

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



Eficiência energética de edifícios em fase de projeto: aplicação de ferramentas de simulação

Cátia Raquel Francisco Ferreira

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2015

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



Eficiência energética de edifícios em fase de projeto: aplicação de ferramentas de simulação

Cátia Raquel Francisco Ferreira

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Orientadores

Guilherme Carrilho da Graça (FCUL)

Cristina Sousa Horta (NaturalWorks)

2015

Abstract

According to statistic data from Eurostat, in 2012 the final energy consumption in Portugal for building (commercial and residential) stood in 30% of the total consumption of the country, similar the 40% average for Europe. On the other hand, in the developing countries the distribution of energy consumption tends to get close do the developed ones. Even if the building sector does not correspond to the main slice of final energy consumption, still has a substantial role, which requires extensive analysis since the design stage, of how building interacts with exterior environment. With that in mind, tools of building simulation were developed which purpose is to promote energy efficiency and reduce costs.

This thesis follows the work developed in NaturalWorks company, and it presents three projects in which goal is to optimize and evaluate thermal performance of buildings in design stage. For that, were used tools of dynamic simulation such as *ECOTET*, *EnergyPlus* and *STE_MONOZONA* for simplified dynamic calculations for commercial buildings. On the other hand, for residential buildings the methodology set by Portuguese legislation was used.

The first case consisted on optimising the application of vertical glass shading blades on the facade of Serena, a commercial building in Luanda, Africa. The second case studied applies and verifies the Portuguese legislation (D.L n. ° 118/2013 from 20th August) on a mixed building (residential and commercial) located on Rua dos Douradores in Lisbon. The third and last case consisted in the analysis of thermal performance and verification of Portuguese legislation for a large service building (Anunciada Palace/Hotel Roots also in Lisbon).

KeyWords: *Dynamic simulation, energy efficiency, optimization, energy building legislation*

Resumo

De acordo com dados estatísticos do Eurostat, em Portugal no ano de 2012, o consumo de energia final fixou-se em cerca de 30% para o setor dos edifícios (serviços e habitação), próximo da média de 40% da Europa. Por outro lado, nos países em desenvolvimento a distribuição do consumo de energia tende a aproximar-se da tendência de consumo dos países desenvolvidos. Ainda que o setor dos edifícios não corresponda à maior fatia de consumo, o peso deste não deixa de ser preponderante, tornado necessário considerar a avaliação do desempenho energético dos edifícios ainda em fase de projeto, através de ferramentas de simulação, promovendo a eficiência energética e reduzindo custos.

Este relatório decorre no âmbito do estágio realizado na empresa NaturalWorks e apresenta três casos de estudo, nos quais o principal objetivo é otimizar e avaliar o desempenho energético de edifícios ainda em fase de projeto, através de ferramentas de simulação dinâmica, nomeadamente: *EnergyPlus*, *ECOTECH*, e folhas de cálculo que acompanham a legislação portuguesa.

O primeiro caso de estudo consiste na avaliação e otimização da aplicação de lâminas de sombreamento verticais em vidro num edifício de escritórios em Luanda, Angola. O segundo e terceiro casos consistem na aplicação e verificação da legislação portuguesa referente ao desempenho energético dos edifícios (DL n.º 118/2013 de 20 de Agosto) O primeiro edifício na Rua dos Douradores em Lisboa é misto, com frações de habitação e de comércio e serviços, abrangidas respetivamente pelo REH e RECS e o segundo edifício é o Palácio da Anunciada futuro Hotel Roots, cujo desempenho foi avaliado no âmbito do RECS, como um grande edifício de comércio e serviços.

Palavras-chave: Simulação dinâmica, eficiência energética, otimização REH, RECS

Índice

Abstract.....	I
KeyWords: <i>Dynamic simulation, energy efficiency, optimization, energy building legislation</i>	I
Resumo.....	II
Palavras-chave: Simulação dinâmica, eficiência energética, otimização REH, RECS	II
Siglas.....	X
1. Introdução.....	1
Conceitos teóricos	2
1.1 Transferência de calor e balanço térmico de um edifício.....	2
1.1.1 Balanço térmico de um edifício	4
1.2 Conforto térmico.....	4
1.3 Ferramentas de simulação dinâmica.....	6
1.3.1 <i>EnergyPlus</i>	6
1.3.2 <i>ECOTECT</i>	8
1.4 Enquadramento regulamentar	8
1.4.1 Qualidade térmica da envolvente para REH e RECS	8
1.4.2 Renovação de ar e qualidade dos sistemas técnicos.....	11
1.4.3 Metodologia de cálculo para avaliação do desempenho energético	11
2. Casos de estudo.....	15
2.1 Estudo de incidência e controlo solar – Fachada com lâminas de sombreamento em vidro (Edifício Serena, Luanda).....	15
2.1.1 Análise climática	15
2.1.2 Descrição do edifício	18
2.1.3 Exposição e incidência solar do edifício	19
2.1.4 Zonas para tratamento de fachadas	28
2.1.5 Definição do modelo para simulação dinâmica	30
2.1.6 Geometria do modelo.....	30
2.1.7 Cargas internas e de ar novo.....	32

2.1.8	Soluções construtivas dos vãos envidraçados	32
2.1.9	Resultados	33
2.1.10	Conclusão	41
2.2	Reabilitação de edifício de habitação, comércio e serviços – Rua dos Douradores, Lisboa ...	42
2.2.1	Enquadramento regulamentar e descrição do edifício	42
2.2.2	Soluções construtivas	45
2.2.3	Sistemas técnicos propostos.....	47
2.2.4	Análise climática	48
2.2.5	Verificação do cumprimento regulamentar para envolvente envidraçada	48
2.2.6	Desempenho energético	49
2.2.7	Estudo adicional – Análise da Necessidade arrefecimento ativo nas frações de habitação	51
2.3	Reabilitação de um grande edifício de comércio e serviços – Palácio da Anunciada (Hotel Roots)	53
2.3.1	Análise climática	53
2.3.2	Descrição do projeto.....	54
2.3.3	Metodologia de simulação e descrição do modelo geométrico	57
2.3.4	Desempenho energético	59
2.3.5	Conclusão	60
3.	Conclusões	61
4.	Referências.....	63
	Anexos.....	65

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Escala de PMV [7].....	5
Tabela 2 – Máximos admissíveis para coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca.....	8
Tabela 3 – Máximos admissíveis para vãos envidraçados, gT_{max}	10
Tabela 4 – Relação entre as necessidades nominais e o respetivo limite para edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções	12
Tabela 5 – Intervalos de R_{Nt} para a determinação da classe energética para edifícios de habitação	13
Tabela 6 – Intervalos de RIEE para a determinação da classe energética para edifícios ou frações de comércio e serviços	14
Tabela 7 – Características dos vidros utilizados nos vãos envidraçados e nas lâminas de sombreamento	32
Tabela 8 – Perfil variável de incidência solar para as fachadas menos expostas (diferença entre a zona mais exposta do topo e a zona menos exposta da base da própria fachada)	35
Tabela 9 – Resultados obtidos para alteração de serigrafia nas fachadas com orientações principais ...	36
Tabela 10 – Variação das necessidades de arrefecimento e da radiação transmitida para o interior do espaço entre a mesma fachada com 50% de serigrafia e com alteração de serigrafia. Os valores positivos correspondem ao aumento dos parâmetros analisados	38
Tabela 11 – Diferentes inclinações de lâminas estudadas para cada orientação (ângulo entre a lâmina e a normal ao envidraçado).....	40
Tabela 12 – Comparação com as fachadas correspondentes com palas a 0° , da radiação transmitida bem como da carga total de arrefecimento	40
Tabela 13 – Caraterização dos elementos construtivos exteriores.....	45
Tabela 14 – Caraterização dos elementos construtivos interiores	46
Tabela 15 – Caraterização dos elementos construtivos horizontais.....	46
Tabela 16 – Verificação do cumprimento regulamentar para vãos envidraçados não orientados no quadrante Norte (exemplo de vão envidraçado para cada orientação).....	49
Tabela 17 – Indicadores obtidos para as frações de comércio e serviços	50
Tabela 18 – Indicadores obtidos para as frações de habitação	50
Tabela 19 – Caracterização das soluções construtivas para o palácio da Anunciada/Hotel Roots	55

Tabela 20 – Sistema de climatização de referência	58
Tabela 21 – Consumos do tipo S, para o modelo real e para a referência	59
Tabela 22 – Consumos do tipo S, para o modelo real e para a referência	59
Tabela 23 – Indicadores de eficiência energética previsto (modelo real) e de referência (para o modelo com as soluções de referência)	59
Tabela 24 – perfis de ocupação, iluminação e equipamentos considerados para o edifício Serena	I

Índice de Figuras

Fig. 1 – PPD como função de PMV (adaptado de [7]).....	5
Fig. 2 – Representação esquemática do mecanismo de simulação do EnergyPlus, (adaptado de [12])	7
Fig. 3 – Temperatura máxima, mínima e média ao longo dos dias de cada mês (linhas a azul). A mancha vermelha identifica o intervalo de temperaturas ao longo das várias horas de cada mês. Variação média mensal da radiação solar direta e difusa (a amarelo cheio e cinzento tracejado, respetivamente). Obtido a partir de um ficheiro de um ano climático típico de Luanda [fonte: Meteonorm 7]	16
Fig. 4 – Variação da humidade relativa ao longo do ano para um ano típico de Luanda [fonte: Meteonorm 7]	16
Fig. 5 – Posição solar em relação à fachada norte no período de inverno (12:30h Julho) [fonte: <i>software ECOTECT</i> versão 5.50]	17
Fig. 6 – Posição solar em relação à fachada norte no período de verão (12:30h Janeiro) [fonte: <i>software ECOTECT</i> versão 5.50]	17
Fig. 7 – Local de implantação do edifício Serena (Norte para cima).....	18
Fig. 8 – Maquete do edifício Serena, vista Noroeste (autoria da maquete: Atelier RISCO)	18
Fig. 9 – Modelo tridimensional do edifício Serena, vista do alçado Norte (incidência solar às 16:00h Fevereiro) [<i>software ECOTECT</i> versão 5.50]	19
Fig. 10 – Identificação das fachadas analisadas e principais orientações (exemplo O_1: representa a orientação da fachada_número que identifica a mesma).....	20
Fig. 11 – Identificação da fachada, nome e visualização do modelo	20
Fig. 12 – Nesta imagem é possível visualizar a distribuição da incidência solar na fachada (média anual) e identificação da zona representativa da fachada para a qual é realizada a análise de incidência anual (nos casos em que é notória uma variação vertical foram analisadas mais do que uma zona).....	20
Fig. 13 – Para a zona da fachada identificada na imagem anterior (quadrado branco), é apresentada a incidência solar ao longo do ano (eixo horizontal, 365 dias) e das várias horas de cada dia (eixo vertical, da 1h às 24h)	21
Fig. 14 – Fachada S_1	21
Fig. 15 – Fachada S_2	22

Fig. 16 – Fachada S_3	22
Fig. 17 – Fachada N_1	23
Fig. 18 – Fachada N_2.....	23
Fig. 19 – Fachada N_3.....	24
Fig. 20 – Fachada N_4.....	24
Fig. 21 – Fachada O_1	25
Fig. 22 – Fachada O_2.....	25
Fig. 23 – Fachada O_3.....	26
Fig. 24 – Fachada O_4.....	26
Fig. 25 – Fachada E_1	27
Fig. 26 – Fachada E_1	27
Fig. 27 – Fachada E_3	28
Fig. 28 – Exposição solar no alçado Sul e no alçado Norte.....	29
Fig. 29 – Exposição solar no alçado Este e no alçado Oeste	29
Fig. 30 – Geometria do modelo tridimensional simplificado com palas exteriores verticais [<i>software SketchUP 2013</i>].....	31
Fig. 31 – Exemplo de geometria do modelo tridimensional simplificado, com efeito de auto sombreamento do edifício (fachada N_2) [<i>software SketchUP 2013</i>].....	31
Fig. 32 – Radiação solar total, transmitida para o interior, por unidade de área de vão envidraçado, para cada zona da fachada (total anual em kWh/m ²)	34
Fig. 33 – Necessidades de arrefecimento anuais, por unidade de área de escritório, para cada zona da fachada (total anual em kWh/m ²).....	34
Fig. 34 – Alterações de serigrafia testadas para as fachadas N_2, E_2, S_3 e O_3	37
Fig. 35 – Radiação direta incidente nas fachadas com maior exposição solar (N_1, O_4, S_1 e E_3) para uma semana típica de verão (Janeiro) e de inverno (Julho)	39
Fig. 36 – Radiação difusa incidente nas com maior exposição solar (N_1, O_4, S_1 e E_3), para uma semana típica de verão (Janeiro) e de inverno (Julho)	39
Fig. 37 – Identificação do imóvel, vista de cima, vista para a Rua dos Douradores e para a Rua da Vitória	42

Fig. 38 – Sombreamento e adjacências existentes, fachada para a Rua dos Douradores (imagem da esquerda) e fachada para a Rua da Vitória (imagem da direita)	43
Fig. 39 – Exemplo de piso destinado à habitação (piso 2, frações 2D, 2E e 2F)	44
Fig. 40 – Exemplo de piso destinada a comércio (piso 0, lojas).....	44
Fig. 41 – Piso sobreloja: frações SLD, SLF e SLE (serviços)	45
Fig. 42 – Dados climáticos de Lisboa (LNEG, CLIMAS SCE versão 1.05).....	48
Fig. 43 – Modelo tridimensional com sombreamento (1 de Agosto 7h00) [<i>software DesignBuilder</i> , versão 3.2.0.067]	51
Fig. 44– Total anual do número de dias em que a temperatura interior é superior a 27°C	52
Fig. 45 – Dados climáticos de Lisboa (LNEG, CLIMAS-SCE 1_05.xlsm)	53
Fig. 46 – Localização do edifício a intervir.	54
Fig. 47 – Corte do edifício, a cinzento as estrutura a manter, a vermelho novas construções e a amarelo demolições	55
Fig. 48 – Modelos tridimensionais do Palácio da Anunciada/Hotel Roots, em cima modelo real e em baixo modelo com soluções de referência (vista poente) [<i>software DesignBuilder</i> , versão 4.2.0.054] ..	57
Fig. 49 – Modelos tridimensionais do Palácio da Anunciada, em cima modelo real e em baixo modelo com soluções de referência (vista nascente) [<i>software DesignBuilder</i> , versão 4.2.0.054].....	57
Fig. 50 – Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 1 corpo A e corpo B	58
Fig. 51 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 0 corpo A e corpo B.....	VI
Fig. 52- Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 1 corpo A e corpo B.....	VI
Fig. 53 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 2 corpo A e corpo B.....	VI
Fig. 54 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 3 corpo A e corpo B.....	VII
Fig. 55 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 4 corpo A e corpo B.....	VII

Siglas

AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DL	Decreto Lei
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
GES	Grande Edifício de Comércio e Serviços
IEE	Indicador de eficiência energética
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PES	Pequeno Edifício de Comércio e Serviços
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i>
RCCTE	Regulamento das Característica de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
UE	União Europeia

1. Introdução

A procura mundial de energia até 2040 será dominada pelos países não membros da OCDE, nomeadamente a China até meados da década de 20, data em que será ultrapassada pela Índia. Ainda assim a procura energética será inferior à média da OCDE na década de 70. A previsão da diminuição deste crescimento tem por base, alterações estruturais na política mundial. Segundo dados estatísticos do Eurostat, em Portugal no ano de 2012, o consumo de energia final fixou-se em cerca de 30% para o setor dos edifícios (serviços e habitação), valor que pouco se distancia dos 40% correspondentes ao setor homólogo europeu. Por oposição à situação nacional, em Angola, o consumo correspondente aos edifícios de serviços é de apenas 8%, não se encontrando ainda institucionalizado o conceito de eficiência energética. Ainda que em ambos os países o setor dos edifícios não corresponda à maior fatia de consumo, o peso deste não deixa de ser preponderante, tornado necessário considerar a avaliação do comportamento dos edifícios ainda em fase de projeto, promovendo a eficiência e reduzindo custos.

Este relatório foi elaborado tendo por base o trabalho desenvolvido no âmbito de um estágio curricular na empresa NaturalWorks. São apresentados três casos de estudo cujos temas tratados têm como fio condutor a aplicação de ferramentas de simulação para eficiência energética de edifícios em fase de projeto. Inicialmente é feita uma abordagem aos conceitos teóricos subjacentes aos projetos desenvolvidos, seguindo-se uma breve descrição das ferramentas de simulação dinâmica utilizadas nos diferentes casos de estudo e da legislação nacional aplicável, nomeadamente o DL n.º118/2013, de 20 de Agosto e respetivas portarias e despachos que lhe estão associadas.

O primeiro caso apresentado expõe o estudo de incidência e controlo solar realizado para um edifício de escritórios em Luanda, o edifício Serena. Este projeto teve como especificidade o facto de ser um edifício com 92 m, com a envolvente exterior totalmente envidraçada. Pretendia-se avaliar o impacto da utilização de lâminas de sombreamento vertical perpendiculares à fachada, em termos de radiação solar introduzida nos espaços de trabalho e de cargas de arrefecimento.

O segundo projeto verifica os requisitos do DL n.º118/2013 de 20 de Agosto, e respetivas portarias REH e RECS para um edifício de carácter misto localizado na Rua dos Douradores em Lisboa. As frações destinadas a habitação foram analisadas a partir da folha de cálculo para avaliação do comportamento disponibilizada pelo IteCons e as frações de escritórios e serviços foram analisada a partir de simulação simplificada. Concluiu-se que os requisitos mínimos regulamentares são cumpridos. Adicionalmente foi realizado um estudo, utilizando o *software EnergyPlus*, sobre as necessidades de arrefecimento, por forma a avaliar quais as frações de habitação que careciam de sistemas de arrefecimento ativo.

O último projeto descrito neste relatório, diz respeito à verificação do RECS para o Hotel Roots/Palácio da Anunciada em Lisboa. Este edifício constitui uma reabilitação de um GES, como tal foram verificados os requisitos mínimos que os sistemas devem cumprir bem como a avaliação do seu comportamento energético através de simulação dinâmica multizona utilizando o *software EnergyPlus*.

Conceitos teóricos

A avaliação do comportamento térmico de um edifício pressupõe a escolha de materiais e de soluções de projeto que satisfaçam os requisitos mínimos inerentes à classificação de um ambiente confortável e saudável para os seus ocupantes. Os fenômenos de transferência de calor estão na base desta avaliação e têm um papel fundamental em qualquer simulação, da mais simples à mais complexa.

1.1 Transferência de calor e balanço térmico de um edifício

O processo de transferência de calor estudado pela Termodinâmica indica que quando existe um gradiente de temperaturas ocorre o fenômeno da transferência de calor. Esta pode processar-se através condução, convecção e radiação [11].

A condução ocorre quando existe um gradiente de temperatura entre duas superfícies. A Lei de Fourier traduz a transferência do fluxo de calor unidirecional em regime estacionário. Este fluxo toma o sentido positivo quando ocorre da temperatura maior para a menor.

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

q_{cond} – Taxa de transferência de calor [W/m²]

k – Condutividade térmica do material [W/(m.°C)]

$\frac{dT}{dx}$ – Gradiente de temperatura entre dois pontos [°C/m]

Porém, a Lei de Fourier não permite avaliar a transferência de calor variável no tempo (efeito transiente). Este é analisado a partir da equação de Difusão de Calor, a qual é resolvida a partir da equação de segundo grau (3), sendo que esta se baseia no Princípio da Conservação da Energia, equação (2), cujo princípio é que a energia total de um sistema fechado é conservada, sendo apenas possível alterá-la a partir de transferência entre as suas fronteiras.

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st} \quad (1)$$

\dot{E}_{in} – Calor transferido para o sistema [W]

\dot{E}_{out} – Calor perdido pelo sistema [W]

\dot{E}_{gen} – Calor gerado pelo sistema [W]

\dot{E}_{st} – Calor armazenado pelo sistema [W]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

Em que:

$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ – Transferência de calor por condução segundo os eixos coordenados x, y e z respectivamente [W/m³]

\dot{q} – Taxa de energia gerada por unidade de volume [W/m³]

$\rho \times c_p \frac{\partial T}{\partial t}$ – Taxa de variação da energia térmica armazenada num volume ($\rho \cdot c_p$ representa a capacidade térmica volúmica do material) [W/m³]

A convecção consiste na troca de calor entre uma superfície e um fluido em movimento a diferentes temperaturas. O fluxo de calor transferido é calcula a partir da Lei de arrefecimento de Newton (4), onde o fluxo é considerado positivo quando ocorre da superfície para o fluido.

$$Q_{conv} = h_c \cdot (T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Onde:

Q_{conv} – Fluxo de calor transferido por convecção [W/m²]

h_c – Coeficiente de transferência de calor [W/m².°C]

T_s – Temperatura da superfície [°C]

T_∞ – Temperatura do fluido [°C]

As trocas de calor através de radiação ocorrem devido a alterações na configuração de eletrões constituintes de átomos ou moléculas entre qualquer corpo cuja temperatura seja diferente do zero absoluto (0 K), sendo a energia transmitida através de radiação eletromagnética. O limite de emissividade de um corpo, designado de corpo negro, é determinado pela Lei de Stefan-Boltzman. Porém uma superfície real emite sempre menos do que um corpo negro à mesma temperatura, pois está afetada pela sua emissividade.

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Onde:

E – Fluxo de calor transferido por radiação [W/m²]

ε – Emissividade do corpo

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ – Constante de Stefan-Boltzman [W/(m².K)]

T_s – Temperatura absoluta do corpo [K]

1.1.1 Balanço térmico de um edifício

O balanço energético de um edifício ou compartimento determina as trocas energéticas entre este e o exterior. Este balanço é calculado de um modo simplificado a partir da equação (6), onde são contabilizados todos os ganhos internos resultantes da ocupação, equipamentos e iluminação artificial, ganhos solares da envolvente opaca e envidraçada.

Equação de ganhos de um edifício/compartimento:

$$G_i + G_s + G_v + G_c = \rho \cdot c_p \cdot V_s \frac{\Delta T}{\partial t} + \sum_{n=1}^k (T_i - T_e) \cdot A_n \cdot U_n \quad (6)$$

Onde:

G_i – Ganhos internos [W]

G_s – Ganhos solares [W]

$G_v = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} (T_{ext} - T_{int})$ – Ganhos por infiltração do ar exterior [W]

$G_c = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} (T_{ins} - T_{int})$ – Ganhos de climatização [W]

$\rho \cdot c_p \cdot V_s \frac{\Delta T}{\partial t}$ – Energia armazenada no ar interior [W]

$\sum_{n=1}^k (T_{int} - T_{ext}) \cdot A_n \cdot U_n$ – Transferência de calor através das superfícies [W]

Sendo que cada parâmetro simboliza:

ρ – Massa volúmica do fluido [kg/m³]

V_s – Volume do fluido [m³]

c_p – Calor específico do fluido [J/(kg.K)]

ΔT – Variação de temperatura [K]

\dot{V} – Caudal volúmico do fluido [m³/s]

∂t – Variação de tempo [s]

T_{ext} – Temperatura exterior do ar [°C]

A_n – Área da superfície n da envolvente [m²]

T_{int} – Temperatura interior do ar [°C]

U_n – Coeficiente de transmissão térmica para a superfície n [W/(m².K)]

T_{ins} – Temperatura de insuflação do ar no interior do edifício [°C]

1.2 Conforto térmico

O conforto térmico não é mais do que o balanço térmico entre o corpo e o meio, ou seja, é o balanço entre a produção de calor do corpo humano e a sua transferência para o meio ambiente. Desta forma, o indivíduo encontra-se termicamente confortável quando o balanço entre as suas perdas térmicas e a taxa metabólica é nulo. Porém existem situações internas que podem causar desconforto, nomeadamente o nível de atividade metabólica do corpo, e situações externas como o vestuário, a temperatura média do

ar, assimetria da temperatura radiante das superfícies, velocidade do ar excessiva e valores de humidade inadequados.

O modelo *PMV* (*Predicted Mean Vote*) elaborado por Fanger e descrito na *ASHRAE 55 2004*, consiste numa escala com 7 níveis, segundo a qual é previsto o voto de um grupo de indivíduos exposto às mesmas condições e considerando que o nível neutro corresponde ao conforto térmico.

Tabela 1 – Escala de PMV [7]

+ 3	Muito Quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
- 1	Ligeiramente Fresco
- 2	Fresco
- 3	Frio

A partir do *PMV* é prevista a percentagem de pessoas que sentirá frio ou calor em determinado ambiente (*PPD – Predicted Percentage Dissatisfied*).

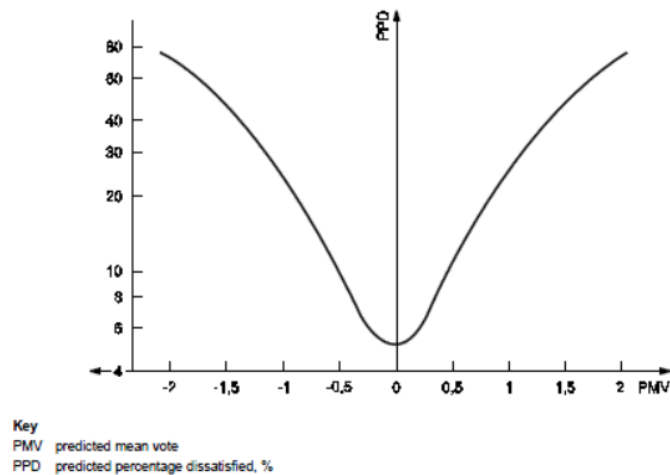


Figure 1 — PPD as function of PMV

Fig. 1 – PPD como função de PMV (adaptado de [7])

1.3 Ferramentas de simulação dinâmica

O projeto de comportamento térmico que precede um processo de licenciamento de um edifício novo ou de uma grande reabilitação, permite avaliar a dinâmica entre o edifício e a sua envolvente exterior, adotando soluções que permitam a otimização energética, o melhoramento do conforto térmico dos futuros ocupantes, e a verificação, o cumprimento da legislação regulamentar portuguesa.

Para os casos de estudo apresentados mais à frente foram utilizadas as ferramentas de simulação, *EnergyPlus* versão 8.1.0.009, *ECOTECH* versão 5.50 e folhas de cálculo associadas à legislação nacional e disponibilizadas pelo IteCons.

1.3.1 *EnergyPlus*

O *software* de simulação dinâmica detalhada *EnergyPlus* permite avaliar o comportamento térmico de um edifício de uma forma dinâmica, integrando todos os fatores que condicionam o seu comportamento (geometria, soluções construtivas, sistemas, condições exteriores, entre outros). Assim este *software* é uma ferramenta de apoio à aplicação da legislação portuguesa, obrigatória no caso de um GES (grande edifício de comércio e serviços) novo ou grande reabilitação.

O *EnergyPlus* resulta da junção de outros dois desenvolvidos pelos Departamentos de Energia e da Defesa dos Estados Unidos da América, são eles o DOE-2 e o BLAST (*Building Load Analysis and System Thermodynamics*), *softwares* de simulação dinâmica que permitem prever consumos energéticos e custos associados através da definição dos sistemas e soluções associadas ao edifício.

A ferramenta de análise, *EnergyPlus* baseia-se na simulação integrada dos vários módulos pelos quais o programa se encontra dividido, ou seja, o edifício, os seus perfis e cargas de ocupação, iluminação, equipamentos, sistemas etc. são simulados simultaneamente, fazendo com que os *outputs* obtidos sejam dependentes das condições exteriores e das condições definidas para o espaço em análise.

Para a elaboração dos modelos geométricos foram utilizadas duas ferramentas que permitem a exportação do modelo para o *EnergyPlus* versão 8.1.0, o *SketchUP 2013* e o *DesignBuilder* versão 4.2.0.054.

