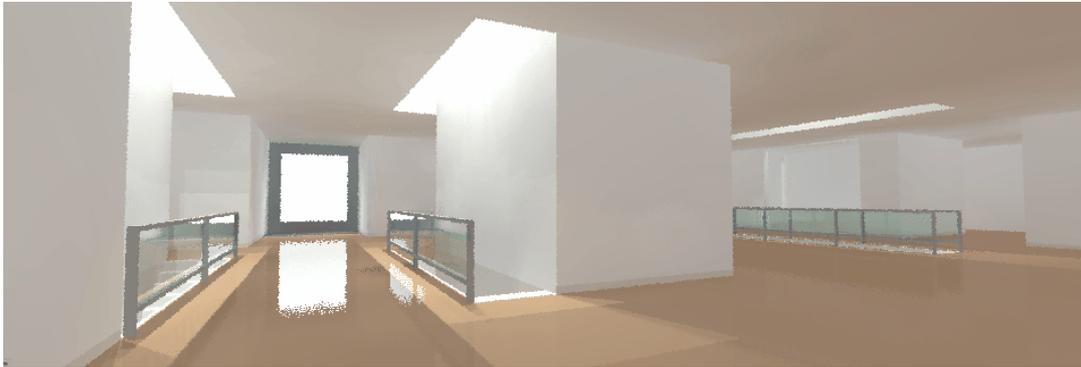




INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES EM MODELOS VIRTUAIS

O ESTUDO DE CASO DA REITORIA DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

MÓNICA SOFIA COUTINHO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
ARQUITECTURA

Júri

Presidente: Prof.^a Maria Helena Neves Pereira Ramalho Rua

Orientador: Prof.^a Maria Luísa de Oliveira Gama Caldas

Co-orientador: Prof. António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Vogal: Prof. Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

Maio 2009

AGRADECIMENTOS:

Aos meus pais e irmã pela compreensão e tolerância à minha
impaciência e mau humor nas piores fases deste percurso.

Às minhas amigas, Filipa Santos, Joana Oliveira e M^ª Inês Silva,
por todo o apoio e amizade, pela ajuda e assistência nas
medições e revisões do trabalho escrito.

RESUMO

O uso da iluminação natural na arquitectura visa satisfazer as necessidades humanas, funcionais e ambientais do espaço construído através da eficiência energética. O arquitecto deve poder pré-avaliar qualitativa e quantitativamente a solução de iluminação natural do ambiente interior do seu projecto. Sendo possível testar e escolher as melhores soluções através de simulações tridimensionais.

Este trabalho reflecte sobre a viabilidade, vantagens e limitações que a ferramenta de simulação proporciona na prática corrente de projecto. O estudo é baseado em análises de soluções de iluminação natural em modelos virtuais, através do *software* Desktop Radiance. Para o efeito é seleccionado um estudo de caso, sobre o qual incide a avaliação das condições mínimas de iluminação natural e dos aspectos qualitativos do ambiente interior. As medições *in situ* permitem o cálculo do Factor Luz-Dia (FLD), acção complementada com o levantamento e registo das propriedades das diversas superfícies interiores do espaço. Posteriormente, o cálculo do FLD dos ambientes simulados é realizado nas mesmas condições das medições *in situ*. A análise e comparação destes valores são feitas com recurso a gráficos e cortes esquemáticos do edifício nos pontos definidos. A avaliação qualitativa mostra a evolução da luz no espaço ao longo do dia e do ano, sendo feita com base em imagens sintetizadas e analíticas dos ambientes interiores.

O objectivo final é estudar qualitativa e quantitativamente soluções alternativas que optimizem os sistemas de iluminação natural existentes, adaptando-as à identidade do espaço construído. O processo é finalizado através da sua comparação, sendo retiradas as conclusões finais.

Palavras-chave:

Iluminação Natural

Modelos Virtuais

Simulações

Desktop Radiance

Medições

ABSTRACT

The use of natural light in architecture aims to meet human, functional and environmental aspects of the built environment through energy efficiency. The architect must be able to evaluate, both qualitatively and quantitatively, the solution of daylighting of the project. It is able to test and choose the best solutions through three-dimensional simulations, meeting the mentioned needs.

This paper reflects on the viability, advantages and limitations of the simulation tool that provides the practice of the project. The base to this analysis of natural light in virtual models is the Desktop Radiance software. Therefore, a case study was selected, focusing on the assessment of minimum conditions of daylighting and the qualitative aspects of the interior environment. In situ measurements allow the calculation of the Daylight Factor (DLF), an action complemented with the survey and registration of the various internal surfaces properties. Subsequently, the DLF of the simulated environments is calculated under the same conditions of the in situ measurements. The analysis and comparison of these values is determined using graphs and schematic sections of the building in the predefined sections. The qualitative assessment shows the path of light in space during the day and within the year, and is based on synthesized and analytic images of indoor environments.

The ultimate goal is to study both qualitatively and quantitatively alternatives that optimize the systems of the available daylight, adapting them to the built space identity. The process is completed by the comparison of all alternatives, and final conclusions are drawn.

Keywords:

Daylighting

Virtual Model

Simulation

Desktop Radiance

Measurements

ÍNDICE DE TEXTO

	Páginas
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE QUADROS	XV
<u>Capítulo 1</u>	
INTRODUÇÃO	1
<u>Capítulo 2</u>	
ILUMINAÇÃO NATURAL E A ARQUITECTURA	2
2.1. LUZ E ESTRATÉGIAS DE ILUMINAÇÃO	3
2.1.1. PROPRIEDADES DA LUZ	4
2.1.2. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E A COR	7
2.1.3. ESTRATÉGIAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	11
2.1.3.1. ABERTURAS LATERAIS	13
2.1.3.2. ABERTURAS ZENITAIS	17
2.1.3.3. ÁTRIOS	21
2.1.3.4. SISTEMAS AVANÇADOS DE ILUMINAÇÃO	23
2.2. MÉTODOS DE CÁLCULO, MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES	27
2.2.1. PRINCIPAIS MEDIDAS E GRANDEZAS FÍSICAS DA LUZ	28
2.2.2. AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL NOS EDIFÍCIOS	30
2.2.3. MODELO TRIDIMENSIONAL FÍSICO – MAQUETE	34
2.2.5. MODELO TRIDIMENSIONAL VIRTUAL – 3D	38
<u>Capítulo 3</u>	
ESTUDO DE CASO	42
3.1. OBJECTIVOS	42
3.2. METODOLOGIA	43
3.3. SELECÇÃO DO ESTUDO DE CASO	47
3.4. DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ESPAÇOS EM ESTUDO	50
3.4.1. SALA 1	50
3.4.2. SALA 2	51
3.4.3. ÁTRIO	52

3.5. SIMULAÇÕES E ANÁLISES	54
3.5.1. SALA 1	56
3.5.2. SALA 2	60
3.5.3. ÁTRIO	65
3.6. PROPOSTA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS	71
3.6.1. ALTERNATIVA 1	71
3.6.2. ALTERNATIVA 2	76
<u>Capítulo 4</u>	
CONCLUSÃO	81
<u>Capítulo 5</u>	
BIBLIOGRAFIA	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 – Movimento anual de translação em torno do Sol e declinação solar.....	4
Fonte: SANTOS, António José Costa dos– <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ "</i> , 2003, p.19	
Figura 2 – Coordenadas horizontais do Sol: h_s – altura solar; α_s – azimute solar.....	4
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ "</i> , 2003, p.20	
Figura 3 – Modelos de Céu – A: Céu limpo; B: Céu intermédio; C: Céu encoberto.....	5
Fonte: [http://sq1.org/wiki/Sky_Illuminance] consultado a 04/08/2008	
Figura 4 – Trajectória do Sol no Inverno, no Equinócio e no Verão em locais com latitude de 40°N e 65° N.....	6
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.42	
Figura 5 – As variáveis da componente da luz em relação a um determinado ponto (P) no espaço interior: C.C. – Componente Celeste; C.R.E. – Componente de Reflexão Externa; C.R.I. – Componente de Reflexão Interna.....	6
Fonte: VIANNA, Nelson Solano Vianna & GONÇALVES, Joana Carla Soares – <i>Iluminação e Arquitectura</i> , 2004, p.131	
Figura 6 – Reflexão da Luz – A: Reflexão Especular; B: Reflexão Dispersa; C: Reflexão Difusa..	7
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.57	
Figura 7 – Combinações de vários tipos de reflexão – A: Reflexão Difusa e Especular; B: Reflexão Difusa e Dispersa; C: Reflexão Especular e Dispersa.....	7
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.57	
Figura 8 – Refracção da luz.....	8
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.63	
Figura 9 – Transmissão da luz.....	9
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.66	
Figura 10 – Exemplos de materiais com diferentes tipos de transmissão.....	9
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.66	
Figura 11 – Espectro electromagnético e o espectro de luz visível.....	10
Fonte:[http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_electromagn%C3%A9tica] consultado a 10/08/2008	
Figura 12 – Espectro electromagnético e o espectro de luz visível.....	10
Fonte: [http://www.leefilters.com/architectural/advice/technical/] consultado a 10/08/2008	
Figura 13 – Planeamento urbano, iluminação através da reflexão das superfícies envolventes....	11
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.102	

Figura 14 – Desenho solar passivo, posicionamento dos espaços interiores para otimização do desempenho energético do edifício.....	12
Fonte: Comissão das Comunidades Europeias – <i>A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável</i> . 2001, p. 61	
Figura 15 – Nível de iluminação natural no interior de uma sala conforme a forma do tecto.....	13
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.109	
Figura 16 – Localização das aberturas: A – Superior; B – Intermédia; C – Inferior.....	13
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.110 - 111	
Figura 17 – Decréscimo do nível de iluminação com o aumento da distância à janela.....	14
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.112	
Figura 18 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas laterais numa das paredes.....	14
Fonte:LICHT, Ulrike Brandi – <i>DETAIL Practice Lighting Design</i> , 2006, p.21	
Figura 19 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas bilaterais.....	14
A - Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.112	
B - Fonte:LICHT, Ulrike Brandi – <i>DETAIL Practice Lighting Design</i> , 2006, p.28	
Figura 20 – A: abertura <i>greenhouse</i> ; B: abertura <i>overbite</i> ; C: parapeito reflector.....	15
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.113-114	
Figura 21 – Exemplos de sistemas de sombreamento horizontais.....	15
Fonte: OLGAYAY, Victor – <i>Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism</i> . 4ª Edição. Princeton, N.J.: Princeton University Press, cop. 1963, p.82	
Figura 22 – Exemplos de sistemas de sombreamento verticais.....	15
Fonte: OLGAYAY, Victor – <i>Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism</i> . 4ª Edição. Princeton, N.J.: Princeton University Press, cop. 1963, p.83	
Figura 23 – Exemplos de <i>light shelves</i>	16
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.118 – 119	
Figura 24 – Exemplos de um <i>suncatcher</i>	16
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.121	
Figura 25 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas zenitais.....	17
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.124	
Figura 26 – Aberturas zenitais verticais, horizontais e inclinada.....	17
Fonte: EGAN, M. David & OLGAYAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.128 - 129	
Figura 27 – Sistema <i>saw-tooth</i> com inclinação a 90° e a 60°.....	18
Fonte: VIANNA, Nelson Solano Vianna & GONÇALVES, Joana Carla Soares – <i>Iluminação e Arquitectura</i> , 2004, p.178	

Figura 28 – Sistema <i>roof monitor</i> vertical e inclinado.....	18
Fonte: VIANNA, Nelson Solano Vianna & GONÇALVES, Joana Carla Soares – <i>Iluminação e Arquitectura</i> , 2004, p.178	
Figura 29 – Tecto de dupla inclinação.....	19
Fonte: VIANNA, Nelson Solano Vianna & GONÇALVES, Joana Carla Soares – <i>Iluminação e Arquitectura</i> , 2004, p.179	
Figura 30 – Combinação do sistema de <i>suncatchers</i> com o <i>light shelves</i>	19
Fonte: EGAN, M. David & OLGAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.129 - 130	
Figura 31 – Exemplos de sistemas de redireccionamento da luz para aberturas zenitais.....	20
Fonte: EGAN, M. David & OLGAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.135	
Figura 32 – Exemplos de sistemas de sombreamento para aberturas zenitais.....	20
Fonte: EGAN, M. David & OLGAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.135	
Figura 33 – Corte esquemático de um átrio e as contribuições da luz natural	21
Fonte: BAKER, N. & Fanchiotti, A. & Steemers, K. – <i>Daylighting in Architecture: a European Reference Book</i> . S/ed. Londres: James & James, 1993, p. 5.39	
Figura 34 – Esquemas comparativos entre a forma de um átrio e do lírio.....	22
Fonte: EGAN, M. David & OLGAY, Victor W. – <i>Architectural Lighting</i> , 2002, p.138	
Figura 35 – A: Corte esquemático de um átrio com presença de árvores.....	22
Fonte: LAM, M. C. William – <i>Sunlighting as Formgiver</i> . S/ed. Van Nostrand Reinhold, Outubro, 1986, p. 163	
B: Corte esquemático de um lírio com <i>light shelves</i> nas fachadas interiores	
Fonte: LAM, M. C. William – <i>Sunlighting as Formgiver</i> . S/ed. Van Nostrand Reinhold, Outubro, 1986, p. 165	
Figura 36 – A: Esquema de captação da luz natural pelos painéis prismáticos.....	23
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-38	
B: Mudança da direcção da luz ao atravessar o painel	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-39	
Figura 37 – A: Esquema do sistema <i>laser-cut</i> aplicado no interior do vidro.....	24
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-38	
B: Vista para o exterior através dos paines <i>laser-cut</i>	
Fonte: [www.solartran.com.au/laser-cut-panel.htm/] consultado a 01/09/2008	
Figura 38 – A: Esquema do sistema de vidro com controlo solar.....	24
Fonte: LICHT, Ulrike Brandi – <i>DETAIL Practice Lighting Design</i> , 2006, p.43	
B: Controlo solar na abertura zenital para iluminar o átrio	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA – International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-68	

Figura 39 – Esquema do sistema <i>anidolic</i> aplicado na cobertura.....	25
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA – International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-93	
Figura 40 – A: Esquema do sistema <i>anidolic</i> aplicado na fachada;.....	25
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-85	
B: Corte esquemático do reflector <i>anidolic</i> com o ducto de luz integrados sobre o tecto falso	
Fonte: BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – <i>Daylight Design of Buildings</i> . London: James & James, 2002, p.162	
Figura 41 – A: Esquema do sistema <i>anidolic</i> aplicado em grelha.....	26
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA – International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-98	
B: Corte esquemático dos componentes parabólicos	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA – International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-99	
C: Fotografia do sistema <i>anidolic</i> , tirada pelo interior	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA – International Energy Agency, Julho, 2000, p. 4-100	
Figura 42 – Esquema do sistema <i>light pipe</i>	26
Fonte: BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – <i>Daylight Design of Buildings</i> . London: James & James, 2002, p.161	
Figura 43 – Esquema do fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa.....	28
Fonte: [http://artigosobre.com/Lumin%C3%A2ncia] consultado a 13/08/2008	
Figura 44 – Esquema do fluxo luminoso de um lúmen que incide sobre uma área de um metro quadrado e produz uma iluminância de um lux.....	28
Fonte: [http://artigosobre.com/Ilumin%C3%A2ncia] consultado a 13/08/2008	
Figura 45 – Esquema da intensidade luminosa reflectida por uma superfície dividida pela área visível aos olhos denominada luminância.....	29
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Iluminamento] consultado a 13/08/2008	
Figura 46 – Esquema geral do sistema luminoso.....	29
Fonte: Imagem adaptada [http://www.joname.xpg.com.br/apostila-2-UFES.htm] consultado a 13/08/2008	
Figura 47 – Esquema do método de medição do FLD	31
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ "</i> , 2003, p.96	
Figura 48 – Medição das reflectâncias das superfícies opacas (ρ_s)	32
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ "</i> , 2003, p.92	

Figura 49 – Medição das transmitâncias das superfícies transparentes (τ_v)	32
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ"</i> , 2003, p.93	
Figura 50 – Exemplo de luminâncias de referência no campo de visão em função da luminância da tarefa visual para obtenção do conforto visual.....	33
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ"</i> , 2003, p.110	
Figura 51 – Esquema de montagem de uma maquete usada para simulação.....	34
Fonte: BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – <i>Daylight Design of Buildings</i> . S/ed. Londres: James & James, 2002, p.200	
Figura 52 – Vista exterior e interior do simulador <i>mirror sky</i>	35
Fonte:[http://www.daylightinglab.com/daylighting/daylighting_OCsky.htm]consultado a 02/09/2008	
Figura 53 – Vista exterior e interior do simulador <i>sky dome</i>	35
Fonte:[http://www.andres-lichtplanung.de/about.php?lang=en]consultado a 02/09/2008	
Figura 54 – A: <i>spotlight sky simulator</i>	35
Fonte:[http://pkukmweb.ukm.my/~SERI/Zero.htm]consultado a 02/09/2008	
B: <i>scanning sky simulator</i>	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p.6-17	
Figura 55 – A: <i>Sundial</i> para a latitude 40° (aproximadamente a de Lisboa).....	36
Fonte: SCHILER, Marc E. & JAPEE, Shweta A. - <i>Interior illuminance, daylight controls and occupant response</i> . Vital Signs Project, University of Southern California, School of Architecture, Los Angeles, Maio 1996, p. L-5 28	
B: Esquema da utilização do <i>sundial</i>	
Fonte: BROWN, G. Z. & DEKAY, Mark – <i>Sun, Win & Light: Architectural Design Strategies of Buildings</i> . 2ª Edição. New York: John Wiley, 2000, p. 6	
Figura 56 – A: Esquema em corte das medições com o luxímetro.....	37
Fonte: SCHILER, Marc E. & JAPEE, Shweta A. - <i>Interior illuminance, daylight controls and occupant response</i> . Vital Signs Project, University of Southern California, School of Architecture, Los Angeles, Maio 1996, p. L-5 30	
B: Esquema em planta da malha de pontos	
Fonte: SCHILER, Marc E. & JAPEE, Shweta A. - <i>Interior illuminance, daylight controls and occupant response</i> . Vital Signs Project, University of Southern California, School of Architecture, Los Angeles, Maio 1996, p. L-5 30	

Figura 57 – A: Ilustração da reacção das superfícies à luz através do método <i>radiosity</i>	38
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p.6-5	
B: Ilustração da reacção das superfícies à luz dependendo de um ponto P (ponto de vista do observador), através do método ray tracing	
Fonte: RUCK, Nancy - <i>Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components</i> . IEA - International Energy Agency, Julho, 2000, p.6-7	
Figura 58 – Exemplo do <i>interface</i> de dados de entrada no <i>software</i> Adeline.....	39
Fonte: [http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/] consultado a 27/02/2009	
Figura 59 – Interface do <i>software</i> Desktop Radiance.....	40
Fonte: Imagem da autora	
Figura 60 – Exemplos das análises de acústica, iluminação, térmica e ventilação que o Ecotect permite.....	40
Fonte: [http://ecotect.com/] consultado a 27/02/2009	
Figura 61 – Exemplo do resultado obtido pela simulação através do programa Desktop Radiance; A: imagem sintetizada; B: imagens analíticas.....	41
Fonte: Imagem da autora	
Figura 62 – Luxímetro portátil utilizado nas medições de iluminância.....	43
Fonte: Imagem da autora	
Figura 63 – Planta de localização do edifício da Reitoria da UNL.....	47
Fonte: Esquema da autora	
Figura 64 – Vista geral do edifício da Reitoria e vista parcial do Colégio dos Jesuítas.....	47
Fonte: [http://www.airesmateus.com/] consultado a 25/02/2009	
Figura 65 – Planta do Piso 0. 1- Entrada principal; 2- Hall; 3- Bar; 4- Átrio; 5- Auditório; 6- Sala do Senado.....	48
Fonte: Esquema da autora	
Figura 66 – Planta do Piso 2, 3 e 4. 7- Elevadores panorâmicos; 8- Casas de banho; 9- Salas de trabalho.....	49
Fonte: Esquema da autora	
Figura 67 – Planta do piso 3, com localização da sala 1.....	50
Fonte: Esquema da autora	
Figura 68 – Corte esquemático da sala 1 com pormenor e fotografia da abertura lateral.....	50
Fonte: Desenho da autora	
Figura 70 – Planta do piso 4, com localização da sala 2.....	51
Fonte: Esquema da autora	
Figura 71 – Corte esquemático da sala 2; A: Fotografia das aberturas laterais; B: Fotografia do vão envidraçado	51
Fonte: Desenho e fotografia da autora	

Figura 72 – Planta do piso 0, com localização do átrio.....	52
Fonte: Esquema da autora	
Figura 73 – Planta esquemática, com localização das aberturas zenitais, e fotografias exemplificativas.....	53
Fonte: Desenho e fotografia da autora	
Figura 74 – Fotografia geral da sala, num dia de céu limpo.....	56
Fonte: Fotografia da autora	
Figura 75 – Imagem gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições in situ.....	56
Fonte: Imagem da autora	
Figura 76 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista da fotografia e simulações.....	57
Fonte: Desenho da autora	
Figura 77 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 1, sobre corte esquemático.....	57
Fonte: Desenho da autora	
Figura 78 – Análise de iluminâncias através de imagem analítica em false color.....	58
Fonte: Imagem da autora	
Figura 79 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Março / Setembro, às 9h, 12h e 17h.....	59
Fonte: Imagem da autora	
Figura 80 – Análise de iluminâncias em false color, sob condições de céu limpo no dia 21 em Março / Setembro às 17h.....	59
Fonte: Imagem da autora	
Figura 81 – Fotografia geral da sala, num dia de céu limpo.....	60
Fonte: Fotografia da autora	
Figura 82 – Imagem gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições in situ.....	60
Fonte: Imagem da autora	
Figura 83 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista da fotografia e simulações.....	61
Fonte: Desenho e fotografia da autora	
Figura 84 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 2, sobre corte esquemático 1.....	62
Fonte: Desenho da autora	
Figura 85 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 2, sobre corte esquemático 2.....	63
Fonte: Desenho da autora	
Figura 86 – Análise de iluminâncias através de imagem analítica em false color.....	64
Fonte: Imagem da autora	
Figura 87 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Dezembro, às 15h.....	64
Fonte: Imagem da autora	

Figura 88 – Fotografia geral do átrio, ponto de vista 1.....	65
Fonte: Fotografia da autora	
Figura 89 – Imagem do ponto de vista 1, gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições in situ.....	65
Fonte: Imagem da autora	
Figura 90 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 2.....	66
Fonte: Fotografia e imagem da autora	
Figura 91 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 3.....	66
Fonte: Fotografia e imagem da autora	
Figura 92 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 4.....	66
Fonte: Fotografia e imagem da autora	
Figura 93 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista das fotografias e simulações.....	67
Fonte: Desenho da autora	
Figura 94 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente.....	68
Fonte: Desenho da autora	
Figura 95 – Esquema dos dois sistemas de iluminação existentes no átrio	70
Fonte: Desenho da autora	
Figura 96 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Junho, às 12h do ponto de vista 3	70
Fonte: Imagem da autora	
Figura 97 – Esquema dos dois sistemas de iluminação projectados para o átrio.....	71
Fonte: Desenho da autora	
Figura. 98 – Planta esquemática com indicação das áreas das aberturas zenitais consideradas para a alternativa 1.....	72
Fonte: Desenho da autora	
Figura 99 – Gráfico da distribuição do FLD no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente, considerando a alternativa 1.1.....	73
Fonte: Desenho da autora	
Figura 100 – Imagem do ponto de vista 1, da alternativa 1.1, sob as condições das medições in situ.....	75
Fonte: Imagem da autora	
Figura 101 – Imagem do ponto de vista 2, da alternativa 1.1, sob as condições das medições in situ.....	75
Fonte: Imagem da autora	
Figura 102 – Imagem do ponto de vista 3 e 4, da alternativa 1.1, sob as condições das medições in situ.....	75
Fonte: Imagem da autora	

Figura 103 – Esquema do novo sistema de iluminação projectado para o átrio.....	76
Fonte: Desenho da autora	
Figura 104 – Planta esquemática com indicação das áreas das aberturas zenitais consideradas para a alternativa 2.....	77
Fonte: Desenho da autora	
Figura 105 – Gráfico da distribuição do FLD no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente, considerando a alternativa 2.....	78
Fonte: Desenho da autora	
Figura 106 – Imagem do ponto de vista 1, da alternativa 2, sob as condições das medições in situ.....	80
Fonte: Imagem da autora	
Figura 107 – Imagem do ponto de vista 2, da alternativa 2, sob as condições das medições in situ.....	80
Fonte: Imagem da autora	
Figura 108 – Imagem do ponto de vista 3 e 4, da alternativa 2, sob as condições das medições in situ.....	80
Fonte: Imagem da autora	

ÍNDICE DE QUADROS

	Páginas
Quadro 1 – Reflectâncias de alguns materiais	8
Fonte: BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – <i>Daylight Design of Buildings</i> . London: James & James, 2002, p.225	
Quadro 2 – Transmitância e reflectância de alguns tipos de vidro.....	9
Fonte: BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – <i>Daylight Design of Buildings</i> . London: James & James, 2002, p.227	
Quadro 3 – Iluminâncias recomendadas consoante o tipo de actividade, segundo a CIE.....	30
Fonte: SANTOS, António José Costa dos – <i>Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ "</i> , 2003, p.195	
Quadro 4 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos interiores das salas 1 e 2.....	54
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 5 – Valores de transmitância das superfícies transparentes da sala 1 e 2.....	54
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 6 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos interiores do átrio.....	55
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 7 – Valores de transmitância das superfícies transparentes do átrio.....	55
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 8 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos da envolvente ao Edifício.....	55
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 9 – Valores obtidos através das medições <i>in situ</i> da sala1, e comparação do FLD calculado com o simulado	58
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 10 – Valores obtidos através das medições <i>in situ</i> na sala2, e comparação do FLD calculado com o simulado.....	62
Fonte: Quadro da autora	

Quadro 11 – Valores obtidos através das medições <i>in situ</i> na sala 2, e comparação do FLD calculado com o simulado.....	63
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 12 – Valores obtidos através das medições <i>in situ</i> no átrio, e comparação do FLD calculado com o simulado.....	69
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 13 – Valores obtidos através das medições <i>in situ</i> no átrio, e comparação do FLD calculado com o simulado.....	69
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 14 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1; Comparação com os valores calculados e os simulados do existente.....	74
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 15 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1; Comparação com os valores calculados e os simulados do existente.....	74
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 16 – Valores de FLD para as alternativas 2 e 1.1; Comparação com os valores calculados e os simulados do existente.....	79
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 17 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1; Comparação com os valores calculados e os simulados do existente.....	79
Fonte: Quadro da autora	
Quadro 18 – Comparação da área de vidro em relação à área de tecto útil, com os valores de FLD médios.....	82
Fonte: Quadro da autora	

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

- Motivação e Justificação

Desde sempre que a luz natural aparece aliada à arquitectura, pois proporciona conforto e bem-estar aos utilizadores, além de ser benéfica para a saúde. Mas nos dias que correm cresceu uma nova necessidade para a utilização da iluminação natural - a importância da redução do consumo energético nos edifícios.

Assim, o controlo da iluminação natural visa satisfazer as necessidades funcionais do próprio espaço, as necessidades humanas a nível de conforto visual e as necessidades ambientais através da eficiência energética do edifício.

Sendo a luz um aspecto mutável, a iluminação interior depende de inúmeros factores como por exemplo a localização geográfica, o clima, o ano ou a hora do dia. A arquitectura do edifício, a forma e os materiais usados também fazem variar a luz natural no ambiente interior.

É importante para o arquitecto poder pré-avaliar qualitativa e quantitativamente a solução de iluminação natural do ambiente interior do seu projecto. Com a ajuda das simulações tridimensionais é possível testar e escolher a melhor solução de iluminação natural do espaço interior, e rapidamente obter um equilíbrio entre as necessidades funcionais, humanas e energéticas.

- Objectivos e Método

O objectivo principal desta dissertação é analisar soluções de iluminação natural em modelos virtuais, através do *software* Desktop Radiance. O trabalho pretende reflectir sobre a viabilidade, as vantagens e limitações que a ferramenta de simulação proporciona na prática corrente de projecto.

Para o efeito, é seleccionado um estudo de caso, sobre o qual incide a avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação natural.

- Estrutura e Conteúdo

A tese organiza-se em 4 capítulos, sendo o presente capítulo o 1º, destinado à introdução do trabalho. O 2º capítulo surge como revisão bibliográfica, que de uma forma resumida e sintetizada explica as propriedades, estratégias e sistemas de iluminação natural. São também referidos alguns dos métodos de avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos, *in situ*, em modelos físicos e virtuais.

O 3º capítulo é dedicado ao estudo de caso, onde são descritos os objectivos e a metodologia aplicada. Aos espaços interiores seleccionados é feita uma análise comparativa quantitativa e qualitativa, entre medições realizadas *in situ* e simulação efectuadas em modelos virtuais.

Com o intuito de melhorar o aproveitamento da luz natural dos ambientes em estudo, são propostas algumas soluções alternativas sujeitas à mesma análise quantitativa e qualitativa.

Por último, o 4º capítulo é destinado às conclusões finais do trabalho, através de uma avaliação crítica sobre a análise e os resultados obtidos no capítulo anterior.

Capítulo 2

ILUMINAÇÃO NATURAL E A ARQUITECTURA

“A arquitectura é essencialmente uma arte: uma arte visual, uma arte plástica, uma arte espacial. Porém deve-se perceber que a experiência da arquitectura é recebida por todos os nossos sentidos e não unicamente pela visão. Assim, a qualidade do espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu ambiente, e o modo pelo qual o espaço é servido de luz, ar e som deve ser incorporado ao conceito de espaço em si.”¹

A arquitectura deve proporcionar ao homem condições de conforto ao nível físico, psicológico e social. A relação que este estabelece com o meio ambiente depende do que o espaço projectado proporciona em termos de calor, luz e som.

