



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

# **Optimização da Luz Natural em Território Urbano Compacto**

Caso de estudo na Baixa Pombalina, Lisboa

**Ana Margarida Gonçalves Tuna**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**ARQUITECTURA**

**Júri**

Presidente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Neves Pereira Ramalho Rua

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Luísa de Oliveira Gama Caldas

Co-orientador: Prof. Doutor António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Vogal: Prof. Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

**Dezembro 2008**

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda de um conjunto pessoas, que directamente ou indirectamente, sempre me deram incentivo, tranquilidade e perseverança na execução desta dissertação. A lista é longa, mas não poderia deixar que qualquer um deles fosse excluído, e como tal presto-lhes desta forma o meu sincero obrigado.

À Professora Luísa Caldas, orientadora desta tese, que sempre acreditou na potencialidade deste trabalho e nunca duvidou da minha postura relativamente a ele. Pelos ensinamentos, pelas reuniões extremamente frutíferas que tivemos, por acreditar e apoiar-me sempre neste percurso. Foi uma grande honra ter a oportunidade trabalhar com a professora Luísa.

À minha família, que nas horas mais difíceis estiveram sempre disponíveis para me dar ânimo, calma e tranquilidade para prosseguir. Por sempre se orgulharem de mim, e poder partilhar com eles a alegria que este trabalho me trouxe. Sem o apoio incondicional do meu pai, da minha mãe, da minha avó, da minha irmã, das minhas queridas sobrinhas e do meu cunhado, teria sido tudo mais complicado. O mínimo que poderia fazer por eles era dar-lhes o orgulho de me sentir realizada ao terminar o curso de Arquitectura e saber que o acabo com a sensação de dever cumprido.

À minha família “emprestada” do Porto, a quem, carinhosamente, trato por meus tios: ao tio Castro, à tia Fátima, à tia Irene, ao tio Luís e à prima Carolina, que tão bem me receberam, e sempre estiveram disponíveis para me ajudar no que fosse preciso e sempre demonstraram uma enorme preocupação com o meu bem-estar.

Aos meus grandes amigos, cuja ajuda e disponibilidade física e moral, sempre foi uma constante ao longo deste estudo e de todo o curso. À Margarida Oliveira e Pedro Barroso, com os quais partilho casa, por me ajudarem nas crises de mau feitio e nas horas angustiantes, por estarem dispostos a ajudar em tudo o que precisasse, e pelo grande carinho que têm por mim. À amizade e preocupação de Romana Carreira e respectivo marido Manuel Soares, Mafalda Duarte, Carlota Sanches, Diana Cova e Rita Tomás.

Ao Nuno Urbano e Frederico Nunes, que apesar de estarem na Holanda, foram das pessoas mais marcantes que conheci e com quem vivi. Seremos sempre os miúdos de Leiria que vieram para Lisboa com o sonho de sermos arquitectos, e com quem partilho e continuarei a partilhar todos os momentos da minha vida.

Ao Ricardo Campos pelas horas que passou comigo a fazer a maquete e em todas as alturas cruciais, pela companhia, pelas risadas, pela boa disposição; ao Ricardo Mesquita, Duarte Gil, João André Simões, Venâncio Semião, Luís Anjos pela ajuda logística e pela coragem e incentivo que sempre me deram nas alturas mais críticas.

À Ana Rita Charneca, Catarina Rodrigues e Jorge Rolim com quem passei momentos inesquecíveis de trabalho e lazer e cuja ajuda moral e encorajamento neste trabalho foi indiscutível, e cuja amizade é indescritível.

Ao departamento de Arquitectura, em especial ao secretariado gerido por Rosa Paula, pela preocupação que sempre demonstrou com os problemas dos alunos e sempre os resolveu da melhor maneira, em prol destes. À Eleonora Bicas e Sofia Loff, Bruno Maltez e Daniel Mateus por me terem, gentilmente, cedido o levantamento do edificado sobre o qual incidiu o estudo e o trabalho de design ambiental sobre luz natural, respectivamente.

Ao atelier Arkybio e João Salvador Arquitectos, em especial ao Arquitecto Miguel Amaro e João Salvador, pela paciência e pelo tempo que me disponibilizaram para concluir a tese.

Aos amigos: arquitecto Carlos Vieira, arquitecto Ricardo Trindade, arquitecta Eugénia Pereira, arquitecta Catarina Rodrigues e Olinka Garrido, por me terem recebido tão bem e por me fazerem sentir parte da “família”.

Por último, à memória do meu querido Filipe Trigo, que mesmo não acreditando nas suas potencialidades enquanto pessoa e se deixou levar pelas circunstâncias da vida, sempre acreditou em mim, sempre me incentivou, sempre me obrigou a dar o meu melhor. Esteve comigo durante todo o curso, sempre com a resposta certa às minhas hesitações e à insegurança.

Apesar de ter partido, deixou comigo grandes memórias, muitas gargalhadas, momentos muito bem passados. Este trabalho era o mínimo que poderia fazer por ele. Agradeço-lhe por tudo o que me ensinou enquanto pessoa.

Obrigada a todos,  
Um grande bem-haja.

Ana Tuna

## RESUMO

A compacidade do tecido urbano da Baixa Pombalina encontra-se na origem de diversos problemas ambientais presentes no seu património construído, em particular deficiências existentes nos níveis de iluminação e ventilação natural dos espaços servidos pelos saguões típicos destes quarteirões. A proporção física destes saguões, com um factor de forma de cerca de 1:4 ou 1:5, sendo a largura significativamente inferior à altura, é desfavorável à propagação da luz natural no seu interior.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação procura investigar soluções inovadoras para o melhoramento das condições de iluminação natural dos edifícios dos quarteirões-tipo, reequacionando o papel do saguão e o seu potencial de intervenção para melhoramento das condições de luz nos edifícios. Procura-se assim adequar, num contexto de preservação do carácter histórico, patrimonial e estrutural do edifício pombalino, um conjunto de estratégias inovadoras capazes de promover as necessidades e os padrões de conforto e eficiência energética actuais. A ancoragem ao plano de revitalização da Baixa Pombalina assume uma perspectiva renovadora do tecido urbano através da reutilização e adequação destes edifícios a novos usos.

O estudo realizado consiste numa abordagem teórico-prática, sendo numa primeira fase estudados diversos princípios reguladores das estratégias de iluminação, assim como analisadas obras de referência. A componente prática, de cariz experimental, aborda a requalificação do saguão-tipo para optimização da iluminação natural no interior dos pisos por intermédio da utilização de elementos reflectores, quer aplicados directamente nas superfícies existentes, quer constituindo estruturas autónomas para esse efeito. São também apresentadas propostas de intervenção no próprio piso pombalino dado que a restritiva compartimentação existente torna difícil a propagação da luz, assim como na fachada tardoz de molde a retirar o máximo partido das estruturas especulares aplicadas.

Diversas soluções são analisadas, quantitativamente e qualitativamente, com base num modelo físico, construído à escala 1:30, sendo efectuadas medições de Factor Luz-Dia utilizando um luxímetro, e efectuados registos fotográficos dos padrões de entrada de luz directa nos dias significativos do ano (solstícios e equinócios). A tese procura assim contribuir para a apresentação de um conjunto de soluções inovadoras, ao nível do saguão, piso habitado e fachada tardoz, permitindo melhorar não apenas os níveis de iluminação no interior, mas também criar novas ambiências e vivências.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Baixa Pombalina;  
Iluminação Natural;  
Reabilitação Urbana de Edifícios Pombalinos;  
Estruturas Reflectoras para Optimização de Luz Natural;  
Modelos Físicos para Estudos de Iluminação

## ABSTRACT

The compact character of the urban fabric of Baixa Pombalina, the historical downtown centre of Lisbon, is at the origin of a number of environmental problems in the existing buildings, namely the reduced daylighting and natural ventilation levels in the rooms surrounding the internal light wells (“saguão”). The proportion of those patios, with a form factor of about 1:4 or 1:5, corresponding to a width that is much smaller than the height, is unfavourable to light propagation. This thesis researches a number of innovative daylighting solutions for the typical Baixa urban blocks, reinterpreting the patios as light sources for the building interiors. While respecting the historical, built-heritage and structural characteristics of Pombalino buildings, an attempt is presented to rehabilitate the spaces to modern standards of comfort and energy efficiency. The existing Baixa Pombalina Historic Downtown Revitalization Plan provides the context for a strategy of urban renewal based on building reuse and adaptation to modern needs and occupation patterns.

The research has both a theoretical and experimental character. Initially, natural lighting strategies are reviewed, and a case study is analysed. The thesis main focus is the experimental work, where the re-design of the patio is approached in terms of its ability to bring natural light into the built spaces. The use of light-reflecting elements is researched, both in a direct application into the existing surfaces, or in structures that are built specifically for this purpose. The study also develops proposals for the interior spaces (since the existing tight spatial layout poses a main obstacle to light propagation), and to the rear facades, with the goal to take maximum advantage from the light-reflecting elements. The different design solutions are analysed both quantitative and qualitatively, based on a large-scale model, built to the scale of 1:30. Daylight Factor measurements are performed using a light meter, and photographic observations allow to record patterns of direct light in the solstices and equinoxes.

This thesis attempts to contribute to the solution of some of the environmental problems posed by the urban renewal of the Baixa Pombalina, by presenting a number of innovative daylighting solutions, both at the patio, floor plan and façade level, that are able to improve not only the existing daylight levels, but may also have the potential to create new spatial ambiances and living standards.

### KEY WORDS:

Baixa Pombalina Historical Downtown Center of Lisbon  
Natural Lighting;  
Urban renewal of Pombalino Buildings;  
Mirrored Structures for Daylight Optimization;  
Scale Models applied to Daylighting Studies

## ÍNDICES

### ÍNDICE GERAL

Resumo	i
Abstract	ii
Índice Geral	iii
Índice da Dissertação	iii
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
Bibliografia Final	122
Anexos	123

### ÍNDICE DA DISSERTAÇÃO

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Enquadramento</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Relevância</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objectivos</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Metodologia</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Estrutura da tese</b>	<b>5</b>
<b>2. A Luz e a Materialização da Arquitectura</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Princípios de Iluminação em Edifícios</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Física da Luz</b>	<b>8</b>
2.2.1 Espectro Electromagnético	8
2.2.2 O Sistema Visual	9
2.2.2.1 Espectro Visível	9
2.2.2.2 O Olho	9
2.2.2.3 Propriedades do Olho	10
Selectividade	10
Sensibilidade	10
Acomodação	10
Percepção das Cores	11
Acuidade	11
Adaptação	11

2.2.2.4 Campo Visual e Processo Visual	12
Fadiga e Relaxamento	12
Encadeamento	13
2.2.3 Unidades de Medida	14
2.2.3.1 Fluxo Luminoso	14
2.2.3.2 Iluminância	15
2.2.3.3 Intensidade Luminosa	15
2.2.3.4 Reflectância	15
2.2.3.5 Luxímetro	14
2.2.4 Especificações Quantitativas	16
2.2.4.1 Factor Luz-Dia	16
2.2.4.2 Índice de Encadeamento	16
<b>2.3 Conforto e Iluminação</b>	<b>17</b>
2.3.1 Parâmetros de Conforto Visual	17
2.3.1.1 Sensibilidade ao contraste e encadeamento	17
2.3.1.2 Luminosidade	17
2.3.1.3 Luz, Cor e Brilho Físico	18
<b>2.4 Fontes de Iluminação</b>	<b>18</b>
2.4.1 Iluminação Natural	18
2.4.1.1 Exigências Humanas	18
Função	19
Iluminação	19
2.4.1.2 O Carácter Dinâmico da Luz Natural	20
2.4.1.3 A Orientação	20
2.4.1.4 A variação da Iluminância	21
2.4.1.5 A Luz Solar	20
A Luz solar directa e reflectida	21
Reflexão das fachadas	22
Disponibilidade de Luz Natural	23
2.4.1.6 A luz do Hemisfério do Céu	23
Modelos de Cálculo da Iluminância do Céu	23
2.4.2 A Iluminação Artificial	24
2.4.2.1 Índice de Restituição da Cor	26
2.4.2.2 Temperatura de Cor	27

2.4.2.3 Eficácia Luminosa e Tempo de Vida	28
2.4.2.4 Fontes de Iluminação Artificial	28
As primeiras fontes de iluminação artificial	28
A iluminação eléctrica	29
2.4.2.5 Distribuição e Sistemas de Controlo da Luz	33
<b>2.5 A importância do projecto de iluminação natural</b>	<b>34</b>
<b>3. Estratégias Sustentáveis Optimizadoras da Luz Natural</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Componentes da Iluminação Natural</b>	<b>37</b>
3.1.1 Sistemas de Iluminação Natural	39
3.1.1.1 Sistemas de iluminação lateral	39
A janela	39
Tipo, dimensão e forma	40
Localização e orientação	41
Dispositivos de sombreamento	42
3.1.1.2 Sistemas de iluminação zenital	42
3.1.2 Dispositivos avançados de iluminação natural	43
3.1.2.1 Dispositivos Optimizadores da iluminação lateral	42
Tipos de vidro e Janelas de elevado desempenho	44
Envidraçado múltiplo preenchido com gás	44
Revestimentos de baixa emissividade	45
Prateleira de Luz	45
Fachada Dupla Activa	46
Superfícies Prismáticas	46
Vidro crómico	47
3.1.2.2 Dispositivos Optimizadores da Iluminação Zenital	47
Lanternim de cobertura	47
Clarabóia	48
Atrium	49
Poço de Luz	50
Clarabóias tubulares	50
3.1.3 Dispositivos de Sombreamento	51
3.1.3.1 As Estratégias de Sombreamento e seus Objectivos	51
3.1.3.2 Orientação dos Dispositivos de Sombreamento	53
3.1.3.3 Tipos e Características dos Dispositivos de Sombreamento	54



Dispositivos de Sombreamento pelo Exterior e pelo Interior	54
Dispositivos de Sombreamento Fixos, Ajustáveis e Retrácteis	56
<b>3.2 Caso de Estudo: Reichstag</b>	<b>60</b>
3.2.1 História do Reichstag até 1933	60
3.2.2 Reconstrução do Reichstag	61
3.2.3 O funcionamento da Cúpula do Reichstag	64
<b>4. Optimização da Luz Natural num Edifício Pombalino</b>	<b>71</b>
<b>4.1 Introdução</b>	<b>71</b>
<b>4.2 Caracterização do caso de estudo</b>	<b>72</b>
4.2.1 O Plano de Revitalização da Baixa Pombalina	72
4.2.1.1 Recuperação e Reabilitação do edificado: O reforço da vertente residencial	73
4.2.2 A Construção Pombalina	74
4.2.3 Localização e Contexto Urbano	73
4.2.4 Descrição do Edifício Existente	77
4.2.5 Oportunidades do Edifício	77
4.2.5.1 Paredes de alvenarias: Inércia Térmica	78
4.2.5.2 Madeiramentos	79
4.2.6 Condições climáticas e Características da Luz Natural de Lisboa	79
4.2.6.1 Janeiro	80
4.2.6.2 Julho	80
<b>4.3 Memória Descritiva do Projecto de alteração</b>	<b>81</b>
4.3.1 Alteração do Piso e Paredes interiores	81
4.3.2 Alteração no Saguão	82
4.3.3 Alteração na fachada tardoz	83
4.3.4 Estruturas Autónomas de reflexão e redireccionamento da luz	84
<b>4.4 Construção da Maqueta</b>	<b>85</b>
4.4.1 Descrição Geral	85
4.4.2 Materiais Utilizados	87
4.4.3 Pormenores da Construção da Maqueta	89
<b>4.5 Soluções Propostas de Iluminação Natural</b>	<b>90</b>
<b>4.6 Análise Lumínica das Propostas</b>	<b>93</b>
4.6.1 Análise Quantitativa	93
4.6.1.1 Metodologia	95
4.6.1.2 Medições do Factor Luz-Dia	97

Soluções com parede interior branca opaca, 1 a 1.6	98
Soluções com parede interior com gaiola pombalina à vista, 2 a 2.6	101
Soluções com parede tardoz proposta, 3 e 3.1	105
4.6.1.3 Análise crítica às medições do Factor Luz-Dia	106
Conclusões parciais relativas às soluções 1 a 1.6	106
Conclusões parciais relativas às soluções 2 a 2.6	108
Conclusões às soluções 3 e 3.1	109
Comparação do aumento de Factor Luz-Dia da solução existente para a solução proposta: Soluções 1 e 3.1	110
4.6.2 Análise Qualitativa	112
4.6.2.1 Cálculo do Norte Geográfico a partir do Norte Magnético	112
4.6.2.2 Metodologia	115
<b>5. Conclusões</b>	<b>117</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das Componentes de Iluminação Natural	38
Tabela 2 – Valores Médios da Radiação Global em Lisboa	80
Tabela 3 – Reflectâncias dos materiais reais e dos materiais utilizados na maquete	88
Tabela 4 – Variáveis de base	91
Tabela 5 – Síntese das soluções propostas	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Da esquerda para a direita: Partenon em Atenas, século V a.C., Panteão de Roma, século II d.C e King’s College Chapel em Cambridge, século XIV	7
Figura 2 – Villa Rotonda, século XVI (esquerda) e Palácio de Cristal, século XIX (direita)	8
Figura 3 – Espectro electromagnético	8
Figura 4 – Olho humano (esquerda), cones e bastonetes de visão (direita)	9
Figura 5 – Olho adaptado ao claro – visão normal (direita) e olho adaptado ao escuro – visão nocturna (esquerda)	10
Figura 6 – Escala de percepção da cor	11
Figura 7 – Ângulos que limitam o campo visual humano	12
Figura 8 – Formas de evitar encadeamento sobre a tarefa visual	13
Figura 9 – Ocorrência do fenómeno de encadeamento	13
Figura 10 – Fluxo Luminoso	14
Figura 11 – Iluminância	14
Figura 12 – Intensidade luminosa	15
Figura 13 – Fontes de encadeamento directo – pontos B, C e D; ponto A não produz encadeamento sobre o indivíduo	16
Figura 14 – Percurso solar no Inverno e no Verão	20
Figura 15 – Radiação solar directa e radiação solar indirecta (reflectida pelo solo)	22
Figura 16 – Radiação reflectida pelo edifício adjacente	22
Figura 17 – Distribuição padrão de céu encoberto (esquerda) e modelo padrão de distribuição de céu limpo	24
Figura 18 – Índice de restituição de cor	26
Figura 19 – Temperatura de cor	27
Figura 20 – Lâmpadas incandescentes comuns	29
Figura 21 – Lâmpadas de halogéneo	30
Figura 22 – Lâmpadas fluorescentes compactas	31

Figura 23 – lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão	31
Figura 24 – Lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão	32
Figura 25 – Lâmpadas de iodetos metálicos	32
Figura 26 – Esferas de actuação da construção civil	35
Figura 27 – Condicionantes à intervenção sustentável: clima, situação geográfica, intervenção humana, disponibilidade de recursos	35
Figura 28 – Algumas componentes da iluminação natural	38
Figura 29 – Tipos de janela	39
Figura 30 – Janela vertical e janela horizontal	40
Figura 31 – Envidraçado múltiplo preenchido a krypton	44
Figura 32 – Prateleira de luz, difunde a luz para as áreas mais afastadas das janelas	45
Figura 33 – Vidro prismático, maior difusão da luz no interior dos compartimentos	46
Figura 34 – Tipos de lanternins	48
Figura 35 – Clarabóias	48
Figura 36 – Atrium tipo	49
Figura 37 – Atriuns	49
Figura 38 – Poços de luz	50
Figura 39 – Clarabóia tubular localizada na cobertura	50
Figura 40 – Reichstag até 1933	60
Figura 41 – Perspectiva isométrica dos vários pisos intervencionados	63
Figura 42 – Reichstag sob as telas metalizadas de Christo, panorâmica geral	65
Figura 43 – Perspectiva aproximada das telas metalizadas de Christo	65
Figura 44 – Cúpula acessível ao público e cone de lamelas reflectoras que difundem a luz para a câmara parlamentar	66
Figura 45 – Cúpula percorrível	66
Figura 46 – Perspectiva do cone reflector a partir da câmara parlamentar	67

Figura 47 – Corte pela cúpula exibindo a estrutura espelhada e pormenor dos espelhos do cone reflector	68
Figura 48 – Esquema interior de ventilação do cone reflector e pormenor do invólucro exterior da cúpula	69
Figura 49 – Pormenores do cone reflector	70
Figura 50 – Proposta arquitectónica no âmbito do plano de revitalização da baixa pombalina (estação de comboios do Rossio)	72
Figura 51 – Projecto de alteração num edifício pombalino no qual se mantiveram as características típicas da construção pós terramoto	73
Figura 52 – Perspectivas sobre a baixa pombalina	74
Figura 53 – Características típicas de um edifício pombalino	75
Figura 54 – Vista aérea do edifício	76
Figura 55 – Perspectivas da Fachada Norte, Rua da Conceição	76
Figura 56 – Perspectivas de um edifício pombalino em que foram mantidas as características originais	77
Figura 57 – Piso-tipo pombalino, escala 1:200	81
Figura 58 – Piso proposto, escala 1:200	81
Figura 59 – Condição actual do saguão em estudo	82
Figura 60 – Soluções propostas (da esquerda para a direita: fachada reflectora vertical, vista superior do saguão com fachada reflectora plana, fachada reflectora prismática)	82
Figura 61 – De cima para baixo: fachada tardoz existente e fachada tardoz proposta	83
Figura 62 – Secções transversais do saguão – da direita para a esquerda – meia cúpula a Sul e duas meias cúpulas a Norte-Sul	84
Figura 63 – Perspectivas da maqueta – da direita para a esquerda – meia cúpula a Sul e duas meias cúpulas a Norte-Sul	85
Figura 64 – Perspectivas da maqueta	86
Figura 65 – Amostra representativa dos materiais utilizados na maqueta (da direita para a esquerda): cartão madeira, cartão branco, balsa cor bétula, carvalho médio brilhante, superfície espelhada	88
Figura 66 – Perspectivas de um edifício pombalino existente	88

Figura 67 – Perspectivas da maqueta com parede interior opaca (direita) e com estrutura à vista (esquerda)	89
Figura 68 – Perspectivas da maqueta	89
Figura 69 – Pontos sobre os quais foram determinadas as iluminâncias interiores e identificação das divisões. A parede onde se expõe a gaiola pombalina, em algumas soluções, é a que se situa entre a zona de entrada e a cozinha (situada entre os pontos 10-11 e 6-9)	96
Figura 70 – Modelo utilizado para as medições da luz solar directa	113
Figura 71 – Sun Path com pontos solares marcados	114
Figura 72 – Pontos de vista para o registo fotográfico da luz sola directa	115

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

A luz natural, na sua natureza dual de partícula e onda, é matéria da arquitectura como outras matérias construtivas. Desde a mestria acumulada da arquitectura antiga, ao génio individualizado dos criadores do século XX, o saber esculpir a luz e o saber esculpir o espaço são indissociáveis na criação da obra arquitectónica.

Em séculos passados, a relativa falta de recursos para construir e manter edifícios significava que a norma seguida seria a adequação ao clima e condições naturais existentes, e a conservação de energia dependente dos contributos locais. Desde a revolução industrial, mas especialmente durante o século XX, o fenómeno duplo de uma riqueza mais difundida e de uma energia relativamente mais barata resultou no aumento generalizado da utilização da energia eléctrica.

Poder-se-á considerar que, até à 1ª metade século XX, se observou a diminuição do interesse pela luz natural face à eléctrica, cujo carácter flexível na concepção dos espaços e o baixo custo constituíram o principal interesse na aplicação desta tecnologia. As últimas décadas do XX marcaram o ponto de viragem dessa tendência com as sucessivas crises petrolíferas e energéticas, revalorizando, desta forma, a luz natural como medida sustentável do projecto de edifícios. A importância desempenhada pela luz natural no conforto humano e bem-estar dos utentes, as suas características intrínsecas para a realização de tarefas visuais, começaram a resultar numa redução dos gastos energéticos passando a ser um ponto basilar numa intervenção arquitectónica e urbana sustentáveis.

Contudo, é importante considerar que o fenómeno da luz natural é um aspecto de difícil matematização, pois além dos aspectos físicos que a definem, também as considerações subjectivas, igualmente importantes, fazem com que a abordagem da luz natural seja realizada nas esferas quantitativas e qualitativas. Torna-se importante ter um conhecimento da luz natural e dos seus fundamentos para uma boa aplicação na prática construtiva – as exigências funcionais, económicas, sociais, estéticas e não menos importante, de conforto ambiental – porém, estes conhecimentos terão de ser aplicados de forma fundamentada, dependentes das circunstâncias específicas do projecto em causa. As opções de luz natural requerem uma estratégia adequada aos diferentes programas, cujas necessidades são diferentes e específicas.

## 1.2. RELEVÂNCIA

A compactidade do tecido urbano da Baixa Pombalina está na origem de diversos problemas ambientais presentes no seu património construído, em particular de deficiências nos níveis de iluminação e ventilação natural dos espaços servidos pelos saguões típicos destes quarteirões. A proporção física destes saguões, com um factor de forma de cerca de 1:4 ou 1:5, sendo a largura significativamente inferior à altura, é desfavorável à propagação da luz natural no seu interior. A requalificação do saguão-tipo para optimização da iluminação natural no interior dos pisos é concretizada por intermédio da utilização de elementos reflectores, quer aplicados directamente nas superfícies existentes, quer constituindo estruturas autónomas para esse efeito.

A dissertação desenvolvida apresenta um conjunto de estratégias de iluminação natural num edifício consolidado e de interesse patrimonial, na Baixa Pombalina. As intervenções são realizadas de molde a manter as características do edificado, reabilitando e inovando, através de soluções modernas, quer nas técnicas quer nos usos, cujas condicionantes locais deverão ser tidas como premissas para a intervenção:

- Intervenção em tecido urbano compacto e consolidado;
- Edifício pombalino;
- Intervenção sobre património arquitectónico de interesse;
- Condições de luz solar de Lisboa.

Neste sentido, a estratégia de intervenção adoptada caracteriza-se por um conjunto de ideias dialogantes com as condicionantes anteriormente apresentadas.

Pode-se dizer que, em geral, é mais sustentável renovar e reutilizar edifícios já existentes do que demolir e construir de novo. A renovação envolve o consumo de menos materiais e menos energia em demolição e transporte. Isto para além dos benefícios culturais que traz a preservação dos edifícios que nos são familiares e que constituem marcos arquitectónicos, bem como a oportunidade de aprendizagem que oferecem as obras em edifícios antigos, muitos dos quais perduram ao longo dos anos empregando materiais e técnicas já sustentáveis.



### 1.3. OBJECTIVOS

Constitui um objectivo geral deste trabalho a reflexão crítica sobre o papel da iluminação natural na arquitectura, e o condicionamento gerado em relação à sua aplicação no edificado pela inserção em territórios urbanos de alta compacidade, onde o acesso a este recurso natural é reduzido devido à excessiva proximidade de outras massas edificadas.

São objectivos específicos da presente investigação o desenvolvimento de um conjunto de soluções arquitectónicas capazes de contribuir para a resolução do problema de acesso de luz natural ao interior dos quarteirões-tipo da Baixa Pombalina, nomeadamente pela requalificação do saguão enquanto elemento captador de luz, procurando formas de ultrapassar as significativas dificuldades impostas pela adopção de uma geometria desadequada à propagação de luz natural no seu interior. As soluções propostas para o saguão passam tanto por uma nova materialidade, em termos de revestimentos adoptados, como pela inserção de elementos especificamente destinados à tentativa de captação de luz. As fachadas interiores do edifício e espaços internos são então re-desenhados, dentro das limitações impostas pela complexidade da pré-existência Pombalina, para utilizar da melhor forma a luz assim captada.

É igualmente um objectivo fundamental desta investigação a avaliação, tanto quantitativa (cálculo de níveis de Factor Luz-Dia atingidos) como qualitativamente (imagem e luminosidade do espaço, padrões de penetração de luz solar directa ao longo do tempo), do mérito relativo das diferentes soluções propostas, procurando identificar uma solução final exequível dentro do actual contexto de reabilitação da Baixa Pombalina.

## 1.4. METODOLOGIA

A metodologia adoptada para desenvolvimento da tese baseou-se na combinação de uma fase inicial de revisão bibliográfica e trabalho de recolha e análise de informação de suporte existente e uma segunda fase focada num caso prático de aplicação dos conhecimentos obtidos.

O trabalho prático foi constituído por uma fase de proposta e uma fase experimental, baseada em medições executadas em modelo físico, no sentido de quantificar e comparar o desempenho relativo das diferentes soluções equacionadas.

Do ponto de vista da proposta, ao nível geral do contexto urbano, as estratégias de optimização da iluminação natural passaram pela:

- Reabilitação de um edifício pombalino em Lisboa, contemplando o desempenho energético e ambiental;
- Adequação do edifício às necessidades funcionais contemporâneas, mas também na área do conforto ambiental e visual;
- Com a integração de medidas que optimizam o desempenho energético e ambiental do edifício a reabilitar são salvaguardadas a qualidade do ar interior, o conforto ambiental e o impacto sobre as alterações climáticas.

Neste sentido, a estratégia de intervenção num edifício pombalino passou pela adequação de um conjunto de ferramentas de projecto que optimizassem a iluminação natural nos pisos destinados a habitação. Para tal foi reequacionado o potencial arquitectónico do saguão como elemento primordial de reflexão da luz difusa e directa por intermédio de soluções espelhadas concordantes com as características de luz natural da cidade de Lisboa.

O redesenho do piso pombalino é realizado respeitando as características estruturais, mas adequando-o às necessidades contemporâneas, transformando-o num T2, com espaços mais amplos e comunicantes, e subseqüentemente mais permeáveis à luz.

Sugere-se igualmente uma nova fachada tardoz, com vãos mais amplos e de ilhargas truncadas, de modo a retirar o máximo proveito das estruturas reflectoras propostas para o saguão.

Estas soluções foram abordadas comparativamente, sendo testadas as várias hipóteses possíveis com as três estratégias base: Piso, Saguão e Fachada Tardoz, para desta forma compreender o impacto de cada solução e o seu potencial para promover um maior incremento da luz natural no interior dos espaços habitados.

## 1.5. ESTRUTURA DA TESE

A tese é composta por cinco capítulos. No capítulo 1, de introdução, são explicitadas as premissas do estudo efectuado. O capítulo 2 inicia-se com uma breve perspectiva histórica da utilização da luz natural ao longo da história da arquitectura, salientando algumas épocas importantes que constituíram pontos de viragem na utilização desta fonte de iluminação.

Posteriormente, são abordados os fundamentos da luz, analisando tanto os aspectos físicos e mensuráveis, como os aspectos subjectivos relacionados com o conforto humano e bem-estar que a luz natural proporciona aos utilizadores dos espaços. São analisadas as fontes de iluminação natural e artificial e é ainda focada a importância do projecto de iluminação natural nos edifícios.

No capítulo 3 foram investigadas soluções optimizadoras da luz natural aplicadas aos sistemas de iluminação natural e zenital, bem como dispositivos avançados de iluminação e dispositivos de sombreamento. Este capítulo termina com a apresentação da Reconstrução do Reichstag, do arquitecto Norman Foster, como caso de estudo, cujas premissas e soluções serviram de apoio ao capítulo de proposta na Baixa Pombalina.

Com o término da revisão bibliográfica, cuja investigação conduziu a um conjunto de conhecimentos teóricos relacionados com os conceitos de luz natural, as formas existentes de a optimizar e a análise de um caso de estudo que funcionou como referência à intervenção, estabeleceram-se as premissas para o desenvolvimento do estudo prático na Baixa Lisboeta.

A problematização da luz natural ao caso concreto de um quarteirão pombalino é apresentada no capítulo 4, no qual são abordadas as condicionantes à intervenção e as estratégias do plano de revitalização da Baixa Pombalina referentes ao edificado. A investigação conduziu a um conjunto de factores importantes a ter em consideração na proposta, como as condições solares da cidade de Lisboa e as características específicas do edificado. Após a descrição do edifício e as alterações de base realizadas no mesmo, foi realizado o estudo de cada uma das soluções propostas. As diversas soluções são analisadas, quantitativamente e qualitativamente, com base num modelo físico, construído à escala 1:30, sendo efectuadas medições de Factor Luz-Dia utilizando um luxímetro, e realizados registos fotográficos dos padrões de entrada de luz directa nos dias significativos do ano (solstícios e equinócios).

No capítulo 5 é apresentada a conclusão do estudo, sendo proporcionada uma avaliação crítica das soluções consideradas para o melhoramento das condições de iluminação natural dos edifícios dos quarteirões-tipo da Baixa, à luz da adequação a um contexto de preservação do carácter histórico, patrimonial e estrutural do edifício pombalino, sendo ainda capazes de promover as necessidades e os padrões de conforto e eficiência energética actuais. A tese procura assim contribuir para a apresentação de um conjunto de soluções inovadoras, ao nível do saguão, piso habitado e fachada tardoz, permitindo melhorar não apenas os níveis de iluminação no interior, mas também criar novas ambiências e vivências.

## 2. A LUZ E A MATERIALIZAÇÃO DA ARQUITECTURA

### 2.1 PRINCÍPIOS DE ILUMINAÇÃO EM EDIFÍCIOS

A história da utilização da iluminação natural e a história da Arquitectura têm uma evolução indissociável até à segunda metade do século XX, relação então questionada pela disseminação generalizada da luz fluorescente e o baixo custo da electricidade, factores que contribuem para a alteração dos princípios de projecto seguidos até então.

Da abóbada romana de arestas à abóbada do Palácio de Cristal do século XIX, as principais evoluções a nível estrutural dos edifícios procuram dar resposta ao desafio de aumentar a quantidade de luz nos edifícios. De facto, até muito próximo da actualidade, dado que é relativamente recente a globalização da luz artificial, o edifício era necessariamente projectado para funcionar integralmente com luz natural.

Após a arquitectura de cariz maioritariamente religioso das civilizações antigas, incluindo o Egipto e Grécia, os edifícios públicos de carácter não religioso construídos por Roma colocam novas necessidades funcionais que requerem novas soluções construtivas e também de iluminação natural. As abóbadas semicilíndricas, suportadas por paredes resistentes apenas permitiam a abertura de pequenos vãos de janelas. A abóbada romana de arestas (formada pela intersecção em ângulo recto de abóbadas semicilíndricas) suplantou a abóbada semicilíndrica, permitindo a abertura de maiores vãos nos espaços criados.

A Arquitectura Gótica é em grande parte o resultado de um esforço de pesquisa para a obtenção da máxima área de aberturas para aproveitamento da luz de dia. O sistema gótico de abóbadas em arcos quebrados, com nervuras e contrafortes exteriores – que absorviam os impulsos horizontais das nervuras sobre as quais se apoiavam as abóbadas – permitiu elevar a altura das construções e, ao mesmo tempo, substituir as grossas paredes da arquitectura românica por paredes menos espessas e com amplos vãos de janela para a captação da luz de dia.



Figura 1 – Da esquerda para a direita: Partenon em Atenas, século V a.C., Panteão de Roma, século II d.C e King's College Chapel em Cambridge, século XIV

A Arquitectura Renascentista, dominada pelo racionalismo e humanismo teve um grande impacto na arquitectura e no planeamento das cidades. À escala do edificado as fachadas foram desenhadas criteriosamente, exibindo vãos amplos, especialmente em climas de muita nebulosidade, como Inglaterra. Apesar do carácter maciço das fachadas, as plantas em E ou H dos palácios do século XV ofereciam soluções adequadas às necessidades de ventilação e de iluminação natural.<sup>1</sup>

Durante a revolução industrial, a crescente divulgação do vidro, combinada com novas maneiras de utilização do aço em estruturas, permitiu conceber edifícios com fachadas integralmente constituídas por vãos envidraçados. O Palácio de Cristal de Joseph Paxton (1852) é o exemplo representativo mais famoso.

Durante o século XX, a luz natural continuou a ser utilizada na arquitectura, não só com objectivos funcionais mas, em muitos casos com fins estéticos e artísticos, particularmente em determinado tipo de edifícios.



Figura 2 – Villa Rotonda, século XVI (esquerda) e Palácio de Cristal, século XIX (direita)

A grande necessidade de integrar soluções para luz natural nos edifícios, determinante na forma como a arquitectura se desenvolveu ao longo dos tempos, foi progressivamente diminuindo a partir da segunda metade do século XX, com a vulgarização da luz eléctrica, o seu baixo preço, e a manifesta superioridade, em relação à luz natural, no que toca à constância das condições de iluminação proporcionadas. Talvez a mais importante vantagem da luz eléctrica tivesse sido a flexibilidade de que os projectistas passaram a dispor no seu processo criativo: conceber formas de edifícios não condicionadas pela localização dos pontos de entrada de luz.

Contudo, a crise energética dos anos setenta levou a que fosse reavaliado o potencial da luz de dia nos projectos de edifícios. A princípio, apenas estavam em causa considerações energéticas, mas rapidamente outros factores concorreram para que a luz natural fosse revalorizada no projecto de edificações: as inúmeras possibilidades estéticas que o seu uso permite, e a superior qualidade da luz natural em termos de conforto visual e psicológico, saúde humana, e qualidade óptica, em termos de cor da luz e restituição cromática.

Actualmente, o estado de evolução tecnológica permite combinar soluções arquitectónicas com soluções de luz de dia de forma praticamente ilimitada, proporcionando os mais variados efeitos estéticos e/ou funcionais.

<sup>1</sup> António Moret et al, *Sebenta de Física da Construção, Volume V – Iluminação Natural*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2003, página 3; Derek Phillips– *Daylighting – Natural Light in Architecture*. 1ª Edição. Burlington: Elsevier: Architectural Press, 2004, página 326 a 327; Norbert Lechner- *Heating, cooling, lighting*. 2ª Edição. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2001, página 4 a 7.

## 2.2 FÍSICA DA LUZ

“A luz é a forma visível da radiação. No entanto, é importante considerar alguns comprimentos de onda invisíveis ao olho humano (como os infravermelhos e os ultravioletas), daí utilizar-se o termo “radiação” em vez de luz, quando estes aspectos estão integrados”.<sup>2</sup>

### 2.2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

O espectro electromagnético traduz a distribuição da radiação electromagnética em função da energia, frequência ou comprimento de onda, compreendendo todas as gamas de radiação existentes: ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios X e raios gamma, a cada um destes fenómenos radiativos estão associadas diferentes propriedades. As ondas de rádio permitem a recepção de som, a luz visível a iluminação de objectos e os raios X a visualização interior de corpos. A semelhança destes fenómenos é a forma como qualquer um deles é o resultado da vibração de campos eléctricos e magnéticos que se propagam no vácuo à velocidade da luz. O que os diferencia é o comprimento de onda associado a cada um deles. “A definição física da luz, como uma banda de energia radiante situada entre determinados comprimentos de onda, não inclui a intervenção humana. Esta definição permite uma medição através de outros aparelhos que não o sistema visual humano, no entanto, está no utente o objectivo da iluminação. A luz é uma manifestação visual da energia radiante e, por consequência, relaciona-se directamente com as sensações humanas”<sup>3</sup>.

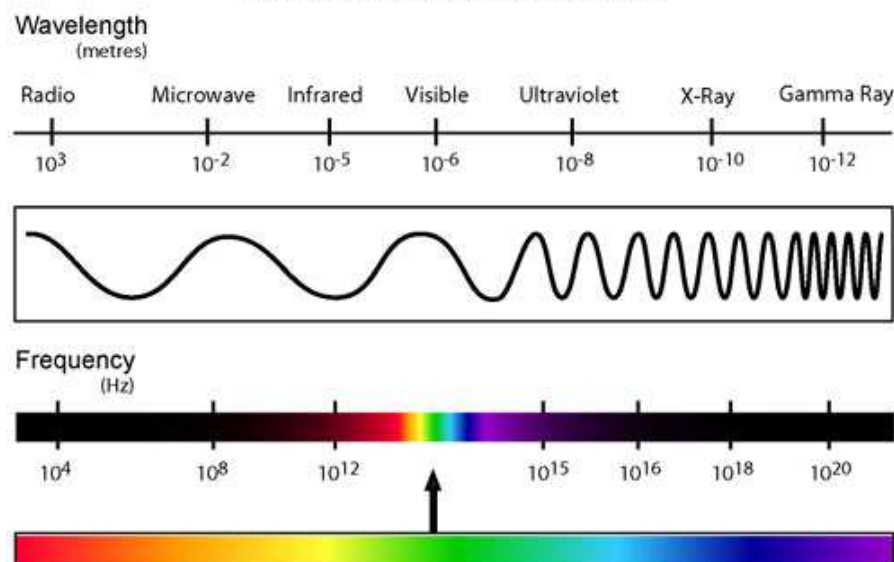


Figura 3 – Espectro electromagnético

<sup>2</sup> Fernanda Sá de Oliveira – Iluminação Natural em Museus – Um estudo em Lisboa, 1ª Edição. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2005, pp. 9

<sup>3</sup> Idem pp. 9 e 10.

## 2.2.2 O SISTEMA VISUAL

### 2.2.2.1 ESPECTRO VISÍVEL

A luz corresponde à zona do espectro electromagnético cuja radiação é capaz de produzir uma sensação visual. Designa-se por espectro visível o intervalo de comprimentos de onda situados entre os 380 nm e os 780 nm. O processo visual tem início a partir do momento em que o sistema visual absorve a energia radiante inserida neste intervalo e são accionadas as células fotoreceptoras do olho humano<sup>4</sup>.

### 2.2.2.2 O OLHO

A luz visível é a energia radiante medida segundo a capacidade de provocar sensações luminosas e visuais, o olho humano é o seu receptor.

A retina, um delicado tecido nervoso, é formada por órgãos sensíveis à luz, os fotoreceptores, designados cones e bastonetes de visão nos quais se transforma a energia luminosa em impulsos nervosos que chegam ao cérebro. Esta situação é possível devido a um mecanismo electroquímico na retina que provoca impulsos nervosos nas células fotoreceptoras quando expostas à luz.

*“É na retina que se forma a imagem visual invertida. Essa imagem chega até ao cérebro pelo nervo óptico no qual sofre a re-inversão, sendo interpretada correctamente. A imagem de um objecto chega invertida na retina porque é vista através de uma lente biconvexa – o cristalino do olho.”*

Existem diferenças marcantes entre os dois elementos principais da retina: os bastonetes são muito sensíveis à luz e quase insensíveis às cores, enquanto os cones são muito sensíveis às cores e formas e quase insensíveis à luz. Os bastonetes percebem a mensagem visual através da diferenciação das luminâncias dos objectos enquanto os cones de visão reagem de forma discriminativa à cor e à forma do objecto iluminado, esta situação ocorre em período diurno, quando as células operam em simultâneo (visão fotópica). A reacção e adaptação dos bastonetes em condições extremas de iluminação é mais lenta que a dos cones de visão. Em período nocturno apenas reagem os bastonetes (visão escotópica), desta forma, face à insensibilidade dos bastonetes à cor, a mensagem visual transmitida ao cérebro consiste, apenas, na diferenciação entre claro e escuro.<sup>5</sup>

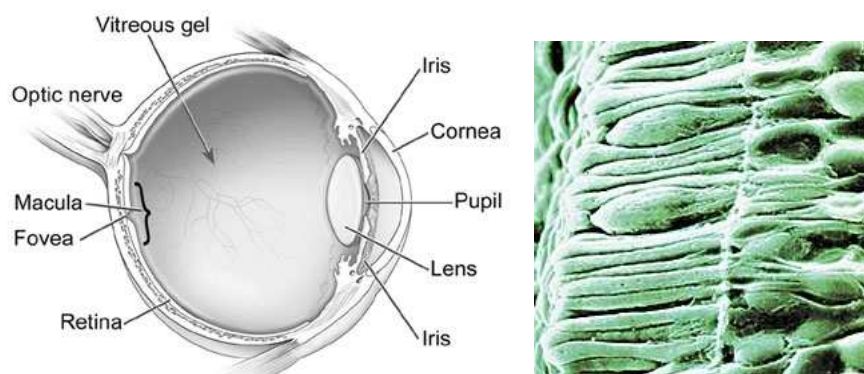


Figura 4 – Olho humano (esquerda), cones e bastonetes de visão (direita)

<sup>4</sup> Peter Boyce– Human Factors in Lighting. 2ª Edição. Londres: Taylor & Francis, 2003. pp. 3

<sup>5</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna – Iluminação e Arquitectura. 2ª Edição. São Paulo: Geros, 2001, pp. 81 e 91

### 2.2.2.3 PROPRIEDADES DO OLHO

Os aspectos apresentados de seguida remetem para as características intrínsecas do olho humano que possibilitam o melhor ou pior entendimento da mensagem visual que chega ao cérebro.<sup>6</sup>

#### ▪ SELECTIVIDADE

O olho humano é selectivo ao reagir apenas a comprimentos de onda situados no intervalo do espectro visível. A gama de ondas capaz de produzir uma mensagem visual está compreendida entre 380nm e 780nm.

#### ▪ SENSIBILIDADE

A um comprimento de onda na ordem de 555nm (amarelo – esverdeado) o olho humano apresenta maior sensibilidade. Aos comprimentos de onda situados nos extremos do espectro visível, para cores violeta e vermelho, a sensibilidade é menor.