O módulo responsável pela gestão da simulação, cujo esquema representativo se encontra ilustrado na Fig. 2, inicia o processo atualizando as condições definidas para cada zona térmica, a partir do módulo de balanço térmico. Esta atualização induz a definição das cargas de aquecimento e arrefecimento para cada zona, de acordo com os sistemas definidos, estas cargas são depois utilizadas como *inputs* para a atualização das condições do edifício, temperatura interior, temperatura das superfícies, consumos de equipamentos e sistemas, entre outros.

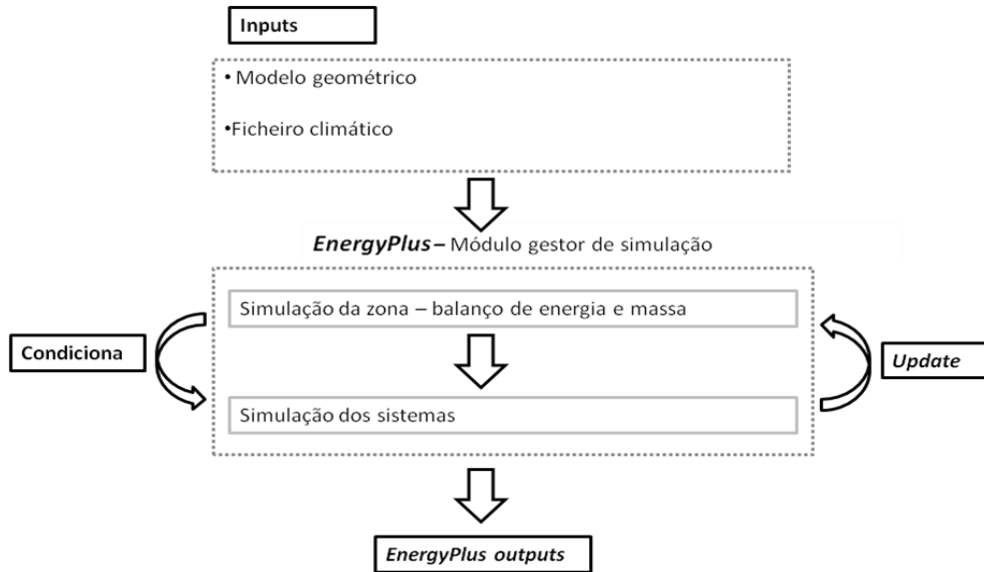


Fig. 2 – Representação esquemática do mecanismo de simulação do EnergyPlus, (adaptado de [12])

Entre as várias simplificações que o programa faz, destacam-se a temperatura uniforme da massa de ar para uma zona térmica, temperatura uniforme das superfícies com as quais existem trocas de calor, trocas homogêneas entre o ar e a envolvente opaca e envidraçada e emissividade igual para todos os comprimentos de onda das superfícies.

Apresenta-se em seguida a equação do balanço térmico do ar para uma zona térmica k:

$$C_k \frac{dT_k}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_k) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_i (T_{ki} - T_k) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_k) + \dot{Q}_{sys} \quad (7)$$

$C_k \frac{dT_k}{dt}$ – Energia armazenada no ar

$\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i$ – Somatório dos ganhos convectivos internos

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_k)$ – Transferência de calor por convecção das superfícies

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_i (T_{ki} - T_k)$ – Troca de calor entre zonas por mistura do ar

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_k)$ – Transferência de calor por infiltrações

\dot{Q}_{sys} – Carga do sistema de condicionamento de ar (aquecimento, ventilação e ar condicionado)

1.3.2 ECOTECT

O *software ECOTECT* foi originalmente descrito na Austrália pelas mãos de Dr. Andrew Marsh, sendo que a primeira versão comercial (versão 2.5) foi lançada em 1997. Os seus pressupostos assentam no facto de que o desenvolvimento conceptual do edifício deve ser feito na fase de projeto, e não na fase de construção, diminuindo assim os custos de construção e manutenção. Deste modo, a análise permite validar soluções construtivas ou de implementação em detrimento de outras. O processo de análise inicia-se com a elaboração de um modelo 3D representativo do espaço em causa, ganhando complexidade quando lhe são adicionadas diferentes soluções. A análise a efetuar é determinada pelo utilizador e pelo objetivo em causa. Neste contexto específico, o *ECOTECT* foi utilizado para uma análise da radiação incidente nos diferentes alçados do edifício Serena.

1.4 Enquadramento regulamentar

A legislação nacional para o regulamento de desempenho energético dos edifícios, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto visa a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU [1] do Parlamento Europeu, bem como a reorganização do antigo regulamento, separando o âmbito de aplicação em edifícios de habitação (REH) e edifícios de comércio e serviços (RECS).

1.4.1 Qualidade térmica da envolvente para REH e RECS

Segundo a Portaria n.º 349-B/2013 (REH) e Portaria n.º 349-D/2013 (RECS), os elementos construtivos que venham a ser intervencionados estão sujeitos ao cumprimento de critérios mínimos de qualidade, quer para a envolvente opaca, quer para a envolvente envidraçada.

1.4.1.1 Envolvente opaca

Assim, os edifícios apresentados neste relatório cuja envolvente venha a ser intervencionada, estão sujeito a requisitos de REH e RECS, aplicando-se os limites definidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Máximos admissíveis para coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca

Elemento da envolvente	Coeficientes de transmissão térmica superficiais U máximo admissível [W/m ² .°C]					
	REH (Habitação)			RECS (Comércio e Serviços)		
<i>Elementos em zona corrente da envolvente opaca:</i>	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Exteriores verticais	1,75	1,60	1,45	1,75	1,60	1,45

Exteriores horizontais	1,25	1,00	0,90	1,25	1,00	0,90
Interiores verticais	2,00	2,00	1,90	-		
Interiores horizontais	1,65	1,30	1,20	-		
<i>Elementos em zona não corrente de ponte térmica plana (PTP):</i> Pilares Vigas Caixas de estore	$U (PTP) < 2x U_{parede}$ e $U (PTP) < U \text{ máximo admissível da parede}$ (dispensa das condições acima caso $U (PTP) \leq 0,9 \text{ W/m}^2, \text{°C}$)			-		

No caso do RECS apenas a envolvente exterior está sujeita a máximos do coeficiente de transmissão. Por outro lado, no caso do REH, a envolvente exterior e a envolvente interior estão sujeitas a máximos sendo que a envolvente exterior engloba:

- Elementos da envolvente exterior e elementos interiores em contacto com espaços não úteis (escadas e circulações por exemplo) com requisitos de exterior, isto é, com coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , superior a 0.7.

Por seu lado, a envolvente interior no âmbito de aplicação do REH engloba:

- Elementos da envolvente interior e elementos em contacto com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas igual ou inferior a 0.7.

O coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , relaciona a temperatura a diferença de temperatura entre o interior e o espaço não útil com a diferença de temperatura entre o interior e o exterior (8), assim se a razão for superior a 0.7 o espaço não útil é caracterizado como envolvente interior com requisitos de exterior.

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (8)$$

1.4.1.2 Envolvente envidraçada

No caso de edifícios de habitação REH, requisitos para vãos envidraçados não orientados no quadrante Norte, com área superior a 5% da área de pavimento do compartimento servido por eles, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado (g_T) que obedeça às seguintes condições:

$$\begin{cases} \text{se } A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav} & g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \\ \text{se } A_{env} > 15\% \cdot A_{pav} & g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \left(\frac{0.15}{\frac{A_{env}}{A_{pav}}} \right) \end{cases} \quad (9)$$

Onde:

A_{env} – Área total de vãos envidraçados que servem o compartimento [m^2]

A_{pav} – Área de pavimento da divisão servida pelos vãos [m^2]

$g_{Tm\acute{a}x}$ – Fator solar máximo admissível, dependente da zona climática e inércia térmica da fração/edifício

g_T – Fator solar com todos os dispositivos de proteção ativos, móveis ativas ou permanentes

$F_o \cdot F_f$ – Fator de sombreamento com origem em elementos horizontais (palas ou varandas) e fator de sombreamento com origem em elementos verticais adjacentes ao vão, (palas verticais ou outros corpos do próprio ou de outro edifício)

Em que g_{Tmax} corresponde ao fator solar máximo admissível do vão envidraçado o qual é função da zona climática de Verão e da classe de inércia térmica do edifício (Tabela 3).

No caso de edifícios de comércio e serviços, abrangidos pelo RECS, os vãos envidraçados não orientados no quadrante Norte devem apresentar um fator solar global do vão, considerando todas as proteções móveis ou permanentes totalmente ativas, que obedeça à condição da equação (10). No caso de pequenos edifícios de comércio e serviços (com uma única zona térmica e área útil de pavimento interior inferior a 1000 m²), o g_T apenas deve cumprir o g_{Tmax} .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{se } A_{env} \leq 30\% \cdot A_{fachada} \quad g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tmax} \\ \text{se } A_{env} > 30\% \cdot A_{fachada} \quad g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tmax} \left(\frac{0.30 \cdot A_{env}}{A_{fachada}} \right) \end{array} \right. \quad (10)$$

Onde:

A_{env} – Área total de vãos envidraçados por orientação, que são parte integrante da fração [m²]

$A_{fachada}$ – Área da parede vertical, por orientação, da fração em estudo

g_{Tmax} – Fator solar máximo admissível, dependente da zona climática de verão

g_T – Fator solar do vão envidraçado considerando ativas todas as proteções (móveis e permanentes)

$F_o \cdot F_f$ – Fator de sombreamento provocado pela existência de palas horizontais e palas verticais adjacentes ao vão envidraçado

Tabela 3 – Máximos admissíveis para vãos envidraçados, g_{Tmax}

Classe de Inércia	Fator solar máximo admissível g_{Tmax}					
	REH			RECS		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10	0,56	0,56	0,50
Média	0,56	0,56	0,50			
Forte	0,56	0,56	0,50			

1.4.2 Renovação de ar e qualidade dos sistemas técnicos

Nos edifícios de habitação, o valor da taxa de renovação do ar horária deve ser de pelo menos 0.4 renovações por hora. Nas frações de comércio e serviço, o caudal mínimo de renovação do ar em cada espaço é determinado em função das dimensões do espaço, das características de ocupação e do tipo de utilização.

A legislação prevê a instalação de sistema de aproveitamento de energia solar térmica para preparação de AQS, servindo as frações de habitação e as de serviços, salvo demonstração de incompatibilidade de ordem técnica, funcional, de viabilidade económica ou de valor arquitetónico.

Nos edifícios ou frações de habitação, os sistemas técnicos destinados a climatização e à preparação de águas quentes sanitárias, bem como os sistemas de aproveitamento de energias renováveis, estão sujeitos a requisitos mínimos de qualidade e eficiência.

Nos edifícios ou frações de serviços, para além dos sistemas já referidos para as frações de habitação, estão ainda sujeitos a requisitos de eficiência os sistemas de iluminação interior e os elevadores (a partir de Janeiro de 2016, o consumo destes também será contabilizado para efeitos de classificação energética).

1.4.3 Metodologia de cálculo para avaliação do desempenho energético

As necessidades energéticas são analisadas de forma diferente, de acordo com o âmbito de aplicação (REH ou RECS) bem como o tipo de intervenção a realizar (edifício novo, existente ou sujeito a grande intervenção).

1.4.3.1 Valores máximos de necessidades energéticas para edifícios de habitação – REH

No caso do REH, aplicam-se os limites à razão entre as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária, calculadas de acordo com as soluções previstas em projeto, e o seu limite calculado a partir de soluções de referência.

Na Tabela 4, apresentam-se os limites para aquecimento, arrefecimento e energia primária de acordo com o ano de construção, aplicáveis a edifícios sujeitos a grande intervenção. Entende-se por grande intervenção, a qual não se verifique a edificação de novos corpos e cujos custos sejam superiores a 25% do valor do edifício com exclusão do terreno ou, no caso de uma ampliação, o custo de ampliação exceda em 25% o valor do edifício existente. As equações abaixo definem o limite regulamentar para as necessidades anuais de aquecimento (11), arrefecimento (12) e limite de energia primária (13).

Tabela 4 – Relação entre as necessidades nominais e o respetivo limite para edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções

Ano de Construção	N_{ic}/N_i	N_{vc}/N_v	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,5
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,5
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,5

$$N_i = (Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} + Q_{gu,iref}) / A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (11)$$

Onde:

N_i – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento, utilizando soluções de referência constantes no REH [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$]

$Q_{tr,iref}$ – Perdas pela envolvente, na situação de inverno (considerando soluções de referência) [kWh]

$Q_{ve,iref}$ – Transferência de calor por ventilação na situação de inverno (utilizando soluções de referência) [kWh]

$Q_{gu,iref}$ – Ganhos internos úteis na situação de inverno [kWh]

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

$$N_v = (1 - \eta_{vref}) \cdot Q_{g,vref} / A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (12)$$

Onde:

N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil na situação de verão, utilizando soluções de referência constantes no REH [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$]

η_{vref} – Fator de utilização de ganhos de referência, de acordo com temperatura interior de referência (25°C) e temperatura exterior (de acordo com análise climática do local)

$Q_{g,vref}$ – Ganhos internos de referência ($4 \text{ W}/\text{m}^2$) e ganhos solares de referência [kWh]

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (13)$$

N_t – Máximo de energia primária, considerando soluções de referência e excluindo sistemas de origem renovável [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$]

$f_{i,k}$ – Fração das necessidades de aquecimento satisfeitas pelo sistema k (sistema de referência)

$f_{v,k}$ – Fração das necessidades de arrefecimento satisfeitas pelo sistema k (sistema de referência)

$f_{a,k}$ – Fração das necessidades de AQS supridas pelo sistema de referência k

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão entre energia primária e a fonte de energia [kWh_{EP}/kWh]

$\eta_{ref,k}$ – Eficiência de referência constante no REH para cada sistema

Q_a – Necessidades de AQS por sistema [kWh/ano]

A_p – Área de pavimento interior útil [m²]

1.4.3.1.1 Determinação da classe energética

Assim o rácio da classe energética é calculado de acordo com a equação:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (14)$$

Tabela 5 – Intervalos de RNt para a determinação da classe energética para edifícios de habitação

Classe Energética	Valor de R _{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R_{Nt} \leq 0.50$
B	$0.51 \leq R_{Nt} \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R_{Nt} \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R_{Nt} \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R_{Nt} \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R_{Nt} \leq 2.50$
F	$R_{Nt} \geq 2.51$

1.4.3.2 Indicador de eficiência energética (IEE) – RECS

No âmbito de aplicação do RECS o Indicador de Eficiência Energética IEE de um edifício de comércio e serviços é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento tendo por base a seguinte expressão geral:

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (15)$$

Onde:

IEE_S – Consumos contabilizados no cálculo de classe energética do edifício. Podem ser consumos previstos ou efetivos (aquecimento, arrefecimento, ventilação e bombagem associada à climatização, águas quentes sanitárias (AQS) e de piscinas e ainda iluminação interior)

[kWh_{EP}/m².ano]

IEE_T – Consumos não contabilizados no cálculo de classe energética do edifício (equipamentos de frio, iluminação pontual, ventilação e bombagem não associada ao tratamento do ar e climatização, elevadores e escadas rolantes até Dezembro de 2015) [kWh_{EP}/m².ano]

IEE_{ren} – Produção de energia de origem renovável térmica e elétrica para autoconsumo [kWh_{EP}/m².ano]

Este indicador é posteriormente comparado com um Indicador de Eficiência Energética de referência IEE_{ref} , onde são utilizadas as soluções de referência definidas na Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro.

1.4.3.2.1 Determinação da classe energética

Como os casos de estudos aqui apresentados apenas tratam edifícios novos ou grandes reabilitações, o IEE a aplicar é o previsto ($IEE_{pr,S}$) calculando-se assim o rácio de eficiência energética R_{IEE}:

$$R_{IEE} = (IEE_{pr,S} - IEE_{ren}) / IEE_{ref,S} \quad (16)$$

Onde:

R_{IEE} – Rácio de eficiência energética

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética utilizando as soluções previstas em projeto para consumos do tipo S

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética utilizando valores de referência descritos na Portaria n.º349/D para consumos do tipo S

A classe energética de uma fração de comércio e serviços é definida em função do valor de R_{IEE} , de acordo com a Tabela 6. É de notar que os edifícios (ou frações) de comércio e serviços sujeitos a grande intervenção devem apresentar um IEE_{pr} inferior ou igual ao IEE_{ref} majorado em 50%, e podem assim atingir classes inferiores à regulamentar para edifícios novos (B-).

Tabela 6 – Intervalos de R_{IEE} para a determinação da classe energética para edifícios ou frações de comércio e serviços

Classe Energética	Valor de R _{IEE}
A+	$R_{IEE} \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R_{IEE} \leq 0.50$
B	$0.51 \leq R_{IEE} \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R_{IEE} \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R_{IEE} \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R_{IEE} \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R_{IEE} \leq 2.50$
F	$R_{IEE} \geq 2.51$

2. Casos de estudo

Neste capítulo são apresentados três casos de estudos desenvolvidos no âmbito do estágio na empresa Natural Works. O primeiro caso a ser apresentado é o estudo de incidência e controlo solar elaborado para o edifício Serena em Luanda, seguindo-se a análise de comportamento térmico e aplicação da legislação regulamentar para um edifício que engloba habitação e pequenas frações de comércio e serviços. Finalmente apresenta-se o caso de um grande edifício de comércio e serviços onde também é feita a verificação da regulamentação aplicável, bem com a análise de comportamento térmico através de simulação dinâmica multizona.

2.1 Estudo de incidência e controlo solar – Fachada com lâminas de sombreamento em vidro (Edifício Serena, Luanda)

O projeto desenvolvido para o edifício Serena em Luanda, Angola visou promover a eficiência energética e o conforto dos seus ocupantes, através do apoio na definição de soluções de fachada tendo em consideração a arquitetura do edifício e análise climática do local de implantação. Analisou-se o impacto, na radiação transmitida para o interior do espaço, e nas necessidades anuais de arrefecimento, das diferentes exposições (orientações e configurações de fachada), bem como o impacto de se alterarem algumas características das lâminas de sombreamento vertical.

O trabalho desenvolvido englobou as seguintes tarefas, realizadas sequencialmente:

Modelo tridimensional da torre com vista ao estudo de incidência solar – definiu-se um modelo geométrico global da volumetria do edifício e analisou-se a incidência solar nas fachadas, obtendo-se resultados globais da incidência solar nos diferentes troços das mesmas, identificando assim zonas com maior ou menor exposição solar.

Modelo de tipologias de fachadas – analisou-se para diferentes zonas da fachada o total da radiação transmitida pelos vãos envidraçados bem como os pedidos de arrefecimento anuais.

Apoio na definição de soluções de fachada – estudou-se a possibilidade de redução de serigrafia por fachada e por zona de uma mesma fachada por forma a uniformizar a exposição solar das fachadas do edifício. Adicionalmente analisou-se o impacto da inclinação das lâminas relativamente à fachada.

2.1.1 Análise climática

A cidade de Luanda situa-se a uma latitude de 8.8 °S, 13.2° W. A sua localização, próxima da linha equatorial e sob influência do oceano, condiciona as principais características climáticas. De um modo geral, verifica-se que Luanda apresenta uma estação quente e outra com temperaturas mais amenas, uma elevada humidade relativa durante todo o ano (mas precipitação reduzida). Os níveis de radiação

solar são elevados, com uma forte componente de radiação difusa decorrente da cobertura de nuvens habitual na cidade. Existe uma predominância de brisas marítimas de sudoeste.

As temperaturas médias mensais diurnas variam entre os 22°C e os 32.5°C, com uma amplitude térmica dia-noite de cerca de 6°C.

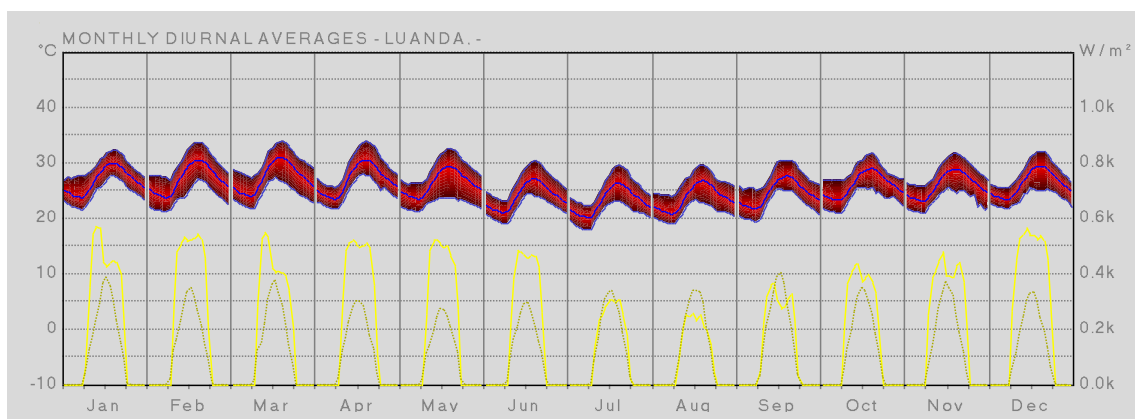


Fig. 3 – Temperatura máxima, mínima e média ao longo dos dias de cada mês (linhas a azul). A mancha vermelha identifica o intervalo de temperaturas ao longo das várias horas de cada mês. Variação média mensal da radiação solar direta e difusa (a amarelo cheio e cinzento tracejado, respetivamente). Obtido a partir de um ficheiro de um ano climático típico de Luanda [fonte: Meteonorm 7]

A humidade relativa é elevada ao longo de todo o ano: os valores médios mensais variam entre 67% e 81%. A elevada humidade relativa tem impacto nas cargas de arrefecimento latente, em particular nas associadas ao tratamento do ar novo.

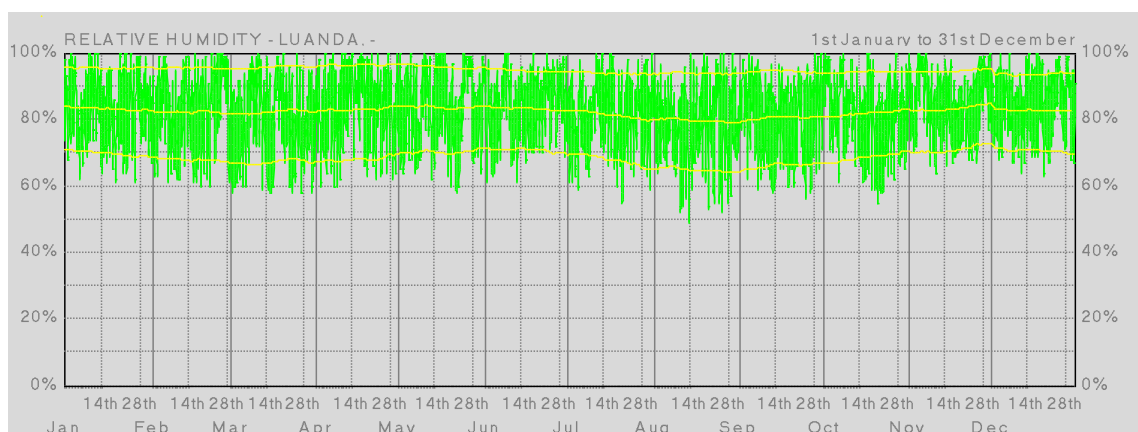


Fig. 4 – Variação da humidade relativa ao longo do ano para um ano típico de Luanda [fonte: Meteonorm 7]

Dada a proximidade da linha do equador, o percurso aparente do sol é alto e a incidência solar nas superfícies horizontais, tais como as coberturas dos edifícios, é elevada. Como é notório nas imagens seguintes que mostram o percurso solar ao longo do ano, a incidência direta é no alçado norte durante o inverno e no alçado sul no verão.

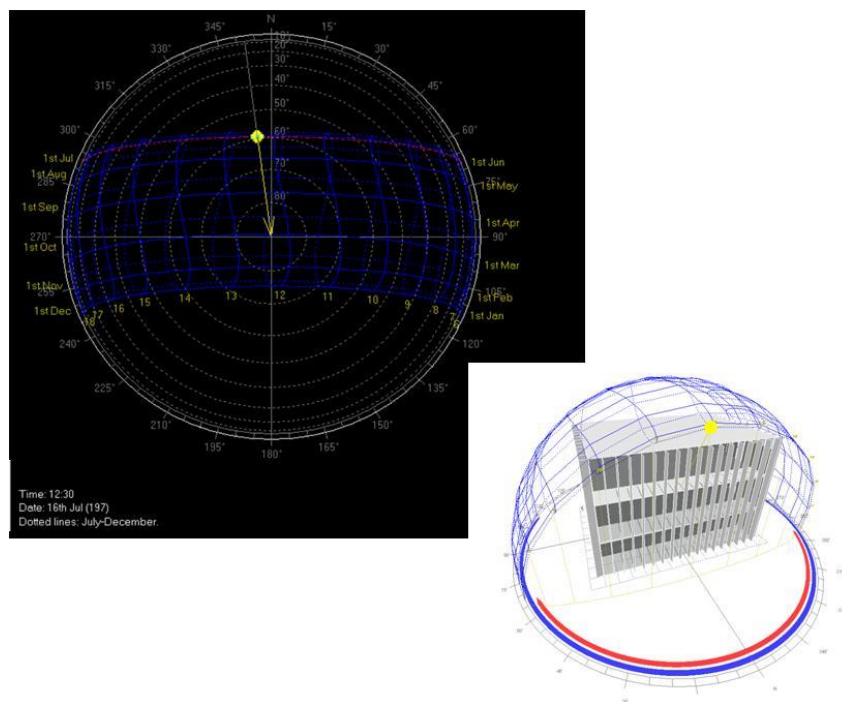


Fig. 5 – Posição solar em relação à fachada norte no período de inverno (12:30h Julho) [fonte: *software ECOTECH* versão 5.50]

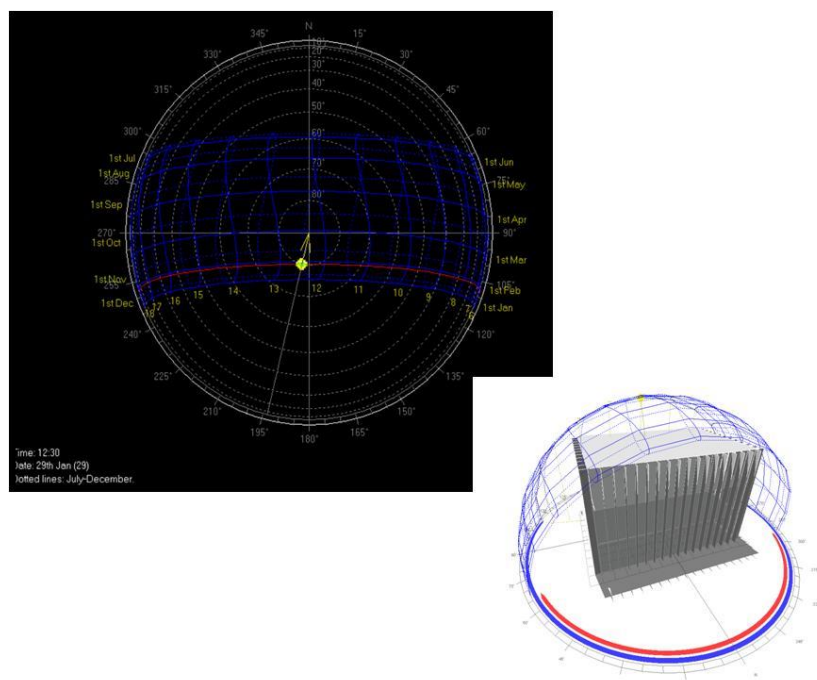


Fig. 6 – Posição solar em relação à fachada norte no período de verão (12:30h Janeiro) [fonte: *software ECOTECH* versão 5.50]

2.1.2 Descrição do edifício

O edifício Serena é um edifício de serviços com 5 pisos enterrados destinados a estacionamento, e um embasamento constituído por um piso térreo de entrada, 3 pisos destinados respetivamente a Ginásio, Restaurante e Centro de Reuniões. A partir do piso 4 e até ao piso 22, o edifício destina-se à instalação de escritórios e desenvolve-se em altura como um conjunto cuja leitura exterior é de corpos retangulares adjacentes entre si e que se desenvolvem até diferentes alturas. As fachadas estão orientadas aproximadamente de acordo com os pontos cardeais principais, sendo que os 4 corpos principais que constituem a torre estão agrupados 2 a 2 e esses dois grupos apresentam uma ligeira rotação entre si.



