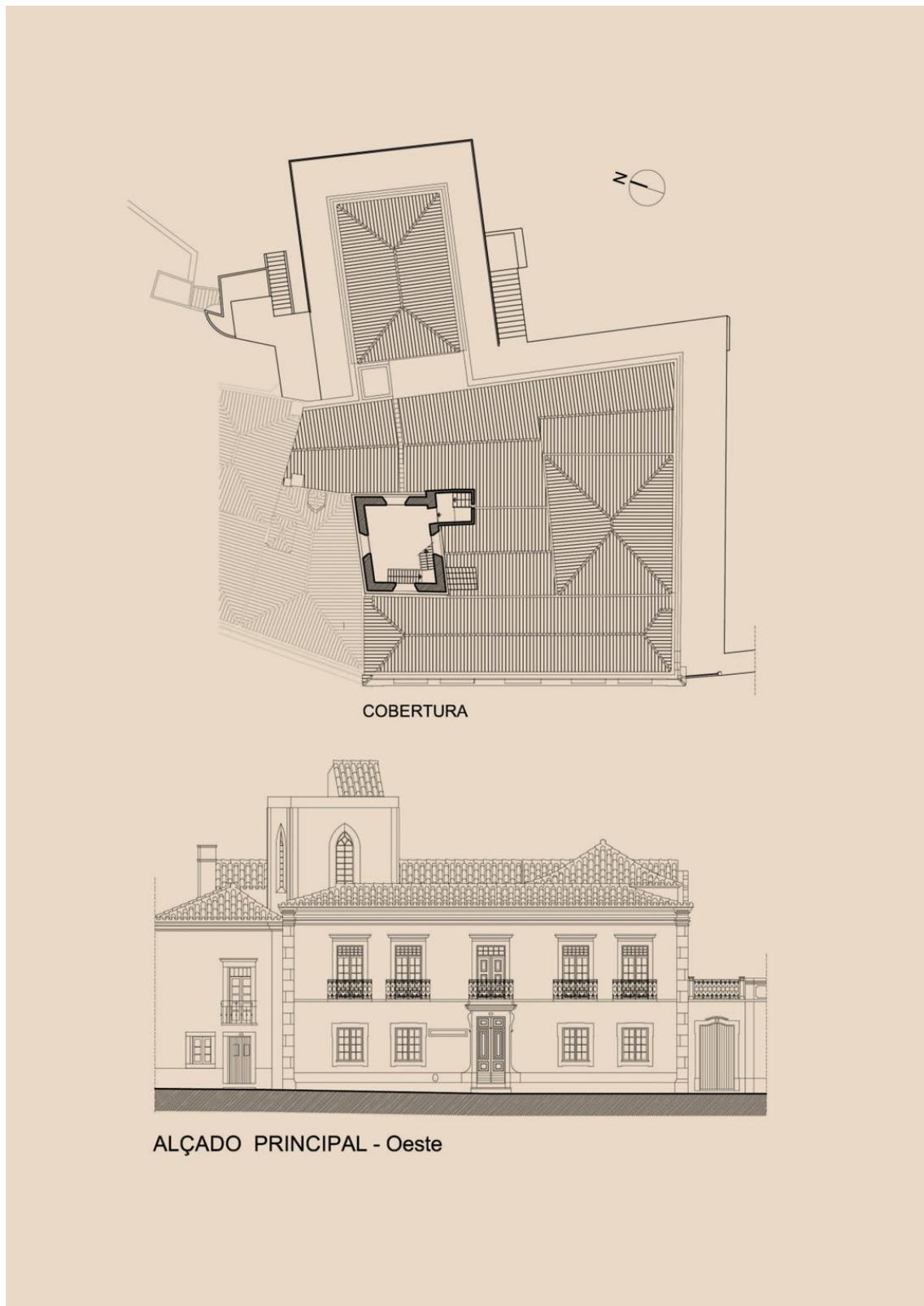


Figura 25 - Alçado Principal e Cobertura.