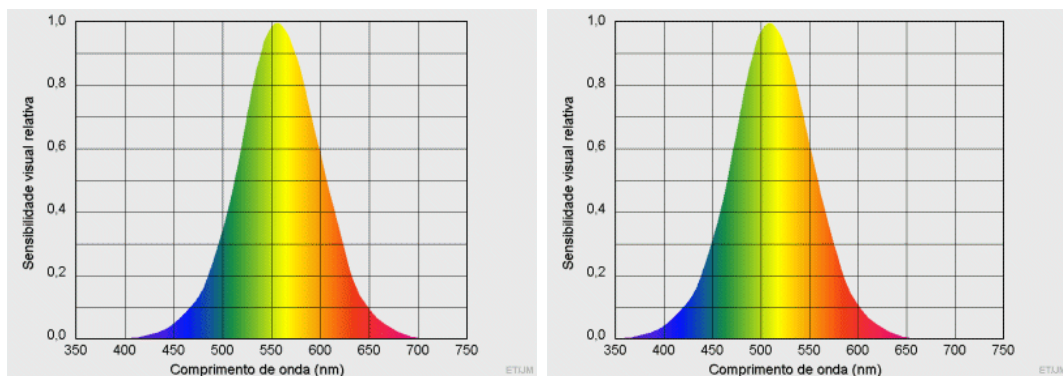


Figura 5 – Olho adaptado ao claro – visão normal (direita) e olho adaptado ao escuro – visão nocturna (esquerda)

#### ▪ ACOMODAÇÃO

A característica de acomodação do olho humano relaciona-se directamente com a distância do objecto observado. O olho ajusta-se às diferentes distâncias dos objectos através da variação da curvatura do cristalino e com ele a distância focal. Para menores distâncias a visibilidade é maior, produzindo uma imagem mais nítida na retina.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. Cit., pp 91

<sup>7</sup> Idem pp. 92



#### ▪ PERCEÇÃO DAS CORES

“A capacidade de percepção das cores é uma característica de selectividade do olho – é a sensação causada pelos distintos comprimentos de ondas entre 380nm e os 780nm. A cor é portanto uma característica de sensação, a sensação cromática está variavelmente relacionada com os comprimentos de onda”.<sup>8</sup>

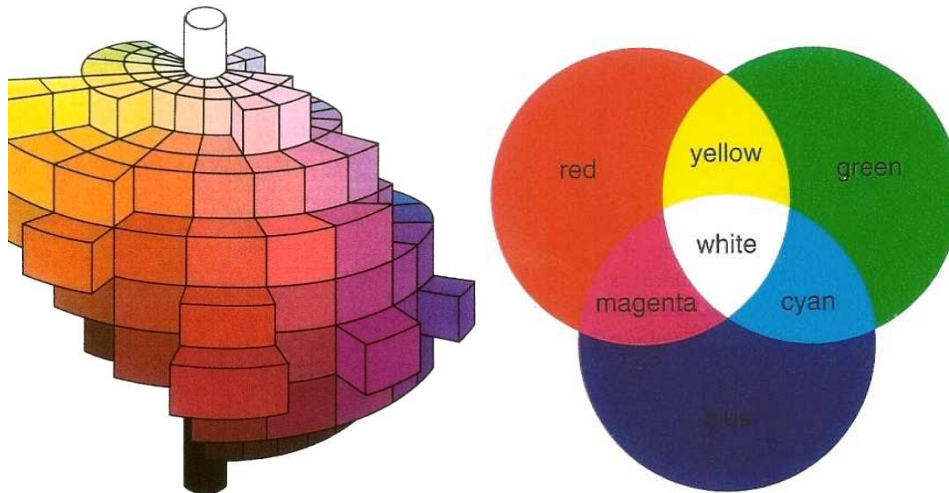


Figura 6 – Escala de percepção da cor

#### ▪ ACUIDADE

A acuidade visual define a capacidade do olho humano reconhecer e interpretar com nitidez e precisão uma mensagem visual, depende dos órgãos de visão e da envolvente do objecto observado. Os principais factores que influenciam directamente a acuidade visual são a região da retina estimulada, a iluminância do objecto ou tarefa (conforme a iluminância aumenta vai melhorando a acuidade), a distribuição espectral da luz (quanto mais as características da luz se aproximarem das do espectro solar – iluminação natural – melhor será a acuidade visual), o tempo de exposição (para estímulos de fraca intensidade o olho terá de repetir vários movimentos para que a retina seja estimulada), o grau de perturbação do campo visual (a acuidade fica comprometida pela dificuldade de fixar os órgãos de visão na tarefa) e a distribuição das luminâncias, quanto melhor esta for melhor a sensibilidade aos contrastes.

#### ▪ ADAPTAÇÃO

“A característica dominante da visão humana é a adaptação. A capacidade que o olho tem a ajustar-se automaticamente às diferentes luminâncias dos objectos. Isso acontece através do fecho e abertura da pupila. Quando se passa de um local mais iluminado para outro mais escuro, o olho leva mais tempo -a adaptar-se do que a situação inversa.

A relação é de aproximadamente 60 para 1. Tal situação deve-se ao facto dos bastonetes serem mais lentos na sua reacção que os cones”.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Idem pp. 91

<sup>9</sup> Idem, pp. 94

### 2.2.2.4 CAMPO VISUAL E O PROCESSO VISUAL

O campo da visão humana está limitado a 130 graus no sentido vertical e a 180 graus no sentido horizontal, correspondendo ao campo visual total.

O Processo Visual envolve duas partes a considerar: o estímulo físico da luz sobre o olho e a sensação que esse estímulo provoca, o estímulo é objectivo; a sensação é subjectiva.

A luminotécnica tem por objectivo determinar e proporcionar as melhores condições visuais possíveis, mas só pode intervir na fase objectiva do processo visual. Para que o faça da melhor forma possível é necessário compreender as respostas que o homem dá aos estímulos visuais que o rodeiam, desta forma, há que considerar o carácter subjectivo da visão. Os aspectos fisiológicos da óptica e os da psicologia da percepção formam a base do conceito de visão.

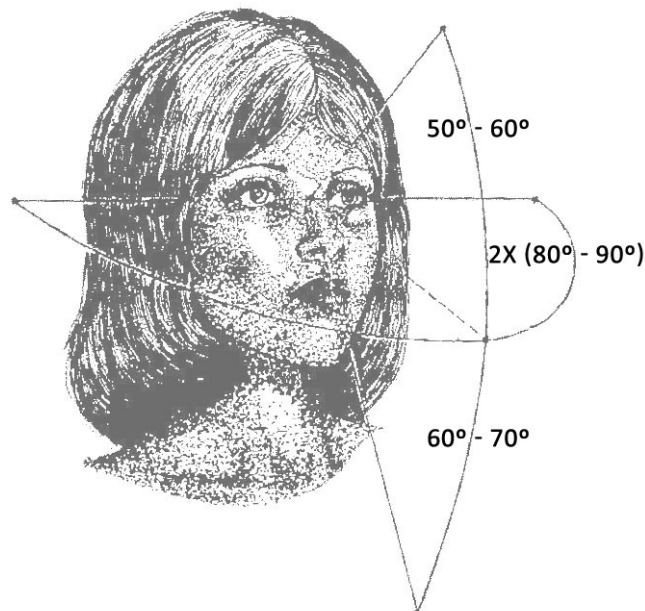


Figura 7 – Ângulos que limitam o campo visual humano

#### ▪ FADIGA E RELAXAMENTO

Quando os olhos estão submetidos a condições de iluminação com focos intensos de luz dentro do campo visual ou quando não se dispõe de níveis de iluminância suficientes para a realização de uma qualquer tarefa crítica, os olhos podem chegar à fadiga e conseqüentemente levar a uma diminuição de sensibilidade, face a um maior esforço de adaptação.

Parte da fadiga física sentida todos os dias deve-se ao esforço de visão, o abuso das faculdades visuais compromete directa ou indirectamente o organismo humano, com perturbações fisiológicas diversas.

Outro factor importante do conforto visual é o facto do olho, após algum tempo de concentração na tarefa visual vagar, automaticamente e por breves instantes, pelo ambiente, esta situação permite ao olho relaxar e descontraír para voltar a um novo esforço de concentração.

▪ ENCADEAMENTO

O encadeamento pode ocorrer directamente pela visão directa da fonte de luz ou indirectamente por reflexão.

Pode ser perturbador e inibidor, diferenciando-se pelo grau de perturbação que provoca. Em ambos os casos, o encadeamento é consequência de contrastes excessivos de luminâncias. Os contrastes dificultam o entendimento da mensagem visual, interferem na comunicação visual, na medida em que causam fadiga rápida dos órgãos ópticos.

O encadeamento é uma sensação, e portanto, não mensurável, esta condição é função dos seguintes factores: luminância da fonte, luminância do fundo, tamanho aparente da fonte de luz, número de fontes de luz presentes no campo visual, posição relativa da fonte em relação à direcção de visão.

Algumas medidas para a correcção do encadeamento podem passar pela redução da luminância da fonte, colocação de elementos de controlo na fonte de luz, posicionamento da fonte de luz fora do ângulo de visão (acima de 45 graus), evitar reflexões indesejadas nas superfícies opacas, aumento da luminância da envolvente imediata da fonte.<sup>10</sup>

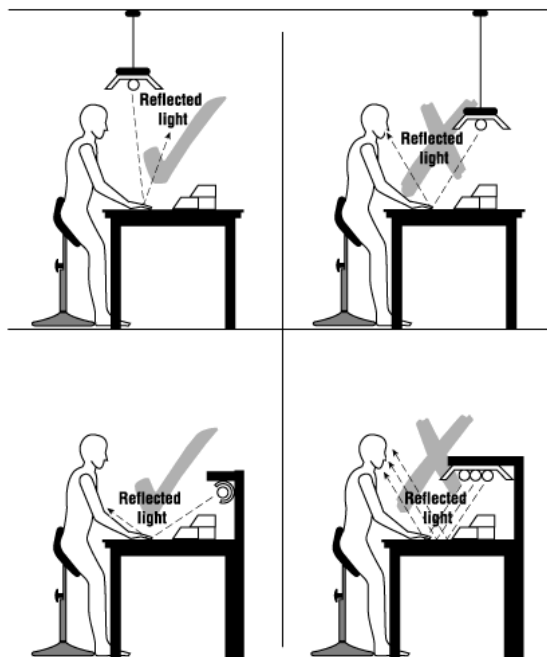


Figura 8 – Formas de evitar encadeamento sobre a tarefa visual



Figura 9 – Ocorrência do fenómeno de encadeamento

<sup>10</sup> Idem, pp. 100 e 101

## 2.2.3 UNIDADES DE MEDIDA

Para compreender o fenómeno da luz é importante ter em consideração os aspectos físicos e mensuráveis que a definem.<sup>11</sup>

Podem ser considerados como os mais relevantes para o domínio quantitativo da luz os parâmetros seguintes:

### 2.2.3.1 FLUXO LUMINOSO (LÚMENS)

O fluxo luminoso corresponde à quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direcções de um espaço cujo efeito é avaliado pela resposta média do sistema visual humano.

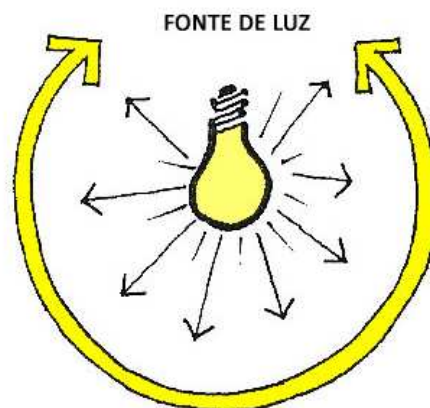


Figura 10 – Fluxo Luminoso

### 2.2.3.2 ILUMINÂNCIA - LUX (LÚMENS/m<sup>2</sup>)

A Iluminância é a unidade de medida que relaciona o fluxo luminoso (multidireccional) quando entra em contacto com determinada superfície. A iluminância varia em conformidade com o fluxo luminoso uma vez que este último não se distribui uniformemente pelo espaço, desta forma, a iluminância não será a mesma em diferentes pontos numa mesma superfície.

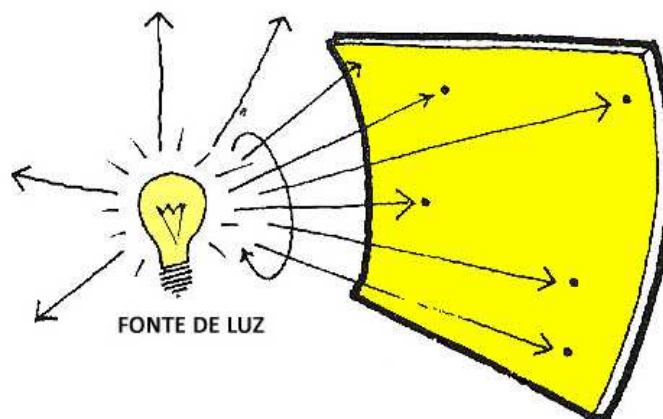


Figura 11 - Iluminância

<sup>11</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 15 a 17

### 2.2.3.3 INTENSIDADE LUMINOSA (CANDELAS)

As fontes luminosas não emitem a mesma luz nas diferentes direcções. Para se conhecer a luz emitida numa direcção específica recorre-se ao conceito de intensidade luminosa, que consiste no rácio entre o fluxo luminoso gerado pela fonte num cone infinitesimal contendo a direcção pretendida.

O fluxo luminoso por si só não provoca qualquer resposta visual, a luz tem de ser reflectida pelo objecto ou superfície. A luminosidade (ou brilho aparente, expresso em blondel) corresponde à reflexão do objecto capaz de produzir uma resposta visual. A luminosidade é um fenómeno subjectivo, não mensurável e dependente das características de toda a cena visual: a quantidade de fluxo luminoso, a capacidade de reflexão do objecto e do ambiente em que estes ocorrem.

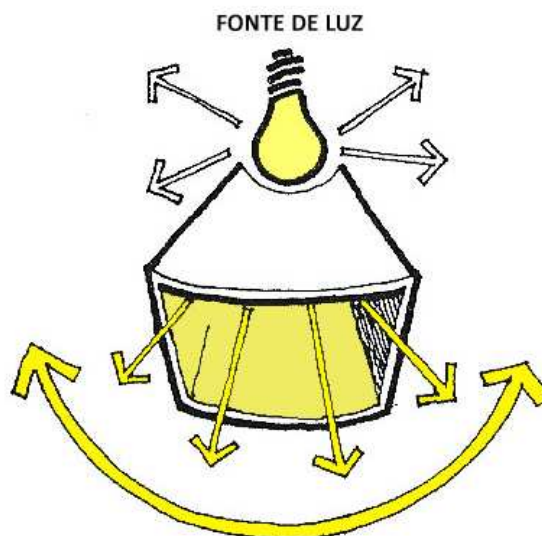


Figura 12 – Intensidade luminosa

### 2.2.3.4 REFLECTÂNCIA (%)

A reflectância é capacidade de um objecto reflectir a luz, correspondendo à relação entre o fluxo luminoso reflectido por um objecto e o fluxo luminoso incidente no mesmo.

### 2.2.3.5 LUXÍMETRO

*“Na medição da luz (radiação visível) usa-se um instrumento, o medidor de luz, ou luxímetro, que mede a energia não directamente, mas da forma como é vista pelo olho. O olho não vê as radiações IV ou UV, assim o luxímetro não reage a estes comprimentos de onda, os luxímetros de melhor qualidade correspondem de forma mais sensível às características do olho humano.*

*A escala a que este instrumento está graduado é o lux, e a medição efectuada designa-se por iluminância ou valor de iluminação.*

*Um luxímetro consiste numa superfície sensível protegida, ou fotocélula, ligada electricamente a um medidor.*<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Idem

## 2.2.4 ESPECIFICAÇÕES QUANTITATIVAS

Existem dois parâmetros quantitativos que sintetizam e permitem resolver grande parte dos problemas associados ao projecto de iluminação natural: O Factor Luz-Dia e o Índice de Encadeamento.<sup>13</sup>

### 2.2.4.1 FACTOR LUZ-DIA

O Factor Luz do Dia é o parâmetro mais comum para caracterizar a luz do dia disponível dentro de um edifício. É definido como o rácio da iluminância interior num certo ponto e a iluminância horizontal exterior em condições de céu nublado.

Este conceito é importante na medida em que permite compreender de que forma o desenho do invólucro exterior de um edifício ou compartimento é eficaz para a entrada da luz disponível no exterior.

Uma vantagem da utilização deste parâmetro consiste na sua constância ao longo dia e na representatividade que tem em termos de quantidade de luz e brilho aparente no interior de um espaço, contudo, corresponde a uma especificação quantitativa, na qual não estão integrados o conforto ou desconforto visual, de ordem subjectiva.

### 2.2.4.2 ÍNDICE DE ENCADEAMENTO

*“Muito recentemente começou-se a apreciar o valor do índice de encadeamento, como um modo de garantir uma boa qualidade de iluminação no interior dos edifícios. Os limites do Índice de Encadeamento foram escolhidos de tal forma que ao serem ultrapassados, o encadeamento seria demasiado forte para a actividade a desenvolver, no ambiente em questão. Assim, os níveis de iluminação relacionam-se directamente com as características da própria tarefa visual, ao passo que os valores que limitam o índice de encadeamento são em função de todo o ambiente, portanto não existe uma correlação directa entre os níveis de iluminação recomendados e os que limitam o índice de encadeamento. Esta relação é estabelecida caso a caso, de acordo com a situação em causa”.*<sup>14</sup>

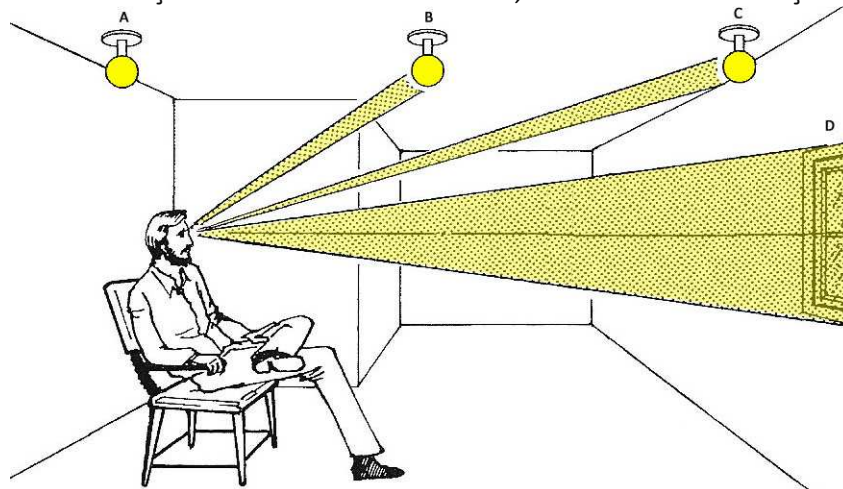


Figura 13 – Fontes de encadeamento directo – pontos B, C e D; ponto A não produz encadeamento sobre o indivíduo

<sup>13</sup> Idem, pp. 17

<sup>14</sup> Idem

## 2.3 CONFORTO E ILUMINAÇÃO

### 2.3.1 PARÂMETROS DE CONFORTO VISUAL

#### 2.3.1.1 SENSIBILIDADE AO CONTRASTE E AO ENCADEAMENTO

O sistema visual humano possui uma grande capacidade de adaptação às condições de iluminação existentes, mesmo às mais extremas, com sol directo ou à noite.

Nas situações em que os níveis de iluminação não sejam os adequados à tarefa a ser realizada, o olho humano responde, fisiologicamente, através da sensação de fadiga dos órgãos ópticos, dependente do maior ou menor esforço que estes fazem para perceber a mensagem visual.

Neste sentido, tem de existir uma correlação eficiente entre o tipo de tarefa a ser realizada (o grau de precisão exigido), o nível de iluminação existente para cumprir essa tarefa e a relação da luminância da tarefa com a luminância da envolvente em que esta ocorre.<sup>15</sup>

Seguem-se alguns factores que devem ser tidos em consideração para determinação do nível de iluminação para tarefas visuais.

- O tamanho dos detalhes críticos da tarefa;
- A distância a que os detalhes são vistos;
- A luminância das tarefas;
- O contraste entre a tarefa e a envolvente imediata;
- O grau de precisão exigida na realização da tarefa;
- A idade de quem a realiza.

A relação entre a luz e o conforto visual leva a concluir que para um máximo rendimento com o mínimo de esforço, há necessidade de graduar a luminância nas imediações do objecto em observação, a envolvente imediata deve apresentar um brilho ligeiramente inferior, proporcional à distância do objecto a ser percebido. *“Esta observação é tão mais importante quanto maiores forem os níveis de iluminação do objecto em observação”.*<sup>16</sup>

#### 2.3.1.2 A LUMINOSIDADE

A luminosidade de um objecto corresponde ao brilho aparente com que este é percebido pelo observador. Considera-se brilho aparente pois é função do contexto visual em que este se insere e dos efeitos de contraste a que está submetido. Sendo a luminosidade uma resposta discriminativa do organismo, esta depende não apenas da intensidade luminosa incidente na retina num determinado instante, mas também da exposição a que esta esteve sujeita num passado recente.

Esta consideração é importante na elaboração de contrastes: um objecto parece mais luminoso se a sua envolvente for mais escura, e determinada cor aparenta ser mais intensa se a sua envolvente imediata apresentar a sua cor complementar.<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> Idem, pp. 11

<sup>16</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. Cit., pp. 75

<sup>17</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 14

### 2.3.1.3 COR E BRILHO FÍSICO

A luz que incide num objecto é reflectida na retina do olho gerando uma resposta visual que é transmitida pelos nervos ópticos ao cérebro.

É nesta operação fisiológica que o olho humano consegue adquirir e perceber as cores dos diferentes objectos mesmo em condições de iluminação extremas.

*“Por exemplo, durante o dia, o padrão de cor da luz natural varia consideravelmente. Assim, os objectos deveriam ser percebidos como alterando de cor à medida que o padrão de cor da luz natural reflectida se alterasse. No entanto, o cérebro não recebe e analisa apenas os dados ópticos, mas também os compara com um padrão de cor mental, e permite variações nos níveis de iluminação ao identificar as cores correctamente. Este mecanismo de compensação parece inato, resultando de séculos de familiaridade do ser humano com os ciclos diários ao longo do ano”.*<sup>18</sup>

Deste modo, o brilho de um objecto pode relacionar-se directamente com as suas características intrínsecas. Uma fonte primária (um objecto brilhante por si mesmo, como o sol, um filamento incandescente, uma vela acesa, etc.) ou secundária de luz (um objecto cujo brilho resulta de uma reflexão de luz proveniente de uma fonte de luz primária).

Apesar do brilho e cor serem percebidos pelos órgãos visuais de forma imediata, a sua apreciação é de uma natureza tal que torna difícil distinguir se a resposta óptica provém do objecto ou dos órgãos de visão.

## 2.4 FONTES DE ILUMINAÇÃO

### 2.4.1 A ILUMINAÇÃO NATURAL

*“Designa-se por luz natural à luz proveniente do sol, seja na forma directa, através dos raios solares, ou indirecta, resultante da reflexão na atmosfera com ou sem nuvens (luz difusa), da vegetação, dos edifícios ou de outros objectos existentes na superfície da terra (luz reflectida)”.*<sup>19</sup>

#### 2.4.1.1 EXIGÊNCIAS HUMANAS

O arquitecto projecta para o homem e, portanto, deve ter como objectivo fomentar o bem-estar dos indivíduos no seu sentido mais amplo, ou seja, atingir e potenciar o conforto psíquico, físico e social daqueles que usam os espaços projectados.

O conforto é função da relação que o homem estabelece com o seu Meio Ambiente, relação que é dependente daquilo que o meio físico possibilita em termos de luz, som e calor, bem como da experiência e resposta pessoal do indivíduo a esses estímulos.

As bases da relação entre o homem e o seu ambiente residem no campo da psicofisiologia, a partir destas, o arquitecto pode estabelecer um conjunto de estratégias conducentes a uma melhor resolução de problemas dentro da esfera da percepção humana.

---

<sup>18</sup> Idem pp. 19

<sup>19</sup> Idem, pp. 21



Apesar da grande importância que tem o conforto na arquitectura, e dentro dele, os aspectos ligados à percepção e exigências humanas, observa-se que muito pouca importância lhes tem sido dada, principalmente aos aspectos psicológicos, físicos e sensoriais.

O ponto de partida de qualquer projecto de arquitectura deve ser a relação Homem – Função – Espaço.<sup>20</sup>

#### ▪ FUNÇÃO

Sempre que o arquitecto vai projectar, o seu primeiro passo diz respeito ao programa a ser cumprido sendo feito um estudo detalhado das características funcionais.

A função é sempre analisada do ponto de vista estritamente pragmático, ou seja, como o homem realiza a actividade no seu aspecto físico e operativo.

Porém, muitas vezes é descurado o aspecto humano, ou seja, os estímulos que impelem à realização da tarefa e os aspectos psico-fisiológicos a ter em consideração para que se possa criar um espaço que corresponda às expectativas e necessidades de quem vai usá-lo.

#### ▪ ILUMINAÇÃO

O objectivo de qualquer tipo de iluminação é proporcionar um óptimo desempenho de uma tarefa visual.

O conceito de desempenho, além das actividades produtivas, também deve ser ampliado às tarefas de lazer e relaxamento.

Se assim for, os critérios de desenho, hoje tidos como universais, serão encarados de maneira diversa, mais flexível e dependente das características específicas do projecto em questão.

Existem um conjunto de factores que devem ser respeitados na realização de qualquer tarefa visual, alguns pontos da relação do homem com o meio ambiente podem ser sintetizados da seguinte forma<sup>21</sup>:

- A vista e a visão
- A tarefa visual que o indivíduo vai desenvolver
- O campo visual do homem
- Nível de iluminação
- Luminância e contrastes
- Perturbações visuais – encadeamento

---

<sup>20</sup> Idem, pp. 23

<sup>21</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. Cit. pp. 84 e 85

### 2.4.1.2 O CARÁCTER DINÂMICO DA LUZ NATURAL

A primeira característica da Luz Natural é a sua variabilidade. A Luz Natural varia em magnitude, carácter espectral e distribuição para diferentes condições meteorológicas, ao longo do dia e do ano e para diferentes latitudes.

A Iluminação Natural proveniente da Lua e das estrelas corresponde a uma fonte de iluminação com reduzido interesse, contudo, a Luz de Dia é utilizada, e fortemente desejada, para a iluminação de edifícios, esta divide-se em duas componentes, luz do sol (directa) e luz do céu (difusa).<sup>22</sup>

### 2.4.1.3 A ORIENTAÇÃO

Tradicionalmente o estudo da iluminação natural fazia-se considerando um modelo de céu encoberto, para o qual a Comissão Internacional de Iluminação (CIE)<sup>23</sup> dispunha uma caracterização quantificada em função da latitude de cada lugar.

Esta metodologia conduziu a um desenho arquitectónico independente da orientação solar, uma vez que, para céu encoberto, não existe assimetria de luminância em azimute.

Actualmente, e numa perspectiva sustentável, o desenho de um edifício deve ter em consideração as características específicas do território para o qual é projectado, uma orientação solar correcta e um desenho das aberturas verticais em conformidade com a disponibilidade de luz é apenas um dos aspectos a ter em consideração.<sup>24</sup>

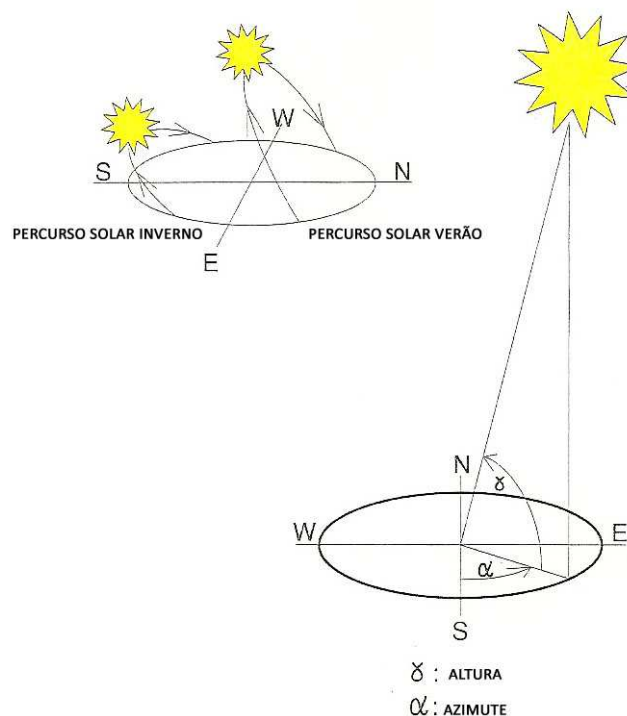


Figura 14 – Percurso solar no Inverno e no Verão

<sup>22</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 27

<sup>23</sup> Commission Internationale de L'Eclairage)

<sup>24</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 25

#### 2.4.1.4 A VARIAÇÃO DA ILUMINÂNCIA

A determinação das características lumínicas de um ambiente deve responder, num primeiro momento, à função para o qual está a ser projectado, porém, deve existir um justo compromisso entre o nível de iluminância necessário à realização de tarefas visuais e o carácter que se quer atribuir ao ambiente.

Apesar do conceito de eficiência luminosa estar associado à produtividade, a uma maior rapidez no trabalho, a um menor cansaço visual e eliminação de erros cometidos, nem sempre se podem aplicar tais critérios a espaços de lazer, habitar, meditar.

Os pressupostos em que estão baseados os princípios da iluminação nestes locais são diversos, muito mais amplos e de difícil constatação, pois são de cariz subjectivo e estreitamente relacionados com as reacções humanas.

O nível de iluminância é uma importante característica da iluminação, assim como a distribuição dos seus diferentes valores pelo local em questão. Para a visão, um nível óptimo de iluminância não é necessariamente o mais alto, mas aquele que possibilita a melhor visão e um reconhecimento fácil da mensagem visual sem causar fadiga dos órgãos ópticos.

Existem outros factores como a proporção correcta de luminâncias, controlo das perturbações visuais (encandeamento), emprego correcto das cores, o sistema de iluminação adoptado, que fazem com que a iluminação mais satisfatória não seja aquela de mais alto nível de iluminância.

As necessidades humanas em relação ao conforto visual são hoje conhecidas, o que tem levado, cada vez mais, a um aumento qualitativo e não quantitativo da iluminação dos edifícios.<sup>25</sup>

#### 2.4.1.5 A LUZ SOLAR

A luz solar que ilumina o interior de um espaço não pode ser analisada sem ter em consideração a envolvente urbana que circunscreve o edificado. A luz solar assume várias características dependentes do clima, da morfologia do local, e das características reflectoras dos edifícios que compõem a urbe.

##### ▪ A LUZ SOLAR DIRECTA E REFLECTIDA

A entrada de luz directa deve ser ponderada com algum cuidado quando se inicia o projecto de um edifício. Para climas temperados, cuja predominância dos dias de sol se sobrepõe à existência de dias encobertos o desenho do invólucro exterior, nomeadamente as aberturas verticais do edifício, devem ser pensadas em função da radiação directa existente.

Nestes casos, e salvaguardando algumas excepções programáticas, a luz que serve os edifícios poderá basear-se na luz do hemisfério do céu. Contudo, ao ter em conta a orientação do edifício, a luz solar directa é considerada com um factor de importância para a qualidade do ambiente interior.

---

<sup>25</sup> Idem op. Cit., pp. 26 e 27

A luz solar indirecta, resultante das várias reflexões provenientes dos elementos da envolvente exterior, é muitas vezes a principal fonte de iluminação natural em edifícios, principalmente aqueles inseridos numa envolvente urbana compacta.<sup>26</sup>

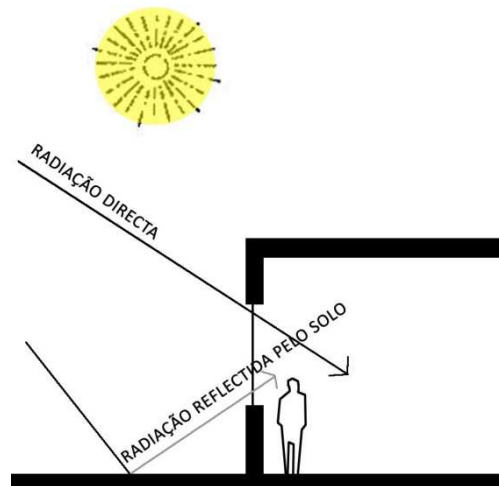


Figura 15 – Radiação solar directa e radiação solar indirecta (reflectida pelo solo)

▪ **REFLEXÃO DAS FACHADAS**

Em território urbano compacto a luz solar indirecta, proveniente da reflexão das fachadas, assume um papel preponderante na iluminação de edifícios adjacentes, principalmente nas condições em que o ângulo de incidência solar seja baixo.

Porém, há que ter em consideração, para climas soalheiros, este tipo de aproveitamento. As reflectâncias de paredes iluminadas, principalmente de cor clara, podem actuar como fontes de encadeamento.<sup>27</sup>

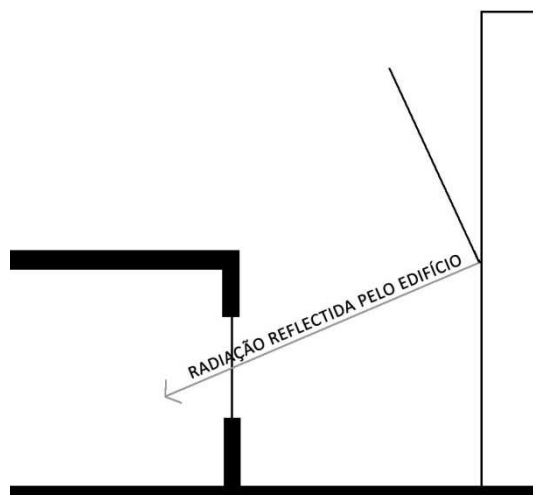


Figura 16 – Radiação reflectida pelo edifício adjacente

<sup>26</sup> Idem, op. Cit., pp. 28 e 29

<sup>27</sup> Idem

#### ▪ DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

*“A disponibilidade de luz natural para qualquer região é determinada pela quantidade de radiação solar luminosa incidente nas diferentes estações do ano; a incidência de radiação solar máxima durante todo o ano encontra-se nos lugares de céu claro no redor de latitudes de 15°N ou S. A incidência total máxima durante o dia dá-se em pleno Verão em locais onde o céu é claro, em torno de latitudes 40°N e S; quanto mais nuvens há numa região, menor é a incidência de radiação na superfície da terra; uma grande quantidade de pó numa região reduzirá em parte a incidência de radiação solar”.*<sup>28</sup>

#### 2.4.1.6 A LUZ DO HEMISFÉRIO DO CÉU

O balanço entre a luz do sol e a luz do céu é determinada pela natureza da atmosfera e da distância que os raios solares têm de percorrer até chegarem à Terra.

As iluminâncias na superfície terrestre produzidas pela luz natural podem atingir grandezas na ordem de 150.000 lux num dia soalheiro de Verão ou 1000 lux num dia de Inverno com céu encoberto. Existem vários modelos que ajudam a prever a luz incidente num plano para diferentes localizações e condições atmosféricas.

Estes modelos são ferramentas auxiliares na compreensão da contribuição da luz natural no interior dos edifícios.

A distribuição de luminâncias da luz natural difusa foi padronizada pelo CIE, através de modelos de céu: o Céu Encoberto – Padrão em 1955 e o Céu Limpo – Padrão em 1967.

Na prática, a distribuição da luminância do céu varia entre os dois tipos de céu padrão definidos pelo CIE.<sup>29</sup>

#### ▪ MODELOS DE CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA DO CÉU

*“A luminância do céu, varia de acordo com uma serie de parâmetros meteorológicos, sazonais e geométricos que não são fáceis de codificar.”*<sup>30</sup>

Ao longo de várias décadas foram desenvolvidos modelos de céu, padronizados pelo CIE, como resposta à dificuldade encontrada pelos projectistas na determinação das luminâncias. Através da simplificação de alguns procedimentos de cálculo o CIE estabelece alguns céus padrão que podem ser encarados como uma ferramenta de auxílio ao projecto.

O modelo mais simples apresentado pelo CIE corresponde à situação com uma Distribuição Uniforme da Luminância do Céu. Neste modelo estão integrados os seguintes parâmetros: luminância constante (não varia com parâmetros geométricos), céu encoberto com nuvens brancas, atmosfera com sujidade e sem sol visível.

Ao modelo de céu designado “Distribuição Padrão de Céu Encoberto” corresponde uma luminância não uniforme, variável com os parâmetros geométricos. As características meteorológicas que o definem são: céu encoberto com nuvens ligeiras, uma atmosfera limpa sem sol visível.

---

<sup>28</sup> Idem

<sup>29</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 28

<sup>30</sup> António Moret et al, op. Cit., pp.20 a 25

O modelo padrão “Distribuição de Céu Limpo” apresenta um céu de luminância variável nos parâmetros geométricos e com a posição do sol, representando uma situação meteorológica de céu limpo. Este modelo tem em consideração o efeito da variação da posição do sol apesar da luz directa do sol não ser contabilizada.

*“Dentro dos modelos apresentados, o projectista deverá utilizar aquele que mais se ajusta à situação climática concreta em que se insere o seu trabalho. Por outro lado, uma vez que estes modelos são generalistas, e não atendem a situações climáticas particulares, é de toda a conveniência, sempre que se justifique, precaver os desvios de comportamento do clima da região em relação ao modelo tipificado utilizado para o simular.”<sup>31</sup>*

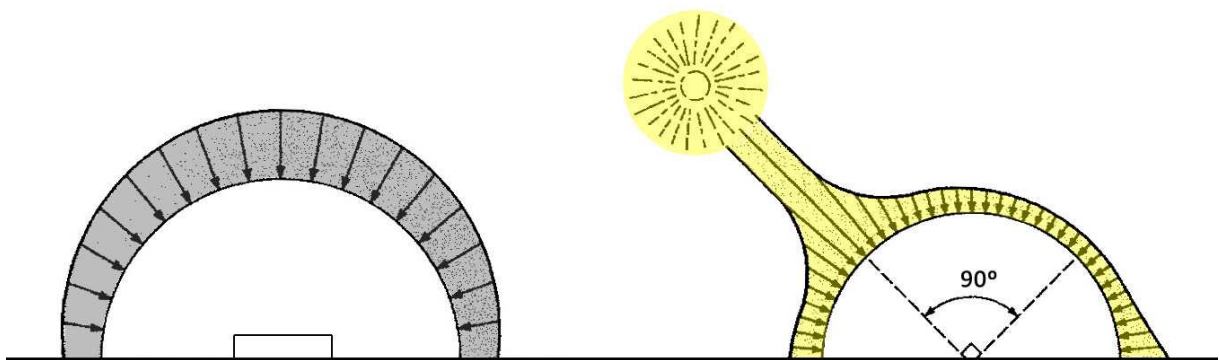


Figura 17 – Distribuição padrão de céu encoberto (esquerda) e modelo padrão de distribuição de céu limpo

## 2.4.2 A ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Um projecto de iluminação artificial deve ser concebido na óptica da sustentabilidade ambiental, integrado e ponderado em conformidade com a disponibilidade de luz natural e com desenho do edifício. A utilização dos espaços num período cada vez mais prolongado torna a iluminação artificial um aspecto incontornável da arquitectura. Face à demanda de edifícios menos energívoros, Nick Baker<sup>32</sup> apresenta 3 decisões preliminares que considera essenciais na abordagem ao projecto de iluminação artificial:

<sup>31</sup> Idem, op. Cit

<sup>32</sup> Nick Baker et al. – Daylighting in architecture – A European reference book. 1ª Edição. Londres: James & James Science Publishers, 1993, pp. 6.1

## A Estratégia de Iluminação

**Iluminação Geral:** uniformidade nas iluminâncias, distribuição regular das luminárias, independente do desenho do layout do espaço. Não atende às necessidades específicas de locais que requerem níveis de iluminância mais elevados.<sup>33</sup>

**Iluminação Localizada:** concentra as iluminâncias nos locais de maior interesse, maior eficácia energética.

As luminárias devem ser instaladas suficientemente altas para cobrir as superfícies adjacentes, possibilitando altos níveis de iluminância sobre o plano de trabalho, ao mesmo tempo que asseguram uma iluminação geral suficiente para eliminar fortes contrastes.<sup>34</sup>

**Iluminação de Tarefas Visuais:** controlada pelo utilizador, proximidade à tarefa visual iluminando uma pequena área, corresponde a um sistema flexível, a envolvente da tarefa visual não requer altos níveis de iluminação.

### O Tipo de Lâmpada

A escolha da lâmpada é determinada pelas suas características tais como a potência, restituição de cor, temperatura de cor, vida útil, eficácia luminosa.

### O Tipo de Luminária

A escolha é determinada em função da forma de distribuição da luz, tipo de utilização do espaço (posição das luminárias em relação ao utilizador de forma a evitar desconforto visual), manutenção, segurança.

Nos subcapítulos seguintes é apresentada uma descrição mais detalhada dos aspectos focados que modelam a iluminação artificial.

---

<sup>33</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., 199

<sup>34</sup> Idem pp. 200

### 2.4.2.1 ÍNDICE DE RESTITUIÇÃO DE COR

Um objecto ou uma superfície expostos a diferentes fontes de luminosidade são percebidos visualmente em diferentes tonalidades. Esta variação está relacionada com as diferentes capacidades das lâmpadas reproduzirem as cores dos objectos. Deste fenómeno assume-se que sem luz não há cor. À capacidade da luz incidente reproduzir cores, adoptou-se o conceito de restituição de cor (IRC) e uma escala qualitativa de 0 a 100. O índice de restituição de cor possui uma relação directa com a reprodução de cores obtida com a luz natural. A luz artificial, como regra, deve aproximar-se ao máximo das características da luz natural (IRC = 100), à qual o olho humano está naturalmente adaptado. A percepção mais correcta das cores ocorre quando colocamos um objecto sob o efeito da luz natural.<sup>35</sup>

A CIE classifica o Índice de Restituição de Cor ( $\hat{I} = [0, 100]$  Ra), através de uma análise comparativa da luz natural com outras fontes de luz branca, classificando-as nas seguintes categorias:

#### Muito boa restituição de cor

- 1a – Índice maior ou igual a 90 e menor que 100;
- 1b – Índice maior ou igual a 80 e menor que 90;

#### Boa restituição de cor

- 2a – Índice maior ou igual a 70 e menor que 80;
- 2b – Índice maior ou igual a 60 e menor que 70;

#### Razoável restituição de cor

- 3 – Índice maior ou igual a 40 e menor que 60;

#### Má restituição de cor

- 4 – Índice maior ou igual a 20 e menor que 40;

#### Restituição de cor sem significado

- 5 – Valores inferiores a 20.

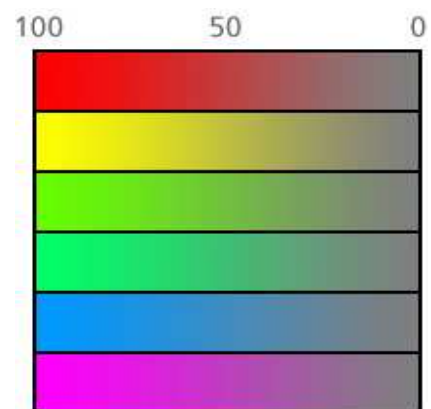


Figura 18 – Índice de restituição de cor

<sup>35</sup> Idem pp. 202



### 2.4.2.2 TEMPERATURA DE COR

Temperatura de Cor é o termo utilizado para descrever a aparência de cor de uma fonte comparada à cor emitida por um corpo negro, corpo que, teoricamente, irradia toda a energia que recebe. Um corpo negro muda de cor ao mudar de temperatura, existindo, assim, uma relação entre temperatura e a cor de luz emitida, expressa pela “temperatura de cor” em graus Kelvin  $^{\circ}\text{K}$  (em graus Kelvin) corresponde ao 0 absoluto, e é igual a  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . A conversão de um valor em  $^{\circ}\text{K}$  para  $^{\circ}\text{C}$  consegue-se subtraindo "273".

A CIE divide as lâmpadas em três grupos:

- 1 - Luz quente para lâmpadas com uma CTC<sup>36</sup> inferior a 3300K;
- 2 - Luz intermédia para lâmpadas com uma CTC entre 3300K e 5300K;
- 3 - Luz fria para lâmpadas com uma CTC superior a 5500K.

A maioria das lâmpadas inclui-se nas classes de quente e intermédia, com CTC típicos de 3000, 3500 e 4000K; ou de  $2700^{\circ}\text{K}$  para lâmpadas concebidas para se conjugarem com fontes incandescentes.

A convenção internacional de considerar as luzes mais avermelhadas "quentes" e as mais azuladas "frias" corresponde ao inverso da sua cor em termos de temperatura. A convenção aceita considera as alterações perante a temperatura, com o aquecimento a corresponder ao vermelho, e o arrefecimento ao azul. Mas no que refere à temperatura de cor, uma lâmpada de tungsténio, que tem uma temperatura de cor de cerca de 2800K e é observada como "quente", enquanto a temperatura de cor de um céu encoberto é de cerca de 6500K, e transmite uma luz "fria". Uma lâmpada fluorescente fria possui uma temperatura de cor superior a uma lâmpada "quente".<sup>37</sup>

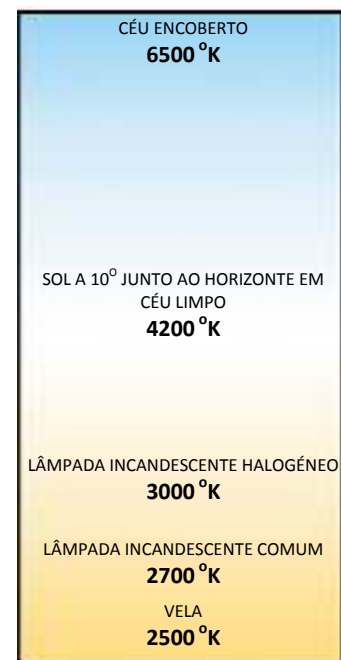


Figura 19 – Temperatura de cor

<sup>36</sup> Correlação de Temperatura de Cor

<sup>37</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 37

### 2.4.2.3 EFICÁCIA LUMINOSA E TEMPO DE VIDA

Por Eficácia Luminosa entende-se a capacidade de determinada fonte de iluminação produzir luz em menor ou maior quantidade, ou seja, quantos Lúmens são produzidos por cada Watt de energia consumida.

Existe uma estreita ligação entre eficácia de uma lâmpada e a sua restituição de cor. Quanto maior a primeira, pior será a segunda.<sup>38</sup>

Lâmpada	Índice de Restituição de Cor	Eficácia Luminosa	Temperatura de Cor
Branca Fria (Philips)	65 Ra	80 Lm/W	4100°K
Branca Natural (Philips)	93 Ra	43 Lm/W	4100°K

Tabela 1 – Relação entre o Índice de Restituição de cor e Eficácia luminosa. (VIANNA, 2001 – pp.205)

Em termos de tempo de vida (ou durabilidade) este varia desde as 25 horas para alguns tipos de lâmpadas de projector até cerca das 60.000 horas para as lâmpadas de indução. Uma vez que a substituição de uma lâmpada pode custar várias vezes em mão-de-obra o preço da lâmpada a substituir, o tempo de vida será um critério importante a considerar na selecção da fonte de luz mais apropriada.<sup>39</sup>

### 2.4.2.4 FONTES DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

#### ▪ AS PRIMEIRAS FONTES DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A primeira forma de luz artificial utilizada por humanos foi o fogo, conseguida através da combustão da madeira. Os desenvolvimentos da tecnologia levaram à criação da lâmpada a óleo, da vela e, posteriormente, da lâmpada a gás, todas estas dependentes da queima de um combustível.<sup>40</sup>

Este tipo de iluminação produzida a partir de uma combustão ainda hoje é utilizada, quer seja por necessidade ou na criação de ambiências.

Todavia, a sua utilização como fonte principal de iluminação é incomum nos dias de hoje, a pouca funcionalidade associada torna rara a sua utilização quando se dispõe de electricidade.

Existem três razões para que tal aconteça: a primeira prende-se com o risco de ocorrência de incêndio devido à utilização de chamas abertas no interior de compartimentos, a segunda corresponde à degradação da qualidade do ar nos espaços confinados, face ao nível elevado de poluição produzida durante a combustão.

A terceira razão, e a mais importante, a fraca eficácia luminosa.<sup>41</sup>

<sup>38</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., 205

<sup>39</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 42

<sup>40</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 30

<sup>41</sup> Idem, pp. 38

#### ▪ A ILUMINAÇÃO ELÉCTRICA – TIPOS DE LÂMPADAS E CARACTERÍSTICAS

Na escolha de determinado tipo de lâmpada, há que ter em consideração os aspectos focados nos pontos anteriores: a capacidade de restituição de cor, a temperatura de cor, a eficácia luminosa e o tempo de vida.