Fig. 7 – Local de implantação do edifício Serena (Norte para cima)

O edifício é envidraçado, com uma solução tipo fachada cortina, tendo lâminas verticais de vidro serigrafado como elementos de sombreamento. A Fig. 8 representa a maquete do mesmo.

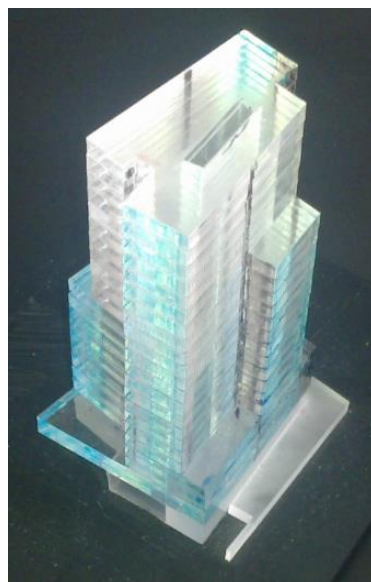


Fig. 8 – Maquete do edifício Serena, vista Noroeste (autoria da maquete: Atelier RISCO)

2.1.3 Exposição e incidência solar do edifício

Como ponto de partida da análise de incidência solar foi elaborado um modelo tridimensional do edifício Serena (Fig. 9). A partir desse modelo foram efetuados estudos de incidência solar nas várias fachadas do edifícios, com vista à elaboração de uma análise qualitativa, acerca da exposição solar de cada alçado e dos efeitos de auto sombreamento (*software ECOTECH* versão 5.50).

Nesta análise da incidência solar não se considerou o impacto dos edifícios circundantes, visto não haver informação suficiente sobre a vizinhança.

As análises de incidência solar para cada alçado foram realizadas com recurso ao *software ECOTECH* (versão 5.50), e apresentam dois tipos de resultados:

Variação vertical da incidência solar ao longo do alçado, em base anual.

Variação da incidência solar ao longo do ano e das horas do dia, para uma ou mais zonas representativas da fachada (caso seja notória uma variação da insolação para a mesma fachada, são apresentados vários resultados resultantes de diferentes zonas representativas dessas variações).

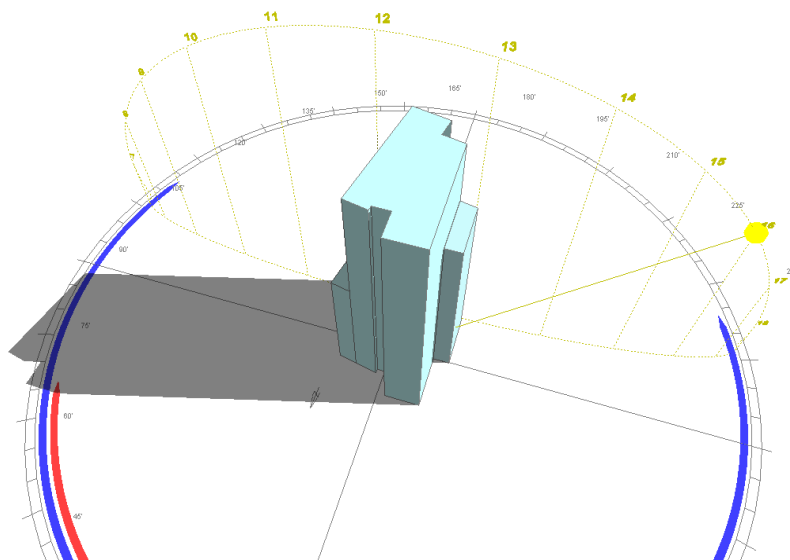


Fig. 9 – Modelo tridimensional do edifício Serena, vista do alçado Norte (incidência solar às 16:00h Fevereiro)
[*software ECOTECH* versão 5.50]

Os alçados encontram-se identificados Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13, as quais descrevem a forma como os resultados são apresentados.

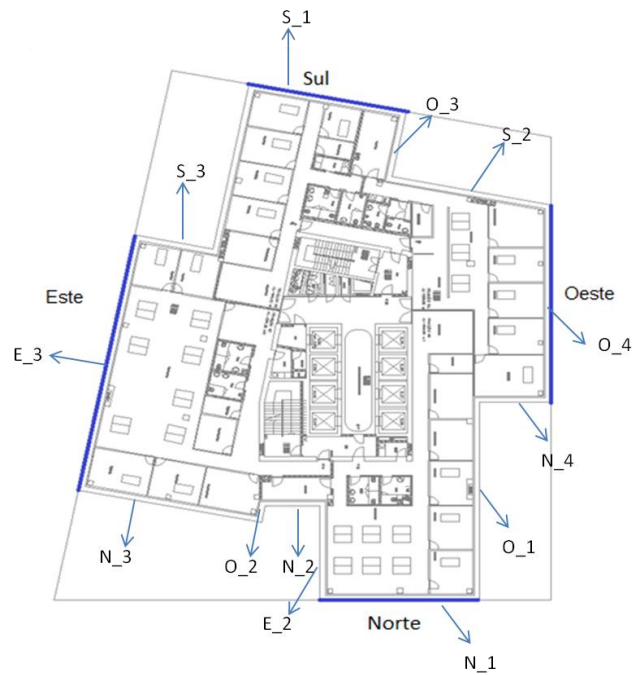


Fig. 10 – Identificação das fachadas analisadas e principais orientações (exemplo O_1: representa a orientação da fachada_número que identifica a mesma)

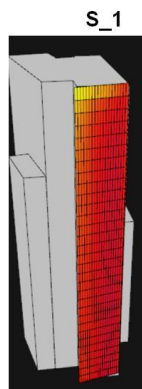


Fig. 11 – Identificação da fachada, nome e visualização do modelo

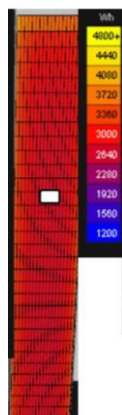


Fig. 12 – Nesta imagem é possível visualizar a distribuição da incidência solar na fachada (média anual) e identificação da zona representativa da fachada para a qual é realizada a análise de incidência anual (nos casos em que é notória uma variação vertical foram analisadas mais do que uma zona)

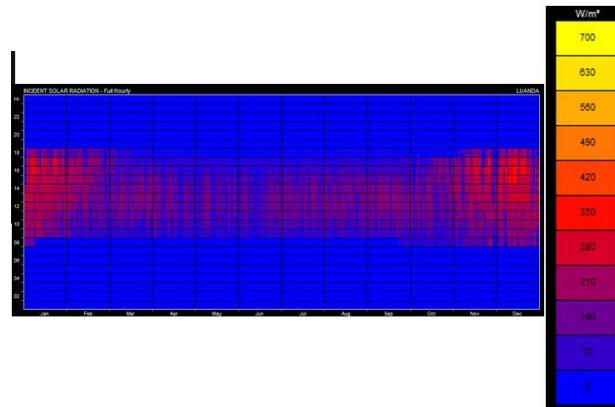


Fig. 13 – Para a zona da fachada identificada na imagem anterior (quadrado branco), é apresentada a incidência solar ao longo do ano (eixo horizontal, 365 dias) e das várias horas de cada dia (eixo vertical, da 1h às 24h)

Nas figuras abaixo são apresentadas as conclusões da incidência para os diferentes alçados (variação vertical da incidência solar na fachada) bem como a incidência solar para uma ou mais zonas específicas dos alçados. A escala de cores representa o mesmo intervalo para todas as imagens e como tal estas são comparáveis entre si.

Para as fachadas orientadas a sul:

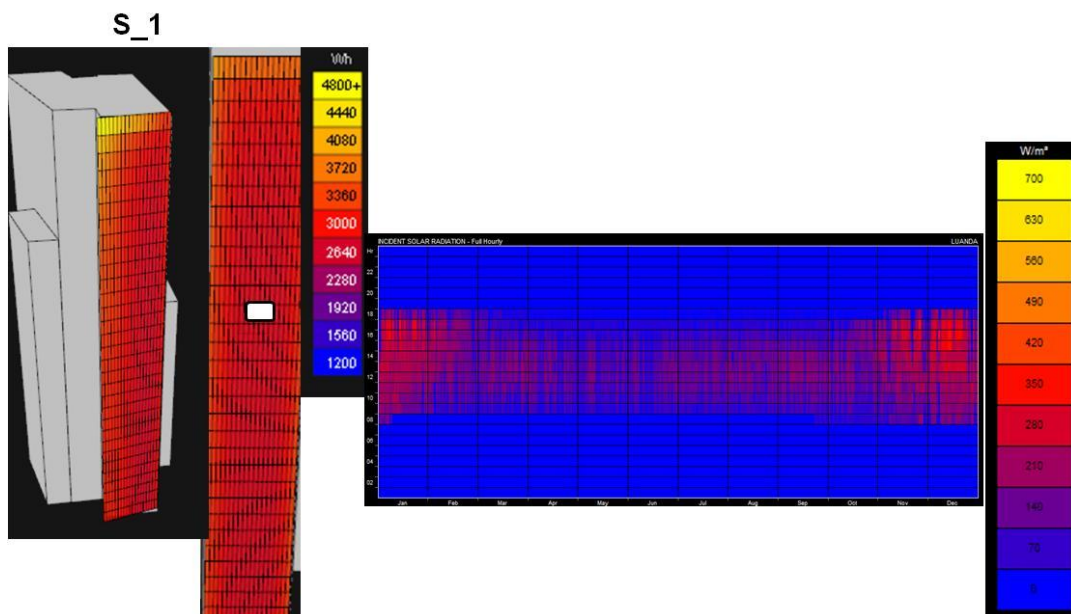


Fig. 14 – Fachada S_1

A fachada S_1 representa a fachada mais exposta a sul (com ligeira inclinação para poente). Apresenta um perfil uniforme ao longo do alçado, com valores de incidência solar elevados. Para a zona estudada, o perfil de incidência solar é variável ao longo do ano, com maior incidência durante o horário laboral nos meses mais quentes (Janeiro, Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro).

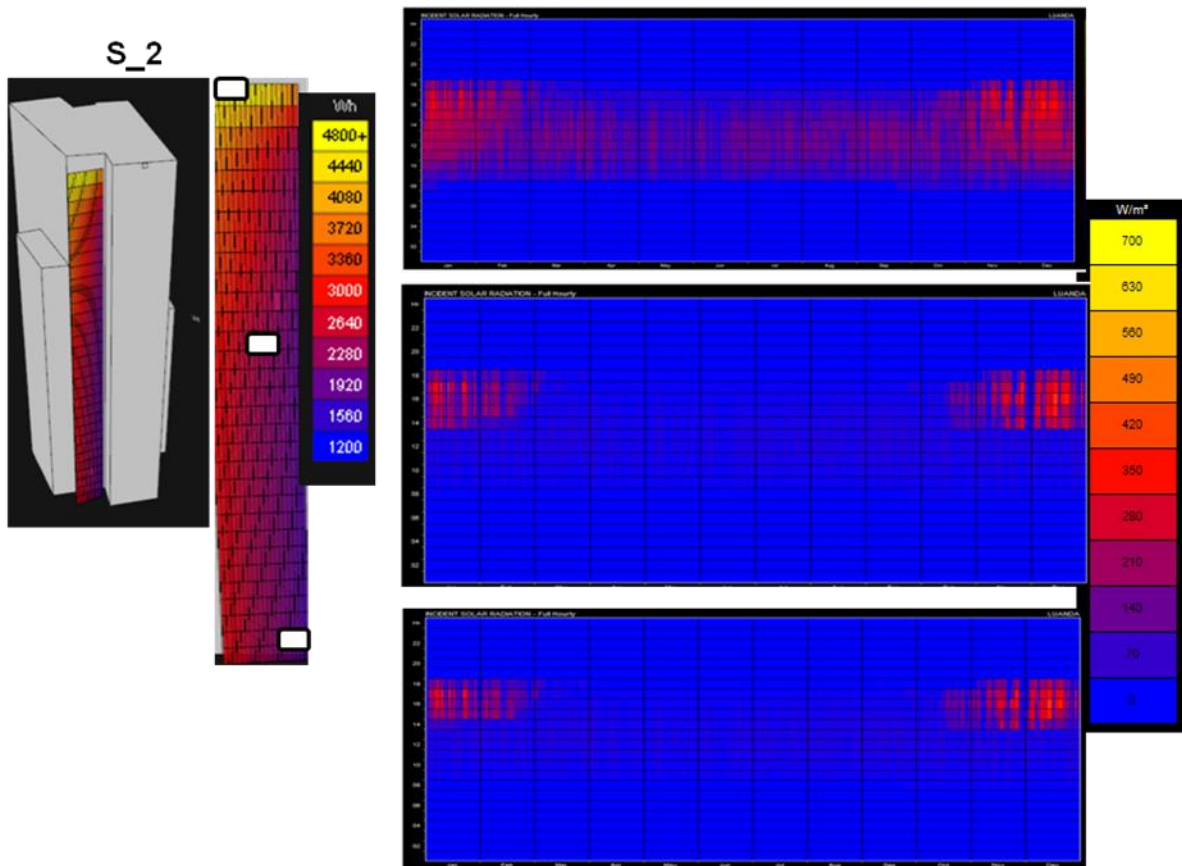


Fig. 15 – Fachada S_2

A fachada S_2 encontra-se orientada a sul e apresenta um perfil vertical e horizontal variável, devido ao sombreamento por parte da fachada O_3. Ainda que sombreada, a incidência de radiação nesta superfície ocorre na época mais quente do ano.

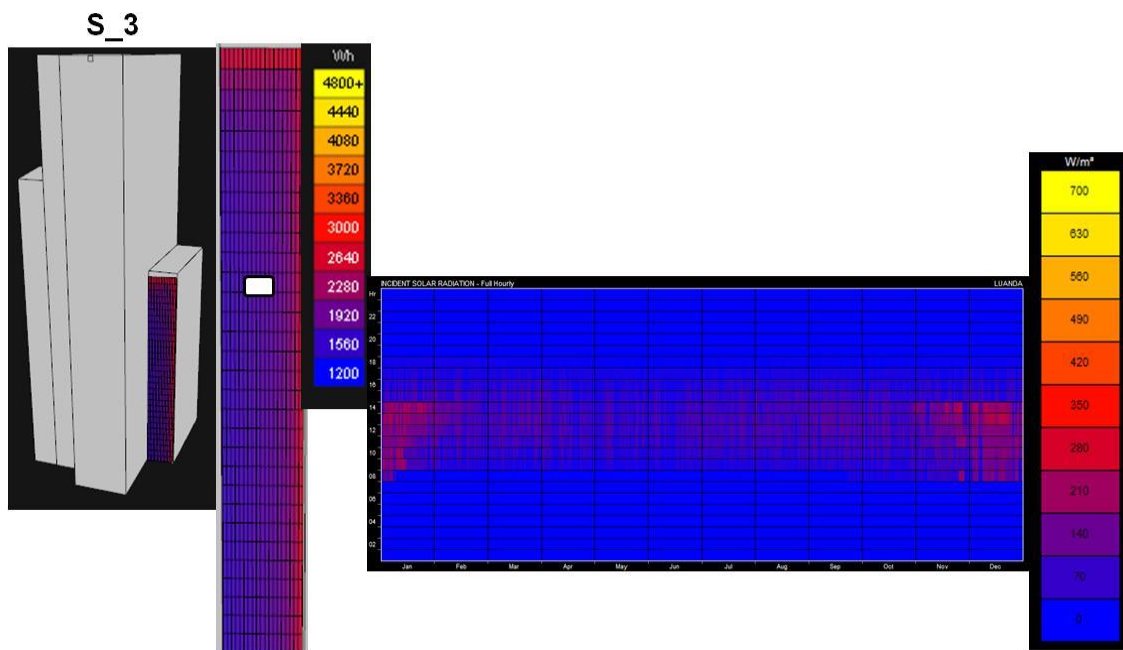


Fig. 16 – Fachada S_3

A fachada S_3 é bastante sombreada pela fachada adjacente, o que implica que entre os meses de Fevereiro e Outubro praticamente não recebe radiação direta. Na zona mais exterior do alçado e no topo do mesmo, os valores de radiação são superiores.

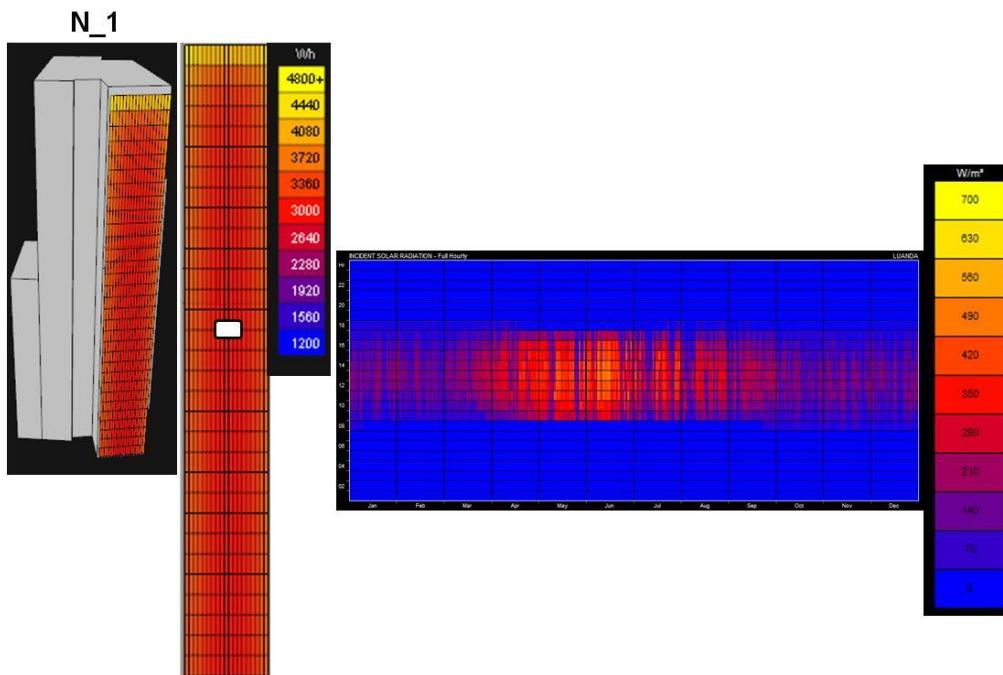


Fig. 17 – Fachada N_1

N_1 é uma das fachadas mais expostas à incidência solar. Orientada a norte, possui incidência uniforme ao longo da fachada, mas verifica elevada variação ao longo do ano. O período com maior incidência solar ocorre no inverno, entre as 9h e as 18h, nos restantes meses do ano, a radiação incidente é principalmente difusa.

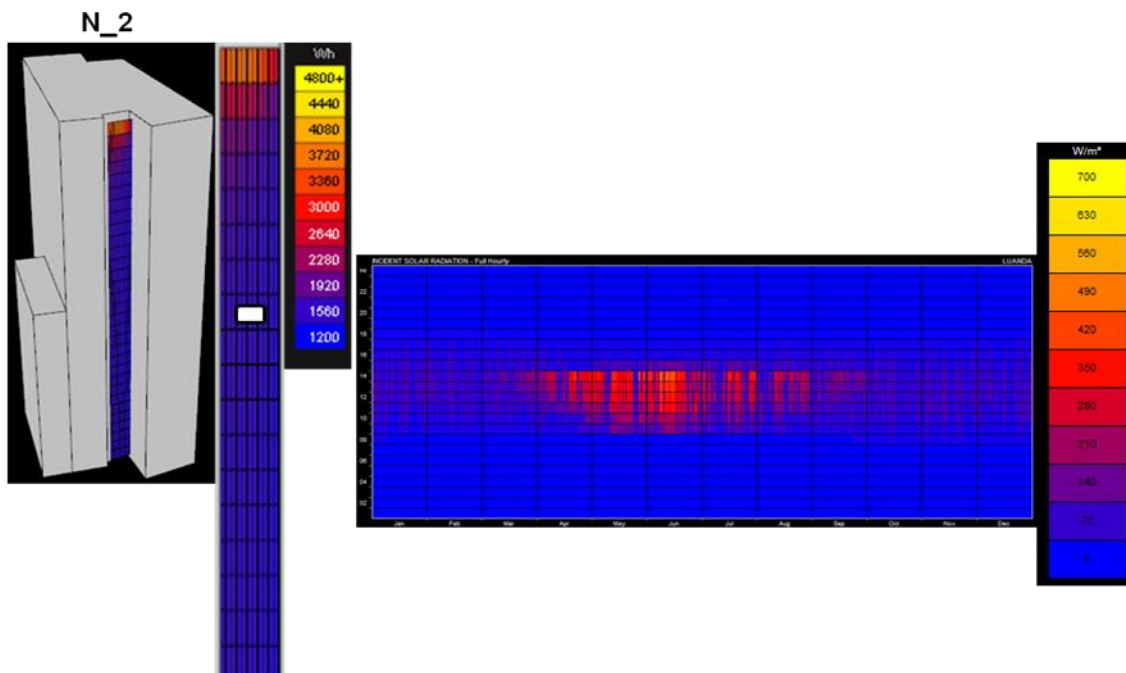


Fig. 18 – Fachada N_2

A fachada N_2 é recuada e possui reduzida incidência solar ao longo de todo o ano, devido ao sombreamento causado pelas fachadas E_2 e O_2. Os pisos mais altos, que se encontram menos sujeitos ao sombreamento dos outros volumes do edifício, apresentam valores mais elevados de incidência. A zona em estudo encontra-se sombreada praticamente todo o ano, exceto durante os meses de Abril, Maio e Junho entre as 9h e as 15h.

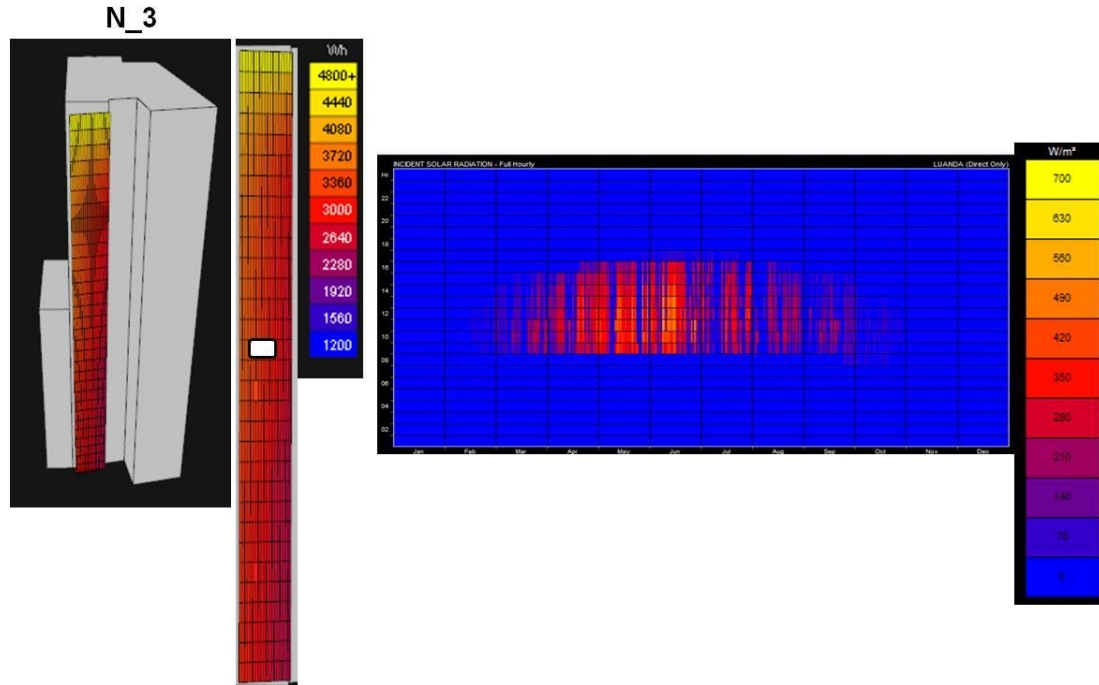


Fig. 19 – Fachada N_3

A fachada N_3, orientada a norte, apresenta elevada incidência solar no período de inverno, ainda que se encontre ligeiramente sombreada pela fachada E_2.

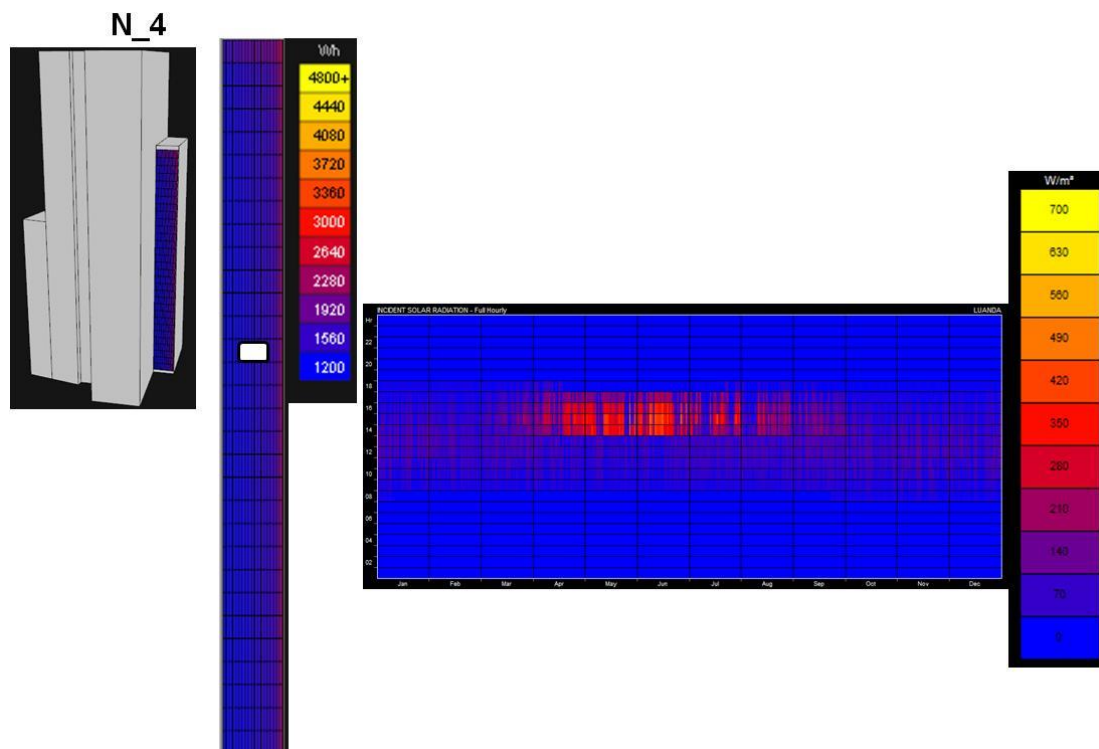


Fig. 20 – Fachada N_4

N_4 apresenta baixa incidência solar ao longo de todo o ano devido ao sombreamento causado pela fachada O_1. Orientada a Norte, possui incidência solar mais elevada nos meses menos quentes (entre Abril e Agosto) e durante a tarde (entre as 14h e as 18h), pois é sombreada pelo edifício durante a manhã.