O conforto poderá ser descrito como sendo o ponto em que o homem despense a menor quantidade de energia para se adaptar ao seu ambiente.² Mas embora estas condições sejam uma interpretação de sensações e estímulos físicos, que são objectivos e quantificáveis, dependem ainda de indivíduo para indivíduo, logo, têm um carácter subjectivo.

Os aspectos que condicionam o conforto ambiental são inúmeros e por vezes dependentes entre si. E quando se trata da iluminação natural há sempre a componente térmica inerente. A presente dissertação, visa apenas focar a luz natural, que surge como factor fundamental e dinâmico, assim como as variadíssimas opções de projecto existentes.

O capítulo que se segue pretende, de uma forma sintetizada, explicar as propriedades e as estratégias da iluminação natural, com o intuito de salientar a importância da sua incorporação no projecto arquitectónico.

“ (...) podemos equacionar o problema da iluminação natural dos edifícios como sendo a “arte” de bem relacionar três grandes variáveis: Clima, Percepção e exigências (humanas e funcionais), e o Edifício (como síntese).”³

¹ Louis Kahn (cit. in VIANNA, Nelson Solano & GONÇALVES, Joana Carla Soares – *Iluminação e Arquitectura*. 2ª Edição. São Paulo: Geros, Março 2004, p. XV)

² Olgyay (cit. in Comissão das Comunidades Europeias – *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*. 1ª Edição. Lisboa: Ordem dos Arquitectos, 2001, p. 26)

³ VIANNA, Nelson Solano & GONÇALVES, Joana Carla Soares – *Iluminação e Arquitectura*. 2ª Edição. São Paulo: Geros, Março, 2004, p. 7

2.1. LUZ E ESTRATÉGIAS DE ILUMINAÇÃO

*“A space can never reach its place in architecture without natural light. Artificial light is the light of night expressed in positioned chandeliers not to be compared with the unpredictable play of natural light...”*⁴

A preocupação relacionada com o consumo excessivo de energia dos edifícios fez surgir a arquitectura sustentável. Este conceito visa a implementação de sistemas de controlo energético, captação e armazenamento de calor, redireccionamento de luz, circulação de ar e produção de electricidade, com o intuito de reduzir o impacto ambiental.

A iluminação artificial é um grande consumidor de energia nos edifícios não residenciais, sendo que nos edifícios de escritórios, chega a ser responsável por 50% da energia total. Perante estes valores torna-se essencial estudar alternativas de iluminação, para combater o excesso de consumo energético. De facto, a combinação da luz natural com a iluminação artificial pode chegar facilmente a reduzir o consumo energético de 30 a 50%, e em alguns casos pode chegar a alcançar a ordem dos 60 a 70%.

Estas percentagens são demasiado significativas económica e ambientalmente para serem ignoradas. Principalmente quando os valores de luz natural possíveis de captar num espaço aberto, durante a maior parte do dia, excedem as quantidades de luz necessárias num espaço interior. Este facto só demonstra a grande potencialidade do Sol como fonte de luz natural e de energia inesgotável.

Compete ao arquitecto compreender as propriedades e características da luz, conhecer e saber aplicar os métodos e sistemas de iluminação natural, e dessa forma conseguir tirar o maior partido das entradas de luz natural, e reduzir a utilização de luz eléctrica contribuindo assim para um melhor desempenho energético e ambiental.

*“O controle do ambiente não é a totalidade da Arquitectura, mas deve ser parte da ordenação básica de qualquer projecto.”*⁵

⁴ Louis Kahn (*cit. in* BÜTTIKER, Urs & BEAN, David, trad. - *Louis I. Kahn: licht und raum / light and space*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1993, p.36)

⁵ VIANNA, Nelson Solano & GONÇALVES, Joana Carla Soares – *Iluminação e Arquitectura*. 2ª Edição. São Paulo: Geros, Março, 2004, p. 3

2.1.1. PROPRIEDADES DA LUZ

A fonte de iluminação primordial é o Sol. Este emite aproximadamente seis bilhões de lumens⁶ por cada metro quadrado de superfície. Destes só cerca de 134.000 lux⁷ alcançam a atmosfera, sendo 20% deste valor absorvido e 25% reflectidos para o espaço. Uma parte dos 55% restantes chega à superfície da Terra em forma de feixes de raios paralelos, denominada de luz directa. A outra parte é difundida através das camadas da atmosfera e das nuvens, sendo emitida pelo céu em todas as direcções. A luz difusa é uma luz homogénea e é normalmente representada por uma meia esfera, denominada abóbada celeste.

É possível quantificar a luz directa através da posição do sol e da quantidade de luz reflectida numa determinada superfície. A posição do Sol ao longo do ano, em relação a um determinado ponto da superfície terrestre, denominada de movimento solar aparente, é o resultado dos movimentos de translação e rotação da Terra (fig. 1).

A Terra faz um ângulo de 23,5° em relação ao seu eixo de rotação e um plano normal que contém o seu movimento de translação em torno do Sol. Este ângulo, designado de declinação solar, é responsável pela variação dos ângulos dos raios solares ao longo do ano, o que origina as estações do ano (fig. 1).

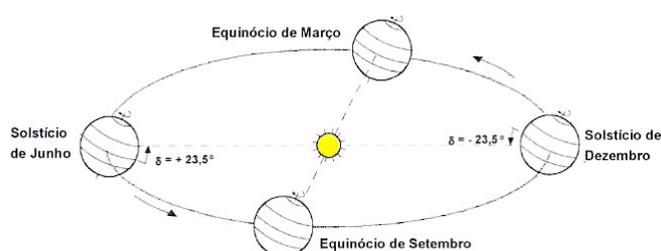


Fig. 1 – Movimento anual de translação em torno do Sol e declinação solar

A posição do Sol, utilizando um sistema de coordenadas horizontais, é determinada por um plano horizontal imaginário que passa pelo centro da Terra. Desta maneira, os raios solares podem ser caracterizados por dois ângulos: o azimute e a altura do Sol. Sendo o azimute a projecção do raio, no plano horizontal, em relação ao norte verdadeiro ou geográfico. E a altura do Sol é dada pela posição do Sol em relação à linha do horizonte (fig. 2).

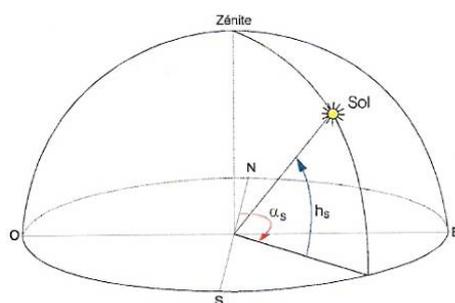


Fig. 2 – Coordenadas horizontais do Sol: h_s – altura solar; α_s – azimute solar

⁶ Lúmen é a unidade de fluxo luminoso, que é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa.

⁷ Lux é a unidade de iluminância, que é a relação da quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa relacionada, com a superfície de incidência.

No entanto, a luz difusa possui muitas características difíceis de controlar, tais como a intensidade, disponibilidade e cor. Existe uma grande diversidade climática e atmosférica que faz variar a composição do céu. Desta forma foram estabelecidas pela CIE ⁸ (*cit. in SANTOS 2003*) três tipos de céu para os estudos quantitativos e qualitativos da luz natural:

- Céu limpo – o céu encontra-se azul sem nuvens e o Sol é visível.

A luminosidade varia tanto no horizonte como no zénite⁹, dependendo também da posição do Sol, onde a zona mais próxima deste chega a alcançar uma intensidade luminosa 40 vezes maior que na linha do horizonte (fig. 3, A).

- Céu intermédio – representa uma situação intermédia entre céu limpo e céu encoberto.

Esta situação representa o céu parcialmente encoberto ou parcialmente limpo e embora seja o tipo de céu mais frequente, a CIE não recomenda nenhum dos modelos actualmente existentes (fig. 3, B).

- Céu encoberto – condições de céu completamente coberto por espessas nuvens escuras.

Este pode apresentar-se segundo dois modelos: céu encoberto uniforme ou céu encoberto padrão.

No modelo de céu encoberto uniforme a luz é constante em todo o hemisfério do céu, o que não acontece na realidade. No céu encoberto padrão considera-se que a luz emitida no zénite é três vezes superior à luz emitida no horizonte (fig. 3, C). Este último modelo de céu é o aconselhado para o cálculo da luz natural, por reproduzir as condições mais desfavoráveis de luz.



Fig. 3 – Modelos de Céu – A: Céu limpo; B: Céu intermédio; C: Céu encoberto

⁸ CIE - Commission Internationale de l'Éclairage – Comissão Internacional de Iluminação

⁹ Zénite segundo a perspectiva de um observador localizado num plano sobre a Terra é a intersecção na perpendicular com a abóbada celeste.

Para além das condições climatéricas, a quantidade de luz natural que chega ao solo depende também das características geográficas do local. Parâmetros como a latitude local afectam não só o grau de luminosidade como também a disponibilidade da luz natural ao longo do ano (fig. 4). A intensidade de luz obtida num dia de céu limpo depende do ângulo dos raios solares em relação à superfície da Terra. Razão pela qual a luz ao nascer e ao pôr-do-sol ser menos intensa e ao meio-dia ser mais intensa.

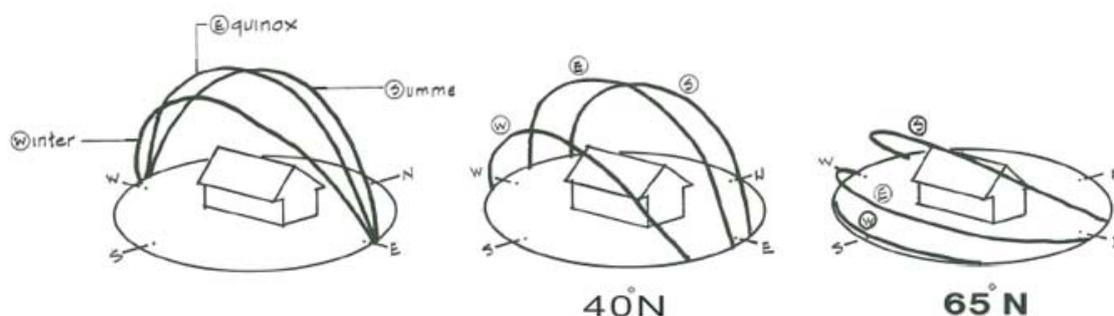


Fig. 4 – Trajetória do Sol no Inverno, no Equinócio e no Verão em locais com latitude de 40°N e 65° N

Existem três variáveis principais que contribuem para a luz no interior do espaço: a componente celeste, a componente de reflexão externa e a componente de reflexão interna (fig. 5).

A componente celeste (C.C.), tal como o nome indica, provém da abóbada celeste e varia consoante a latitude, o dia e a hora, o tipo de céu e a orientação da fachada. A componente de reflexão externa (C.R.E) resulta das reflexões provocadas pelas construções da envolvente e são alteradas pelo tamanho, posição e distância do edificado e pelas cores e texturas das suas superfícies. Por sua vez, a componente de reflexão interna (C.R.I.) é constituída pelas reflexões das superfícies internas dos espaços, variáveis consoante a cor e textura usadas nessas superfícies. A reflexão provocada pela superfície do tecto é a mais significativa, uma vez que é a que mais influência o plano de trabalho pela sua posição relativa a este.

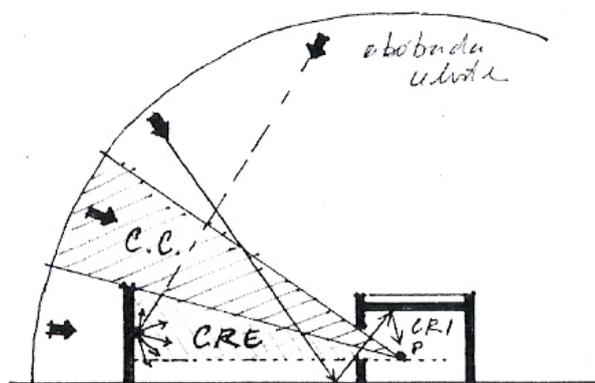


Fig. 5 – As variáveis da componente da luz em relação a um determinado ponto (P) no espaço interior: C.C. – Componente Celeste; C.R.E. – Componente de Reflexão Externa; C.R.I. – Componente de Reflexão Interna

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E A COR

Tanto a quantidade como a qualidade da luz no interior de um espaço varia consoante o acabamento e a cor das superfícies, torna-se portanto fundamental compreender as propriedades dos materiais. Os principais fenómenos da luz, quando entra em contacto com os materiais, são a reflexão, a refração e a transmissão.

Segundo as definições do LNEC¹⁰ a reflexão é o reenvio de uma radiação por uma superfície, sem mudança de frequência das radiações monocromáticas que a compõem. Esta pode ser especular, dispersa ou difusa.

Na reflexão especular o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Este tipo de reflexão ocorre em superfícies polidas como espelhos e metais e ocorre também em água parada (fig. 6, A). A reflexão dispersa é provocada por irregularidades nas superfícies espelhadas. A forma desta reflexão é um cone, onde o principal ângulo de reflexão é igual ao de incidência (fig. 6, B). O plástico e os materiais com acabamento tipo mate provocam uma reflexão difusa, ou seja, reflectem a luz igualmente em todas as direcções. A quantidade de luz reflectida varia consoante a cor e a forma da superfície (fig. 6, C).

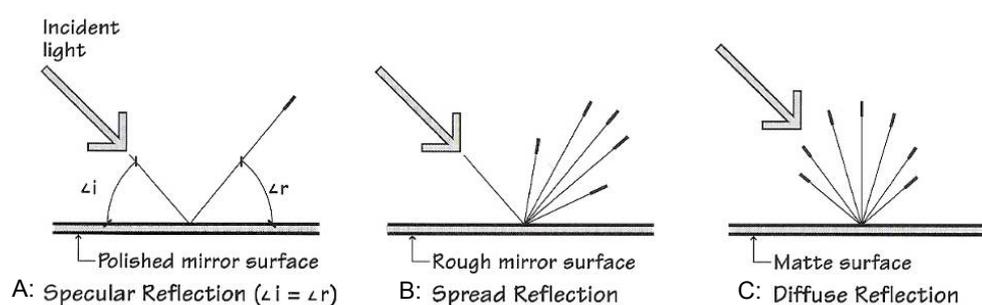


Fig. 6 – Reflexão da Luz – A: Reflexão Especular; B: Reflexão Dispersa; C: Reflexão Difusa

No entanto, existem muitos outros materiais que combinam estes tipos de reflexões. A quantidade de luz reflectida é a soma de todas as reflexões, sejam elas especulares, dispersas difusas ou combinadas (fig. 7).

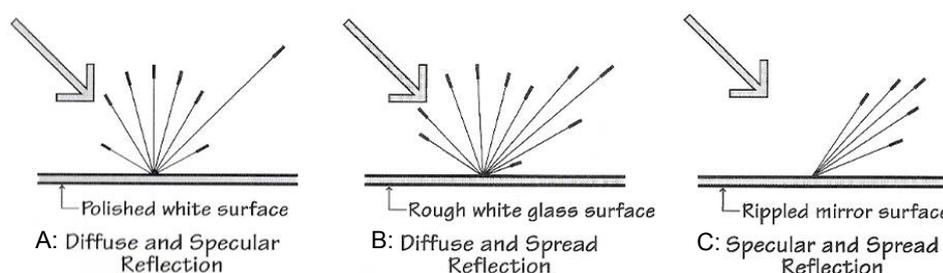


Fig. 7 – Combinações de vários tipos de reflexão – A: Reflexão Difusa e Especular; B: Reflexão Difusa e Dispersa; C: Reflexão Especular e Dispersa

¹⁰ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1986) – *Vocabulário Internacional de Iluminação*. 1970. Trabalho integrado no Planeamento de Estudos no Domínio dos Edifícios. Lisboa: LNEC

EGAN e OLGAYAY (2002) afirmam que, ao contrário do que se possa pensar, as superfícies pintadas de branco tipo mate reflectem a luz com melhor eficiência do que, por exemplo, as superfícies de aço polido. O conhecimento antecipado do comportamento do material à luz pode evitar surpresas indesejadas no ambiente projectado (Quadro 1).

Quadro 1 – Reflectâncias de alguns materiais (tabela completa no Anexo I)

Surface type	Description	Reflectance
Ceilings	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	White emulsion paint on acoustic tile	0.7
Walls	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	Tiles: white glazed	0.8
	Brick: concrete, light grey	0.4
	Portland cement, smooth	0.4
Floors and furniture	Paper, white	0.8
	Cement: screed	0.45
	PVC tiles: cream	0.45
	Carpet: light grey, middle buff	0.45
Other	Asphalt	0.07
	Moist earth	0.07
	Gravel	0.13
	Water	0.15

Segundo o LNEC¹¹ a refacção é a mudança de direcção de propagação de uma radiação, determinada pelas variações de velocidade de propagação num meio opticamente não homogéneo, ou na passagem de um meio a outro (fig. 8).

A refacção da luz acontece quando esta atravessa materiais com diferentes densidades. A velocidade da luz diminui ao atravessar materiais com elevada densidade e aumenta em materiais de menor densidade. Materiais com estas propriedades como os blocos de vidro e painéis de vidro prismático, não permitem ter uma vista real da paisagem exterior.

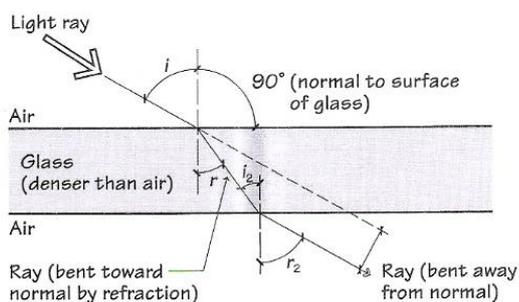


Fig. 8 – Refracção da luz

¹¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1986) – *Vocabulário Internacional de Iluminação*. 1970. Trabalho integrado no Planeamento de Estudos no Domínio dos Edifícios. Lisboa: LNEC

O LNEC¹² define que a transmissão da luz é a passagem de uma radiação através de um meio, sem mudança de frequência das radiações monocromáticas que a compõem (fig. 9).

A maioria destes materiais, apesar de transmitir a maior parte da luz incidente, acaba por reflectir e absorver uma pequena percentagem desta. O vidro é um dos materiais que consegue transmitir, reflectir e absorver a luz solar (Quadro 2). Além disso, consegue transmitir com o mínimo de distorção de imagem, dispersão ou difusão da luz (fig. 10).

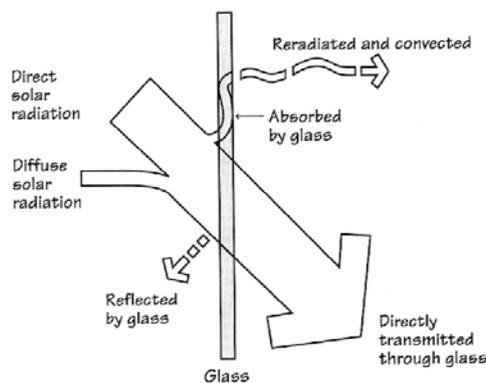


Fig. 9 – Transmissão da luz

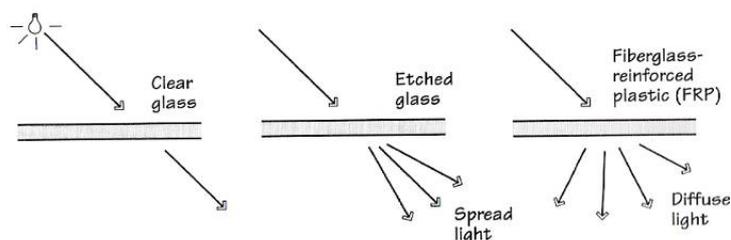


Fig. 10 – Exemplos de materiais com diferentes tipos de transmissão

Quadro 2 – Transmitância e reflectância de alguns tipos de vidro (tabela completa no Anexo I)

Glass type	Light transmittance	Reflectance
Single pane		
Clear glass 6 mm	0.89	0.08
Clear glass 6 mm low-e	0.84	0.10
Double pane with clear inner		
Clear glass 6 mm	0.76	0.10

¹² Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1986) – *Vocabulário Internacional de Iluminação*. 1970. Trabalho integrado no Planeamento de Estudos no Domínio dos Edifícios. Lisboa: LNEC

A radiação electromagnética é uma onda que se auto-propaga no espaço e é um fenómeno visto pelo olho humano como luz. O tipo de radiação electromagnética varia de acordo com a frequência de onda e é composto por ondas de rádio, microondas, raios terahertz (Raios T), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta e raios-x, radiação gama.

A luz visível é apenas uma parte do espectro electromagnético e emite ondas de frequência entre os 400nm e 700nm¹³ (fig. 11).

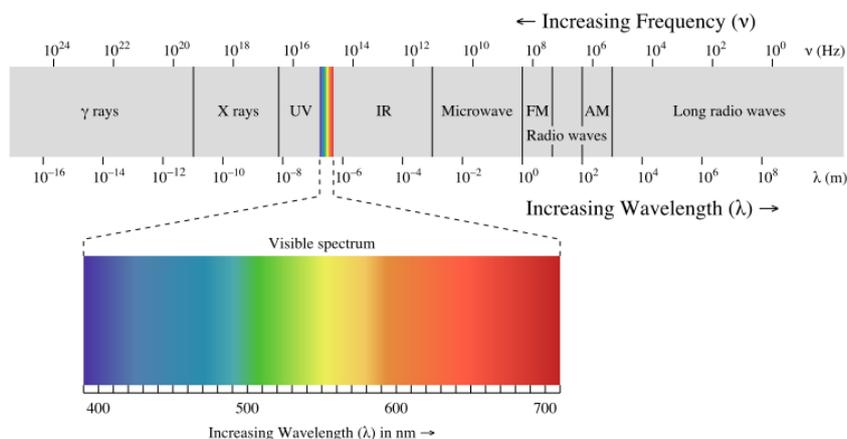


Fig. 11 – Espectro electromagnético e o espectro de luz visível

A luz branca do Sol, de uma vela ou de uma lâmpada, é constituída pela mistura de sete cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, ciano e violeta. A decomposição da luz pode ser observada quando um feixe de luz atravessa um prisma óptico (fig. 12) e na Natureza quando origina um arco-íris.

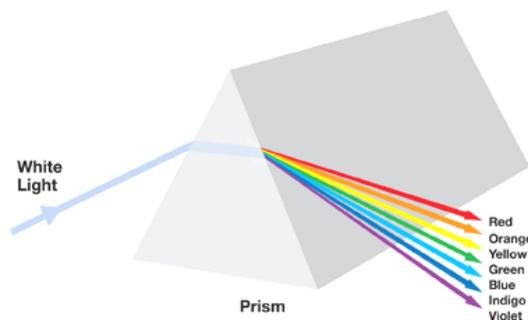


Fig. 12 – Decomposição da luz branca, nas sete cores, quando atravessa um prisma óptico

A cor de uma superfície é dada pela frequência de onda que esta reflecte. Um objecto vermelho, por exemplo, reflecte a frequência vermelha, absorvendo as restantes. A cor está relacionada com os diferentes comprimentos de onda do espectro, correspondendo assim a cor branca à sobreposição de todas as cores, e o preto à ausência de luz. Razão pela qual as cores claras têm um maior poder de reflexão, enquanto que as cores escuras possuem uma maior absorção.

Logo é importante escolher cuidadosamente os materiais quanto à textura e cor, e conhecer os coeficientes de reflexão e absorção, aspectos que influenciam o comportamento lumínico e térmico do espaço.

¹³ nm símbolo da unidade de comprimento de onda, nanometro. 1 nm = 1,0x10⁻⁹ m

2.1.3. ESTRATÉGIAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

“The structure is a design in light. The vault, the dome, the arch, the column are structures related to the character of light. Natural light gives mood to space by the nuances of light in the time of the day and the seasons of the year, as it enters and modifies the space.”¹⁴

Uma boa iluminação natural começa no projecto urbano. Planear desde cedo uma boa acessibilidade da luz solar simplifica, posteriormente, o projecto à escala do edifício. Deve ter-se em consideração o tipo de clima, a topografia do terreno e a altura dos edifícios, de forma a apurar a orientação solar mais favorável e prevenir sombreamentos indesejados.

Os materiais que revestem as superfícies exteriores influenciam a temperatura do ar circundante e a luz disponível. É importante ter em atenção o poder calorífico dos materiais, mas quando não se consegue evitar a acumulação de calor, recorrer ao uso de vegetação e superfícies com água, revela-se uma boa solução. O uso estratégico de materiais com uma boa reflexão, em determinados edifícios ou pavimentos, proporciona iluminação a locais que à partida seriam inalcançáveis pela luz (fig. 13).

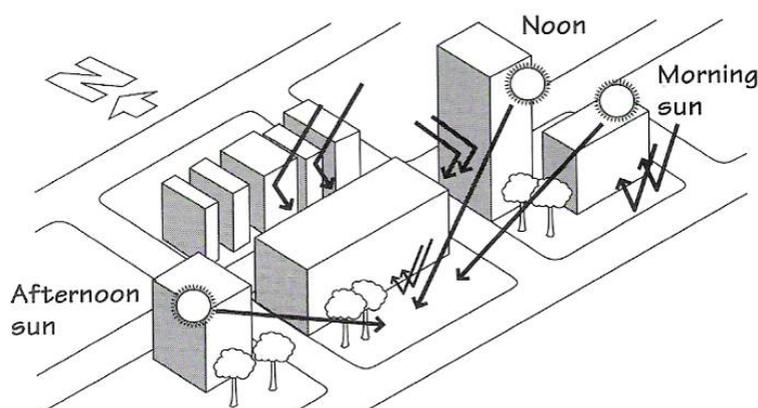


Fig. 13 – Planeamento urbano, iluminação através da reflexão das superfícies envolventes

Ao nível do edifício, as considerações técnicas, funcionais, energéticas e estéticas influenciam a forma e o desenho do edifício. “A simples concepção do edifício com a forma certa e a orientação correcta, poderá reduzir o consumo de energia entre 30 a 40%, sem sobre-custos.” Como afirma a Comissão das Comunidades Europeias no livro *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável* (2001).

¹⁴ Louis Kahn (cit. in Büttiker, Urs & Bean, David, trad. - *Louis I. Kahn: licht und raum / light and space*. Sled. Basel: Birkhäuser Verlag, 1993, p. 16)

Para o efeito existe o desenho solar passivo, que consegue melhorar o desempenho energético do edifício através da orientação estratégica dos espaços. Este método incide sobre as três áreas fundamentais, o aquecimento/arrefecimento, a iluminação e a ventilação.

Sendo que os compartimentos que necessitam de aquecimento contínuo ocupam a fachada Sul, para conseguir aproveitar os ganhos solares directos. Para otimizar o desempenho energético, estes compartimentos não deverão ultrapassar um desvio de 15° em relação ao Sul verdadeiro. A fachada Norte é ocupada pelas divisões que não requerem aquecimento, estes espaços denominam-se espaços-tampão. As restantes orientações devem ser ocupadas por espaços que apenas requerem aquecimento periódico (fig. 14).

A localização junto às fachadas ou cobertura do edifício é preferida pelas divisões que necessitam de iluminação natural para o desempenho das suas actividades.

A ventilação natural é dificultada pela largura do edifício que, quanto mais profundo for, pior será a sua ventilação.



Fig. 14 – Desenho solar passivo, posicionamento dos espaços interiores para optimização do desempenho energético do edifício

Ainda ao nível do edifício, focando a área de iluminação, EGAN e OLGAYAY (2002) definem cinco estratégias de design para promover a eficiência da luz natural:

1. *Shade* – Sombrear as entradas de luz. Evita-se assim o encadeamento e o ganho excessivo de calor proveniente da luz directa do sol.
2. *Redirect* – Redireccionar a luz para onde ela é necessária. A uniformidade da iluminação numa sala é a essência de uma boa iluminação. Não é aceitável ter excesso de luz perto da janela e ter escassez de luz no resto da sala.
3. *Control* – Controlar a quantidade de luz que entra no espaço. Poder proporcionar a quantidade certa de iluminação natural onde e quando ela é precisa.
4. *Efficiency* – Usar a luz eficientemente, através das formas e materiais, dispostos estrategicamente, no interior do compartimento. Desta forma consegue-se distribuir melhor a luz no espaço e reduzir o uso de iluminação artificial.
5. *Integrate* – Integrar os sistemas de iluminação natural com a arquitectura.

2.1.3.1. ABERTURAS LATERAIS

As janelas tiveram, desde sempre, uma grande importância na Arquitectura. Podem ser pequenas, altas, horizontais, ou completos panos de vidro, cuja função é a de permitir uma relação com o exterior, muito importante para o Homem.

EGAN e OLGYAY (2002) afirmam que, numa sala, o tecto é a melhor superfície para receber e reflectir a luz, contribuindo até 80% para a iluminação desta. As paredes contribuem 50% e o chão apenas 20%. As superfícies devem ser de cor clara, e os materiais reflectivos. Para tirar maior partido do tecto, este deve ser alto, de forma a distribuir melhor a luz e, melhorar assim a iluminação no plano de trabalho. O tecto deve ser uma superfície única, com uma forma suave e inclinada para maximizar o nível de iluminação (fig. 15).

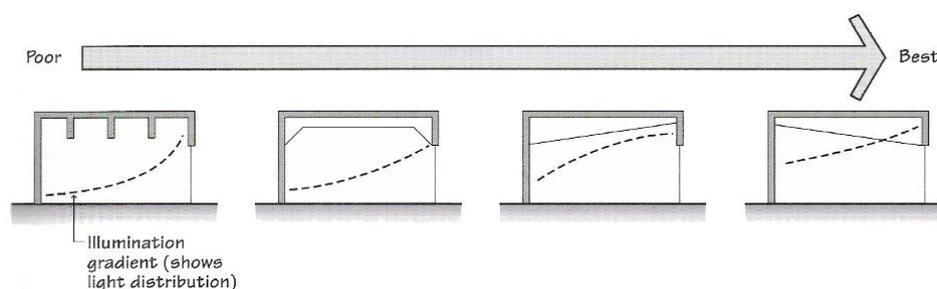


Fig.15 – Nível de iluminação natural no interior de uma sala conforme a forma do tecto

A posição, a forma e o tamanho da janela num determinado compartimento também têm uma forte influência na distribuição e no nível de iluminação natural no seu interior.