Contudo, esta escolha nem sempre é de fácil determinação, necessariamente, há que optar entre um bom rendimento e uma baixa restituição de cor; um baixo rendimento e uma boa restituição de cor; ou um equilíbrio entre ambos que terá implicações económicas mais expressivas que as duas soluções anteriores.

No mercado existe uma quase infinita quantidade de lâmpadas eléctricas, porém, as que, comumente, são utilizadas na iluminação eléctrica podem dividir-se em duas categorias: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga.

As lâmpadas incandescentes produzem luz através do aquecimento de um filamento de tungsténio até à incandescência<sup>42</sup>. As lâmpadas de descarga produzem luz através de descarga de gás e precisam de um arrancador para funcionar: a corrente eléctrica passa através de um gás e não de um filamento (como nas incandescentes). As lâmpadas incandescentes operam directamente a partir da corrente eléctrica, enquanto as lâmpadas de descarga necessitam de dispositivos de controlo, pois e necessários assegurar diferentes condições eléctricas no início do funcionamento da lâmpada (arranque) e quando esta se encontra em serviço.<sup>43</sup>

#### ▪ LÂMPADAS INCANDESCENTES

##### Lâmpada Incandescente Comum ou de Tungsténio

A lâmpada de tungsténio ou incandescente transmite luz a partir de um filamento de tungsténio aquecido a cerca de 2700°C pela passagem de corrente eléctrica através dele. Existe uma grande variedade de lâmpadas de tungsténio disponíveis no mercado, com variadas características.<sup>44</sup>

Este tipo de lâmpadas é o mais utilizado na iluminação interior sendo, no entanto, o que menor eficácia luminosa e tempo de vida média apresenta (cerca de 1 000 horas), contudo, o seu menor custo face às demais disponíveis no mercado faz com que seja bastante procurada e utilizada.



Figura 20 – Lâmpadas incandescentes comuns

<sup>42</sup> Estado de um corpo aquecido até se tornar branco

<sup>43</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 31

<sup>44</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 31 e Fernanda Sá de Oliveira, op. Cit., pp. 40

### Lâmpada de Halogéneo

Como as lâmpadas de incandescência, as lâmpadas de halogéneo possuem um filamento que emite luz com a passagem da corrente eléctrica. Parte do filamento, que é constituído por átomos de tungsténio, evapora-se durante o processo. Nas lâmpadas de incandescência convencionais, os átomos de tungsténio depositam-se na superfície interna da ampola, o que significa que a ampola deverá ser suficientemente grande para evitar o seu rápido escurecimento. Já as lâmpadas de halogéneo, são preenchidas com gases inertes e halogéneo (iodo, cloro, bromo) que capturam os átomos de tungsténio e os transportam de volta para o filamento. Com isto, o tamanho da lâmpada pode ser reduzido significativamente, emitindo uma luz mais brilhante e tendo uma maior durabilidade. Em termos de economia, as lâmpadas de halogéneo oferecem mais luz com potência menor ou igual à das incandescentes comuns, além de possuírem uma vida útil mais longa, variando entre 2.000 e 4.000 horas.

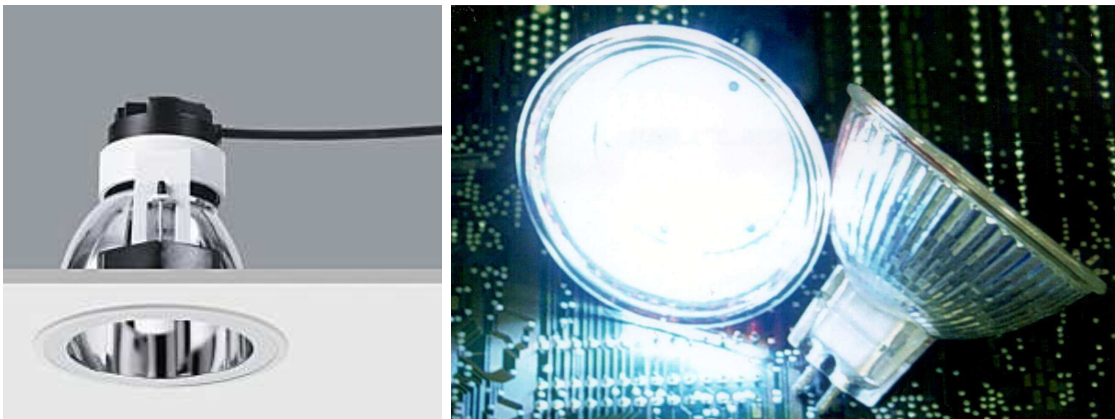


Figura 21 – Lâmpadas de halogéneo

#### ▪ LÂMPADAS DE DESCARGA

A luz emitida por uma lâmpada de descarga é produzida pela passagem da corrente eléctrica num gás ou vapor ionizado que, ao colidir com a pintura fluorescente ou com cristais de fósforo no interior do tubo, emite radiação sob a forma de luz visível.

São classificadas em função da pressão interna do bolbo em lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga de alta pressão.

#### Lâmpadas de Descarga de Baixa Pressão

##### Lâmpada Fluorescente (*Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Baixa Pressão*)

A lâmpada fluorescente seja linear ou compacta, consiste numa ampola de vidro encerrando uma atmosfera de mercúrio.

A ampola é revestida interiormente por pó fluorescente e tem no seu interior árgon e vapor de mercúrio a baixa pressão. As substâncias fluorescentes do tubo têm a função de transformar as radiações invisíveis (ultravioletas) emitidas em radiações visíveis.

A lâmpada fluorescente enquanto lâmpada de descarga necessita de um sistema de controlo, usualmente designado balastro<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> São equipamentos auxiliares necessários para o acendimento das lâmpadas de descarga. Servem para limitar a corrente e adequar as tensões para o perfeito funcionamento das lâmpadas. Os tipos de balastros encontrados no mercado são: electromagnéticos ou electrónicos.

A lâmpada fluorescente surgiu no mercado no final dos anos 30 e a sua utilização generalizou-se até à actualidade em inúmeras aplicações, devido à sua elevada eficácia luminosa (60-110 Lm/W).<sup>46</sup>



Figura 22 – Lâmpadas fluorescentes compactas

#### Lâmpada a Vapor de Sódio de Baixa Pressão

Esta lâmpada é constituída por uma ampola, dentro da qual existe um tubo de descarga com gás (néon ou árgon) e sódio depositado nas suas paredes.

A ionização do gás desta lâmpada tem e ser feita com uma tensão relativamente elevada (superior à da rede), pelo que se utiliza no seu arranque um transformador.

Electricamente esta lâmpada funciona de forma idêntica à lâmpada fluorescente, contudo, a proximidade do seu comprimento de onda (589 nm) ao nível de maior sensibilidade espectral do olho humano (555 nm), faz com que seja a lâmpada com maior eficácia luminosa de todas as fontes artificiais de luz disponíveis<sup>47</sup>. Porém, emite praticamente uma só cor (amarelo – alaranjado) não permitindo a distinção das cores dos objectos que ilumina<sup>48</sup>. Desta forma a sua aplicação estende-se, sobretudo, à iluminação de estradas, túneis, zonas ao ar livre.<sup>49</sup>



Figura 23 – lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão

<sup>46</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 33

<sup>47</sup> Superior a 180 lm/W, Idem, pp. 33

<sup>48</sup> Fraco índice de restituição de cor

<sup>49</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 34

## Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão

### Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

A lâmpada a vapor de mercúrio é semelhante à lâmpada fluorescente, excepto na pressão interior do tubo. Esta lâmpada começou a ser comercializada no início dos anos 30, porém a sua utilização caiu em desuso. Possui uma baixa eficácia luminosa comparativamente a outras lâmpadas de descarga de alta pressão e uma fraca restituição de cores. O único factor abonatório é o seu baixo custo.<sup>50</sup>



Figura 24 – Lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão

### Lâmpada de Iodetos Metálicos (*Metal Halide Lamp*)

Introduzida no mercado no final de 1960<sup>51</sup>, são lâmpadas que combinam iodetos metálicos<sup>52</sup> apresentando uma altíssima eficiência energética e excelente índice de reprodução de cor. Com uma luz extremamente branca e brilhante realça e valoriza espaços e ilumina com intensidade, além de apresentar longa durabilidade e baixa carga térmica.



Figura 25 – Lâmpadas de iodetos metálicos

### Lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão

Têm uma elevada eficácia luminosa, longa durabilidade e, conseqüentemente, longos intervalos para reposição, fazendo destas uma fonte de luz mais económica.

Estas lâmpadas diferem pela emissão de luz branca de menor eficácia luminosa e laranja de maior eficácia luminosa. Este tipo de lâmpada é indicado para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um factor importante.

<sup>50</sup> Idem, 34

<sup>51</sup> Idem, 35

<sup>52</sup> Escândio e Sódio, Peter Boyce, op. Cit., pp. 35

#### 2.4.2.5 DISTRIBUIÇÃO E SISTEMAS DE CONTROLO DA LUZ

A capacidade de produzir luz é apenas parte do processo para produzir iluminação, a outra parte corresponde à distribuição e controlo da luz a partir dessa mesma fonte.<sup>53</sup>

A distribuição da Luz Natural é conseguida através de janelas, de clarabóias, etc., enquanto o controlo é feito por intermédio de dispositivos de sombreamento como estores, cortinas ou palas. Para fontes eléctricas de iluminação a distribuição da luz é realizada através da ligação da fonte eléctrica a uma luminária<sup>54</sup>.

Além de assegurar o suporte mecânico das lâmpadas, as luminárias possuem dispositivos que protegem e modificam a luz emitida por estas. Podendo operar individualmente ou em simultâneo, as luminárias possuem dispositivos difusores<sup>55</sup>, reflectores<sup>56</sup> e refractores<sup>57</sup>.

O balanço desejado entre a redução da saída de luz e a precisão da sua distribuição num compartimento é o factor que dita a opção por determinada luminária.<sup>58</sup>

Para fontes eléctricas a saída luz pode ser regulada por sistemas de comutação ou por sistemas de controlo da intensidade da luz (dimmers).<sup>59</sup>

Os sistemas de comutação podem variar do convencional interruptor (operado manualmente) aos sistemas mais sofisticados que ligam ou desligam as lâmpadas junto às janelas mediante a disponibilidade de luz natural.

Também existem sistemas de comutação temporizados, com aplicação em alguns escritórios, que se desligam parcialmente ou totalmente, findado o período laboral. Nos sistemas de comutação automáticos destacam-se ainda os sensores de presença.

Um sistema de comutação manual permite o controlo por parte do utente, sendo este a gerir as necessidades de luz do ambiente em que se encontra, por outro lado, pode gerar um aumento no consumo energético se os utilizadores não fizerem uma gestão racional da iluminação.

Para colmatar situações deste género poder-se-á recorrer a um sistema de ligar manual e desligar automático.

Num sistema inteiramente automático há que ter em consideração os períodos de funcionamento da luz e coaduná-los com os períodos de actividade humana nos espaços.<sup>60</sup>

---

<sup>53</sup> Idem, pp. 41

<sup>54</sup> Luminária é um suporte de iluminação onde se montam as lâmpadas, mas estas são consideradas à parte

<sup>55</sup> O difusor evita que a luz seja enviada directamente da lâmpada para os objectos ou pessoas

<sup>56</sup> O reflector é uma superfície que existe no interior de uma luminária e que reflecte a luz. Desta forma, a luz é melhor aproveitada: a porção da luz emitida para cima, no caso duma lâmpada pendurada no tecto, é reenviada para baixo

<sup>57</sup> O refractor é uma situação intermédia entre difusor e reflector

<sup>58</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 41

<sup>59</sup> Comissão das Comunidades Europeias – A Green Vitruvius. 1ª Edição. Lisboa: Ordem dos Arquitectos, 2001, pp. 102

<sup>60</sup> Peter Boyce, op. Cit., pp. 42

## 2.5 A IMPORTÂNCIA DO PROJECTO DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A importância da iluminação natural no projecto de edifícios tem vindo a ser acentuada nos últimos anos pelos novos métodos de construção, que permitem uma maior liberdade de expressão na arquitectura, mas tem o efeito reverso de estar desprovida de bases de apoio para a concepção de ambientes luminosos adequados ao conforto e ao bem-estar dos utentes.

A actividade mais recente no domínio da investigação sobre iluminação natural veio acentuar a existência de um grande número de cálculos existentes, e servir de guia para ajudar o projectista a escolher os melhores meios de chegar a resultados seguros, com rapidez e considerável exactidão. No entanto, deve-se ter em consideração que os múltiplos métodos existentes, pela sua especificidade e adequação a situações muito precisas, não permitem uma abrangência tal que adquiram a importância de uma metodologia. No entanto, esta falta de conjugação clara e directa entre os diferentes métodos não resulta necessariamente na impossibilidade de resolver a iluminação natural num determinado edifício, uma vez que várias estratégias poderão ser adoptadas para uma mais próxima aproximação às soluções desejadas.<sup>61</sup>

A luz de dia que entra num edifício, através das suas aberturas, resulta da combinação de três fontes: iluminação directa da abóbada celeste, iluminação directa do sol e iluminação reflectida, quer do solo quer de outras superfícies exteriores que também são iluminadas naturalmente. A luz de cada uma destas fontes varia não só em intensidade, mas também em qualidade: cor, capacidade de difusão e eficácia.

As componentes da luz de dia resultantes da reflexão - solo e superfícies exteriores - podem constituir uma importante fonte de iluminação interior, sobretudo nos casos em que as janelas não estão voltadas directamente para o sol.

Embora as condições do céu possam ser infinitamente variáveis, é útil compreender a iluminação natural resultante de duas condições particulares: o céu nublado sem sol e céu nublado com sol. Um projecto de iluminação natural que atenda a estes dois tipos de condição de céu, estará apto para a maior parte das outras condições de céu que possam ocorrer.<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> Idem, pp. 42 a 44

<sup>62</sup> António Moret et al, op. Cit., pp. 25



### 3. ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS OPTIMIZADORAS DA LUZ NATURAL

A preocupação com o ambiente, e as repercussões da actividade humana sobre o planeta, constituem um dos temas centrais da actualidade. Numa altura em que graves problemas como a poluição, o aquecimento global, e a escassez de recursos estão na ordem do dia, é incutida ao arquitecto uma maior responsabilidade ambiental, no reconhecimento do impacto que a arquitectura e a construção têm no desenvolvimento das cidades e na forma como os seus habitantes interagem. Esta responsabilidade traduz-se no entendimento das consequências energéticas e ambientais das soluções adoptadas imediatamente nas fases preliminares de concepção, tendo em vista a melhoria das condições de habitabilidade nos edifícios.

A indústria da construção representa uma actividade económica com grande impacto sobre o ambiente e o património natural tendo, também, um enorme impacto sobre o ambiente construído e o património arquitectónico. Em Portugal, tem-se assistido a um surto construtivo de grande intensidade que se tem verificado num crescimento urbano desordenado, envolvendo a degradação dos solos, o aumento do risco de cheias catastróficas e uma pressão exagerada sobre a orla costeira. Contudo, o incremento da responsabilidade ambiental que é imputada aos decisores políticos, aos arquitectos, urbanistas, engenheiros, promotores e empreiteiros, prefigura transformações importantes no sector da construção civil.

A reutilização de um edifício existente é uma das mais eficazes estratégias sustentáveis. Poupa-se nos materiais, na energia e nos custos de poluição envolvidos na construção de um novo edifício e, também, em novas instalações e infra-estruturas que seriam necessárias num local virgem. A reabilitação de edifícios constitui hoje mais de um terço do output da construção na UE. Prevê-se que este valor aumentará se o parque de edifícios existentes continuar a crescer e se alastrar a consciência das vantagens económicas e ambientais da renovação de edifícios.<sup>63</sup>

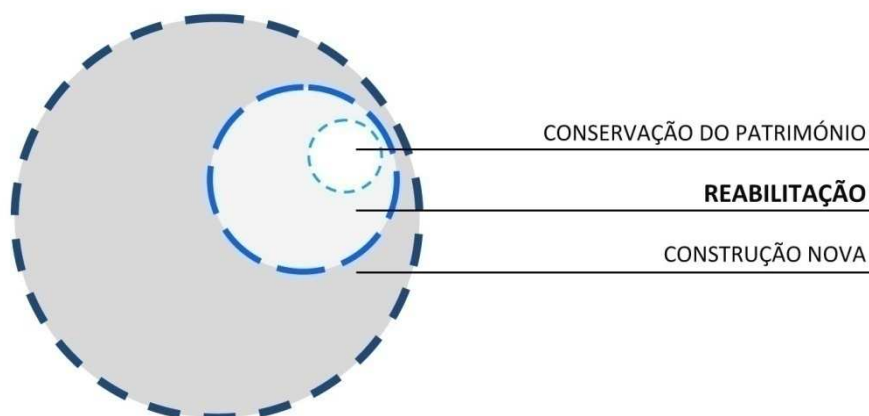


Figura 26 – Esferas de actuação da construção civil

<sup>63</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op cit., pp. 87

Esta Dissertação tem como principal objectivo adequar um conjunto de estratégias sustentáveis de optimização da Luz Natural a um Edifício Pombalino inserido na Baixa Lisboeta.

É importante referir que o desenho e a materialização de um edifício sustentável são aspectos que não podem ser abordados sob um único ponto de vista e numa vertente de conhecimento específica, isolada das restantes. A sustentabilidade de um edifício corresponde a um processo multidisciplinar que integra um conjunto de Variáveis de Conforto Ambiental<sup>64</sup> interdependentes:

| O Clima | A Orientação e a Implantação do Edifício |<sup>65</sup>  
| A Iluminação | A Térmica | A Ventilação | A Acústica |<sup>66</sup>

Contudo, por uma questão de simplificação pretendem-se deixar aqui patente, apenas os aspectos que concernem à Iluminação Natural e às formas de a optimizar, mas que, de antemão, estão dependentes e relacionadas com as demais componentes de conforto ambiental da arquitectura e do clima.



Figura 27 – Condicionantes à intervenção sustentável: clima, situação geográfica, intervenção humana, disponibilidade de recursos

No presente capítulo são abordados:

- Os sistemas de Iluminação Natural em edifícios e a estratégias optimizadoras de cada sistema;
- Os dispositivos de Controlo e Sombreamento, caracterizando a sua implantação nos edifícios e a forma como cada um dos exemplos cumpre os objectivos de regular ou admitir a luz natural nos compartimentos;
- O caso de estudo do Reichstag do arquitecto Norman Foster no qual foram aplicadas algumas das soluções abordadas nos subcapítulos anteriores.

<sup>64</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., pp. 5

<sup>65</sup> Idem

<sup>66</sup> Idem

### 3.1 COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO NATURAL

De forma a obter os maiores benefícios da luz natural é necessário adquirir um conhecimento mais aprofundado do comportamento da luz no interior dos espaços, facultando todas as possibilidades e ferramentas ao arquitecto para o desenho do edifício, cujo aproveitamento da iluminação natural seja um aspecto importante. A primeira abordagem consiste em perceber a forma como as componentes da iluminação natural produzem os seus efeitos no desenho arquitectónico. As diferentes componentes existentes e as suas performances luminosas, individuais ou combinadas, devem ser analisadas de molde a se enquadrarem adequadamente ao programa do edifício em questão.

Um projecto de iluminação natural não se resume a implantar janelas em edifícios que, se não fosse esse motivo, não necessitariam delas. Em muitos, casos, mais que calcular áreas de envidraçados, é importante estudar a sua localização na envolvente, de modo a ser obtida no interior, uma distribuição de luz natural adequada e com a qualidade exigida para os fins pretendidos.<sup>67</sup>

Para a classificação das componentes de iluminação natural é prioritário diferenciá-las em dois grupos: componentes de condução e componentes de passagem.

As componentes de condução, que de forma simplificada correspondem aos espaços, dirigindo e distribuindo a luz no interior dos mesmos, ligando as várias componentes de passagem.

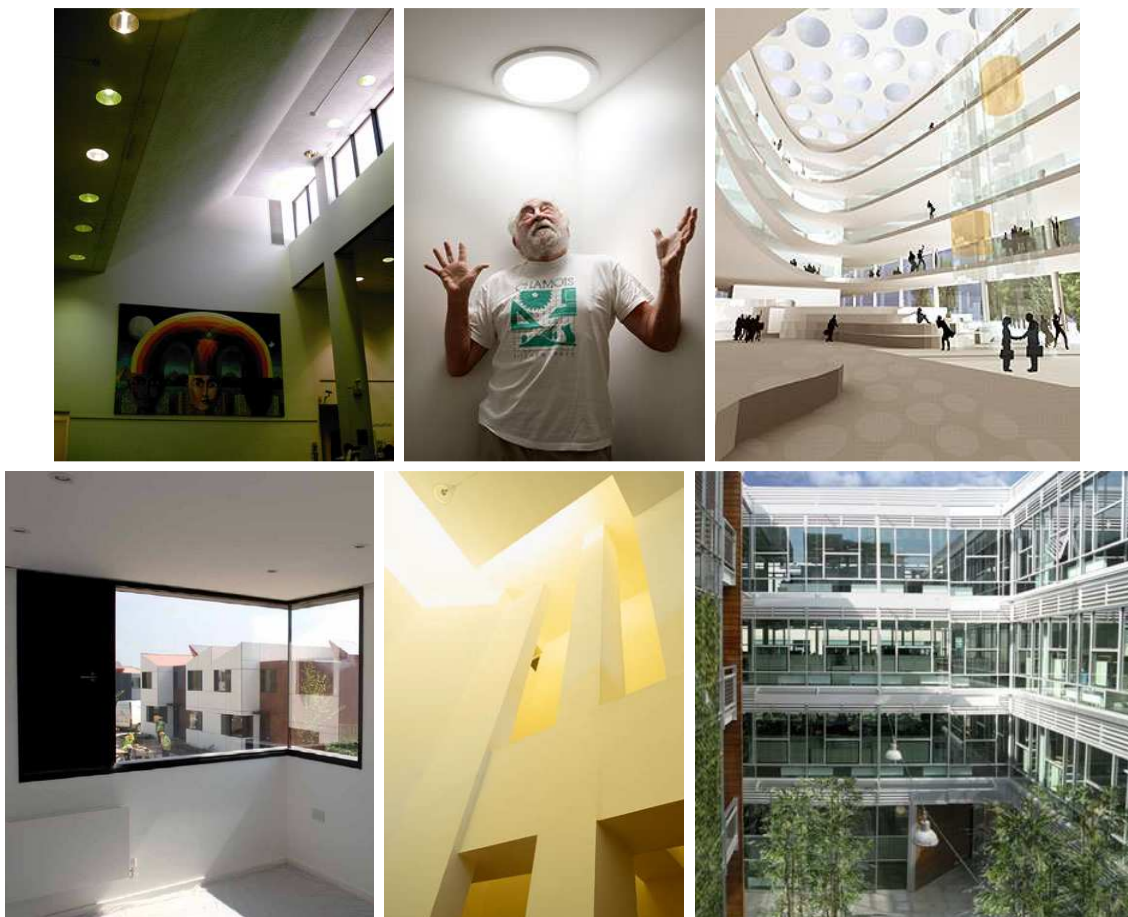


Figura 28 – Algumas componentes da iluminação natural

<sup>67</sup> Nick Baker e Koen Steemers – Daylight Design of Buildings. 1ª Edição. Londres: James & James, 2002, pp. 72

As componentes de passagem, das quais a janela é a mais comum, correspondem aos dispositivos desenhados no interior e exterior dos espaços que possibilitam a passagem da luz de um ambiente iluminado para outro. Utilizando esta aproximação, podem ser estabelecidas várias combinações: os elementos de condução podem estar associadas a elementos de passagem localizadas em diferentes pontos de um edifício. As componentes de passagem podem ainda incorporar um conjunto de elementos de controlo, que funcionam como dispositivos para admitir e/ou controlar a entrada da luz no edifício.<sup>68</sup>

<b>COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO NATURAL (BAKER et al., 1993 – pp. 5.2 – 5.6 e 5.10 – 5.25)</b>		
<b>Componentes de Condução</b>	<b>Componentes de Passagem</b>	<b>Dispositivos de Controlo</b>
<b>Espaços de luz Intermediários</b>	<b>Sistemas Laterais</b>	<b>Superfícies de Separação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Galerias</li> <li>– Pórticos</li> <li>– Estufas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Janela de peito</li> <li>– Sacada</li> <li>– Parede Translúcida</li> <li>– Cortina de Vidro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Divisória Convencional</li> <li>– Divisória Óptica</li> <li>– Divisória Prismática</li> <li>– Divisória Activa</li> </ul>
<b>Espaços de Luz Interiores</b>	<b>Sistemas Zenitais</b>	<b>Protecções Flexíveis</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pátio Interior</li> <li>– Atrium</li> <li>– Ducto de Luz</li> <li>– Ducto de Sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Clerestório</li> <li>– Monitor ou Lanternim</li> <li>– Shed</li> <li>– Cobertura Translúcida</li> <li>– Cúpula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Toldo</li> <li>– Cortina</li> </ul>
		<b>Protecções Rígidas</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pala Horizontal</li> <li>– Prateleira de Luz</li> <li>– Pala vertical</li> </ul>
		<b>Filtros Solares</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lamelas fixas ou Móveis</li> <li>– Estores</li> </ul>

Tabela 2 – Síntese das Componentes de Iluminação Natural

Nos subcapítulos que se seguem, são analisadas mais detalhadamente algumas das componentes de iluminação supracitadas.

<sup>68</sup> Nick Baker et al., op. cit. pp. 5.1

### 3.1.1 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

#### 3.1.1.1 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO LATERAL

A forma mais comum de introduzir a luz natural num espaço é através de aberturas verticais nas paredes através da iluminação lateral. A localização, a forma e a dimensão de uma janela desempenham uma forte influência na distribuição dos níveis de luz natural num qualquer compartimento interior.

Um aspecto crítico que surge nos espaços iluminados lateralmente corresponde à falta de uniformidade na distribuição da luz pelo espaço, no qual as iluminâncias vão decaindo em intensidade à medida que nos afastamos da abertura.

A variação inerente às iluminâncias num sistema de iluminação lateral nos espaços sugere uma correspondente diferenciação dos usos. As tarefas visuais que requerem uma maior acuidade devem ser localizadas o mais próximo das aberturas. Inversamente, actividades que não requeiram níveis de iluminâncias elevados, como zonas de circulação, de arrumos, podem ser localizados a uma maior distância das fachadas.<sup>69</sup>

Para perceber as estratégias de iluminação natural, é importante compreender e examinar a luz recebida e distribuída por uma janela comum.<sup>70</sup>

##### ▪ A JANELA

Parte do segredo de uma boa iluminação lateral baseia-se na adequada localização das janelas em relação ao interior e nas características que cada tipo de janela possui, analisados do ponto de vista luminotécnico.<sup>71</sup>

A janela corresponde à componente mais elementar da iluminação natural nos edifícios ao longo da história da Arquitectura. Apresenta-se sob a forma de aberturas no invólucro vertical de um edifício e possibilita a interacção entre o espaço Interior/Exterior. A janela é o elemento através do qual ocorrem transferências acústicas, térmicas, iluminação natural, ventilação natural e de comunicação com a envolvente exterior através de vistas. A sua correcta concepção e utilização permite melhorar as condições visuais e enfatizar aspectos no interior.



Figura 29 – Tipos de janela

<sup>69</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 63 e Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., pp. 129

<sup>70</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 375

<sup>71</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., pp. 134

A janela caracteriza-se pelo tipo, dimensão, forma, localização, orientação e ainda pela existência de dispositivos de controlo que permitem distribuir e regular as interações que se estabelecem entre o exterior e o interior do edifício.<sup>72</sup>

#### ▪ TIPO, DIMENSÃO E FORMA

O **tipo** de janela a utilizar em projecto está relacionado com a função a que se destina. Se a função principal da janela for a iluminação esta deverá ser posicionada a uma altura elevada em conformidade com a dimensão da abertura, otimizando a entrada de luz natural.

Se o aspecto a solucionar for a ventilação natural a posição da janela na parede é mais relevante que a dimensão da mesma.

Para uma melhor comunicação visual com o exterior a dimensão e a altura do parapeito da janela face ao nível do piso correspondem a aspectos de grande importância. Quanto mais baixa a janela, mais favorável será a vista para o exterior. Na prática, as três funções mencionadas coexistem na maioria das janelas utilizadas na construção corrente.<sup>73</sup>

A escolha da **forma** e da **dimensão** da janela irá depender de factores tais como a profundidade da sala e a orientação da janela.

Uma janela vertical (coeficiente de forma=2) assegurará uma boa penetração da luz natural até às zonas mais profundas da sala, porém, a distribuição da luz ao longo do dia é muito variável podendo conduzir a situações de encadeamento excessivo.

As janelas horizontais com coeficiente de forma =  $\frac{1}{2}$  oferecem uma melhor vista para o exterior, e a distribuição da luz ao longo do dia não sofre grandes variações. Apesar de ser uma solução que não origina situações de encadeamento tão severas, a iluminação natural no interior só é significativa até uma determinada distância a partir da janela, com facilidade se atingem níveis de iluminâncias muito reduzidos sendo necessário recorrer a sistemas de iluminação artificial.

Por vezes a janela poderá ser repartida para satisfazer diferentes necessidades: poder-se-á dispor uma janela mais baixa para proporcionar vistas e uma mais alta para iluminação natural. As janelas com vergas altas e palas reflectoras proporcionam níveis de iluminação natural particularmente uniformes, em toda a profundidade do espaço.<sup>74</sup>



Figura 30 – Janela vertical e janela horizontal

<sup>72</sup> Nick Baker et al., op. cit. pp. 5.7

<sup>73</sup> Idem, pp.5.7

<sup>74</sup> Idem, pp.5.7 e Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 7.

## ▪ LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO

A classificação de uma janela quanto à sua **localização** está dependente da parede em que se insere, funcionando como referencial, a parede ajuda a descrever e caracterizar o tipo de janela utilizada em edifícios.

Sendo a altura da parede o elemento comparativo, a janela pode ser classificada como: Janela Alta, Janela Intermédia e Janela Baixa. Quanto mais alta a janela, mais profunda a penetração da luz, existindo uma melhor distribuição da iluminação no interior. Uma posição mais alta também promove a extracção do ar quente através da ventilação natural. A altura do parapeito da janela corresponde ao factor determinante da possibilidade de vista para o exterior.

Relativamente à largura da parede classifica-se a janela como central, lateral ou de canto, sendo que uma janela localizada ao centro da parede produz uma melhor distribuição da luz enquanto uma janela de canto produz menor encadeamento.<sup>75</sup>

Devido à utilidade dos ganhos solares directos, a **orientação** de janelas a Sul é normalmente a melhor solução no que toca à Iluminação Natural, uma vez que recebe de forma mais consistente a luz ao longo do dia e do ano.<sup>76</sup>

Em países como Portugal, caracterizados de grosso modo por dias de céu limpo, no Inverno, os ganhos solares através das janelas dispostas a Sul são também uma forma de aquecimento passivo, desejável nos meses mais frios.

A orientação de janelas a Norte é, hierarquicamente, a segunda melhor solução.

Apesar dos envidraçados a Norte receberem a menor quantidade de luz do dia, a luz natural recebida apresenta-se muito constante ao longo de todo o dia e uma boa qualidade para espaços em que seja aceitável uma luz mais branca.

Em climas bastante quentes, a orientação a Norte pode ser preferível em detrimento de uma localização a Sul, face ao excessivo encadeamento provocado pelos ganhos solares directos.

No que toca a dispositivos de controlo e sombreamento a orientação Norte pode ser desejável uma vez que não requer dispositivos de controlo ajustáveis devido à pouca variabilidade da luz.

As piores orientações são Este e Oeste. Não só pelo facto destas orientações receberem a luz natural em metade do período diurno, como os ganhos solares são maiores no Verão e menores no Inverno. O pior problema, contudo, é que nestas orientações o sol está a um ângulo baixo, criando desconforto visual devido à existência de sombras e encadeamento.<sup>77</sup>

A radiação admitida através de janelas a Este ou Oeste apresentam problemas no controlo da iluminação, sendo necessários dispositivos de sombreamento ajustáveis. A Norte e a Sul o controlo da iluminação é de mais fácil resolução podendo optar-se por sistemas de controlo fixos.<sup>78</sup>

---

<sup>75</sup> Nick Baker et al., op. cit. pp. 5.8

<sup>76</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 372

<sup>77</sup> Idem, pp. 373.

<sup>78</sup> Nick Baker et al., op. cit. pp. 5.8

- **DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO**

Os **dispositivos sombreadores** podem ser usados para reduzir o encadeamento e os ganhos de calor durante o dia, bem como as perdas térmicas durante a noite, na condição de serem apropriados para o local e a orientação.<sup>79</sup>

Existe uma vasta panóplia de dispositivos e estruturas de sombreamento que serão analisados com maior detalhe num subcapítulo posterior.

### 3.1.1.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ZENITAL

Alguns dos problemas associados à distribuição de luz resultantes de um sistema de Iluminação Lateral podem ser evitados admitindo a luz através da cobertura, por intermédio de um Sistema de Iluminação Zenital.

A forma mais simplificada deste sistema consiste numa abertura horizontal numa cobertura também horizontal. Contudo, as soluções de iluminação zenital apresentam geometrias mais complexas que a citada anteriormente.

Dois razões são apontadas para uma abertura não ser horizontal<sup>80</sup>:

- O plano da abertura pode seguir a inclinação do plano da cobertura;
- O plano da abertura pode ser deliberadamente inclinado, com uma orientação específica, de modo a controlar a entrada da luz directa e/ou influenciar a distribuição da luz no interior do espaço.

A maior vantagem da iluminação zenital é a sua uniformidade e os grandes níveis de iluminação, maiores que qualquer outra orientação. Contudo, este sistema apresenta várias contrariedades. Não é uma solução aplicável a edifícios de vários pisos - não satisfazendo a necessidade de vista para o exterior e orientação. Uma solução de iluminação zenital também promove um aumento considerável dos ganhos de calor durante o Verão podendo apresentar graves problemas de encadeamento, situação que pode ser contrariada com um correcto dimensionamento das aberturas horizontais.<sup>81</sup>

Todas as fontes de iluminação superiores são potenciais fontes de reflexões veladas. Estas reflexões podem ser evitadas mantendo as fontes de iluminação fora da zona da tarefa visual.

Esta situação é possível quando o local da tarefa visual é fixo e em função dela são desenhadas as aberturas na cobertura. A melhor solução é que a luz chegue de forma difusa de molde a não criar fontes de brilho.

Quer a luz seja reflectida para o tecto, quer sejam utilizadas palas para escudar a fonte de luz, ambas estratégias resolvem o problema do encadeamento e de padrões de luz incidirem sobre as superfícies de trabalho.<sup>82</sup>

---

<sup>79</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 101

<sup>80</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 69

<sup>81</sup> Fuller Moore – Environmental Control Systems – heating cooling lighting. 1ª Edição. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1993, pp. 310

<sup>82</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 384



### 3.1.2 DISPOSITIVOS AVANÇADOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Apesar de as janelas serem a forma mais comum de admissão de luz natural no interior de edifícios, não possuem propriedades intrínsecas de redirecção da luz recebida transmitindo-a para as zonas mais profundas de um compartimento.

Neste sentido, para efeitos de redireccionamento da luz as aberturas devem estar equipadas com dispositivos adicionais, sejam estes incorporados na abertura ou parte integrante desta.

Existem quatro situações cuja aplicação destes dispositivos podem ser apropriadas:

- Quando o edifício está inserido num local com grandes obstruções exteriores, podem ser desenhados dispositivos para receber a luz proveniente de zonas desobstruídas como o céu, redireccionando a luz para o interior do espaço;
- Quando o espaço é profundo e é necessária uma iluminância uniforme que não é conseguida através das janelas convencionais, os dispositivos de iluminação podem redireccionar parte do fluxo luminoso para as zonas mais afastadas das aberturas;
- Em climas soalheiros, os dispositivos ajudam a limitar a penetração e/ou redireccionar os raios solares directos para as zonas mais interiores do edifício;
- Em espaços que requeiram um tipo de iluminação natural específica, como museus ou escritórios, podem ser utilizados dispositivos que reduzam o brilho e o encadeamento e/ou anular a penetração a luz do sol.

Alguns destes dispositivos, senão todos, além de servirem a iluminação natural, também funcionam como elementos de ventilação e sombreamento, tendo que existir um justo compromisso entre a solução adoptada. Porém, é importante estabelecer qual o objectivo principal a alcançar com a escolha de determinado dispositivo.<sup>83</sup> (BAKER et al., 2002 – pp. 137 e 138).

Para uma maior clareza na estruturação da tese foi intencional diferenciar os dispositivos que optimizam a iluminação natural dos dispositivos de sombreamento, analisados no subcapítulo 3.1.2.2.

---

<sup>83</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 137 e 138

### 3.1.2.1 DISPOSITIVOS OPTIMIZADORES DA ILUMINAÇÃO LATERAL

Os dispositivos de iluminação natural podem ser usados para distribuir uniformemente a luz. São desenhados de modo a reflectir a luz para o tecto e para o fundo da sala, enquanto reduzem os níveis de iluminação excessivamente elevados junto às janelas, poupando assim energia na iluminação. Devido à adaptação visual, sente-se menor necessidade de luz artificial com uma iluminação uniforme.<sup>84</sup>

Em edifícios térreos, o pavimento e a utilização de cores claras ajudam a reflectir uma quantidade significativa de luz para o tecto.

Em edifícios de vários pisos, partes da estrutura podem conduzir e reflectir a luz do dia para o interior. Um parapeito de janela mais profundo avançado na fachada corresponde a uma solução eficiente, contudo, uma potencial fonte de encadeamento.<sup>85</sup>

#### ▪ TIPOS DE VIDRO E JANELAS DE ELEVADO DESEMPENHO

As características chave do desempenho das janelas são o valor de isolamento (valor K, em  $W/m^2K$ ) e a transmissão de luz. Uma janela convencional, de vidro simples, em chapa de vidro claro transmitirá aproximadamente 85% da luz incidente e terá um valor K de aproximadamente 6,0. O envidraçado duplo tem tipicamente um valor K de 3  $W/m^2K$  e uma transmissão cerca de 80%.

Existem janelas de elevado desempenho que podem melhor significativamente estes valores de base, lidando com os três modos de transferência de calor: condução, radiação e convecção (infiltração ou exfiltração de ar).

#### ▪ ENVIDRAÇADO MÚLTIPLO PREENCHIDO COM GÁS

As unidades correntes de envidraçados duplos e triplos são preenchidas com ar. Os envidraçados de elevado desempenho são selados contendo gases nobres (árgon e krypton), têm valores de isolamento significativamente melhores, reduzindo a condução através da unidade. Uma janela preenchida com árgon terá um valor de isolamento cerca de 20% superior ao de uma unidade idêntica preenchida com ar, sem que isso afecte a transmissão da luz.<sup>86</sup>

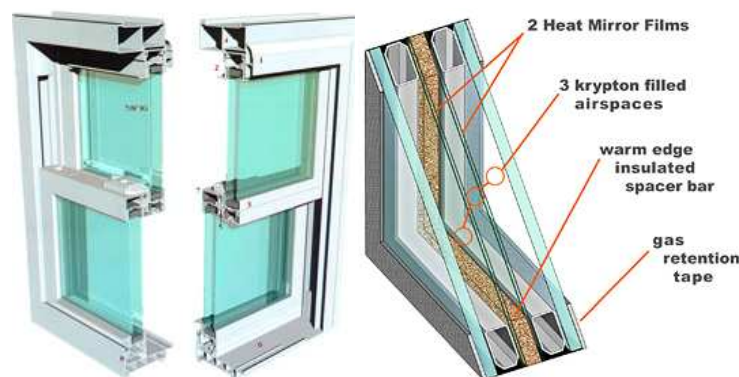


Figura 31 – Envidraçado múltiplo preenchido a krypton

<sup>84</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 72

<sup>85</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 379

<sup>86</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 100

#### ▪ REVESTIMENTOS DE BAIXA EMISSIVIDADE

Num clima frio, o calor do espaço interior é absorvido pelo vidro de uma janela convencional, que o aquece e reirradia. Depois de absorvido e reradiado várias vezes, o calor chega ao exterior e perde-se. O processo de reradiação pode ser reduzido através da colocação, em um ou mais vidros, de uma capa baixo emissiva (Low E). Trata-se de uma película especial que reduz substancialmente a capacidade radiativa do vidro a determinados comprimentos de onda. A transmissão de luz é afectada apenas ligeiramente. Uma unidade típica de vidro duplo preenchida com argón terá um valor K de cerca de 1,5 e uma transmissão de luz de cerca de 77%. Uma unidade comparável de vidro triplo poderá ter um valor K de 1,2 e uma transmissão de luz na ordem dos 70%.

A qualidade de vedação no entorno da janela varia consoante o material do caixilho e a idade da janela. Nas janelas preenchidas com gás, obviamente, as vedações têm de ser eficientes de forma a não deixar sair o gás.<sup>87</sup>

#### ▪ PRATELEIRA DE LUZ

As prateleiras de luz previnem as situações de encadeamento quando colocadas imediatamente acima do nível de visão.

Se existir um envidraçado colocado sob a prateleira de luz, este servirá maioritariamente de vista para o exterior.

A prateleira de luz funciona como dispositivo sombreador do envidraçado colocado inferiormente, ao prevenir a entrada de luz solar directa e ao bloquear a vista para o céu brilhante.

O encadeamento associado à janela superior pode ser controlado através de ripas horizontais ou aumentado a dimensão da prateleira de luz para o interior do compartimento.

As prateleiras de luz não só melhoram a qualidade da iluminação, uniformizando a luz proveniente do exterior, como aumentam o alcance da luz no interior.

O tecto do compartimento também desempenha um papel importante na uniformização da luz, deve ser um reflector difuso e os dispositivos que projectam a luz para o tecto podem ter uma modelação formal de forma a otimizar a reflexão da luz para o tecto e a profundidade que a luz atinge.

As desvantagens das superfícies especulares (espelhadas) são, normalmente, os padrões de brilho que produzem no tecto.

Para minimizar esse efeito podem ser utilizadas formas reflectoras especulares curvas que minimizam o problema das anteriores através da distribuição da luz do sol sobre uma grande parte do tecto. As superfícies mate criam uma maior uniformidade na distribuição da luz e são menos sensíveis aos ângulos de incidência do sol.<sup>88</sup>

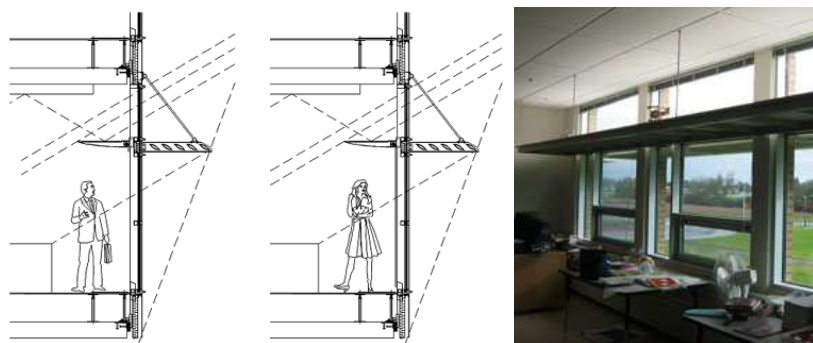


Figura 32 – Prateleira de luz, difunde a luz para as áreas mais afastadas das janelas

<sup>87</sup> Idem

<sup>88</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 379 e 382

#### ▪ FACHADA DUPLA ACTIVA

A fachada dupla activa é uma tecnologia arquitectónica destinada a combinar os benefícios estéticos de uma elevada percentagem de vidro (mais de 90%) com a eficiência energética e o conforto de um invólucro mais protegido.

A fachada dupla é tipicamente constituída por duas superfícies envidraçadas, separadas por uma caixa-de-ar de significativa dimensão. Pode-se colocar vidros duplos em ambas as superfícies ou só numa delas (tipicamente, será nesse caso na superfície interior). Deverá incluir no seu interior um sistema de sombreamento, em climas quentes ou mistos, e poder-se-á intercalar dispositivos para dirigir a luz entre as duas superfícies. Ao ser bem projecta a fachada exterior fará a protecção contra o vento, a chuva e o ruído, permitindo abrir as janelas do pano interior para efeitos de ventilação natural.

A iluminação natural é outra vantagem, embora com uma luz excessiva, especialmente quando provém de um lado de um espaço profundo, possa criar problemas de encadeamento.<sup>89</sup>

#### ▪ SUPERFÍCIES PRISMÁTICAS

As superfícies prismáticas efectuem a transmissão da luz por refacção. A direcção dos raios luminosos é alterada ao passar pelos pequenos prismas do material transparente. O uso de painéis prismáticos, redireccionado a luz incidente para o tecto, melhora a iluminação natural das áreas mais distanciadas das janelas, principalmente em espaços onde as aberturas têm pouca visão do céu devido a obstruções externas.

Os sistemas prismáticos são amplamente utilizados na Alemanha, onde, devido à alta latitude, a disponibilidade de luz natural pode ser um problema em determinadas épocas do ano.<sup>90</sup> O exemplo mais marcante e actual desta tecnologia é o projecto de reabilitação do Reichstag de Berlim, do arquitecto Norman Foster, que será abordado mais detalhadamente no ponto 2.2 deste estudo.

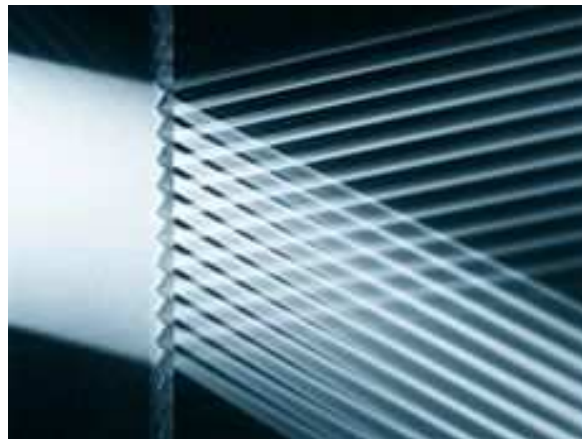


Figura 33 – Vidro prismático, maior difusão da luz no interior dos compartimentos

<sup>89</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 98

<sup>90</sup> Joana Gonçalves, e Nelson Vianna, op. cit., pp. 154

#### ▪ VIDRO CRÓMICO

O vidro crómico é um tipo especial de vidro que, quando activado, pode passar de um estado que é claro e transparente para outro em que fica escuro, semitransparente ou opaco, e vice-versa. Utiliza-se para controlar a radiação solar que entra no edifício, evitando o sobreaquecimento e o encadeamento. Como resultado, eliminam-se volumosos dispositivos de controlo solar, tais como os estores mecanizados e reduzem-se os custos de manutenção.