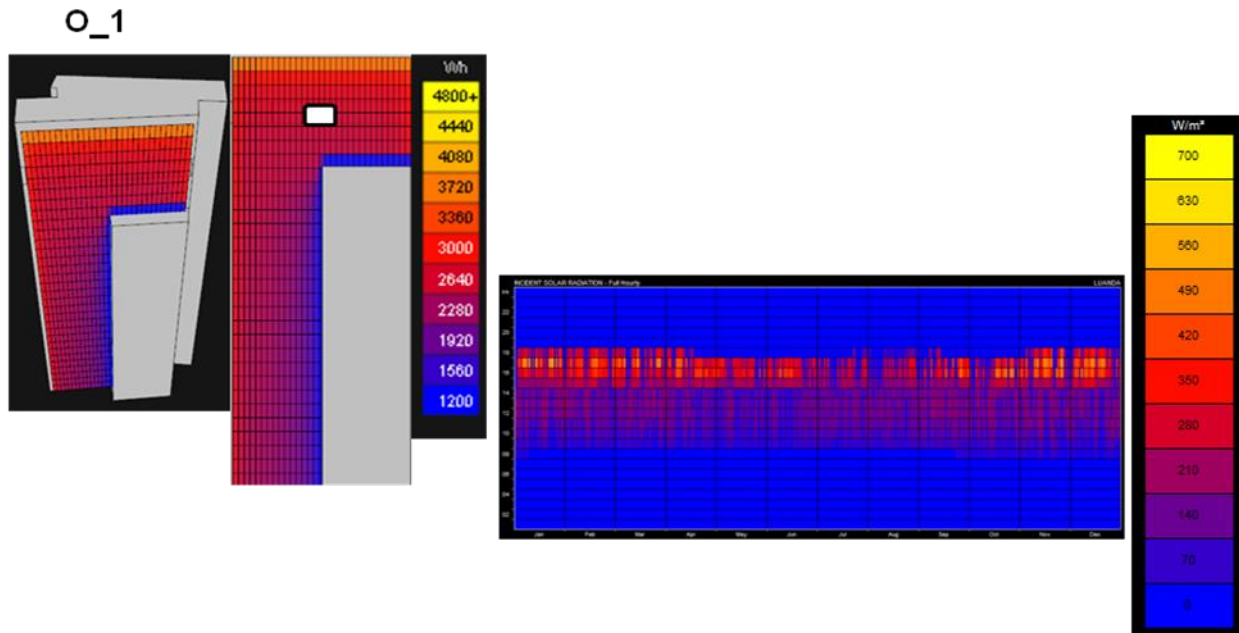


Fig. 21 – Fachada O_1

Orientada a oeste, possui elevada exposição solar ao longo de todo o ano, maioritariamente durante o período entre as 15h e as 19h. Encontra-se ligeiramente sombreada pelo bloco adjacente.

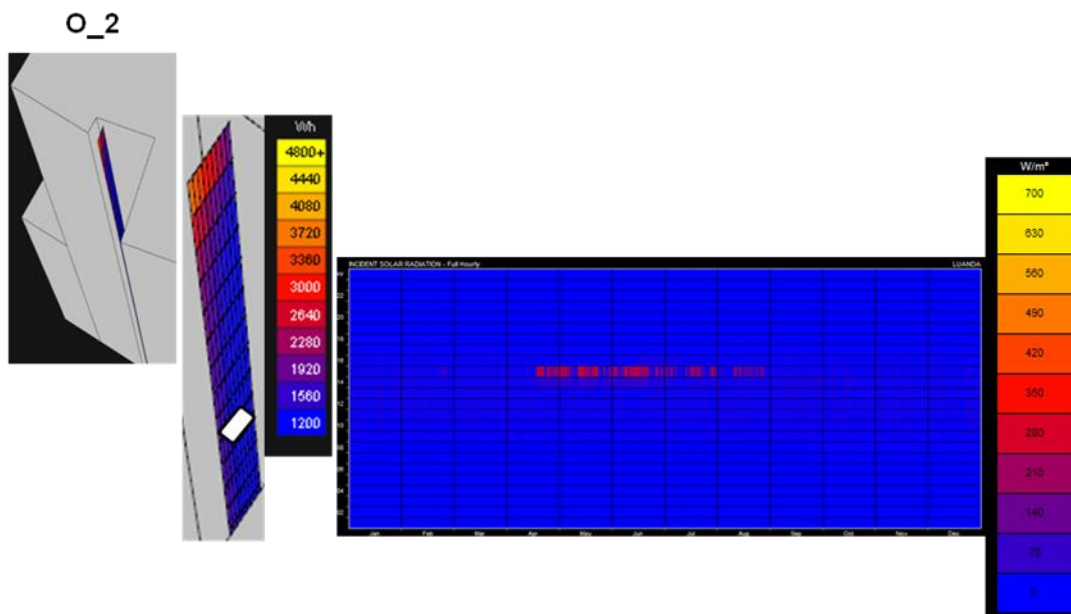


Fig. 22 – Fachada O_2

A fachada O_2 é altamente sombreada ao longo de todo o ano, sendo praticamente nula a radiação direta incidente, com exceção dos últimos pisos que recebem mais quantidade de radiação durante a tarde.

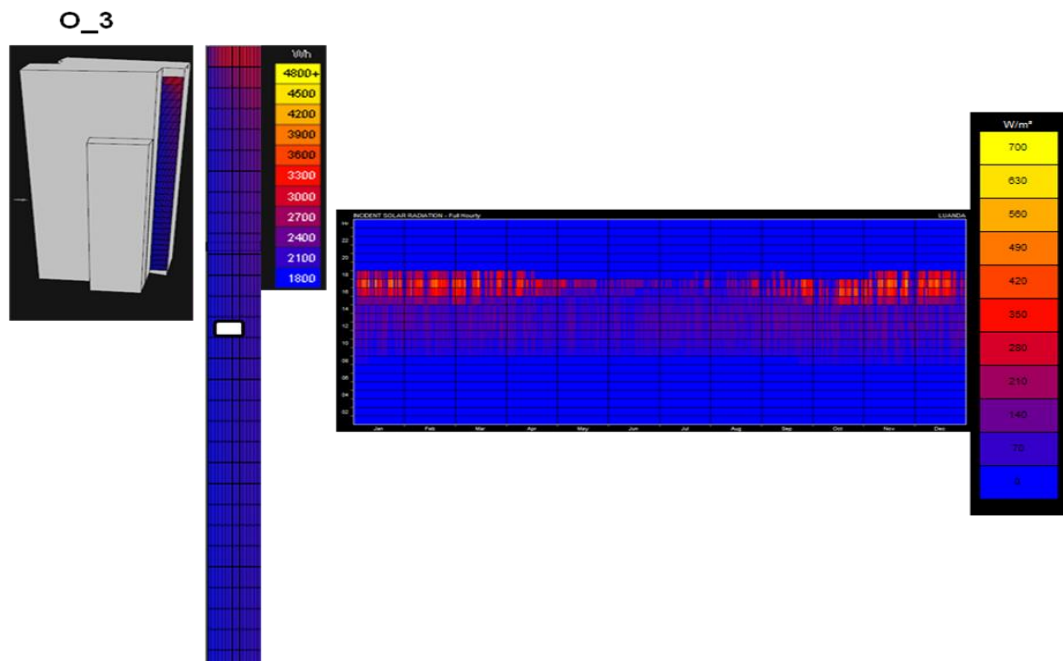


Fig. 23 – Fachada O_3

A fachada O_3 apresenta uma incidência solar baixa ao longo de todo o ano, devido ao sombreamento por parte do volume adjacente. Orientada a poente (com ligeira inclinação a norte), a incidência direta ocorre principalmente entre as 16h e as 19h nos meses mais quentes (Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro), sendo que no período de inverno a radiação incidente é praticamente nula.

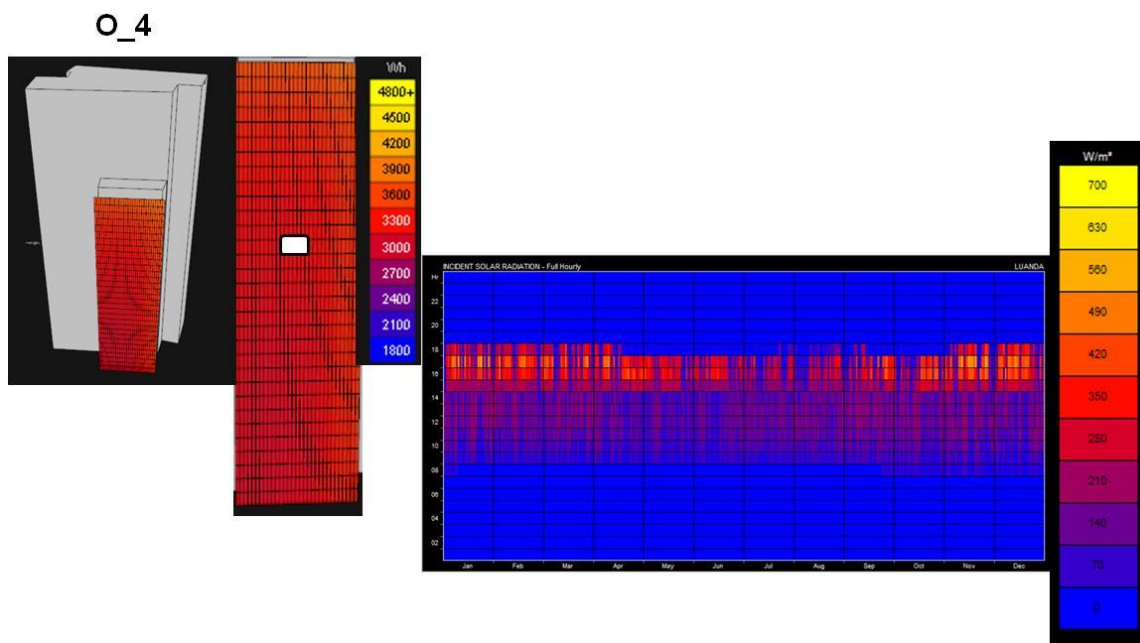


Fig. 24 – Fachada O_4

A fachada O_4 orientada a oeste e muito exposta, possui elevada incidência solar ao longo de todo o ano, principalmente no final do dia. O perfil de distribuição de incidência solar é uniforme ao longo de toda a fachada.

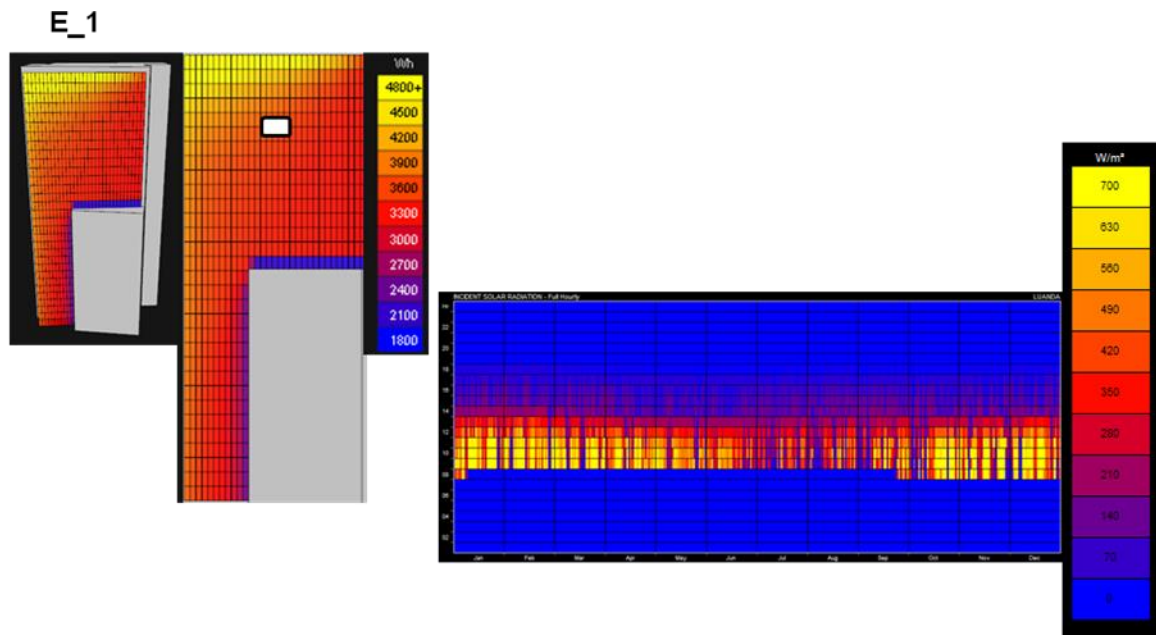


Fig. 25 – Fachada E_1

E_1 orientada a este com ligeira inclinação a sul, é das fachadas que apresenta maior exposição solar. Com reduzida variabilidade horizontal e vertical, e com valores elevados ao longo de todo o ano, maioritariamente no período entre as 9h e as 14h devido à radiação direta que a atinge nesse período.

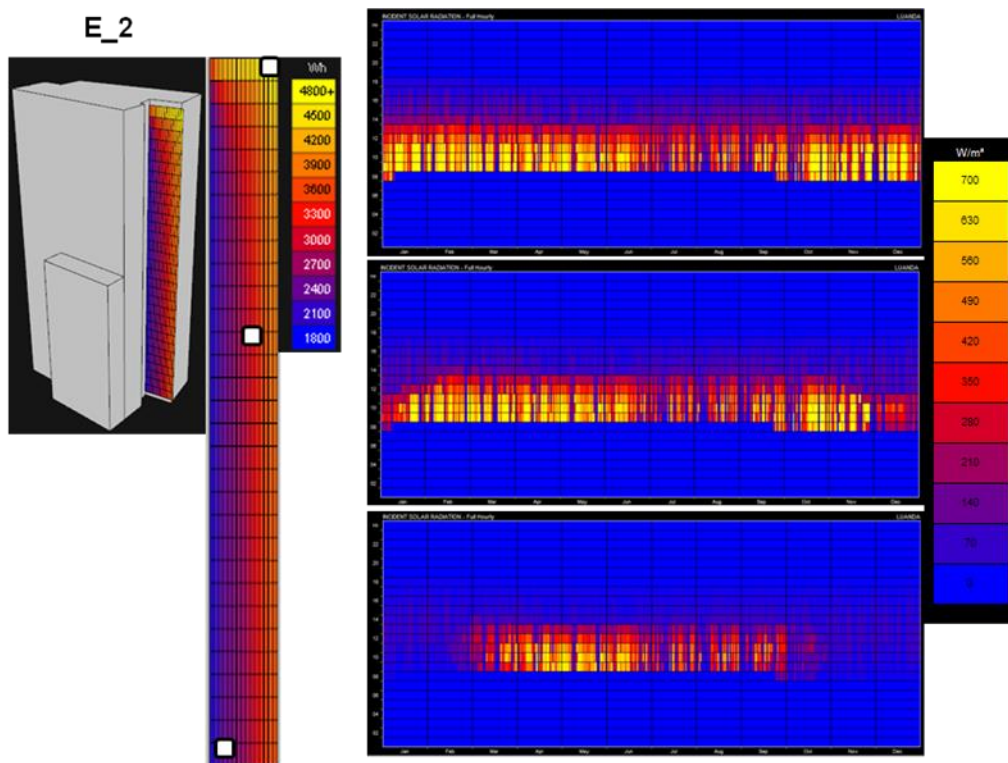


Fig. 26 – Fachada E_1

A fachada E_1 apresenta variação horizontal e variação vertical da radiação incidente. Verticalmente, a discrepância é notória entre a base da fachada e o topo, encontrando-se este último, sujeito a níveis máximos de insolação. Horizontalmente existe variação pois a fachada encontra-se parcialmente

sombreada pela N_2. Orientada a nascente, em cada uma das zonas analisadas o período com maior incidência é o horário da manhã, porém na zona localizada no topo, verifica-se elevada incidência ao longo de todo o ano, enquanto que nas zonas mais baixas, a incidência é reduzida no período que engloba o verão (outubro a fevereiro).

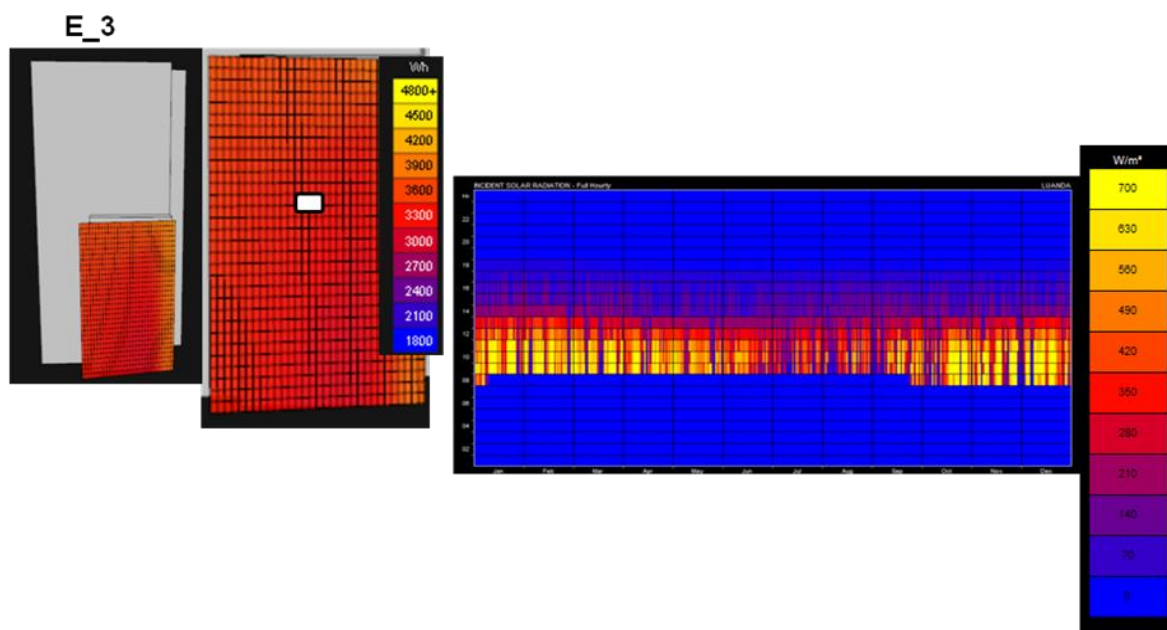


Fig. 27 – Fachada E_3

Orientada a este com ligeira inclinação a norte, apresenta uma elevada exposição solar ao longo de todo o ano (com ligeira diminuição nos meses de Julho e Agosto), bem como um perfil uniforme ao longo de toda a fachada.

2.1.4 Zonas para tratamento de fachadas

O resumo dos resultados apresentados anteriormente encontra-se nas Fig. 28 e Fig. 29, através de traçados nos alçados de cada orientação, em que “1” representa a zona menos exposta e “3” a zona mais exposta à radiação solar, em termos anuais, sendo portanto aquelas que deve ocorrer menos e mais proteção solar, respetivamente. As fachadas mais expostas à radiação solar (S_1, N_1, E_1, E_3, O_1 e O_4) carecem de análise mais cuidada em termos de sombreamento exterior vertical. Poderá ser adotada uma solução uniforme para as fachadas N_1 e S_1, enquanto que para as fachadas E_1 e O_1 deverá ser avaliada a possibilidade de variação das características de sombreamento vertical exterior, para o topo do edifício e para a zona em contacto com o alçado adjacente.

A análise realizada permitiu identificar quais as zonas da envolvente exterior que são mais ou menos expostas à radiação solar. Tendo em conta o objetivo de reduzir o impacto dessa variabilidade no interior do edifício, pode-se optar por fazer um tratamento diferenciado dos elementos de sombreamento (lâminas verticais exteriores), nomeadamente alterando a serigrafia das lâminas aplicadas em diferentes zonas da fachada. Esse estudo foi realizado através de simulação dinâmica analisando-se o impacto da serigrafia nas cargas de arrefecimento sentidas no interior do edifício, para cada orientação solar.

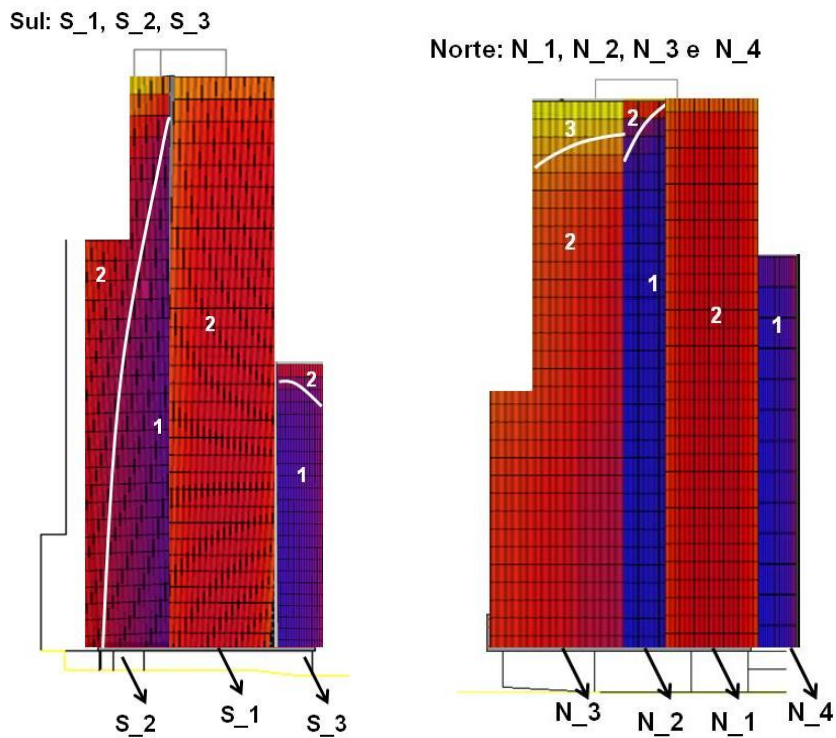


Fig. 28 – Exposição solar no alçado Sul e no alçado Norte

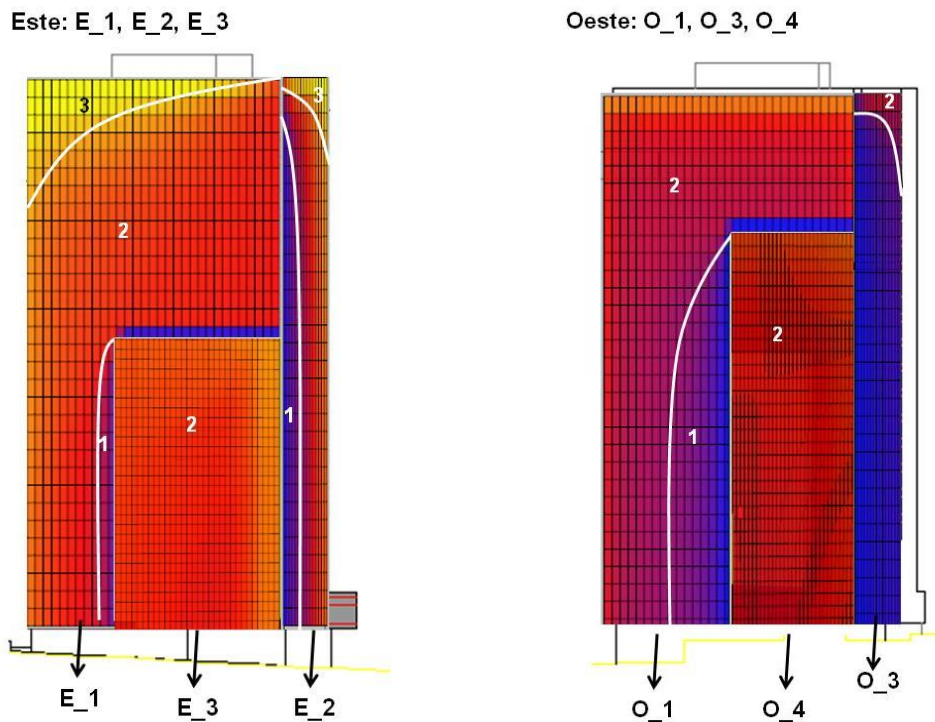


Fig. 29 – Exposição solar no alçado Este e no alçado Oeste

Para as fachadas recuadas N₂, N₄, S₃, O₂ e O₃ poderá ser avaliada a possibilidade de redução de serigrafia das lâminas de sombreamento vertical, pelo facto de estas se encontrarem sombreadas grande parte do ano. Para as fachadas E₂ e S₂ deverá ser avaliada a possibilidade de variação vertical e horizontal das características de sombreamento.

2.1.5 Definição do modelo para simulação dinâmica

Em função dos resultados anteriores, foi feita a seleção de zonas representativas de cada alçado para análise quantitativa da incidência solar nos mesmos. Para esse estudo detalhado construiu-se um modelo de um troço de escritório que é simulado com várias orientações e elementos de sombreamento (representativos da volumetria do edifício). A simulação foi realizada recorrendo ao *software EnergyPlus* versão 8.1.0.009 (com geometria do modelo definida a partir do *software SketchUP* 2013), com o ficheiro climático de um ano típico de Luanda, obtido a partir do *software Meteonorm* 7.

A análise desenvolvida tem por objetivo avaliar a possibilidade de variação de serigrafia:

- Verticalmente e horizontalmente, ao longo da mesma fachada
- Em função da orientação

Esta análise é realizada inicialmente para as condições definidas em projeto, isto é, considerando que as lâminas de sombreamento exterior verticais possuem 50% de serigrafia. De seguida, é avaliada a situação em que a serigrafia é alterada, consoante a fachada em estudo, de acordo com aquela que seria uma solução a implementar para a mesma, e de acordo com o objetivo de uniformizar o impacto no interior.

A partir do estudo de auto sombreamento do edifício, foram elaborados modelos tridimensionais representativos de diferentes zonas da fachada com vista à avaliação do potencial de redução da radiação transmitida para o interior do edifício, bem como das necessidades de arrefecimento. Sempre que se verifique, foi considerado no modelo de simulação o sombreamento provocado pelos volumes adjacentes. A partir desta consideração, definiram-se os parâmetros a estudar para cada caso.

2.1.6 Geometria do modelo

A geometria do modelo simplificado do escritório é apresentada na Fig. 30.

O módulo de escritório simulado foi definido com uma profundidade de 6 m, considerada a profundidade até à qual se faz sentir o efeito da radiação incidente no vão. A largura do módulo é igualmente 6 m, correspondendo a uma área de pavimento de 36m². O vão superior é serigrafado (as características dos vãos e das lâminas de sombreamento são apresentados na Tabela 7). Considerou-se sombreamento interior móvel para a zona inferior do vão (não serigrafada), com transmitância de radiação solar e visível de 0,5, que é aplicado sempre que a radiação incidente no vidro excede os 300 W/m². As duas zonas do modelo trocam ar entre si, à taxa de 1 volume da zona menor por hora.

O modelo de simulação desenvolvido é constituído por duas zonas térmicas:

- Uma zona ocupada, que representa o volume principal do escritório (e onde são aplicadas as cargas interiores descritas na secção 2.1.7 que se segue);
- Uma zona de menor altura e menor profundidade localizada entre o topo do vão e a zona opaca no interior, e que representa o espaço que fica em frente ao pavimento elevado, laje e teto falso.