As janelas superiores conseguem obter uma melhor distribuição da luz nos dias de céu nublado. Nos dias de sol directo, como as janelas superiores se encontram acima do nível dos olhos, permitem luz sem brilho excessivo (fig. 16, A).

Quando situadas a meia altura do piso, as janelas não têm o melhor comportamento a nível de distribuição da luz para o interior do compartimento. Estas janelas permitem que os raios directos do sol e as reflexões provocadas pelo chão as atravessem, o que provoca encadeamento. Embora esta seja a localização mais comum, isto deve-se à vista que permitem para o exterior, e não pela iluminação natural que oferecem (fig. 16, B).

Ao contrário do que se podia esperar, as janelas inferiores são as que conseguem oferecer uma melhor uniformidade de luz natural, em dias de céu limpo. Ao maximizar a distância entre a fonte de luz e o tecto, a luz consegue alcançar uma maior distância em profundidade do espaço interior. A iluminação obtida é maioritariamente reflectida, o que dá ao espaço uma iluminação difusa, sem brilhos (fig. 16, C).

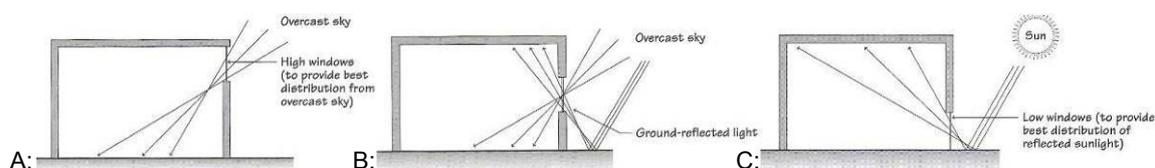


Fig.16 – Localização das aberturas: A – Superior; B – Intermédia; C – Inferior

Embora seja o sistema mais usado, a iluminação lateral não é muito uniforme em termos de distribuição de luz para o interior do espaço. O nível de iluminação diminui drasticamente com o aumento de distância em relação à janela. Podemos considerar que, no que diz respeito à profundidade do espaço, a luz consegue iluminar apenas 1,5 a 2 vezes a altura da abertura lateral (fig. 17 e 18).

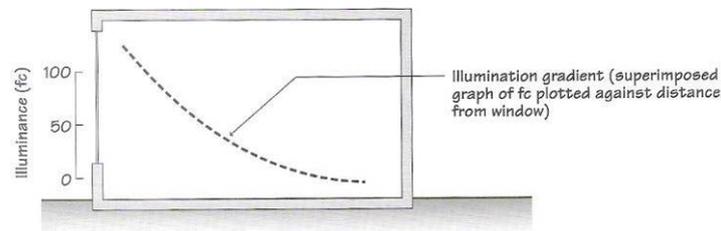


Fig. 17 – Decréscimo do nível de iluminação com o aumento da distância à janela.

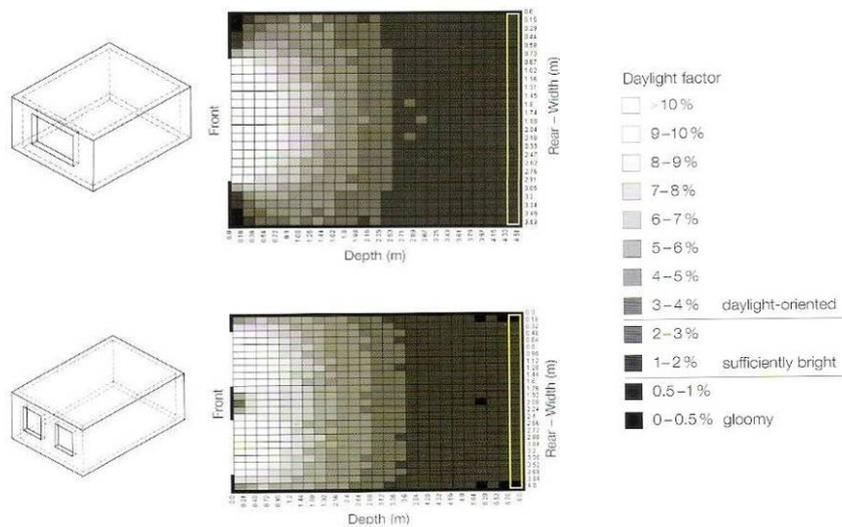


Fig. 18 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas laterais numa das paredes

A localização bilateral das aberturas é uma das soluções que se podem adoptar para melhorar a distribuição de luz num espaço. Este tipo de sistema melhora consideravelmente a qualidade do espaço, a luz torna-se mais uniforme, mais suave e as sombras reduzem-se (fig. 19).

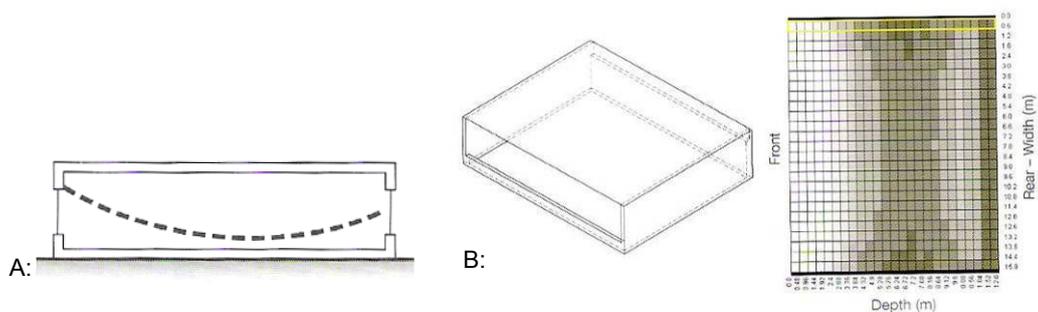


Fig. 19 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas bilaterais

A forma e espessura das janelas, bem como das paredes, afectam a distribuição da iluminação. Nos exemplos que se seguem observa-se como a forma da abertura *greenhouse* consegue captar o máximo de luz natural, em locais de céu nublado (fig. 20, A). A configuração das janelas *overbite* apenas permite receber a luz reflectida pelo pavimento exterior, evitando assim os raios solares directos (fig. 20, B). A forma e os materiais do parapeito da janela, podem ajudar a reflectir a luz directa para o interior da sala (fig. 20, C).

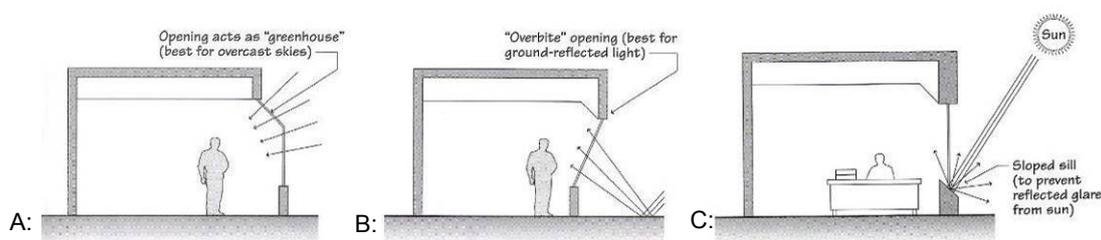


Fig. 20 – A: abertura *greenhouse*; B: abertura *overbite*; C: parapeito reflector

■ Sistemas de Sombreamento

Para evitar excesso de brilho e calor, o sombreamento da janela é uma boa solução. Existem vários tipos de sistemas, de diferentes formas e materiais, fixos ou móveis e podem ser orientados na horizontal ou na vertical.

Recomenda-se o uso do sombreamento horizontal nas fachadas Norte e Sul, uma vez que consegue bloquear os raios solares de maior altitude e permite receber os raios de baixa altitude. Este sistema é bom porque reduz o excesso de luz e calor no Verão, permitindo receber os raios de luz de baixa altitude do Inverno (fig. 21).

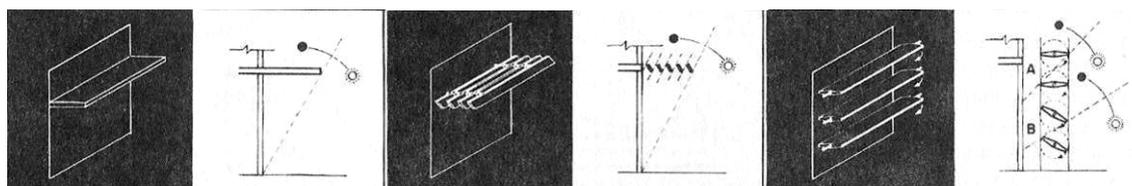


Fig. 21 – Exemplos de sistemas de sombreamento horizontais

Nas fachadas Este e Oeste a orientação mais eficaz é a vertical, pois consegue sombrear a luz ao nascer e ao pôr-do-sol. A desvantagem é bloquear grande parte da vista para o exterior, no entanto o sistema regulável minimiza este efeito (fig. 22).

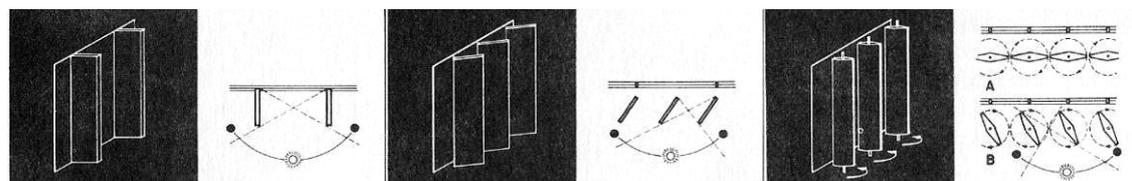


Fig. 22 – Exemplos de sistemas de sombreamento verticais

■ Sistemas de redirecionamento da luz

A principal finalidade deste tipo de sistemas é receber o máximo de iluminação e redireccionar a luz, em profundidade, para o interior da divisão e simultaneamente permitir sombreamento.

As prateleiras de luz, *light shelves*, melhoram a uniformidade da luz numa divisão, uma vez que conseguem encaminhar a luz para o interior do espaço e reduzir o nível de iluminação junto da janela. Para que a luz alcance uma maior profundidade a *light shelf* pode ser prolongada para o interior da divisão e a sua forma pode ser ligeiramente curva. A utilização de materiais com propriedades reflectoras na superfície da *light shelf* aumenta a quantidade de luz disponível no interior do espaço (fig. 23).

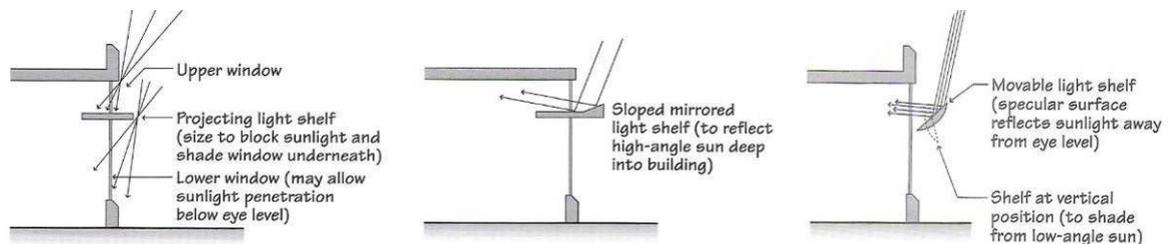


Fig. 23 – Exemplos de *light shelves*

Os *suncatchers* são planos verticais, paralelos à fachada do edifício, que ajudam a reflectir a luz para o interior da divisão. Usados na fachada Norte, conseguem captar os raios solares aumentando substancialmente a iluminação. Se este sistema for combinado com as *light shelves*, a luz é redireccionada para o tecto e expande-se ao longo do compartimento. O resultado mostra-se assim muito superior em relação ao nível de qualidade da iluminação (fig. 24).

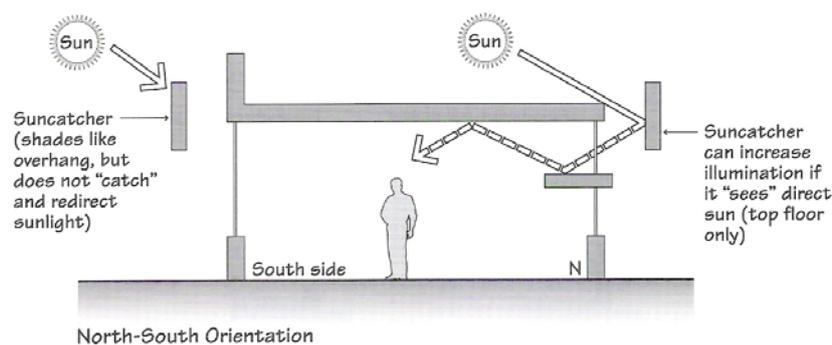


Fig. 24 – Exemplo de um *suncatcher*

2.1.3.2. ABERTURAS ZENITAIS

A iluminação zenital consiste em iluminar um espaço através de aberturas localizadas na cobertura. Uma das principais características deste sistema de iluminação é a uniformidade da distribuição da luz no espaço interior, ao contrário da iluminação lateral, uma vez que estas aberturas podem ser distribuídas regularmente pela cobertura (fig. 25). Este tipo de sistema consegue obter um maior nível de iluminância sobre o plano de trabalho, porque permite um maior tempo de permanência à iluminação natural.

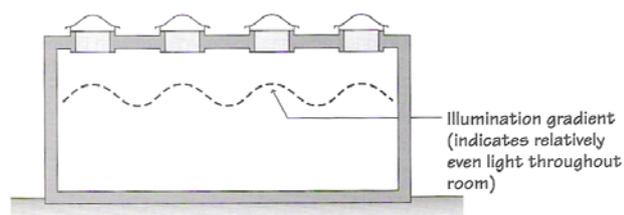


Fig. 25 – Distribuição da luz natural no interior de uma sala com aberturas zenitais

Este sistema de iluminação é muito usado em edifícios com funções laborais, uma vez que proporciona uma maior uniformidade e quantidade de luz. Nos edifícios enterrados ou semi-enterrados, como por exemplo nas estações de metro, a utilização da iluminação natural melhora a qualidade do espaço e a sua relação interior/exterior.

A forma, a proporção e os materiais são cruciais para uma boa distribuição da luz. Neste sistema de iluminação os elementos verticais, como as paredes, têm um papel importante na redistribuição da luz. Assim estas superfícies devem ter propriedades reflectoras elevadas.

A vantagem das aberturas zenitais é a variedade da localização que podem assumir, independentemente da orientação e da envolvente do edifício. Pode ajustar-se a inclinação da abertura de forma a captar melhor os raios solares, consoante as condições do clima local. Para céus nublados a melhor posição do pano de vidro é na horizontal, pois consegue receber luz de todas as direcções. As aberturas verticais funcionam melhor em céus limpos, captando os raios solares de baixa altitude e a luz reflectida da cobertura. Com a abertura inclinada é possível receber simultaneamente a luz natural quando o Sol está a baixa ou a elevada altitude (fig. 26).

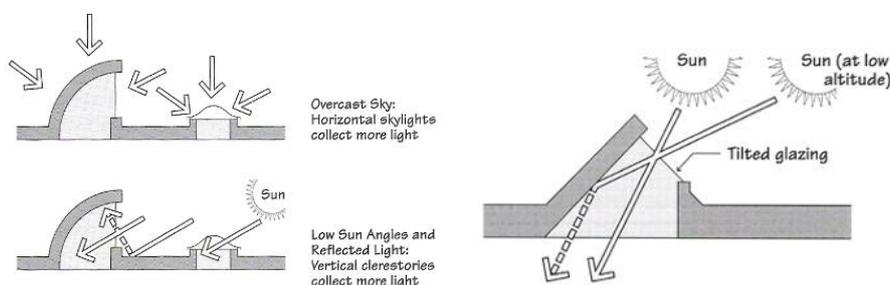


Fig. 26 – Aberturas zenitais verticais, horizontais e inclinada

Várias aberturas pequenas são mais eficazes que apenas uma abertura grande, no que diz respeito à qualidade da luz. A utilização de tectos altos e inclinados melhora notavelmente a distribuição da luz.

▪ **Saw-Tooth ou Shed**

Este sistema de iluminação natural tem melhor desempenho quando orientado a Sul, fornecendo assim iluminação unilateral difusa na maior parte do ano, evitando o ofuscamento provocado pela luz directa (fig. 27).

Segundo MASCARÓ (*cit. in Vianna et al. 2004*) os elementos tipo *shed* fornecem uma iluminação em torno de três quartos do valor obtido com a mesma superfície iluminante localizada continuamente sobre um tecto horizontal.



Fig. 27 – Sistema *saw-tooth* com inclinação a 90° e a 60°

▪ **Roof Monitor ou Lanternim**

Para um maior aproveitamento da luz natural deve-se orientar as aberturas no sentido Norte – Sul, aproveitando desta forma a radiação de Inverno. No entanto, a face voltada a Norte deve ter elementos de controlo da radiação ou difusores, de maneira a evitar o encadeamento.

O elemento tipo lanternim, com aberturas verticais equivalente a um tecto de dupla inclinação, proporciona entre metade e um terço da iluminação obtida com esses elementos, informa MASCARÓ (*cit. in Vianna et al. 2004*) (fig. 28).

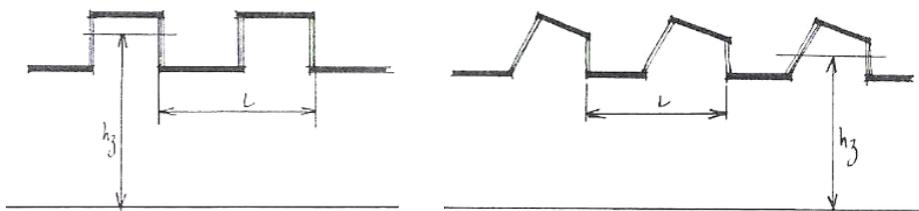


Fig. 28 – Sistema *roof monitor* vertical e inclinado

▪ Tecto de dupla inclinação ou Clarabóia

Para dimensionar os envidraçados deste sistema de iluminação deve ter-se em consideração que o tipo de exposição à radiação solar significa, simultaneamente, um maior ganho térmico e maior nível de iluminância. O uso de sombreamento, embora possa melhorar o conforto térmico, vai diminuir drasticamente a iluminação no espaço (fig. 29).

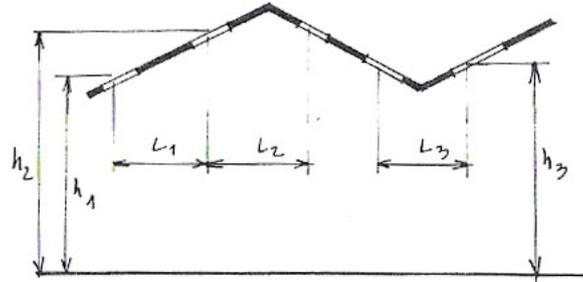


Fig. 29 – Tecto de dupla inclinação

▪ Sistemas de sombreamento

Para controlar a quantidade de entrada de iluminação natural e evitar o excesso de luz e calor, sombrear as aberturas zenitais torna-se uma boa solução. Os sistemas de sombreamento podem ser implementados no exterior ou no interior das aberturas (fig. 30).

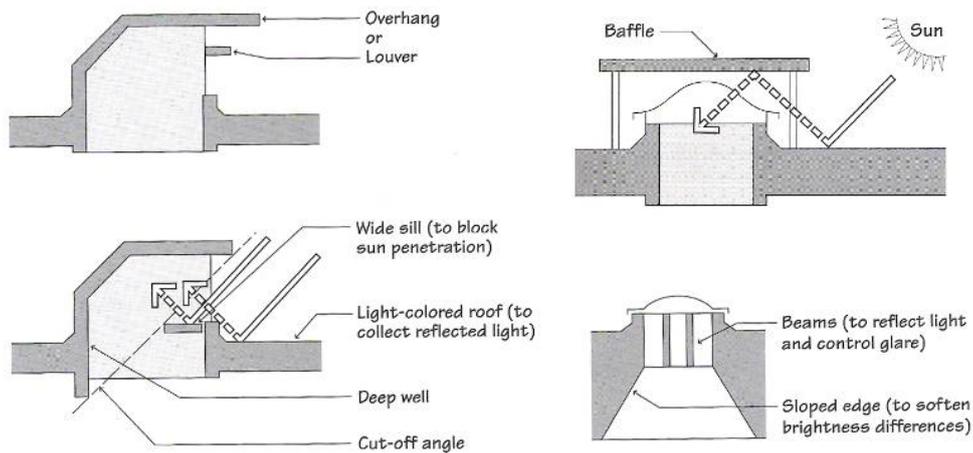


Fig. 30 – Exemplos de sistemas de sombreamento para aberturas zenitais

■ **Sistemas de redirecionamento da luz**

Quando as aberturas são verticais e orientadas a Norte os *suncatchers* são uma boa opção, uma vez que conseguem reflectir os raios de luz para o interior do espaço. Melhorando, dessa forma, a quantidade de luz e equilibrando a luz recebida a Sul (fig. 31).

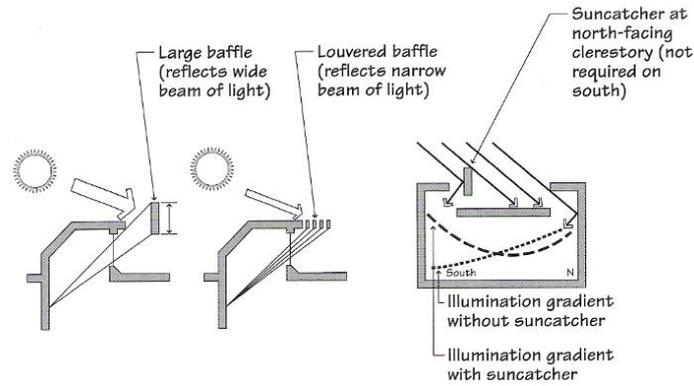


Fig. 31 – Exemplos de sistemas de redirecionamento da luz para aberturas zenitais

Para aberturas orientadas a Este e Oeste a aplicação de *suncatchers* e *light shelves* conseguem garantir uma iluminação natural com qualidade, para o interior do espaço, ao longo de todo o dia (fig. 32).

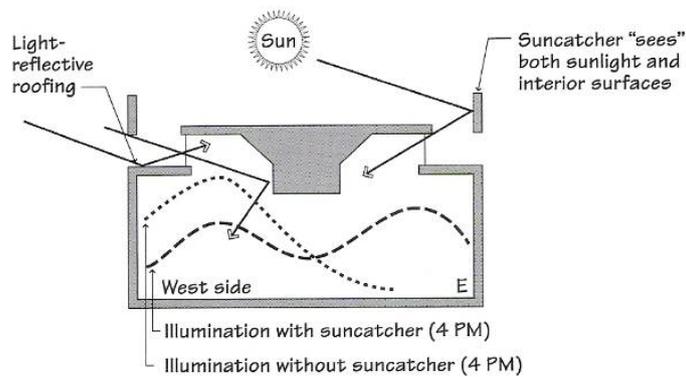


Fig. 32 – Combinação do sistema de *suncatchers* com o *light shelves*

2.1.3.3. ÁTRIOS

Ao longo da História da Arquitectura, a utilização dos átrios como forma de iluminação natural atribuiu um aspecto de monumentalidade ao edifício, não só pelas grandes dimensões mas também pela qualidade da iluminação, que valoriza consideravelmente o espaço.

A finalidade do átrio é a de combinar a iluminação lateral com a zenital através da iluminação de um grande espaço vazio central, permitindo a captação de luz lateralmente pelos vários pisos adjacentes. No entanto, este sistema é muito complexo, pois varia consoante a orientação, a forma da abertura zenital, a própria geometria interna do átrio e os materiais usados nos revestimentos.

Num edifício de escritórios iluminado através de um átrio, tanto a componente directa do Sol como a componente reflectida interna, contribuem para a iluminação nos espaços de trabalho. O tipo de vidro e caixilhos usados na cobertura são condicionantes na quantidade e qualidade da luz que atravessa o espaço. A contribuição da luz natural nos escritórios varia de acordo com a altura do átrio e as suas localizações. As salas do piso térreo são maioritariamente iluminadas pela luz reflectida do pavimento, enquanto que as salas situadas no último piso recebem a luz directa do Sol (fig. 33).

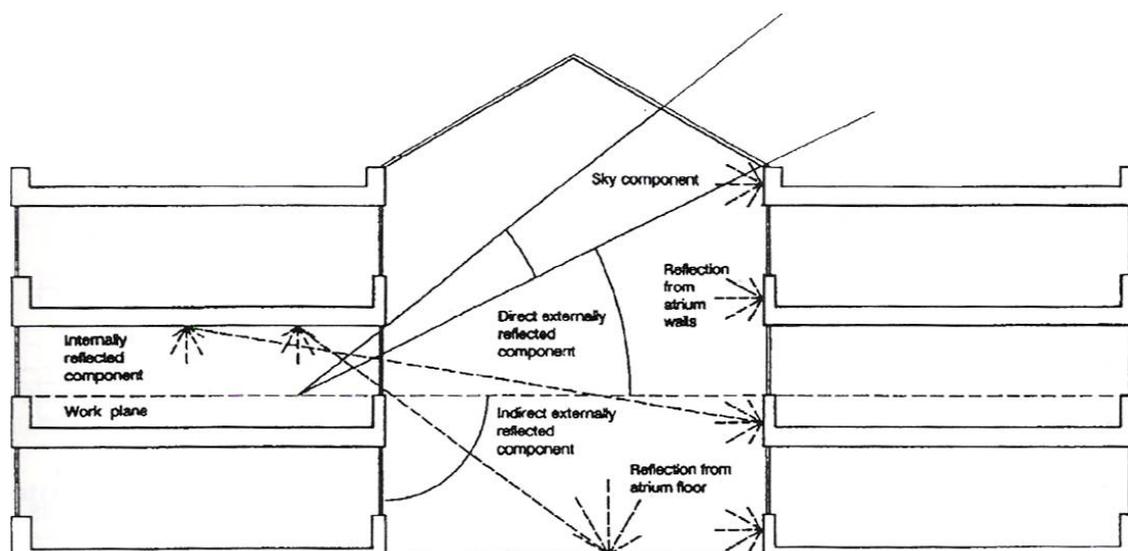


Fig. 33 – Corte esquemático de um átrio e as contribuições da luz natural

BAKER em *Daylighting in Architecture: a European Reference Book* (1993), refere a existência de estudos que indicam que a quantidade de luz natural é maioritariamente baseada na contribuição de luz reflectida pela envolvente ao átrio. Para tal, os materiais das superfícies do átrio como as paredes e o pavimento, devem ter reflectâncias elevadas. Apesar da quantidade de luz decrescer quanto maior for a altura do átrio, a qualidade da iluminação melhora, pois a componente reflectida ajuda a uniformizar a luz e evitar o excesso de brilho.

VIANNA (2004) conclui que a maior área de superfícies transparentes deve concentrar-se nos níveis mais baixos do átrio, maximizando o acesso da luz para as salas adjacentes ao vão. As zonas mais altas das paredes internas do átrio, onde o bom acesso da luz é garantido pela própria proximidade com a abertura zenital, possuem uma responsabilidade maior na reflexão para as partes de média e baixa altura (fig. 34).

O lítrio é o exemplo de um átrio que beneficia a entrada de luz natural nos espaços adjacentes, através da sua forma inversa, contendo mais superfícies transparentes nos pisos superiores. O seu desenho permite obter uma boa iluminação interior em todos os pisos e a utilização de sistemas como as *light shelves* nas fachadas interiores, será uma mais valia na disponibilidade e qualidade da iluminação nos espaços de trabalho (fig 34 e 35, B).

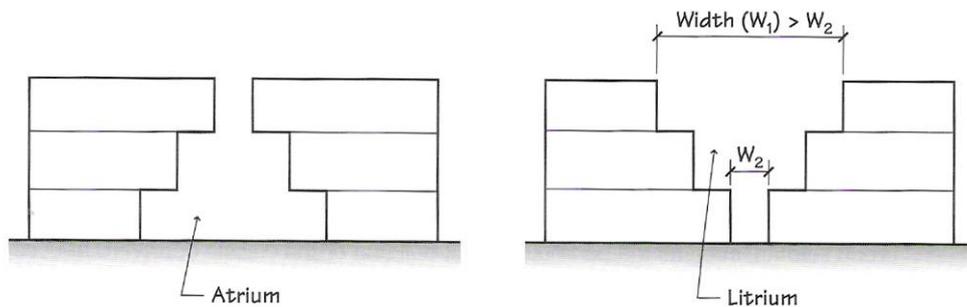


Fig. 34 – Esquemas comparativos entre a forma de um átrio e do lítrio

Embora seja frequente a utilização de plantas e árvores em átrios, a sua presença diminui drasticamente a reflexão da luz natural nos pisos inferiores (fig. 35, A). No caso do lítrio a presença da vegetação não influencia tanto a disponibilidade de luz no plano de trabalho (fig. 35, B).

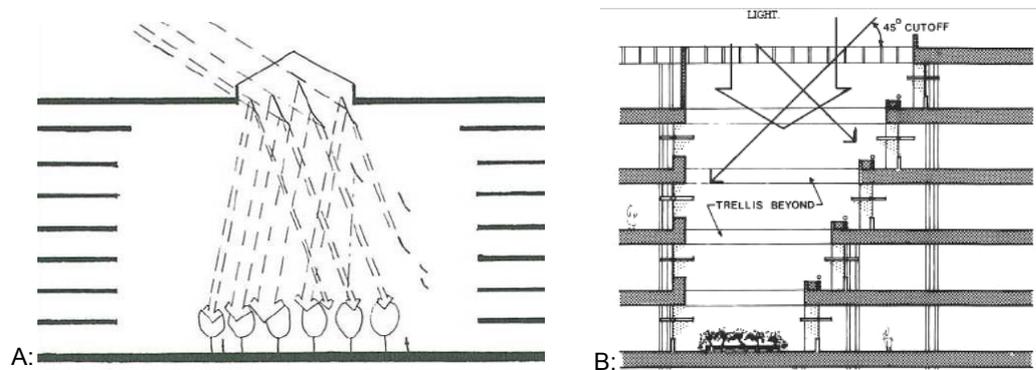


Fig. 35 – A: Corte esquemático de um átrio com presença de árvores;
B: Corte esquemático de um lítrio com *light shelves* nas fachadas interiores

2.1.3.4. SISTEMAS AVANÇADOS DE ILUMINAÇÃO

Nem sempre os sistemas comuns de iluminação natural são suficientes ou conseguem satisfazer por completo as exigências funcionais de um determinado espaço.