O vidro crómico muda as suas características de absorção e transmissão da luz, em resposta às alterações da luz (fotocrómicas) ou da temperatura (termocrómicas), ou a uma carga eléctrica (electrocrómica). O controlo de envidraçados electrocrómicos pode ser integrado num sistema de gestão energética de um edifício. O vidro fotocromico e o electrocrómico já atingiram a maturidade técnica, mas os custos são elevados.<sup>91</sup>

### 3.1.2.2 DISPOSITIVOS OPTIMIZADORES DA ILUMINAÇÃO ZENITAL

Os envidraçados zenitais são elementos horizontais ou ligeiramente curvos implantados na cobertura como já referido. Assim, mostram uma grande fracção de céu desobstruído e conseqüentemente transmitem elevados níveis de iluminação. Como os raios solares directos não são desejáveis na realização de tarefas visuais, a entrada da luz do sol tem de ser difusa de alguma forma.

Para envidraçados zenitais, ao contrário das janelas, a aplicação de vidro translúcido pode ser apropriada, uma vez que não há vista para o exterior a ser bloqueada e o encadeamento é evitado.

O problema fundamental com os envidraçados zenitais prende-se com o facto de terem de enfrentar mais o sol de Verão que o sol de Inverno. Assim admitem mais luz e calor durante o Verão que no Inverno, o que é exactamente o contrário do desejável e necessário.<sup>92</sup>

#### ▪ LANTERNIM DE COBERTURA

Um lanternim corresponde a uma abertura vertical ou muito inclinada localizada no plano da cobertura, constituindo uma forma eficaz de redireccionamento da radiação solar directamente para uma parede, cuja principal vantagem é conseguir fazer penetrar a radiação a uma maior profundidade no edifício.

A principal desvantagem é apenas ser possível a sua utilização eficaz em edifícios de poucos pisos, ou nos últimos pisos de edifícios de grande altura, já que as aberturas se localizam no topo da cobertura.

---

<sup>91</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 98

<sup>92</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 384

No caso de lanternins, a utilização de planos não verticais, mas inclinados em função da latitude do local (perpendiculares aos raios solares no Inverno) é viável e vantajosa esta solução para otimizar os ganhos solares.



Figura 34 – Tipos de lanternins

#### ▪ CLARABÓIA

A clarabóia é uma superfície envidraçada ou em plástico transparente ou translúcido, horizontal, em forma poliédrica, cónica ou semi-esférica, colocada sobre coberturas planas ou pouco inclinadas e, neste ultimo caso acompanhando ou não a inclinação da cobertura. Este sistema pode resultar de forma mais eficiente sob o ponto de vista dos ganhos solares ao serem utilizados dispositivos reflectores de modo a incrementar os ganhos no Inverno. No Verão dispositivos de sombreamento são necessários, para evitar os ganhos solares excessivos que resultam num sobreaquecimento do espaço.

Uma clarabóia em plano horizontal sem reflector e sombreamento incorporados resulta numa má solução a adequar ao clima Português, já que não permite a captação de energia solar térmica no Inverno e ocasiona ganhos excessivos durante o Verão.



Figura 35 – Clarabóias

▪ **ATRIUM**

O Atrium é um espaço adjacente às zonas interiores de uma edificação, que combinam sistemas laterais e/ou zenitais de captação da luz natural. A avaliação e desempenho na distribuição da luz são complexos, envolvendo a orientação e a forma da abertura zenital, em combinação com a geometria interna do atrium e as características das paredes do invólucro interior.

A configuração do volume interior que envolve o atrium é importante: uma solução de fachadas internas escalonadas maximiza a visão do céu para todos os pavimentos, seguindo o mesmo princípio aplicado a edifícios situados em ruas estreitas, que padecem de problemas de disponibilidade de luz natural.<sup>93</sup> O Atrium pode melhorar apreciavelmente a qualidade dos espaços interiores adjacentes, os quais podem beneficiar de todas as vantagens da luz natural, sem os correspondentes excessos climáticos. O aperfeiçoamento das tecnologias permite ao arquitecto uma maior liberdade nas opções de construção, desenho e materiais; mesmo quando se prevêem períodos de retorno mais longos, pode haver fortes motivos que levem a aplicar este sistema.<sup>94</sup>

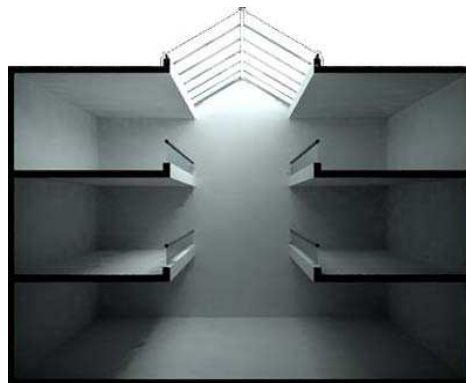


Figura 36 – Atrium tipo



Figura 37 – Atriums

<sup>93</sup> Joana Gonçalves e Nelson Vianna, op. cit., pp. 181

<sup>94</sup> Comissão das Comunidades Europeias, op. cit., pp. 75

#### ▪ POÇO DE LUZ

A eficiência dos poços de luz está relacionada com o rácio entre a profundidade vertical do espaço (número de pisos) a ser iluminado e a largura do poço. Esta solução torna-se menos eficiente à medida que esta proporção aumenta uma vez que grande parte da luz é absorvida pelo aumento do número de reflexões. Se as paredes do poço são muito reflexivas mais luz será transmitida ou o poço poderá ser desenhado mais estreito para a mesma transmissão de luz.

Através de modernas e inovadoras superfícies, altamente reflexivas e/ou espelhadas, que absorvem menos de 5% de luz em cada reflectância, é possível transmitir eficazmente a luz para um piso através de um poço de luz de reduzidas dimensões.<sup>95</sup>

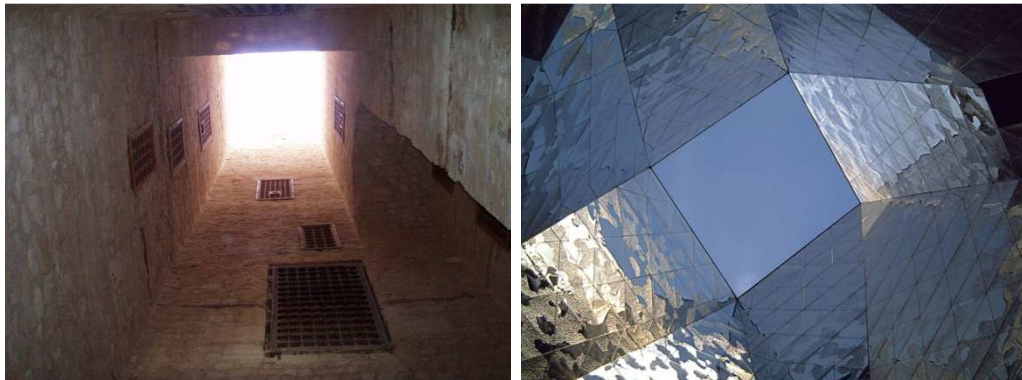


Figura 38 – Poços de luz

#### ▪ CLARABÓIAS TUBULARES

Correspondem a ductos circulares tubulares comercializados com um grande poder reflexivo, de superfícies especulares (espelhadas) no interior que transmitem cerca de 50% da luz proveniente do exterior através da cobertura.

A quantidade de luz que entra no espaço depende do diâmetro do ducto. Apesar de ser uma solução económica de trazer a luz natural ao interior de espaços em empenas ou em caso de sótãos habitados, a qualidade da luz não é melhor que uma estrutura montada no tecto com lâmpadas fluorescentes. Chanfrar o tecto onde estes dispositivos estão montados diminui a ocorrência de encadeamento.<sup>96</sup>



Figura 39 – Clarabóia tubular localizada na cobertura

<sup>95</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 396

<sup>96</sup> Idem



### 3.1.3 DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

#### 3.1.3.1 AS ESTRATÉGIAS DE SOMBREAMENTO E SEUS OBJECTIVOS

Os benefícios do sombreamento são tão elevados e evidentes que observamos a sua materialização ao longo da história e em todas as culturas através de sistemas pensados e concebidos para dar resposta às necessidades de conforto interior e exterior, apesar das especificidades climáticas locais inerentes.

Existe um elevado número de exemplos históricos que servem de base aos sistemas de sombreamento contemporâneos: os pórticos e as colunatas da Antiguidade Clássica são exemplos cuja evolução transitou para elementos como o alpendre, a varanda ou a arcada.

Estes elementos, normalmente, multifuncionais, como o pórtico Grego, que além de proteger das chuvas, não negava a importância que desempenhava no controlo solar, tornando-o numa mais-valia em climas húmidos e quentes.<sup>97</sup>

As estruturas de sombreamento da arquitectura vernacular chinesa e japonesa, conseguidas através do prolongamento dos telhados “como um guarda-sol” determinavam no solo um perímetro protegido do sol no qual se implantava a casa.

*“ (...) O facto de, na casa japonesa, o alpendre do telhado avançar tanto, deve-se ao clima, aos materiais e a diversos outros factores. Por exemplo, à falta de tijolos, de vidro e de cimento, terá sido preciso, para proteger as paredes das rajadas de chuva laterais, projectar o telhado para diante”.<sup>98</sup>*

Numa primeira abordagem, a utilização de dispositivos de sombreamento e a optimização da iluminação natural podem parecer cumprir objectivos diferentes. Todavia, quando a luz natural chega ao interior do edifício ou de um compartimento de forma controlada, pode oferecer uma melhor qualidade na iluminação, uniformizando e modelando a luz proveniente do exterior.

Aliado a este factor de máxima importância, e não menos relevante, a utilização destes dispositivos ajuda na redução dos ganhos de calor durante os meses quentes de Verão.

A totalidade da radiação solar compreende três componentes: directa, difusa e reflectida. Para prevenir o aquecimento passivo quando este não é desejado, as janelas devem dispor de dispositivos que permitam um eficaz controlo da luz directa do sol, da luz difusa do céu e das superfícies reflectoras da envolvente exterior (em centros urbanos pode representar uma fatia significativa da luz de dia de um compartimento).

Existem vários parâmetros para descrever a performance dos vidros e dos dispositivos sombreadores mas, aquele que tem maior representatividade na literatura técnica e nos manuais fornecidos pelos fabricantes destes elementos corresponde ao **Coefficiente de Sombreamento** (*Shading Coefficient*).

O Coeficiente de Sombreamento corresponde à razão entre a radiação total transmitida (visível e invisível) que passa através de um envidraçado quando este dispõe de dispositivos de sombreamento comparada com a radiação que atravessa um envidraçado sem protecção composto por um vidro simples de 3mm sob as mesmas condições.

---

<sup>97</sup> Idem, pp. 202

<sup>98</sup> Junichiro Tanizaki – Elogio da Sombra. Lisboa: Relógio d’Água, 1999, pp. 30 e 31

A qualificação de “total” remete para o conceito de **Factor Solar**: o somatório da radiação rerradiada para o interior pelos dispositivos de sombreamento ou pelo vidro e a percentagem de fluxo de energia transmitido directamente, um vidro transparente terá um coeficiente de sombreamento igual a 1 e uma parede opaca completamente isolada um coeficiente igual a zero.<sup>99</sup> Analisar este parâmetro torna-se útil e expedito para determinar os ganhos solares médios ao longo do dia nas situações em que não seja prático recorrer aos ângulos de incidência solar ou da geometria da janela.<sup>100</sup>

É útil enunciar os objectivos dos dispositivos de sombreamento<sup>101</sup>:

- Minimizar a energia solar que entra num compartimento e desta forma reduzir a temperatura média no interior;
- Prevenir que a luz do sol incida directamente sobre os ocupantes, resultando num aumento de temperatura entre 3°C e 7°C;
- Reduzir a iluminância de superfícies que possam provocar encadeamento para os ocupantes;
- Prevenir o contacto visual directo com as superfícies brilhantes da envolvente exterior, as nuvens ou o sol.

Nos subcapítulos que seguem serão analisados, mais detalhadamente:

- A orientação dos envidraçados como aspecto condicionante na escolha de determinado dispositivo: características de luz solar a Sul, Norte, Este ou Oeste requerem necessidades de sombreamento distintas.
- As características dos dispositivos de sombreamento e a optimização da sua aplicação.

---

<sup>99</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 109; Comissão das Comunidades Europeias – Energy Conscious Design – A Primer for Architects. 1ª Edição. Londres: B.T. Batsford, 1992, pp.77; Fuller Moore, op. cit., pp.81

<sup>100</sup> Fuller Moore, op. cit., pp.81

<sup>101</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 109

### 3.1.3.2 ORIENTAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

É comum observar num dia de sol as persianas fechadas e a iluminação artificial ligada. Tal situação pode ser observada mesmo em climas frios, onde grandes áreas envidraçadas mal orientadas provocam encadeamento e problemas de conforto térmico aos seus ocupantes. Tal situação é, com certeza, o resultado de um mau projecto de iluminação natural, uma vez que não há ausência de luz do dia, e também um problema com o controlo e a distribuição da luz.<sup>102</sup>

O carácter dinâmico da iluminação natural deve ser compensado através de soluções construtivas ou dispositivos adequados a precaver em especial as condições de conforto de Verão, que protejam o interior dos edifícios dos ganhos de calor excessivos que provocam efeito de estufa. O encadeamento e os ganhos solares são normalmente tratados com dispositivos de sombreamento mas, frequentemente, estes dispositivos também interferem na admissão e modelação da luz no interior.

Nas latitudes Europeias, a fachada Sul do edifício recebe pelo menos três vezes mais radiação solar durante o Inverno do que a Este e Oeste. No Verão, a situação é contrária à de Inverno: a radiação recebida a Sul é muito menor que a Este e a Oeste, em ambos os casos, a orientação Norte recebe pouca radiação.

As **palas horizontais** nas janelas dispostas a **Sul** são muito eficientes ao longo dos meses de Verão uma vez que o sol está alto no céu. Quando o feixe solar atinge a fachada Sul de um edifício, o ângulo de incidência do sol com a fachada encontra-se próximo de 75°, assim qualquer abertura numa fachada a Sul ao receber menos radiação solar torna-se mais fácil de proteger<sup>103</sup>. De forma geral, as palas horizontais são a melhor solução para envidraçados dispostos a Sul. Contudo, para promover a circulação de ar em toda a superfície do vidro a utilização de uma estrutura de ripas paralelas dispostas horizontalmente é mais eficiente que uma pala maciça, reduzido as necessidades de arrefecimento.<sup>104</sup>

Por outro lado, sombrear as janelas inseridas nas fachadas **Este** e **Oeste**, torna-se mais complicado. Segundo a trajectória do sol durante o Verão, os ângulos de incidência solar são tão baixos que os dispositivos de sombreamento raramente são eficientes, concorrendo para que uma grande quantidade de radiação solar seja recebida pelas janelas dispostas segundo estas duas orientações.

Uma solução sustentável de projecto passará por reduzir a dimensão das aberturas a Este e Oeste a fim de diminuir os ganhos solares excessivos no Verão. Outra solução pode passar pela localização das janelas nas fachadas Este e Oeste mas com os envidraçados orientados a Norte ou a Sul. A vegetação também pode desempenhar um papel importante de sombreamento, as árvores são particularmente eficientes a sombrear o edifício quando o sol está com um ângulo de incidência baixo, de manhã e à tarde, a opção por árvores de folha caduca na proximidade dos envidraçados além do sombreamento minimizam a obstrução da vista para o exterior.

---

<sup>102</sup> Idem

<sup>103</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 1992, op. Cit., pp.77

<sup>104</sup> Fuller Moore, op. cit., pp.81

Na impossibilidade de adequar qualquer uma das estratégias anteriores, as palas horizontais e/ou verticais devem ser utilizadas, mas, para que sejam realmente eficientes a vista para o exterior ficará seriamente comprometida. Para um sombreamento mais eficiente poder-se-á optar por um sistema fixo de elementos verticais e horizontais, desenhando uma malha reticulada.<sup>105</sup>

Em climas quentes, as janelas a Norte também requerem alguma protecção, ao longo do Verão o sol nasce a Nordeste e põe-se a Noroeste. Uma vez que nestes períodos do dia o sol está baixo as palas horizontais não são eficientes, a opção por palas verticais é aconselhável.

Envidraçados Zenitais criam uma dificuldade acrescida no sombreamento, uma vez que enfrentam o sol directo do meio-dia durante o Verão. Uma solução para permitir a entrada do sol no Inverno e a luz do dia através da cobertura pode passar pela utilização de janelas de clerestório. O envidraçado nesta solução pode ser sombreado da mesma forma que as janelas localizadas nos paramentos verticais do edifício.<sup>106</sup>

### 3.1.3.3 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

Existem várias formas de controlar a transmissão de luz através de um envidraçado, podem ser utilizados vidros de cor, que funcionam por absorção solar, reduzindo a entrada da radiação, lâminas retrácteis ou ajustáveis, palas fixas, prateleiras de luz, estores, persianas, portadas, toldos, entre outros. Cada um dos sistemas referidos pode apresentar diversas formas, materialidades e impactos diferentes nos edifícios em que são implantados.

Numa abordagem sustentável os dispositivos de sombreamento devem ser pensados ao mesmo ritmo das restantes especialidades, principalmente, iluminação natural e conforto térmico.

O objectivo desta abordagem integrada visa o enquadramento destes elementos no contexto do edifício para a obtenção de um desempenho energético elevado.

Numa operação de reabilitação, em que o edificado requeira melhorias ao nível do desempenho energético e ambiental e em que seja necessário prever sistemas de sombreamento, estes devem ser escolhidos de forma a atingir uma unidade coerente e harmoniosa com o edifício existente.

Nos tópicos que se seguem são abordados os tipos de dispositivos existentes, as suas características principais e é feita uma síntese das orientações a que cada um deles é mais eficiente no controlo solar.

#### ▪ DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO PELO EXTERIOR E PELO INTERIOR

O sombreamento pelo exterior é mais eficaz para reduzir os ganhos de calor (até 80%) visto interceptar e dispersar os raios solares antes de atingirem o vidro. É mais caro instalação e manutenção, mas tem um papel importante no carácter estético de uma fachada.

Os estores interiores tendem a ser mais baratos e mais facilmente ajustáveis. Protegem os ocupantes de uma sala contra os efeitos da luz directa do sol e contra o encadeamento, mas não são tão eficazes na redução de ganhos de calor visto que a radiação solar aquece as persianas e o ar à volta delas. Os estores reflectores reduzem este efeito até 15-20%.

<sup>105</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 1992, op. Cit., pp.77; Norbert Lechner, op. cit., pp. 211; Fuller Moore, op. cit., pp.81

<sup>106</sup> Norbert Lechner, op. cit., pp. 211

O sombreamento integral instalado no interior de uma unidade de vidros, duplos ou triplos, com ventilação da caixa-de-ar para o exterior, combina as vantagens de ambos os tipos. Os ganhos de calor são dissipados para o exterior, bem como os elementos sombreadores ficam protegidos contra a inclemência do clima exterior.<sup>107</sup>

- **DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FIXOS, AJUSTÁVEIS E RETRÁCTEIS**

Se as janelas tiverem **palas fixas** para minimizar os ganhos solares no Verão, as palas irão reduzir também a entrada de luz natural durante todo o ano. **Sombreadores** ou **estores móveis (ajustáveis e retrácteis)** reduzirão a iluminação natural só quando estes estão em posição. Enquanto a luz solar directa pode ser uma característica atraente de uma sala (especialmente no inverno), também pode ser indesejável se incidir directamente sobre os utentes ou sobre os planos de trabalho. Os estores de lâminas podem ser usados para reflectir a luz solar para o tecto, evitando assim o desconforto devido a luz directa e proporcionando, ao mesmo tempo, uma maior penetração da luz natural.<sup>108</sup>

- **DISPOSITIVOS FIXOS**

Os dispositivos de sombreamento fixos são, frequentemente, mais utilizados em detrimento dos sistemas móveis, devido à sua simplicidade, fazendo parte da superestrutura do edifício, o que os torna, também, mais económicos. A necessidade de poucos cuidados de manutenção representa uma mais-valia nestes sistemas. O desenho de um dispositivo de sombreamento como componente fixa de um edifício é distinto daqueles que são desenhados para serem ajustáveis.

As janelas dispostas a Sul podem ser sombreadas através de palas horizontais localizadas sobre o envidraçado. De forma a obter o benefício máximo dos raios solares no Inverno, quando estes podem dar um bom contributo nas necessidades de aquecimento, é sensato desenhar e localizar a pala numa posição em que seja possível a penetração dos raios de sol através das janelas, aproveitando o baixo ângulo de incidência solar no Inverno. A profundidade do dispositivo sombreador tem de ser tomada em consideração: a altura da janela e a distância a que a pala se projecta sobre ela.<sup>109</sup> As palas contínuas proporcionam muito mais sombra do que aquelas que se limitam à largura da janela.<sup>110</sup>

As janelas dispostas a Este e Oeste podem beneficiar com um sombreamento lateral. A luz solar directa, com pequena inclinação vertical, é mais fácil de interceptar. As palas verticais fixas, para serem realmente eficazes, reduzem muito a iluminação natural e obstruem a vista. Os filtros solares em malha de aço são quase transparentes mas também reduzem a luz natural que penetra através das janelas.<sup>111</sup>

Ao ser utilizado um dispositivo fixo, as suas dimensões devem ser determinadas em conformidade com as dimensões da janela e a distância da pala em relação ao envidraçado.

---

<sup>107</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 2001, op. cit., pp. 72

<sup>108</sup> Idem

<sup>109</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 1992, op. Cit., pp.77

<sup>110</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 2001, op. Cit., pp. 72

<sup>111</sup> Idem

Uma solução fixa para estas orientações é limitada pois apenas é eficiente para ângulos específicos de incidência solar.

Para tal é útil recorrer a cartas solares para estimar o sombreamento que o dispositivo escolhido fará, de forma a otimizar os resultados da sua aplicação ou em prejuízo grave da vista para o exterior, ponderar a utilização de dispositivos ajustáveis.

- **DISPOSITIVOS MÓVEIS**

#### **Dispositivos Retrácteis e Dispositivos Ajustáveis**

O termo retráctil refere-se aos dispositivos que podem ser removidos totalmente ou parcialmente do envidraçado.

A definição de ajustável significa na prática que estes dispositivos apesar de serem parte integrante do envidraçado permitem a alteração das características da luz transmitida para o interior, através do ajuste do ângulo das lâminas do dispositivo de sombreamento.<sup>112</sup>

O controlo directo por parte do utente do espaço acaba por ser uma vantagem, na medida em que o utilizador controla as necessidades de luz no interior da forma que considerar melhor. Mas neste caso os utentes poderão necessitar de instruções sobre a melhor forma de utilizar estes dispositivos.

A eficiência dos dispositivos fixos varia de acordo com a posição do sol. As estações climáticas não correspondem às estações do sol, sendo preferível utilizar dispositivos móveis que possam ser ajustáveis para regiões com uma estação quente muito prolongada.

Os sombreadores ajustáveis e retrácteis evitam alguns dos problemas dos dispositivos fixos ao responderem de forma mais eficiente à natureza dinâmica do clima e principalmente da Luz natural (sombra nos períodos de aquecimento e de sol nos períodos de arrefecimento).

Os toldos retrácteis, os estores exteriores de lâminas ajustáveis, as cortinas, os estores de enrolar ou as venezianas podem ficar abertos a maior parte do tempo, sendo fechados somente quando a inclinação dos raios solares o exigir. Nas fachadas viradas a Este ou a Oeste, os estores de lâminas horizontais precisam de ficar praticamente fechados para bloquear a luz do sol, mas os estores de lâminas verticais podem ficar parcialmente abertos e bloquear a luz directa do sol, ao mesmo tempo que deixam entrar a luz reflectida ou difusa vinda do Norte. Os sistemas totalmente automatizados que reagem às variações e inclinação do sol, a níveis de temperatura e/ou luz, poderão ser necessários, especialmente no caso dos sistemas exteriores.<sup>113</sup>

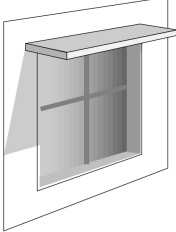
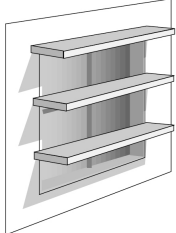
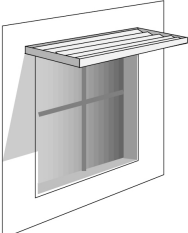
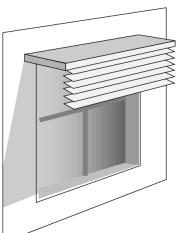
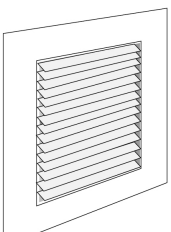
---

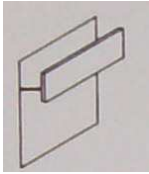
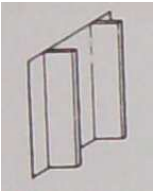
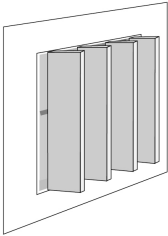
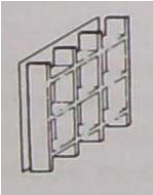
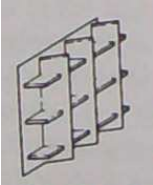
<sup>112</sup> Nick Baker e Koen Steemers, op. cit. pp. 110

<sup>113</sup> Comissão das Comunidades Europeias, 1992, op. Cit., pp.77 e Comissão das Comunidades Europeias, 2001, op. Cit., pp. 72

▪ EXEMPLOS DE SISTEMAS FIXOS E MÓVEIS

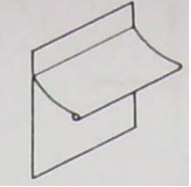
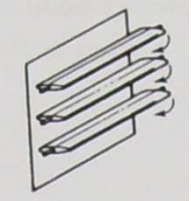
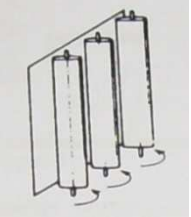
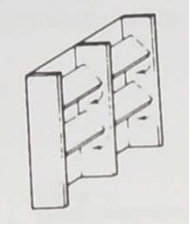
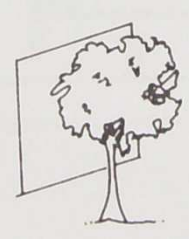
Dispositivos de Sombreamento Fixos

	CARACTERIZAÇÃO DO DISPOSITIVO	MELHOR ORIENTAÇÃO	OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES
	Pala Horizontal	<p><b>Sul</b></p> <p>Este</p> <p>Oeste</p>	<p>Acumulação de ar quente junto ao envidraçado, não permitindo a sua livre circulação.</p>
	Sequência de palas horizontais		
	Pala horizontal de lâminas	<p><b>Sul</b></p> <p>Este</p> <p>Oeste</p>	<p>Livre circulação do ar.</p> <p>Dispositivo de pequenas dimensões.</p> <p>Melhor solução fixa.</p>
	Pala horizontal com lâminas verticais	<p><b>Sul</b></p> <p>Este</p> <p>Oeste</p>	<p>Vista restringida.</p>
	Venezianas fixas	<b>Este e Oeste</b>	<p>Vista restringida.</p>

	<p>Pala vertical superior</p>	<p><b>Sul</b> <b>Este</b> <b>Oeste</b></p>	<p>Vista restringida. Livre circulação do ar.</p>
	<p>Palas verticais laterais</p>	<p><b>Este e Oeste</b></p>	<p>Vista restringida.</p>
	<p>Lâminas verticais</p>	<p><b>Este e Oeste</b></p>	<p>Vista restringida. Palas orientadas a Norte.</p>
	<p>Estrutura reticulada</p>	<p><b>Este e Oeste</b></p>	<p>Aplicável a climas muito quentes. Acumulação de ar quente junto ao envidraçado. Vista muito restringida.</p>
	<p>Estrutura não reticulada</p>	<p><b>Este e Oeste</b></p>	<p>Aplicável a climas muito quentes. Acumulação de ar quente junto ao envidraçado. Vista muito restringida. Palas verticais orientadas a Norte.</p>



**Dispositivos de Sombreamento Móveis**

	CARACTERIZAÇÃO DO DISPOSITIVO	MELHOR ORIENTAÇÃO	OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES
	Toldo (dispositivo retráctil)	Sul e Este  Oeste	Completamente ajustável.  Acumulação de ar quente junto ao envidraçado.  Não bloqueia a vista.
	Lâminas Horizontais ajustáveis	Sul e Este  Oeste	Vista restringida.  Bloqueia parte do sol no Inverno.
	Lâminas Verticais ajustáveis	Este e Oeste	Mais eficiente e menos obstrutor da vista que o dispositivo de lâminas verticais fixas.
	Estrutura mista de lâminas horizontais e lâminas verticais ajustáveis	Este e Oeste	Aplicável a climas muito quentes.  Vista restringida.
	Árvores de folha caduca	Este e Oeste Sudeste Sudoeste	Vista restringida.  Brisas frescas.

## 3.2 CASO DE ESTUDO: REICHSTAG

### 3.2.1 HISTÓRIA DO REICHSTAG ATÉ 1933

Em 1884, o Imperador Guilherme I assentou a pedra fundamental do que viria a ser, em 1894, o Reichstag. Com o fim da Primeira Guerra Mundial e a renúncia do Imperador, foi proclamada a República, no ano de 1918. Entre 1919 e 1933 o Reichstag acomodou a sede do Parlamento da República de Weimar.

Um mês após a nomeação de Adolf Hitler para o cargo de Chanceler da Alemanha, o edifício foi incendiado.

Durante os doze anos do Terceiro Reich o Reichstag não funcionou para sessões parlamentares – o parlamento reunia-se numa antiga casa de ópera, já que o Reichstag se encontrava danificado pelo incêndio. Este foi usado para fins de propaganda e, durante a Segunda Guerra Mundial, para propósitos militares.

O edifício continuou o seu processo de degradação devido a ataques aéreos durante a guerra, e, durante a Batalha de Berlim em 1945, foi um dos alvos principais do Exército Vermelho, face seu valor simbólico para o povo alemão.

Durante a Guerra Fria o Reichstag ficou em Berlim Ocidental, mas a apenas a alguns metros da fronteira com Berlim Oriental, onde seria erguido em 1961 o Muro de Berlim.

Após a Segunda Guerra, o edifício, em ruínas, deixou de ser utilizado, já que a capital da Alemanha Ocidental foi fixada em Bona no ano de 1949. Em 1956 foi decidido que o Reichstag não deveria ser demolido, mas sim restaurado. Até 1990, o edifício funcionou apenas para encontros ocasionais e para uma exposição permanente sobre a História da Alemanha. A cerimónia oficial da Reunificação Alemã realizou-se no Reichstag em 3 de Outubro de 1990; no dia seguinte, o parlamento alemão (Bundestag) reuniu-se simbolicamente no edifício.<sup>114</sup>

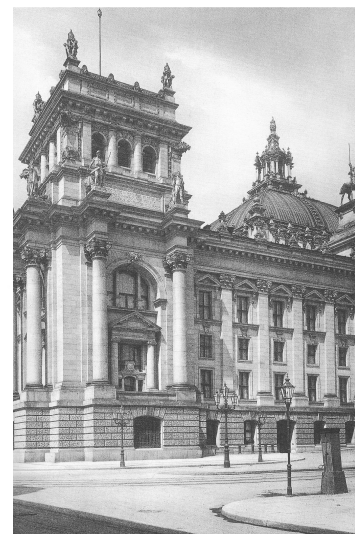
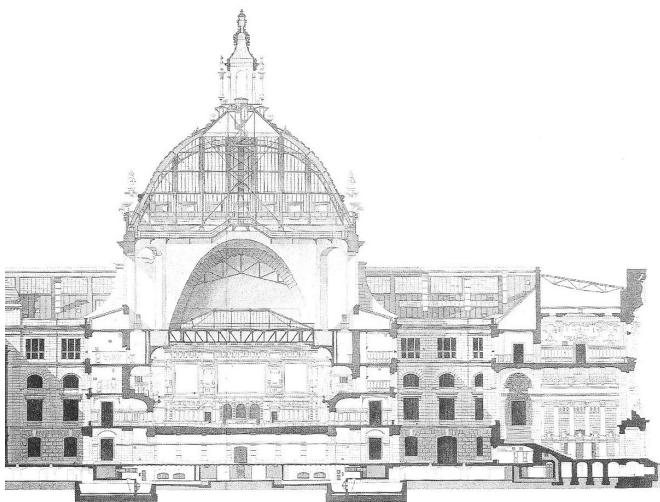


Figura 40 – Reichstag até 1933

<sup>114</sup> Norman Foster – Rebuilding the Reichstag. 1ª Edição. Nova Iorque: The Overlook Press, 2000, pp. 36 a 57

### 3.2.2 RECONSTRUÇÃO DO REICHSTAG

Em Junho de 1991, o Parlamento Alemão votou unanimemente em estabelecer a Capital da Alemanha e o Centro Governamental de Bona para Berlim.

Tal decisão determinou que o Parlamento voltasse a existir no histórico Reichstag. Norman Foster foi um dos catorze arquitectos não alemães convidados a entrar no concurso para o redesenho do edifício simbólico. Passado menos de um ano, e numa segunda fase do concurso a equipa foi declarada vencedora, começando, assim, a reconstrução do Reichstag.

Ao longo dos anos que se seguiram, os custos associados à mudança do Parlamento para Berlim e ao seu restauro foram tema de constante debate. Nunca antes Arquitectura e Arte foram tão debatidas por decisores políticos e pelo público em geral.

Em 1995 o Reichstag “desapareceu” sob um envelope de telas metalizadas dos artistas Christo e Jeanne-Claude e quando emergiu duas semanas depois, pessoas da Europa e de todo o Mundo conseguiram vivenciar e experimentar uma cidade de Berlim mais relaxante.

Os trabalhos no Reichstag avançaram rapidamente com uma rigorosa fiscalização face ao cepticismo inicial, porém, com uma progressiva aceitação pública. Em Abril de 1999 o novo Reichstag passou a ser oficialmente o lugar do parlamento alemão, o coração da democracia parlamentar (Bundestag).

O valor simbólico do edifício do Parlamento foi intensamente discutido ao longo da última década. Para muitos, o edificado ainda incorpora o espírito da Era Imperial, numa conjugação de estilos arquitectónicos, desde o Renascimento Italiano ao Neo-Barroco.

Contudo, a História da Arte e as opiniões políticas não incorporam ainda a importância do seu restauro/reabilitação/reconstrução para a história.

Nenhuma destas duas perspectivas leva em consideração as inovações e implicações do recente projecto.

O arquitecto Norman Foster e a sua equipa conseguiu, com grande mestria, entrosar o antigo e o novo, o passado e o presente de forma a criar novos espaços interiores que vão de encontro às expectativas dum edifício épico como o Reichstag.

O conceito de integração de uma nova cúpula e a câmara dos deputados no coração do Reichstag criou uma poderosa síntese, reflectindo a história do edifício, o presente e o futuro do mesmo.

O arquitecto não só tornou a história visível como também concebeu espaços adequados à actividade parlamentar e um grande contributo à democracia, por ter sido um arquitecto inglês a tomar as rédeas do projecto de recuperação do edifício e por permitir ao público em geral circular livremente pela cúpula visualizando o Bundestag, numa metáfora à transparência política.<sup>115</sup>

Na segunda fase do concurso para o Reichstag, em Março de 1993, os custos associados à mudança da capital Alemã de Bona para Berlim começaram a ser mais apertados devido aos encargos advindos da reunificação. Segundo Norman Foster, para ganharem a competição, a sua equipa estava consciente que a estratégia de projecto passaria por uma solução economicamente viável e que todas as ideias seriam objecto de uma criteriosa análise financeira.

Desta forma, a estratégia mais exequível passou por trabalhar no invólucro interior do Reichstag. Apesar de uma primeira solução, em que a equipa de projecto propõe uma cobertura sobre todo o edificado, ser recusada, o conceito subjacente à intervenção permaneceu incontornável – os Aspectos Ecológicos, a utilização da Luz natural e o compromisso de Transparência e Acesso ao Público.<sup>116</sup>

---

<sup>115</sup> Idem, pp. 7 a 9

<sup>116</sup> Idem, pp. 60 e 64

Muito antes da primeira fase do concurso para a reconstrução do Reichstag instalou-se uma grande controvérsia relativamente à antiga cúpula destruída durante o incêndio de 1933 e demolida em 1954. Uma forte opinião apoiava a reconstrução da cúpula exactamente igual à existente cem anos atrás. A justificação tinha como fundamento a sua carga histórica, sendo uma opção desejável pelo seu valor simbólico e pela viabilidade técnica e económica da solução.

Norman Foster opôs-se determinantemente à ideia, por considerar que a replicação da cúpula poderia suscitar conotações negativas, considerando um gesto vazio, e fundamentalmente por ser uma abordagem contrária à ética da estratégia sustentável delineada pela equipa desde o início.<sup>117</sup>

O ponto de partida para Foster passou pela abordagem à nova cobertura como sinal de mudança, mostrando a todos que o Parlamento se encontrava novamente no Reichstag. Estruturalmente a solução seria o mote à transparência, na arquitectura e na política, dentro do espírito das premissas iniciais da equipa.

Funcionalmente a cúpula deveria estar alinhada com a sala do Parlamento imediatamente abaixo e constituir um elemento fulcral para um ambiente de trabalho agradável e produtivo.

De facto, o desenvolvimento e redesenho da mesma foi o elemento chave nas estratégias de optimização da iluminação natural e eficiência energética de todo o edifício.

Para alguns, o novo coroamento do Reichstag evocou as memórias da antiga cúpula, contudo, a predecessora, do Arquitecto Paul Wallot, não era mais que um elemento simbólico, sem qualquer função prática a acrescentar à vivência do edifício. A cúpula original antes da sua destruição era um espaço vazio, entre a qual se entrepunha um vidro de cobertura opaco que a separava do parlamento, não admitindo a livre circulação de ar e admitindo uma iluminação natural diminuta.

Com a transferência do parlamento alemão para Berlim, vários deputados referiam-se ao antigo espaço em Bona como relaxante, agradável e alegre. Neste sentido, a equipa de projecto tentou recriar em Berlim essa leveza espacial na nova câmara parlamentar do Reichstag, explorando o potencial de iluminação natural através da cúpula.

Porém, face à indecisão formal do desenho da câmara (elíptica ou circular) os primeiros esforços na relação do Bundestag e a nova cobertura acabaram por ser limitados.

Uma vez determinadas as proporções com a criação de um espaço significativamente mais alto que o de Bona, a iluminação natural chegaria substancialmente do hemisfério do céu sendo esta reenviada para o interior do Bundestag de forma a atingir os níveis de iluminância pretendidos.

Todavia, a solução teve de ser pensada para a abertura relativamente pequena no topo da câmara parlamentar.

---

<sup>117</sup> Idem, pp. 130

Ao mesmo tempo, estava a ser equacionada a utilização do piso da cobertura, uma das premissas iniciais do arquitecto. A vontade de transformar a nova estrutura num espaço público que não afastasse ou elevasse as pessoas da cidade, como a Torre Eiffel, mas antes num sistema que aproximasse os utilizadores da cidade numa relação de vizinhança, conseguida apenas com a altura de 3 pisos. A esta altura seria possível ter uma panorâmica a 360° para a envolvente exterior, avistando vários pontos de referência da capital alemã.<sup>118</sup>

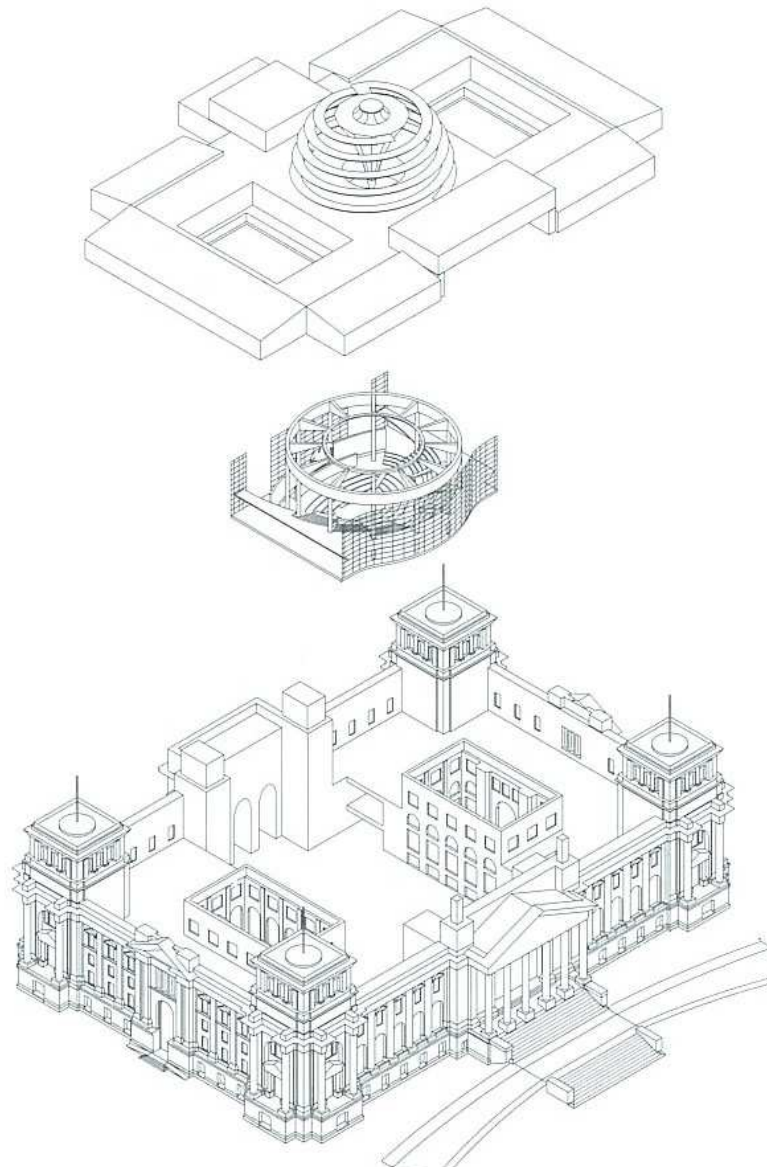


Figura 41 – Perspectiva isométrica dos vários pisos intervencionados

<sup>118</sup> Idem, pp. 132

### 3.2.3 O FUNCIONAMENTO DA CÚPULA DO REICHSTAG

No âmbito da tese de dissertação, o projecto da cúpula do Reichstag é uma referência incontornável para o capítulo seguinte, na medida em que problematiza a questão da iluminação natural e a forma desta chegar a espaços interiores, ancorado a uma estratégia de sustentabilidade e de eficiência energética e ambiental.

Várias ideias para o coroamento do edifício foram apresentadas, vários estudos com modelos à escala analisados e testados para chegar à solução final. Contudo, a utilização de superfícies espelhadas reflectoras para a optimização da iluminação natural, esteve sempre presente em qualquer uma das soluções apresentadas.

O redesenho da nova cobertura – antes da decisão pela cúpula – desenvolveu-se com a ideia imperativa de desenhar um novo “skylight”<sup>119</sup>, duas opções foram exploradas em detalhe: uma estrutura cilíndrica, denominada pelo autor como “farol”, e uma cúpula com o topo truncado.

A solução da cúpula reuniu mais apoiantes no comité de reconstrução, e os trabalhos para o coroamento do Reichstag progrediram nesse sentido.

A ideia do cone reflector permitiu solucionar a questão da iluminação natural e ventilação da câmara parlamentar ao mesmo tempo que enfatizou a relação arquitectónica desta com a cúpula.

A estrutura reflectora de luz consiste num cone facetado e côncavo envolto por **espelhos fixos** em todo o seu entorno que, em conjunto, funcionam como uma lente gigante de Fresnel<sup>120</sup>, a estrutura cónica espelhada admite a **luz directa** reflectindo-a para a câmara como luz difusa.

A cidade de Berlim não é caracterizada por edifícios de grande altura, os poucos que existem não se encontram no horizonte do Reichstag, permitindo à equipa trabalhar com uma panorâmica de 360° completamente livre.

O sistema reflecte a luz de forma eficiente para o interior do espaço parlamentar, funcionando durante todo o ano e em todas as condições atmosféricas, desde um céu completamente limpo a outro completamente nublado e sem sol, admitindo a luz de forma controlada.

Segundo Foster, a estrutura de sombreamento, colocada a Nascente no interior da cúpula, é “um ingrediente vital” de toda a solução. Funcionando através de células fotovoltaicas posicionadas no topo da cobertura – corresponde a uma cortina móvel em lâminas metálicas controladas por sensores electrónicos. Esta solução é orientável em função do percurso do sol de forma a proteger o edifício dos ganhos de calor excessivos durante o Verão e do efeito de encadeamento.

No Inverno, no princípio e no fim dos dias de Verão, quando o percurso do sol é mais baixo, a estrutura pode ser movida lateralmente, através de um carril colocado no cone, permitindo a penetração dos raios solares no interior da câmara parlamentar.

Norman Foster enfatiza a questão da iluminação natural na solução adoptada para o Reichstag frisando que as características da cidade permitiram tal solução – o horizonte visual desobstruído.

O arquitecto afirma que tais soluções de optimização da iluminação variam de cidade para cidade, e de país para país. As soluções adoptadas têm de estar em conformidade com a realidade climática subjacente e em função da disponibilidade de luz de cada local, referindo que a solução da cúpula do Reichstag não funcionaria, por exemplo, em Frankfurt.<sup>121</sup>

---

<sup>119</sup> Horizonte, silhueta

<sup>120</sup> Físico Francês que inventou as lentes para a polarização da luz

<sup>121</sup> Norman Foster, op. cit., pp. 136 a 159



Figura 42 – Reichstag sob as telas metalizadas de Christo, panorâmica geral



Figura 43 – Perspectiva aproximada das telas metalizadas de Christo



Figura 44 – Cúpula acessível ao público e Cone de lamelas reflectoras que difundem a luz para a câmara parlamentar.