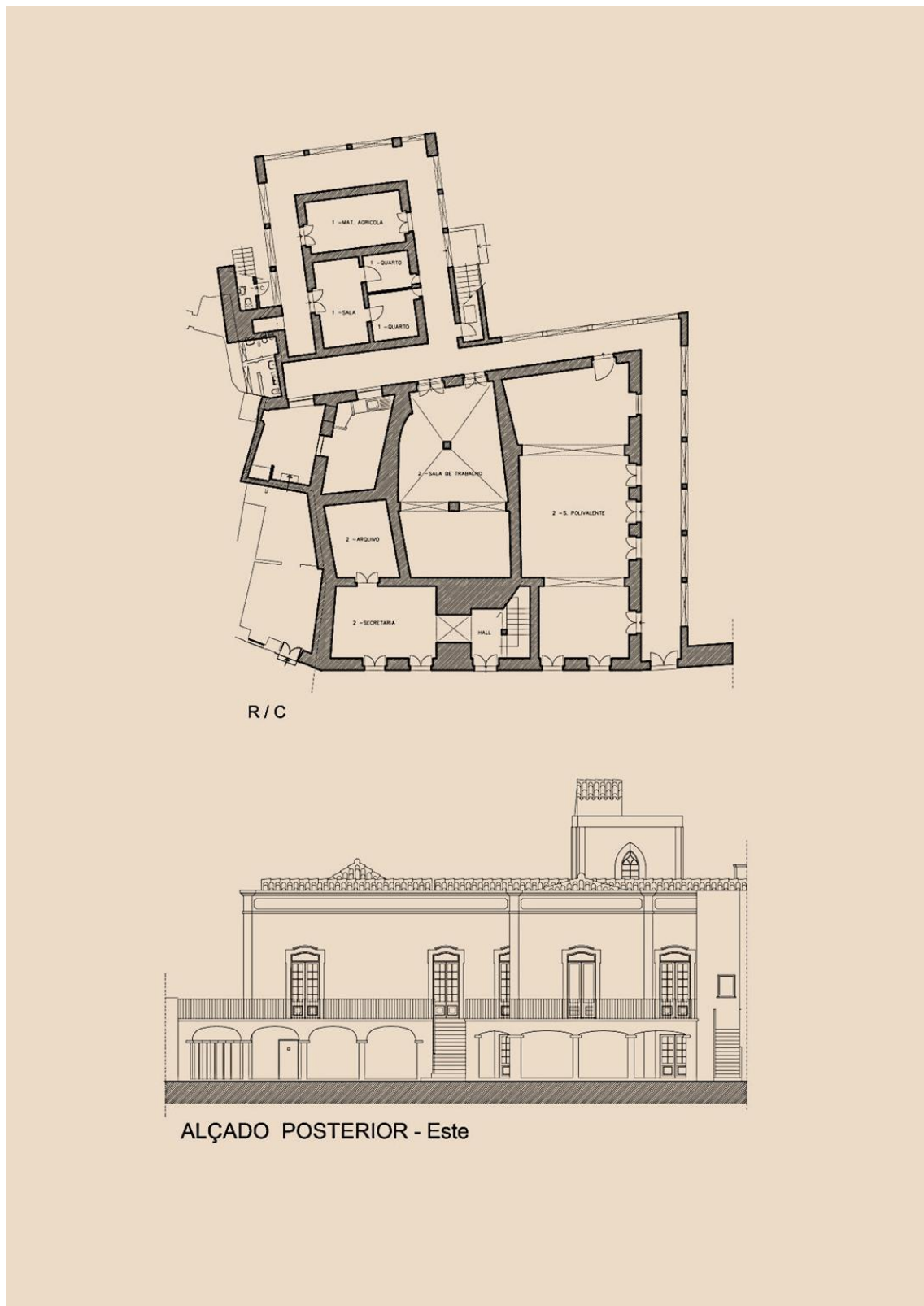


Figura 26 - Alçado Posterior e Planta do R/C.

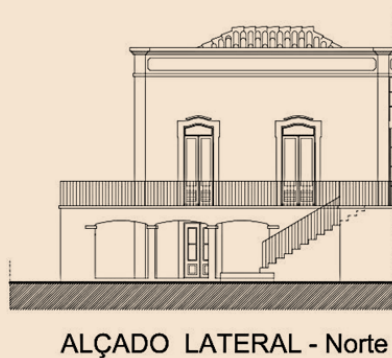
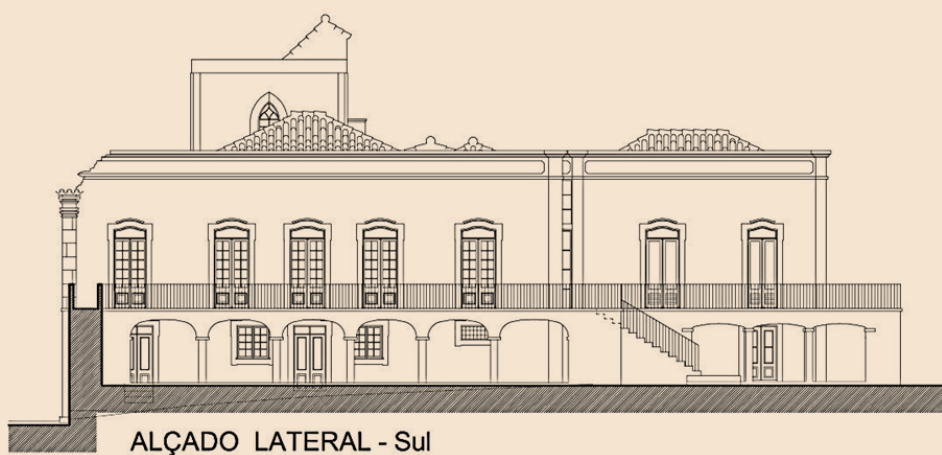


Figura 27 - Alçado Sul e Alçado Norte.



Figura 28 - Cortes