O edifício pode encontrar-se obstruído ou conter espaços profundos onde a luz, por si só, não consegue chegar. Existem numerosos sistemas avançados de iluminação concebidos para captar a luz e redirecciona-la para onde ela é necessária, ou controlar, ou reduzir a quantidade de luz que penetra no espaço.

■ Painéis prismáticos

São feitos de acrílico, com uma das faces facetadas na forma do *saw-tooth*, com diferentes ângulos de refacção. Os painéis prismáticos, com as suas propriedades de reflexão e refacção, simultaneamente, conseguem controlar a intensidade e a direcção da luz natural. O sistema pode ser desenhado para reflectir a luz vinda de determinados ângulo de incidência e permitir a passagem de outros (fig. 36).

Podem ser fixos ou móveis e ser usados nas aberturas laterais ou zenitais, como sistema sombreador ou redireccionador. No entanto têm a desvantagem de não permitir uma vista real e clara para o exterior. Normalmente são usados na parte superior das fachadas captando a luz e redireccionando-a para o tecto, iluminando em maior profundidade a sala.

A manutenção deve ser feita com muito cuidado para não danificar as superfícies ópticas dos painéis, a não ser que sejam aplicadas no interior do vidro duplo.

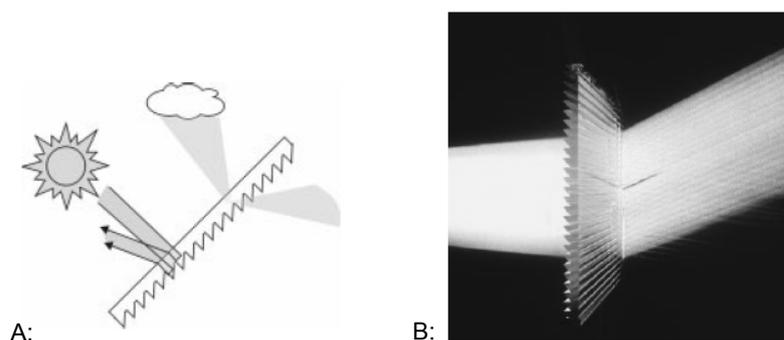


Fig. 36 – A: Esquema de captação da luz natural pelos painéis prismáticos;
B: Mudança da direcção da luz ao atravessar o painel

■ Painéis *Laser-Cut*

Este sistema de redireccionamento da luz é caracterizado por painéis finos de acrílico cortados a laser. Cada superfície do painel é como um espelho, desviando a direcção da luz que a atravessa. A principal característica deste sistema é conseguir redireccionar a luz em grande proporção, quando esta incide com um ângulo elevado (fig. 37, A).

O material tem a propriedade de refractar a luz nas superfícies e de a reflectir no seu interior. Pode ser aplicado no interior de dois panos de vidro, ou mesmo no exterior, se tiver uma camada protectora. Uma das vantagens desta forma de aplicação é permitir visibilidade para o exterior, mas não é aconselhável usá-lo com essa função, principalmente quando o plano de trabalho está próximo à janela (fig. 37, B). Devido aos ângulos que os painéis conseguem captar e transmitir, devem ser usados na parte superior do vão. A grande desvantagem é ser um sistema bastante dispendioso.

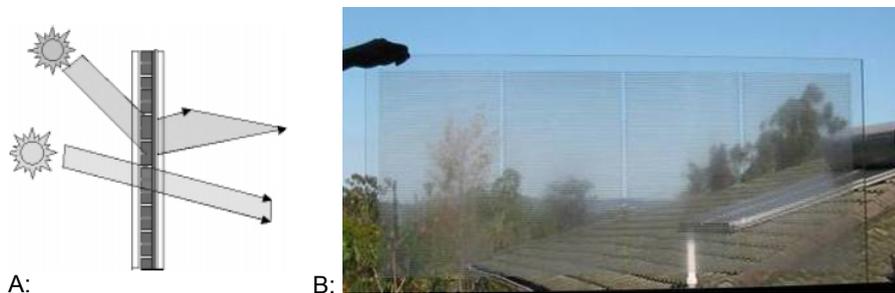


Fig. 37 – A: Esquema do sistema *laser-cut* aplicado no interior do vidro;
B: Vista para o exterior através dos painéis *laser-cut*

■ Vidro com controlo solar

Este tipo de vidro é composto por um vidro duplo que no seu interior possui pequenos elementos côncavos de acrílico. Este vidro, além de não ser totalmente transparente, é extremamente caro. Como acontece no sistema *laser-cut*, o objectivo principal é redireccionar os raios solares que são captados em direcção ao tecto, quando usados nas aberturas laterais (fig. 38, A). Também o uso deste sistema é mais aconselhável no nível superior da abertura, para poder maximizar a reflexão e evitar o encadeamento. Quando aplicado nas coberturas o vidro deve de ter pelo menos 20° de inclinação, para conseguir iluminar o átrio quando o Sol se encontra a baixa altitude, explica RUCK (2000) (fig. 38, B).

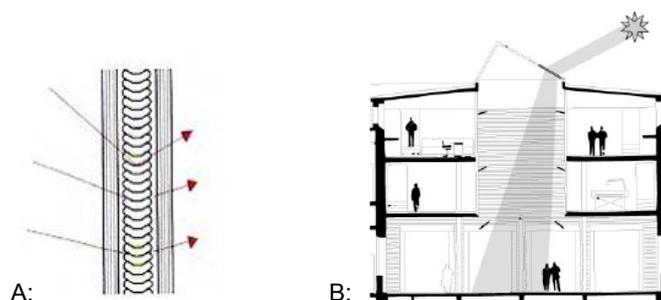


Fig. 38 – A: Esquema do sistema de vidro com controlo solar;
B: Controlo solar na abertura zenital para iluminar o átrio

▪ **Sistemas *Anidolic***

Através de um composto parabólico e das suas propriedades ópticas reflectoras, este sistema consegue recolher a luz difusa e transmiti-la praticamente na sua totalidade.

Quando usado na cobertura, a principal função do dispositivo *anidolic* é captar a luz difusa proveniente do zénite, onde a quantidade de luz é maior em dias de céu encoberto e evitar os raios solares directos (fig. 39). São ideais para iluminar átrios, museus ou equipamentos desportivos.

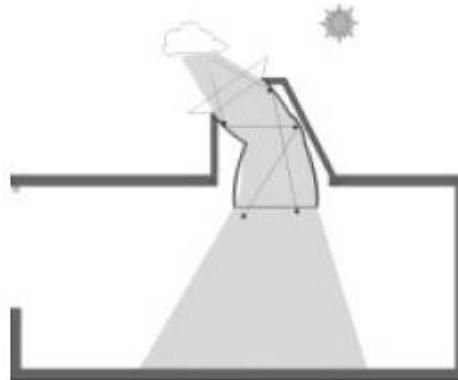


Fig. 39 – Esquema do sistema *anidolic* aplicado na cobertura

Este sistema também pode ser usado para iluminar espaços muito profundos, ou em zonas em que o céu encoberto é predominante. Na fachada, o *anidolic* capta a luz difusa, que sofre múltiplas reflexões ao longo de um ducto de superfícies especulares, até chegar a um outro *anidolic* posicionado no fundo do compartimento (fig. 40).

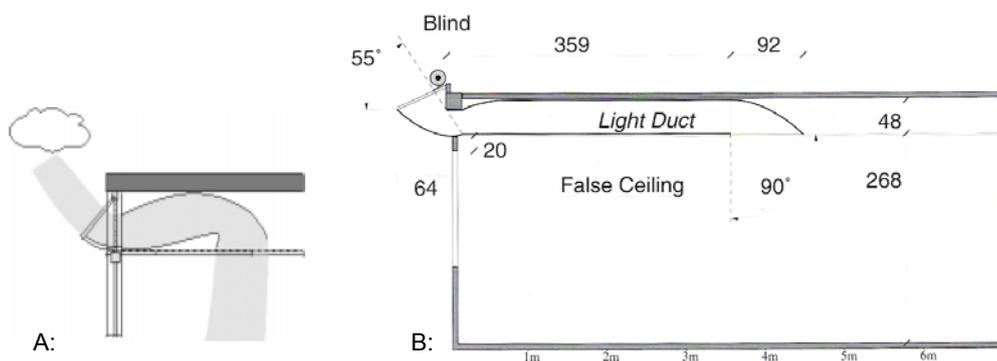


Fig. 40 – A: Esquema do sistema *anidolic* aplicado na fachada;
 B: Corte esquemático do reflector *anidolic* com o ducto de luz integrados sobre o tecto falso

Existe ainda um sistema em grelha com os elementos reflectores *anidolic* para iluminar lateralmente um determinado espaço. A grande diferença deste sistema para os anteriores é que este usa vários componentes parabólicos tridimensionais em pequena escala e é aconselhado para climas quentes e para fachadas que recebem os raios solares directos. Este sistema protege dos ganhos térmicos e transmite para o interior da divisão uma luz uniforme e difusa, sem excesso de brilho, evitando o encadeamento (fig. 41).

Sendo um sistema fixo, pode ser aplicado à frente de uma janela, como uma persiana, ou apenas sob a abertura superior, quando se pretende manter a vista para o exterior. Pode ser ainda aplicado no interior de dois panos de vidro, de maneira a reduzir a sua manutenção.

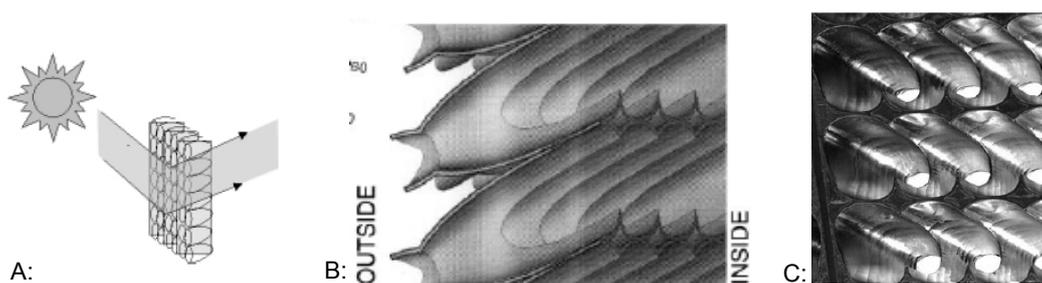


Fig. 41 – A: Esquema do sistema *anidolic* aplicado em grelha;
 B: Corte esquemático dos componentes parabólicos;
 C: Fotografia do sistema *anidolic*, tirada pelo interior

▪ **Light Pipes**

Os *light pipes* são canais verticais que captam a luz através de espelhos ou lentes no topo e através de reflexões múltiplas a luz consegue chegar à base. As paredes internas do ducto devem ser de cor clara para maximizar a percentagem de luz reflectida, conseguindo reflectir principalmente luz directa, iluminando espaços internos onde a luz natural não chega com facilidade (fig. 42). Este tipo de sistema é um pouco dispendioso, essencialmente porque requer manutenção regular.

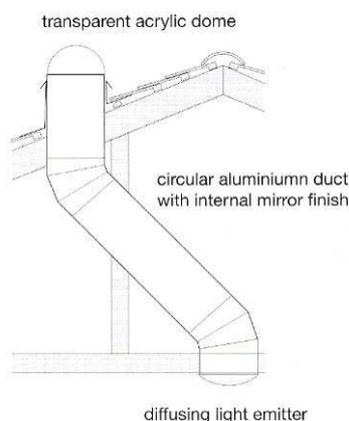


Fig. 42 – Esquema do sistema *light pipe*

2.2. MÉTODOS DE CÁLCULO, MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES

Segundo SANTOS (2003) os métodos de análise para quantificar iluminação natural disponível e verificar as exigências de conforto visual, dividem-se em:

- Avaliações *in situ*;
- Medições em modelos reduzidos à escala;
- Métodos Analíticos – manuais, gráficos, computacionais;
- Avaliações pelos ocupantes.

Como não existe uma metodologia geral convencionada, os métodos de análise variam mediante os objectivos pretendidos, de forma a garantir a eficácia e a adequação ao estudo de caso.

Este capítulo exemplifica sucintamente alguns dos métodos de avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos, da iluminação natural de um espaço interior existente.

Também são referidos alguns métodos de análise do comportamento da luz natural, através de simulações em modelos físicos ou virtuais aplicados a projectos que se encontram em fase de desenvolvimento. O principal objectivo é demonstrar a contribuição deste tipo de avaliação para a optimização do conforto ambiental e eficiência energética do projecto de arquitectura.

2.2.1. PRINCIPAIS MEDIDAS E GRANDEZAS FÍSICAS DA LUZ

Para uma melhor compreensão da quantificação da luz, é importante descrever alguns conceitos e definições, sobre as principais grandezas e unidades fotométricas da luz que permitem contabilizar e comparar os níveis de iluminação.

▪ Fluxo Luminoso – ϕ

O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, em todas as direcções, a qual produz estímulos visuais dentro dos limites do espectro visível (≈ 400 a 800 nm) (fig. 43).

A unidade que representa o fluxo luminoso é o lúmen (lm).

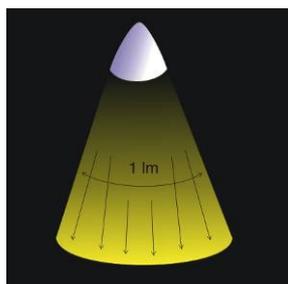


Fig. 43 – Esquema do fluxo luminoso de um lúmen emitido por fonte luminosa

▪ Intensidade Luminosa – I

A intensidade luminosa é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa numa determinada direcção. Tal acontece porque uma fonte luminosa não irradia luz uniformemente em todas as direcções. Para se determinar o seu valor adopta-se um vector para uma dada direcção, e o seu comprimento indica uma determinada intensidade luminosa (fig. 46).

A unidade que mede a intensidade luminosa é a candela (cd).

▪ Iluminância – E

A iluminância é a relação da quantidade de luz, emitida por uma fonte luminosa, com a superfície de incidência. Ou seja é a densidade do fluxo luminoso por área. Se o fluxo luminoso de 1 lúmen incidir numa superfície de 1 metro quadrado, a iluminação dessa área é de 1 lux (fig. 44 e 46).

A unidade da iluminância é o lux (lx), ou lúmen por metro quadrado (lm/m^2).

$$E = \frac{\phi}{A}$$

E – Iluminância – lx

Φ – Fluxo Luminoso – lm

A – Área projectada – m^2

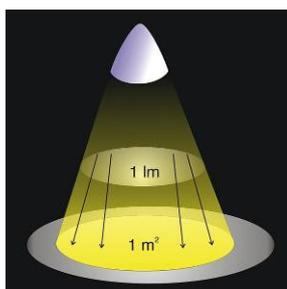


Fig. 44 – Esquema do fluxo luminoso de 1 lúmen que incide sobre uma área de 1 metro quadrado e produz o uma iluminância de 1 lux

▪ **Luminância – L**

A luminância consiste na quantidade de luz reflectida por uma determinada superfície. Assim, esta depende da quantidade de luz emitida pela fonte luminosa e da capacidade de reflexão do material (fig. 45). Logo, uma determinada iluminância gera diferentes luminâncias.

A unidade da luminância é a candela por metro quadrado (cd/m²).

$$L = \frac{I}{(A \times \cos \alpha)}$$

$$L = \frac{(\rho \times E)}{\pi}$$

L – Luminância – cd/m²

I – Intensidade luminosa – cd

A – Área projectada – m²

α – Ângulo considerado – graus

L – Luminância – cd/m²

ρ – Coeficiente de reflexão – relação entre o fluxo luminoso incidente e o reflectido pela superfície

E – Iluminância dessa superfície – lx

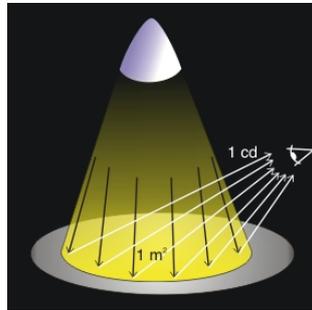


Fig. 45 – Esquema da intensidade luminosa reflectida por uma superfície dividida pela área visível aos olhos denominada luminância

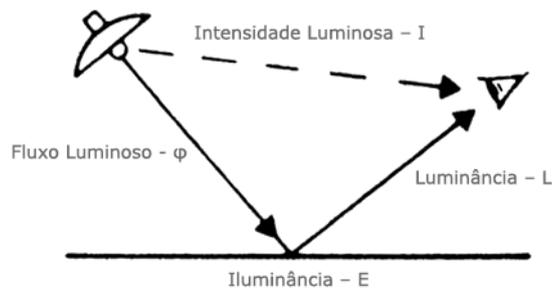


Fig. 46 – Esquema geral do sistema luminoso

▪ **Contrastes – C**

O contraste é dado pela diferença relativa de luminâncias entre um determinado objecto e a sua envolvente.

$$C = \frac{(L_{\text{objecto}} - L_{\text{fundo}})}{L_{\text{fundo}}}$$

L – Luminância – cd/m²

2.2.2. AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL NOS EDIFÍCIOS

Existem muitos métodos para avaliar a quantidade e qualidade da iluminação natural de um espaço construído. Serão descritos apenas alguns métodos de análise que serão úteis para a aplicação ao estudo de caso apresentado no capítulo seguinte.

■ Aspectos quantitativos

Como é possível constatar, no capítulo anterior, são muitos os factores que fazem variar a quantidade de luz natural no interior de um espaço. Mas é importante que a luz obedeça a parâmetros quantitativos para poder satisfazer correctamente as exigências funcionais humanas necessárias para um determinado espaço. Dessa forma existem valores de iluminância recomendados para o plano de trabalho, consoante as actividades que aí se vão desenvolver (Quadro 3).

Quadro 3 – Iluminâncias recomendadas consoante o tipo de actividade, segundo a CIE

DOMÍNIOS	ILUMINÂNCIAS RECOMENDADAS (lux)	TIPO DE ACTIVIDADE
Iluminação geral para áreas pouco utilizadas ou com poucas exigências do ponto de vista das tarefas visuais	20 - 50	Áreas públicas com zonas circundantes “escuras”.
	50 - 100	Orientação simples apenas para estadias temporárias de curta duração.
	100 - 200	Compartimentos usados em actividades não contínuas (áreas de armazenagem, vestíbulos, átrios, etc.).
Iluminação geral em zonas interiores com exigências elevadas do ponto de vista das tarefas visuais	300 - 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (Trabalho com máquinas de pouca precisão, anfiteatros, etc.)
	500 - 1000	Tarefas com exigências visuais normais (Salas de aula, gabinetes, trabalho com máquinas de precisão média, etc.)
	1000 - 2000	Tarefas com exigências visuais especiais (Salas de desenho, gabinetes de arquitectura, tarefas de inspecção de materiais, etc.)
Iluminação adicional para o desempenho de tarefas visuais que exijam grande exactidão	3000 - 5000	Tarefas que exijam um desempenho visual de elevada exactidão, durante um período longo (fabrico de relógios, indústria electrónica, outras actividades de precisão, etc.).
	5000 - 7500	Tarefas visuais que exijam um desempenho visual excepcionalmente exacto (micro-electrónica, por ex.)
	10000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias, por ex.)

Dada a mutabilidade da iluminação disponível no exterior, principalmente em dias de céu encoberto, torna-se difícil quantificar a iluminância num espaço interior através de valores absolutos. O método mais adequado para quantificar a iluminação natural interior é Factor Luz-Dia (FLD), uma vez que o consegue fazer nas piores condições de iluminação natural no exterior.

A CIE define o Factor Luz-Dia como sendo o quociente (em percentagem) entre a iluminância, num ponto no interior de um compartimento ($E_{int.}$) e a iluminância exterior simultânea ($E_{ext.}$), proveniente de um hemisfério desobstruído de céu (fig. 47). Assume-se que o céu é do tipo encoberto padrão, convencionado pela CIE e exclui-se a contribuição da luz directa do Sol.¹⁵

$$FLD = \frac{E_{int.}}{E_{ext.}} \times 100(\%)$$

$E_{int.}$ – Iluminância interior num ponto de um plano (lux)

$E_{ext.}$ – Iluminância exterior simultânea num plano horizontal, devida a um hemisfério de céu (encoberto) desobstruído (lux)

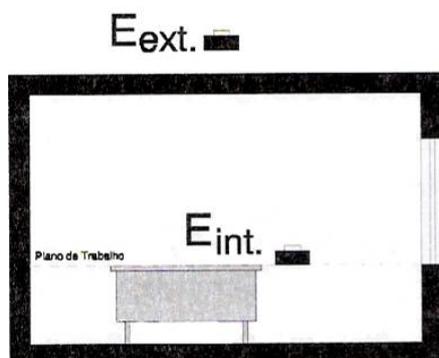


Fig. 47 – Esquema do método de medição do FLD

O Factor Luz-Dia é um valor relativo, que deve ser constante, num determinado ponto do espaço interior, porque a disponibilidade da iluminação natural no interior varia simultaneamente com a iluminação exterior.

Como já foi exposto anteriormente todas as superfícies na envolvente a um compartimento, contribuem para a quantidade e distribuição da iluminação natural no interior desse espaço. Logo, é necessário avaliar as propriedades dos materiais que revestem as superfícies envolventes. Para as superfícies opacas necessitamos do valor da sua reflectância, e para as superfícies transparentes ou translúcidas a sua transmitância.

¹⁵ CIE (cit. in SANTOS, António José Costa dos – *Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação "in situ"*. Lisboa: LNEC, 2003, p. 45)

De forma a obter estes valores, o procedimento a seguir varia consoante o equipamento de medição a utilizar. Para o caso do Luxímetro, um aparelho portátil que mede os níveis de iluminância, através de um sensor de luz que possui um raio de captação de 180°, as medições são efectuadas da seguinte maneira:

Para todas as superfícies opacas no interior da divisão, obstruções e pavimentos exteriores efectuamos uma medição de iluminância, com o sensor, na direcção oposta à superfície (E_d), e outra na direcção da superfície (E_r) (fig. 48). O quociente entre estes dois valores corresponde à reflectância desse material (ρ_s).

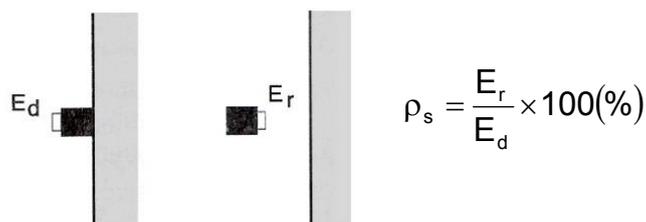


Fig. 48 – Esquema da medição da reflectância de uma superfície opaca (ρ_s)

A medição das transmitâncias de todos os vãos é feita sob a condição de céu encoberto. Verticalmente medimos a iluminância, com o sensor, na parte exterior do envidraçado na direcção do exterior ($E_{Vext.}$). Uma segunda medição é realizada na parte interior do envidraçado na direcção do exterior ($E_{Vint.}$), a cerca de 1 cm de distância do vidro (fig. 49). Mais uma vez, o quociente entre as iluminâncias resulta na transmitância do vidro (τ_v).

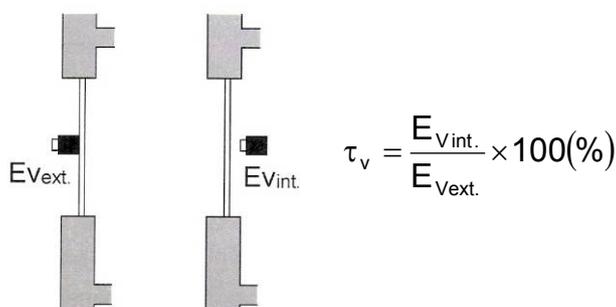


Fig. 49 – Esquema da medição da transmitância de uma superfície transparente (τ_v)

▪ Aspectos qualitativos

Um dos principais aspectos que condicionam a qualidade do ambiente visual e, conseqüentemente, o desempenho visual, é a existência de valores de luminâncias substancialmente diferentes dentro do campo de visão de um determinado observador, afirma BYOCE (*cit. in* SANTOS 2003).

Existe conforto visual quando as luminâncias das várias superfícies no campo visual, de uma pessoa, são mantidas dentro dos limites aceitáveis. Ao fixarmos um determinado objecto ou superfície, os olhos adaptam-se a esse nível de luminância, ao desviarmos o olhar para outra superfície, terão de adaptar-se ao novo nível de luminância. Quanto maior for o tempo de adaptação, pior será o desempenho visual. Se neste tipo de situação, a tarefa a efectuar for de longa duração, pode ocorrer desconforto e fadiga.

De acordo com STEPHENSON (1965) (*cit. in* SANTOS 2003) um bom desempenho visual é alcançado quando verificamos que a luminância de qualquer superfície observada directamente, não é superior em 5 vezes e inferior a 1/3 da luminância da tarefa visual. Tendencialmente, as superfícies adjacentes à tarefa visual vão ter um impacto maior no desempenho visual, em comparação às superfícies mais afastadas. As superfícies imediatamente adjacentes, como por exemplo o tampo da secretária, devem ter pelo menos 1/3 da luminância da tarefa, mas não devem exceder o seu valor (fig. 50).

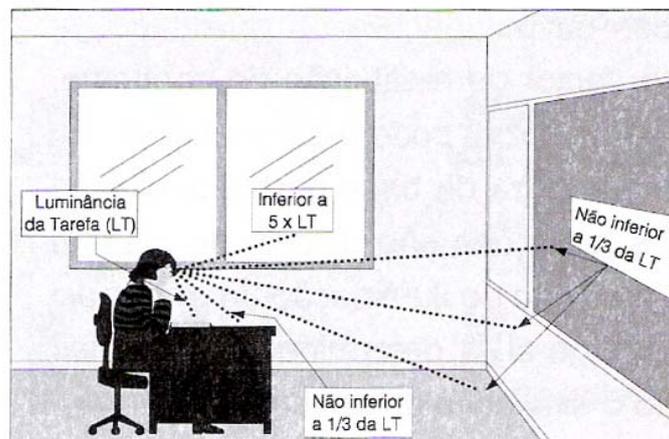


Fig. 50 – Exemplo de luminâncias de referência no campo de visão em função da luminância da tarefa visual para obtenção do conforto visual

2.2.3. MODELO TRIDIMENSIONAL FÍSICO – MAQUETE

É comum, em arquitectura, a utilização de modelos à escala, de forma a estudar, representar e apresentar projectos. A iluminação natural de um determinado espaço interior pode ser testada num modelo físico, reduzido à escala, porque a luz comporta-se de forma semelhante, independentemente da escala. Este fenómeno é possível porque as ondas de luz são extremamente curtas, em comparação à diferença entre o espaço real e os modelos à escala. Mas de forma a garantir a semelhança na quantidade e distribuição de luz no modelo representado à escala, a sua representação tem de ser o mais fiel possível ao espaço real. É necessário garantir as exactas proporções do espaço assim como as propriedades ópticas dos materiais que revestem as superfícies envolventes.

▪ Construção do modelo físico

Para a construção da maquete, devemos ter em atenção os seguintes aspectos:

- O modelo não deve ser demasiado grande, pois dificulta as deslocações e as simulações, mas também não deve ser demasiado pequeno, dificultando a representação interior do espaço. A escala deve ser apropriada às proporções do espaço, de maneira a permitir o fácil manuseamento e utilização do equipamento de medição e fotográfico.
- A representação dos materiais deve ser o mais realista possível, ao nível das reflectâncias, transmitâncias e cores, visto que têm influência na distribuição da luz natural interior.
- Caso existam obstruções de luz na envolvente ao espaço a simular, por parte de outros edifícios ou vegetação, que influenciem directamente a disponibilidade da luz natural, estes devem ser representados no modelo tridimensional.
- O modelo pode ter algumas peças amovíveis ou substituíveis, de forma a permitir o acesso ao interior da maquete para o posicionamento dos sensores de luz, ou quando se pretende testar vários sistemas de iluminação natural.
- Para o registo fotográfico, devem ser planeados com antecedência os pontos de vista, e feita a criação de aberturas para a objectiva da máquina fotográfica.
- Por último todas as juntas e fendas devem ser cuidadosamente vedadas e isoladas, para que a luz não entre de forma indesejada (fig. 51).

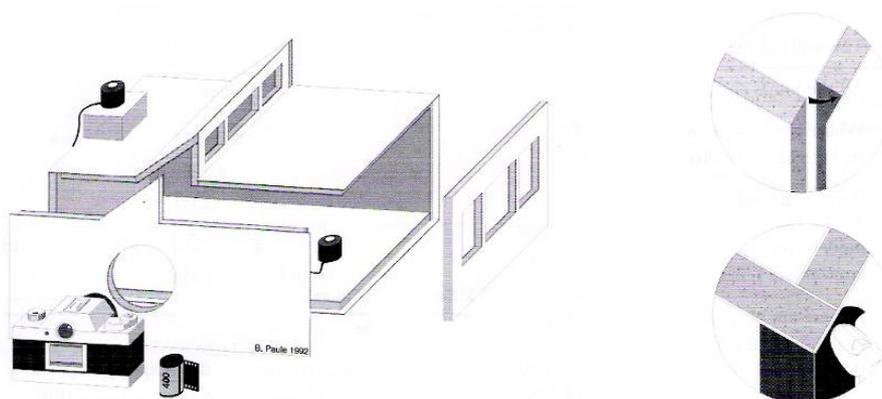


Fig. 51 – Esquema de montagem de uma maquete usada para simulação

▪ Simulação

Para simular a iluminação natural no espaço interior, o modelo pode ser testado sob um céu artificial ou o céu real.