Figura 45 – Cúpula percorrível



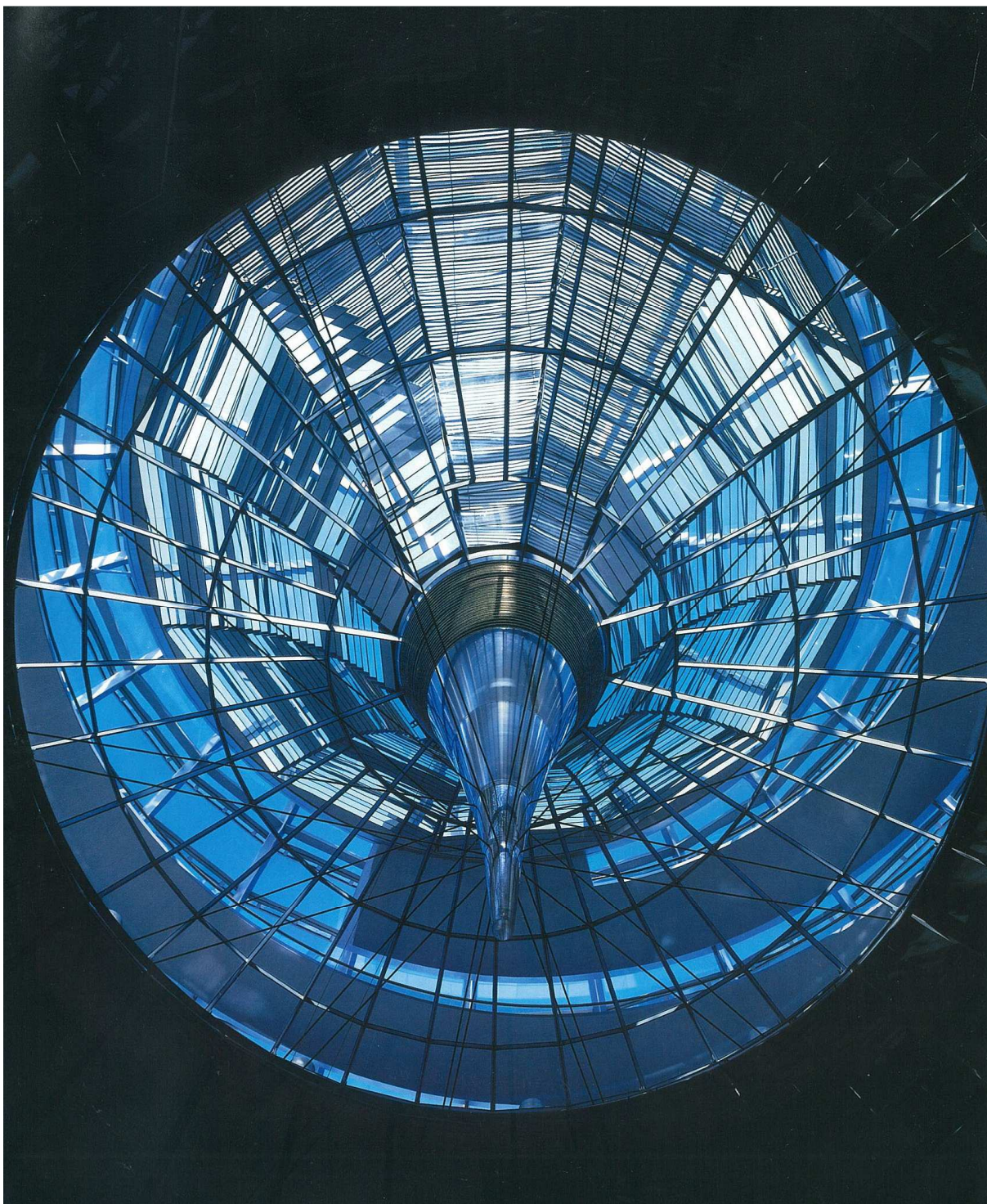


Figura 46 – Perspectiva do cone reflector a partir da câmara parlamentar.

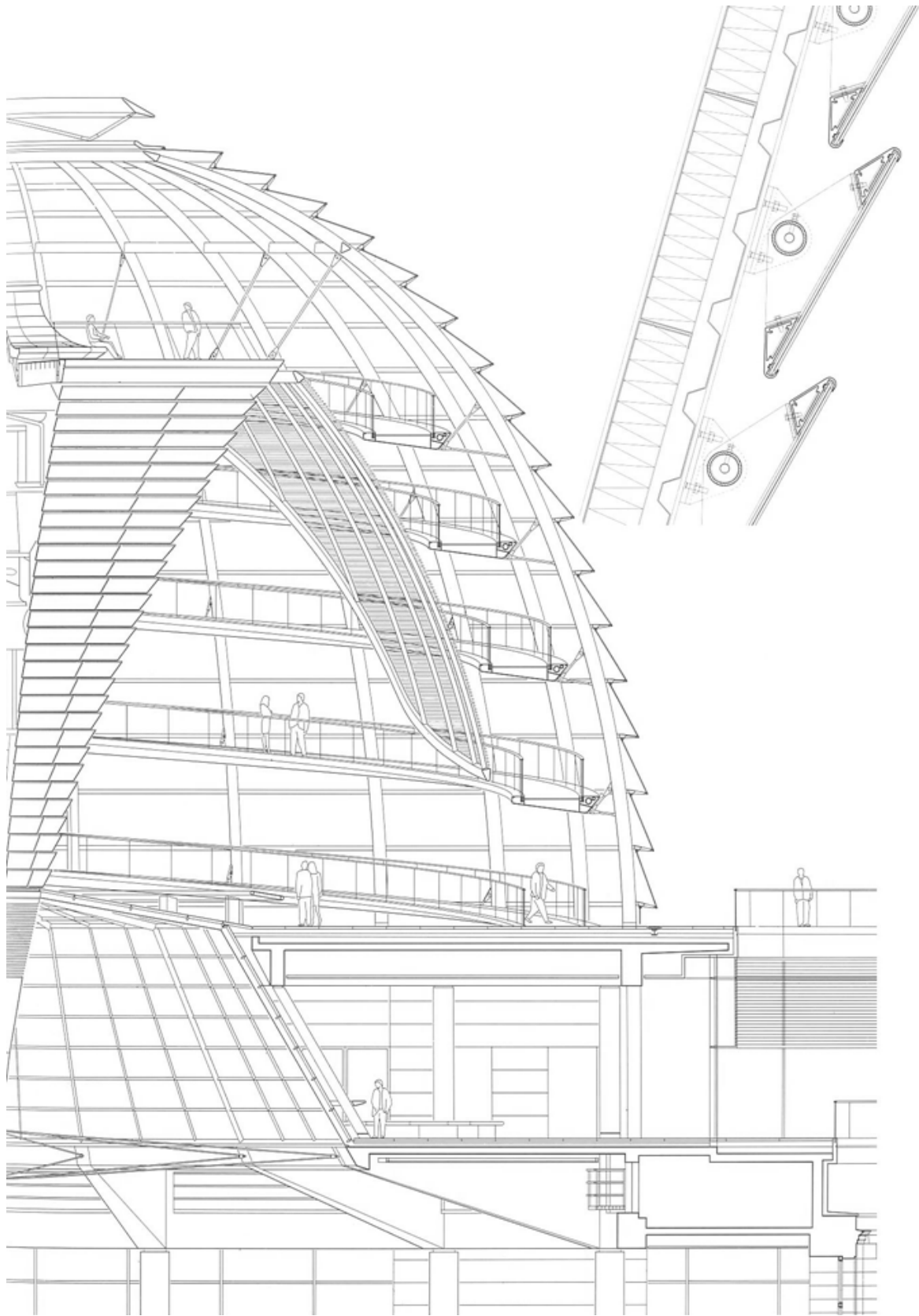


Figura 47 – Corte pela cúpula exibindo a estrutura espelhada e pormenor dos espelhos do cone reflector

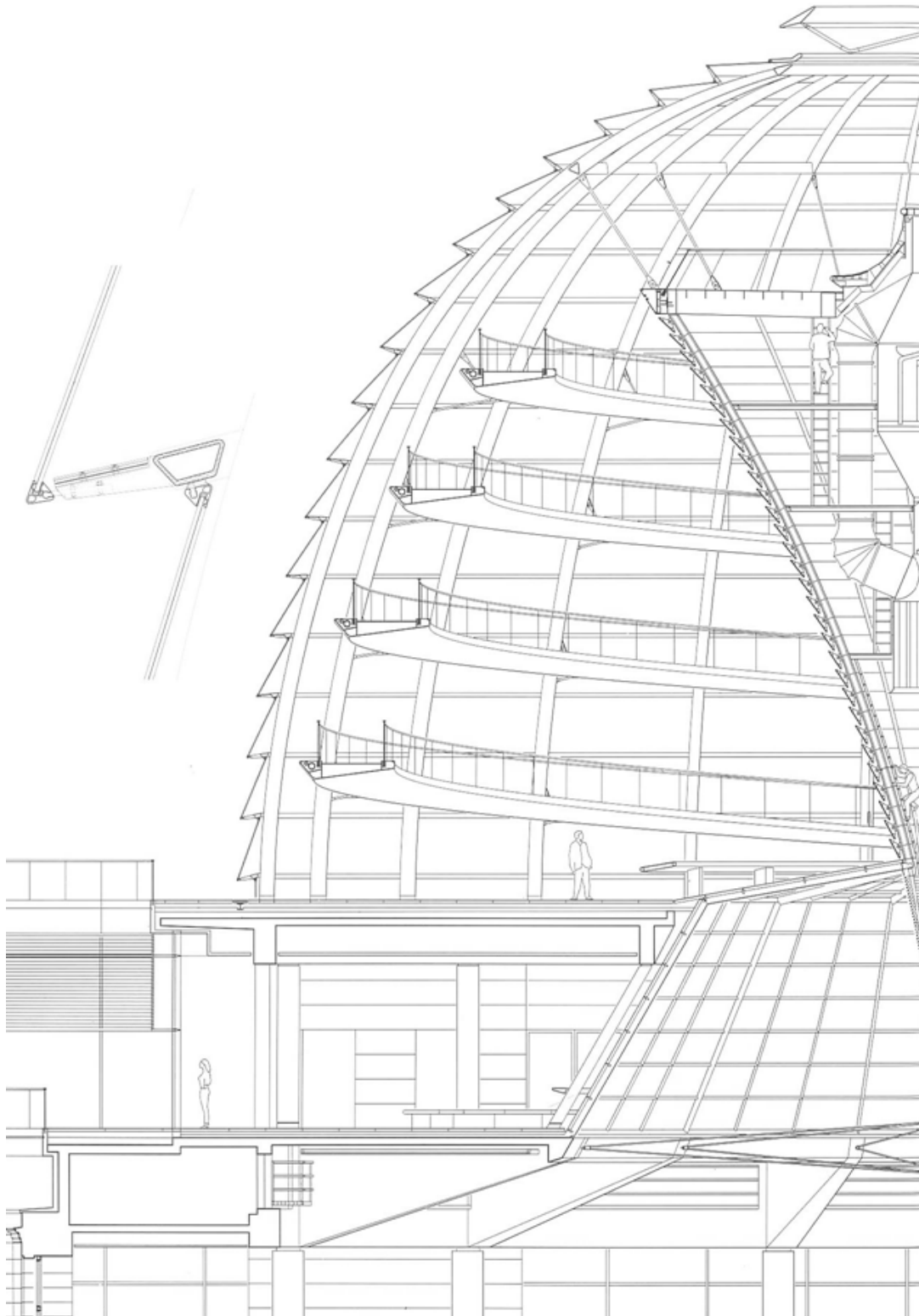


Figura 48 – Esquema interior de ventilação do cone reflector e pormenor do invólucro exterior da cúpula

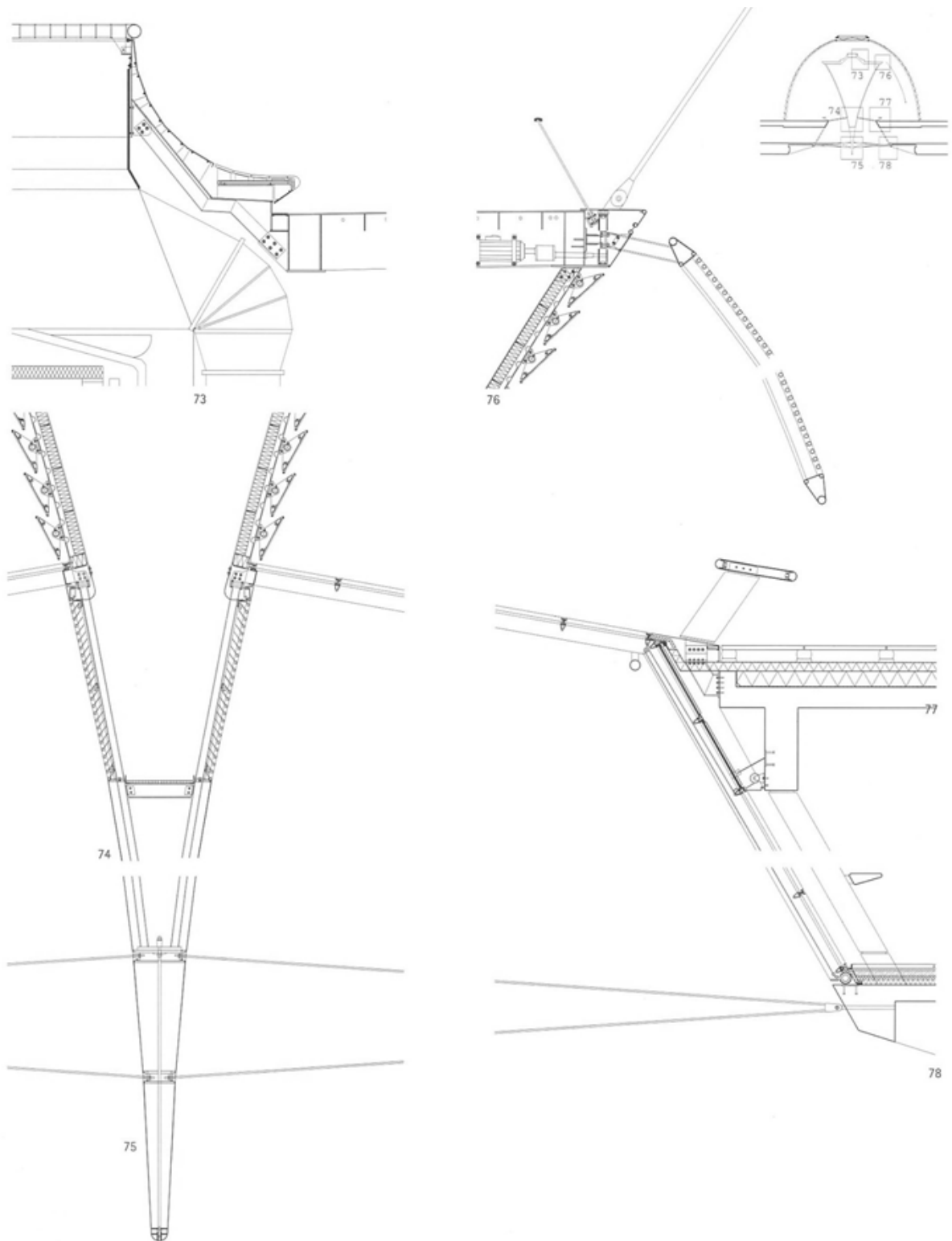


Figura 49 – Pormenores do cone reflector

## 4. OPTIMIZAÇÃO DA LUZ NATURAL NUM EDIFÍCIO POMBALINO

### 4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo consiste numa abordagem prática de optimização da iluminação natural a uma situação concreta na Baixa Pombalina. O intuito da investigação apresentada consiste em analisar o potencial de requalificação do saguão pombalino enquanto elemento potenciador da iluminação natural para o interior dos pisos dos edifícios, por intermédio da utilização de estruturas reflectoras no interior do saguão, permitindo espaços mais luminosos e agradáveis de habitar.

O redesenho do piso em estudo também foi reequacionado, de molde a conseguir albergar espaços mais amplos, em detrimento da compartimentação restritiva existente, capazes de maximizar a penetração da luz reflectida pelas estruturas desenhadas para o saguão.

A alteração da fachada posterior do edifício também constituiu um dos elementos a ponderar para o incremento da iluminação natural, apresentando-se uma solução de incremento da dimensão dos vãos existentes, de molde a otimizar as reflexões provenientes do saguão.

As estratégias de redesenho do edifício citadas anteriormente não se resumem a uma única proposta, mas a diversas conjugações das três alterações de base – Saguão, Piso e Fachada Posterior – com a solução existente, permitindo assim o estudo comparativo da viabilidade de várias soluções adoptadas.

Sendo a temática da iluminação natural um aspecto de difícil matematização, foi construída uma maquete, tentando que esta reproduzisse fidedignamente os pisos em estudo, com toda a pormenorização pertinente que pudesse influenciar a luz, ou criar um ambiente mais próximo da realidade e do objectivo de optimização. As soluções apresentadas foram testadas num modelo à escala 1:30 e com o equipamento adequado ao estudo, de forma a possibilitar a análise do impacto das diferentes alterações relativamente à situação existente, no sentido de melhorar os níveis de iluminação no interior dos pisos.

Uma vez que o comportamento da luz não é afectado por factores de escala, um modelo bem executado representará com uma semelhança muito aproximada àquilo que será o comportamento da luz natural na realidade, se a proposta arquitectónica assim fosse realizada.

O estudo foi realizado quantitativamente através de várias medições de Factor Luz-Dia, utilizando um luxímetro de duas sondas, no interior e exterior do modelo, e qualitativamente através do registo fotográfico da maquete simulando as alturas chave de iluminação que ocorrem durante o ano.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

### 4.2.1 O PLANO DE REVITALIZAÇÃO DA BAIXA POMBALINA

Em 2006 é proposto pelo comissariado da Câmara Municipal de Lisboa um projecto de recuperação, reabilitação e revitalização do núcleo histórico Baixa – Chiado. Este plano conduziu a um conjunto de premissas para uma aplicação prática no planeamento futuro deste núcleo urbano, ancoradas às necessidades emergentes da sociedade actual.

O objectivo do plano pretende, numa escala europeia, re-colocar o centro histórico da cidade de Lisboa ao nível das grandes capitais da Europa, tornando-a mais forte no panorama internacional. Analisado sobre o ponto de vista nacional o plano de revitalização Baixa – Chiado pretende tornar a cidade de Lisboa numa capital com a qual os portugueses se identifiquem, e modernizar o seu padrão de utilização.

*“Neste âmbito, o processo de recuperação pretende-se credível, articulado e exequível, dotado de meios físicos e humanos, capazes de viabilizar a concretização de ideias, propostas e projectos capazes de travar o declínio actual do núcleo histórico, gerando novos fluxos e actividades regeneradoras do tecido urbano, numa óptica de reabilitação e requalificação sustentáveis.”<sup>122</sup>*

A revisão em 2008, sobre a alçada do vereador Manuel Salgado, da proposta de 2006 mantém-se válida e actual. A urgência de estabelecer uma estratégia para o relançamento da intervenção é premente. As linhas de acção de acção e os seus sete eixos prioritários não vão ser analisados exaustivamente. Apenas o eixo que concerne ao edificado será abordado de forma a contextualizar a proposta de optimização da luz natural num quarteirão da baixa pombalina.



Figura 50 – Proposta arquitectónica no âmbito do plano de revitalização da baixa pombalina (estação de comboios do Rossio)

<sup>122</sup> Revitalização da Baixa – Chiado – Revisão do Relatório, Proposta de Setembro de 2006. Câmara Municipal de Lisboa, Licenciamento Urbanístico e Planeamento Urbano, 2008, pp.29

#### 4.2.1.1 RECUPERAÇÃO E REABILITAÇÃO DO EDIFICADO: O REFORÇO DA VERTENTE RESIDENCIAL

*“Apostar na recuperação e reabilitação do edificado da Baixa – Chiado através da acção equilibrada de valorização patrimonial. Criação de condições de conforto e segurança de acordo com os padrões actuais para atrair mais pessoas a residir na Baixa.*

*Se, originalmente, o Plano de Eugénio dos Santos desenhou uma malha de edifícios com comércio no piso térreo e habitação nos pisos superiores, ao longo dos séculos esta distribuição de funções foi-se alterando, com a instalação de escritórios nos pisos intermédios e habitação nos últimos pisos. Em alguns casos esta situação rompeu com a transformação de todo o edifício em escritórios, nomeadamente para a instalação de sedes de grandes empresas, em particular, bancos.*

*A partir dos anos 60 inicia-se a saída de muitas empresas e escritórios, na busca de espaços mais amplos e dotados de outras condições, nomeadamente estacionamento e sistemas de telecomunicações mais eficientes. Fenómeno idêntico acontece com os escritórios de profissões liberais que gravitam em torno destas empresas ou dos tribunais que entretanto saíram da Baixa.*

*Na Baixa restaram algumas sedes de bancos e muitos espaços vazios que se foram degradando.*

*Hoje, o conjunto Baixa – Chiado tem uma distribuição de funções característica de uma área central com algumas actividades obsoletas e muitos espaços vazios.*

*A habitação ocupa cerca de 23% da área construída, o comércio 13%, os serviços 28% e os devolutos cerca de 13%, sendo a restante área ocupada por actividades artesanais, armazéns e edifícios especiais – igrejas e grandes equipamentos.*

*Em termos de futuro pretende-se que a habitação e a hotelaria, com um peso relevante, passem a ocupar cerca de 38% da área construída. Na Baixa a habitação, pelas suas características específicas, está vocacionada para nichos de mercado, entre os quais se destacam estudantes, técnicos nacionais e estrangeiros com grande mobilidade e casais em início e fim de vida.”<sup>123</sup>*



Figura 51 – Projecto de alteração num edifício pombalino no qual se mantiveram as características típicas da construção pós terramoto

<sup>123</sup> Idem, op. Cit.

## 4.2.2 A CONSTRUÇÃO POMBALINA

A construção pombalina é o resultado de um esforço de reconstrução que sucedeu ao grande terramoto de 1 de Novembro de 1755. Os métodos e técnicas aplicados fizeram desta o sistema construtivo mais aperfeiçoado e original utilizado historicamente em Portugal.

Após o terramoto era premente reconstruir a cidade devastada e garantir que na reconstrução estivessem subjacentes critérios de desenho e de edificação capazes de responder com eficácia a um futuro cataclismo. O sistema pombalino é um exercício de racionalização construtiva patente na definição métrica das fachadas dos edifícios, na forma como se organizam os pavimentos, as paredes interiores, as caixilharias, as escadas, os lambris decorados a azulejo.

*“ Até alguns anos, a genialidade da intervenção pombalina estava associada ao urbanismo com que se criava uma cidade nova em clara rotura com a antiga que ruíra mas que, apesar de tudo, se reconstituíra pacientemente nos bairros mais populares.”<sup>124</sup>*

Apesar do reconhecimento tardio da importância da arquitectura pombalina, considerada durante séculos como simplista e fruto de decisões pouco ambiciosas, por não apresentar qualquer semelhança à arquitectura de outras capitais europeias, o método construtivo pombalino terá sido constantemente delegado para segundo plano.

A exigência e complexidade técnica da construção pombalina começam a ser consideradas, a partir do último terço do século XIX, como um obstáculo à rapidez de construção e, conseqüentemente, à expansão da cidade.

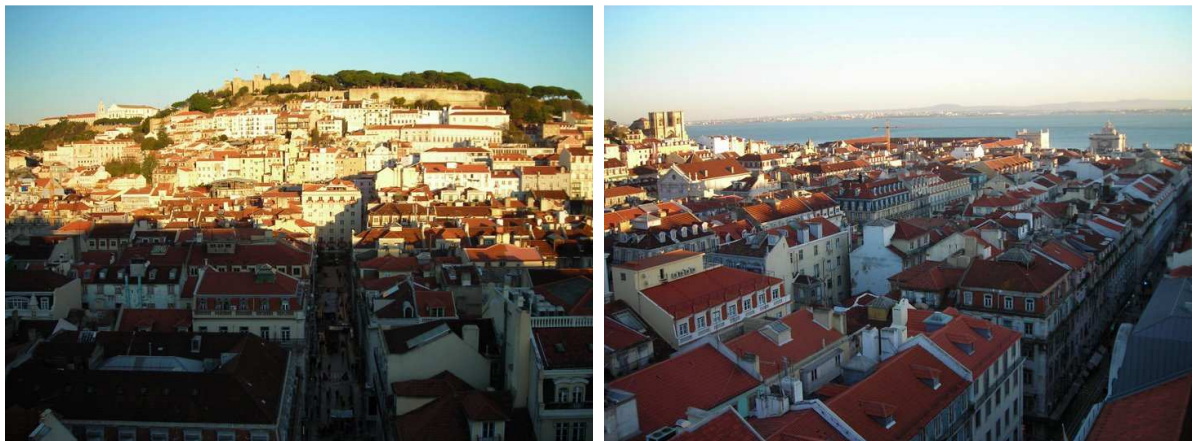


Figura 52 – Perspectivas sobre a baixa pombalina

<sup>124</sup> João Appleton – Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e tecnologias de intervenção. 1ª Edição. Amadora: Edições Orion, 2003, pp. 299 e 300



*“No entanto, a construção pombalina é um acto excepcional de depuração tecnológica, em que se atinge um grau de compreensão extraordinário acerca do comportamento das estruturas.*

*O apuramento técnico é tal que hoje não seria possível fazer melhor, com os materiais disponíveis, para alcançar estruturas robustas e duráveis que envergonham, pela sua qualidade, muitos técnicos contemporâneos.*

*Sendo a Cruz de Santo André, componente dos frontais tecidos, o ex-líbris da própria ideia de construção pombalina, esta é na essência, a notável combinação da alvenaria pesada, rígida e frágil, com a madeira leve, flexível e resiliente que, no conjunto, asseguram um desempenho notável quer para cargas verticais quer para forças horizontais.*

*Se dúvidas houvesse acerca da excelência da construção pombalina, bastaria ver como ela tem sobrevivido a cerca de 250 anos de negligência e de maus tratos para compreender o carácter singular desta construção.”<sup>125</sup>*

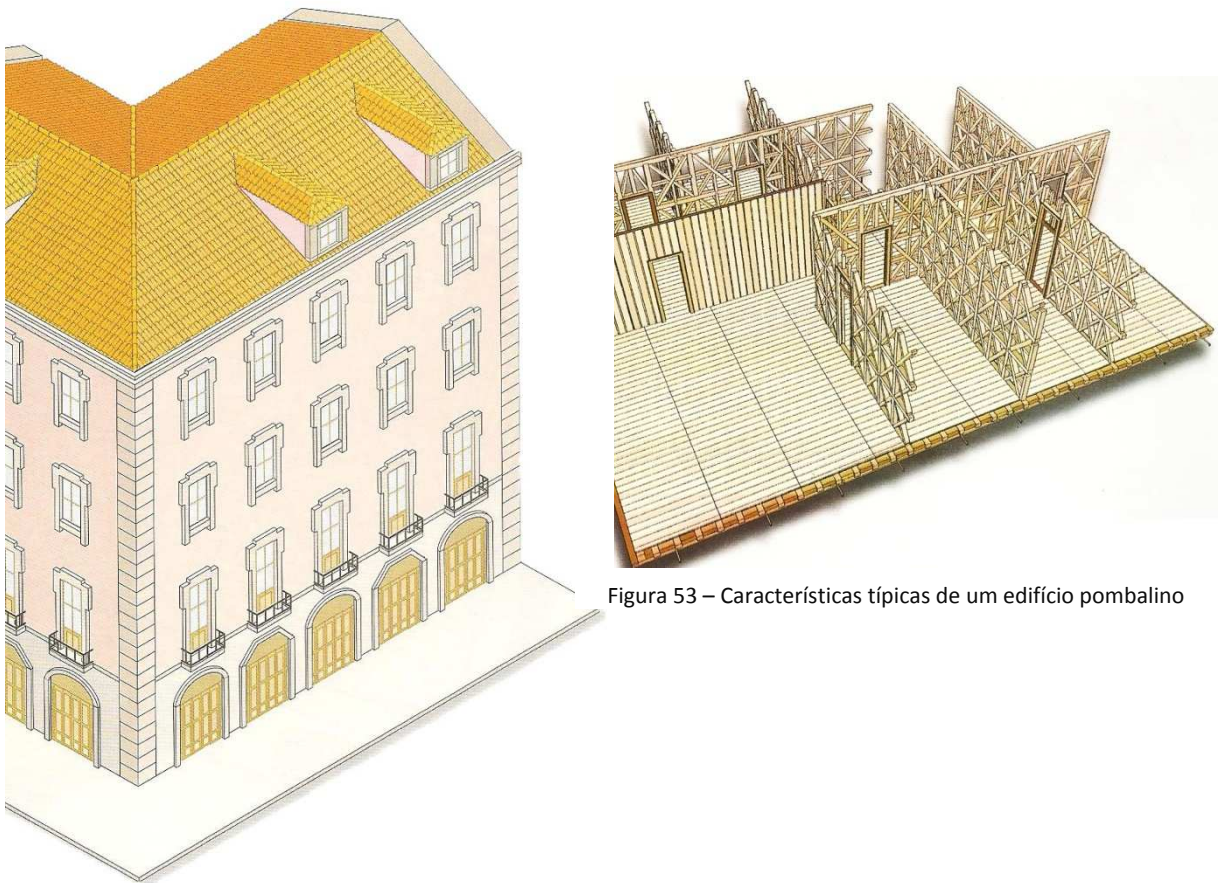


Figura 53 – Características típicas de um edifício pombalino

<sup>125</sup> Idem, op. cit

### 4.2.3 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO URBANO

O quarteirão em estudo localiza-se em Lisboa, na Baixa Pombalina, estando confrontado a Norte pela Rua da Conceição, a Sul pela Rua de São Julião, a Nascente pela Rua da Prata e a Poente pela Rua Augusta.

Urbanisticamente corresponde ao conjunto de edifícios pombalinos orientados Norte – Sul e paralelos à Praça do Comércio, cuja orientação difere dos restantes edifícios do núcleo pombalino que se orientam segundo o eixo Nascente – Poente.



Figura 54 – Vista aérea do edifício



Figura 55 – Perspectivas da Fachada Norte, Rua da Conceição

#### 4.2.4 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE

O quarteirão no qual se insere o edifício em estudo apresenta uma planta rectangular de aproximadamente 60 x 33 m, com um saguão interior fechado com aproximadamente 30,5 x 4,2 m. O quarteirão em estudo é composto por nove edifícios, cada edifício apresentando fracções e tipologias diferentes, embora as mais comuns sejam T2 e T3.

Após uma visita ao edifício em estudo e respectivo saguão, obteve-se uma percepção real do estado de degradação de ambos, apesar de o saguão ser o elemento mais crítico. Ao nível do Piso 0, os usos predominantes são pequenas lojas de comércio tradicional, em que parte destas avançaram para o interior do saguão criando um acréscimo de área, fazendo com que o acesso à cota do saguão seja apenas conseguida através do Piso 1.

O Piso 1, a partir do qual se acede ao saguão, neste momento alberga um escritório de estudos financeiros que ocupa as duas fracções do piso. Os restantes pisos são ocupados por habitação, cujas fracções mantêm a definição original, apesar de nem todas estarem ocupadas. O edifício é composto por 5 pisos.

#### 4.2.5 OPORTUNIDADES DO EDIFÍCIO

Apesar do estado generalizado de degradação dos edifícios da baixa pombalina, alguns dos usos que continuaram a estabelecer as suas funções na Baixa, de algum modo foram preservando as características interiores do edificado.

A qualidade intrínseca aos materiais utilizados há mais de 250 anos são aspectos a ter em consideração numa reabilitação sustentável. Existem muitos edifícios cujo avançado estado de degradação implica reforços estruturais significativos apesar de ser possível manter os aspectos mais marcantes da reconstrução pós-terramoto.

Nas secções seguintes são apresentados alguns aspectos que, em termos construtivos, representam oportunidades de intervenção na proposta apresentada no subcapítulo 4.6.



Figura 56 – Perspectivas de um edifício pombalino em que foram mantidas as características originais

#### 4.2.5.1 PAREDES DE ALVENARIAS: INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica está associada a dois fenómenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento e arrefecimento dos materiais. A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e das componentes construtivas interiores. Quando a temperatura exterior aumenta, o fluxo de calor penetra na parede, mas não atravessa a parede imediatamente, antes aquece-a internamente até que chegue ao interior da edificação.

A envolvente, quer exterior quer interior, absorve o calor, dependendo onde o ar tem maior temperatura. Ao conduzir o calor para outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, consequência da sua massa térmica.

Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, que pode ser devolvido para o ambiente interior quando a superfície do ar for menor que a da superfície.

Numa localidade onde as temperaturas oscilam entre valores altos durante o dia e baixos durante a noite, pode-se utilizar a massa térmica para acumular calor durante o dia, retê-lo, e mais tarde devolvê-lo ao interior. Deste modo haverá uma diminuição da amplitude da temperatura interna, que oscilará de forma amortecida.

Quanto ao isolamento térmico das paredes, as soluções possíveis de considerar no seu reforço dependem, como é óbvio, das soluções construtivas das próprias paredes, existindo ainda outros factores condicionantes. Podem-se considerar três tipos de soluções distintas<sup>126</sup>:

- *“Aplicação de uma camada de isolamento térmico pelo exterior da parede”;*
- *“Aplicação de uma camada isolante térmica pelo interior da parede;*
- *“Injecção de um enchimento isolante térmico na caixa-de-ar das paredes duplas”.*<sup>127</sup>

Na reabilitação de edifícios antigos a melhor solução passa pela solução de isolamento pelo exterior, devido à sua maior exequibilidade e facilidade de implantação, deste modo, as vantagens que concernem a uma solução deste tipo passam por<sup>128</sup>:

- *“A parede existente mantém-se quente e seca, aumentando assim a sua resistência térmica e a sua capacidade de armazenar energia”;*
- *“As pontes térmicas são eliminadas, nomeadamente nas zonas de intersecção entre as paredes exteriores e paredes interiores ortogonais, o que permite reduzir as perdas térmicas e eliminar a condensação superficial”;*
- *“É reduzido o risco de condensação intersticial no interior da parede”;*
- *“Não há qualquer trabalho no interior do edifício, o que reduz o nível de perturbação provocado aos utilizadores durante as obras de reforço de isolamento.”*<sup>129</sup>

<sup>126</sup> João Appleton, op. Cit., pp. 216

<sup>127</sup> Idem, op. Cit.

<sup>128</sup> Idem, op. Cit.

<sup>129</sup> Idem, op. Cit.

#### 4.2.5.2 MADEIRAMENTOS

A organização das estruturas dos pavimentos em madeira dos edifícios pombalinos obedece a uma regra simples: colocam-se paralelamente os vigamentos principais com um afastamento na ordem dos 0,20 - 0,40m. Na melhor construção pombalina adoptam-se afastamentos entre vigas cuja dimensão é igual à largura destas, como exemplo, a vigas com largura de 0,15 m corresponde uma distância de 0,30 m entre os eixos de duas vigas.<sup>130</sup>

Neste sentido, em madeiramentos sem grandes deformações estruturais e/ou patologias de ordem biológica irremediáveis (térmitas, fungos) é de todo conveniente equacionar a hipótese de uma reabilitação dos mesmos.

#### 4.2.6 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS DA LUZ NATURAL DE LISBOA

*“Portugal caracteriza-se pelo clima temperado costeiro, que se insere na categoria de Zona Temperada, onde ao longo do dia a humidade relativa mantém níveis seguros compreendidos entre 40 e 70%, e no qual o aquecimento raramente é necessário”.*<sup>131</sup>

Contudo, há que ter em consideração, as várias escalas de abordagem do clima: a escala regional e a escala local. O conhecimento profundo do contexto climático e micro-climático de determinado local permite dar resposta às questões projectuais que possam ser levantadas. Qualquer projecto de arquitectura é parte de um território específico com características particulares que o diferenciam dos demais.

*“O fluxo de luz natural que incide na cidade de Lisboa num dia de céu encoberto (toma-se por referência um valor de iluminação num plano horizontal desobstruído de 10.000 lux), estima-se ser ultrapassado em média 85% das horas entre as 9 e as 17 horas ao longo do ano.*

*Num dia de céu encoberto, o fluxo de luz natural que incide na cidade de Lisboa, é igual ao que seria produzido por lâmpadas de instalação corrente, assegurando 500 lux nos planos de trabalho de um edifício de oito pisos que cobrisse integralmente a cidade.*

*Na prática a ocupação do solo não é de 100%, incidindo a luz natural também em superfícies verticais o que tornaria possível, caso fosse viável, aproveitar completamente o fluxo de luz natural que incide nos edifícios, iluminando gratuitamente edifícios de muitos mais pisos num dia de céu encoberto.*

*Num dia de céu limpo de Verão, com Sol alto, o fluxo de luz natural pode ser multiplicado 10 vezes em relação ao valor anteriormente considerado, pelo que seriam mais altos os edifícios que se poderia iluminar gratuitamente.*

*Condicionantes de ordem diversa apenas permitem utilizar eficazmente no projecto de uma pequena parte do fluxo luminoso incidente na envolvente dos edifícios. Contudo, a abundância de luz natural e o custo da energia eléctrica justificam uma análise cuidada do aproveitamento passível da primeira. Justifica-se pois, considerar os efeitos da luz do Sol, que no mês de Janeiro se faz sentir em Lisboa durante 53% do período diurno e em Julho/ Agosto durante 84% desse período.*

<sup>130</sup> Idem, op. cit., pp. 36

<sup>131</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. cit., pp. 33

*Num dia de céu limpo a iluminação de uma fachada ensolarada resultante da luz do sol é várias vezes superior à proveniente do céu. Por este motivo, a quantidade de radiação a considerar numa janela isolada será, frequentemente, a que resulta da difusão da luz total que nela incide (Luz do Sol + Luz do Céu + Luz Reflectida pelo pavimento) representando nesse total a luz do sol a maior percentagem.*<sup>132</sup>

SUPERFÍCIES	ORIENTAÇÃO	JANEIRO (Lux)	JULHO (Lux)
VERTICAIS	N	450	1900
	NE	540	2900
	E	1300	3700
	SE	2500	3400
	S	3100	2500
	SO	2400	3700
	O	1300	4200
	NO	530	3200

Tabela 3: Valores Médios da Radiação Global em Lisboa

#### 4.2.6.1 JANEIRO

Janeiro é o mês mais representativo das condições de Inverno e para o qual o ângulo de incidência solar é mais baixo. Através da análise da tabela anterior pode-se verificar que as fachadas orientadas a Sul são as que mais beneficiam em termos de ganhos lumínicos, em oposição às fachadas orientadas a Norte que apresentam o menor valor de radiação.

#### 4.2.6.2 JULHO

Ao contrário da situação no mês de Janeiro, o mês de Julho com um ângulo de incidência solar mais alto, a desproporção de radiação nas diferentes orientações solares em superfícies verticais não se mantém.

Apesar das fachadas orientadas a Norte registarem os menores valores de radiação, para tempo quente, funciona como uma orientação favorável.

As fachadas orientadas a Sul, ao contrário do que acontece em Janeiro, deixam de ser as que maiores valores de radiação apresentam, sendo a segunda melhor situação antecedida pela orientação a Norte.

Os paramentos verticais com maiores níveis de radiação incidente, Oeste e Este, correspondem às orientações mais desfavoráveis em tempo quente, sendo necessário prever nestas situações algum tipo de sistema de sombreamento para bloquear parte da entrada de Luz Directa nos espaços servidos por estas orientações. Ao contrário do desejável, em tempo frio, no mês de Janeiro, estas orientações apresentam valores mais baixos relativamente ao mês de Julho.

<sup>132</sup> Fernanda Sá de Oliveira, op. cit., pp. 33

## 4.3 MEMÓRIA DESCRITIVA DO PROJECTO DE ALTERAÇÃO

Neste subcapítulo são apresentadas as estratégias base das alterações efectuadas ao nível do edifício e respectivo saguão.

### 4.3.1 ALTERAÇÃO DO PISO E DE PAREDES INTERIORES

A estratégia de redesenho do piso passou por uma adaptação às vivências contemporâneas, tornando os pequenos espaços em zonas amplas e espaçosas através da criação de uma nova tipologia habitacional.

O piso existente foi redesenhado para albergar um T2, sendo composto por uma sala ampla, um escritório, uma cozinha, um quarto e uma casa de banho. Esta estratégia, apesar de fomentar uma estética diferente da configuração pombalina original, não entra em conflito com a superestrutura do edifício, na qual são assumidos e enfatizados os elementos existentes característicos da época: a estrutura de gaiola, os tectos de forro saia – camisa e o pavimento existente.

Ao nível das paredes interiores, optou-se por estudar duas situações distintas, uma solução opaca e uma solução com a gaiola pombalina à vista.

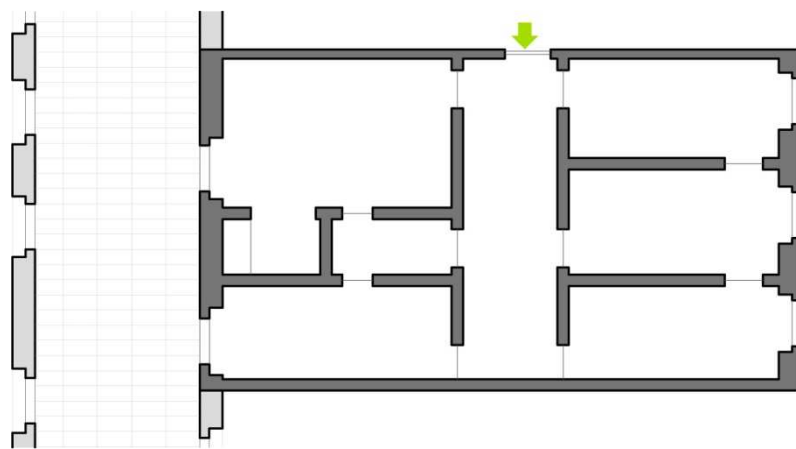


Figura 57 – Piso-tipo pombalino, escala 1:200



Figura 58 – Piso proposto, escala 1:200

## 4.3 2 ALTERAÇÃO NO SAGUÃO

Actualmente, o saguão em estudo, tal como a maioria dos saguões dos edifícios pombalinos, está devotado ao abandono. Regra geral, nestes saguões vão aparecendo construções espúrias que vão adulterando e entulhando os interiores de quarteirão da Baixa.

Neste sentido, e dadas as dimensões exíguas do saguão que não permitem uma vivência de pátio interior, a proposta apresentada conduziu a uma solução em que este é aproveitado como elemento primordial de reflexão da luz para o interior dos pisos habitados, por intermédio de estruturas espelhadas composta, numa primeira fase, por um revestimento integral do saguão com planos verticais espelhados, e numa segunda fase, adicionando à solução anterior, lamelas prismáticas horizontais orientadas em função da radiação solar da cidade de Lisboa.



Figura 59 – Condição actual do saguão em estudo



Figura 60 – Soluções propostas (da esquerda para a direita: fachada reflectora vertical, vista superior do saguão com fachada reflectora plana, fachada reflectora prismática)



### 4.3.3 ALTERAÇÃO NA FACHADA TARDOZ

De forma a otimizar os ganhos solares do piso em estudo, optou-se por uma nova solução de fachada tardoiz que possibilitasse uma maior propagação da luz no interior, optando-se por criar vãos maiores que permitissem espaços mais luminosos e agradáveis de habitar. Apesar de problemas de encandeamento poderem estar associados a este tipo de solução, considerou-se que ao não serem áreas de trabalho, a problemática de reflexões veladas que pudessem tornar difícil a execução de tarefas visuais, não se colocava. De qualquer forma, dada a largura do saguão ser apenas 4,2 m, a incidência da luz nos pisos não seria um inconveniente face ao efeito de sombra da fachada imediatamente em frente e da envolvente urbana compacta na qual se insere o quarteirão.

Os vãos passaram a ter 3,35 m de altura, o vão do quarto apresenta 3 m de largura e o vão da cozinha 2,5 m. As paredes onde estão inseridos os novos vãos e parte do tecto foram truncados de forma a permitir uma maior reflexão para o interior, permitindo também uma maior uniformidade na iluminância destes compartimentos.

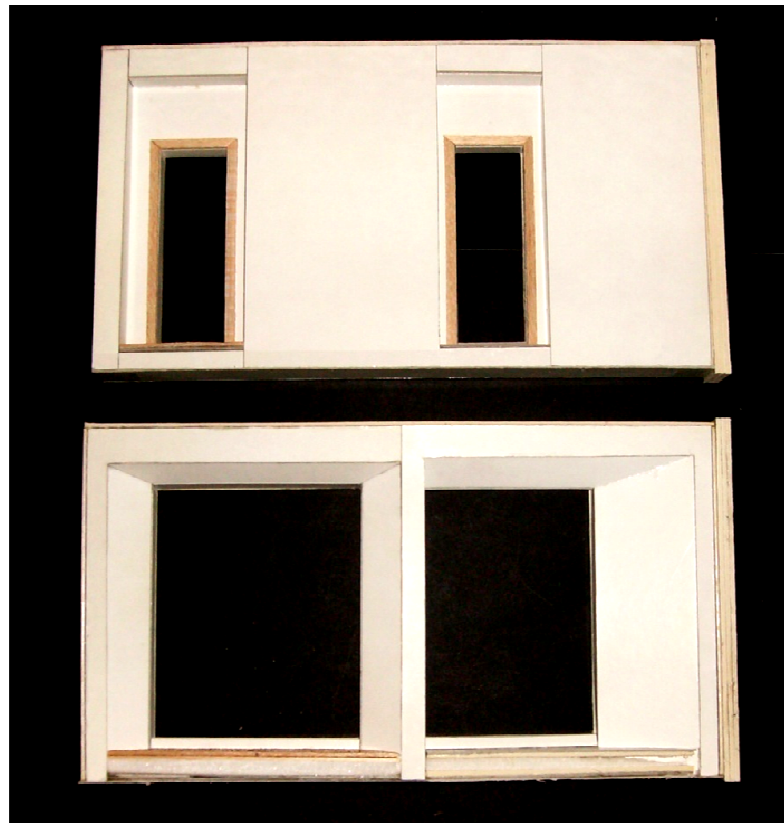


Figura 61 – De cima para baixo: fachada tardoiz existente e fachada tardoiz proposta

#### 4.3.4 ESTRUTURAS AUTÓNOMAS DE REFLEXÃO E REDIRECCIONAMENTO DA LUZ

As alterações de base supracitadas abordam a questão da optimização da iluminação natural através da utilização de estruturas aplicadas directamente nas superfícies existentes. Contudo, sendo este estudo de cariz experimental, também é equacionada a utilização de estruturas autónomas para alcançar o objectivo de optimização da luz.

Desta forma, são apresentadas duas estruturas espelhadas colocadas no topo do saguão que captam e reflectem a luz para o seu interior. A orientação destas encontra-se de acordo com as características de radiação solar da cidade de Lisboa, com a geometria do saguão e localização dos seus vãos, conforme os diagramas apresentados nas figuras 20 e 21, e cuja aplicação poderá eventualmente beneficiar a penetração da luz até ao nível inferior do respectivo saguão. Prevê-se que estas estruturas possam ter um efeito positivo na penetração de luz directa, e potencialmente detrimental em relação à luz difusa, dado obstruírem consideravelmente a área de entrada de luz para o saguão, sendo o efeito geral a quantificar por intermédio de medições na maqueta.