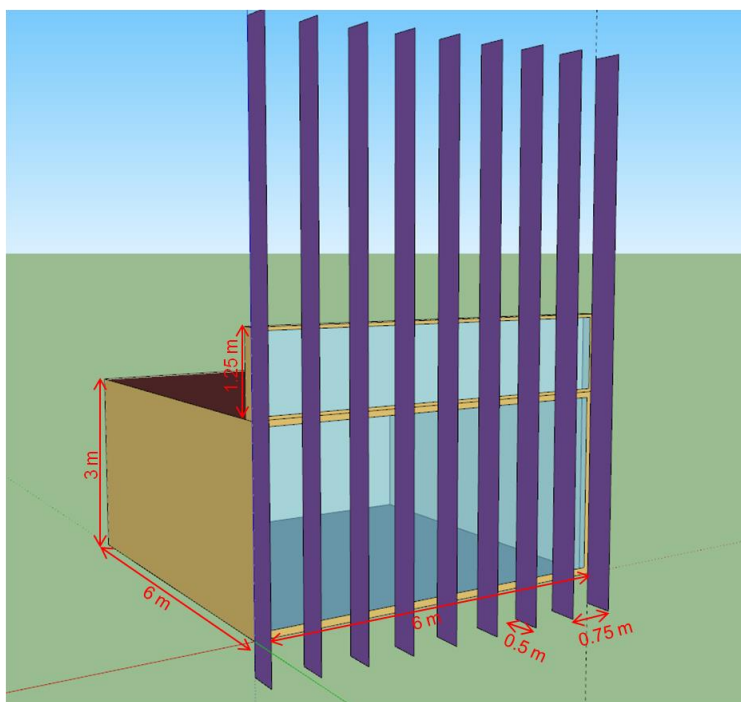


Fig. 30 – Geometria do modelo tridimensional simplificado com palas exteriores verticais [software SketchUP 2013]

As lâminas de sombreamento exterior tem a geometria prevista em projeto, ou seja, tem uma profundidade de 0,5 m e encontram-se distanciadas de 0,75 m. A percentagem de serigrafia inicial é 50%, considerando-se no estudo os efeitos da aplicação de serigrafia com outras percentagens de recobrimento. No modelo, as lâminas são prolongadas para cima de forma a contabilizar, em cada piso, o efeito de sombreamento das lâminas do piso imediatamente superior.

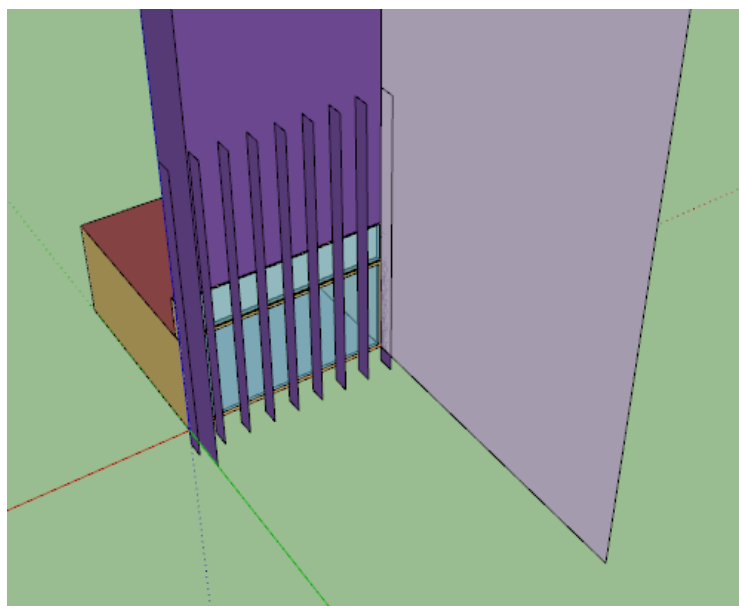


Fig. 31 – Exemplo de geometria do modelo tridimensional simplificado, com efeito de auto sombreamento do edifício (fachada N_2) [software SketchUP 2013]

2.1.7 Cargas internas e de ar novo

As condições de utilização consideradas para simulação foram as seguintes:

Densidade ocupação: 15 m²/ocupante

Densidade de iluminação: 8 W/m²

Densidade de equipamento: 15 W/m²

Os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, foram definidos de acordo com perfis de utilização convencionais para escritórios e apresentam-se no Anexo I. O ar novo, à taxa de 38,9 m³/ocupante/h (35 m³/ocupante/h afetado de uma eficiência de ventilação de 90%), é introduzido na zona às condições exteriores (não se considerou nesta fase a separação de cargas de climatização entre o tratamento de ar novo e o tratamento das cargas de zona). O *setpoint* de arrefecimento considerado é 22°C.

2.1.8 Soluções construtivas dos vãos envidraçados

De acordo com as especificações de projeto, as características dos vidros considerados são as apresentadas na Tabela 7. De notar que o vão envidraçado com 50% de serigrafia é a parcela da fachada cortina que fica em frente ao pavimento elevado, laje e teto falso e corresponde à “zona inferior do envidraçado”.

Tabela 7 – Características dos vidros utilizados nos vãos envidraçados e nas lâminas de sombreamento

Serigrafia [%]	Fator solar (g)	Transmissão luminosa (TL) [%]	Transmissão energética (TE) [%]	Reflexão luminosa [%]	Reflexão energética [%]	Coefficiente de transmissão térmica - U [W/m ² .K]
Vãos envidraçados da fachada						
<i>Sem serigrafia</i> ⁽¹⁾	0,28	51	24	20	37,5	1,30
<i>50 % serigrafia</i>	0,23	31	13	23	42	1,29
Lâminas de sombreamento						
<i>Sem serigrafia</i>	0,82	89	79	8	7	5,4
<i>25% serigrafia</i>	0,71	73	66	16,5	14	5,40
<i>50% serigrafia</i>	0,55	47	44	18	13	5,4
<i>75% serigrafia</i>	0,49	40	40	33,5	26,5	5,4

⁽¹⁾As características do vidro do vão de fachada na zona não serigrafada foram obtidas a partir do *software Calumen II* versão 1.2.8. As características deste vidro foram obtidos para a seguinte constituição: vidro exterior SGG COOL-LITE SKN 154 com 8mm em base SGG DIAMANT, câmara de ar de 18 mm, e vidro interior laminado constituído por SGG DIAMANT de 6mm com 4 pvbs protect e vidro SGG DIAMANT de 6mm.

Note-se que as características espectrofotométricas variam de acordo não só com a % de recobrimento da serigrafia, mas também com a cor da tinta da serigrafia, neste caso a serigrafia é de cor branca.

Fazem-se de seguida alguns comentários aos valores apresentados na Tabela 7:

Quanto maior o recobrimento em serigrafia, menor a transmissão e maior a reflexão. No entanto, a variação destas características não é linear com a % de recobrimento, pois vai-se atenuando com o aumento de serigrafia. A transmissão energética diminui significativamente quando se passa de um vidro sem serigrafia para uma serigrafia de 25% ou quando a serigrafia passa de 25% para 50%, mas a diminuição é muito menos significativa quando passa de 50% para 75% de serigrafia.

Dependendo da posição do sol em relação às lâminas e ao vão, as lâminas de vidro podem sombrear o vão, ou refletir radiação solar para o vão. Assim, embora o aumento de serigrafia leve tendencialmente a menores necessidades de arrefecimento, o seu efeito não é linear.

2.1.9 Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados consequentes da simulação do módulo de escritórios para as diferentes fachadas. Inicialmente é feita a análise para o projeto previsto de aplicação de lâminas de sombreamento com 50% de serigrafia sendo posteriormente otimizada a análise de acordo com os resultados obtidos.

2.1.9.1 Resultados base: lâminas com 50% de serigrafia

Após a análise das fachadas com diferentes exposições, foi avaliada a implementação do recobrimento das lâminas de sombreamento vertical a 50% em todas as fachadas do edifício, que corresponde à solução base do projeto. A referência de fachada “base”, “médio” e “topo” é indicativa da zona da fachada que foi simulada, de modo a quantificar as alterações que o perfil vertical e horizontal de incidência solar induz no espaço interior: “base” identifica não só uma zona na parte inferior do troço de fachada, como aquela que está mais sombreada pelo edifício, e “topo” corresponde a uma zona alta e no extremo lateral com menor influência de sombreamento do edifício (“médio” representa, naturalmente, uma localização intermédia).

Devido às semelhanças nas orientações e na forma como a incidência solar se comporta nas diferentes fachadas os resultados obtidos para as fachadas simuladas podem ser alargados às que lhes são semelhantes, nomeadamente:

Resultados da fachada E_3 comparáveis aos obtidos para E_1

Resultados da fachada N_4 comparáveis aos obtidos para N_2

Resultados da fachada N_3 comparáveis aos obtidos para N_1

Resultados da fachada O_2 comparáveis aos obtidos para O_3

Resultados da fachada O_4 comparáveis aos obtidos para O_1

Na Fig. 32 é apresentado o total anual da radiação transmitida para o interior do espaço, por unidade de área de vão. Como esperado, a variabilidade da transmissão de radiação para as diferentes zonas do alçado reflete o impacto da orientação mas também dos efeitos de auto sombreamento do edifício. As

fachadas com menor transmissão de radiação são as orientadas a norte e sul e recuadas, designadamente as fachadas N_1, N_2, S_1, S_2 e S_3.

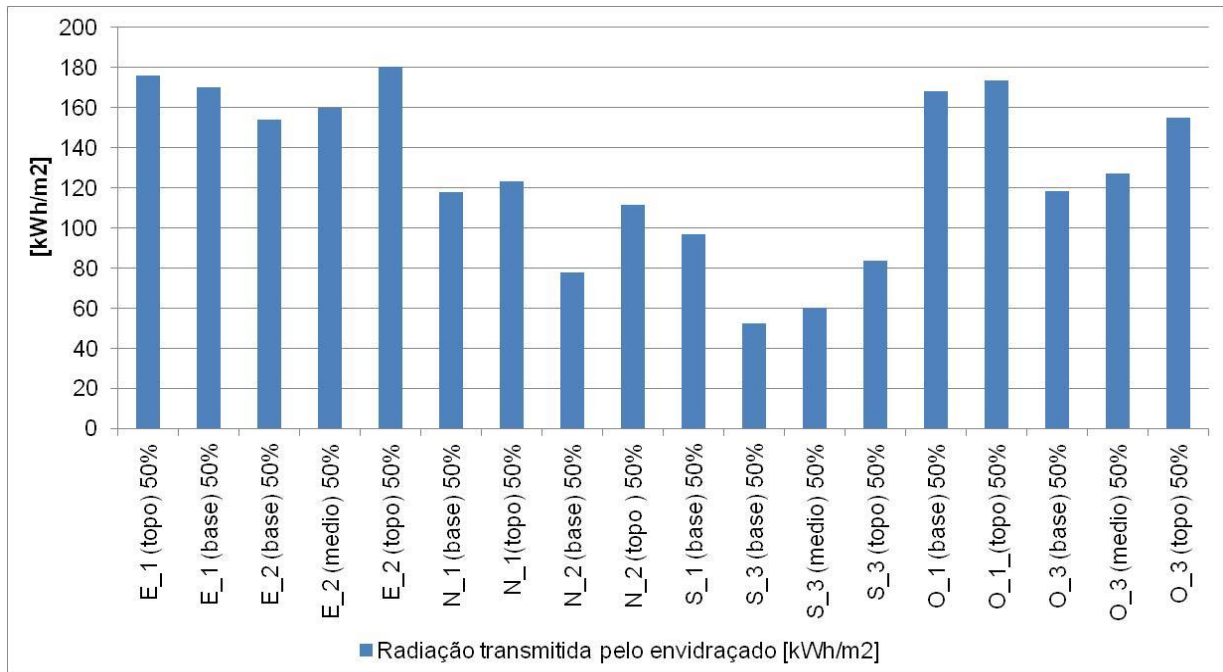


Fig. 32 – Radiação solar total, transmitida para o interior, por unidade de área de vão envidraçado, para cada zona da fachada (total anual em kWh/m²)

As necessidades anuais de arrefecimento (Fig. 33) apresentam uma variabilidade menos acentuada do que a radiação transmitida pelo vão, uma vez que a radiação solar é só uma das cargas de arrefecimento existentes. No entanto, continua também a verificar-se menor necessidade anual de arrefecimento para as orientações norte/sul.

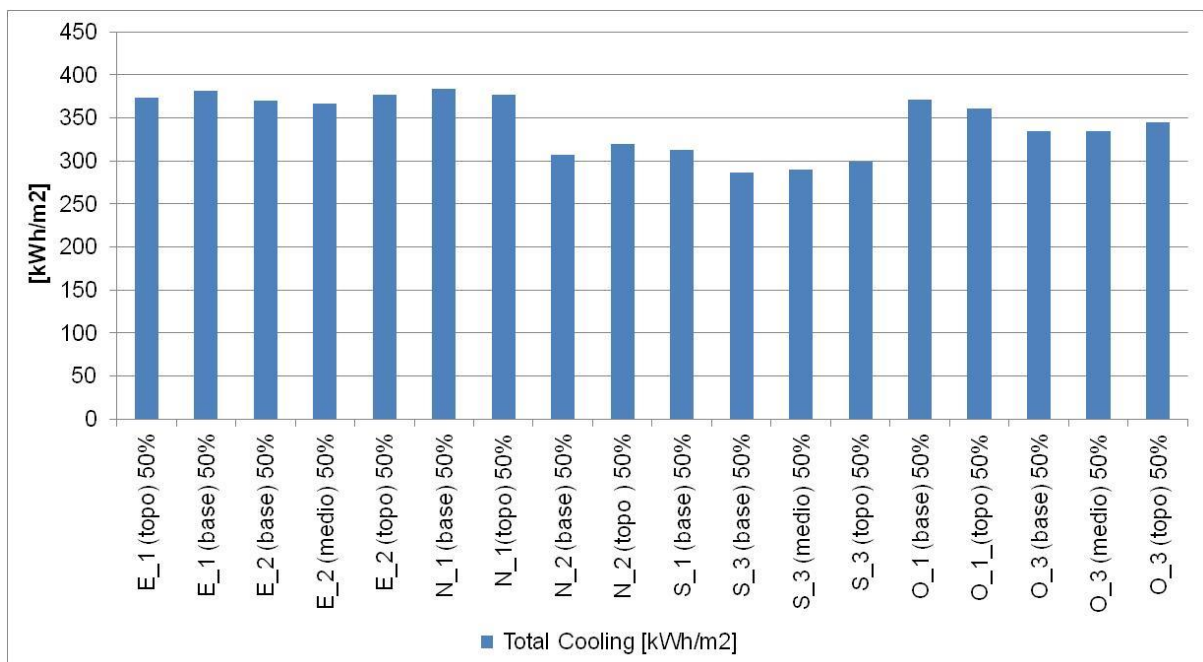


Fig. 33 – Necessidades de arrefecimento anuais, por unidade de área de escritório, para cada zona da fachada (total anual em kWh/m²)

É possível obter algumas conclusões a partir das Fig. 32 e Fig. 33, a primeira é o facto de que a fachada E_2 é a que possui valores mais elevados de radiação solar transmitida ao longo do ano (180 kWh/m²).

Tal como a E_2 topo, as fachadas O_1 e E_1 também apresentam elevada exposição solar ao longo do ano. A S_2 (base) é a que apresenta maior redução – 71%. É uma zona baixa de uma fachada recuada e orientada a Sul.

As fachadas a norte e sul que não se encontram recuadas (N_1 e S_1) apresentam ainda assim reduções significativas (35% e 46% respetivamente) quando comparadas com o máximo.

As fachadas que se encontram sombreadas apresentam uma variação vertical e por vezes também horizontal considerável, entre a zona mais exposta (topo) e a zona menos exposta (base). Esses resultados por fachada são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Perfil variável de incidência solar para as fachadas menos expostas (diferença entre a zona mais exposta do topo e a zona menos exposta da base da própria fachada)

Fachada	Varição vertical da radiação incidente [%]
E_2	14
N_2	30
S_3	38
O_3	24

Na análise das cargas de arrefecimento, a fachada que apresenta maiores valores é a N_1 com um total anual de 384 kWh/m².

As zonas mais expostas das fachadas E_1, E_2 e O_1 (o topo das fachadas), não apresentam redução significativa das necessidades de arrefecimento (variação entre 1% a 3%).

As fachadas que se encontram sombreadas por outras, nomeadamente, S_3, N_2 e O_3 apresentam elevada redução quando comparadas com N_1.

A S_3 é a que apresenta maior redução – cerca de 25% - pois a fachada encontra-se sombreada por outros volumes do edifício.

A variação vertical para uma mesma fachada é pouco notória (há apenas alterações entre 2% e 3%)

Note-se que o facto de a zona de fachada com maior transmissão solar anual, E_2 (topo), não ser a que apresenta maiores necessidades anuais de arrefecimento, N_1, decorre da não coincidência temporal perfeita entre a transmissão solar a nascente e a atividade do sistema de climatização. A incidência solar a nascente inicia-se antes da entrada em funcionamento do sistema de climatização, e embora possa levar a um pré-aquecimento do espaço e a um pico no arranque do arrefecimento, não é inteiramente traduzida em necessidades de arrefecimento.

2.1.9.2 Impacto da variação da percentagem de serigrafia das lâminas par a diferentes orientações

Para as fachadas mais expostas nas várias orientações (N, S, E, O), foi avaliado o impacto que a aplicação de diferentes recobrimentos de serigrafia nas lâminas de sombreamento (alteração de serigrafia entre 0%, 25%, 50% e 75%) teria na radiação transmitida pelo vão e nas necessidades totais de arrefecimento. Esta análise foi elaborada para as fachadas com orientações principais, nomeadamente, N_1, S_1, O_1 e E_1, sendo que os resultados da fachada E_1 podem ser alargados à fachada E_3 e, do mesmo modo, os resultados da O_1 são ilustrativos da O_4, visto terem sido simuladas zonas da fachada totalmente expostas à radiação solar, sem sombreamento de volumes adjacentes, tal como nas fachadas E_3 e O_4.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados obtidos para alteração de serigrafia nas fachadas com orientações principais

Fachada	Serigrafia [%]	Radiação transmitida pelo envidraçado [kWh/m ²]	Necessidades de arrefecimento [kWh/m ²]	Redução relativamente a 0% de serigrafia (mesma orientação)	
				Radiação transmitida pelo envidraçado [%]	Necessidades de arrefecimento [%]
S_1	0	113	327		
	25	106	321	6%	2%
	50	97	312	14%	5%
	75	96	313	15%	4%
N_1	0	136	405		
	25	128	396	6%	2%
	50	118	384	13%	5%
	75	116	383	15%	5%
E_1	0	188	395		
	25	181	390	4%	1%
	50	170	381	10%	4%
	75	169	380	10%	4%
O_1	0	186	384		
	25	179	379	4%	1%
	50	168	371	10%	3%
	75	167	370	10%	4%

Verificou-se que a redução, tanto de radiação transmitida como de necessidades de arrefecimento, alcançada por se aplicar serigrafia de 25% nas lâminas verticais, relativamente a um vidro sem serigrafia, é significativa. O mesmo se passa entre um vidro com serigrafia de 50% relativamente a 25%. No entanto, os impactos da alteração de serigrafia de 50% para 75% são pouco significativos, tanto na diminuição da radiação transmitida como na diminuição das necessidades de arrefecimento. Esse comportamento verifica-se para todas as orientações e é coerente com os valores de transmissão

apresentados pelos vidros com diferentes recobrimentos de serigrafia, conforme se fez notar em comentário à Tabela 7.

Tendo como base os resultados obtidos, torna-se dispensável avaliar o impacto do aumento de serigrafia (para 75%) para as zonas das fachadas mais expostas. No entanto, para as zonas menos expostas é relevante avaliar a possibilidade de redução de serigrafia.

2.1.9.2.1 Aplicação de serigrafia diferenciada nas lâminas das várias zonas da fachada

Partindo da situação prevista em projeto, com serigrafia a 50%, e tendo-se anteriormente verificado que a alteração de 50% para 75% de serigrafia implicava apenas ligeiras modificações nos resultados, considerou-se desnecessário avaliar nos estudos subsequentes o aumento da % de recobrimento das lâminas de sombreamento. Por outro lado, tornou-se necessário avaliar a hipótese de diminuição de serigrafia nas zonas menos expostas. Partindo da situação prevista em projeto, com serigrafia a 50%, estudou-se a possibilidade de reduzir a % de serigrafia em zonas menos expostas e com menores necessidades de arrefecimento.

De uma forma geral, analisou-se o impacto da alteração de serigrafia das fachadas que se encontravam sombreadas por volumes adjacentes para 0% e 25%. No entanto, no topo dessas fachadas, zona mais exposta, manteve-se serigrafia de 50%.

Os resultados obtidos para as fachadas apresentadas na Fig. 34 podem ser extrapolados para as suas semelhantes, ou seja, os resultados para N_2 são comparáveis aos da fachada N_4 e os da O_3 são ilustrativos da fachada O_2.

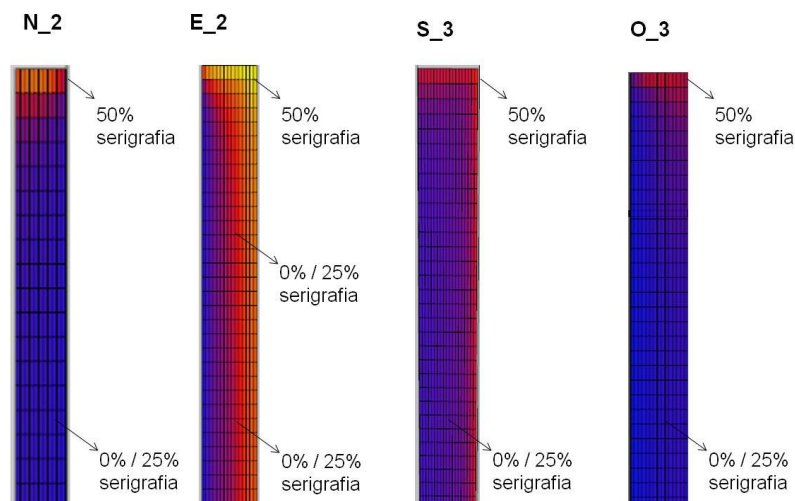


Fig. 34 – Alterações de serigrafia testadas para as fachadas N_2, E_2, S_3 e O_3

Na Tabela 10 são apresentados os resultados alcançados para cada uma das fachadas analisadas, sendo que cada fachada é comparada com a sua homóloga com 50% de serigrafia.

Tabela 10 – Variação das necessidades de arrefecimento e da radiação transmitida para o interior do espaço entre a mesma fachada com 50% de serigrafia e com alteração de serigrafia. Os valores positivos correspondem ao aumento dos parâmetros analisados

	Variação radiação transmitida [%]	Variação necessidades de arrefecimento [%]
<i>N_2 (25% serigrafia)</i>	3,6	0,9
<i>N_2 (0% serigrafia)</i>	5,8	1,5
<i>E_2 (25% serigrafia)</i>	4,0	1,4
<i>E_2 (0% serigrafia)</i>	6,1	2,2
<i>S_3 (25% serigrafia)</i>	5,9	1,0
<i>S_3 (0% serigrafia)</i>	8,9	1,4
<i>O_3 (25% serigrafia)</i>	5	1,0
<i>O_3 (0% serigrafia)</i>	7	2,0

Tendo em conta as discrepâncias entre os valores iniciais das necessidades de arrefecimento das várias fachadas, conclui-se que a alteração de % de serigrafia das lâminas de sombreamento tem um efeito reduzido na uniformização das necessidades de arrefecimento.

2.1.9.3 Variação da inclinação das lâminas de sombreamento exterior

As lâminas de vidro serigrafado previstas no projeto são aplicadas perpendicularmente à fachada em que se inserem. Adicionalmente ao estudo proposto realizou-se um estudo adicional com o intuito de avaliar o impacto da variação da inclinação, relativamente à fachada, dessas lâminas de sombreamento exterior. Pretende-se avaliar se há inclinações mais vantajosas, ou seja, que levem a menores ganhos de radiação e a menores cargas de arrefecimento. Para tal, o estudo começa por avaliar a incidência solar nos vãos localizados nas fachadas principais do edifício e depois estuda-se o impacto de variações na inclinação das lâminas.

Nas Fig. 35 e Fig. 36 observa-se que a componente direta da radiação é maioritariamente a nascente e ponte no verão e a norte e poente no inverno. Por outro lado, a componente difusa da radiação não é desprezável sendo relativamente constante e uniforme para todas as fachadas ao longo de todo o ano.

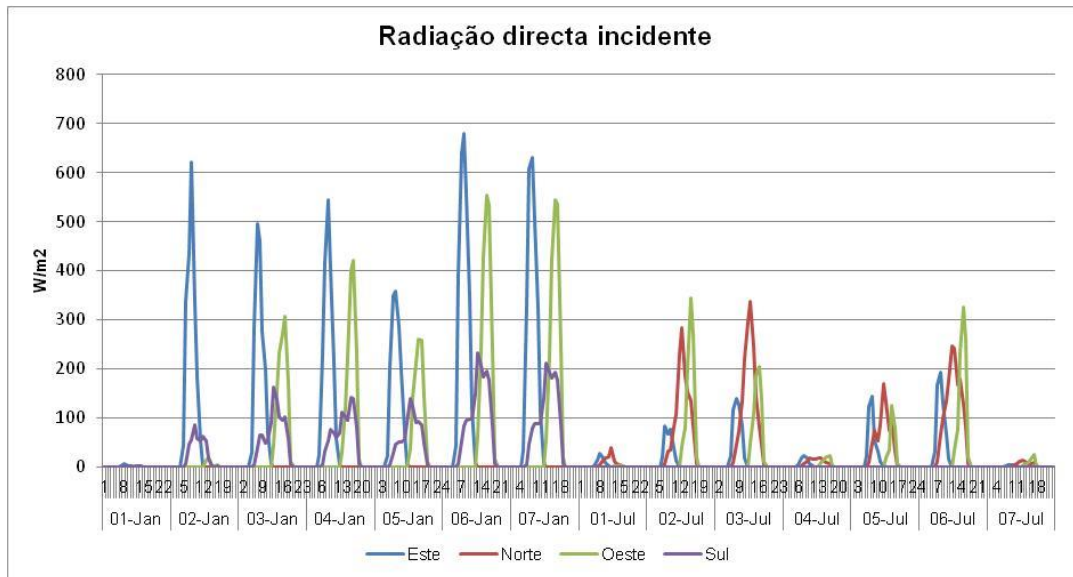


Fig. 35 – Radiação direta incidente nas fachadas com maior exposição solar (N_1, O_4, S_1 e E_3) para uma semana típica de verão (Janeiro) e de inverno (Julho)

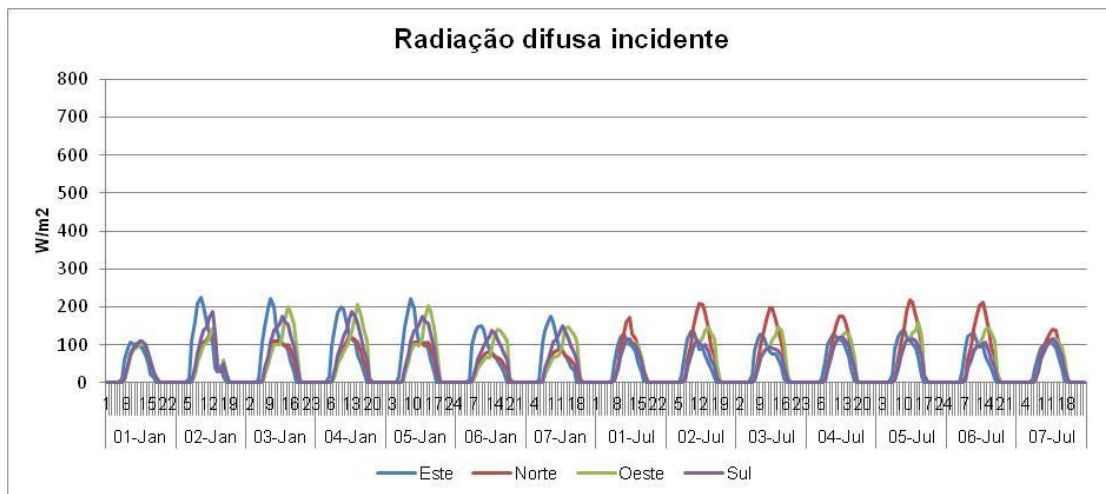
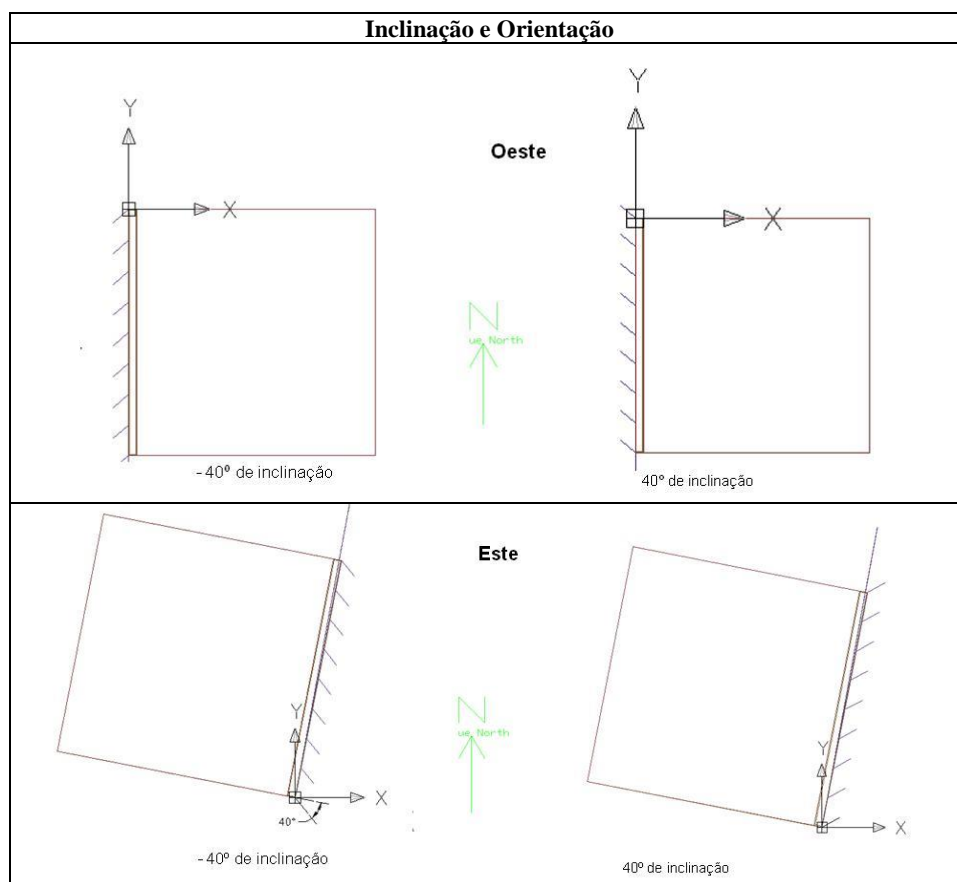


Fig. 36 – Radiação difusa incidente nas com maior exposição solar (N_1, O_4, S_1 e E_3), para uma semana típica de verão (Janeiro) e de inverno (Julho)

Tendo em conta os resultados anteriores e a análise realizada ao percurso solar (Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 9) conclui-se que, para lâminas verticais, a inclinação relativamente à fachada deverá ser analisada no caso das orientações este e oeste. (Nas fachadas norte e sul a incidência solar é de cima).