Existem estúdios próprios que fazem simulações de céus artificiais através de diferentes métodos e sistemas. BAKER et al. (2002) no livro *Daylighting in Architecture: a European Reference Book* enumera alguns simuladores de céu. O *mirror sky* é o processo mais comum, e mais económico, baseia-se numa sala de espelhos e um tecto iluminado. Apenas reproduz o céu encoberto padrão da CIE (fig. 52). O *sky dome* é composto por uma cúpula branca iluminada interiormente e consegue reproduzir diferentes tipos de céu (fig. 53). O *spotlight sky simulator* é um quarto de esfera composta por múltiplas lâmpadas incandescentes, embora o seu custo seja moderado, requer muita manutenção e calibração (fig. 54, A). O *scanning sky simulator* funciona com um sistema rotativo no centro de um sexto de meia esfera composta por lâmpadas e consegue simular todos os tipos de céus (fig. 54, B).



Fig. 52 – Vista exterior e interior do simulador *mirror sky*



Fig. 53 – Vista exterior e interior do simulador *sky dome*

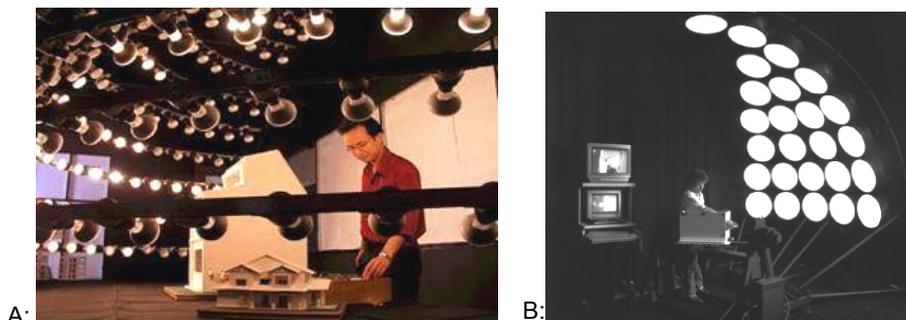


Fig. 54 – A: *spotlight sky simulator*; B: *scanning sky simulator*

Quando pretendemos simular a luz, num determinado mês do ano, sob o céu real, é necessário posicionar a maquete correctamente em relação ao sol. Tal é possível com a utilização do *sundial*, um gráfico que representa o percurso do sol, para uma dada hora do dia e do mês, em relação a uma determinada latitude local (fig. 55, A). Este gráfico corrige a altitude e azimute do sol correspondente à altura em que se faz a simulação, para a altitude e azimute da hora e do mês que se pretende simular. Para tal, inclina-se o *sundial* até o sol produzir uma sombra que indica a hora e o mês desejada (fig. 55, B).

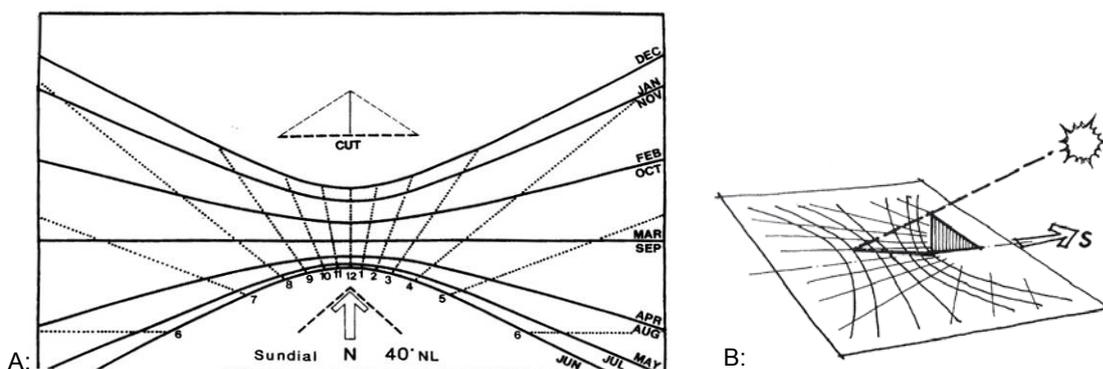


Fig. 55 – A: *Sundial* para a latitude 40° (aproximadamente a de Lisboa);

B: Esquema da utilização do *sundial*

O *sundial* é colocado horizontalmente perto da maquete, na cobertura ou na base, orientado em relação ao Norte Cartográfico com a correcção da declinação solar. Isto porque os movimentos de rotação e translação da terra originam pequenos desfasamentos entre a informação cartográfica e o campo magnético terrestre.

A declinação solar pode ser calculada através do site GeoMag (<http://geomag.usgs.gov>), ou pela seguinte expressão:

$$\delta = 0,4093 \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi}{368} \times (J - 81) \right]$$

δ – declinação solar

J – número do dia do ano ($1 \leq J \leq 365$)

O cálculo da declinação dá um desvio de, aproximadamente, $-3,5^\circ$ entre o Norte Magnético e o Norte Geográfico. Sendo assim, a maquete é reposicionada com $3,5^\circ$ a Oeste em relação ao Norte dado inicialmente pela bússola.

Com a ajuda do *sundial* roda-se a maquete nos planos horizontal e vertical, mantendo sempre o Norte e fazendo coincidir a sombra do triângulo no ponto correspondente ao mês e hora que se quer simular.

Para a análise qualitativa da iluminação natural interior é necessário registar fotograficamente o modelo em vários meses a várias horas do dia, utilizando-se os orifícios projectados para o efeito.

Para a análise quantitativa utiliza-se o luxímetro, um equipamento que mede os níveis de iluminância em lux, através de fotocélulas. Há que ter em conta que o sensor deve representar, por exemplo, a altura do plano de trabalho ou a altura visual de uma pessoa (fig. 56, A).

As medições serão feitas sob condições de céu encoberto, simultaneamente no interior da maquete, segundo uma malha de pontos em planta, e no exterior da maquete (fig. 56, B). Desta forma conseguimos calcular o Factor Luz-Dia, através do método anteriormente apresentado.

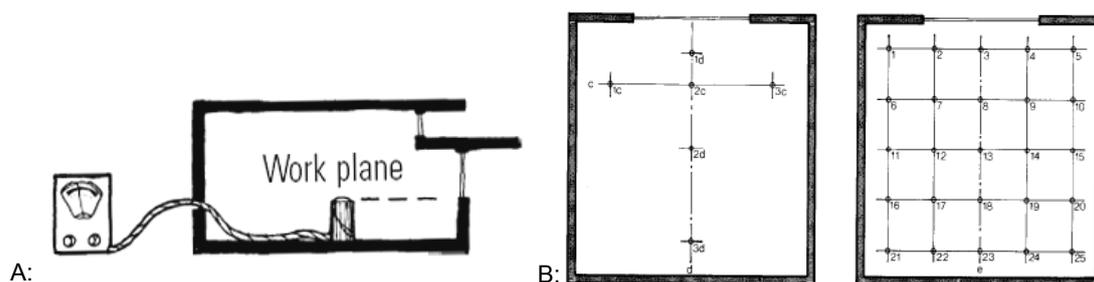


Fig. 56 – A: Esquema em corte das medições com o luxímetro;
B: Esquemas em planta de exemplos de malhas de pontos

2.2.5. MODELO TRIDIMENSIONAL VIRTUAL – 3D

Existe também um outro método de simulação, utilizando um modelo virtual, através de programas de computador. Embora esta ferramenta tenha um grande potencial, o seu uso em arquitectura ainda não é devidamente explorado, maioritariamente devido à sua complexidade, uma vez que os seus *interfaces* não são intuitivos e os manuais, incompletos.

No que toca às questões de eficiência energética, por parte da iluminação natural, a utilização de modelos virtuais pode simplificar a tarefa de ajustar as diversas alternativas no projecto, algo que através de maquetes é mais complicado.

Sendo o *software* de CAD¹⁶, mais familiar ao arquitecto, é normalmente usado para gerar o modelo virtual do espaço em estudo. Após a construção do modelo, utiliza-se o *software* de simulação próprio para calcular a distribuição da luz. Estes sistemas simulam a iluminação natural baseando-se na iluminação local ou iluminação global.

A iluminação local só considera a luz de fontes directas, desprezando as inter-reflexões entre superfícies envolventes. A iluminação global, mais complexa, considera todas as contribuições de luz, tanto directa como indirecta. Este tipo de iluminação ainda se divide nos métodos *radiosity* e *ray tracing* (fig.57). O primeiro é baseado na cena sendo independente do ponto de vista do observador, a luz que utiliza é de natureza difusa. Quanto ao segundo método é baseado na imagem sendo, deste modo, dependente do ponto de vista do observador, e a sua luz é de natureza especular.

Com a técnica de iluminação global, independentemente do método usado, obtêm-se imagens mais precisas, permitindo ainda conjugar a iluminação natural com a iluminação artificial, e a possibilidade de efectuar os ajustes necessários para melhorar a eficiência energética do edifício.

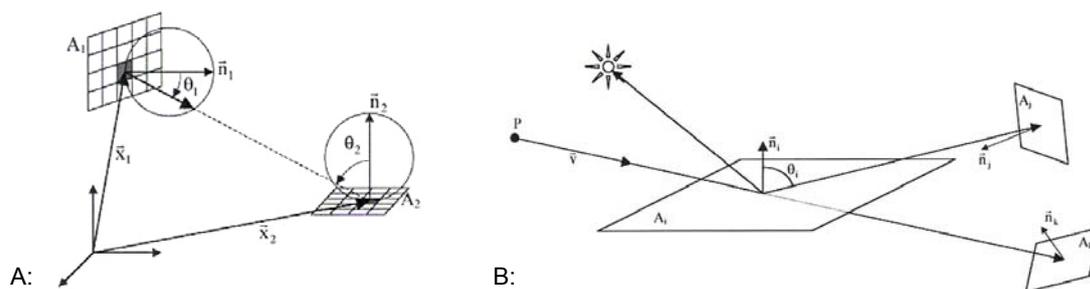


Fig. 57 – A: Ilustração da reacção das superfícies à luz através do método *radiosity*;
B: Ilustração da reacção das superfícies à luz dependendo de um ponto P
(ponto de vista do observador), através do método *ray tracing*.

¹⁶ CAD – Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador

Existem muitos *softwares* de simulação de iluminação natural que permitem calcular a distribuição da luz num determinado espaço e desta forma auxiliar o projecto de arquitectura. CHRISTAKOU (2004) na sua dissertação de mestrado elaborou uma listagem dos principais *softwares* existentes, estando disponível para consulta no anexo I.

O Superlite foi um dos primeiros e mais completos *softwares* de iluminação natural baseado no método *radiosity*, afirma RUCK (2000) no livro *Daylighting in Buildings*. Desenvolvido pelo Lawrence Berkley National Laboratory, nos Estados Unidos, o programa corre em sistema DOS¹⁷ e permite simular a iluminação natural e artificial utilizando geometrias complexas. Actualmente está disponível a versão *Superlite 2.0*, no site <http://btech.lbl.gov/tools/superlite>.

Contudo, LICHT (2006) na revista *DETAIL Practice Lighting Design* considera que um dos *softwares* com maior desempenho na simulação de iluminação natural é o Radiance. Também desenvolvido no Lawrence Berkley National Laboratory, por Greg Ward em 1984. Este *software*, ao contrário do Superlite, é baseado no método *ray tracing* e permite simular a iluminação natural e artificial. O programa inicialmente corria apenas em plataforma UNIX¹⁸, mas actualmente existem versões em Linux¹⁹ e Mac OS²⁰, distribuídas gratuitamente no *website* do programa (<http://radsite.lbl.gov/radiance/>).

Simultaneamente o Radiance foi incluído no *software* Adeline (fig. 58), com o intuito de oferecer uma versão mais leve em DOS. Actualmente é distribuído por Fraunhofer Institute for Buildings, e a versão mais actual corre em Windows²¹ 95/NT.

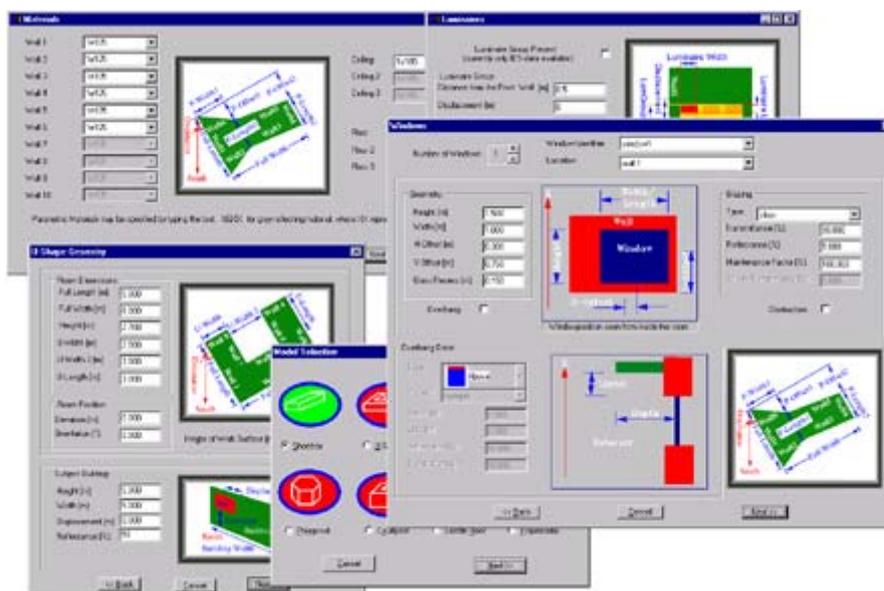


Fig. 58 – Exemplo do *interface* de dados de entrada do *software* Adeline

¹⁷ DOS – Disk Operating System – Sistema Operacional em Disco. Foi desenvolvido, originalmente, por Tim Paterson no Seattle Computer Products.

¹⁸ UNIX é um sistema operativo portátil, multitarefa e multiutilizador, originalmente, criado por Ken Thompson no Bell Labs.

¹⁹ Linux é um sistema operativo, originalmente, escrito por Linus Torvalds do Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Helsinki.

²⁰ Mac OS – Macintosh Operating System. É um sistema operacional dos computadores Macintosh produzidos pela empresa Apple.

²¹ Windows é um sistema operativo criado pela Microsoft, uma empresa fundada por Bill Gates e Paul Allen. Antes da versão NT, era uma interface gráfica para o sistema operacional MS-DOS.

Mas a principal versão do Radiance para Windows é o Desktop Radiance (fig. 59), esta versão consiste num *plug-in*²² que trabalha dentro do *software* AutoCAD 2000, e está disponível para *download* na internet (<http://radsite.lbl.gov/deskrad/index.html>). Nesta situação, o AutoCAD serve como ferramenta base para a criação do modelo e o Desktop Radiance disponibiliza bibliotecas de materiais, vidros, mobiliário e lâmpadas para a iluminação artificial.

Através deste programa é possível simular sob os modelos de céu recomendados pela CIE, e em qualquer lugar do planeta, bastando alterar as coordenadas geográficas do local.

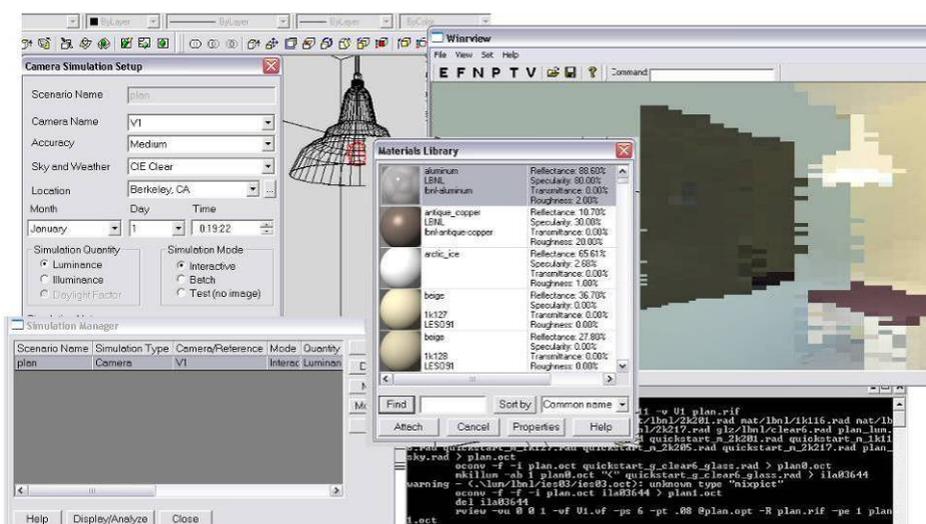


Fig. 59 – Interface do *software* Desktop Radiance

O Ecotect, comercializado pela Autodesk, é um completo *software* de análise ambiental que abrange toda a gama de simulação necessária para compreender o comportamento energético dos projectos. As suas ferramentas são de uso simples, tanto na construção do modelo virtual, como nas funções de análise de acústica, iluminação, térmica e ventilação (fig. 60). Apesar do programa fazer simulação de iluminação natural, permite exportar o modelo para o Radiance de forma a possibilitar uma análise mais detalhada.

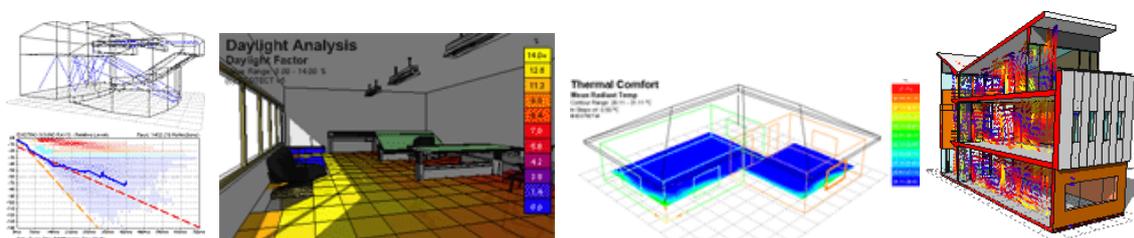


Fig. 60 – Exemplos das análises de acústica, iluminação, térmica e ventilação que o Ecotect permite

²² *Plug-in* é um programa de computador, geralmente mais pequeno e leve, que serve para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica.

Independentemente do *software* de simulação que optamos usar, normalmente o procedimento a seguir será semelhante.

- O primeiro passo é criar o modelo 3D que representa o espaço arquitectónico a ser estudado. Assim, a qualidade do resultado dependerá não só do *software* usado mas também da qualidade do modelo desenhado. A criação do modelo virtual passa por representar com formas geométricas o espaço a simular, através de coordenadas cartesianas, x, y e z.
- A todas as superfícies devem ser aplicados materiais com informação das propriedades ópticas dos materiais reais.
- É necessário fornecer informação sobre a orientação e localização do modelo, definir as fontes luminosas, sejam elas natural e/ou artificial e optar pelo modelo de céu pretendido.
- Por último dar indicações sobre o ponto de vista do observador e instalar câmaras.
- O resultado obtido pode sair como imagem sintetizada nos formatos JPG, PIC ou TIF (fig. 61, A), ou como imagem analítica em *false color* ou *iso-countour* (fig. 61, B).
- Certos *softwares* permitem a determinação do Factor Luz-Dia e níveis de iluminâncias em determinados pontos, identificação de fontes de encadeamento, avaliação dos índices de conforto visual e previsão da economia de energia ganha pela luz natural.



Fig. 61 – Exemplo do resultado obtido pela simulação através do programa Desktop Radiance

A: imagem sintetizada; B: imagens analíticas

“ (...) Assim, os arquitectos precisam de ferramentas interactivas, de respostas em tempo real e fisicamente fundamentadas, que realmente apoiem o trabalho de projectar o espaço do edifício e o urbano, considerando a luz natural.”²³

²³ CHRISTAKOU, Evangelos Dimitrios – *A simulação computacional da luz natural aplicado ao projecto de arquitectura*. (Dissertação de Mestrado). Brasília: PPG-FAU, Dezembro, 2004, p.24

Capítulo 3

ESTUDO DE CASO

O presente capítulo descreve os objectivos e a metodologia aplicada ao estudo de caso, através da avaliação do comportamento da luz natural *in situ* e da simulação em modelos virtuais. Em análise complementar são propostas alternativas aos sistemas de iluminação natural existentes que se mostrem insuficientes.

3.1. OBJECTIVOS

O objectivo principal desta investigação consiste na análise da capacidade e das soluções da iluminação natural através de um *software* de simulação tridimensional.

Para tal, é seleccionado um estudo de caso, sobre o qual incide a avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação natural. Com o objectivo de verificar o desempenho dos sistemas de iluminação natural patentes no edifício em estudo, procede-se à simulação do ambiente através de um programa apropriado para o efeito.

Por último, o objectivo é estudar soluções alternativas, que proporcionem um melhor aproveitamento da luz natural nos ambientes simulados.

Este estudo não pretende ser exaustivo, a avaliação passa por uma abordagem expedita sobre o desempenho do *software*, uma vez que o importante é reflectir sobre as vantagens e limitações que a ferramenta de simulação proporciona na prática corrente de projecto. No entanto, por questões de restrições no âmbito de prazos de elaboração e dimensão da dissertação, apenas será testado um programa de simulação de iluminação natural.

É importante salientar que esta avaliação não pretender constituir uma crítica ao projecto em estudo, mas sim sobre a viabilidade da utilização de modelos virtuais no auxílio arquitectónico, com o fim de atingir o conforto e a qualidade necessários dos espaços projectados.

3.2. METODOLOGIA

Após a definição dos objectivos a avaliar segue-se a análise prévia do edifício em estudo. Recolhe-se o maior número de informação e detalhe possível, sendo essencial obter os elementos desenhados, como plantas, cortes e alçados, imagens e a memória descritiva do projecto. Depois da análise destes elementos é indispensável efectuar visitas ao edifício, de maneira a observar o comportamento da luz natural no seu interior.

Depois de seleccionados os compartimentos a simular procede-se ao seu registo fotográfico e ao levantamento dos espaços, dos materiais de revestimento e do mobiliário relevante (ex. mesas de trabalho). Como a finalidade é simular as condições de iluminação natural, é necessário validar o modelo tridimensional. A calibração do modelo passa por comparar e ajustar os resultados obtidos através das simulações com medições efectuadas no local.

Para a avaliação quantitativa das condições mínimas de iluminação natural é necessário efectuar medições de iluminâncias que permitem calcular o Factor Luz-Dia. Complementa-se com o levantamento e registo das propriedades das superfícies interiores e exteriores opacas e transparentes, através das medições de reflectância e transmitância.

▪ Procedimento das medições *in situ* para o cálculo do Factor Luz-Dia

Como foi descrito no capítulo anterior, no ponto 2.2.2 na página 31, para calcular o FLD é necessário medir a iluminância num determinado ponto interior e, simultaneamente, a iluminância exterior, num dia de céu encoberto. É importante lembrar que, caso seja possível, a iluminação artificial deve ser desligada.

Para tal, o primeiro passo é definir uma grelha de pontos, no compartimento onde se pretende efectuar as medições. Os pontos devem ser igualmente espaçados entre si e as medições realizadas ao nível do plano principal de trabalho ou tarefa visual. As medições são feitas com recurso a equipamentos apropriados para leituras de iluminância. Neste caso são utilizados dois luxímetros portáteis TES 1335 (fig. 62 – informação mais detalhada em anexo II). Dada a necessidade de um colaborador que auxilie a captura dos valores medidos no exterior do edifício, as leituras simultâneas devem ser asseguradas através da comunicação por telemóvel ou *walkie talkies*.



Fig. 62 – Luxímetro portátil utilizado nas medições de iluminância

O sensor de iluminâncias exterior deve estar sempre nivelado na horizontal e completamente desobstruído, de forma a poder receber a luz natural de todo o hemisfério de céu.

No interior, o sensor deve também ser cuidadosamente nivelado, especialmente se o compartimento receber iluminação lateral. Para tal é aconselhável utilizar um tripé adaptável ao sensor, assim assegura-se simultaneamente o nivelamento e a altura do sensor. Quando se pretender fazer o registo da leitura, é necessário ter o cuidado de não obstruir o sensor com o corpo ou outro elemento não pertencente ao local.

▪ **Caracterização das propriedades dos materiais**

O levantamento de todos os materiais presentes no espaço é indispensável para ser possível utilizar no modelo tridimensional os materiais mais próximos possíveis da realidade.

O método para obter o valor da reflectância e da transmitância das superfícies opacas e transparentes, está descrito no capítulo anterior, no ponto 2.2.2, página 32.

Para além das medições, é aconselhável anotar outro tipo de informações sobre os materiais, tais como as suas cores e texturas.

▪ **Escolha do *software* de simulação e descrição do procedimento**

O *software* seleccionado para efectuar este estudo, foi o Desktop Radiance, por ter como base o Radiance e trabalhar dentro do programa AutoCAD. Como já mencionado no subcapítulo 2.2.5, o Radiance é o *software* com melhor desempenho ao nível de análise de iluminação natural e o facto de o AutoCAD ser uma ferramenta bastante conhecida e familiar, torna a tarefa de construir o modelo tridimensional, mais espontânea.

Após a escolha do programa a utilizar seguiu-se uma pesquisa mais exaustiva sobre este, sendo o manual de utilização o único documento relevante, porém muito incompleto, descrevendo apenas os comandos existentes.

No que diz respeito à construção do modelo, é importante compreender o que deve ser reproduzido tridimensionalmente. A pesquisa teórica facultou um conhecimento mais sólido sobre os elementos interiores e exteriores que influenciam directamente a qualidade e quantidade da iluminação natural no interior de um espaço. Por isso é importante representar tudo o que caracteriza o espaço interior e os elementos mais relevantes da envolvente do edifício. O nível de pormenor deve ser ponderado, uma vez que o detalhe, se por um lado dá realismo à imagem, por outro torna o ficheiro pesado, tornando as simulações demoradas. Nesta fase podem ainda ser adicionados ao modelo elementos como mobiliário, disponibilizados pelo programa e candeeiros, para simulação de luz artificial.

Através da análise do manual do programa foi possível perceber que os materiais são aplicados à geometria dos objectos e não à sua face, por isso cada material tem de ser representado por um elemento tridimensional. Para uma melhor gestão do ficheiro é aconselhável criar uma *layer* para cada material diferente. Desta forma é possível seleccionar a *layer* de determinado material e escolher o material com cor e propriedades ópticas semelhantes ao material real, de maneira rápida e eficiente. Este procedimento também ajuda a evitar erros como encontrar elementos sem material aplicado, uma vez que estes só aparecem quando se faz uma simulação por imagem.

É essencial definir a orientação do modelo, pelo que o *software* tem uma opção onde é possível colocar e indicar a direcção do Norte.

Para realizar qualquer simulação é imprescindível conhecer as coordenadas geográficas do local. Lisboa localiza-se a 38° e 42' Norte de latitude e 09° e 10' Oeste de longitude. O *software* admite os valores em graus decimais, latitudes positivas a Norte e longitudes positivas a Oeste de Greenwich. Sendo assim, a conversão das coordenadas de Lisboa em graus decimais resulta numa latitude de 38,7 e numa longitude de 9,16.

Para calibrar o modelo é necessário instalar câmaras para verificar as geometrias e os materiais e definir a malha de pontos, ou pontos de referência, semelhantes aos utilizados nas medições *in situ*. Para se poder comparar os valores de FLD simulados com os valores medidos, devem ser definido o tipo de céu para o modelo de céu encoberto (*CIE – Overcast*) e a data e hora das medições realizadas. Pretende-se chegar a resultados de FLD próximos, alterando e ajustando os valores de reflectância dos materiais dos elementos mais influentes, tendo em vista a validação do modelo tridimensional.

▪ **Simulações e Análises**

Esta análise pretende caracterizar o desempenho da luz natural nos espaços em estudo através de uma avaliação quantitativa e qualitativa.

A avaliação quantitativa, através do cálculo do FLD, permite determinar o nível de iluminação natural e verificar se respeita os valores mínimos recomendados. É importante lembrar que a quantidade de luz necessária varia consoante a tarefa visual ou a actividade realizada num determinado espaço.

Os valores de iluminâncias que a CIE recomendada encontram-se no quadro 3, apresentado no subcapítulo 2.2.2, e os valores de FLD mínimos são apresentados no anexo I.

Com base nestes quadros, os valores utilizados para a avaliação da iluminação natural nos espaços interiores em estudo são:

- Escritórios – iluminâncias recomendadas, 500 lux a 1000 lux; FLD mínimo, 2%
- Átrios – iluminâncias recomendadas, 100 lux a 200 lux; FLD recomendado, 1,0% a 1,5%

Para esta avaliação, o cálculo do FLD dos ambientes simulados é realizado sob as mesmas condições das medições *in situ*: malha de pontos; modelo de céu (céu encoberto); data; e hora.

As análises são feitas com recurso a gráficos de FLD sobre cortes esquemáticos, de acordo com os pontos definidos, equiparando os valores medidos *in situ* e os simulados. São também apresentados quadros com as iluminâncias interiores e exteriores medidos *in situ* e o do cálculo FLD em comparação com o valor do FLD obtido através do modelo simulado. Para concluir, são apresentadas imagens sintetizadas e analíticas dos ambientes interiores, de maneira a completar a avaliação quantitativa dos espaços.

Através da avaliação qualitativa pretende-se analisar a evolução da luz no espaço ao longo do dia, nos principais meses do ano. A análise é feita com base em imagens sintetizadas e analíticas dos ambientes interiores, em condições de céu limpo (*CIE – Clear*) nas seguintes datas:

- 21 de Junho: 9h, 12h e 17h (solstício de Verão)
- 21 de Março/Setembro: 9h, 12h e 17h (equinócio de Primavera e Outono).
- 21 de Dezembro: 9h, 12h e 15h (solstício de Inverno)

- **Propostas alternativas**

Esta fase do trabalho requer uma reflexão sobre as conclusões alcançadas na análise das simulações efectuadas no ponto anterior. Pretende-se, dessa forma, elaborar alternativas pertinentes que optimizem os sistemas de iluminação natural existentes e que se adaptem aos conceitos e à identidade do espaço construído.

Numa primeira avaliação as alternativas serão analisadas separadamente sobre do ponto de vista quantitativo e qualitativo, através do mesmo procedimento anteriormente descrito, e por fim serão examinadas e comparadas.