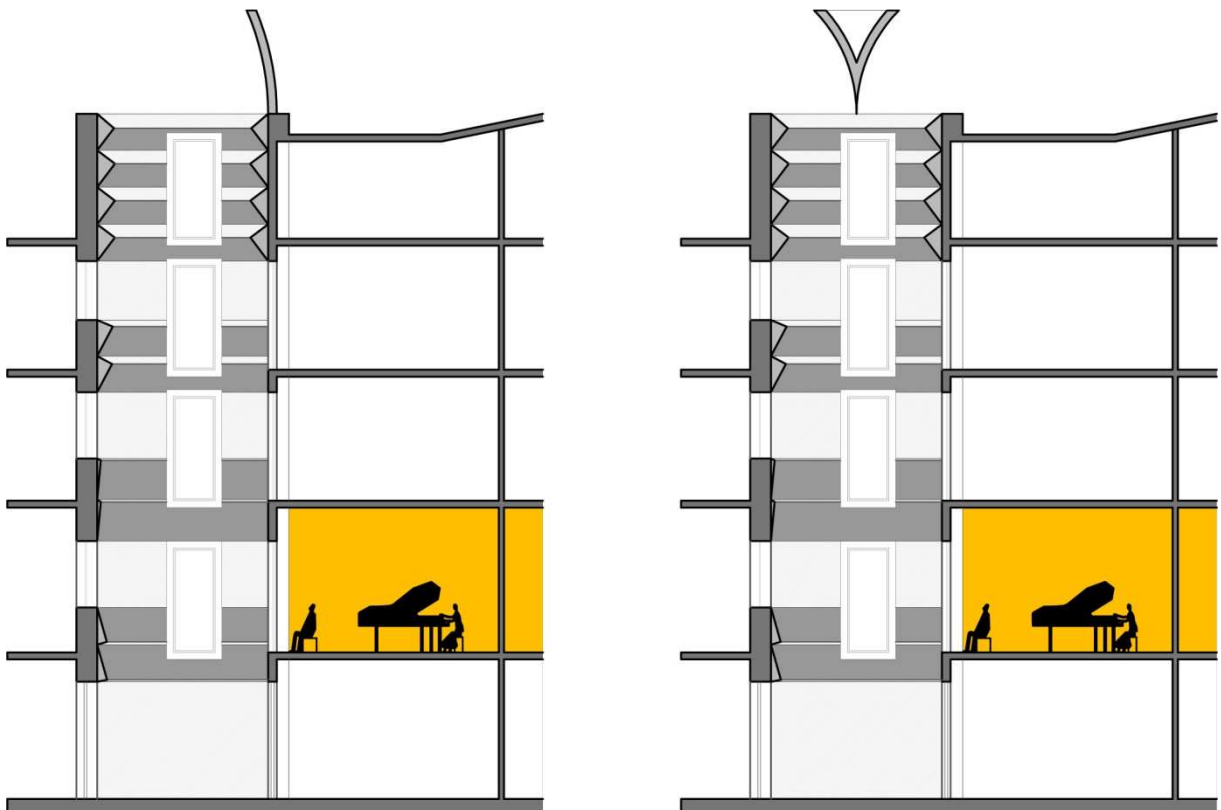


Figura 62 – Secções transversais do saguão – da direita para a esquerda – meia cúpula a Sul e duas meias cúpulas a Norte-Sul

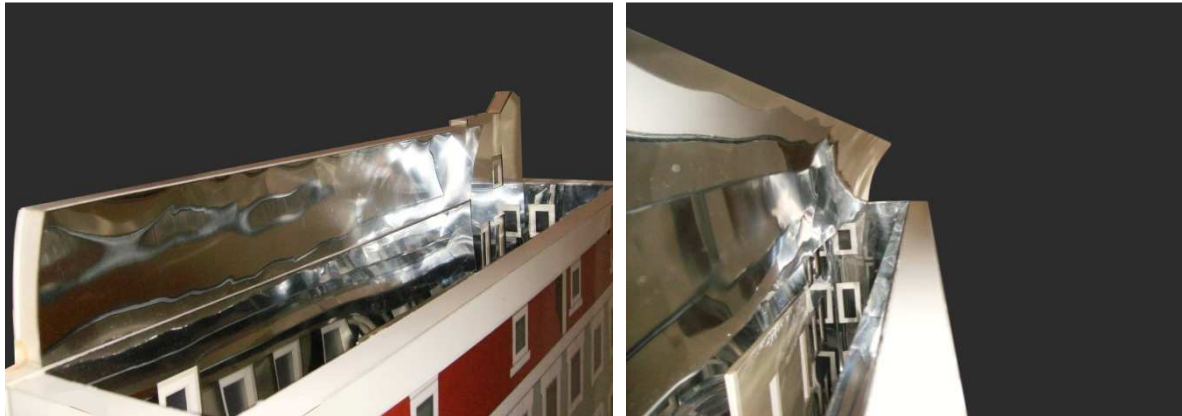


Figura 63 – Perspectivas da maqueta – da direita para a esquerda – meia cúpula a Sul e duas meias cúpulas a Norte-Sul

## 4.4 CONSTRUÇÃO DA MAQUETA

A compreensão do comportamento da luz natural no espaço é um factor de relevância na formação do arquitecto. Apesar dos recentes avanços na área da simulação computacional, um meio muito eficaz de avaliar o comportamento da luz natural no espaço é ainda a construção e estudo de maquetas físicas.

Ao contrário de outros fenómenos da física dos edifícios (como a acústica ou a térmica), a luz não sofre alterações devido a factores de escala, sendo que o seu comportamento numa maqueta bem executada é semelhante ao espaço real. Este efeito só será alcançado caso a geometria da maqueta seja exacta, e os materiais aplicados na maqueta tenham comportamentos lumínicos semelhantes aos materiais reais, nomeadamente em termos da sua reflectância.

### 4.4.1 DESCRIÇÃO GERAL

A maqueta foi realizada à escala 1:30, de forma a responder eficazmente ao seguinte conjunto de parâmetros:

- Ter uma escala apropriada para uma reprodução o mais realista possível das intervenções efectuadas, permitindo a realização de pormenores de acabamento que ajudem na compreensão do espaço: as guarnições de vãos, o envernizamento e coloração de pavimentos, os tectos de forro saia – camisa;
- Os pisos terem uma dimensão entre 0,12 e 0,13 m de altura de forma a poder introduzir as sondas do luxímetro para as medições de luz difusa, evitando erros de leitura devido a uma proximidade excessivas das sondas relativamente ao tecto;
- A maqueta ter uma dimensão adequada para a colocação de uma máquina fotográfica no interior para o respectivo registo fotográfico;

O estudo, como referido, consiste num reaproveitamento do saguão como estrutura reflectora da luz para o interior dos pisos do edifício pombalino. Desta forma, face à dimensão do saguão à escala 1:30, com 0,17 m x 0,85 m e o edifício com 0,27 m x 0,50 m optou-se por uma base o mais reduzida possível com 0,90 m x 0,80 m.

Contudo, para que a maquete tivesse a robustez necessária, e dado que o espaço sobranete na base não permitiu a utilização de contrafortes para reforçar a sua estabilidade, optou-se por fazer o negativo das paredes numa placa de Wall-Mate de 0,04 m, resultando numa situação semelhante às fundações de um edifício, colada a uma base em MDF de 0,02 m.

Foi executado um piso tipo para as subseqüentes análises lumínicas. Estas foram realizadas para o piso mais crítico em termos iluminação, neste caso o primeiro piso habitado, não comercial (Piso 1). A estratégia passou por considerar a pior situação existente, permitindo extrapolar os resultados obtidos para os pisos superiores.

Uma vez que o estudo compreende um conjunto de soluções parciais que possibilitam várias combinações, estabeleceu-se logo de início a solução de referência com a qual vão foram comparadas as restantes hipóteses. A solução base combina o novo piso proposto com paredes interiores opacas, a fachada tardoz e saguão existentes. Todas as outras soluções foram colocadas posteriormente permitindo testar e comparar os resultados obtidos e tirar as respectivas conclusões.

Relativamente aos pontos de vista escolhidos para o registo fotográfico, foi prevista na execução da maquete três aberturas que tivessem uma dimensão igual à objectiva da máquina fotográfica, permitindo a captação de vários ângulos do espaço identificando e diferenciando os padrões de iluminação associados a cada hipótese considerada.

Terminada a representação de todos os elementos estruturantes, procedeu-se à selagem, com fita-cola preta, de todas as aberturas na maquete que pudessem provocar a entrada indesejada de luz, para, desta forma, reproduzir com o máximo realismo os ambientes luminosos.

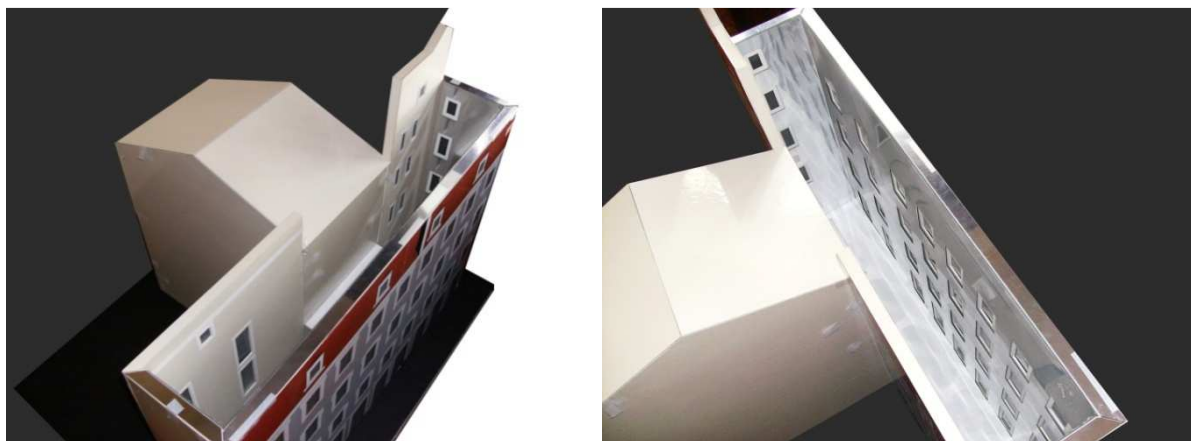


Figura 64 – Perspectivas da maquete

## 4.4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

A simulação em maquete é mais fiel quanto maior a semelhança lumínica entre os materiais representados no modelo à escala e os materiais correspondentes na realidade, no que concerne às suas reflectâncias.

Neste sentido, procedeu-se às medições da iluminância e da exitância luminosa, a partir das quais se obtém o valor da reflectância.

A reflectância corresponde ao rácio entre a quantidade de luz que o material emite (exitância) face ao total de luz que recebe (iluminância).

O valor da reflectância (%) relaciona-se estreitamente com as particularidades do material: cor, textura, brilho.

### **Cartão Madeira**

O edifício em estudo apresenta a fachada num tom amarelo claro, deste modo optou-se por utilizar cartão madeira de tom semelhante para as fachadas do saguão;

### **Cartão Branco**

O cartão branco foi amplamente utilizado no interior do piso em estudo, na simulação do pavimento da cozinha, nas paredes de todas as compartimentações, na simulação dos tectos de forro saia – camisa e no pavimento do saguão;

### **Balsa cor Bétula**

A balsa sem qualquer tratamento foi utilizada na estrutura de gaiola e nas guarnições dos vãos; esta decisão teve por base manter o aspecto mate das paredes brancas e criar um maior equilíbrio de brilho e contraste com o pavimento proposto.

### **Balsa Pintada e Envernizada**

Para os pavimentos de madeira da sala, escritório e quarto foi utilizada balsa pintada com duas camadas de Bondex, Tom Carvalho Médio Brilhante, envernizada com duas camadas de Bondex Incolor Brilhante, ambos Dyrup;

### **Sibu**

Material tipo borracha com superfície espelhada em alumínio, para simular as soluções reflectoras propostas para o saguão.

MATERIAIS NA REALIDADE	EXITÂNCIA (LUX)	ILUMINÂNCIA (LUX)	REFLECTÂNCIA (%)
Reboco Branco	667	879	76
Madeira (pinho encerado a cor escura)	166	1259	13
Madeira (faia envernizada)	215	1002	21
MATERIAIS NA MAQUETA	EXITÂNCIA (LUX)	ILUMINÂNCIA (LUX)	REFLECTÂNCIA (%)
Cartão Madeira	276	375	74
Cartão Branco Duplo	320	415	77
Madeira (Balsa cor bétula)	220	355	62
Madeira (carvalho médio brilhante)	162	319	52
Superfície espelhada (Sibu)	263	320	82

Tabela 4 – Reflectâncias dos materiais reais e dos materiais utilizados na maqueta



Figura 65 – Amostra representativa dos materiais utilizados na maqueta (da direita para a esquerda): cartão madeira, cartão branco, balsa cor bétula, carvalho médio brilhante, superfície espelhada

Em geral, as reflectâncias dos materiais de acabamento reais e dos correspondentes em maqueta apresentam valores semelhantes, apesar de não serem exactamente coincidentes. A semelhança entre eles garante que os resultados finais de luz em maqueta estarão próximos do que se poderá esperar numa situação real.

O valor que apresenta maior discrepância corresponde à madeira utilizada no pavimento da maqueta comparada com a situação real (pinho encerado a cor escura). Na representação no modelo à escala optou-se por uma cor de madeira mais clara e brilhante, e consequentemente mais reflectora. Esta escolha foi intencional, de modo a otimizar os níveis de iluminância interiores, e corresponderia à opção de substituição da madeira do pavimento, dada a importância desta superfície na capacidade de difusão interior da luz natural captada pelos vãos.



Figura 66 – Perspectivas de um edifício pombalino existente



Figura 67 – Perspectivas da maqueta com parede interior opaca (direita) e com estrutura à vista (esquerda)

#### 4.4.3 PORMENORES DA CONSTRUÇÃO DA MAQUETA

Dado que apenas a maqueta do edifício em análise e respectivo saguão foram construídos, e de forma a obter uma percepção mais clara da fachada do quarteirão, os alçados exteriores foram projectados nas respectivas paredes do saguão.

Como no projecto não se aplica qualquer tipo de vidro específico, e sendo os envidraçados existentes em vidro simples, estes não foram representados na maqueta. Desta forma, no cálculo do Factor Luz-Dia, o valor de iluminância interior obtido será apenas 81% do valor indicado pelo luxímetro, sendo cerca de 90% a transmissão luminosa do vidro simples, e adicionado um factor de utilização de 0.9.

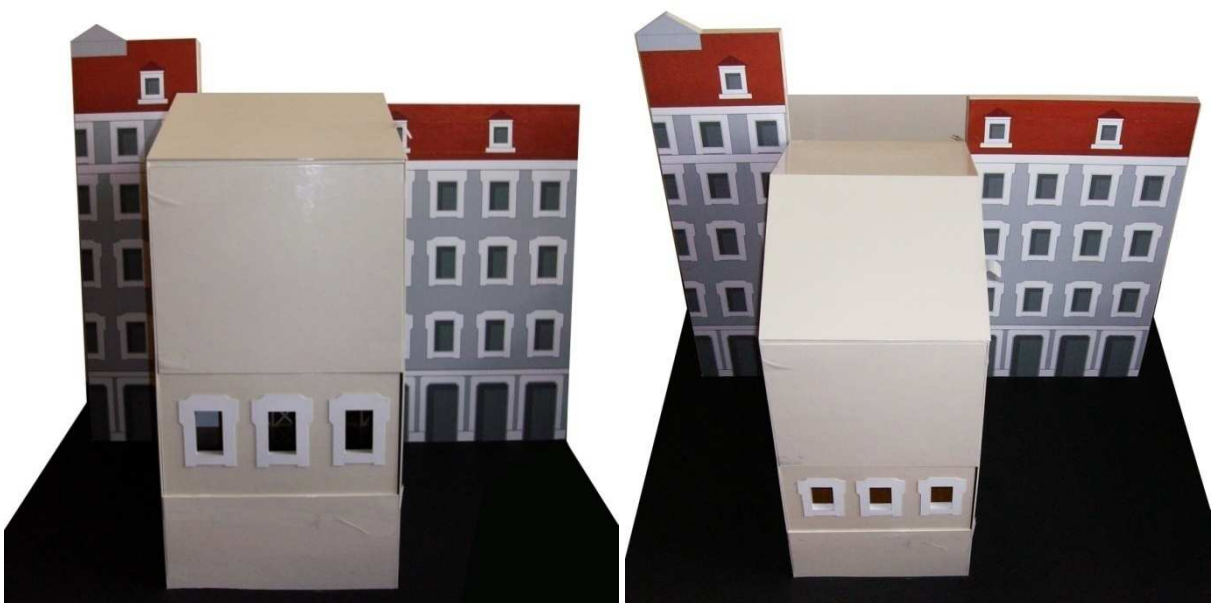


Figura 68 – Perspectivas da maqueta

## 4.5 SOLUÇÕES PROPOSTAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Como referido no tópico 4.3, as análises quantitativas e qualitativas foram realizadas tendo como base as combinações para os quatro elementos base: paredes interiores, saguão, fachada tardoz e estruturas autónomas de reflexão e redireccionamento da luz.

De seguida, apresentam-se as soluções para cada um destes elementos, às quais se designou Variáveis de Base:

### Variáveis de Base:

#### 1. Hipóteses de Paredes Interiores:

- Solução com paredes opacas de cor branca;
- Solução com estrutura de gaiola à vista em madeira cor bétula.

#### 2. Hipóteses do Saguão:

- Saguão existente, fachada de cor amarelo-claro;
- Saguão revestido com superfícies espelhadas;
- Saguão revestido com superfícies espelhadas e lamelas prismáticas a Norte e Sul.

#### 3. Hipóteses de Fachada Tardoz:

- Fachada tardoz com vãos existentes;
- Fachada tardoz com vãos amplos truncados.

#### 4. Hipóteses de Estruturas Autónomas Captadoras e Reflectoras da Luz no topo do saguão:

- Solução de duas meias cúpulas em forma de “asas de borboleta” orientadas a Sul e Norte;
- Solução de meia cúpula orientada a Sul.



VARIÁVEIS DE BASE			
PAREDE INTERIOR	SAGUÃO	FACHADA TARDOZ	ESTRUTURAS AUTÓNOMAS
Opaca Branca	Existente Pintado a cor amarelo-claro	Vãos existentes	Meia cúpula a Sul
Gaiola Pombalina	Panos espelhados verticais	Vãos amplos e truncados lateralmente e no topo	Duas meias cúpulas orientadas a Sul e Norte
	Panos espelhados verticais com lamelas prismáticas horizontais		

Tabela 5 – Variáveis de base

SOLUÇÕES COMBINADAS COM AS VARIÁVEIS DE BASE	
<b>SOLUÇÃO 1 (REFERÊNCIA)</b>	Opaca Branca + Saguão Existente + Vãos Existentes
SOLUÇÃO 1.1	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes
SOLUÇÃO 1.2	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes
SOLUÇÃO 1.3	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul
SOLUÇÃO 1.4	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul
SOLUÇÃO 1.5	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte
SOLUÇÃO 1.6	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte
<b>SOLUÇÃO 2</b>	Gaiola Pombalina + Saguão Existente + Vãos Existentes
SOLUÇÃO 2.1	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes
SOLUÇÃO 2.2	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes

SOLUÇÃO 2.3	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul
SOLUÇÃO 2.4	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul
SOLUÇÃO 2.5	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte
SOLUÇÃO 2.6	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte

<b>SOLUÇÃO 3</b>	Opaca Branca + Saguão existente + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.1	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.2	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.3	Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos amplos truncados + meia cúpula Sul
SOLUÇÃO 3.4	Gaiola Pombalina + Saguão existente + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.5	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.6	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos amplos truncados
SOLUÇÃO 3.7	Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos amplos truncados + meia cúpula Sul

Tabela 6 – Síntese das soluções propostas

## 4.6 ANÁLISE LUMÍNICA DAS PROPOSTAS

O estudo quantitativo e qualitativo das soluções combinadas não pretende ser exaustivo, dado que o objectivo passa por uma abordagem fundamentada e expedita, para o qual são justificadas, previamente, as premissas que levam à análise de uma solução em detrimento de outra. Nesta investigação a problematização da iluminação natural não passa pela avaliação individual dos resultados obtidos, o estudo pretende ser inteligível e de fácil compreensão, sobrepondo as diferentes soluções, cujas combinações com as variáveis de base se revelaram de maior impacto.

Neste sentido e de forma fundamentada, foram sendo excluídas combinações que logo à partida não iriam beneficiar o objectivo proposto de optimização da luz natural através do saguão.

As abordagens à Luz Difusa e à Luz Directa, não tiveram por base os mesmos critérios, visto serem situações com especificidades diferentes, sob condições de luz diversas, com céu encoberto uniforme e céu limpo, respectivamente. Nesse sentido, as soluções de optimização da Luz Difusa poderão não ser as mesmas para a Luz Solar Directa.

Num primeiro momento, estas são analisadas em separado e só depois é feita uma sobreposição dos resultados, sobre os quais incidirá uma avaliação global, sugerindo-se, sempre que seja oportuno, uma solução intermédia que consiga contemplar o melhor dos dois tipos de iluminação.

### 4.6.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise quantitativa visa determinar o nível de iluminância num determinado espaço interior. Porém, a quantidade de luz necessária para cada espaço específico (sala, quarto, escritório ou cozinha) não é fixa, dependendo do tipo de tarefa visual ou actividade realizada em cada compartimento.

Desta forma, actividades de escrita/leitura exigem uma maior quantidade de luz enquanto as actividades de relaxamento estão, normalmente, sujeitas a uma luz menos intensa, associada a zonas de descanso em que não haja predominância de tarefas visuais críticas que requeiram níveis elevados de iluminação. Este raciocínio permite definir uma estratégia de análise que melhor se coadune com o objecto em estudo.

A tabela seguinte permite constatar que, para espaços de trabalho, um Factor Luz-Dia de 5% é desejável, enquanto um FLD de 2% é o mínimo aceitável para um espaço que se queira apenas parcialmente iluminado por meio de métodos naturais.

TABLE III - Lighting recommendations in workplaces

Activity/Space	Building Type	Artificial Lighting:		Daylighting:		
		Illuminance (Lux)	Glare Index	Type of Daylighting*	Average Daylight Factor (%)	Glare Index
Formal teaching and seminar spaces	Schools	300 to 500 (300 on desks, in hospitals)	16 formal	A	5	21 formal
	Colleges Hospitals, etc		19 seminar	B	2	23 seminar
Deep (open) plan teaching spaces	Schools	300 to 500	19	A	5	23
	Colleges			B	2	
Lecture theatres and examination halls	Schools	500 (300 on desks, in hospitals)	16	A	5	21
	Colleges Hospitals			B	2	
Music rooms and music practice rooms	Educational and recreational buildings	300	19	A	5	23
				B	2	
Art Craft Needlework (studios)	Schools	300 to 500	16	A	5	21
	Colleges Factories Offices Recreational buildings			B	2	
Woodwork Metalwork Engineering (teaching)	Schools	500	16	A	5	21
	Colleges Training centres Recreational buildings			B	2	
Laboratories	Educational buildings	500 to 750 (300 to 500 on bench, in hospitals)	16	A	5	21
	Hospitals Offices Research establishments Factories			B	2	
Staff rooms Common rooms	Educational buildings	150 to 300 (100 average in hospitals)	19	A	5	23
	Hospitals Offices Factories			B	2	
Offices (enclosed)	Offices	500 (300 on desks, in hospitals)	19	A	5	23
	Educational buildings Factories Hospitals Banks Insurance buildings Post offices Libraries			B	2	
Deep (open) plan offices Landscaped offices	Offices	500 to 750	19	A	5	23
	Colleges Banks Insurance buildings, etc			B	2	
Typing Business machines Punch card	Offices	500 to 750	19	A	5	23
	Colleges Banks Post offices, etc			B	2	
Computers	Offices	500 to 750 Limit illuminance where VDUs are used	19	A	5	23
	Banks Educational buildings Hospitals			B	2	
Drawing offices Design offices	Educational buildings	500 to 750 plus local lighting to 1000 on boards	16	A	5	21
	Offices Factories			B	1 (in supplemented area)	
Workshops Machine shops Processing Production plane	Factories	Rough work 300 Medium 500 Fine 750 to 1000 Very fine 1000 to 1500 (300 to 500 on bench, in hospitals)	19	A	5	23
	Offices Hospitals, etc			B	1 (in supplemented area)	

\* A - Full daylighting, B - Supplemented daylighting.

Source: *Basic Data for the Design of Buildings: Daylight*. Draft for Development, DD 73: 1982, British Standards Inst.

#### 4.6.1.1 METODOLOGIA

Para as avaliações de Luz Difusa recorreu-se a um luxímetro Delta Ohm DO9712K, para a medição (em lux) da iluminação existente em vários pontos estratégicos do piso-tipo. As medições são realizadas mediante condições céu nublado/encoberto, ou seja, em situações que não exista a interferência da luz solar directa. Interessa obter com as medições das iluminâncias interiores e exteriores o Factor Luz-Dia nos vários pontos do piso em estudo e para as diferentes soluções propostas, para deste modo tecer uma análise comparativa e crítica das várias hipóteses apresentadas.

A maqueta deve ser colocada num local amplo, de molde a que a interferência de superfícies verticais seja a menor possível e que as reflexões externas não tenham preponderância no cálculo do Factor Luz-Dia.

Apesar do edifício em estudo ter uma envolvente edificada muito próxima e compacta que, necessariamente, conduz a que as reflexões do exterior tenham repercussões nos níveis de iluminância interiores, estas não foram consideradas. O objectivo principal deste estudo consiste em adaptar soluções ao saguão de forma a otimizar a iluminação interior do piso a partir deste, cujo objectivo último visa o incremento da qualidade e quantidade de iluminação natural dos espaços virados para o interior do saguão pombalino.

O processo de medição inicia-se com a ligação de duas sondas ao luxímetro, uma delas é colocada no topo da maqueta, para proceder à medição da iluminância exterior, a outra é colocada no interior do piso em cada um dos pontos seleccionados.

É importante referir que a introdução da sonda na maqueta não deve permitir a entrada de luz não intencional no interior da mesma de tal forma que possa falsear os resultados obtidos.

Assim, todas as entradas de luz que não tenham sido pensadas com esse propósito, o caso de juntas e das aberturas para a introdução das sondas e máquina fotográfica, foram cuidadosamente seladas.

A selecção dos pontos para as medições da luz difusa é representativa do espaço, ou seja, contempla os pontos de maior importância (próximos das aberturas existentes/propostas e das duas soluções de paredes interior, opaca/gaiola pombalina) que permitam uma comparação directa e expedita das várias soluções propostas e para uma análise sistematizada das condições de luz interior. De seguida apresentam-se alguns aspectos tidos em consideração na disposição das sondas no interior:

- Colocada em planta em pontos estratégicos em que a luz apresente picos de variação, elegendo pontos mais próximos e mais afastados das aberturas e alteração de paredes interiores;
- Disposto numa matriz, permitindo o traçado de secções pelos pontos escolhidos que expressem a variação da luz em cada um deles;
- Comuns às varias propostas, de forma a permitir uma comparação directa entre elas, podendo a partir daí fazer uma análise crítica e comparativa dos valores de cada solução.



Figura 69 – Pontos sobre os quais foram determinadas as iluminâncias interiores e identificação das divisões. A parede onde se expõe a gaiola pombalina, em algumas soluções, é a que se situa entre a zona de entrada e a cozinha (situada entre os pontos 10-11 e 6-9)

#### 4.6.1.2 MEDIÇÕES DO FACTOR LUZ-DIA

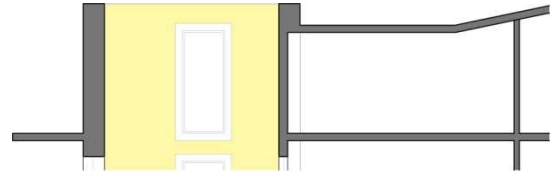
Como referido nos tópicos anteriores, nem todas as combinações possíveis foram analisadas. O processo de selecção de cada solução teve por base o seguinte raciocínio:

1. Procede-se à análise das iluminâncias interiores e exteriores para a situação de referência: parede interior opaca branca, saguão existente e fachada tardoz existente, determinando os Factores Luz-Dia para cada ponto estratégico;
2. Seguidamente, adição das diferentes soluções aplicadas directamente ao saguão (estrutura espelhada vertical plana e estrutura espelhada vertical plana com lamelas prismáticas horizontais), determinando os Factores Luz-Dia para cada ponto estratégico;
3. Ao ponto anterior adicionam-se as estruturas autónomas captadoras/reflectoras da luz (meia cúpula orientada a Sul, e duas meias cúpulas orientadas e Norte e Sul), determinando os Factores Luz-Dia para cada uma das hipóteses;
4. Alteração da parede interior opaca branca pela estrutura em gaiola pombalina à vista, fazendo as medições de luz difusa para as variáveis nomeadas no ponto 2 e 3;
5. Análise crítica dos resultados;
6. Apresentação da solução combinada com melhor desempenho (melhor parede interior, melhor estrutura aplicada directamente ao saguão e melhor estrutura autónoma captadora/reflectora da luz);
7. Análise e medição das soluções anteriores, introduzindo a nova Fachada Tardoz (os vãos maiores possibilitam a entrada de uma quantidade de luz também maior). Esta solução será a que melhor desempenho apresenta em termos de iluminação difusa pois engloba todos os elementos testados que a optimizam.

▪ **SOLUÇÕES COM PAREDE INTERIOR BRANCA OPACA, 1 A 1.6**

**SOLUÇÃO 1 (REFERÊNCIA)**

Opaca Branca + Saguão Existente + Vãos Existentes.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	422,22	342,00	16580,00	2,06
2	89,14	72,20	16700,00	0,43
3	53,99	43,73	17010,00	0,26
4	332,00	268,92	17510,00	1,54
5	99,61	80,68	17720,00	0,46
6	77,95	63,14	18030,00	0,35
7	107,53	87,10	18310,00	0,48
8	92,47	74,90	18180,00	0,41
9	71,58	57,98	18160,00	0,32
10	28,50	23,09	18310,00	0,13
11	46,03	37,28	18480,00	0,20

**SOLUÇÃO 1.1**

Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes.

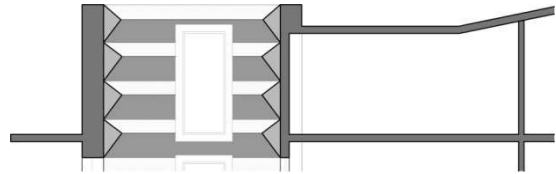


PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	416,05	337,00	13070,00	2,58
2	81,11	65,70	14070,00	0,47
3	60,93	49,35	14380,00	0,34
4	540,74	438,00	15650,00	2,80
5	116,74	94,56	15990,00	0,59
6	82,72	67,00	16240,00	0,41
7	121,03	98,03	16490,00	0,59
8	115,06	93,20	16620,00	0,56
9	79,26	64,20	16700,00	0,38
10	29,51	23,90	15030,00	0,16
11	51,16	41,44	16630,00	0,25



**SOLUÇÃO 1.2**

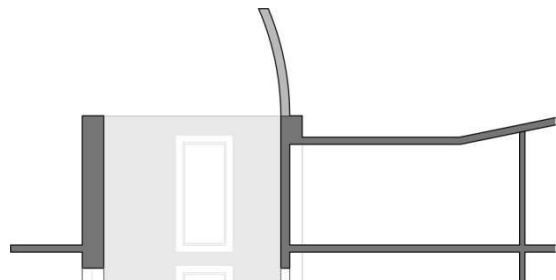
Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	166,41	134,79	20200,00	0,67
2	40,13	32,51	20000,00	0,16
3	27,53	22,30	20200,00	0,11
4	174,67	141,48	20200,00	0,70
5	51,78	41,94	20300,00	0,21
6	36,26	29,37	20800,00	0,14
7	54,21	43,91	22100,00	0,20
8	48,16	39,01	21300,00	0,18
9	39,21	31,76	21000,00	0,15
10	25,20	20,41	19980,00	0,10
11	56,61	45,85	21100,00	0,22

**SOLUÇÃO 1.3**

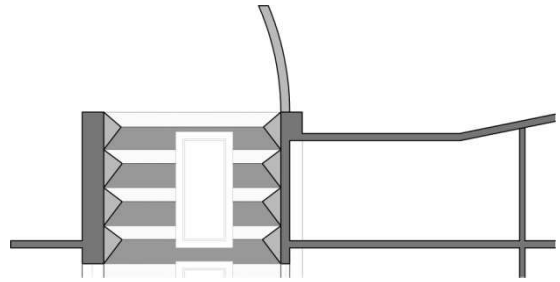
Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	62,60	50,71	2610,00	1,94
2	15,20	12,31	2630,00	0,47
3	11,35	9,19	2650,00	0,35
4	84,27	68,26	2970,00	2,30
5	17,90	14,50	2830,00	0,51
6	13,94	11,29	2790,00	0,40
7	22,57	18,28	2930,00	0,62
8	17,71	14,35	2890,00	0,50
9	13,12	10,63	2860,00	0,37
10	8,64	7,00	3070,00	0,23
11	12,27	9,94	3100,00	0,32

**SOLUÇÃO 1.4**

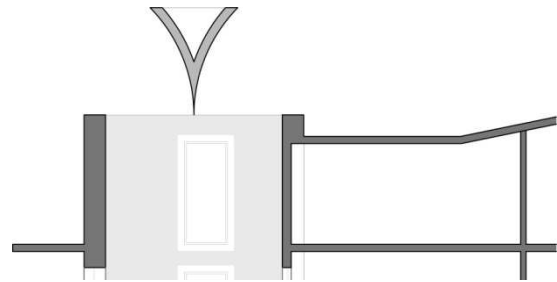
Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	30,85	24,99	6780,00	0,37
2	13,22	10,71	6770,00	0,16
3	9,36	7,58	6700,00	0,11
4	40,84	33,08	6560,00	0,50
5	15,68	12,70	6570,00	0,19
6	13,15	10,65	6600,00	0,16
7	18,15	14,70	6570,00	0,22
8	15,64	12,67	6540,00	0,19
9	12,27	9,94	6550,00	0,15
10	10,97	8,89	6620,00	0,13
11	21,21	17,18	6680,00	0,26

**SOLUÇÃO 1.5**

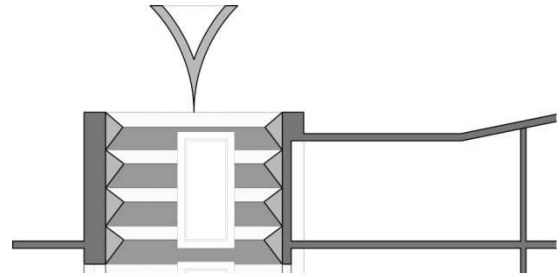
Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	45,60	36,94	2480,00	1,49
2	10,68	8,65	2470,00	0,35
3	8,22	6,66	2460,00	0,27
4	77,53	62,80	2380,00	2,64
5	12,10	9,80	2300,00	0,43
6	10,02	8,12	2250,00	0,36
7	14,89	12,06	2350,00	0,51
8	11,91	9,65	2180,00	0,44
9	9,12	7,39	2220,00	0,33
10	5,34	4,33	2450,00	0,18
11	10,20	8,26	2450,00	0,34

**SOLUÇÃO 1.6**

Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte.

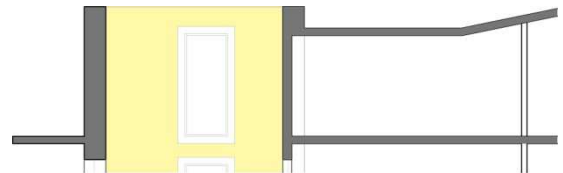


PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	47,23	38,26	5320,00	0,72
2	10,41	8,43	5340,00	0,16
3	8,63	6,99	5370,00	0,13
4	29,70	24,06	5590,00	0,43
5	11,96	9,69	5530,00	0,18
6	9,49	7,69	5480,00	0,14
7	13,96	11,31	5650,00	0,20
8	12,18	9,87	5710,00	0,17
9	10,20	8,26	5810,00	0,14
10	9,25	7,49	5440,00	0,14
11	17,71	14,35	5950,00	0,24

▪ **SOLUÇÕES COM PAREDE INTERIOR COM GAIOLA POMBALINA À VISTA, 2 A 2.6**

**SOLUÇÃO 2**

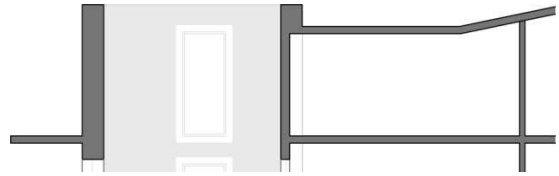
Gaiola Pombalina + Saguão Existente + Vãos Existentes.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	481,00	389,61	23000,00	1,69
2	101,96	82,59	21700,00	0,38
3	66,88	54,17	20600,00	0,26
4	353,00	285,93	19670,00	1,45
5	100,92	81,75	18970,00	0,43
6	67,06	54,32	18460,00	0,29
7	97,84	79,25	16220,00	0,49
8	82,89	67,14	16160,00	0,42
9	57,90	46,90	16070,00	0,29
10	67,27	54,49	18000,00	0,30
11	55,37	44,85	16050,00	0,28

**SOLUÇÃO 2.1**

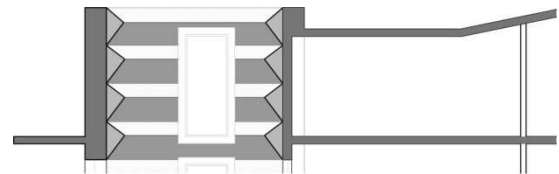
Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	341,00	276,21	13110,00	2,11
2	71,84	58,19	15580,00	0,37
3	66,06	53,51	17550,00	0,30
4	633,00	512,73	20200,00	2,54
5	129,55	104,94	20070,00	0,52
6	98,71	79,96	21300,00	0,38
7	190,05	153,94	25800,00	0,60
8	175,78	142,38	26400,00	0,54
9	120,95	97,97	26700,00	0,37
10	100,25	81,20	22000,00	0,37
11	99,53	80,62	25500,00	0,32

**SOLUÇÃO 2.2**

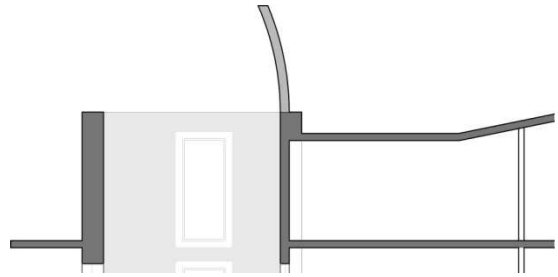
Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	155,11	125,64	21100,00	0,60
2	40,32	32,66	21800,00	0,15
3	28,61	23,17	21600,00	0,11
4	145,78	118,08	22400,00	0,53
5	63,23	51,22	22500,00	0,23
6	48,03	38,90	22500,00	0,17
7	68,08	55,14	22400,00	0,25
8	63,27	51,25	22300,00	0,23
9	50,73	41,09	22200,00	0,19
10	65,41	52,98	21700,00	0,24
11	70,22	56,88	21600,00	0,26

**SOLUÇÃO 2.3**

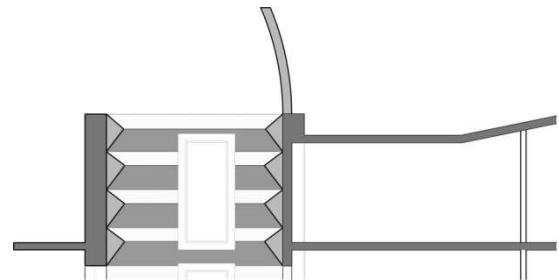
Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	71,30	57,75	3025,00	1,91
2	14,86	12,04	3007,00	0,40
3	12,51	10,13	3009,00	0,34
4	55,63	45,06	3220,00	1,40
5	32,59	26,40	3200,00	0,82
6	16,30	13,20	3190,00	0,41
7	25,09	20,32	3210,00	0,63
8	21,09	17,08	3180,00	0,54
9	15,54	12,59	3180,00	0,40
10	15,14	12,26	3170,00	0,39
11	16,95	13,73	3160,00	0,43

**SOLUÇÃO 2.4**

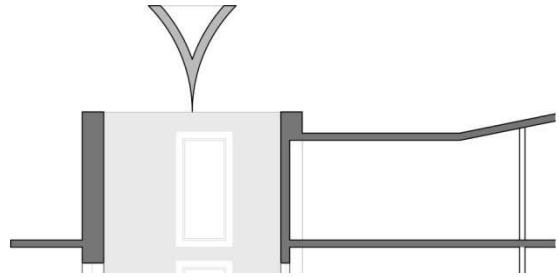
Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	43,42	35,17	7240,00	0,49
2	12,14	9,83	7390,00	0,13
3	10,17	8,24	7590,00	0,11
4	44,72	36,22	8230,00	0,44
5	25,18	20,40	8120,00	0,25
6	21,53	17,44	8020,00	0,22
7	26,31	21,31	8310,00	0,26
8	25,21	20,42	8360,00	0,24
9	23,25	18,83	8440,00	0,22
10	34,05	27,58	7950,00	0,35
11	39,29	31,82	8520,00	0,37

**SOLUÇÃO 2.5**

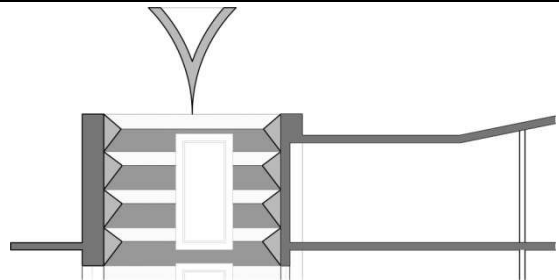
Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	20,81	16,86	1664,00	1,01
2	6,46	5,23	1687,00	0,31
3	4,35	3,52	1698,00	0,21
4	37,46	30,34	1765,00	1,72
5	10,61	8,59	1741,00	0,49
6	7,77	6,29	1728,00	0,36
7	10,88	8,81	1751,00	0,50
8	10,24	8,29	1718,00	0,48
9	7,60	6,16	1712,00	0,36
10	9,73	7,88	1881,00	0,42
11	10,81	8,76	1936,00	0,45

**SOLUÇÃO 2.6**

Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte.



PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	36,37	29,46	4260,00	0,69
2	7,10	5,75	4450,00	0,13
3	5,12	4,15	4450,00	0,09
4	25,78	20,88	5000,00	0,42
5	14,25	11,54	4960,00	0,23
6	12,14	9,83	4860,00	0,20
7	15,95	12,92	5050,00	0,26
8	14,12	11,44	5120,00	0,22
9	12,78	10,35	5180,00	0,20
10	18,52	15,00	4780,00	0,31
11	21,65	17,54	5230,00	0,34

▪ **SOLUÇÕES COM PAREDE TARDOZ PROPOSTA 3 E 3.1**

**SOLUÇÃO 3**

Opaca Branca + Saguão existente + Vãos amplos truncados

PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	210,00	170,10	5420,00	3,14
2	77,47	62,75	5450,00	1,15
3	56,13	45,47	5460,00	0,83
4	195,60	158,44	5600,00	2,83
5	77,73	62,96	5570,00	1,13
6	56,32	45,62	5490,00	0,83
7	138,59	112,26	5620,00	2,00
8	73,65	59,66	5670,00	1,05
9	58,32	47,24	5730,00	0,82
10	23,38	18,94	6040,00	0,31
11	33,79	27,37	5330,00	0,51

**SOLUÇÃO 3.1**

Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos amplos truncados

PONTOS	ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	81% ILUMINÂNCIA INTERIOR (Lux)	ILUMINÂNCIA EXTERIOR (Lux)	FACTOR LUZ-DIA (%)
1	614,00	497,34	6920,00	7,19
2	176,10	142,64	7040,00	2,03
3	111,33	90,18	7190,00	1,25
4	561,00	454,41	7520,00	6,04
5	166,20	134,62	7390,00	1,82
6	110,01	89,11	7360,00	1,21
7	378,00	306,18	7590,00	4,03
8	171,27	138,73	7640,00	1,82
9	114,32	92,60	7780,00	1,19
10	24,45	19,80	6740,00	0,29
11	54,99	44,54	8420,00	0,53

#### 4.6.1.3 ANÁLISE CRÍTICA ÀS MEDIÇÕES DO FACTOR LUZ-DIA

▪ CONCLUSÕES PARCIAIS RELATIVAS ÀS SOLUÇÕES 1 A 1.6

PONTOS	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	F.L.D (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)
1	2,06	2,58	0,67	1,94	0,37	1,49	0,72
2	0,43	0,47	0,16	0,47	0,16	0,35	0,16
3	0,26	0,34	0,11	0,35	0,11	0,27	0,13
4	1,54	2,80	0,70	2,30	0,50	2,64	0,43
5	0,46	0,59	0,21	0,51	0,19	0,43	0,18
6	0,35	0,41	0,14	0,40	0,16	0,36	0,14
7	0,48	0,59	0,20	0,62	0,22	0,51	0,20
8	0,41	0,56	0,18	0,50	0,19	0,44	0,17
9	0,32	0,38	0,15	0,37	0,15	0,33	0,14
10	0,13	0,16	0,10	0,23	0,13	0,18	0,14
11	0,20	0,25	0,22	0,32	0,26	0,34	0,24

**Legenda:**

1. Opaca Branca + Saguão Existente + Vãos Existentes;

1.1 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes;

1.2 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes;

1.3 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul;

1.4 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul;

1.5 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte;

1.6 Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte.

Através da análise dos Factores Luz-Dia analisados nas tabelas acima conclui-se que a solução de parede opaca apresenta um maior desempenho luminoso quando combinada com o saguão revestido a panos espelhados verticais, correspondente à solução 1.1.

A solução que apresenta na generalidade piores resultados corresponde à 1.2., que inclui as lamelas prismáticas nas paredes, e não possui estrutura captadora de luz no topo.

Procurando uma explicação para este resultado, e comparando com o caso do Reichstag de Berlim, analisado no capítulo 3.2 – tópico 3.2.3, verifica-se que naquele caso, o cone reflector no centro da cúpula difunde a luz para baixo em direcção à câmara parlamentar. No caso concreto do saguão pombalino, a solução proposta provavelmente funciona de maneira idêntica, iluminando maioritariamente o piso do saguão (superfície horizontal) em detrimento das fachadas (superfícies verticais).



Deste modo, os factores luz-dia no interior do piso apresentam os valores mais baixos de iluminância, contribuindo o facto de os vãos estarem inseridos na estrutura metálica proposta e as lamelas prismáticas horizontais projectarem sombra sobre estes.

Por outro lado, na câmara parlamentar a luz entra tanto de topo como lateralmente, sendo que será maioritariamente a luz lateral que é redirigida para baixo, enquanto a luz vinda de cima é parcialmente obstruída pelo próprio cone. Uma vez que no saguão não existe entrada de luz lateral, o efeito de re-direcção é muito ténue, e o de obstrução da luz vinda de cima mais significativo.

Ao introduzir-se a estrutura autónoma captadora/reflectora de luz no topo do saguão orientada Sul – Norte (1.6) verifica-se um incremento das iluminâncias interiores relativamente à solução sem estrutura (1.2) apesar de assumirem valores próximos.

A solução de referência (1) e a solução com panos verticais espelhados no saguão com estrutura captadora de luz no topo Sul (1.3) apresentam valores na mesma ordem de grandeza, contudo, a hipótese 1.3 apresenta um melhor desempenho e uniformidade na iluminação, não existindo uma discrepância tão acentuada de iluminâncias entre pontos quando comparada à solução 1.

Analisando os digramas de Factor Luz-Dia (A.8) para cada solução pode-se intuir, de forma geral, que as soluções aplicadas directamente ao saguão são determinantes nos níveis de iluminação interiores.