Assim, e utilizando como base os modelos definidos anteriormente, com lâminas com 50% de recobrimento de serigrafia, analisou-se a possibilidade de inclinação das lâminas exteriores para as orientações este e oeste, conforme indicada na Tabela 11 (apenas de encontram representadas as orientações de 40° e -40° para este e oeste, pois o esquema de representação das lâminas a 20° é igual, alterando-se apenas a inclinação das mesmas). Note-se ainda que ambas as fachadas apresentam a real orientação (fachada a este com inclinação de 11° a sul).

Tabela 11 – Diferentes inclinações de lâminas estudadas para cada orientação (ângulo entre a lâmina e a normal ao envidraçado)



A variação da inclinação das lâminas de sombreamento produziu os resultados apresentados na Tabela 12, os quais são em cada caso comparados com a solução base dessa fachada (inclinação 0°, ou seja E_0° e W_0°). Como expectável, inclinações mais elevadas (de valor positivo ou negativo) produzem resultados melhores que inclinações menores.

Tabela 12 – Comparação com as fachadas correspondentes com palas a 0°, da radiação transmitida bem como da carga total de arrefecimento

Orientação	Inclinação [°]	Redução da radiação transmitida em relação à fachada perpendicular (E_0° ou W_0°) [%]	Redução das necessidades de arrefecimento em relação à fachada perpendicular (E_0° ou W_0°) [%]
Este	-20	8	3
	+20	4	2
	-40	16	6
	+40	11	4
Oeste	-20	7	3
	+20	7	3
	-40	14	5
	+40	11	3

A este, a maior redução é conseguida para a inclinação de -40° (redução de 16% da radiação transmitida para o interior do espaço e de 6% da carga de arrefecimento. Do mesmo modo, a oeste, a melhor inclinação é a de -40° (redução de 14% da radiação e de 5% no arrefecimento). Apesar da redução da radiação transmitida ser significativa, a inclinação das palas produz resultados pouco significativos para a redução da carga de arrefecimento, uma vez que os ganhos solares são uma das várias parcelas das cargas de arrefecimento a considerar. As implicações construtivas de inclinar as lâminas de sombreamento são não negligenciáveis. Assim, tendo em conta o reduzido impacto nas cargas de arrefecimento, não se justifica a instalação de lâminas inclinadas.

2.1.10 Conclusão

Da primeira análise da incidência solar nas fachadas elaborada em *ECOTECH* identificaram-se as orientações Este e Oeste como as mais expostas, seguidas de Norte e Sul. No entanto, as diferenças identificadas resultaram não só da orientação, mas principalmente do contorno da fachada, cujos recuos e reentrâncias criam zonas de menor incidência solar e mesmo de sombra, com exceção dos pisos mais altos, que apresentam sempre exposição significativa.

Os resultados das simulações para a aplicação de lâminas com 50% de serigrafia em todas as fachadas indicou o topo da fachada E_2 como a que apresenta maior radiação transmitida, sendo a que apresenta menos valor a S3_base com 71% menos. Por outro lado, a fachadas com maiores necessidades de arrefecimento é a N1_topo, sendo que a que apresenta um menos valor é também a S3_base com menos 29%. Não existe concordância entre a fachada com maior radiação transmitida e a que apresenta maiores necessidades de arrefecimento porque a incidência solar a nascente inicia-se antes da entrada em funcionamento do sistema de climatização,

A análise do aumento de serigrafia de 50% para 75% para as principais orientações (E_1, S_1, N_1 e O_1) demonstrou uma variação dos dois parâmetros entre 0% e 2%, tendo por isso sido desconsiderada esta hipótese. Por outro lado, o impacto da redução de serigrafia de 50% para 25% ou 0% nas zonas mais sombreadas das fachadas indicou um reduzido impacto nas necessidades de aquecimento, sendo portanto esta solução passível de ser utilizada, visto inclusive implicar a redução dos custos das lâminas de sombreamento.

Apesar de a inclinação das lâminas de sombreamento traduzir-se numa redução da radiação total transmitida, o impacto nas necessidades de arrefecimento é reduzido (da ordem de 5 a 6%). Assim, e tendo em conta o impacto significativo que essa alteração teria a nível construtivo das fachadas, não se considerou que fosse uma hipótese a desenvolver.

2.2 Reabilitação de edifício de habitação, comércio e serviços – Rua dos Douradores, Lisboa

O presente caso de estudo discorre sobre o projeto de comportamento térmico desenvolvido no âmbito do processo de licenciamento das diferentes especialidades. A integração neste projeto permitiu desenvolver a metodologia a aplicar aquando de um processo de licenciamento de um edifício de carácter misto, composto por frações de habitação e de pequenas frações de comércio e serviços. Para além da análise de comportamento térmico, foi realizado um estudo adicional com o intuito de definir quais os pisos que teriam necessidades de pré-instalação de sistema de arrefecimento. Esta análise foi realizada utilizando a volumetria global do edifício com o modelo geométrico definido com o *software DesignBuilder*, versão 3.4.0.041 e simulação em *EnergyPlus*, versão 8.1.0.009.

2.2.1 Enquadramento regulamentar e descrição do edifício

O imóvel estudado localiza-se na Rua dos Douradores nº 96-104 tornejando para a Rua Vitória nº 10-16, datado do início do século XIX (exceto o último piso em mansarda, que foi acrescentado no final do século XIX) conta com sete pisos: térreo, sobreloja, e cinco pisos de habitação. Com uma configuração tipicamente pombalina, a proposta elaborada para a intervenção no edifício, baseou-se no respeito pelas pré-existências, pretendendo recuperar os elementos originais com valor arquitetónico, e completar as alterações com soluções técnicas que reproduzam as originais ou que, embora diferentes sejam compatíveis com o edifício.

As principais orientações do edifício são poente e sul (fachadas viradas para a Rua dos Douradores e para a Rua da Vitória, respetivamente), existindo ainda uma faixa orientada a norte e virada para o logradouro do quarteirão. É ainda de notar a existência de um saguão coberto por uma claraboia onde estava prevista a instalação de um elevador.

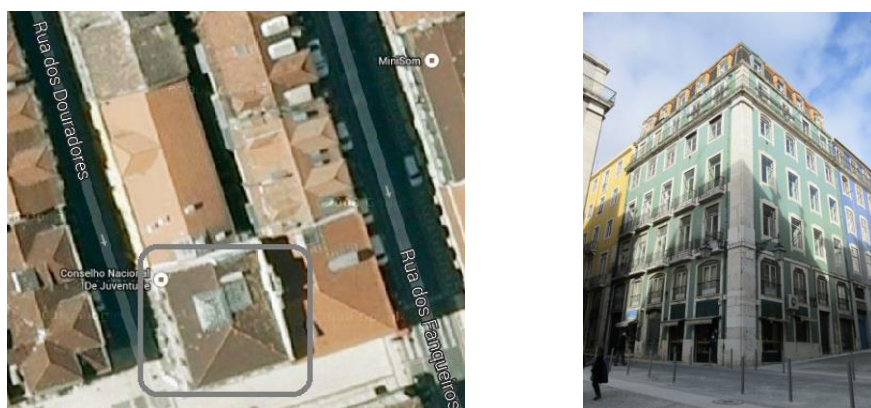


Fig. 37 – Identificação do imóvel, vista de cima, vista para a Rua dos Douradores e para a Rua da Vitória

O projeto de alteração proposto tem como principal objetivo a revitalização do edifício, melhorando significativamente as condições interiores de conforto e salubridade. O edifício manterá a ocupação original, ou seja, o uso misto distribuído nos vários pisos, ficando, após a intervenção prevista, com 15 apartamentos 3 espaços comerciais (piso 0) e 3 espaços destinados a escritórios (sobreloja).

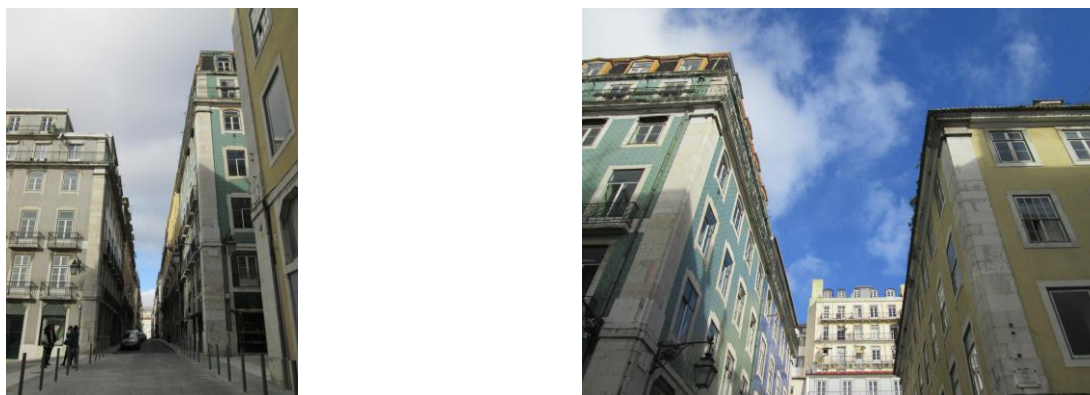


Fig. 38 – Sombreamento e adjacências existentes, fachada para a Rua dos Douradores (imagem da esquerda) e fachada para a Rua da Vitória (imagem da direita)

Apesar de o edifício estar em propriedade total a análise relativa ao desempenho energético foi realizada por frações, ou seja, cada um das 15 frações de habitação e 6 frações de comércio e serviços foram analisada de forma independente, pois de acordo com a definição constante do DL 118/2013 de 20 de Agosto, Artigo 2º, Definições: “Fração”, é a unidade mínima de um edifício com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedade horizontal.

O edifício estava condicionado a certas intervenções/soluções devido ao facto de se inserir no quarteirão 31, na Área Histórica Central e no conjunto histórico da Baixa Pombalina, abrangido pelo Plano de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina.

Deste modo, a análise desenvolvida baseou-se no D.L. n.º 118/2013 de 20 de Agosto e respetivas Portarias e Despachos, aplicadas conforme a fração em estudo.

Nas frações de habitação apresentados na Fig. 39 (pisos 1 a 5), aplicou-se o REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação: aplicável às frações de habitação. Visto tratar-se de uma grande intervenção de um edifício anterior a 1960 é exigido que o limite de energia primária seja até 50% superior ao que seria admitido para um edifício novo, por outro lado, o cumprimento dos limites das necessidades para aquecimento e arrefecimento não é de carácter obrigatório.

A avaliação do desempenho energético, foi desenvolvida com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo IteCons: *Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de Acordo com o REH*, versão V1.12, de 20 de Novembro de 2014.

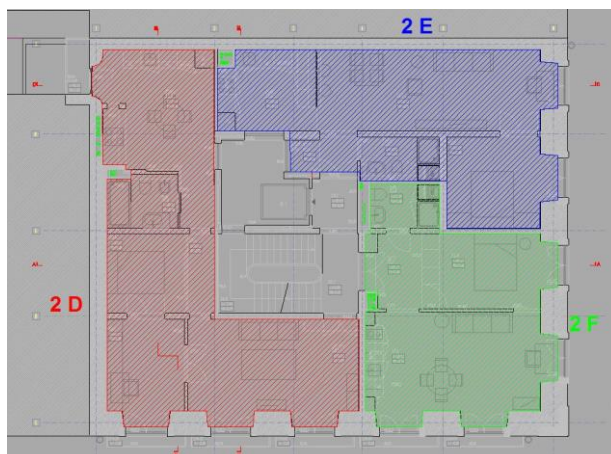


Fig. 39 – Exemplo de piso destinado à habitação (piso 2, frações 2D, 2E e 2F)

Para as frações destinadas ao comércio, (piso 0 identificado na Fig. 40) e serviços (sobreloja identificada na Fig. 42) o limite do indicador de eficiência energética é majorado em 50% relativamente ao limite aplicado aos edifícios novos. A metodologia desenvolvida baseou-se no cálculo dinâmico simplificado com recurso à folha de cálculo: *STE-Monozona Cálculo Dinâmico Simplificado para Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços, versão 2.1.6 (15 de Dezembro de 2014)* - quantificação do desempenho energético de frações de comércio e serviços.



Fig. 40 – Exemplo de piso destinada a comércio (piso 0, lojas)

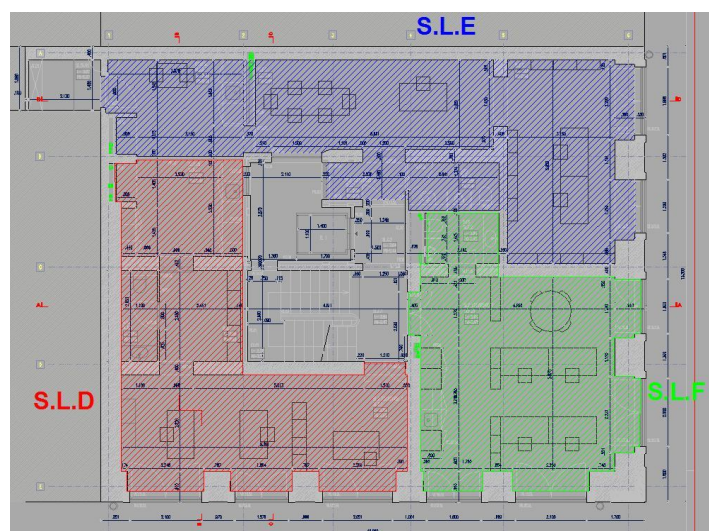


Fig. 41 – Piso sobreloja: frações SLD, SLF e SLE (serviços)

2.2.2 Soluções construtivas

As soluções construtivas propostas visavam o melhoramento do desempenho energético do edifício garantindo ao mesmo tempo inércia térmica, com vista à melhor regulação da temperatura interna, e potenciamento do controlo dos ganhos solares, garantindo assim o conforto térmico dos ocupantes. Para além dos elementos existentes a reabilitar existiam ainda soluções novas. Porém, como o edifício é de carácter pombalino inserido em zona histórica foi necessário considerar soluções novas que garantam a integridade do mesmo e respeitem as suas características arquitetónicas, e as dos elementos a recuperar.

A caracterização térmica dos elementos construtivos verticais e horizontais (exteriores e interiores) é apresentada nas tabelas seguintes e visam o cumprimento dos limites regulamentares.

Tabela 13 – Caracterização dos elementos construtivos exteriores

Elemento construtivo	Densidade [kg/m ³]	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/m°C]	Resistência térmica [m ² .°C/W]	Coefficiente de transmissão térmica da solução / Coeficiente de transmissão máximo [W/m ² .°C]
<i>Parede (piso 0 e loja) – parede de alvenaria de pedra aparelhada</i>					
Parede de alvenaria de pedra aparelhada	1680	0,8	1,61	0,5	1,45 / Sem requisitos
Reboco armado	2400	0,035	2,00	0,02	
<i>Parede (pisos 1 a 4, inclusive) – parede de alvenaria de pedra e argamassa¹</i>					
Parede em alvenaria de pedra	1910	0,70 a 0,60	1,50	0,47 a 0,4	1,52 a 1,69 / Sem requisitos
Reboco armado	2400	0,035	2,00	0,02	
<i>Parede (piso 5) – parede intervencionada</i>					
Revestimento em cerâmica preta ou em zinco	-	-	-	-	0,45 / 1,75
Placa de aglomerado negro de cortiça expandida	40	0,05	0,04	1,25	
Painel de	750	0,022	0,12	0,18	

aglomerado de partículas de madeira					
Estrutura em madeira com lâ mineral (entre prumos) – valores aproximados	200	0,05	0,10	0,5	
Duas placas de gesso cartonado	680	0,026	0,21	0,12	

¹ Para a mesma constituição, a zona do peito dos vãos tem uma espessura de 20 cm resultando num $U=3,13 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tabela 14 – Caracterização dos elementos construtivos interiores

Elemento construtivo	Densidade [kg/m ³]	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/m ² ·°C]	Resistência térmica [m ² ·°C/W]	Coefficiente de transmissão térmica da solução / Coeficiente de transmissão máximo [W/m ² ·°C]
<i>Parede (piso 0 e loja) – parede de alvenaria de pedra aparelhada</i>					
Parede de alvenaria de pedra aparelhada	1680	0,500	1,61	0,31	1,69 / Sem requisitos
Reboco armado	2400	0,035	2,00	0,02	
<i>Parede (pisos 1 a 4, inclusive) – parede de alvenaria de pedra e argamassa</i>					
Parede em alvenaria de pedra	1680	0,500	1,50	0,33	1,64 / Sem requisitos
Reboco armado	2400	0,035	2,00	0,02	
<i>Paredes das frações para o saguão – parede nova leve</i>					
Lã mineral sobre caixa de ar para absorção acústica	-	-	-	-	0,43 / 1,75
Painel de aglomerado de partículas de madeira	750	0,022	0,12	0,18	
Lã mineral	90	0,070	0,04	1,75	
Duas placas de gesso cartonado	680	0,026	0,21	0,12	

Tabela 15 – Caracterização dos elementos construtivos horizontais

Elemento construtivo	Densidade [kg/m ³]	Espessura [m]	Condutibilidade e térmica [W/m ² ·°C]	Resistência térmica [m ² ·°C/W]	Coefficiente de transmissão térmica da solução [W/m ² ·°C]
<i>Cobertura principal</i>					
Revestimento em cerâmica preta ou zinco sobre impermeabilização	-	-	-	-	0,35 / 1,25
Placa de aglomerado negro de cortiça expandida	40	0,100	0,04	2,50	
Painel <i>superpan tech P5</i>	750	0,022	0,12	0,18	

<i>Cobertura na zona das mansardas</i>					
Revestimento em cerâmica preta ou zinco sobre impermeabilização	-	-	-	-	0,46 / 1,25
Placa de aglomerado negro de cortiça expandida	40	0,050	0,04	1,25	
Painel <i>superpan tech P5</i>	750	0,022	0,12	0,18	
Estrutura em madeira (com lã mineral entre prumos)	200	0,050	0,10	0,50	
Duas placas de gesso cartonado	680	0,026	0,21	0,12	

2.2.3 Sistemas técnicos propostos

Nas próximas secções são descritos os sistemas técnicos propostos para climatização e AQS para o edifício da Rua dos Douradores, tanto para as frações de habitação como para as lojas (comércio) e sobrelojas (escritórios). É ainda feita referência aos sistemas de iluminação cujo projeto ainda se encontrava em desenvolvimento à data da elaboração do projeto de comportamento térmico.

2.2.3.1 Sistemas de climatização

O desenvolvimento do conceito e consequente dimensionamento dos sistemas de climatização foi desenvolvido em fase de projeto de licenciamento considerando os sistemas a implementar para as habitações, e para os escritórios (na sobreloja), sendo que para as lojas no piso 0, apenas foi feito o dimensionamento para a pré-instalação dos equipamentos. Neste último caso, como o projeto não prevê a efetiva instalação, somente pré-instalação, foram considerados os sistemas definidos por defeito com eficiências de referência previstos na Portaria nº 349-D/2013.

Para as habitações o dimensionamento visava a climatização dos espaços principais (salas, escritórios e quartos) com recurso a sistemas de expansão direta do tipo *multisplit* constituídos por uma unidade exterior e duas ou três unidades interiores, conforme as necessidades de cada fração. Da mesma forma, para os escritórios a climatização será feita com recurso a sistemas de expansão direta do tipo *multisplit*. Existirá um sistema dedicado a cada fração, com instalação das unidades interiores, de chão e carroçadas, nos espaços de trabalho.

2.2.3.2 Águas Quentes Sanitárias – AQS

Tanto para as frações de habitação, como para os escritórios, a produção de águas quentes sanitárias realizar-se-á utilizando um termoacumulador elétrico, que no caso das frações de habitação será equipado com resistência elétrica de 2,0 kW e depósito com 100 litros e para os escritórios terá 50 litros de capacidade e potência de 1,6 kW. Para as lojas não foram previstos quaisquer sistemas para preparação de AQS. É de notar que a instalação de sistema solar térmico se encontrava vedado devido

ao facto de o edifício se encontrar abrangido pelo Plano de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina.

2.2.3.3 Equipamentos e iluminação

O projeto de iluminação encontrava-se ainda em desenvolvimento estando apenas previsto pontos de luz. Assim, foram considerados os valores de densidade de potência previstos na Portaria n.º 349-D/2013 e na Norma Europeia EN 12464-1, para valores de iluminância média, de acordo com a tipologia da fração. A densidade e perfil de utilização de equipamentos foi determinado com base na antiga legislação, de acordo com a tipologia.

2.2.4 Análise climática

O enquadramento climático do edifício é um procedimento indispensável para verificação dos máximos regulamentares tanto para a envolvente opaca como para os vãos envidraçados. O edifício localiza-se no concelho de Lisboa e pertence ao NUTS 3 Grande Lisboa (Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos de nível III). Os dados climáticos de referência e as correções de altitude foram obtidos a partir da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEG (CLIMAS-SCE versão 1.05).

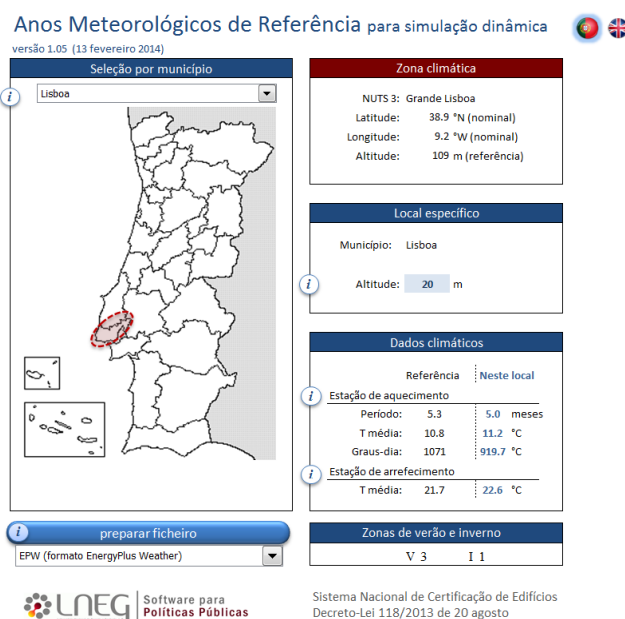


Fig. 42 – Dados climáticos de Lisboa (LNEG, CLIMAS SCE versão 1.05)

2.2.5 Verificação do cumprimento regulamentar para envolvente envidraçada

A envolvente envidraçada, tal como apresentado na secção 1.4.1, encontra-se sujeita a requisitos que deverão ser verificados, tanto para as frações de habitação como para serviços, as quais como referido anteriormente, não estão sujeitas à verificação da relação A_{env}/A_{pav} , devendo cumprir apenas o $g_{T max}$.

Tabela 16 – Verificação do cumprimento regulamentar para vãos envidraçados não orientados no quadrante Norte (exemplo de vão envidraçado para cada orientação)

Orientação	Área [m ²]	α_h	β_{esquerda}	β_{direita}	α	$A_{\text{env}}/A_{\text{pav}}$	g_T	g_T corrigido	$g_{T \text{ max}}$
Habitação									
Oeste	4,1	45	-	-	9,4	0,39	0,19	0,17	0,19
Oeste	2,8	81	63	66	-	0,17	0,38	0,17	0,44
Oeste	4,1	27	-	-	-	0,38	0,19	0,17	0,20
Oeste	2,6	74	63	66	-	0,09	0,38	0,34	0,50
Oeste	2,9	-	-	-	14	0,32	0,19	0,17	0,24
Oeste	2,0	68	63	66	-	0,15	0,38	0,32	0,50
Sul	2,9	38	-	-	-	0,27	0,19	0,17	0,28
Sul	1,9	83	76	52	-	0,13	0,38	0,27	0,50
Sul	3,1	92	-	-	-	0,29	0,19	0,17	0,26
Sul	2,5	-	-	-	-	0,27	0,19	0,17	0,28
Sul	1,4	74	76	53	-	0,10	0,38	0,27	0,50
Loja e Sobreloja									
Oeste	6,9	61	-	-	-	-	0,40	0,36	0,50
Sul	6,2	56	-	-	-	-	0,40	0,36	0,50
Oeste	3,6	54			19	-	0,20	0,17	0,50
Sul	4,5	50	-	-	-	-	0,20	0,17	0,50

Em que:

α_h – Ângulo de obstrução por elementos de sombreamento do horizonte

β_{esquerda} – Ângulo de obstrução por elementos de sombreamento à esquerda do envidraçado (palas verticais à esquerda)

β_{direita} – Ângulo de obstrução por elementos de sombreamento à direita do envidraçado (palas verticais à direita)

α – Ângulo de obstrução por elementos de sombreamento horizontais ao envidraçado (palas horizontais)

$A_{\text{env}}/A_{\text{pav}}$ – Ângulo de obstrução por elementos de sombreamento horizontais ao envidraçado (palas horizontais)

2.2.6 Desempenho energético

Verificou-se que a análise prospetiva do comportamento térmico e desempenho energético do projeto de grande intervenção a realizar no edifício de uso misto localizado na Rua dos Douradores nº 96-104 tornejando para a Rua Vitória nº10-16, cumpre os requisitos que lhe são aplicáveis.