3.3. SELECÇÃO DO ESTUDO DE CASO

As razões que levaram à escolha do edifício da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa como estudo de caso incidiram sobre o facto de nele residir um grande potencial ao nível da exploração de sistemas de iluminação natural. Apesar de existir neste projecto uma preocupação no aproveitamento da luz natural verifica-se, numa análise preliminar, que a iluminação natural é insuficiente na iluminação de alguns dos espaços interiores. Estes espaços mostraram-se suficientemente ricos a nível de sistemas de iluminação natural, mas simples e práticos para reconstrução tridimensional, necessários para esta investigação.

O projecto do edifício da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa é da autoria dos arquitectos Manuel Aires Mateus e Francisco Aires Mateus, e venceu o Prémio Valmor em 2002. Este edifício é destinado à direcção e aos serviços administrativos e de acção social da Universidade Nova de Lisboa, localizado no campus de Campolide (fig.63).

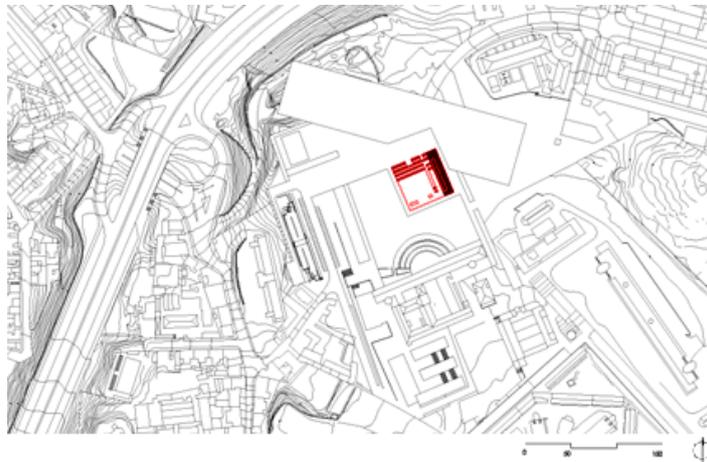


Fig. 63 - Planta de localização do edifício da Reitoria da UNL

Através do desnível natural do terreno foi possível criar um edifício com vários pisos, mas que se integra perfeitamente com o antigo colégio dos Jesuítas e com a restante paisagem. A implantação é feita perpendicularmente ao Colégio e é dividida em dois blocos de leituras distintas (fig. 64). O bloco em altura destina-se às funções administrativas, e o bloco cuja cobertura se materializa numa praça e numa grande escadaria alberga as funções representativas.



Fig. 64 - Vista geral do edifício da Reitoria e vista parcial do Colégio dos Jesuítas

Apesar da existência da grande escadaria, esta não encaminha à entrada principal, que é feita pela fachada Norte do edifício. O hall faz a distribuição do espaço para ambos os blocos, e dá acesso aos pisos superiores, ao bar e ao átrio. (fig. 65).

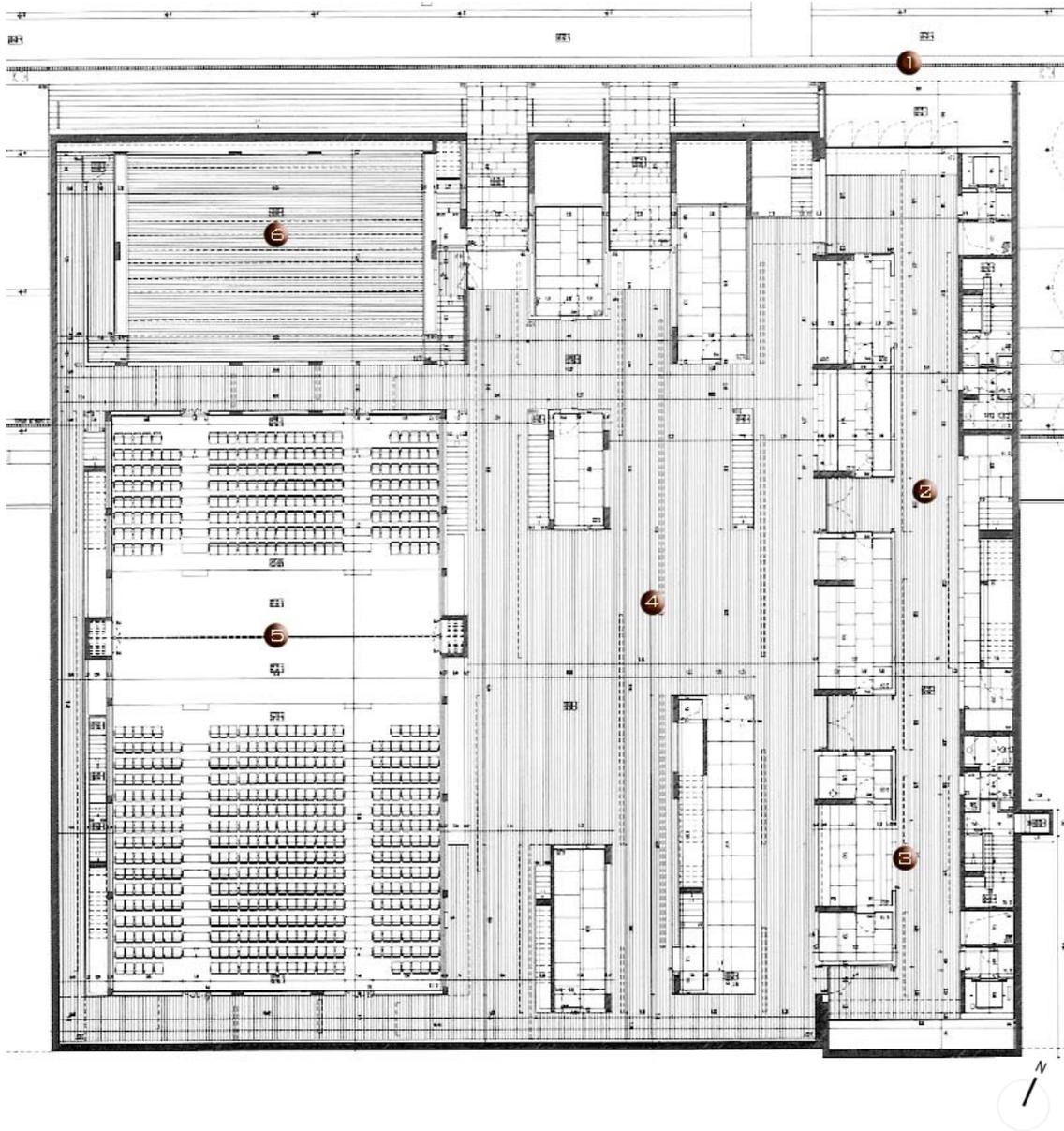


Fig. 65 - Planta do Piso 0. 1- Entrada principal; 2- Hall; 3- Bar; 4- Átrio; 5- Auditório; 6- Sala do Senado

O revestimento do exterior do edifício é em pedra, sendo uma das fachadas completamente cega, e a outra com janelas escalonadas na horizontal em vários níveis. Estas variam de sala para sala, tanto na sua dimensão como na sua disposição ao longo da parede. Podem aparecer junto ao tecto, a meio da parede ou próximo do chão, proporcionando desta forma ambientes diversificados de luz e paisagem. O desenho das fachadas é feito de forma a não permitir a leitura dos seus vários pisos.

Os elevadores panorâmicos, localizados nos topos do edifício que são completamente envidraçados, fazem a distribuição idêntica do espaço por piso. Do lado Oeste do edifício situam-se as salas de trabalho e do lado Este os acessos aos elevadores e escadas, e as casas de banho (fig. 66).

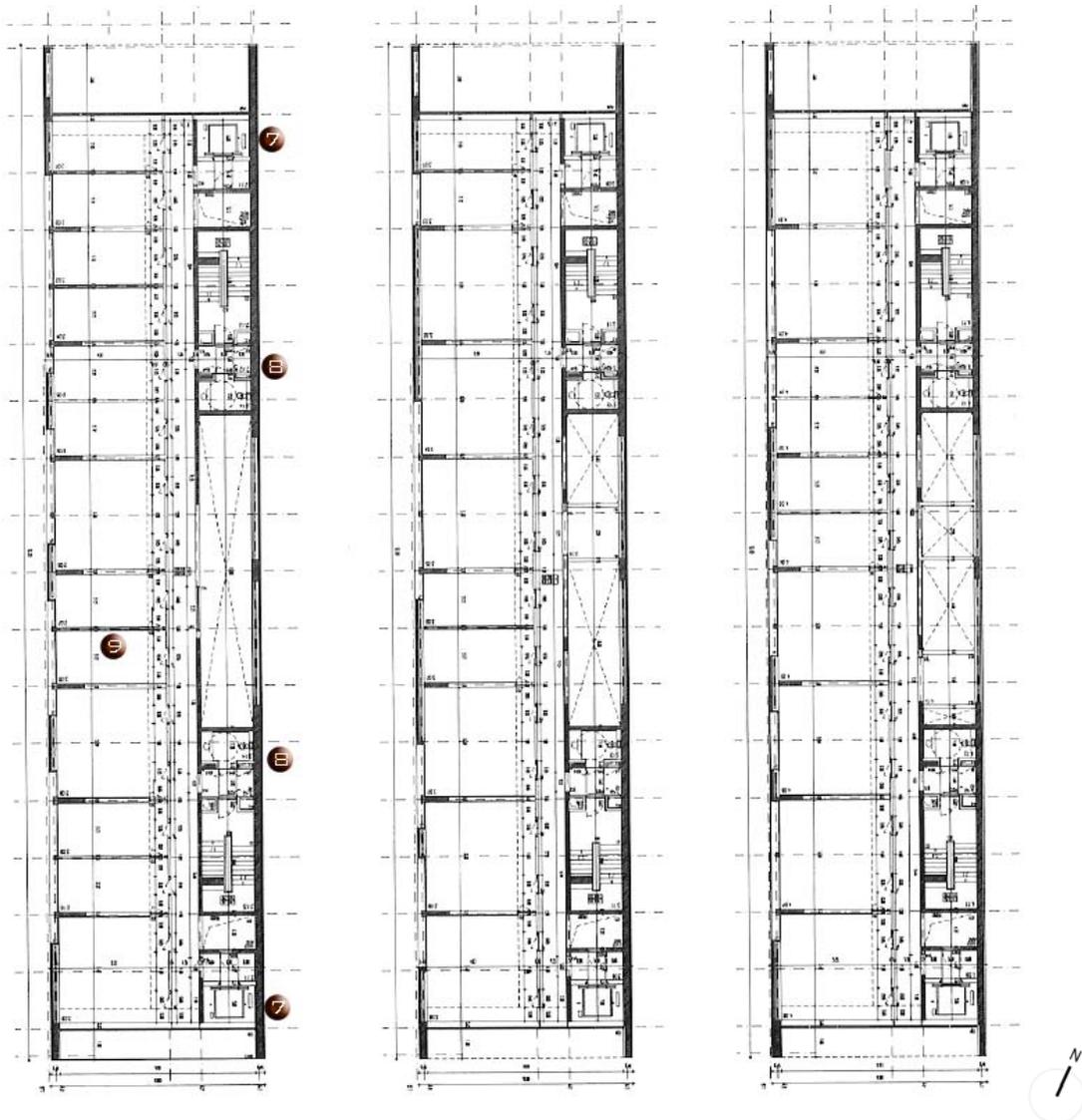


Fig. 66 - Planta do Piso 2, 3 e 4. 7- Elevadores panorâmicos; 8- Casas de banho; 9- Salas de trabalho

Sobre a cobertura percorrível que liga as cotas principais do campus, encontra-se o átrio de acesso ao auditório e à sala do senado. O átrio para além de fazer a comunicação entre estes dois espaços e o bloco administrativo, funciona como espaço de convívio entre as pessoas e, por vezes, como espaço de exposições (fig.64). Este espaço é iluminado por duas aberturas laterais (fig. 63), e por pequenas aberturas zenitais dispersas ao longo da cobertura percorrível.

O auditório com capacidade total para 560 pessoas tem a particularidade de poder ser dividido em dois auditórios mais pequenos. É utilizado para eventos organizados não só pela reitoria, mas também por outras entidades. A sala do senado com capacidade para 97 pessoas é utilizada para reuniões do senado e da assembleia da universidade.

3.4. DESCRIÇÃO DOS ESPAÇOS EM ESTUDO

Para uma primeira análise pretendia-se avaliar espaços de trabalho, com diferentes localizações de janelas, para a verificação do conforto e adequação às exigências funcionais e aos valores recomendados. A reitoria concedeu o acesso a duas salas de reunião, uma localizada no terceiro piso, junto à fachada Sul e outra no quarto piso, junto à fachada Norte. Seleccionou-se também o átrio, que foi um dos espaços em que o uso da iluminação natural se evidenciou logo ser insuficiente. Face à grande potencialidade da localização e forma espacial do átrio, este compartimento é nomeado como modelo de estudo para soluções alternativas, com o intuito de melhorar o uso da luz natural.

3.4.1. SALA 1

A sala 1, localizada no terceiro piso, embora projectada para ocupar todo o canto junto à fachada Sul, actualmente apenas ocupa metade do espaço (fig. 67). A sala original está dividida através de uma estante com livros e dois painéis metálicos, que, apesar de terem uma altura inferior ao piso, criam dois espaços totalmente distintos.

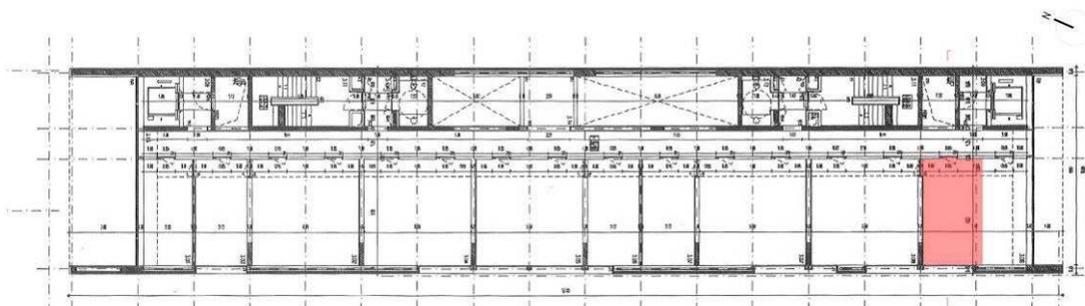


Fig. 67 - Planta do piso 3, com localização da sala 1

O espaço junto à fachada Sul, apesar de ser completamente envidraçado, é usado como local para tirar fotocópias e arrumos. Devido ao uso do espaço e ao facto de possuir incidência solar a Sul, as janelas encontram-se a maior parte do tempo sombreadas com estores pelo interior. Sendo assim, o espaço de reunião apenas é iluminado pela abertura lateral localizada na parede orientada a Oeste. A abertura materializa-se por uma janela basculante pelo interior e por um pano de vidro pelo exterior, ocupando sensivelmente toda a largura da sala, a meia altura do piso (fig. 68).

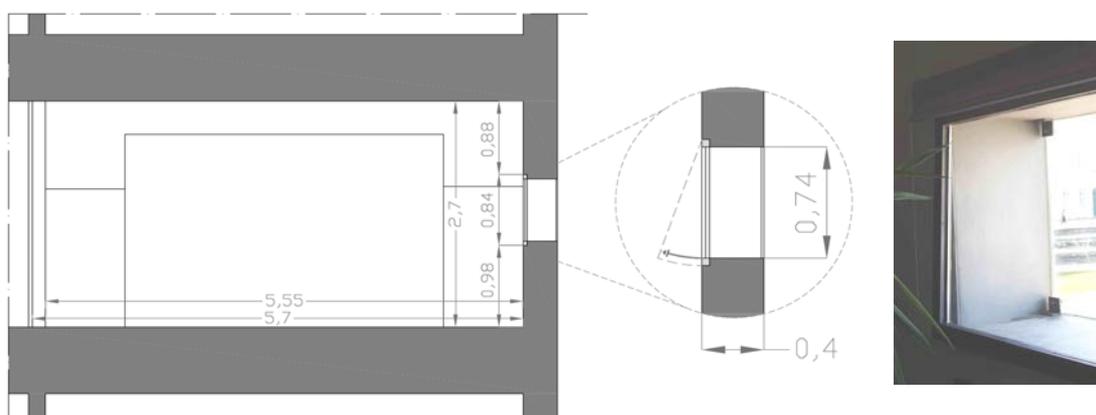


Fig. 68 – Corte esquemático da sala 1 com pormenor e fotografia da abertura lateral

3.4.2. SALA 2

A segunda sala encontra-se no canto oposto do edifício junto à fachada Norte, no 4º piso (fig. 70). Tal como a planta indica, esta sala é usada na sua dimensão original.

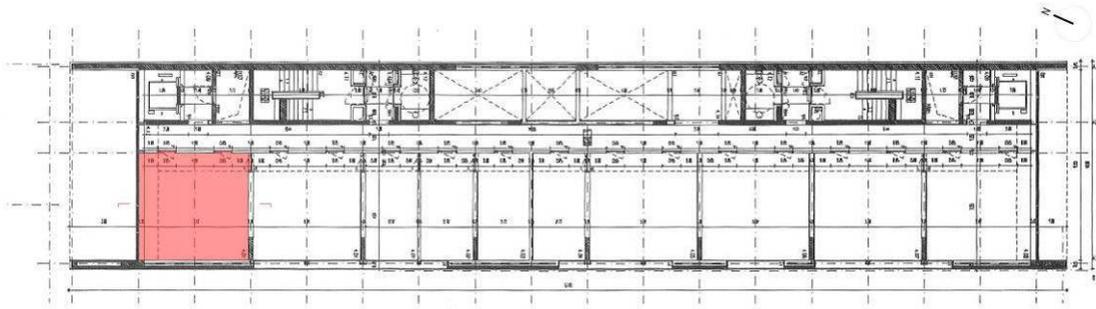


Fig. 70 - Planta do piso 4, com localização da sala 2

A principal quantidade de luz natural que esta sala de reuniões recebe é proveniente do vão totalmente envidraçado que está orientado a Norte (fig. 71, B). A parede Oeste é caracterizada por dois rasgos, um localizado junto ao tecto e o outro mais comprido localizado junto ao pavimento. Estas aberturas laterais são semelhantes à abertura da sala 1, compostas por uma janela basculante no interior, e por um pano de vidro no exterior (fig. 71, A).



Fig. 71 – Corte esquemático da sala 2; A: Fotografia das aberturas laterais;
B: Fotografia do vão envidraçado

3.4.3. ÁTRIO

O átrio é o terceiro e último espaço interior a ser estudado, localizado no piso 0, cuja área útil está representada na figura 72. Por cima do átrio ainda existe um piso técnico, que se desenvolve por baixo da praça percorrível e da grande escadaria.

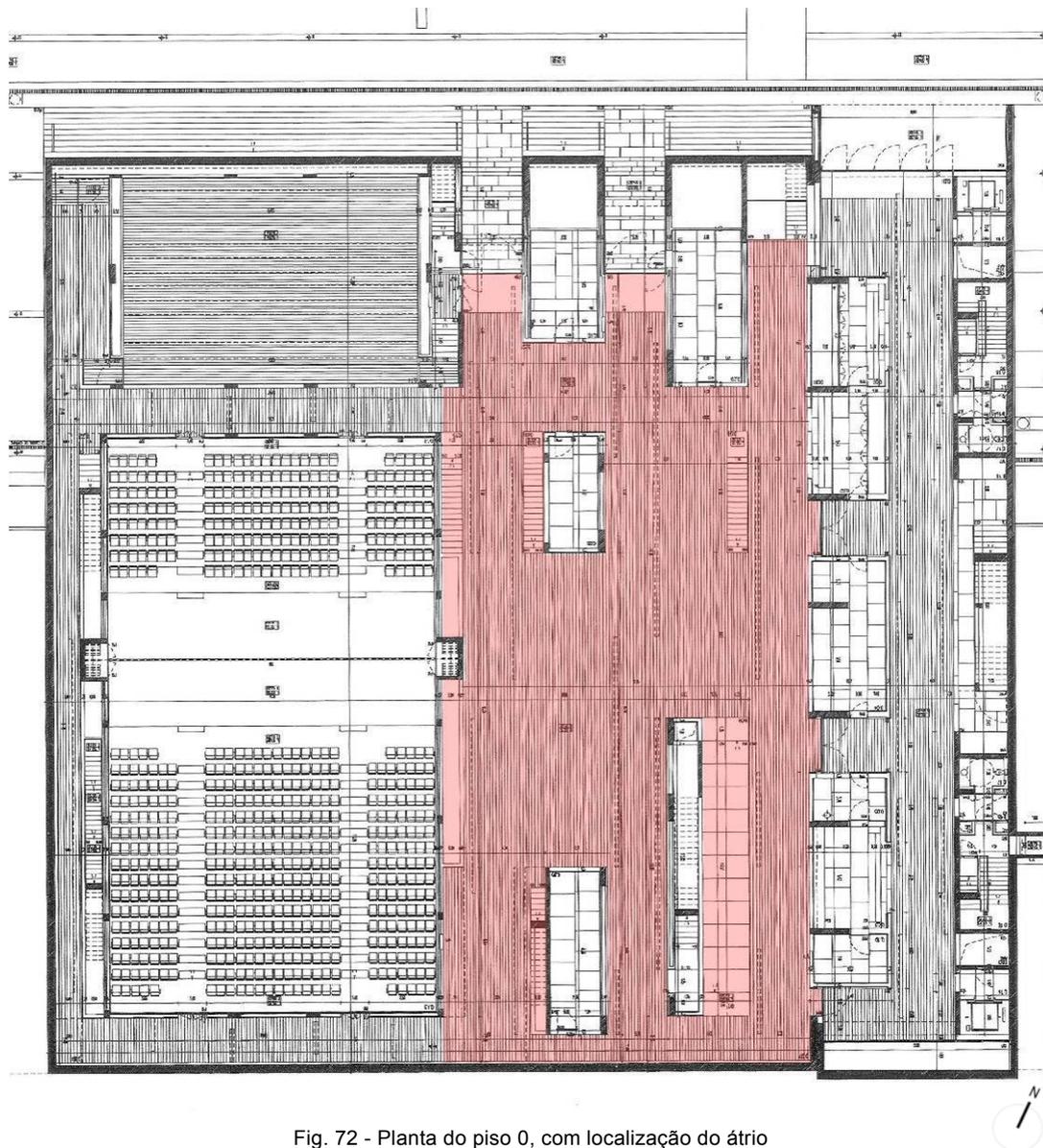


Fig. 72 - Planta do piso 0, com localização do átrio

O átrio é iluminado lateralmente por duas portas de vidro orientadas a Norte (fotografia exterior da fig. 73) e por diversas aberturas zenitais dispersas ao longo de toda a cobertura percorrível.

Para iluminar o espaço zenitalmente é necessário vencer a altura do piso. Conseqüentemente, estas aberturas aparecem acompanhadas por “blocos” vazios encastrados no tecto, representados a tracejado no esquema da figura 73. As aberturas situam-se essencialmente por cima dos acessos verticais ocupando sensivelmente essa área, mas a abertura de vidro propriamente dita tem apenas 1,2 metros por 0,45 metros, representados a amarelo no esquema da figura 73.

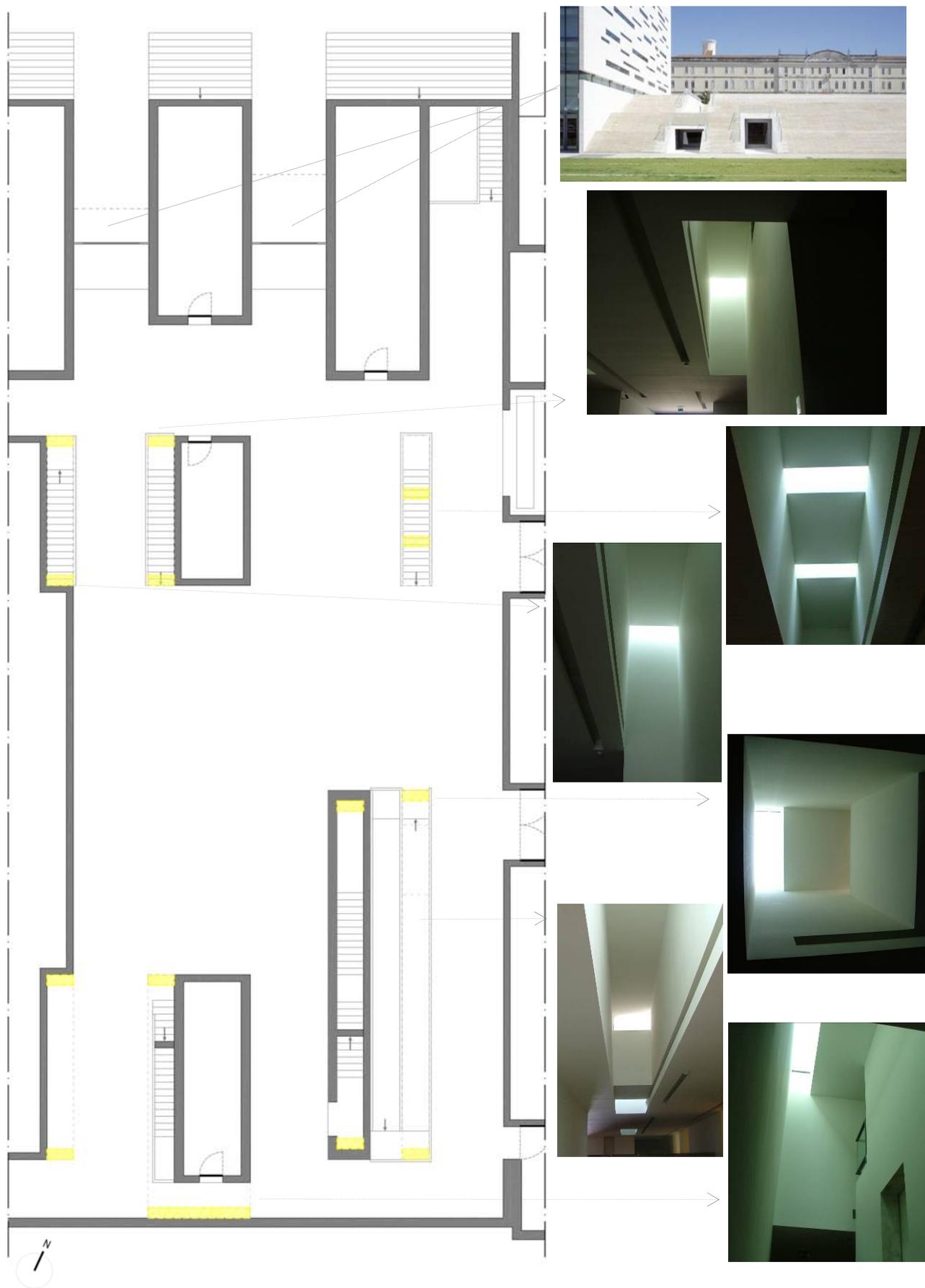


Fig. 73 - Planta esquemática, com localização das aberturas zenitais, e fotografias exemplificativas

3.5. SIMULAÇÕES E ANÁLISES

Por razões de ordem prática e de exequibilidade, as medições de iluminância interiores para o cálculo FLD apenas foram realizadas uma vez. A malha de pontos define apenas os pontos essenciais para a compreensão da distribuição da iluminação natural do espaço interior. Todas as medições foram efectuadas sob condições de céu encoberto e com a iluminação artificial desligada.

Na metodologia de análise, parte da avaliação passa por caracterizar as propriedades ópticas dos materiais. Estas medições foram realizadas três vezes para cada material diferente e posteriormente foi calculada a média aritmética, a fim de se obter o valor mais correcto e fiável. Quando os materiais se encontram inacessíveis, como no caso dos tectos e alguns dos vidros, resta-nos usar o bom senso, e escolher como referência materiais semelhantes. Nos quadros 4 a 8 encontram-se resumidas as propriedades dos materiais analisados.

Quadro 4 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos interiores das salas 1 e 2

Superfícies Opacas	Material	Cor	Textura	Reflectância – $\rho = E_r/E_d$ (%)	
				Medida (ρ_m)	Utilizada
Paredes e Tecto	Reboco	Branco	Liso/matte	72,62%	Agate_grey 73,73%
Pavimentos	Contínuo	Cinza claro	Liso/brilhante	53,39%	Blue_gray 54,10%
Parapeito	Reboco	Cinza claro	Liso	26,09%	Slate_grey 25,77%
Caixilhos	Metal	Cinza escuro	Rugosa	29,07%	Gray 30,00%
Mesas de trabalho	Epóxi/plástico	Cinza claro	Rugosa/brilhante	60,14%	Signal_grey 61,43%
Livros	Tecido	Bege-castanho	Veludo	16,81%	Beige_brown 17,90%
Painéis	Metal+ tecido	Azul/cinza	Veludo	31,41%	Blue_grey 34,90%

Quadro 5 – Valores de transmitância das superfícies transparentes da sala 1 e 2

Superfícies Transparentes	Transmitância – $\tau = E_{Vint} / E_{Vext}$	
	Medida (τ_m)	Utilizada
Vão orientado a Norte	72,44%	Clear Coated 75,30%
Janelas interiores orientados a Oeste	70,64%	Clear Coated 75,30%
Panos de vidro exteriores orientados a Oeste	(inacessível)	Clear Glass 89,90%

Quadro 6 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos interiores do átrio

Superfícies Opacas	Material	Cor	Textura	Reflectância – $\rho = E_r/E_d$ (%)	
				Medida (ρ_m)	Utilizada
Paredes, Tectos e Portas	Reboco	Branco	Liso/matte	86,06%	White 85,77%
Paredes e Pavimentos	Pedra mármore	Branco e cinza	Polido	72,77%	Pebble gray 72,87%
Pavimentos	Madeira	Castanho-escuro	Envernizado	28,51%	Personalizado 31,00%
	Alcatifa	Castanho-escuro	-	11,14%	Chocolate brown 12,85%
Caixilhos Janelas/Portas	Metal	Cinza escuro	Rugosa	33,01%	Basalt_grey 32,03%

Quadro 7 – Valores de transmitância das superfícies transparentes do átrio

Superfícies Transparentes	Transmitância – $\tau = E_{Vint} / E_{Vext}$	
	Medida (τ_m)	Utilizada
Vãos laterais	77,40%	Clear Laminate 88,00%
Vãos zenitais	(inacessível)	Clear Laminate 88,00%
Guardas	85,37%	Clear glass 89,90%

Quadro 8 – Características físicas e valores de reflectância dos materiais opacos da envolvente ao Edifício

Superfícies Opacas	Material	Cor	Textura	Reflectância – $\rho = E_r/E_d$ (%)	
				Medida (ρ_m)	Utilizada
Pavimentos	Pedra	Bege	Rugosa	39,06%	Beige-gray 38,82%
	Calçada	Cinza	Rugosa	15,78%	Granite_grey 18,78%
	Relva	Verde	-	12,12%	Fir-green 13,88%
Paredes	Pedra	Bege	Rugosa	64,31%	Beige 66,40%
	Metal	Cinza escuro	Rugosa	13,50%	Dark-gray 13,80%

Uma vez que a avaliação qualitativa resulta em muitas imagens, neste capítulo apenas serão apresentadas, se assim se justificar, as imagens mais relevantes para a análise e comparação com a avaliação quantitativa (avaliação completa em anexo IV).