As soluções com fachada espelhada plana (1.1, 1.3 e 1.5) são melhores que as soluções com fachada espelhada prismática (1.2, 1.4 e 1.6), independentemente das soluções autónomas utilizadas.

▪ CONCLUSÕES PARCIAIS RELATIVAS ÀS SOLUÇÕES 2 A 2.6

PONTOS	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)
1	1,69	2,11	0,60	1,91	0,49	1,01	0,69
2	0,38	0,37	0,15	0,40	0,13	0,31	0,13
3	0,26	0,30	0,11	0,34	0,11	0,21	0,09
4	1,45	2,54	0,53	1,40	0,44	1,72	0,42
5	0,43	0,52	0,23	0,82	0,25	0,49	0,23
6	0,29	0,38	0,17	0,41	0,22	0,36	0,20
7	0,49	0,60	0,25	0,63	0,26	0,50	0,26
8	0,42	0,54	0,23	0,54	0,24	0,48	0,22
9	0,29	0,37	0,19	0,40	0,22	0,36	0,20
10	0,30	0,37	0,24	0,39	0,35	0,42	0,31
11	0,28	0,32	0,26	0,43	0,37	0,45	0,34

Legenda:

- 2. Gaiola Pombalina + Saguão Existente + Vãos Existentes;
- 2.1 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes;
- 2.2 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes;
- 2.3 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + meia cúpula Sul;
- 2.4 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + meia cúpula Sul;
- 2.5 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte;
- 2.6 Gaiola Pombalina + Saguão Panos Espelhados Verticais com lamelas prismáticas + Vãos Existentes + duas meias cúpulas Sul – Norte.

Com a introdução da gaiola pombalina à vista constata-se que a tendência de iluminâncias seguidas para a solução opaca também se regista, de forma geral, para a nova solução interior aplicada. Importa relembrar que nestas soluções o desenho dos vãos exteriores mantém-se ainda o existente.

Contudo, os valores dos Factores Luz-Dia com solução em gaiola são inferiores à solução opaca apenas no intervalo de pontos [1 – 9]. Esta comparação permite perceber que a parede opaca contribui para melhores valores de iluminância nos espaços que encerra, cozinha e quarto, uma vez que se trata de uma superfície branca e contínua. A cor branca possui maior reflectância que a madeira cor bétula da gaiola pombalina, e a continuidade da parede interior opaca permite uma maior concentração de luz nestes espaços.

Situação inversa ocorre nos pontos 10 e 11 com a gaiola pombalina à vista que, por apresentar vazios, possibilita transmitir e difundir parte da luz recebida através do saguão para o corredor. Nestes pontos os factores luz-dia são claramente melhores que na solução opaca.

PAREDE OPACA	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Ponto 10	0,13	0,16	0,10	0,23	0,13	0,18	0,14
Ponto 11	0,20	0,25	0,22	0,32	0,26	0,34	0,24

GAIOLA POMBALINA	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Ponto 10	0,30	0,37	0,24	0,39	0,35	0,42	0,31
Ponto 11	0,28	0,32	0,26	0,43	0,37	0,45	0,34

É também interessante constatar que, em relação a estes pontos interiores, as estruturas captadoras de luz no topo do saguão (2.3 e 2.5) são capazes de trazer maiores níveis de iluminação, muito embora tenham o efeito contrário (fazer decrescer a quantidade de luz), nos pontos junto às janelas. Este resultado sugere que as estruturas, embora causem algum bloqueio da luz mais directa, que é a que atinge os pontos junto à fachada do saguão, tem a capacidade de levar a luz até ao interior do espaço, até certo ponto.

▪ **CONCLUSÕES: SOLUÇÕES 3 E 3.1**

PONTOS	3	3.1
	F.L.D. (%)	F.L.D. (%)
1	3,14	7,19
2	1,15	2,03
3	0,83	1,25
4	2,83	6,04
5	1,13	1,82
6	0,83	1,21
7	2,00	4,03
8	1,05	1,82
9	0,82	1,19
10	0,31	0,29
11	0,51	0,53

Legenda:

**3** Opaca Branca + Saguão existente + Vãos amplos truncados;

**3.1** Opaca Branca + Saguão Panos Espelhados Verticais + Vãos amplos truncados.

Tendo sido efectuada a análise e comparação das várias hipóteses de saguão combinadas com a parede interior opaca e a parede interior com gaiola pombalina à vista, mantendo fixa a fachada tardoz existente, pode-se extrapolar o resultado para outra variável, a nova fachada tardoz.

Para a componente difusa da luz natural, a solução que veicula melhores resultados para o factor luz-dia pode ser intuída como a combinação da melhor solução de parede interior, com a melhor solução de saguão, fachada tardoz e estrutura autónoma captadora/reflectora da luz.

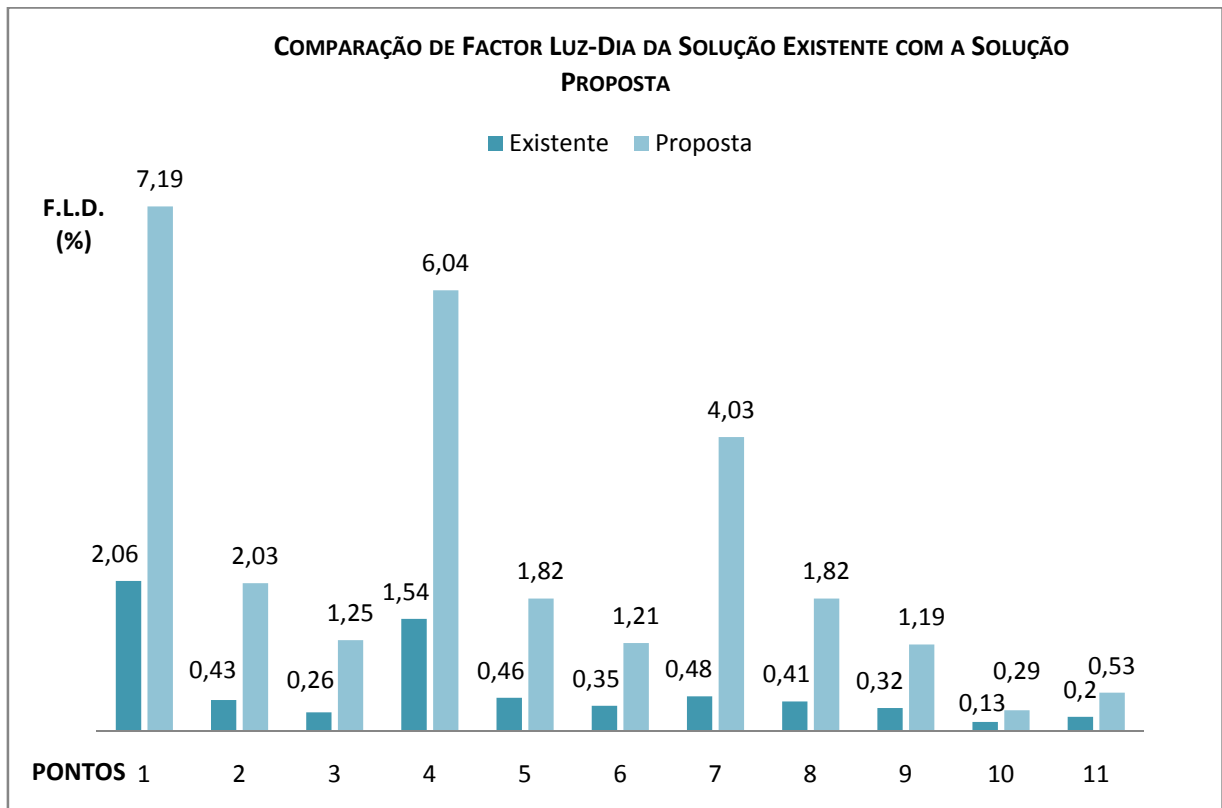
Neste caso aferiu-se:

- A solução interior opaca tem um melhor desempenho em condições de luz difusa, por possuir maior reflectância e ser uma superfície contínua, aumentando assim os níveis de iluminação dos espaços encerrados analisados (cozinha e quarto);
- A solução de panos verticais espelhados no saguão apresenta melhores resultados ao contrário da solução prismática que dissipa parte da luz para o piso do saguão e projecta sombra nas fachadas servidas por este;
- A fachada tardoz proposta, com uma maior dimensão de vãos e, conseqüentemente, mais receptiva à penetração da luz, apresenta melhorias significativas;
- No caso particular das estruturas autónomas captadoras de luz, apesar de melhorarem outras combinações analisadas, neste caso específico não induzem um aumento nos valores dos factores luz-dia.

▪ **COMPARAÇÃO DO AUMENTO DE FACTOR LUZ-DIA DA SOLUÇÃO EXISTENTE PARA A SOLUÇÃO PROPOSTA: SOLUÇÕES 1 E 3.1**

PONTO	1 (EXISTENTE)	3.1 (PROPOSTA)	% AUMENTO F.L.D.
	F.L.D.	F.L.D.	
1	2,06	7,19	349%
2	0,43	2,03	472%
3	0,26	1,25	481%
4	1,54	6,04	392%
5	0,46	1,82	396%
6	0,35	1,21	346%
7	0,48	4,03	840%
8	0,41	1,82	444%
9	0,32	1,19	372%
10	0,13	0,29	223%
11	0,20	0,53	265%

**MÉDIA DE AUMENTO DE F.L.D. = 416 %**



Da análise da tabela e gráfico anteriores, é possível concluir que, em relação ao saguão existente, a solução proposta gera um aumento médio do Factor Luz-Dia no espaço de cerca de 416%, ou seja, consegue-se, através de uma solução tecnicamente simples, aumentar em mais de quatro vezes os níveis de iluminação natural do espaço.

## 4.6.2 ANÁLISE QUALITATIVA

A análise qualitativa pretende, como o próprio nome indica, avaliar a qualidade lumínica das soluções desenhadas. A forma como a luz entra num determinado espaço não é constante ao longo do ano, nem ao longo das várias horas de um dia. Compreender o seu comportamento e daí extrair conclusões e ensinamentos para projectos futuros é o objectivo principal deste estudo.

Não sendo viável o estudo completo solar ao longo de todo o ano, são escolhidos pontos estratégicos que representam os pontos mais importantes das posições do sol (equinócios e solstícios).

Através destes, é possível deduzir o percurso solar no resto do ano. Também o percurso ao longo do dia é marcado estrategicamente com registos de manhã, a meio do dia e à tarde.

- 21 de Junho, às 9h, 12h e 17 h – Solstício de Verão (A.1);
- 21 de Março ou Setembro, às 9h, 12h e 17 h – Equinócio da Primavera ou Outono (A.2);
- 21 de Dezembro, às 9h, 12h, 15h – Solstício de Inverno (A.3).

### 4.6.2.1 CÁLCULO DO NORTE GEOGRÁFICO A PARTIR DO NORTE MAGNÉTICO

Para o correcto posicionamento da maqueta, é necessário calcular o Norte Magnético (o que aparece quando consultamos uma bússola) devido ao seu desfasamento com o Norte Cartográfico. O Norte Real será então o primeiro e será sobre este que o estudo de iluminação deve seguir. O desfasamento é designado por Declinação.

Deste modo, acede-se ao site <http://geomag.usgs.gov/> e através da barra lateral clica-se em Magnetic Field Calculations. Daqui segue-se, mais uma vez, pela barra lateral esquerda, com opção Models, Charts, Movies clicando em Models.

Das escolhas apresentadas segue-se por Proceed to Run Online Calculations de onde se parte para Start GEOMag. Da janela aberta desta maneira têm-se que registar a latitude do local de estudo, que para Lisboa é 38°48', e a longitude, neste caso toma-se o valor -9°6'. Marca-se a opção Oeste (West).

De seguida faz-se LOAD MODEL onde se escolhe o World Magnetic Model (Global) wmm-2000 epoch: 1/1/2000 for 5 years, que surge no final da listagem. Através deste procedimento têm-se os valores pretendidos.

Para a Declinação aparece o valor – 4,2329 graus, que transformado em minutos (multiplicando por 60) dá – 253,97 minutos.

Por cada ano, já que este cálculo indica os valores desde 2000 a 2005, tem que se adicionar à declinação inicial, a declinação respectiva ao dia para o qual se procedeu a esta avaliação. Assim deve-se multiplicar o valor 8.6299 minutos pelo número de anos decorridos desde o primeiro a contabilizar, neste caso 7. O resultado é 60,41 minutos.

A soma dos valores obtidos, - 257,778 minutos + 60,41 minutos = 197,75 minutos. Como o valor tem de estar graus, a divisão do valor por 60 dá - 3.28 graus.

Deste modo, o desvio entre o Norte Magnético e o Norte Cartográfico, em Lisboa e para o ano 2008, é - 3.28 graus (não muito significativo, quase coincidente). Este valor, por ser negativo, indica que o desvio a considerar será para Oeste em relação ao norte real.

De forma a ter a maquete correctamente posicionada para os dias e horas nos quais se pretendem ter as análises de iluminação directa utilizou-se um gráfico que permite ter esta correlação, um SUN PATH ou relógio de Sol. Como não se conseguiu obter um gráfico para a latitude de Lisboa, 38°48', seleccionou-se aquele que tivesse a maior aproximação, neste caso 40°N. Preferiu-se esta avaliação em vez de utilizar o cálculo das horas solares através do AutoCAD por este ser o método mais expedito e prático de aplicar.

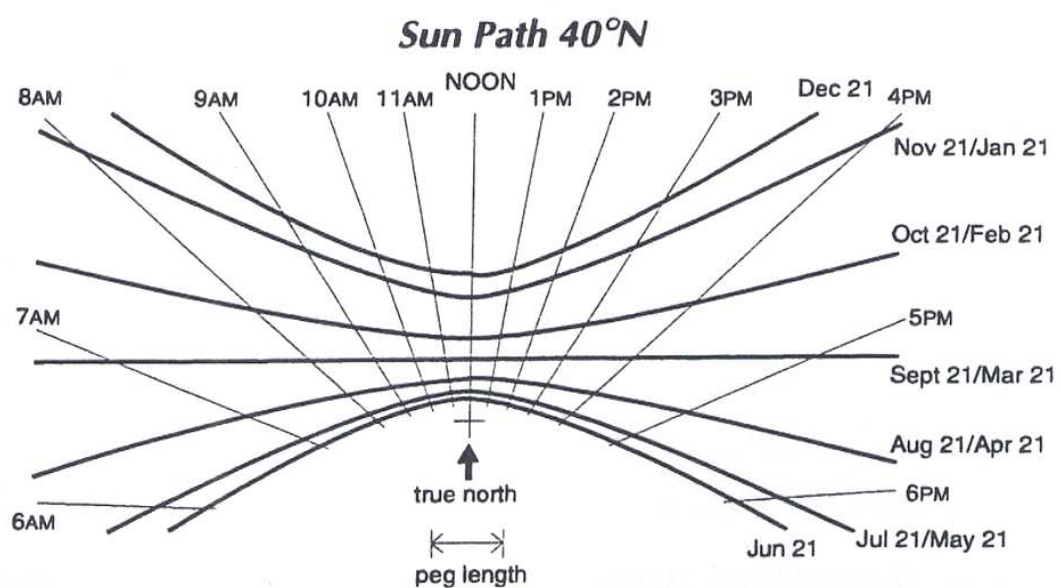


Figura 70 – Modelo utilizado para as medições da luz solar directa

O método é de fácil aplicação pois através de um alfinete colocado com a altura precisa e estado a maqueta orientada segundo o Norte Real consegue-se, pela rotação desta nos planos horizontal e vertical, obter o ângulo correcto de entrada do Sol.

Deste modo, cola-se um exemplar deste gráfico na maqueta e orienta-se a sombra do alfinete até aos pontos pretendidos. Os pontos encontram-se marcados no gráfico que se segue, sendo correspondentes aos dias e horas citados anteriormente.

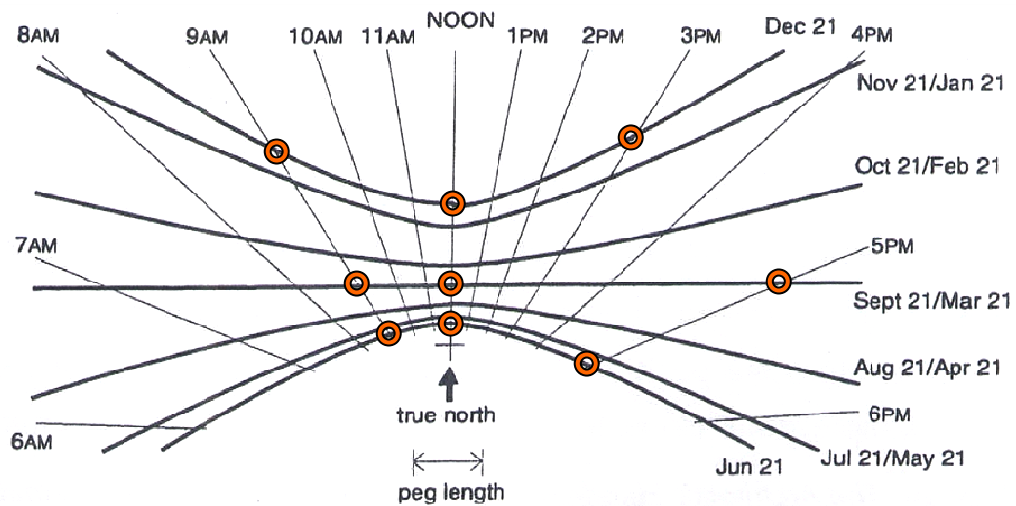


Figura 71 – Sun Path com pontos solares marcados



#### 4.6.2.2 METODOLOGIA

O edifício apresenta uma rotação de 16°Oeste (-16°West) relativamente ao Norte Cartográfico, assim, para que haja uma correcta orientação da maqueta, foram seguidos os seguintes pontos:

- Na maqueta indicar o Norte Cartográfico;
- Com a bússola marcar o desfasamento do Norte Cartográfico relativamente ao Norte Magnético, neste caso o somatório de 16°Oeste (orientação do edifício relativamente ao Norte Cartográfico) com 3,28°Oeste (Declinação Magnética – desvio entre Norte Magnético e Norte Cartográfico), dando um valor de 19,28°Oeste;
- Com o Norte Real traçado faz-se coincidir com o Norte do Sun Path (True North);

Neste momento a maqueta está orientada correctamente para se proceder ao registo fotográfico da Luz Solar Directa.



Figura 72 – Pontos de vista para o registo fotográfico da luz sola directa

Antes do início do registo fotográfico, foi realizada uma análise prévia para ponderar quais as soluções de projecto mais relevantes na questão da Iluminação Directa.

Esta abordagem tem como princípio regulador perceber que estratégias teóricas, à partida, vinculam um maior desempenho lumínico no interior do piso, e que apresentam melhores resultados nos padrões de Luz Directa.

As premissas que se seguem permitem traçar o perfil de soluções que melhor se coadunam para dar uma resposta eficiente ao fenómeno da Luz Directa:

- Em situações de Luz Directa interessa otimizar a penetração de luz nos espaços mais afastados das aberturas verticais;

As soluções de projecto que fomentam o tópico anterior correspondem às situações em que se propõe a nova fachada tardo, uma vez que os vãos amplos truncados induzem mais luz no espaço. A utilização da gaiola pombalina no interior em detrimento da solução opaca faculta uma maior permeabilidade visual e de iluminação, pois permite à luz proveniente do saguão cruzar-se com a luz proveniente do exterior pela fachada principal (maioritariamente luz reflectida pela envolvente edificada). A gaiola pombalina possibilita a transição da luz entre espaços ao contrário da parede opaca que bloqueia a permeabilidade da luz do saguão para o corredor e deste para a sala.

Neste sentido, o registo fotográfico contemplou as combinações de saguão e fachadas tardo, mantendo fixa a solução interior com gaiola pombalina, de forma a fazer uma análise comparativa dos padrões de entrada de Luz Directa e partir daqui tirar as respectivas conclusões.

Após a análise e comparação dos resultados obtidos através dos registos fotográficos consegue-se aferir que a combinação de solução que permite uma maior propagação da luz no interior e, consequentemente, um melhor desempenho lumínico do espaço, corresponde à hipótese 3.6 que integra os seguintes parâmetros:

- Parede interior com gaiola pombalina à vista;
- Fachada Tardo proposta;
- Saguão revestido a panos verticais espelhados;
- Estrutura autónoma captadora/reflectora da Luz no topo Sul do saguão.



Figura 73 – Soluções de piso e saguão

## 5. CONCLUSÕES

A investigação conduzida nos capítulos 2 e 3 permitiu reunir um conjunto de fundamentos teóricos com aplicação prática no capítulo 4, no qual se problematiza a questão da iluminação natural em edifícios inseridos em território urbano compacto, concretamente na situação da Baixa Pombalina.

O capítulo de proposta enquadra um conjunto de estratégias de desenho sustentável para melhorar os níveis de iluminação dos pisos habitados. Para tal são sugeridas várias alterações, consideradas de base, que se relacionam com outras cambiantes.

Estas estratégias passaram pelo redesenho do interior do piso, pelo aproveitamento do saguão enquanto estrutura passível de reflectir a luz para os pisos que serve, pelo redesenho da fachada tardoz e ainda pela sugestão de estruturas autónomas aplicadas ao topo do edifício captadoras e reflectoras da luz.

Porém, dado o carácter histórico do tecido urbano intervencionado e a importância deste na definição da cidade, a proposta veicula um padrão de abordagem assente nas especificidades do edificado, mantendo as principais características – estruturais, construtivas e patrimoniais – numa atitude metodológica focada essencialmente na reabilitação e salvaguarda deste sistema construtivo e na importância da preservação e manutenção do mesmo para as gerações vindouras.

A análise e interpretação dos resultados obtidos, no capítulo quatro, para as várias soluções propostas, permitiram afirmar o potencial de intervenção de um edifício histórico em matéria de iluminação natural, apesar dos constrangimentos associados à intervenção – a morfologia da cidade, a compacidade da envolvente e os impedimentos físicos do edifício.

Apesar disso, conseguiu-se, através de decisões projectuais simples e avaliações expeditas num modelo à escala 1:30 (quantitativas e qualitativas), um incremento médio superior a 400% do potencial de iluminação natural no piso mais desfavorável.

### CONCLUSÃO DA ANÁLISE DA SOLUÇÃO DE ILUMINAÇÃO

- A partir das medições de factores luz dia em cada ponto considerado e da análise dos padrões de luz directa para as diferentes soluções testadas, chega-se à conclusão que o saguão revestido a panos verticais metálicos reencaminha uma parte significativa da luz para o interior do piso.
- As análises ao serem realizadas para o piso mais desfavorável permitem concluir, por extrapolação, que para os pisos superiores, mais próximos do topo do saguão e mais expostos a luz solar directa e difusa, a solução adoptada vai favorecer os desempenhos luminosos de forma gradativa e crescente. A solução, apesar de simples execução, apresenta um elevado nível de eficácia em termos de iluminação natural.

- O efeito de optimização consegue-se através do redesenho da fachada servida pela saguão, com uma maior abertura de vãos e ilhargas truncadas. Apesar dos resultados obtidos na iluminação difusa mostrarem que uma solução interior opaca apresenta valores mais altos de factor luz dia que a solução com gaiola pombalina à vista, não se pode esquecer o enquadramento urbano do edifício: a luz que chega pela fachada principal é maioritariamente reflectida pela envolvente exterior, revelando-se importante fomentar uma maior permeabilidade entre espaços adjacentes em vez de os encerrar. A solução que fomenta esta permeabilidade corresponde à solução com a estrutura pombalina à vista, que na eventualidade de ser pintada de branco corresponde a uma solução intermédia entre a solução opaca e a solução de gaiola pombalina em madeira.
- A decisão de incluir ou não as estruturas captadoras/reflectoras de luz passa também pela ponderação relativa dos efeitos da luz directa e da luz difusa. Estas estruturas conduzem a um menor desempenho luminoso ao serem analisadas do ponto de vista quantitativo, mas, por outro lado, avaliando na perspectiva qualitativa, a sua introdução no projecto permite que o sol chegue ao espaço em determinadas alturas do dia e ao longo do ano. Este factor pode ser decisivo na escolha, uma vez que a entrada de sol directo no piso é uma situação desejável, para a situação programática em causa. O valor subjectivo deste parâmetro pode-se sobrepor aos outros factores mais técnicos e simplistas que não têm em consideração as exigências humanas de bem-estar conforto e ambiental.
- Um dos aspectos interessantes constatados prende-se com a solução que melhor desempenho apresenta em condições de luz difusa. Revestir os paramentos exteriores do saguão a panos verticais reflectores não só é a combinação mais simples do ponto de vista projectual como, à partida, a mais eficiente em termos de investimento económico quando comparada à instalação das lâminas prismáticas ou das estruturas captadoras/reflectoras no topo do saguão.
- Embora a análise tenha sido feita para um edifício Sul-Norte, todas as medições de luz difusa são aplicáveis aos edifícios Este-Oeste uma vez que esta não é dependente da orientação. Relativamente à incidência da luz directa segundo a orientação mais comum do núcleo pombalino, acredita-se que a solução proposta para a cobertura também facultaria a entrada da luz solar.
- As soluções dos paramentos verticais do saguão apresentam uma componente reflexiva muito alta. Esta pode, eventualmente, dar origem a situações de encadeamento, colmatado com a introdução de um pano cortinado. Apesar disso, considera-se um mal menor relativamente ao abandono e degradação a que estão votados os estes espaços.
- A solução proposta apresenta viabilidade prática, não suscita, à partida, uma grande complexidade técnica podendo ser implantada à realidade dos saguões pombalinos.
- A imagem criada através destas soluções permite enquadrar os quarteirões pombalinos num panorama de modernidade, articulado às necessidades de conforto visual e ambiental, promovendo novas ambiências aos edifícios reabilitados da baixa pombalina.

#### IMPACTO DAS SOLUÇÕES NO TECIDO URBANO

- À escala urbana, as soluções propostas não promovem um impacto significativo em termos de alteração da imagem do núcleo histórico da Baixa. Por um lado são apresentadas soluções aplicadas directamente aos paramentos verticais do saguão, invisíveis da rua, por outro, as soluções autónomas apesar de se elevarem do topo do saguão, o impacto exercido por estas revela-se diminuto e apenas visível a partir de determinados pontos da cidade.

#### IMPACTO DAS SOLUÇÕES SOBRE O EDIFÍCIO – NÍVEIS ESTRUTURAL E CONSTRUTIVO

- Analisando as soluções em que não se aplicam as estruturas autónomas captadoras/reflectoras da luz pode-se intuir que o revestimento do saguão com painéis de alumínio justapostos à fachada existente não provocam um aumento significativo de cargas do edifício. Contudo, há que equacionar as cargas adicionais que as estruturas autónomas possam exercer no topo do saguão.
- Para a nova solução de fachada tardoz, em que se opta por vãos mais amplos, há necessidade de equacionar o reforço da estrutura pombalina para a posterior abertura dos vãos.
- A solução com gaiola à vista constitui uma solução corrente em muitas das recuperações no casco histórico, porém, a Cruz de Santo André, no caso concreto, prefere estar na sua condição original, tendo pedra miúda em lugar de enchimento. No entanto, a exposição do madeiramento tem sido uma solução comum.



Figura 74 – Perspectiva da cozinha (esquerda) e perspectiva da sala (direita)

### IMPACTO VISUAL SOBRE O EDIFÍCIO

Apesar de existir uma clara distinção na materialidade das soluções apresentadas face às existentes, estas não interferem na imagem do núcleo pombalino enquanto conjunto. Ao serem soluções aplicadas ao interior do saguão e apenas visíveis de pontos privilegiados, não corrompem a coerência formal dos quarteirões. Se exteriormente o edifício mantém o seu vínculo à história da reconstrução pós-terramoto, interiormente assume-se como marco de contemporaneidade ajustado às necessidades da sociedade actual.

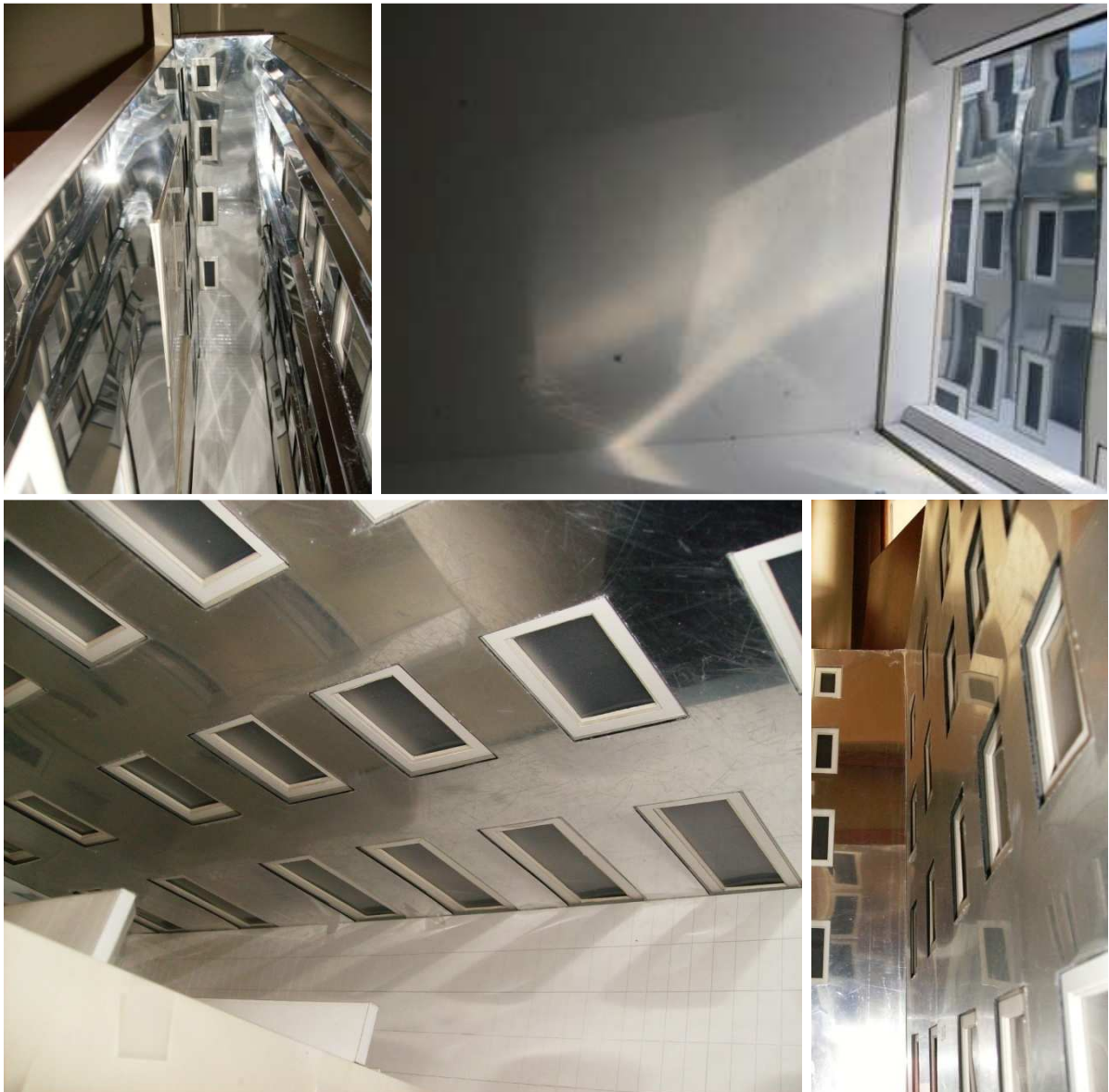


Figura 75 – Perspectivas das soluções propostas

## BIBLIOGRAFIA FINAL

APPLETON, João – Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e tecnologias de intervenção. 1ª Edição. Amadora: Edições Orion, 2003.

BAKER, N.V., FANCHIOTTI, A., e STEEMERS, K. – Daylighting in architecture – A European reference book. 1ª Edição. Londres: James & James Science Publishers, 1993.

BAKER, Nick, e STEEMERS, Koen – Daylight Design of Buildings. 1ª Edição. Londres: James & James, 2002.

BOYCE, Peter R. – Human Factors in Lighting. 2ª Edição. Londres: Taylor & Francis, 2003.

Comissão das Comunidades Europeias – A Green Vitruvius. 1ª Edição. Lisboa: Ordem dos Arquitectos, 2001.

Comissão das Comunidades Europeias – Energy Conscious Design – A Primer for Architects. 1ª Edição. Londres: B.T. Batsford, 1992

FOSTER, Norman – Rebuilding The Reichstag. 1ª Edição. Nova Iorque: The Overlook Press, 2000.

FROTA, A. Barros – Geometria da Insolação. 1ª Edição. São Paulo: Geros, 2004.

GOMES, M. Glória, PIEDADE, A. Canha, e RODRIGUES, A. Moret – Sebenta de Física da Construção, Volume V – Iluminação Natural. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2003.

GONÇALVES, Joana, e VIANNA, Nelson – Iluminação e Arquitectura. 2ª Edição. São Paulo: Geros, 2001.

LECHNER, Norbert - Heating, cooling, lighting. 2ª Edição. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2001.

MELET, Ed e VREEDENBURGH, Eric – Rooftop Architecture, Building on an elevated surface. 1ª Edição. Roterdão: NAI Publishers, 2005.

MOORE, Fuller – Environmental Control Systems – heating cooling lighting. 1ª Edição. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1993.

O'CONNOR, Jennifer – Tips for Daylighting with windows – The integrated approach.

OLIVEIRA, Fernanda Sá de – Iluminação Natural em Museus – Um estudo em Lisboa, 1ª Edição. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2005.

PHILLIPS, Derek – Daylighting – Natural Light in Architecture. 1ª Edição. Burlington: Elsevier: Architectural Press, 2004.

Proposta de Revitalização da Baixa – Chiado. Câmara Municipal de Lisboa, Licenciamento Urbanístico e Planeamento Urbano, 2006.

Revitalização da Baixa – Chiado – Revisão da Proposta de 2006. Câmara Municipal de Lisboa, Licenciamento Urbanístico e Planeamento Urbano, 2008.

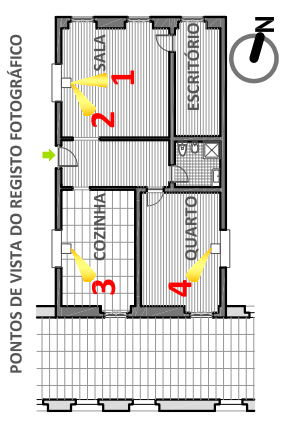
SANTOS, António J. C. dos – Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação “in situ”. 1ª Edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003.

TANIZAKI, Junichiro – Elogio da Sombra. Lisboa: Relógio d'Água, 1999.

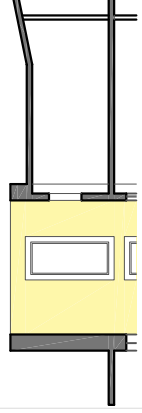


## ANEXOS

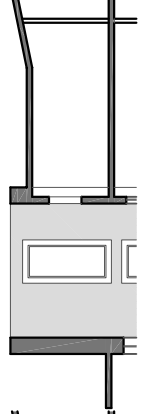
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE JUNHO SOLSTÍCIO DE VERÃO | 9 HORAS



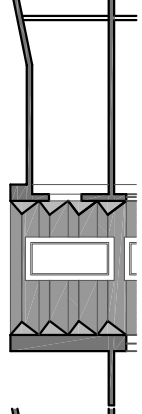
SOLUÇÃO 2



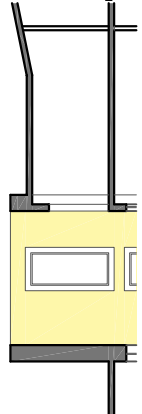
SOLUÇÃO 2.1



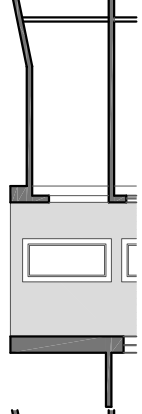
SOLUÇÃO 2.2



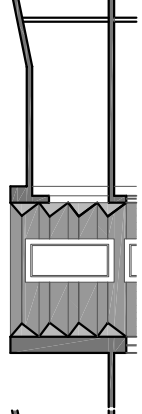
SOLUÇÃO 3.4



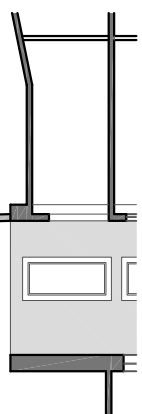
SOLUÇÃO 3.5



SOLUÇÃO 3.6



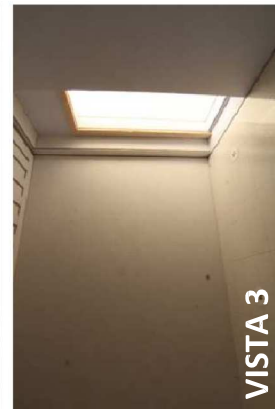
SOLUÇÃO 3.7



VISTA 1



VISTA 2

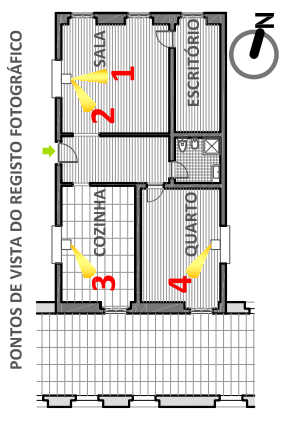


VISTA 3

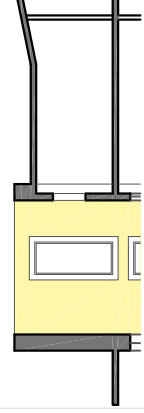


VISTA 4

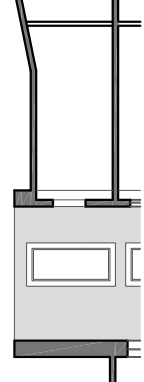
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE JUNHO SOLSTÍCIO DE VERÃO | 12 HORAS



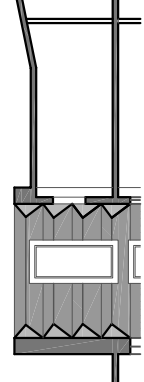
SOLUÇÃO 2



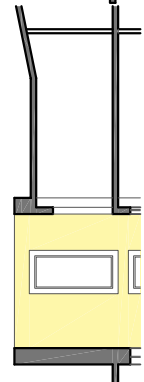
SOLUÇÃO 2.1



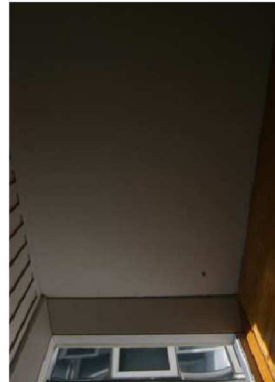
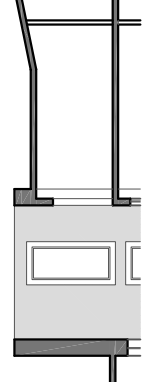
SOLUÇÃO 2.2



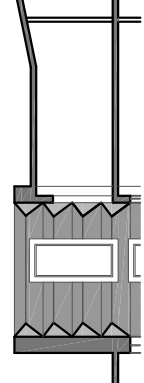
SOLUÇÃO 3.4



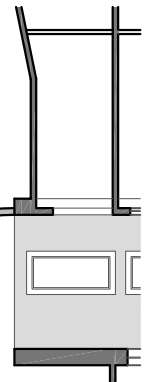
SOLUÇÃO 3.5



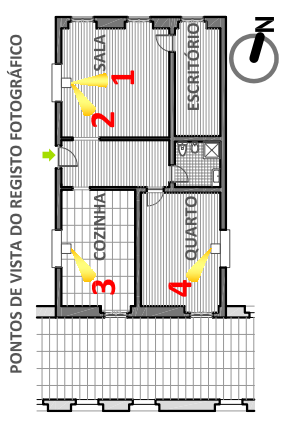
SOLUÇÃO 3.6



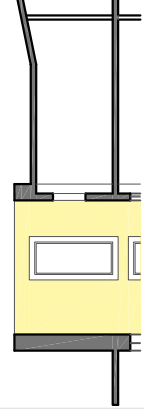
SOLUÇÃO 3.7



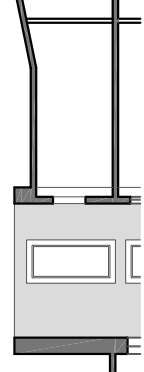
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE JUNHO SOLSTÍCIO DE VERÃO | 17 HORAS



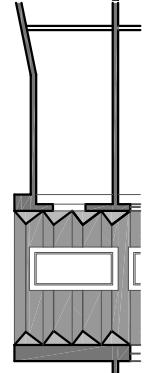
SOLUÇÃO 2



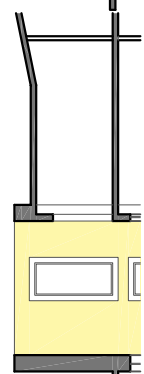
SOLUÇÃO 2.1



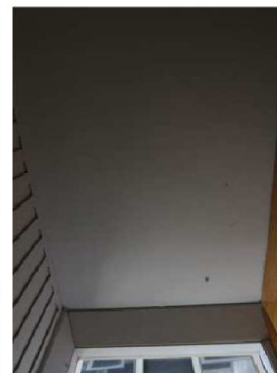
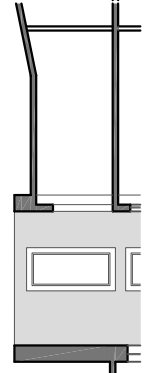
SOLUÇÃO 2.2



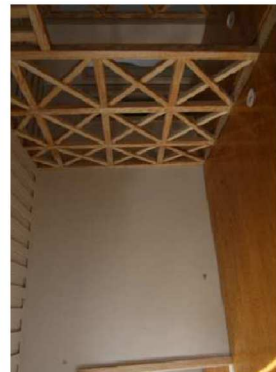
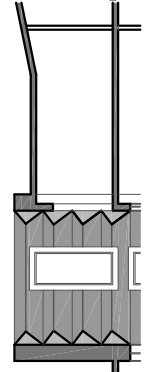
SOLUÇÃO 3.4



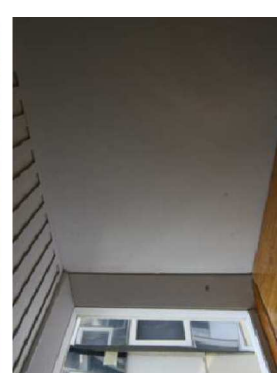
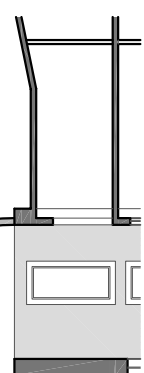
SOLUÇÃO 3.5



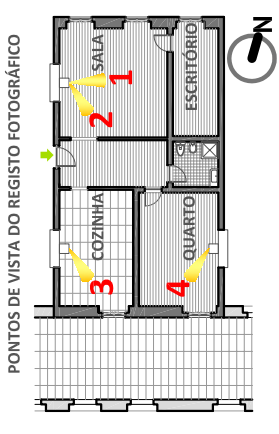
SOLUÇÃO 3.6



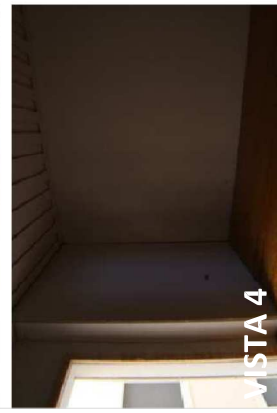
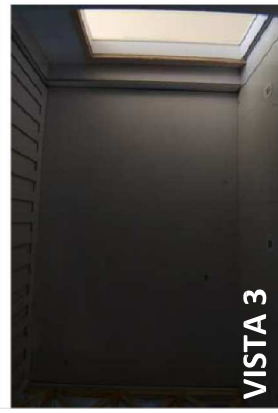
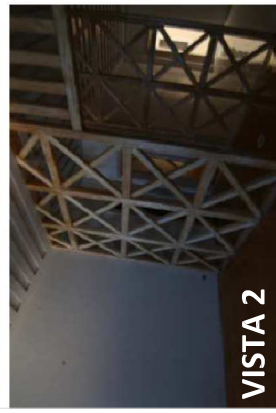
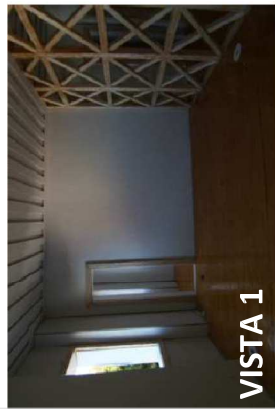
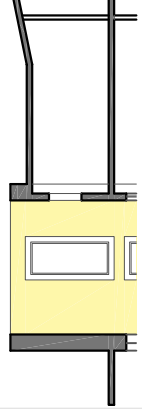
SOLUÇÃO 3.7



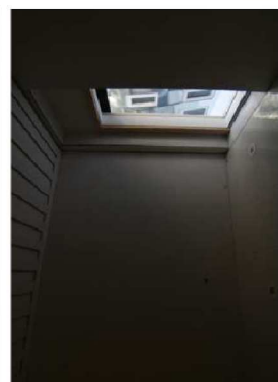
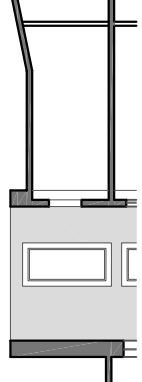
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE MARÇO EQUINÓCIO DA PRIMAVERA | 9 HORAS



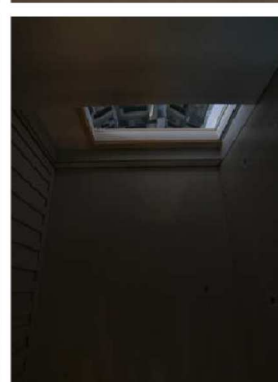
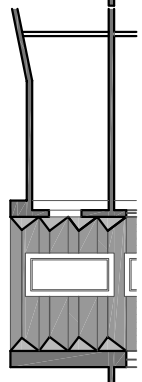
SOLUÇÃO 2



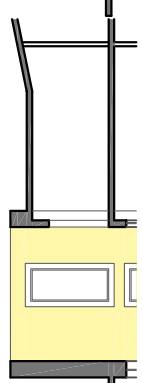
SOLUÇÃO 2.1



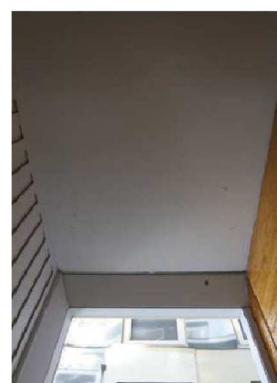
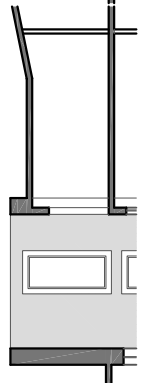
SOLUÇÃO 2.2