Os resultados obtidos para o edifício em análise apresentam-se na Tabela 17 e na Tabela 18. Para as frações de habitação, as necessidades foram calculados conforme a metodologia apresentada na secção 1.4.3.1, utilizando soluções de referência e soluções previstas, tanto para aquecimento como para arrefecimento, ainda que neste caso a razão entre as necessidades nominais e o seu limite não seja

aplicável. No Anexo II são apresentados os cálculos para uma fração de habitação e para um PES, representando a metodologia aplicada em todas as restantes frações.

Tabela 17 – Indicadores obtidos para as frações de comércio e serviços

Fração	IEE _S [kWh/m ²]	IEE _T [kWh/m ²]	IEE [kWh/m ²]	IEE _{ref,s} [kWh/m ²]	R _{IEE} [kWh/m ²]	Classe Energética
O.L.1	196,1	43,8	239,9	185,6	1,06	C
O.L.2	248,8	43,8	292,6	206,7	1,20	
O.L.3	186,3	43,8	230,1	181,2	1,03	
S.L.F	169,9	101,8	271,7	167,8	1,01	
S.L.D	158,3	101,8	260,1	263,2	0,98	B -
S.L.E	143,8	62,5	206,3	153,5	0,94	

Tabela 18 – Indicadores obtidos para as frações de habitação

Fração	Tx. Ren. [RPH]	N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N _i [kWh/(m ² .ano)]	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N _v [kWh/(m ² .ano)]	Q _a [kWh/Ano]	N _{ic} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _t [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	Classe Energética
1 D	0,44	64,3	53,8	15,9	15,7	1783	141,8	134,8	C
1 E	0,55	53,5	48,9	15,8	15,7	1189	134,6	117,8	
1 F	0,62	60,2	51,2	19,2	15,7	1189	152,0	127,6	
2 D	0,46	52,4	46,3	21,1	15,7	1783	144,5	130,7	
2 E	0,55	34,2	37,9	18,1	15,7	1189	113,8	108,6	
2 F	0,69	33,4	38,7	20,4	15,7	1189	127,8	116,9	
3 D	0,48	44,2	40,2	15,2	15,7	1783	133,7	126,0	B -
3 E	0,58	31,9	37,2	18,0	15,7	1189	107,5	108,5	
3 F	0,64	31,4	37,5	16,5	15,7	1189	121,2	115,7	C
4 D	0,59	39,4	39,5	17,1	15,7	1783	133,4	126,7	C
4 E	0,71	31,8	35,7	8,6	15,7	1189	103,3	108,2	
4 F	0,80	28,4	34,7	19,6	15,7	1189	124,0	115,6	
5 D	0,44	50,0	46,9	19,7	15,7	1783	126,8	118,9	B -
5 E	0,58	12,6	32,1	22,8	15,7	1783	108,9	116,2	
5 F	0,5	22,2	46,1	22,4	15,7	1189	104,7	112,3	

2.2.7 Estudo adicional – Análise da Necessidade arrefecimento ativo nas frações de habitação

Anteriormente ao processo de licenciamento foi realizado um estudo sobre as necessidades de arrefecimento previstas para as frações de habitação com o intuito de avaliar quais as frações que careciam de instalação de sistemas de arrefecimento. Como tal, foi definido um modelo com a volumetria global do edifício, utilizando o *software* de simulação dinâmica detalhada *EnergyPlus* versão 8.1.0.009, com o ficheiro climático de um ano típico do clima de Lisboa. A geometria e a análise do sombreamento foi feita com o *software DesignBuilder*, versão 3.4.0.041.

O modelo de simulação foi caracterizado com as soluções construtivas previstas no projeto de licenciamento de Arquitetura e com perfis de utilização e densidades de ocupação, iluminação e equipamentos previstos para edifícios de habitação. Considerou-se que existe ventilação natural sempre que as condições exteriores são favoráveis.

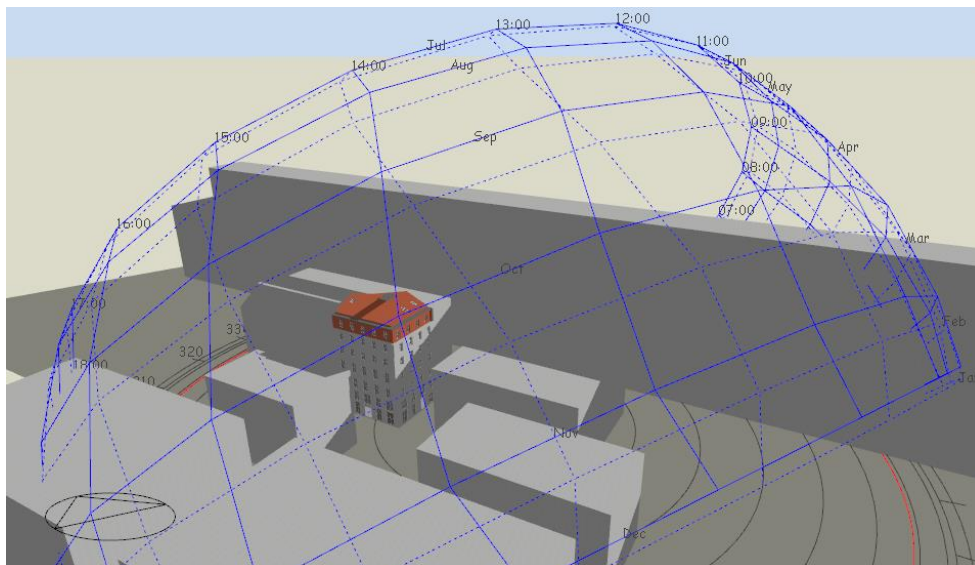


Fig. 43 – Modelo tridimensional com sombreamento (1 de Agosto 7h00)
[*software DesignBuilder*, versão 3.2.0.067]

Tendo em conta que os ganhos térmicos relevantes para as frações são os correspondentes à radiação solar transmitida através dos vãos envidraçados, foram simulados três cenários de sombreamento:

- Sem sombreamento
- Com sombreamento interior (portadas de madeira interiores)
- Com sombreamento exterior (portadas de madeira exteriores)

Os resultados são apresentados na Fig. 44, para as frações de habitação dos pisos 1,2,4 e 5 tendo-se considerado que o piso 3 tem comportamento semelhante ao piso 2.

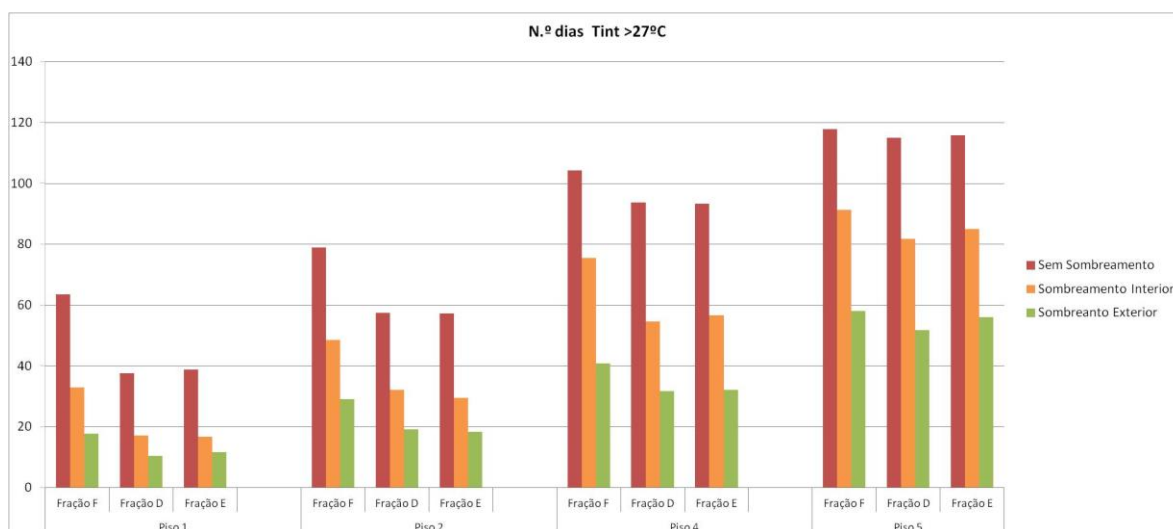


Fig. 44– Total anual do número de dias em que a temperatura interior é superior a 27°C

Dos resultados apresentados, conclui-se que apenas são válidos os referentes ao sombreamento interior, visto ter sido a solução adotada em fase de licenciamento. Destes resultados, é de destacar que a fração que apresenta em todos os pisos maiores necessidades de arrefecimento é a F visto ter a orientação sul/poente. De modo geral conclui-se que os pisos 4 e 5 têm necessidades de arrefecimento ativo visto estarem acima de 27°C durante 30% e 42% (respetivamente) da época de arrefecimento.

2.3 Reabilitação de um grande edifício de comércio e serviços – Palácio da Anunciada (Hotel Roots)

O caso de estudo que será presentemente descrito, diz respeito à verificação do RECS, para o Hotel Roots, na Rua Portas de Santo Antão em Lisboa. Este projeto visou a reabilitação de um GES, visto a sua área interior útil ser superior a 1000 m² (com exceção de espaços complementares) e os custos com a intervenção a realizar serem superiores a 25% do valor do imóvel. Foram consideradas as especificidades do projeto tendo em conta as diferentes especialidades envolvidas e ponderando sempre a utilização de soluções compatíveis com as restrições arquiteturais, estruturais e paisagísticas que caracterizam este edifício marcante e localizado no centro histórico da cidade.

Os consumos de energia do edifício são calculados por simulação dinâmica detalhada, a partir de um modelo representativo da geometria, das soluções construtivas e dos sistemas energéticos do edifício em análise.

2.3.1 Análise climática

O edifício localiza-se no concelho de Lisboa e pertence ao NUTS III Grande Lisboa (Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos de nível III). Os dados climáticos de referência e as correções de altitude foram obtidos a partir da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEG (CLIMAS-SCE 1_05.xlsm):

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Zona climática	
NUTS 3:	Grande Lisboa
Latitude:	38.9 °N (nominal)
Longitude:	9.2 °W (nominal)
Altitude:	109 m (referência)

Local específico	
Município:	Lisboa
Altitude:	13 m

Dados climáticos	
Referência:	Neste local
Estação de aquecimento	
Período:	5.3 : 5.3 meses
T média:	10.8 : 10.8 °C
Graus-dia:	1071 : 1071 °C
Estação de arrefecimento	
T média:	21.7 : 21.7 °C

Zonas de verão e inverno	
V 2	I 1

LNEG Software para Políticas Públicas
Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Fig. 45 – Dados climáticos de Lisboa (LNEG, CLIMAS-SCE 1_05.xlsm)

2.3.2 Descrição do projeto

O conjunto palaciano das Portas de Santo Antão, n^{os} 112-124, é composto por dois edifícios principais, com pátios e saguões, separados por 2 jardins a diferentes cotas e respetivos muros de contenção.

A norte, perfila-se o "Palácio da Anunciada", Rua das Portas de Santo Antão, n^o 124; a sul, o "prédio nobre" com o n^o 112 da mesma rua. Os dois edifícios estão ligados através de dois espaços ajardinados em cotas diferentes junto da rua, o jardim central. Entre o n^o 124 e o n^o 112, sensivelmente à cota do andar nobre de ambos, à cota mais elevada, encontra-se o "jardim de cima", plataforma apoiada na encosta de Santana/Mártires da Pátria que ocupa a totalidade do lote a tardoz.



Fig. 46 – Localização do edifício a intervir.

No piso 0 do hotel localiza-se a receção, *front-office / back-office*, e uma zona social composta por hall / área de estar e Bar. Este piso também dispõe de instalações sanitárias compartimentadas por sexos, incluindo uma para pessoas com mobilidade reduzida, que dão apoio não só aos clientes do Hotel mas também aos clientes do Bar. O Bar funciona como prolongamento da área de estar do Hotel e liga o Palácio ao Edifício B, onde se localiza uma Sala de Estar e um pequeno espaço comercial – Loja. O piso 0 dispõe ainda de uma zona de serviço (compartimento de lixos, cargas e descargas, áreas técnicas entre outros espaços) que tem ligação com o edifício B. O estacionamento localiza-se também no piso 0 do corpo A.

No piso 1, localizam-se algumas unidades de alojamento, algumas salas multiusos, átrio e sala de reuniões, que podem ser usadas para eventos. A zona de serviço deste piso inclui: a cozinha, com gabinete do Chef e despensas de dia (frio e não frio), arrumos gerais e a zona administrativa com as respetivas Instalações Sanitárias.

No piso 2, encontram-se unidades de alojamento e copas de piso, o restaurante principal com esplanada para o jardim e respetiva copa de apoio, o Bar/ Sala de TV e *Business Center/* Biblioteca e a Sala Multiusos. Também existe um núcleo de instalações sanitárias compartimentadas por sexos. A partir deste piso também tem-se acesso ao Spa, pela antiga Casa de Fresco – galeria, pelo jardim e pelo edifício B.

O piso 3, 4 e 5 são exclusivos para unidades de alojamento e copas de piso.

O edifício B é exclusivo para unidades de alojamento, com exceção do piso 0.

2.3.2.1 Soluções construtivas

Neste capítulo faz-se a caracterização das soluções construtivas, nomeadamente a envolvente térmica do edifício e verifica-se a sua conformidade com os requisitos do RECS. Na caracterização térmica das soluções tem-se em conta fichas técnicas dos materiais ou sistemas e a informação técnica do LNEC ([4] e [5]).



Fig. 47 – Corte do edifício, a cinzento as estrutura a manter, a vermelho novas construções e a amarelo demolições

Tabela 19 – Caracterização das soluções construtivas para o palácio da Anunciada/Hotel Roots

<i>Envolvente vertical opaca exterior</i>					
Elemento construtivo	Densidade [kg/m ³]	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/m°C]	Resistência térmica [m ² .°C/W]	Coefficiente de transmissão térmica da solução / Coeficiente de transmissão máximo [W/m ² .°C]
<i>Paredes novas</i>					
Reboco	1600	0,03	0,80	0,04	0,48 / 1,75
Alvenaria de tijolo furado	687	0,15	0,38	0,39	
Isolamento térmico XPS	40	0,04	0,04	1,08	
Alvenaria de tijolo furado	687	0,15	0,38	0,39	
Reboco	1600	0,02	0,80	0,03	
<i>Paredes existentes 50 cm</i>					
Reboco armado	1900	0,015	1,30	0,01	1,82 / Sem requisitos
Alvenaria de pedra calcária	1900	0,50	1,40	0,36	
Reboco	1900	0,015	1,30	0,01	
<i>Paredes existentes 75 cm</i>					

Reboco armado	1900	0,015	1,30	0,01	1,37 / Sem requisitos
Alvenaria de pedra calcária	1900	0,75	1,40	0,54	
Reboco	1900	0,015	1,30	0,01	
<i>Paredes existentes 100 cm</i>					
Reboco armado	1900	0,015	1,30	0,01	1,13 / Sem requisitos
Alvenaria de pedra calcária	1900	1,00	1,40	0,71	
Reboco	1900	0,015	1,30	0,01	
<i>Envolvente opaca horizontal exterior</i>					
<i>Cobertura inclinada</i>					
Telha lusa cerâmica	-	-	-	-	0,75 / 1,25
Subtelha	-	-	-	-	
Sistema impermeabilizante	-	-	-	-	
Elemento estrutural em madeira	2000	0,20	1,65	0,12	
Isolamento térmico XPS	40	0,04	0,04	1,08	
<i>Cobertura horizontal da trapeira</i>					
Zinco à cor natural	-	-	-	-	0,33 / 1,25
Sistema impermeabilizante	-	-	-	-	
Elemento estrutural em madeira	2000	0,25	1,65	0,15	
Isolamento térmico XPS	40	0,04	0,04	1,08	
Lã mineral	40	0,06	0,04	1,50	
Duas placas de gesso cartonado	875	0,026	0,25	0,10	

Os vãos envidraçados selecionados apresentam as seguintes características: janelas simples com caixilharia em alumínio e vidros duplos com a seguinte constituição: vidro exterior de baixa emissividade tipo SGG SKN 174 II em vidro Planilux 6 mm + caixa-de-ar de 12 mm + vidro interior tipo SGG Planilux de 6 mm. O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial médio dia e noite U_{wdn} é de $2,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot ^\circ\text{C}$ ($< U_{\text{ref}} = 4,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) e o fator solar do vidro sem dispositivos de sombreamento é $g_{\perp, vi} = 0,50$.

Está prevista a aplicação de sombreamento móvel pelo interior (cortina interior para controlo lumínico e dos ganhos solares).

2.3.2.2 Inércia térmica

A quantificação da inércia térmica foi feita com base nas regras de simplificação referidas em Despacho n.º 15793-E/2013. Visto não se verificarem cumulativamente os requisitos para considerar classe de inércia térmica Forte nem Fraca, a classe considerada foi Média.

2.3.3 Metodologia de simulação e descrição do modelo geométrico

O *software* de simulação dinâmica multizona utilizado neste estudo foi o *EnergyPlus* versão 8.1.0, utilizando o *DesignBuilder* versão 4.2.0.054 para elaboração do modelo geométrico e definição de soluções construtivas. De seguida, apresenta-se a metodologia da simulação e a descrição do modelo bem como os seus sistemas.

A partir da análise do projeto de arquitetura, e tendo em conta a utilização e distribuição espacial dos diferentes espaços, foram definidas as zonas térmicas para construção do modelo de simulação. As figuras abaixo representam o modelo real, com as soluções previstas e o modelo de referência com as soluções de referência definidas na tabela I.07 da Portaria n.º349-D/2013.

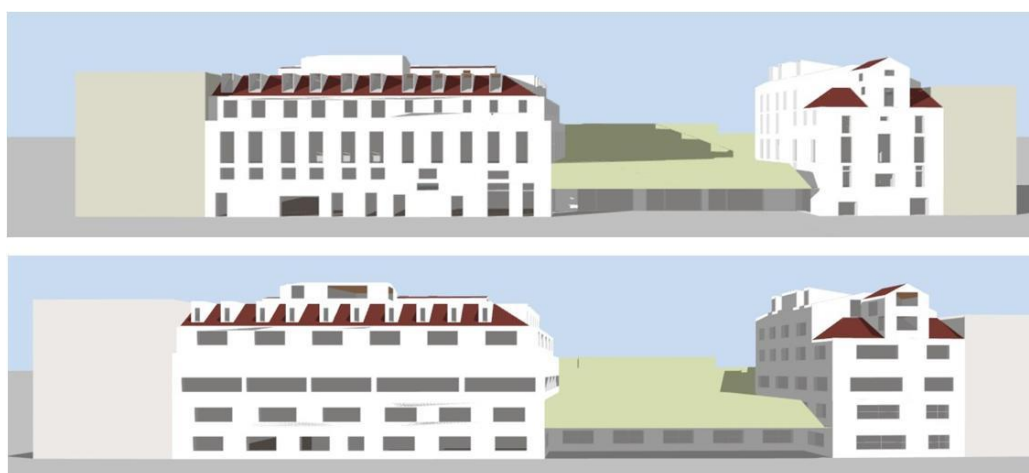


Fig. 48 – Modelos tridimensionais do Palácio da Anunciada/Hotel Roots, em cima modelo real e em baixo modelo com soluções de referência (vista poente) [*software DesignBuilder*, versão 4.2.0.054]

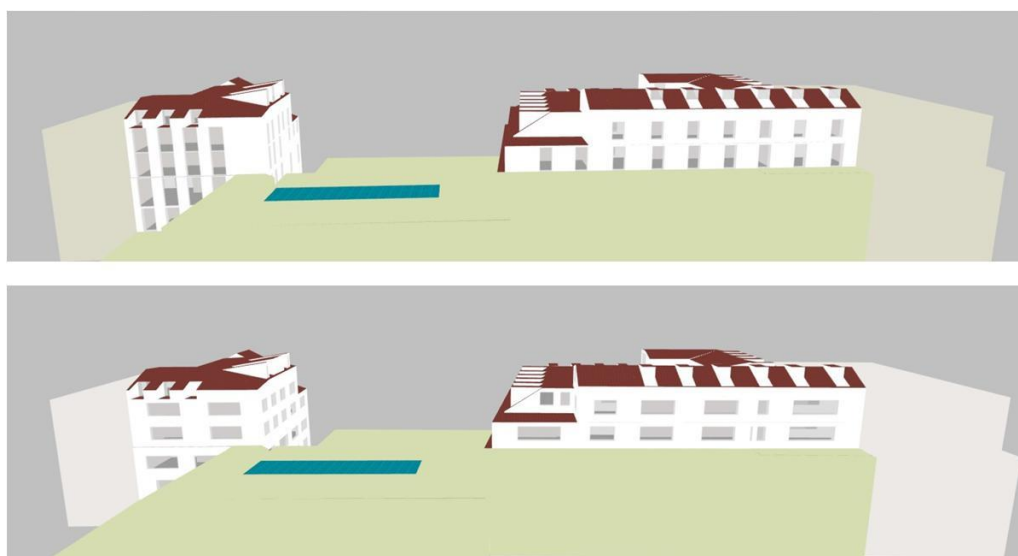


Fig. 49 – Modelos tridimensionais do Palácio da Anunciada, em cima modelo real e em baixo modelo com soluções de referência (vista nascente) [*software DesignBuilder*, versão 4.2.0.054]

O zonamento do modelo deve ser elaborado tendo em conta os diferentes tipos de espaços, de acordo com o tipo de uso, bem como a separação entre zonas climatizadas e zonas não climatizadas. Devem ainda ser consideradas as diferentes orientações da envolvente. Na Fig. 50 é exemplificado o zonamento do piso 1 (para os restantes pisos as imagens são apresentadas no Anexo III).

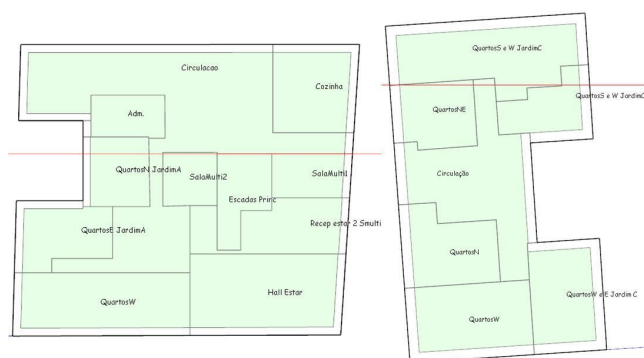


Fig. 50 – Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 1 corpo A e corpo B

2.3.3.1 Iluminação

As densidades de potência para iluminação interior, consideradas para simulação dinâmica detalhada do modelo real do Palácio da Anunciada/Hotel Roots foram as apresentadas em projeto de iluminação e estudos luminotécnicos para cada espaço do edifício. Para simulação do modelo de referência foram utilizadas as densidades de potência constantes na tabela I.28 na Portaria n.º349-D/2013. Foi também tida em conta a iluminância média mantida, referida na norma europeia EN 12464-1, considerando para cada espaço o melhor enquadramento possível.

2.3.3.2 Ar novo, sistemas de climatização e equipamentos

Para o modelo real, foram utilizados os caudais de ar novo previsto em projeto. Por outro lado, para simulação dinâmica detalhada do modelo de referência, os caudais de ar novo foram calculados considerando o constante na tabela I.07 da Portaria n.º 349-D/2013, ou seja, foram determinados por espaço segundo o método prescritivo com uma eficácia de ventilação de 0.8. Adicionalmente, não foi considerado qualquer tipo de sistemas de recuperação de calor.

Para a simulação do modelo real, propôs-se duas bombas de calor reversíveis ar-água, a quatro tubos com potência unitária nominal de arrefecimento de 273 kW e de aquecimento de 301 kW, com possibilidade de recuperação de calor para produção de AQS. O EER considerado foi de 2.98 e COP de 3.24.

No caso do cálculo do IEE referência o sistema de climatização foi definido de acordo com a tabela I.27 da Portaria n.º349-D.

Tabela 20 – Sistema de climatização de referência

Tipo de equipamento	EER	COP	Recuperação de calor (%)	Classe segundo eurovent
Bomba de calor do tipo chiller de compressão com permuta exterior a ar	2,7	2,8	-	C/C

Devido ao facto de ainda não se encontrarem definidos quais os equipamentos a instalar em cada espaço, considerou-se uma densidade de potência representativa para todas as zonas térmica de 9W/m^2 , exceto no estacionamento, onde o valor considerado foi de 2W/m^2 .

2.3.4 Desempenho energético

A partir dos resultados das simulações do modelo real e do modelo de referência são extraídas as necessidades de aquecimento, arrefecimento, o consumo dos ventiladores associados à climatização, e o consumo associado a equipamentos e a iluminação interior. Destes, apenas o consumo associado aos equipamentos diz respeito ao IEE_T , os restantes são incluídos no IEE_S . Assim, os resultados obtidos são os indicados na tabela abaixo.

Tabela 21 – Consumos do tipo S, para o modelo real e para a referência

IEE	Consumo associado à climatização	Ventilação e bombagem associadas à climatização	AQS	Iluminação interior
$\text{IEE}_{pr,S}$ [kWh_{EP}/m²]	735.314	575.495	171.968	318.528
$\text{IEE}_{ref,S}$ [kWh_{EP}/m²]	419.107	718.752	222.130	599.337

Tabela 22 – Consumos do tipo S, para o modelo real e para a referência

IEE	Ventilação e bombagem não associadas à climatização	Iluminação exterior
$\text{IEE}_{pr,T}$ [kWh_{EP}/m²]	69.058	21.816
$\text{IEE}_{ref,T}$ [kWh_{EP}/m²]	69.058	21.816

Tabela 23 – Indicadores de eficiência energética previsto (modelo real) e de referência (para o modelo com as soluções de referência)

$\text{IEE}_{pr,S}$ [kWh_{EP}/m²]	$\text{IEE}_{pr,T}$ [kWh_{EP}/m²]	$\text{IEE}_{ref,S}$ [kWh_{EP}/m²]	$\text{IEE}_{ref,T}$ [kWh_{EP}/m²]	Classe Energética
240	152	326	152	B

2.3.5 Conclusão

O edifício Palácio da Anunciada, constituído por uma única fração autónoma, cumpre o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços RECS ([3] Decreto – Lei n.º118/2013 de (20 de Agosto). Dos vários aspetos analisados destacam-se:

- Requisitos exigências de qualidade de ar interior (Portaria n.º 353-A/2013);
- Requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios (número 6 da Portaria n.º 349-D/2013)
- Requisitos dos sistemas de climatização (número 7 da Portaria n.º 349-D/2013)
- Requisitos dos sistemas de preparação de AQS (número 8 da Portaria n.º 349-D/2013)
- Requisitos dos sistemas de iluminação (número 9 da Portaria n.º 349-D/2013)

3. Conclusões

O estágio desenvolvido na empresa Natural Works teve como foco principal a integração em processos de consultoria energética e projetos de comportamento térmico aplicáveis a edifícios de habitação bem como a edifícios de comércio e serviços (PES e GES), novos ou sujeitos a grande reabilitação, abrangidos pela nova legislação, o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. O trabalho desenvolvido possibilitou a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente bem como, a aquisição de uma panóplia de novos conhecimentos, transmitidos por toda a equipa de colaboradores da NaturalWorks.