3.5.1. SALA 1

Nesta sala foi essencial representar a estante de livros pois, para além de substituir a “parede” divisória, possui um papel influente na distribuição da iluminação natural no espaço (fig. 74). Embora este elemento fosse difícil de representar, visto conter livros de cores e texturas variadas, optou-se por representá-lo através de um elemento uniforme. Atribui-se um valor médio de reflectância e de cor (fig. 75).

Existem três plantas junto à janela, que constituem uma primeira barreira para a luz, mas que não foram representadas no modelo tridimensional.



Fig. 74 – Fotografia geral da sala, num dia de céu limpo



Fig. 75 - Imagem gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições *in situ*

As medições de iluminância interior foram realizadas sobre uma malha de 5 pontos, alinhados perpendicularmente a meio vão, com 1 metro de afastamento entre si, à altura do plano de trabalho (fig. 76). O plano de trabalho encontra-se a 0,73 metros de altura e é materializado por duas mesas unidas, tal como mostra a planta esquemática.

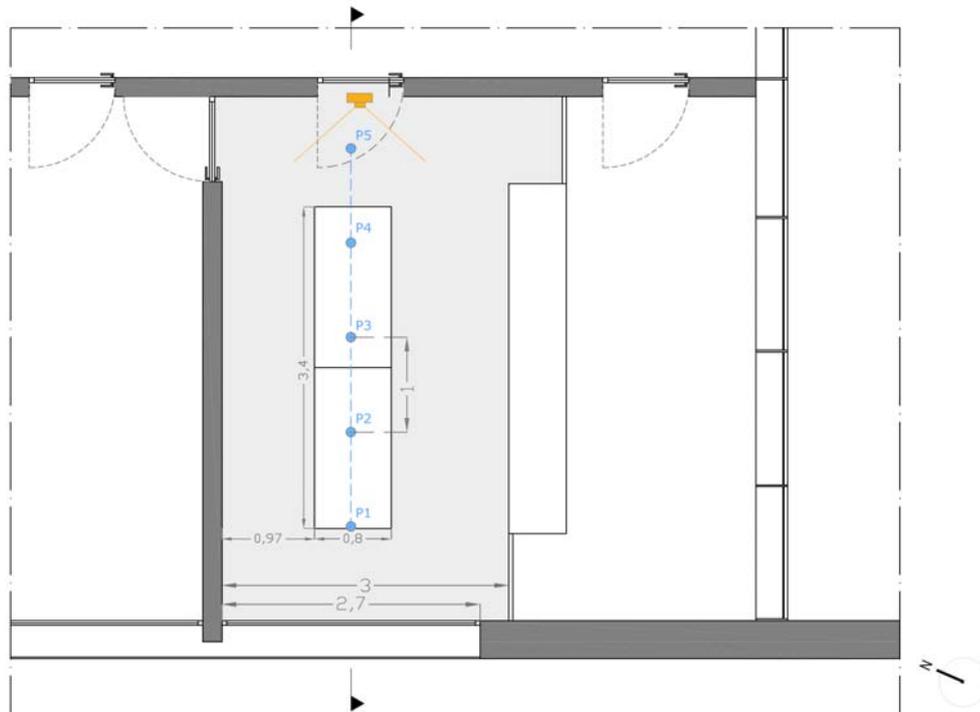


Fig. 76 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista da fotografia e simulações

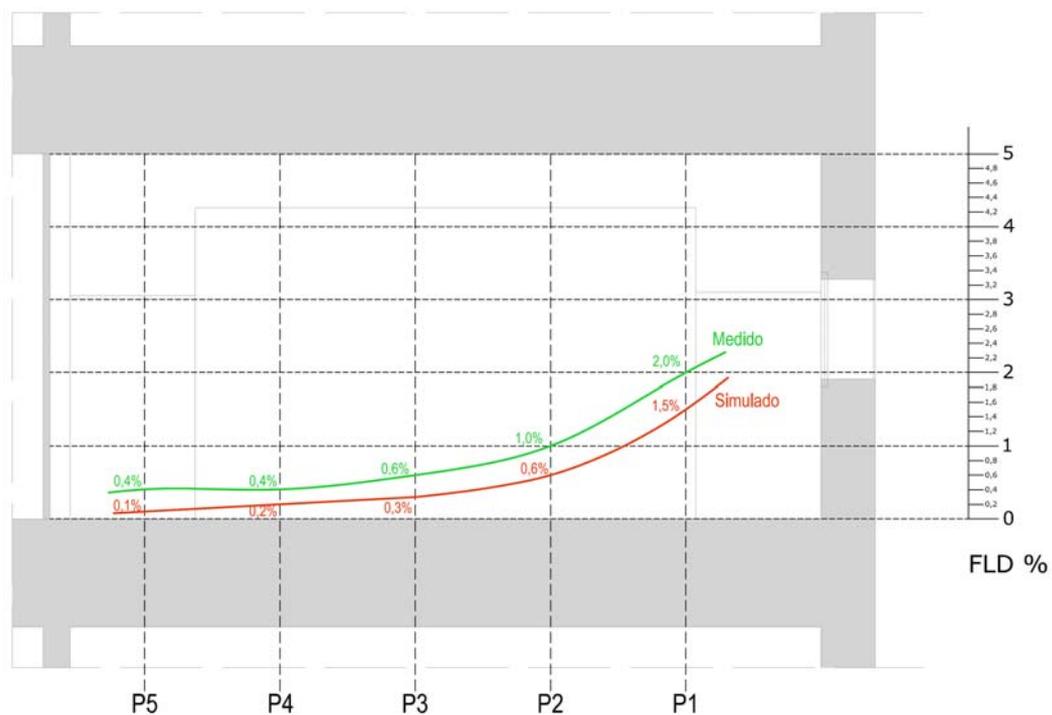


Fig. 77 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 1, sobre corte esquemático

Quadro 9 – Valores obtidos através das medições *in situ* da sala1, e comparação do FLD calculado com o simulado

	Interior (lux)	Exterior (lux)	FLD (%)	
			Medido	Simulado
P1	1020	50000	2,0%	1,5%
P2	512	52300	1,0%	0,6%
P3	318	56300	0,6%	0,3%
P4	226	56700	0,4%	0,2%
P5	203	57400	0,4%	0,1%

Esta sala possui claramente a curva típica da iluminação lateral, sendo possível observar o nível de iluminação a diminuir drasticamente com o aumento de distância em relação à janela (fig. 77).

Nota-se claramente um déficit de iluminação natural, estando apenas com o primeiro ponto dentro dos valores mínimos recomendados, 2% de FLD. Percentualmente, metade da sala encontra valores de FLD na ordem dos 0,6 – 0,4% que são valores muito baixos para um espaço de trabalho (quadro 9).

No que diz respeito ao desempenho do modelo tridimensional conclui-se, através da análise do gráfico e da tabela, que os valores da simulação se aproximam bastante dos valores medidos. Mas ao contrário do que se previa os valores obtidos por simulação mostram-se inferiores aos medidos *in situ*. Uma vez que os valores de reflectância e transmitância aplicados no modelo tridimensional, especialmente os do vidro, foram superiores aos reais (quadro 4 e 5) e a representação do mobiliário foi simplificada, os níveis de iluminação deveriam ser superiores.

O Desktop Radiance facultava análises de FLD e iluminâncias através de imagens analíticas em *false color* e *iso-countour*. Neste ponto encontrou-se um erro no programa, sendo impossível obter análises de FLD. Para além dos valores não coincidirem com os obtidos em tabela, não foi possível mudar nem ajustar a escala de valores.

Sendo assim, apresenta-se a análise de iluminâncias, através da qual é possível perceber que muito embora a iluminação seja uniforme, os níveis de iluminação encontram-se muito além dos valores de conforto e qualidade que um espaço de trabalho requer. Visto que os valores recomendados para o plano de trabalho rondam entre os 500 lux e os 1000 lux, (fig. 78).

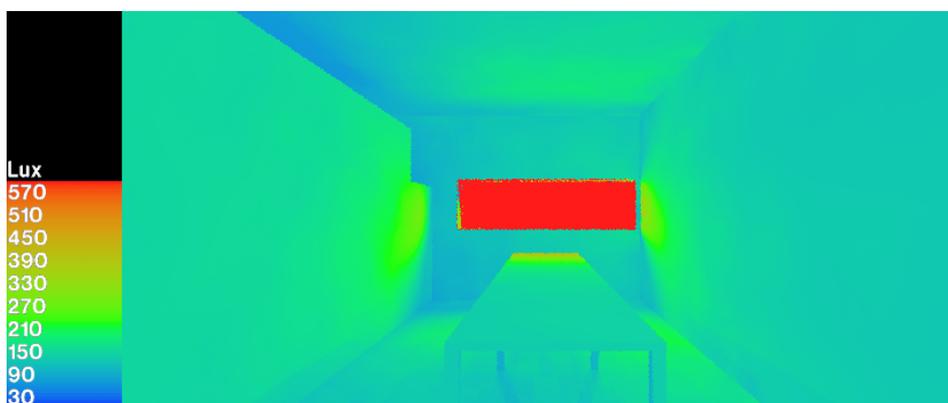


Fig. 78 – Análise de iluminâncias através de imagem analítica em *false color*

Através da avaliação qualitativa (imagens em anexo IV) é possível observar a evolução da luz na sala ao longo do dia e concluir que o espaço recebe luz directa às 15h de Dezembro e às 17h em Junho e em Março / Setembro (exemplo fig. 79). Esta situação apesar de aumentar os níveis de iluminância no plano de trabalho, provoca desconforto por encadeamento, uma vez que a luz incide directamente sobre a mesa de trabalho, como se pode observar na imagem de exemplo em Março / Setembro às 17h (fig 80).

Durante as 9h e as 12h dos meses simulados as iluminâncias no plano de trabalho são sempre inferiores a 500 lux, o que demonstra insuficiência de iluminação neste espaço.

Por fim, é possível concluir que esta sala não tem iluminação natural suficiente nem qualidade necessárias para um espaço de trabalho.

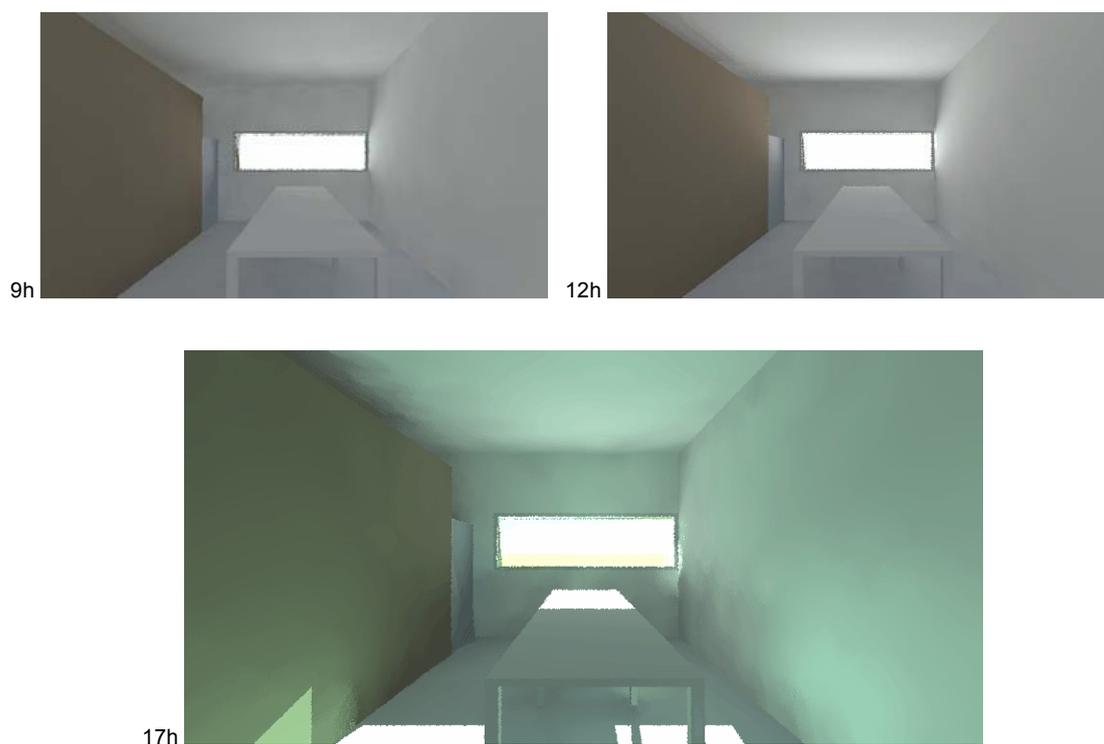


Fig. 79 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Março / Setembro, às 9h, 12h e 17h

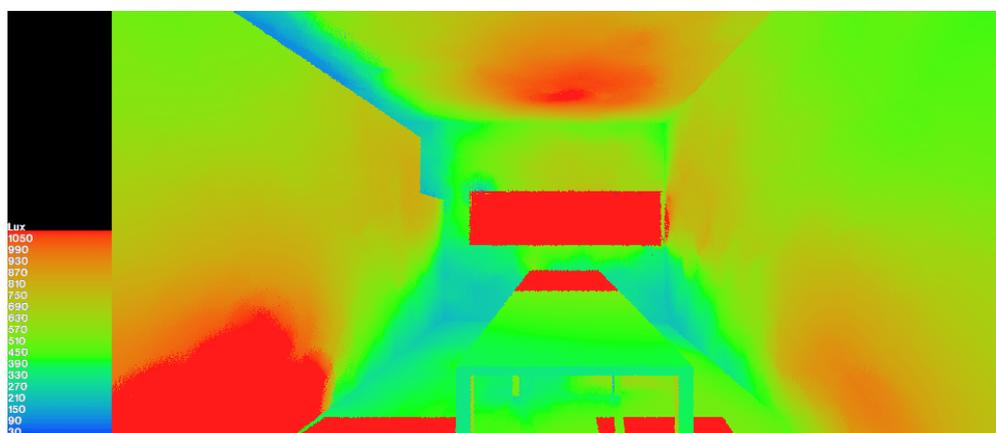


Fig. 80 – Análise de iluminâncias em *false color*, sob condições de céu limpo no dia 21 em Março / Setembro às 17h

3.5.2. SALA 2

Para esta sala, no que diz respeito à representação do mobiliário, decidiu-se representar apenas a mesa de reunião. Não só por ser o plano de trabalho principal, mas também pelo facto dos restantes objectos não afectarem significativamente a distribuição de luz nos pontos de medição. (fig. 81 e 82)

No modelo tridimensional desta sala foi possível observar que os vidros aplicados tinham uma ligeira cor verde o que não era de todo o pretendido (fig. 82). Tal acontece porque os vidros disponíveis na biblioteca do *software*, de acordo com a ordem de valor de transmitância necessária, possuem esta tonalidade. À partida o programa permite criar vidros personalizados, com as cores e as propriedades que se necessita, mas mais uma vez, não foi possível concluir o processo por erros do programa.

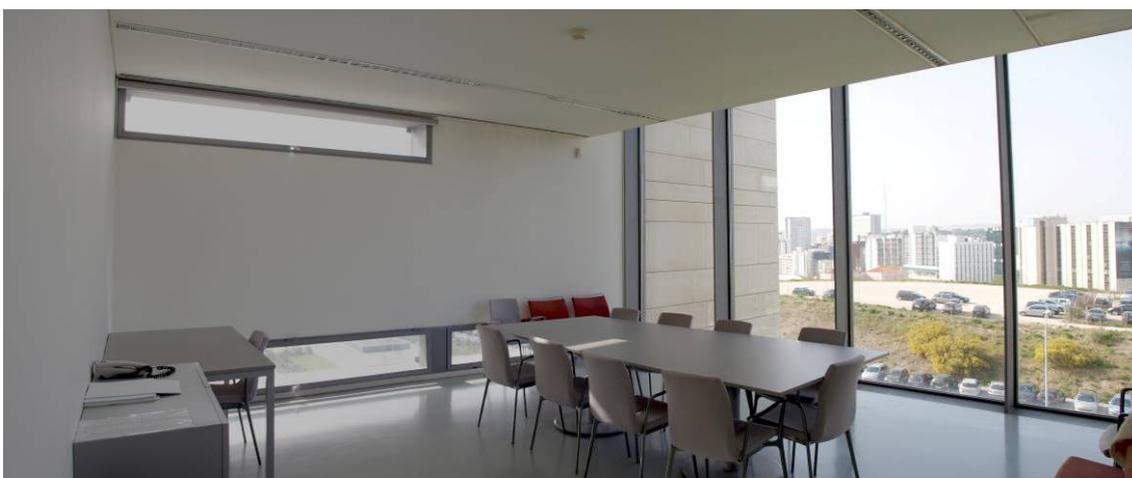


Fig. 81 – Fotografia geral da sala, num dia de céu limpo

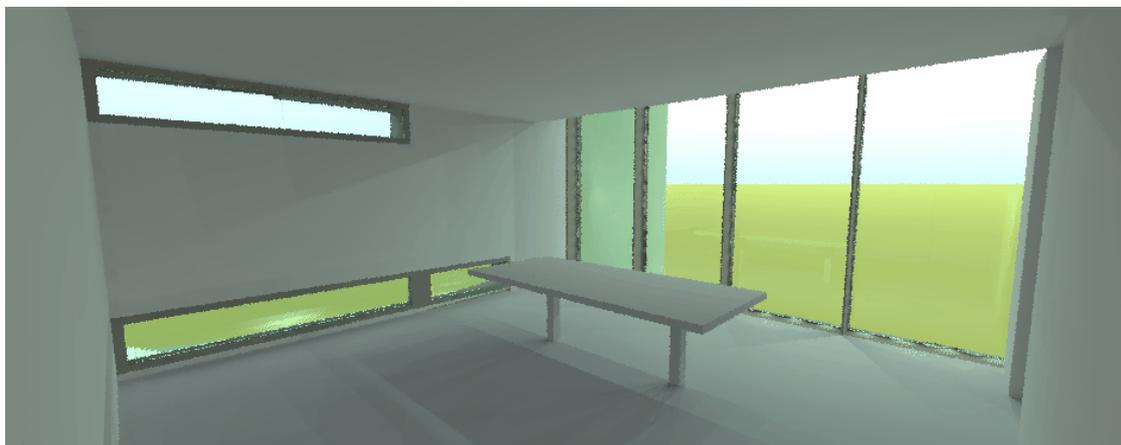


Fig. 82 – Imagem gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições *in situ*

Com base na mesma metodologia da sala anterior, os valores de iluminância interiores foram medidos sobre um eixo alinhado perpendicularmente a meio vão. Nesta sala foram utilizadas duas malhas com 5 pontos, com 1 metro de afastamento entre si, correspondendo a cada uma das paredes com janelas. Para a parede orientada a Oeste o meio vão foi adoptado em relação à janela menos comprida, localizada junto ao tecto (fig. 83). As medições foram efectuadas à altura do plano de trabalho, materializado pela mesa de reunião, encontrando-se a uma altura de 0.74 metros.

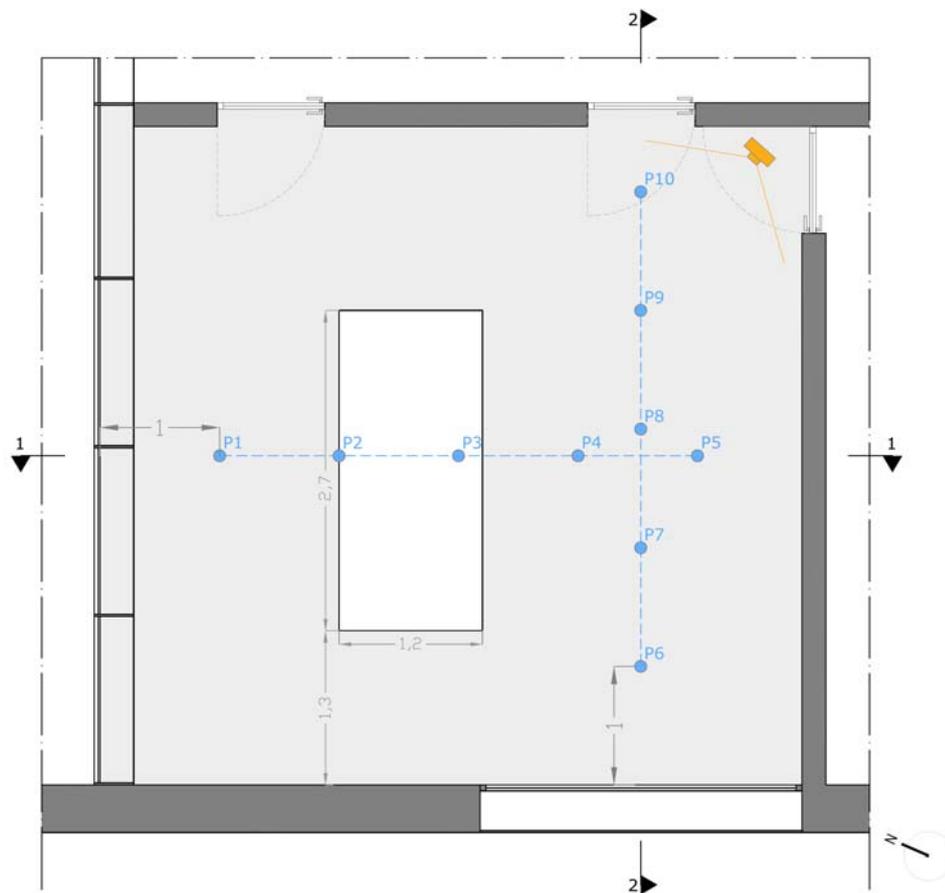


Fig. 83 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista da fotografia e simulações

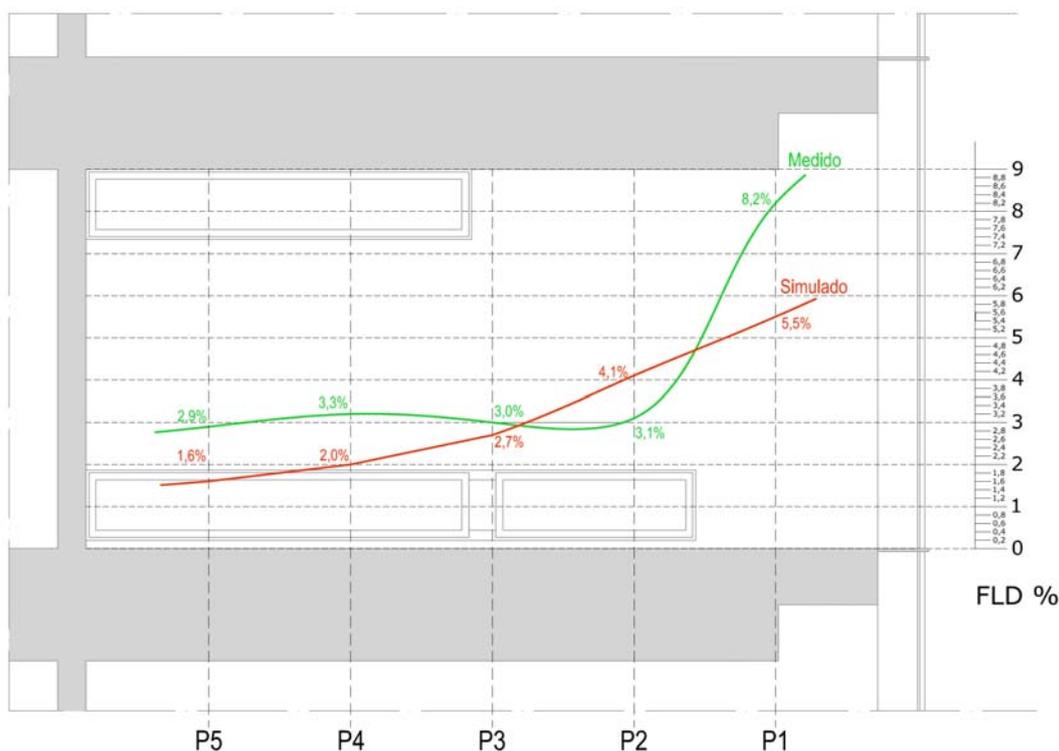


Fig. 84 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 2, sobre corte esquemático 1

Quadro 10 – Valores obtidos através das medições *in situ* na sala2, e comparação do FLD calculado com o simulado

	Interior (lux)	Exterior (lux)	FLD (%)	
			Medido	Simulado
P1	5460	66800	8,2%	5,5%
P2	2150	68800	3,1%	4,1%
P3	2200	73600	3,0%	2,7%
P4	2270	68700	3,3%	2,0%
P5	1900	65400	2,9%	1,6%

Analisando os valores obtidos *in situ* é possível perceber que, apesar do vão envidraçado receber uma grande quantidade de iluminação, tendo o primeiro ponto atingido os 8,2% de FLD, esta não se mantém, já que os restantes pontos decrescem abruptamente para valores na ordem dos 3% (fig. 84 e quadro 10). Contudo, essa circunstância consegue induzir à sala uma luz ambiente uniforme e confortável.

Quanto aos valores obtidos por simulação, é possível observar pelo gráfico que o decréscimo do nível de iluminação acontece de uma maneira mais suave. O primeiro ponto medido tem um nível de iluminação inferior, com 5,5%, mas o FLD do segundo ponto já é superior. Os restantes FLD simulados vão diminuindo gradualmente, mostrando-se sempre inferiores, mas próximos aos valores medidos *in situ* (fig. 84 e quadro 10).

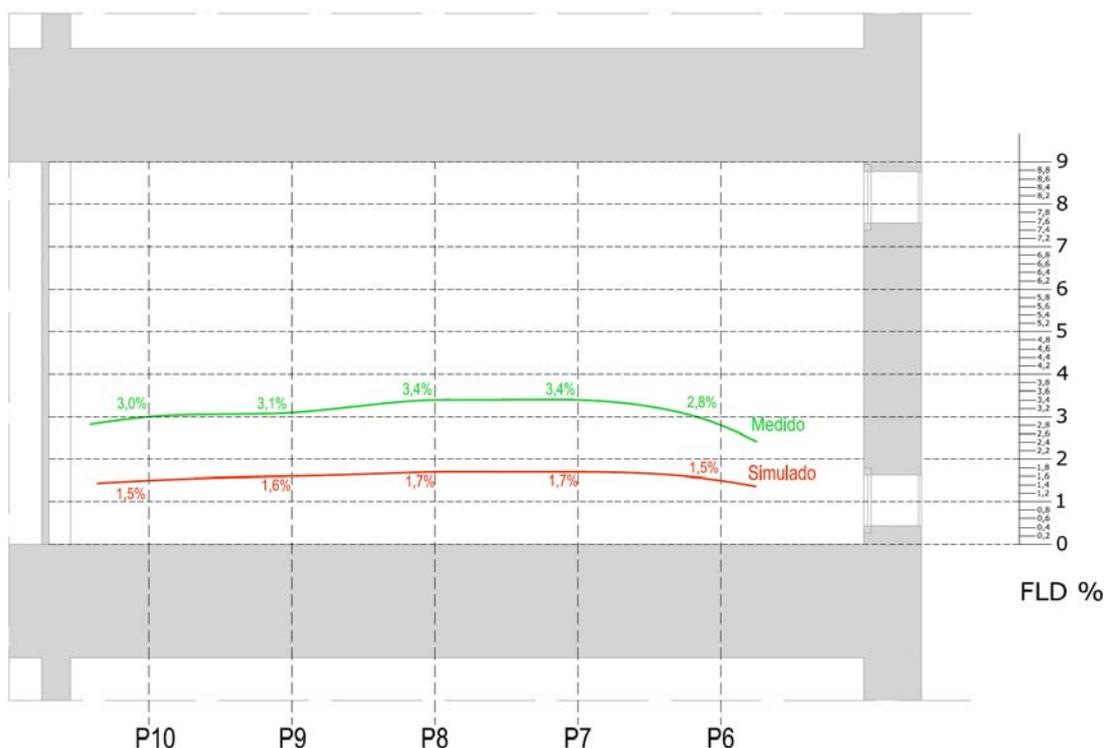


Fig. 85 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia na sala 2, sobre corte esquemático 2

Quadro 11 – Valores obtidos através das medições *in situ* na sala2, e comparação do FLD calculado com o simulado

	Interior (lux)	Exterior (lux)	FLD (%)	
			Medido	Simulado
P6	1890	66500	2,8%	1,5%
P7	2170	64500	3,4%	1,7%
P8	2310	68100	3,4%	1,7%
P9	1860	60500	3,1%	1,6%
P10	1850	62600	3,0%	1,5%

Analisando mais pormenorizadamente o gráfico, é possível verificar que o ponto 6, apesar de se encontrar mais próximo das janelas, é o ponto com menor FLD. Isto acontece porque a janela superior contribui com luz apenas nos pontos mais distantes (fig. 85).

Na situação geral, o nível de iluminação nesta zona da sala é bastante uniforme, rondando sempre os 3% de FLD (quadro 11). Para além de todos os pontos de medição se encontrarem à mesma distância do vão envidraçado, a localização das janelas laterais possui um papel fundamental. Como já foi referido no subcapítulo dedicado às aberturas laterais, as janelas superiores permitem uma melhor distribuição da luz e desta forma uma maior uniformidade do nível de iluminação no espaço.