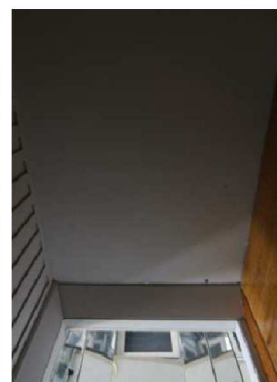
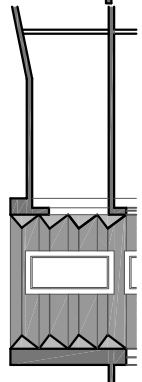
SOLUÇÃO 3.4



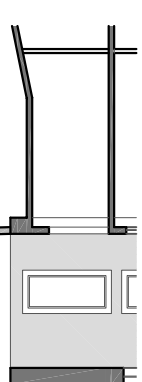
SOLUÇÃO 3.5



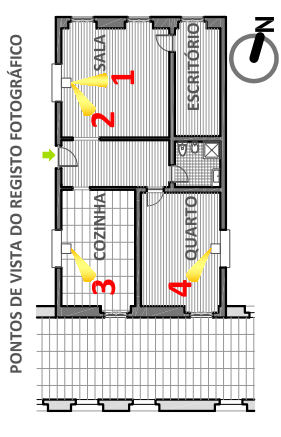
SOLUÇÃO 3.6



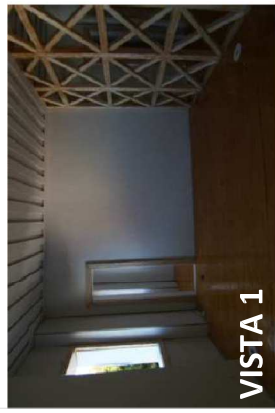
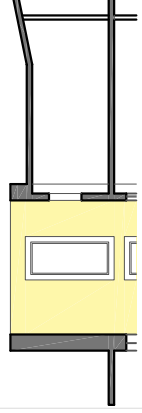
SOLUÇÃO 3.7



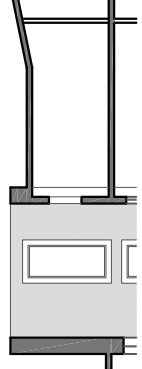
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE MARÇO EQUINÓCIO DA PRIMAVERA | 12 HORAS



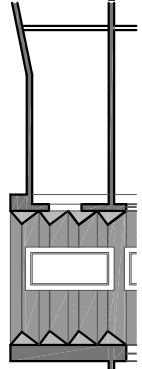
SOLUÇÃO 2



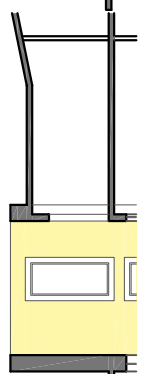
SOLUÇÃO 2.1



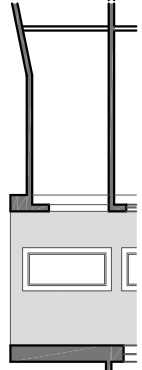
SOLUÇÃO 2.2



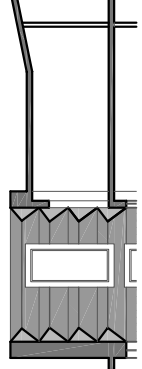
SOLUÇÃO 3.4



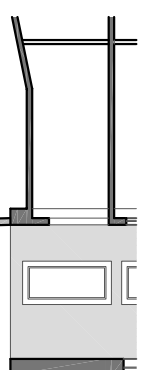
SOLUÇÃO 3.5



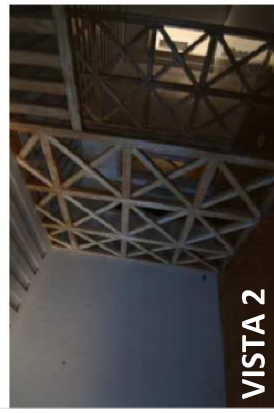
SOLUÇÃO 3.6



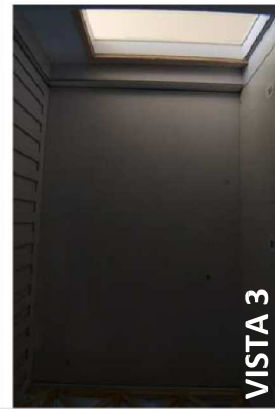
SOLUÇÃO 3.7



VISTA 1



VISTA 2

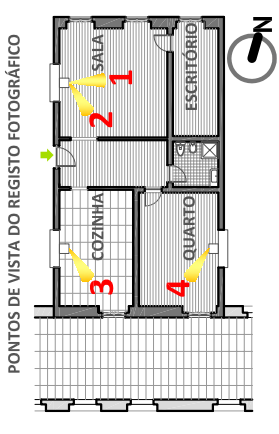


VISTA 3

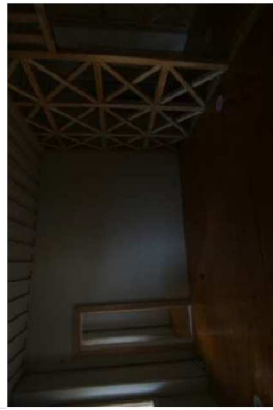
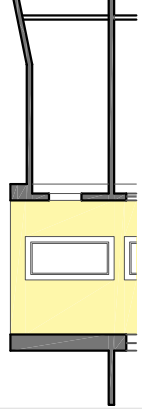


VISTA 4

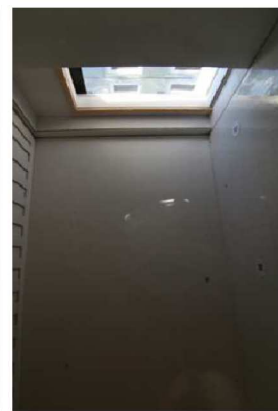
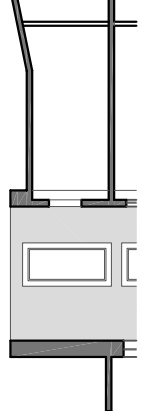
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE MARÇO EQUINÓCIO DA PRIMAVERA | 17 HORAS



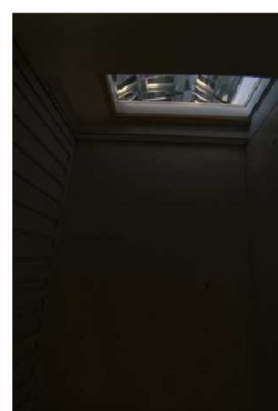
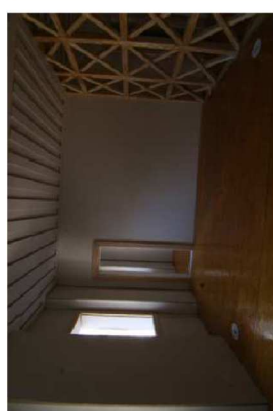
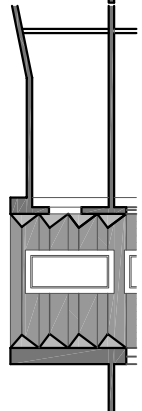
SOLUÇÃO 2



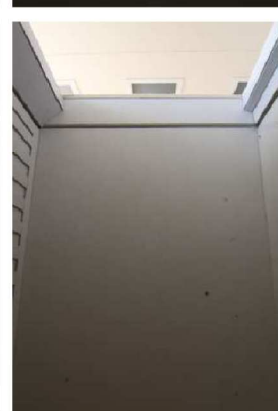
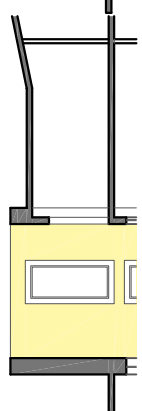
SOLUÇÃO 2.1



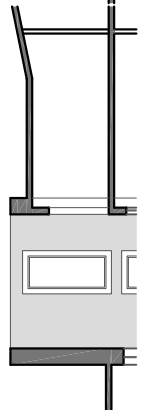
SOLUÇÃO 2.2



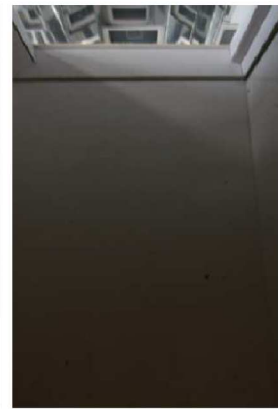
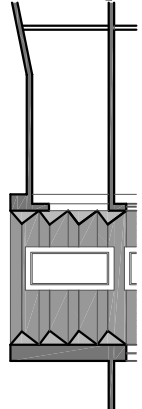
SOLUÇÃO 3.4



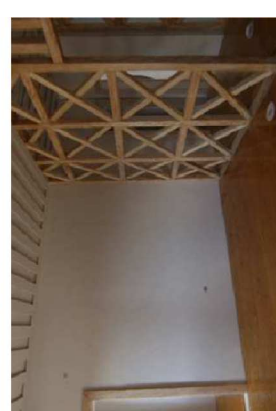
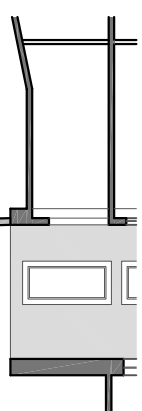
SOLUÇÃO 3.5



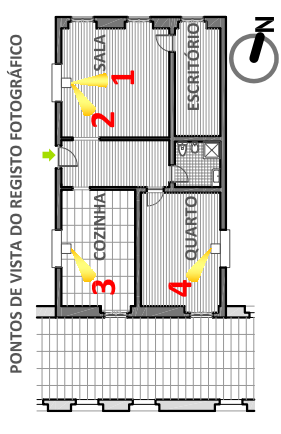
SOLUÇÃO 3.6



SOLUÇÃO 3.7



# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE DEZEMBRO SOLSTÍCIO DE INVERNO | 9 HORAS



SOLUÇÃO 2

SOLUÇÃO 2.1

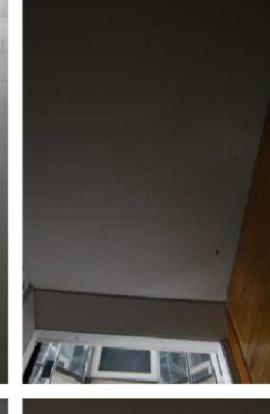
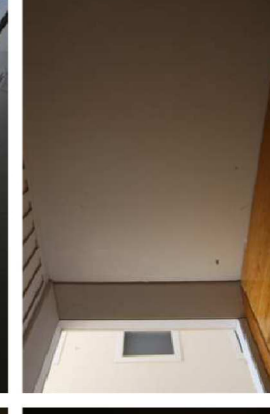
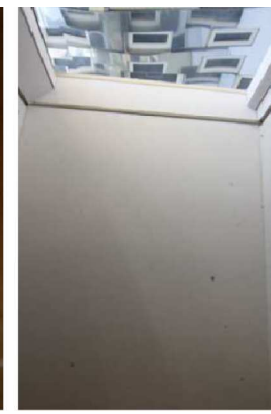
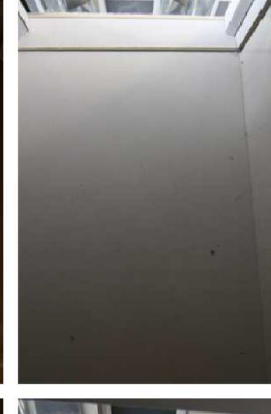
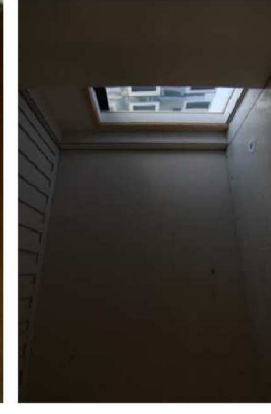
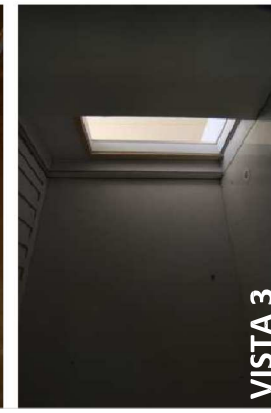
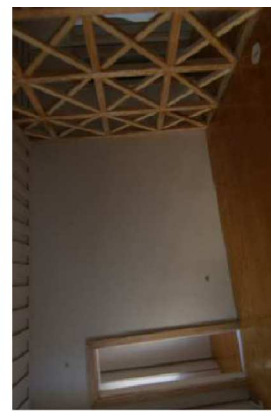
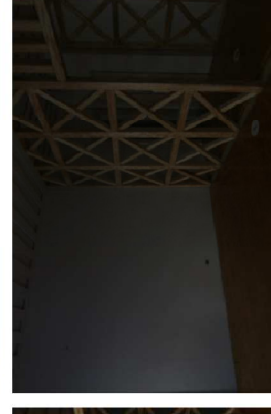
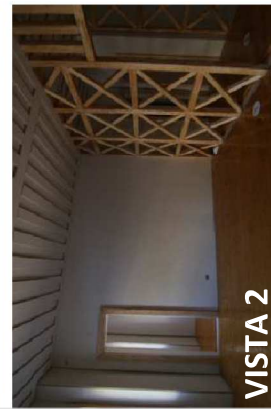
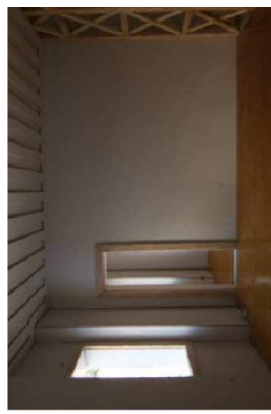
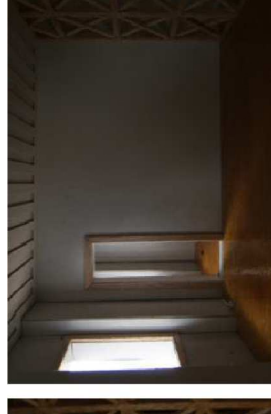
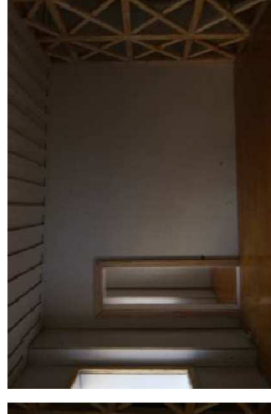
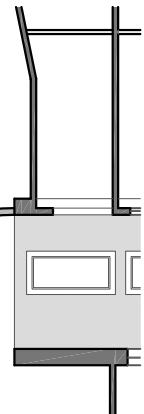
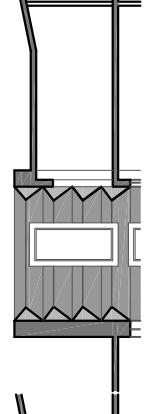
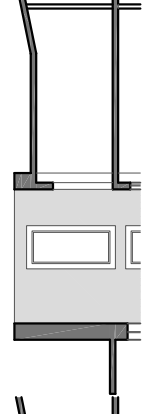
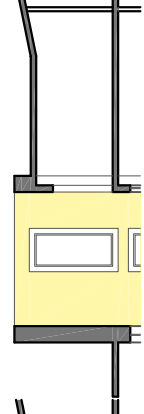
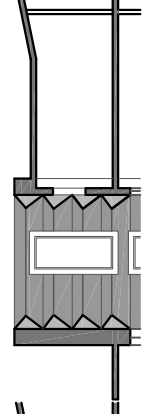
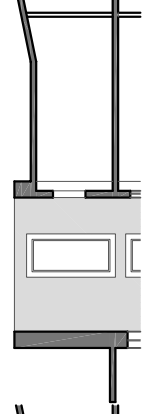
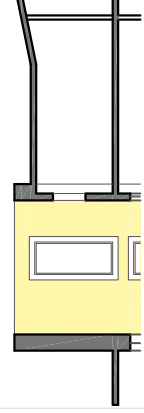
SOLUÇÃO 2.2

SOLUÇÃO 3.4

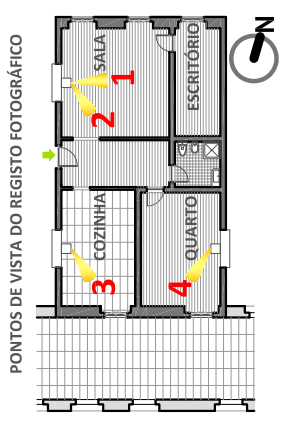
SOLUÇÃO 3.5

SOLUÇÃO 3.6

SOLUÇÃO 3.7

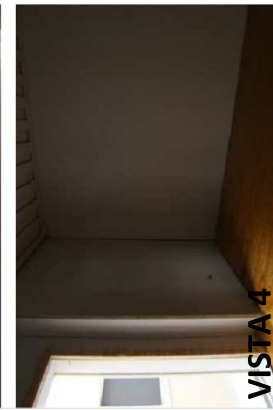
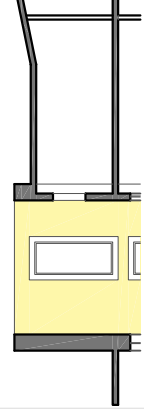




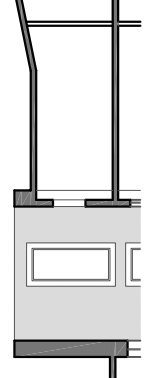


# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE DEZEMBRO SOLSTÍCIO DE INVERNO | 12 HORAS

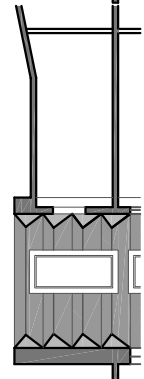
SOLUÇÃO 2



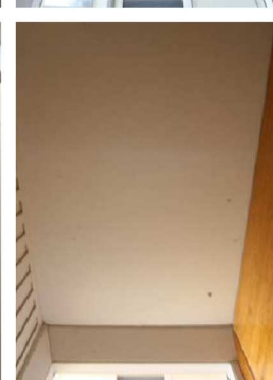
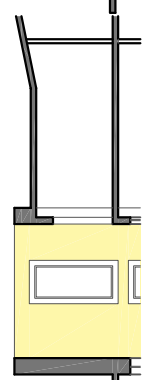
SOLUÇÃO 2.1



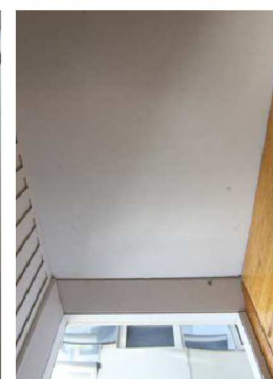
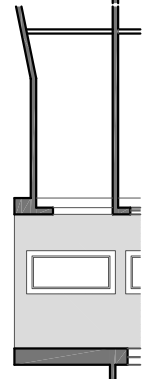
SOLUÇÃO 2.2



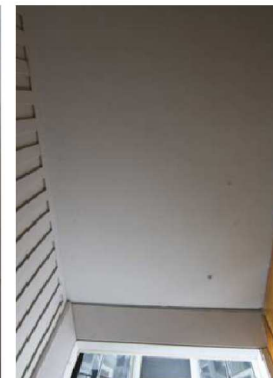
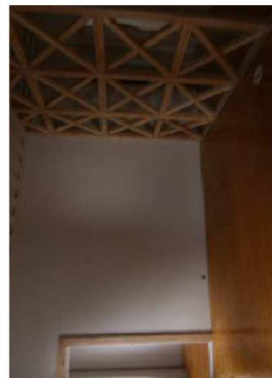
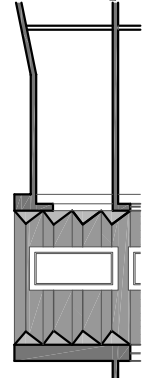
SOLUÇÃO 3.4



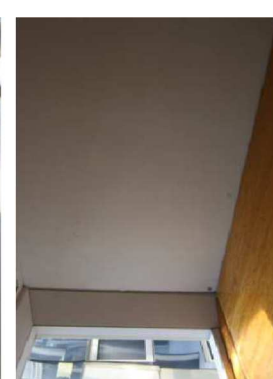
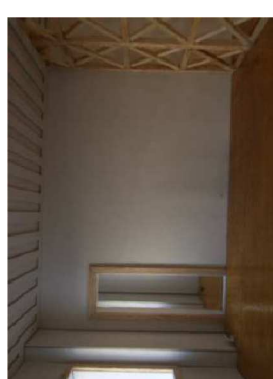
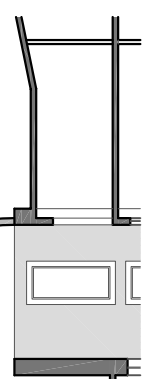
SOLUÇÃO 3.5



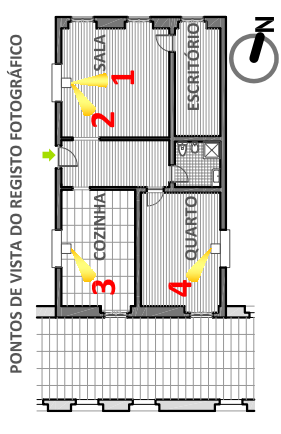
SOLUÇÃO 3.6



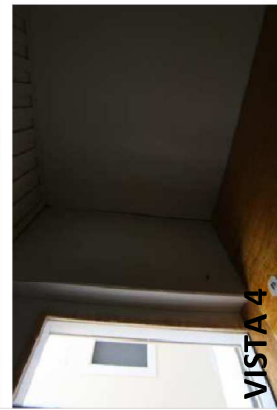
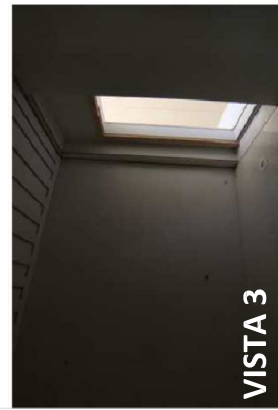
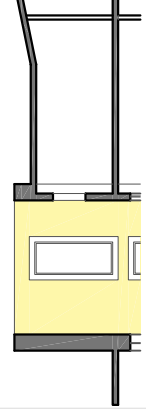
SOLUÇÃO 3.7



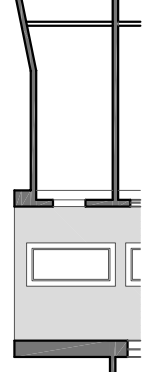
# PADRÃO DE ENTRADA DE LUZ DIRECTA | 21 DE DEZEMBRO SOLSTÍCIO DE INVERNO | 15 HORAS



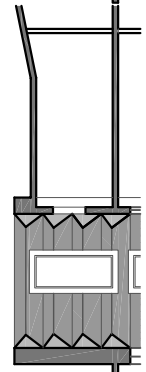
SOLUÇÃO 2



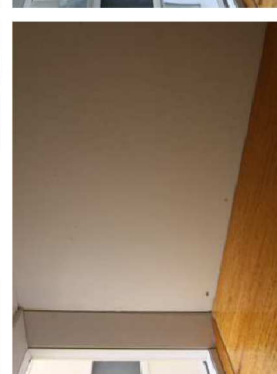
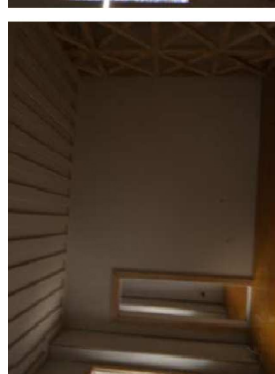
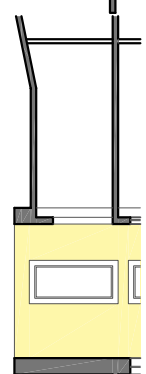
SOLUÇÃO 2.1



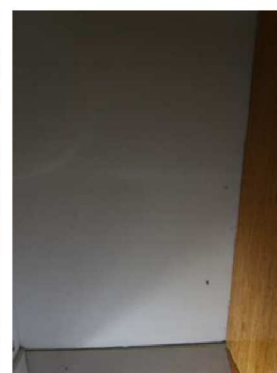
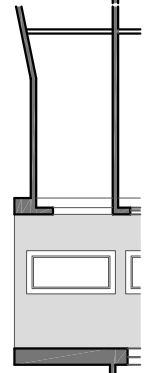
SOLUÇÃO 2.2



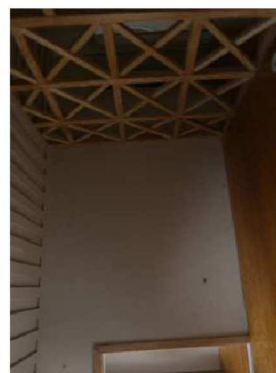
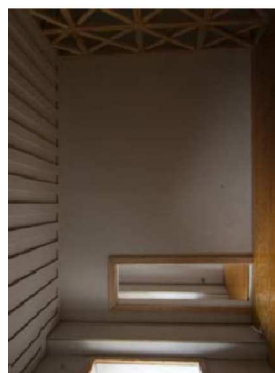
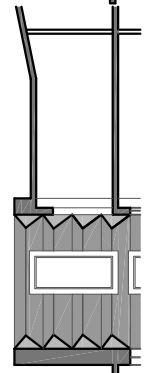
SOLUÇÃO 3.4



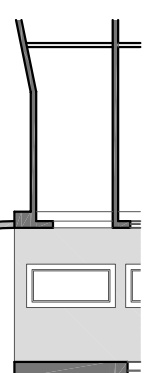
SOLUÇÃO 3.5



SOLUÇÃO 3.6

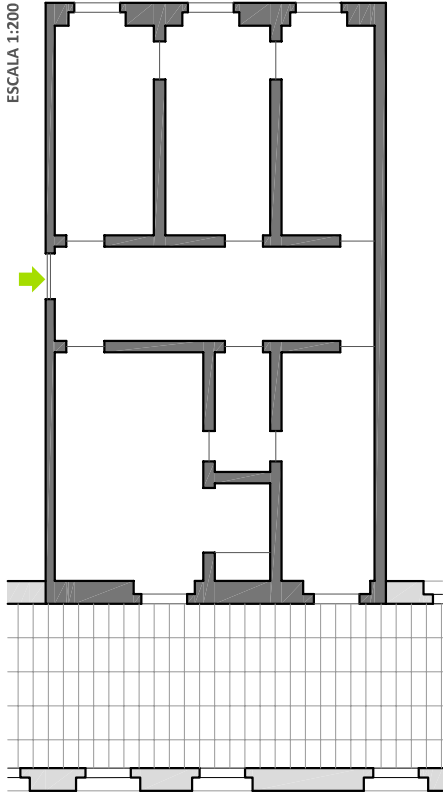


SOLUÇÃO 3.7



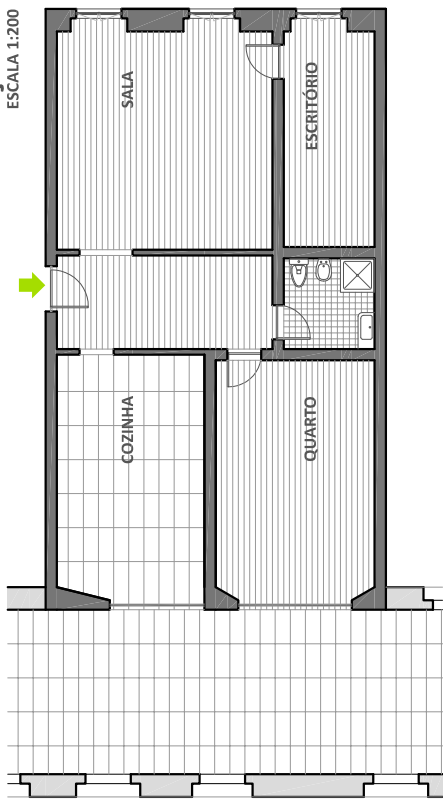
### PISO-TIPO POMBALINO

ESCALA 1:200



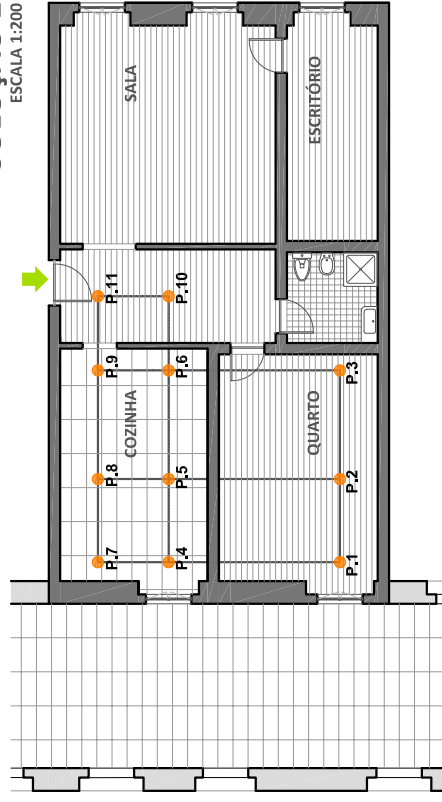
### SOLUÇÃO 3

ESCALA 1:200



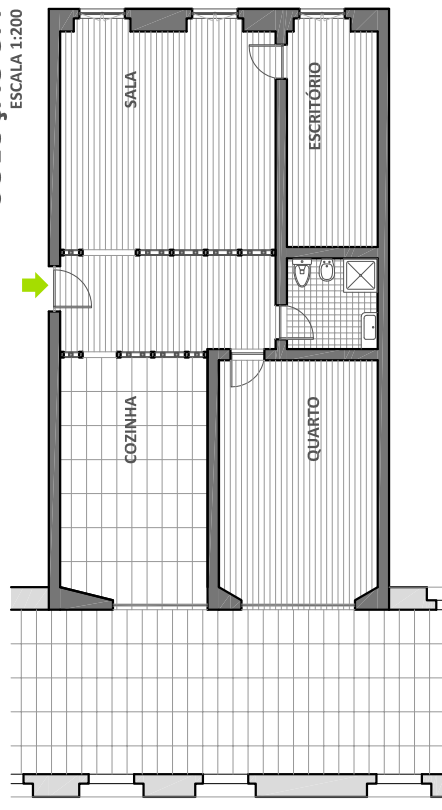
### SOLUÇÃO 1

ESCALA 1:200



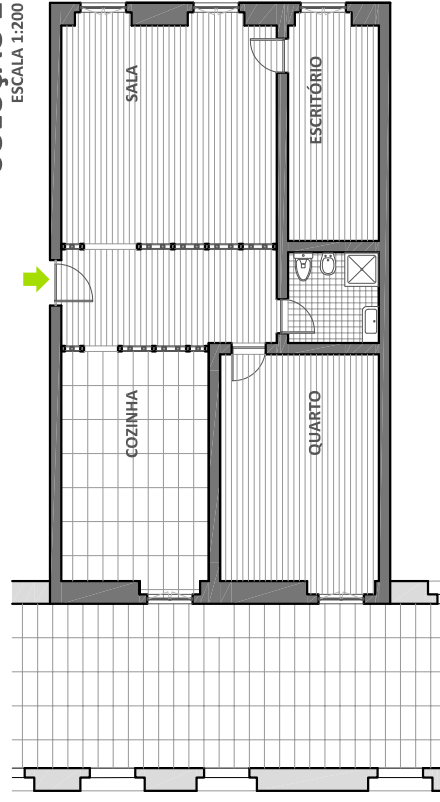
### SOLUÇÃO 3.4

ESCALA 1:200



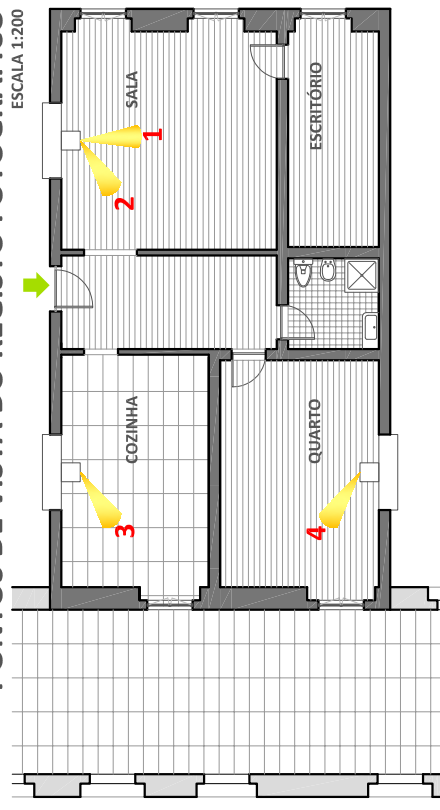
### SOLUÇÃO 2

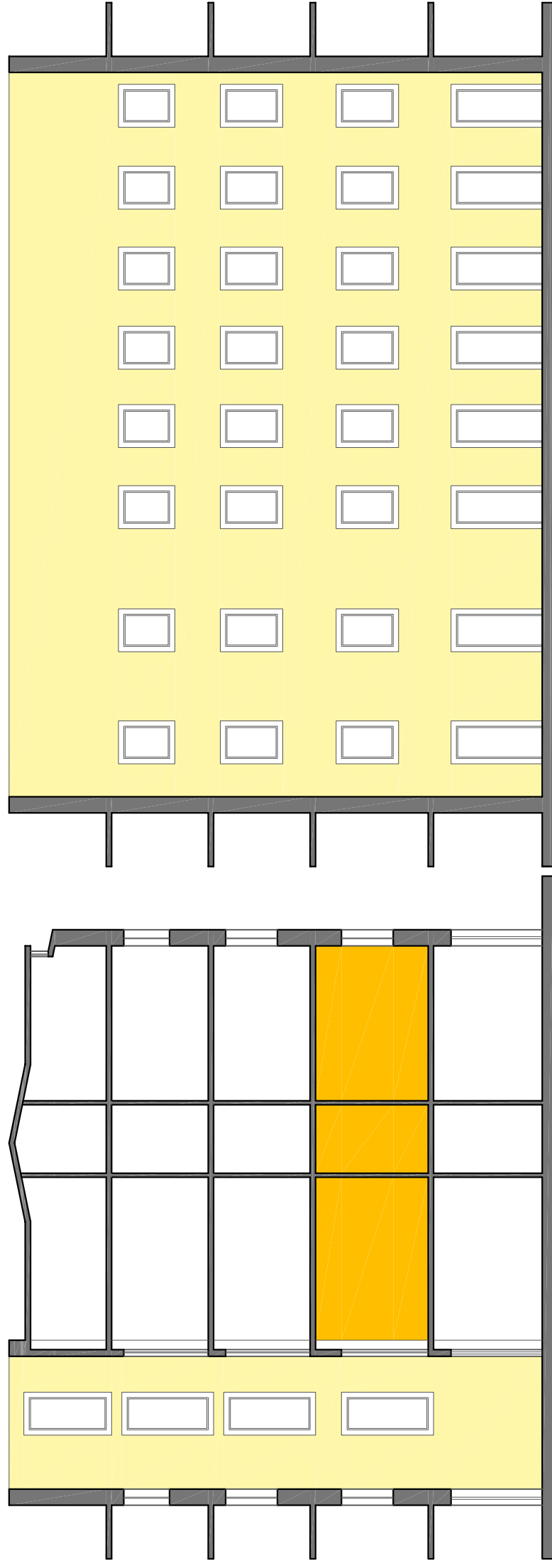
ESCALA 1:200



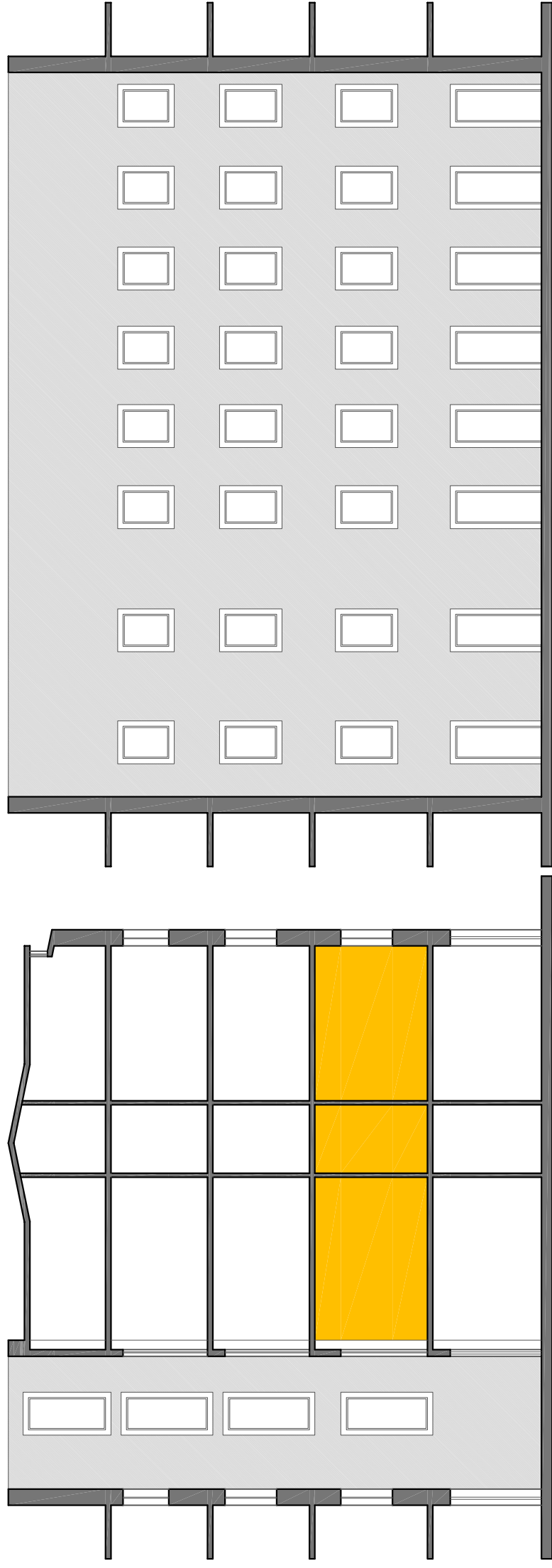
### PONTOS DE VISTA DO REGISTO FOTOGRÁFICO

ESCALA 1:200

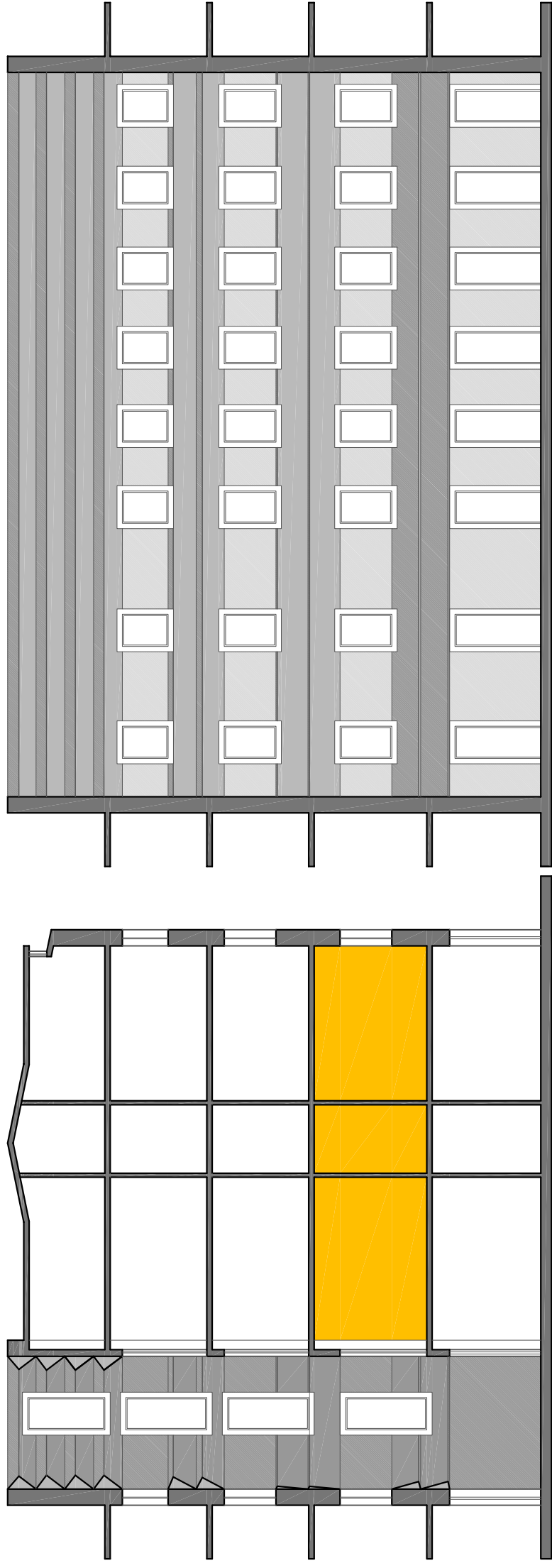




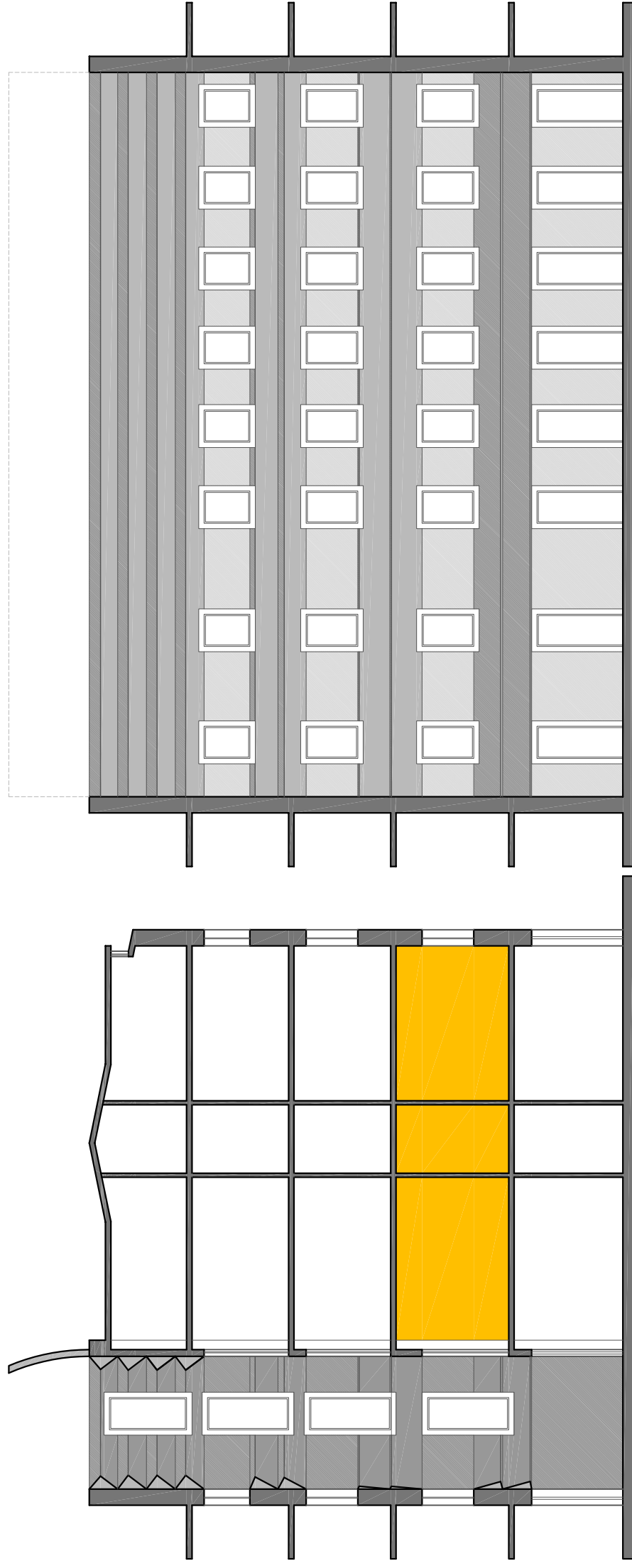
**SOLUÇÃO 1**  
ESCALA 1:200



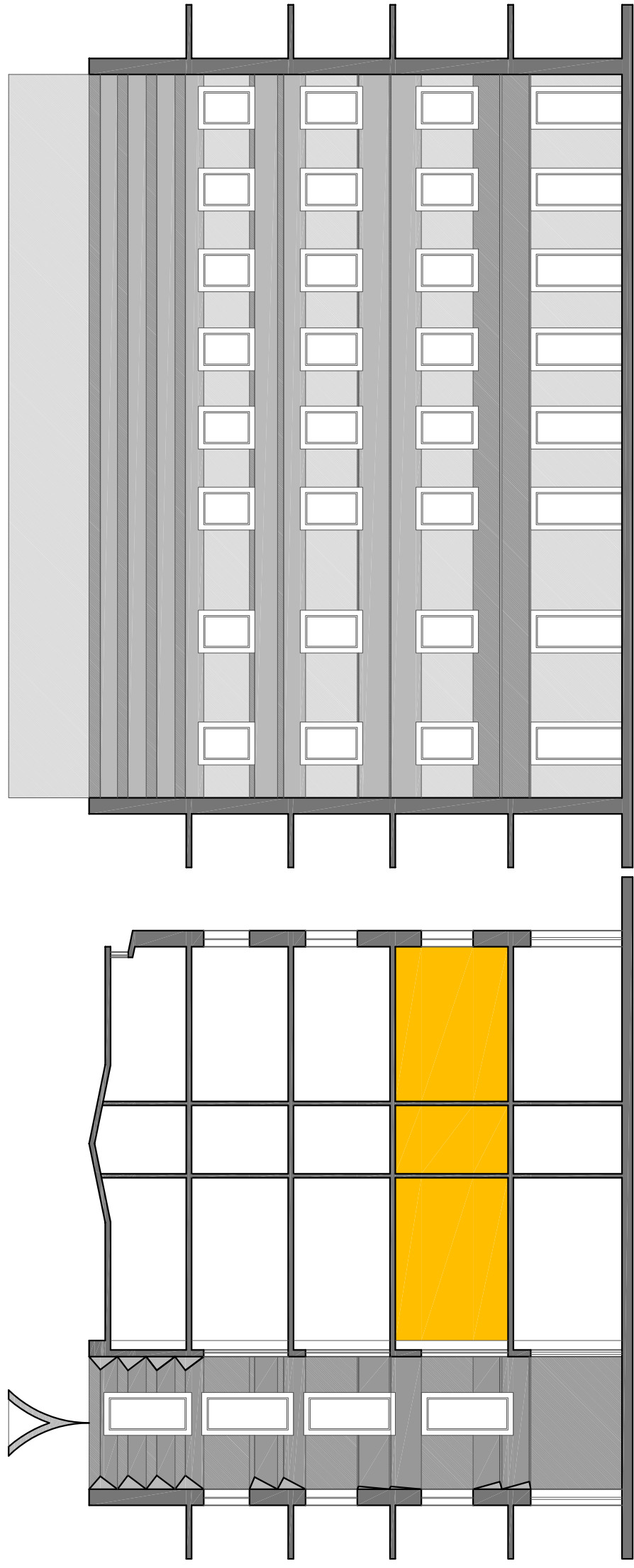
**SOLUÇÃO 1.1**  
ESCALA 1:200



**SOLUÇÃO 1.2**  
ESCALA 1:200



**SOLUÇÃO 1.4**  
ESCALA 1:200



**SOLUÇÃO 1.6**  
ESCALA 1:200