O primeiro caso de estudo consistiu num projeto de consultoria energética para apoio na definição de soluções de sombreamento exteriores para uma torre de escritórios a edificar em Luanda, Angola. O edifício apresentava a particularidade de possuir uma envolvente exterior totalmente envidraçada com eventual aplicação de lâminas em vidro perpendiculares à fachada para sombreamento.

O decorrente da análise primária elaborada a partir do *software ECOTECH* indicou qual o tipo de análise de que cada fachada carecia. Para o estudo do impacto das lâminas de sombreamento no conforto interior dos ocupantes, foram desenvolvidos modelos simplificados, simulados em *EnergyPlus*, cuja envolvente exterior era representativa de troços das diferentes fachadas.

Verificou-se que dos dois parâmetros avaliados, radiação transmitida para o interior e necessidades de arrefecimento, aquele que apresentava maior variação em todas as análises era a radiação transmitida, isto porque no segundo parâmetro a radiação era só uma das componentes a considerar.

Com base nos resultados obtidos considerou-se viável a redução de serigrafia na base das fachadas sujeitas a sombreamento, visto que o impacto desta redução é pouco significativo no aumento das necessidades de arrefecimento. Por outro lado, o aumento de serigrafia de 50% para 75% mostrou-se irrelevante, visto a reduzida melhoria que esta alteração introduziu em termos de redução de consumos energéticos e conforto interior dos ocupantes.

A inclinação das lâminas de sombreamento traduziu-se num impacto reduzido das necessidades de arrefecimento (da ordem de 5 a 6%). Assim, e tendo em conta o impacto significativo que essa alteração teria a nível construtivo das fachadas, não se considerou uma hipótese a desenvolver.

Os resultados mostram ainda que o impacto geral das lâminas de sombreamento analisadas nas necessidades de arrefecimento é inferior a 10%. Este valor resulta da utilização de um vidro bastante defensivo no vão envidraçado (fator solar 0.28 na zona sem serigrafia e 0.23 na zona com serigrafia), que atenua o impacto das lâminas.

Relativamente ao projeto de comportamento térmico desenvolvido para o edifício da Rua dos Douradores, verificou-se que as soluções construtivas propostas para a envolvente exterior e interior (englobando a envolvente opaca e envidraçada), cumprem os requisitos que lhes são impostos pelas respetivas Portaria n.º349-B/2013 de 29 de Novembro e Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro. A facultação dos projetos sistemas de instalações mecânicas, climatização e iluminação permitiu concluir que estes também se propunham a respeitar os requisitos que lhes são propostos pela legislação. Do estudo adicional elaborado antes do processo de licenciamento, relativamente à necessidade de mecanismos de arrefecimento ativo nas frações de habitação, conclui-se que são os pisos mais expostos à radiação solar (pisos 4 e 5) são aqueles que à partida iriam necessitar de meios de arrefecimento.

Dos resultados da simulação dinâmica detalhada, verificou-se que o Palácio da Anunciada futuro Hotel Roots, cumpria o limite do indicador de eficiência energética para edifícios novos (o indicador previsto deve ser inferior ao indicador de referência majorado em 50%). É ainda de referenciar que todos os outros elementos avaliados cumprem o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços RECS [17], Decreto – Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto [13] bem como os requisitos exigências de qualidade de ar interior (Portaria n.º 353-A/2013), alcançando a classe energética B.

4. Referências

- [1] Jornal Oficial da União Europeia, Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, Maio 2010, [Online], Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&qid=1425838177013&from=PT> [Acedido em Janeiro 2015].
- [2] International Energy Agency, “World Energy Investment Outlook 2014 Factsheet Overview” [Online]. Available: http://www.iea.org/media/140603_WEOinvestment_Factsheets.pdf. [Acedido em Janeiro de 2015].
- [3] Eurostat Statistical books, 2014. “Energy balance sheets” [Online], Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5785109/KS-EN-14-001-EN.PDF>. [Acedido em Janeiro de 2015].
- [4] International Energy Agency, Sankey Diagram, 2012 [Online], Disponível em: <http://www.iea.org/sankey/#?c=Angola&s=Balance> [Acedido em Janeiro de 2015].
- [5] Pina dos Santos, Carlos A., e Matias, Luís M. Cordeiro, 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50. LNEC, Lisboa.
- [6] Pina dos Santos, Carlos A., e Rodrigues, Rodrigo, 2009. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolvente dos Edifícios, Soluções construtivas de edifícios antigos, Soluções construtivas das Regiões Autónomas – ITE 54. LNEC, Lisboa.
- [7] Norma EN ISO 7730:2005 (Fevereiro de 2006) – Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [8] Norma EN 15251:2007 (Maio de 2007) – “Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [9] ASHRAE Standard 55-2004 – “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”.
- [10] Norma EN 12464-1, 2003, – “Light and lighting – Lighting of work places Part 1: Indoor work places”.
- [11] F.P. Incropera, D.P. DeWitt, T.L. Bergman e A.S. Lavine, 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, EnergyPlus Engineering Reference, 2012.
- [13] Decreto-Lei n.º 118/2013, *Diário da República, 1ª série – N.º 159 – 20 de agosto de 2013*.
- [14] “Portaria n.º 353-A/2013 – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior.

- [15] “Portaria n.º 349-B/2013 – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções”, *Diário da República, 1ª série – N.º232- 29 de novembro de 2013*.
- [16] “Portaria n.º 349-C/2013 – Elementos para licenciamento”, *Diário da República, 1ª série – N.º233 – 2 de dezembro de 2013*.
- [17] “Portaria n.º 349-D/2013 –Regulamento de Desempenho energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções”, *Diário da República, 1ª série – N.º233 – 2 de dezembro de 2013*.
- [18] Despacho n.º 15793-C/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [19] Despacho n.º 15793-D/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [20] Despacho n.º 15793-E/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [21] Despacho n.º 15793-E/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [22] Despacho n.º 15793-F/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [23] Despacho n.º 15793-G/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [24] Despacho n.º 15793-H/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [25] Despacho n.º 15793-J/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [26] Despacho n.º 15793-K/2013, *Diário da República, 2ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*.
- [27] Saint-Gobain Glass, 2008. MANUAL DO VIDRO.

Anexos

Anexo I Edifício Serena, Luanda

- a) Perfis de ocupação, iluminação e equipamento

..... I

Anexo II Edifício Rua dos Douradores

- a) Demonstração das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária para uma fração de habitação de tipologia T1

..... I

- b) Demonstração das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária para uma fração de comércio e serviços

..... V

Anexo III Edifício Palácio da Anunciada / Hotel Roots

- a) Demonstração das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária para uma fração de comércio e serviços

..... VI

Anexo I Edifício Serena, Luanda

a) Perfis de ocupação, iluminação e equipamento

Tabela 24 – perfis de ocupação, iluminação e equipamentos considerados para o edifício Serena

horas	% Ocupação		% iluminação		% equipamento	
	Segunda a sexta	Fim de semana	Segunda a sexta	Fim de semana	Segunda a sexta	Fim de semana
0h as 1h	0	0	5	5	15	15
1h as 2h	0	0	5	5	15	15
2h as 3h	0	0	5	5	15	15
3h as 4h	0	0	5	5	15	15
4h as 5h	0	0	5	5	15	15
5h as 6h	0	0	5	5	15	15
6h as 7h	10	0	100	5	30	15
7h as 8h	20	0	30	5	70	15
8h as 9h	50	0	75	5	85	15
9h as 10h	90	0	85	5	95	15
10h as 11h	100	0	100	5	100	15
11h as 12h	100	0	100	5	95	15
12h as 13h	50	0	50	5	70	15
13h as 14h	70	0	85	5	70	15
14h as 15h	90	0	95	5	95	15
15h as 16h	100	0	100	5	100	15
16h as 17h	80	0	95	5	90	15
17h as 18h	50	0	50	5	70	15
18h as 19h	20	0	30	5	45	15
19h as 20h	10	0	25	5	25	15
20h as 21h	0	0	5	5	15	15
21h as 22h	0	0	5	5	15	15
22h as 23h	0	0	5	5	15	15

Anexo II Edifício Rua dos Douradores

a) Demonstração das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária para uma fração de habitação de tipologia T1

As necessidades de energia útil para aquecimento são o resultado da contabilização da transferência de calor por transmissão, por renovação do ar e ganhos úteis. É em seguida descrito, a metodologia de cálculo aplicável às frações de habitação, utilizando como exemplo a fração 2D (Fig. 39) de tipologia T1.

Necessidades de aquecimento

- Transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,i}$)

$$0,024 \times GD \times H_{tr} = Q_{tr,i} \Leftrightarrow 0,024 \times 920 \times 189,7 = 4.186,3 \text{ kWh/ano} \quad \text{Real} \quad (17)$$

$$0,024 \times GD \times H_{tr REF} = Q_{tr,i REF} \Leftrightarrow 0,024 \times 920 \times 122,8 = 2.710,0 \text{ kWh/ano} \quad \text{Limite} \quad (18)$$

- Transferência de calor por renovação de ar ($Q_{ve,i}$)

$$0,024 \times GD \times H_{ve,i} = Q_{ve,i} \Leftrightarrow 0,024 \times 920 \times 30,8 = 679,2 \text{ kWh/ano} \quad \text{Real} \quad (19)$$

$$0,024 \times GD \times H_{ve,i REF} = Q_{ve,i REF} \Leftrightarrow 0,024 \times 920 \times 30,8 = 679,2 \text{ kWh/ano} \quad \text{Limite} \quad (20)$$

- Ganhos totais úteis ($Q_{gu,i}$)

$$\eta_i \times Q_{g,i} = Q_{gu,i} \Leftrightarrow \eta_i \times (Q_{int,i} + Q_{sol,i}) = Q_{gu,i} \Leftrightarrow 0,94 \times 1921,3 = 1813,7 \text{ kWh/ano} \quad \text{Real} \quad (21)$$

$$\eta_{i REF} \times Q_{g,i REF} = Q_{gu,i REF} \Leftrightarrow 0,60 \times 1161,58 = 696,9 \text{ kWh/ano} \quad \text{Limite} \quad (22)$$

- Necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic} e N_i)

$$\frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} + Q_{gu,i}}{A_p} = N_{ic} \Leftrightarrow \frac{3051,8}{58,2} = 52,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad \text{Real} \quad (23)$$

$$\frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} + Q_{gu,i}}{A_p} = N_i \Leftrightarrow \frac{2692,3}{58,2} = 46,3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad \text{Limite} \quad (24)$$

Onde as variáveis representam os seguintes parâmetros:

GD – Número de graus-dia de aquecimento para cada região NUTS III [°C/dia]

$H_{tr} / H_{tr, REF}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento/
Coeficiente de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, utilizando soluções de referência [W/°C]

$H_{ve,i} / H_{ve,i REF}$ – Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento /
Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar, utilizando taxa de renovação do ar interior igual ao previsto, ou, caso o previsto seja superior ao valor máximo de 0,6 Rph considerar este último [W/°C]

$\eta_i / \eta_{i REF}$ – Fator de utilização de ganhos na situação de inverno/ Fator de utilização de ganhos de referência na situação de inverno

$Q_{g,i} / Q_{g,i REF}$ – Ganhos térmicos brutos (ganhos solares e ganhos internos) na situação de inverno/
Ganhos térmicos brutos de referência (ganhos solares considerando área envidraçada igual a 20% da área útil de pavimento e radiação média incidente num vão vertical a sul – 150 kWh/m².mês) [kWh/ano]

$Q_{int,i}$ – Ganhos internos brutos [kWh/ano]

$Q_{sol,i}$ – Ganhos solares brutos [kWh/ano]

A_p – Área de pavimento interior útil [m²]

Necessidades de arrefecimento

$$(1 - \eta_v) \times \frac{Q_{g,v}}{A_p} = N_{vc} \Leftrightarrow (1 - \eta_v) \times \frac{Q_{int,v} + Q_{sol,v}}{A_p} = N_{vc} \Leftrightarrow$$

$$0,53 \times \frac{2332,6}{58,2} = 21,1 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \quad \text{Real} \quad (25)$$

$$(1 - \eta_{v\text{ REF}}) \times \frac{Q_{g,v\text{ REF}}}{A_p} = N_v \Leftrightarrow 0,29 \times \frac{3184,8}{58,2} = 15,7 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \quad \text{Limite} \quad (26)$$

Onde:

$\eta_v / \eta_{v\text{ REF}}$ – Fator de utilização de ganhos na situação de verão/ Fator de utilização de ganhos de referência na situação de verão

$Q_{g,v} / Q_{g,v\text{ REF}}$ – Ganhos térmicos brutos (ganhos solares e ganhos internos) na situação de verão/ Ganhos térmicos brutos de referência (ganhos solares considerando área envidraçada igual a 20% da área útil de pavimento e radiação média incidente num vão vertical a oeste – 500 kWh/m².mês) [kWh/ano]

Apesar de não entrarem para o cálculo das necessidades de arrefecimento devido ao facto de serem consideradas perdas, a transferência de calor por transmissão e por renovação do ar são também calculadas. Onde $\theta_{v,ref}$ e $\theta_{v,ext}$ representam respetivamente, a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento (25°C) e a temperatura média exterior do local, de acordo análise climática (a partir de Despacho pertencente ao D.L. 118/2013 de 20 de Agosto). A duração da estação de arrefecimento é representada por L_v e finalmente os coeficiente de transmissão e renovação do ar são identificados pelas variáveis H_{tr} e $H_{ve,v}$, sendo que o primeiro representa as perdas pela envolvente exterior e interior (opaca e envidraçada) na estação de arrefecimento.

- Transferência de calor por transmissão

$$H_{tr} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v / 1000 = Q_{tr,v} \Leftrightarrow 133,1 \times 2 \times 2,928 = 938,9 \text{ kWh/ano} \quad Q_{tr,v} \quad (27)$$

- Transferência de calor por renovação do ar

$$H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v / 1000 = Q_{ve,v} \Leftrightarrow 40,1 \times 2 \times 2,928 = 283,2 \text{ kWh/ano} \quad Q_{ve,v} \quad (28)$$

O total das necessidades de energia primária (N_{ic}) é de 117 kWh_{EP}/m².ano, sendo que o limite (N_l) é de 104 kWh_{EP}/m².ano, o significa que a razão (1,5 para edifícios sujeitos a grande intervenção anteriores a 1960) entre a energia primária necessária para a fração em estudo e o seu limite é cumprida. O cálculo da energia primária prevista e o seu limite é exemplificado abaixo.

Necessidades de energia primária

- Aquecimento

$$\frac{f_i \times \delta \times N_{ic} \times F_{pui}}{\eta_i} = E_{primária} \Leftrightarrow \frac{1 \times 1 \times 52,4 \times 2,5}{3,61} = 36,3 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Real} \quad (29)$$

$$\frac{f \times N_i \times F_{pui}}{\eta_i} = E_{primária} \Leftrightarrow \frac{1 \times 46,3 \times 2,5}{3,2} = 36,1 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Limite} \quad (30)$$

- Arrefecimento

$$\frac{f_v \times \delta \times N_{vc} \times F_{puv}}{\eta_v} = E_{primária} \Leftrightarrow \frac{1 \times 1 \times 21,1 \times 2,5}{3,37} = 15,7 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Real} \quad (31)$$

$$\frac{f_v \times \delta \times N_v \times F_{puv}}{\eta_v} = E_{primária} \Leftrightarrow \frac{1 \times 1 \times 15,7 \times 2,5}{2,80} = 14,9 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Limite} \quad (32)$$

- AQS

$$\frac{f \times \delta \times Q_a/A_p \times F_{pua}}{\eta_a} = E_{primária} \Leftrightarrow \Leftrightarrow \frac{1 \times 1 \times 20,4 \times 2,50}{0,93} = 54,9 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Real} \quad (33)$$

$$\frac{f \times \delta \times Q_a/A_p \times F_{pua}}{\eta_{a REF}} = E_{primária} \Leftrightarrow \Leftrightarrow \frac{1 \times 1 \times 20,4 \times 2,50}{0,95} = 53,7 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Limite} \quad (34)$$

- Ventilação mecânica

$$W_{vm}/A_p \times F_{pu} = E_{primária} \Leftrightarrow 236,5/58,2 \times 2,5 = 10,2 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \quad \text{Real} \quad (35)$$

–

Limite

Onde:

f – fração das necessidades supridas pelo sistema em causa, neste caso, as necessidades de aquecimento são todas supridas pelo mesmo sistema (sistema elétrico) como tal a fração toma o valor 1. O mesmo acontece para o sistema de arrefecimento e de AQS.

δ – Considerar 1, exceto se no cálculo da energia primária para arrefecimento, no qual pode tomar o valor 0 se η_v for superior ao fator de referência

$F_{pui} / F_{puv} / F_{pua}$ – fator de conversão para energia primária [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$]

$\eta_i / \eta_v / \eta_a$ – eficiência do sistema elétrico (aquecimento e arrefecimento e termoacumulador elétrico para AQS)

W_{vm} – energia elétrica consumida pelos ventiladores [kWh/ano]

É ainda de referenciar a metodologia aplicável ao cálculo das necessidades de energia útil para AQS (Q_a) exemplificado na equação abaixo. Considerou-se um total de 2 ocupante e 40 l diários para cada um, perfazendo um consumo médio diário de 80 l (M_{AQS}).

$$M_{AQS} \times c_p \times \Delta T \times n^{\circ} \text{dias} / 3600 = Q_a \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 80 \times 4,187 \times 35 \times 365 / 3600 = 20,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (36)$$

b) Demonstração das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária para uma fração de comércio e serviços

Cálculo Dinâmico Simplificado do desempenho térmico do edifício



Necessidades anuais que são expressas em energia útil			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	701 kWh	21,5 kWh/m ²	21,5 kWh/m ²
Arrefecimento	4072 kWh	124,3 kWh/m ²	124,3 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Águas Quentes de Piscina			
referência	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	1109 kWh	34,0 kWh/m ²	34,0 kWh/m ²
Arrefecimento	2193 kWh	67,3 kWh/m ²	67,3 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Águas Quentes de Piscina			

Consumos anuais de energia final, por uso			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	250 kWh	7,7 kWh/m ²	7,7 kWh/m ²
Arrefecimento	1508 kWh	46,3 kWh/m ²	46,3 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Aquecimento de Água de Piscina:			
Ventilação	131 kWh	4,0 kWh/m ²	4,0 kWh/m ²
Bombagem			
Humidificação e Desumidificação			
Iluminação interior	1357 kWh	41,6 kWh/m ²	41,6 kWh/m ²
Iluminação exterior et al.			
Equipamentos	571 kWh	17,5 kWh/m ²	17,5 kWh/m ²
referência	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	336 kWh	12,1 kWh/m ²	12,1 kWh/m ²
Arrefecimento	812 kWh	24,3 kWh/m ²	24,3 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias			
Aquecimento de Água de Piscina:			
Ventilação	131 kWh	4,0 kWh/m ²	4,0 kWh/m ²
Bombagem			
Humidificação e Desumidificação			
Iluminação interior	1357 kWh	41,6 kWh/m ²	41,6 kWh/m ²
Iluminação exterior et al.			
Equipamentos	571 kWh	17,5 kWh/m ²	17,5 kWh/m ²

Consumos anuais de energia final, por fonte de energia			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Electricidade	3817 kWh	117,1 kWh/m ²	117,1 kWh/m ²
da rede	3817 kWh	117,1 kWh/m ²	117,1 kWh/m ²
local/renovável			
Calor de origem fóssil			
Calor de origem renovável			

Emissões anuais de gases com efeito de estufa		
edifício	referência	
CO ₂	1374 kg	1176 kg

Clima e local	
NUTS III: Grande Lisboa	Zona: V3 - II
Município: Lisboa	Altitude: 20 m
Local: Rua dos Douradores	

Síntese dos parâmetros de entrada do modelo 5R1C		
	edifício	referência
Indicis		
A _u	82 m ²	82 m ²
C _u	5,4 MJK	5,4 MJK
A _T	147 m ²	147 m ²

Coeficientes de transferência de calor		
H _{1,ext}	73 W/K	62 W/K
H _{1,int}	742 W/K	742 W/K
H _{2,ext}	82 W/K	68 W/K
H _{2,int}	58 W/K	59 W/K
H _{3,ext}	506 W/K	506 W/K

Utilização		
q _{int}	12,0 W/m ²	12,0 W/m ²
q _{ext}	5,0 W/m ²	5,0 W/m ²
Q _{ext,ref}	0,00 W	0,00 W
Q _{int,ref}	0 W	0 W
Q _{ext,tot}	326 W	326 W

Áreas equivalentes de captação solar - opacas		
A _H		
A _{MW}		
A _W	0,42 m ²	0,20 m ²
A _{SW}		
A _S	0,26 m ²	0,15 m ²
A _{SE}		
A _E		
A _{NE}		
A _{NW}		

Áreas equivalentes de captação solar - orientadas			
	aproteção	aproteção	aproteção
A _H			
A _{MW}			
A _W	1,72 m ²	2,96 m ²	0,75 m ²
A _{SW}			
A _S	1,26 m ²	2,81 m ²	0,58 m ²
A _{SE}			
A _E			
A _{NE}			
A _{NW}			

Índices de Eficiência Energética		
	edifício	referência
IEE _S	248,3 kWh/m ²	206,7 kWh/m ²
IEE _T	43,8 kWh/m ²	43,8 kWh/m ²
IEE _{REN}	0,0 kWh/m ²	
IEE	292,7 kWh/m ²	250,5 kWh/m ²
R	1,20 (Classe C)	

Anexo III Edifício Palácio da Anunciada / Hotel Roots

a) Zonamento do modelo geométrico

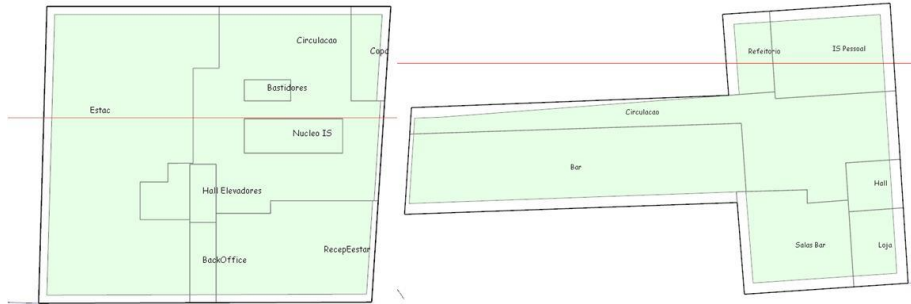


Fig. 51 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 0 corpo A e corpo B

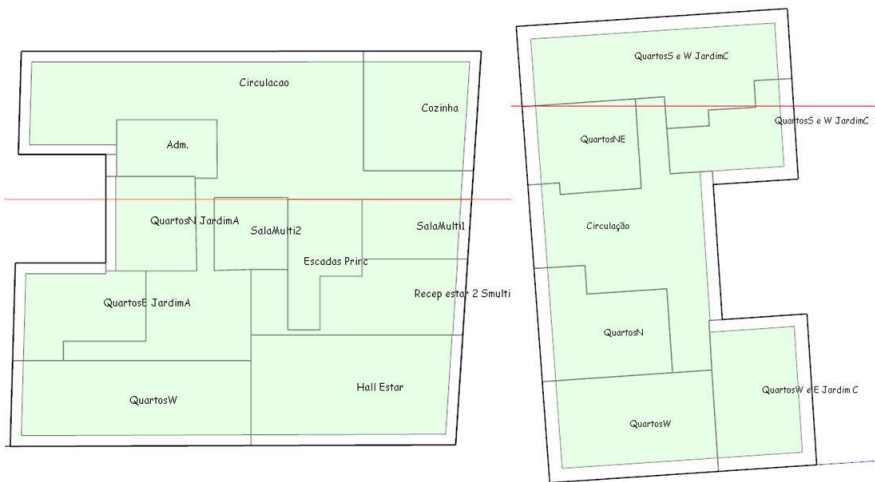


Fig. 52- Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 1 corpo A e corpo B

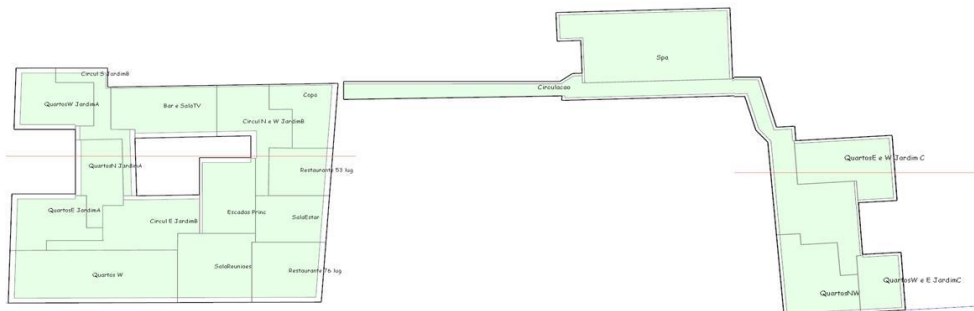


Fig. 53 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 2 corpo A e corpo B

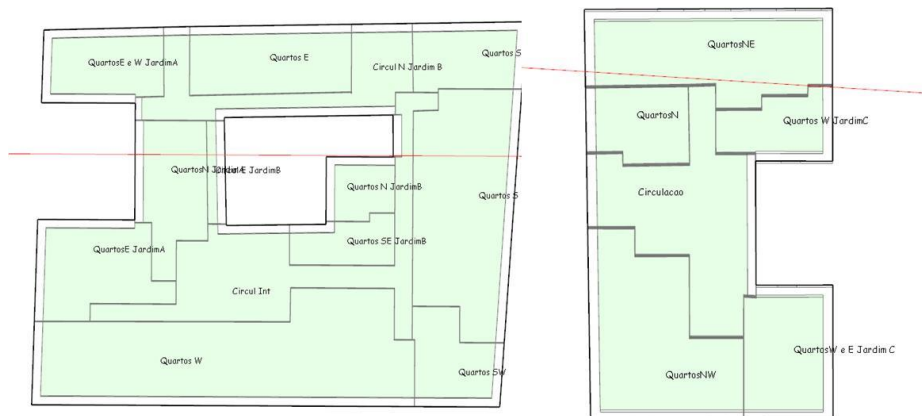


Fig. 54 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 3 corpo A e corpo B

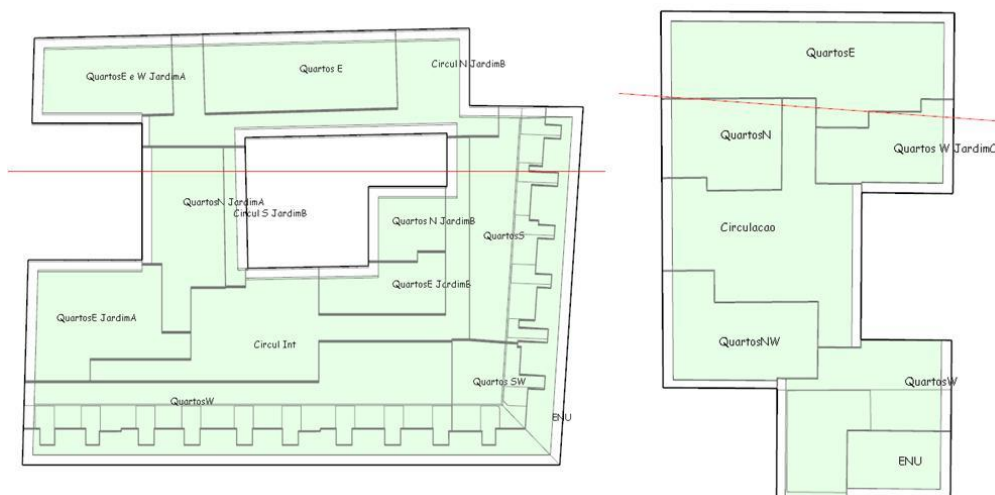


Fig. 55 - Zonamento térmico do Palácio da Anunciada, piso 4 corpo A e corpo B