Podemos portanto concluir que toda a sala possui iluminação dentro dos valores mínimos recomendados (2% de FLD), atingindo um nível de iluminação satisfatório.

Com os valores obtidos pelo Desktop Radiance estes fenómenos já não são tão acentuados, todos os pontos possuem valores de FLD muito próximos, variando entre o 1,5% e os 1,7%.

Neste corte as diferenças entre os valores simulados e os medidos revelam-se um pouco elevadas e os valores encontram-se abaixo do nível de iluminação recomendado.

Observando o cenário geral mais uma vez acontece o oposto ao esperado. Ou seja, os valores simulados revelam-se inferiores aos medidos. Uma vez que o vidro aplicado ao modelo possui um valor de transmitância superior ao real, ao abranger uma grande área de superfície de parede, o nível de iluminação deveria ser maior. Além do mais, o restante mobiliário não foi representado no modelo, não constituindo barreiras para a distribuição da luz em profundidade.

Pela a análise da imagem simulada dos níveis de iluminância interiores da sala (fig. 86), verifica-se que o plano de trabalho tem valores de iluminância superiores a 500 lux, logo dentro dos valores recomendados.

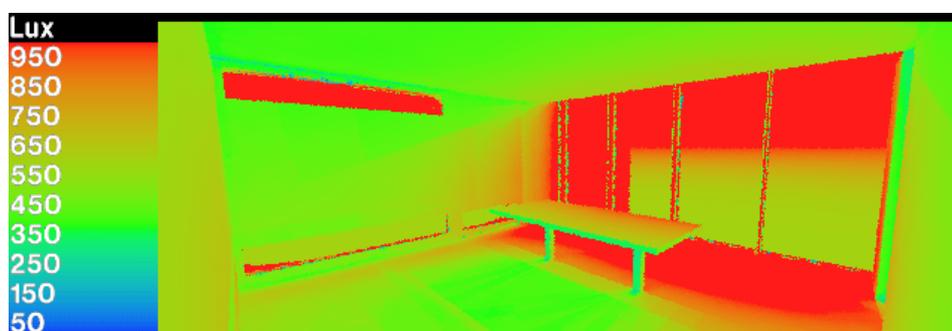


Fig. 86 – Análise de iluminâncias através de imagem analítica em *false color*

A análise qualitativa (avaliação completa em anexo IV) demonstra que apenas ocorre incidência de luz directamente sobre o plano de trabalho às 15h de Dezembro, proveniente da janela próxima do tecto (fig. 87). Na simulação das 9h de Dezembro o nível de iluminâncias no plano de trabalho encontra-se abaixo dos valores mínimos recomendados, enquanto que nos outros dois meses simulados os valores ainda estão dentro dos limites. Nas restantes horas o nível de iluminação é superior a 500 lux, por isso é possível concluir que esta sala tem uma boa qualidade e quantidade de iluminação natural.

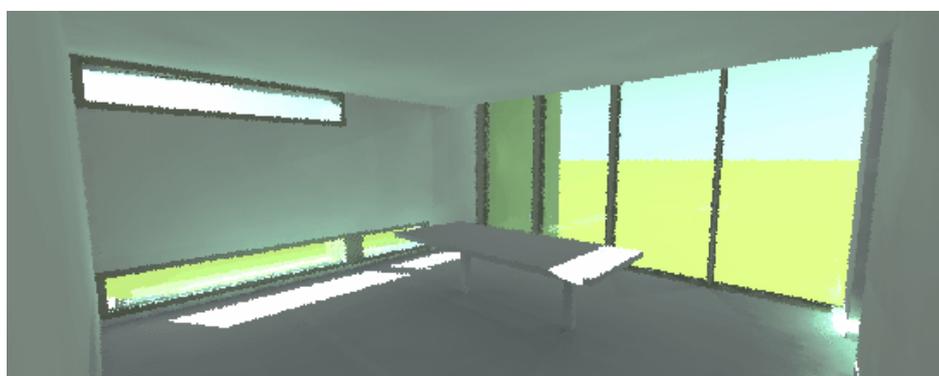


Fig. 87 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Dezembro, às 15h

3.5.3. ÁTRIO

No que diz respeito aos materiais, não foi possível obter as propriedades dos vidros das aberturas zenitais por se encontrarem inacessíveis. Por isso, na modelação tridimensional foi necessário experimentar alguns vidros para calibrar o modelo, até se chegar aos valores mais aproximados. Para representar o pavimento de madeira envernizado criou-se um material novo, com 31% de reflectância e 6,7% de especularidade. Este último foi escolhido para dar realismo ao ambiente e chegou-se ao seu valor através de comparação entre a imagem simulada e fotografia (fig. 91).

A modelação deste espaço não contemplou qualquer tipo de mobiliário, porque não existe um plano de trabalho, uma vez que a utilização do espaço é feita de pé, seja para o convívio ou para a visita de exposições (fig. 88 e 89). Consequentemente, as medições de iluminância interiores foram realizadas à altura média visual, adoptando-se o valor de 1,50 metros.

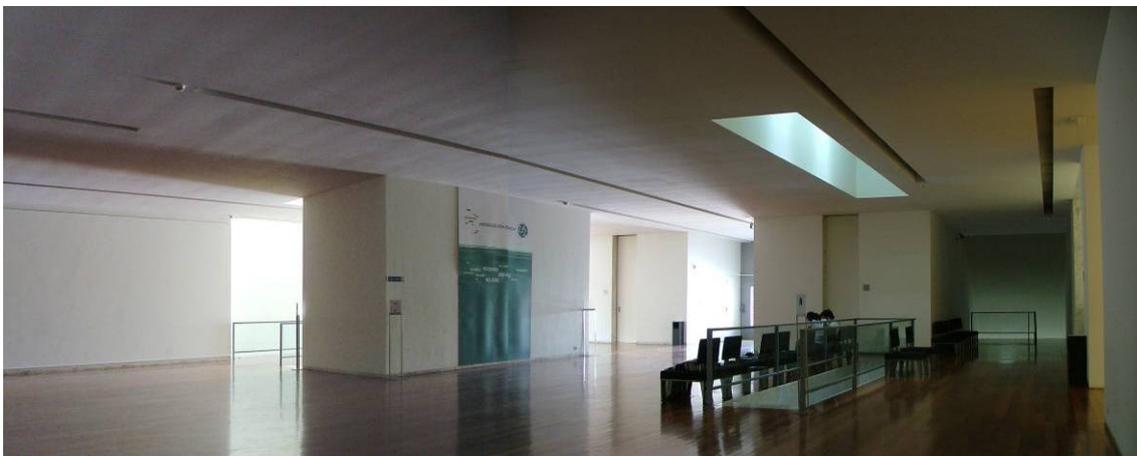


Fig. 88 – Fotografia geral do átrio, ponto de vista 1



Fig. 89 – Imagem do ponto de vista 1, gerada no Desktop Radiance, sob as condições das medições *in situ*



Fig. 90 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 2



Fig. 91 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 3



Fig. 92 – Fotografia e Imagem do ponto de vista 4

Os pontos medidos neste espaço tiveram um critério de escolha diferente em relação às outras duas salas. Dada a dimensão, a configuração não linear do espaço e os dispersos sistemas de iluminação, os pontos tiveram que ser escolhidos de forma expedita. As medições foram executadas em pontos-chave do espaço de forma a ser compreensível o nível de iluminação e a sua distribuição em corte (fig 93).



Fig. 93 – Planta esquemática com indicação dos pontos de medição e ponto de vista das fotografias e simulações



Fig. 94 – Gráfico da distribuição do Factor Luz-Dia no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente

Quadro 12 – Valores obtidos através das medições *in situ* no átrio, e comparação do FLD calculado com o simulado

	Interior (lux)	Exterior (lux)	FLD (%)	
			Medido	Simulado
P1	872	34990	2,5%	1,0%
P2	44	35600	0,1%	0,1%
P3	164	35300	0,5%	0,3%
P4	3	37800	0,0%	0,0%
P5	3	38500	0,0%	0,0%
P6	142	39400	0,4%	0,3%
P7	732	37900	1,9%	1,5%

Quadro 13 – Valores obtidos através das medições *in situ* no átrio, e comparação do FLD calculado com o simulado

	Interior (lux)	Exterior (lux)	FLD (%)	
			Medido	Simulado
P8	71,12	36000	0,2%	0,0%
P9	11	34990	0,0%	0,0%
P10	15	36600	0,0%	0,0%
P11	3,5	40900	0,0%	0,0%
P12	131,2	41100	0,3%	0,3%
P13	7,2	39300	0,0%	0,0%
P14	31,2	38800	0,1%	0,1%

Este espaço apresenta claramente um déficit de iluminação natural. Apenas o ponto 1 e 7 atingem valores aceitáveis, com 2,5% e 1,9 %, respectivamente. O primeiro ponto situa-se junto à abertura lateral de maior dimensão e tal como seria de se esperar recebe uma maior quantidade de luz. O ponto 7 localizado sob uma abertura zenital destaca-se das restantes, por ser a abertura de maior dimensão e por não se encontrar sobre nenhum acesso vertical (fig. 90), consequentemente recebe maior quantidade de luz.

Os restantes pontos registam valores de FLD entre os 0,5% e os 0,0%, que são valores muito baixos. Os pontos com valores de FLD diferentes de 0% são os pontos localizados imediatamente sob as aberturas zenitais. Podemos concluir que além das aberturas existentes no átrio não receberem grandes quantidades de luz, os sistemas de iluminação não têm capacidade para distribuir a luz para o interior do espaço.

Quanto à simulação, os valores obtidos mostraram-se muito próximos aos valores medidos *in situ*. Com excepção dos pontos 1 e 7, com 1% de FLD, são os que têm uma maior diferença em relação aos valores medidos. Como é possível observar nos cortes esquemáticos, a distribuição de luz no espaço acontece de uma forma bastante semelhante (fig. 94).

Observando pormenorizadamente os valores obtidos pelas medições *in situ* e confrontando com a planta esquemática e os respectivos cortes, podemos perceber os factores que condicionam a entrada e a distribuição da luz.

As aberturas laterais, para além de estarem orientadas a Norte encontram-se recuadas em relação à “fachada”, factores que condicionam a quantidade de luz que chega. Para agravar ainda mais esta questão o pavimento imediatamente adjacente às aberturas é revestido a alcatifa, que absorve a luz impedindo a sua distribuição para o interior do espaço.

Quanto às aberturas zenitais, para além das suas reduzidas dimensões a luz ainda tem que percorrer a altura de um piso até chegar ao piso do átrio. É bom lembrar que as aberturas localizam-se por cima dos acessos verticais, o que faz com que a luz se concentre nesta área e não seja distribuída para o resto do espaço. Tal como podemos observar nos esquemas da figura 95, tanto a luz directa como a reflectida nas paredes da “caixa” é direccionada para os acessos verticais.

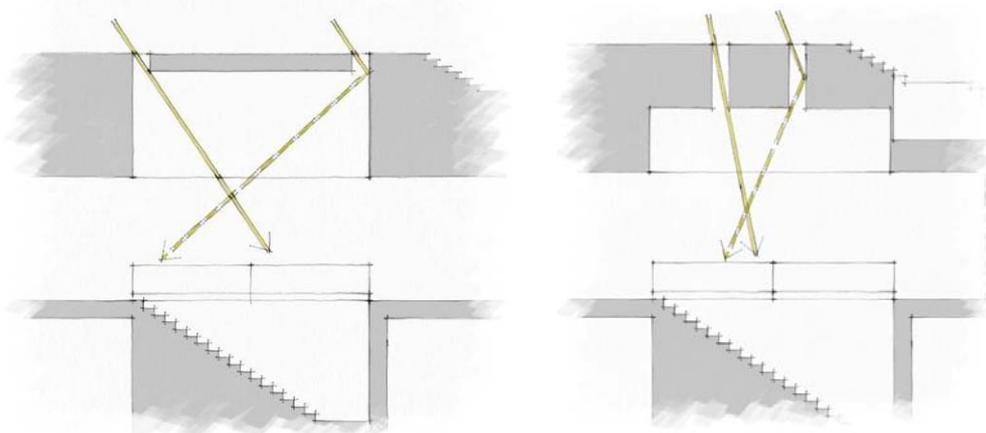


Fig. 95 – Esquema dos dois sistemas de iluminação existentes no átrio

Pela evolução da iluminação ao longo do dia nos vários meses simulados (imagens em anexo IV), podemos observar que apenas existe entrada de luz directa às 12h, em algumas aberturas zenitais (fig. 96). Mas como já se tinha concluído com os esquemas anteriores (fig. 95), a luz é direccionada para os acessos verticais, não existindo reflexões directas no pavimento que poderiam provocar encandeamento nos utilizadores do átrio. Embora possa existir desconforto visual provocado pelas reflexões no pavimento provenientes das portas de vidro laterais, que apenas recebem luz difusa (fig. 96).



Fig. 96 – Simulação sob condições de céu limpo no dia 21 em Junho, às 12h do ponto de vista 3

3.6. PROPOSTA DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Com base nos resultados obtidos através das medições e simulações do FLD, são desenvolvidas soluções que visam melhorar o nível de iluminação natural no átrio.

É importante referir que embora os valores do FLD obtidos por simulação tenham sido inferiores aos medidos *in situ*, o desenvolvimento das soluções alternativas não fica comprometido, uma vez que se estas conseguirem atingir os níveis de iluminação satisfatórios no modelo, também a solução real conseguirá.

3.6.1. ALTERNATIVA 1

A primeira alternativa pretende maximizar o aproveitamento da luz natural dos sistemas de iluminação existentes através do aumento das aberturas zenitais e mantendo a iluminação pontual dos acessos verticais, conservando assim a identidade do espaço (fig. 100 e 101).

Numa primeira análise ampliou-se o vidro a toda a área da “caixa” vazia, tal como se apresenta em planta. No entanto, através dos valores do FLD obtidos pela simulação conclui-se que muito embora entre uma maior quantidade de luz difusa, esta não é devidamente distribuída para o resto do espaço interior.

Assim sendo, a esta solução aplicaram-se alterações subtis na forma da caixa, para que fosse possível redireccionar a luz para o interior do espaço em vez de ficar concentrada naquela área.

Esta alteração passou por inclinar certas faces das paredes em volta da abertura zenital, para assim reflectir a luz em maior profundidade (fig. 97).

Após experimentar várias inclinações chegou-se à conclusão que, devido à localização dos sistemas de iluminação no átrio, apenas influenciam o nível de iluminação as aberturas com as formas apresentadas em esquema.

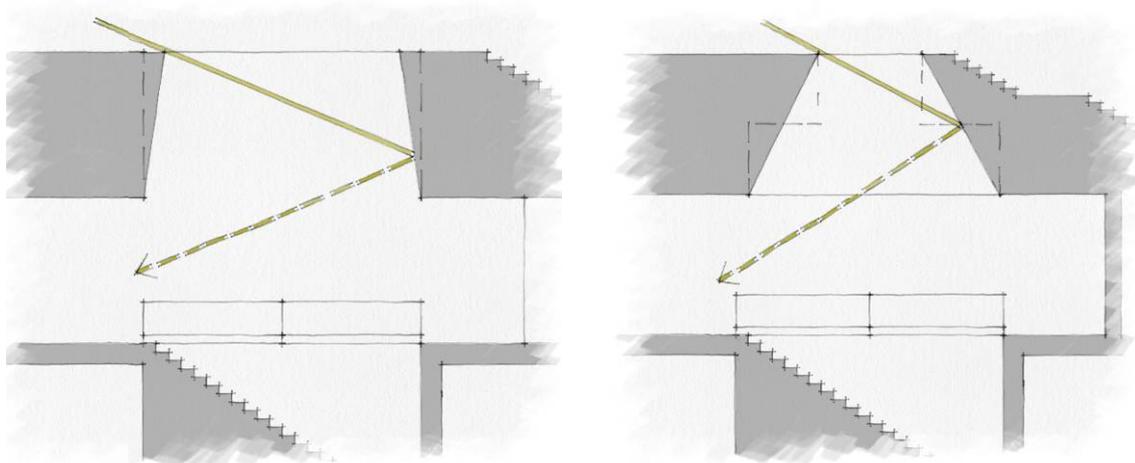


Fig. 97 – Esquema dos sistemas de iluminação 1 e 2 (fig. 98) projectados para o átrio

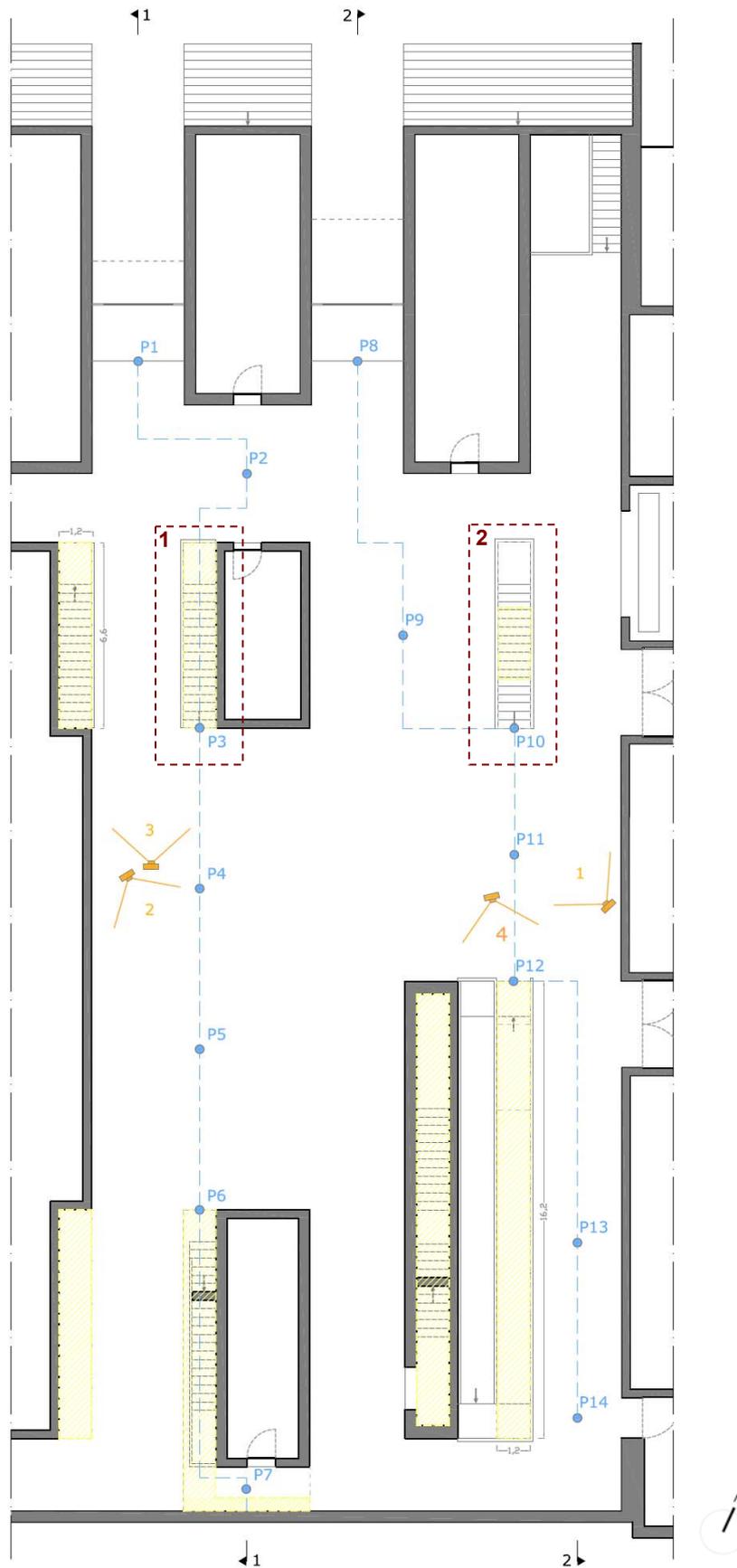


Fig. 98 – Planta esquemática com indicação das áreas das aberturas zenitais consideradas para a alternativa 1



Fig. 99 – Gráfico da distribuição do FLD no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente, considerando a alternativa 1.1

Quadro 14 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1;
 Comparação com os valores calculados e os simulados do existente

	FLD (%)		FLD (%)	
	A 1	A 1.1	Medido	Simulado
P1	1,0%	1,1%	2,5%	1,0%
P2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
P3	2,8%	2,8%	0,5%	0,3%
P4	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
P5	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
P6	2,8%	2,8%	0,4%	0,3%
P7	2,7%	2,7%	1,9%	1,5%

Quadro 15 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1;
 Comparação com os valores calculados e os simulados do existente

	FLD (%)		FLD (%)	
	A 1	A 1.1	Medido	Simulado
P8	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
P9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P10	0,4%	0,9%	0,0%	0,0%
P11	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P12	1,3%	1,3%	0,3%	0,3%
P13	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%
P14	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%

Podemos concluir que os pontos próximos das aberturas zenitais melhoraram bastante o seu nível de iluminação. Os pontos 3 e 6 aumentaram de 0,3 para 2,8% o FLD, o ponto 7 de 1,5% para 2,7%, o ponto 10 de 0,0% para 0,9% e o ponto 12 de 0,3% para 1,3%.

Quanto aos pontos mais distantes das aberturas, em alguns deles foi possível aumentar o nível de iluminação, mas não se revelou ser o suficiente para atingir os valores mínimos recomendados.



Fig. 100 – Imagem do ponto de vista 1, da alternativa 1.1, sob as condições das medições *in situ*

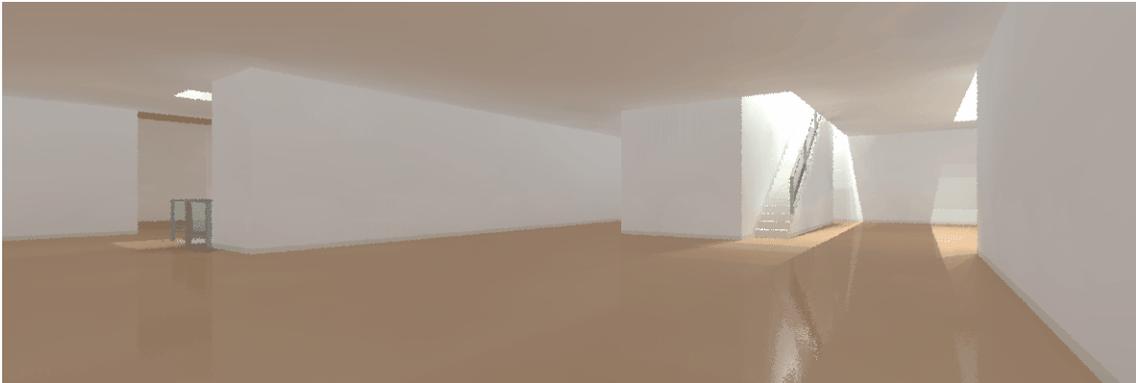


Fig. 101 – Imagem do ponto de vista 2, da alternativa 1.1, sob as condições das medições *in situ*

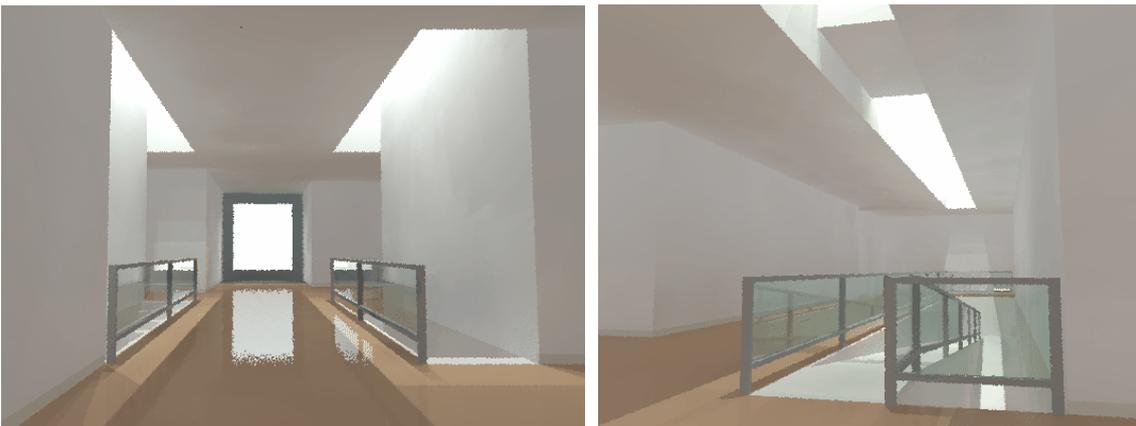


Fig. 102 – Imagem do ponto de vista 3 e 4, da alternativa 1.1, sob as condições das medições *in situ*

3.6.2. ALTERNATIVA 2

Conclui-se que os sistemas de iluminação natural existentes não são suficientes para iluminar correctamente o interior do átrio, por isso torna-se necessário aumentar o número de aberturas zenitais.

A localização das novas aberturas tem que ser cuidadosamente pensada para não descaracterizar o espaço e o seu conceito.

Assim, foram criados rasgos junto às paredes, que simultaneamente marcam acontecimentos diferentes no átrio, à semelhança das aberturas existentes e aproveitam essa superfície para reflectir e redireccionar a luz para o interior do espaço (fig. 104).

Também nesta situação foi necessário inclinar uma das faces da abertura zenital, para conseguir diminuir as inter-reflexões que acontecem no interior dos rasgos de luz (fig. 103).

Para melhorar o desempenho das aberturas laterais, eliminou-se o pavimento revestido a alcatifa e parte da escadaria que se encontrava a sombrear as portas de vidro.

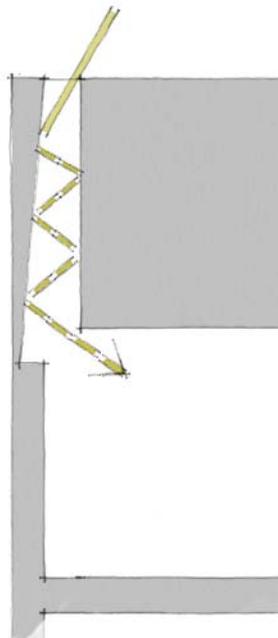


Fig. 103 – Esquema do novo sistema de iluminação projectados para o átrio

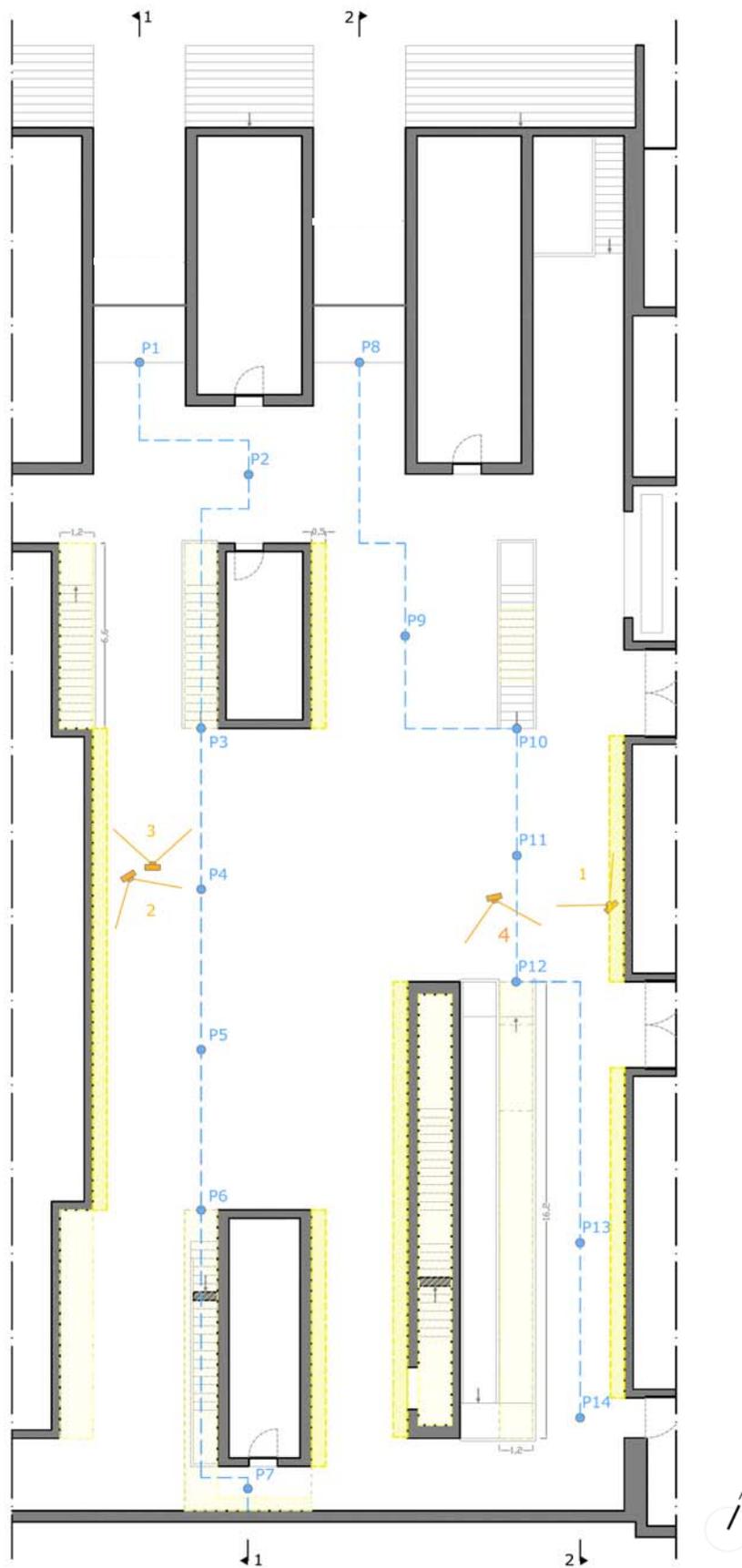


Fig. 104– Planta esquemática com indicação das áreas das aberturas zenitais consideradas para a alternativa 2

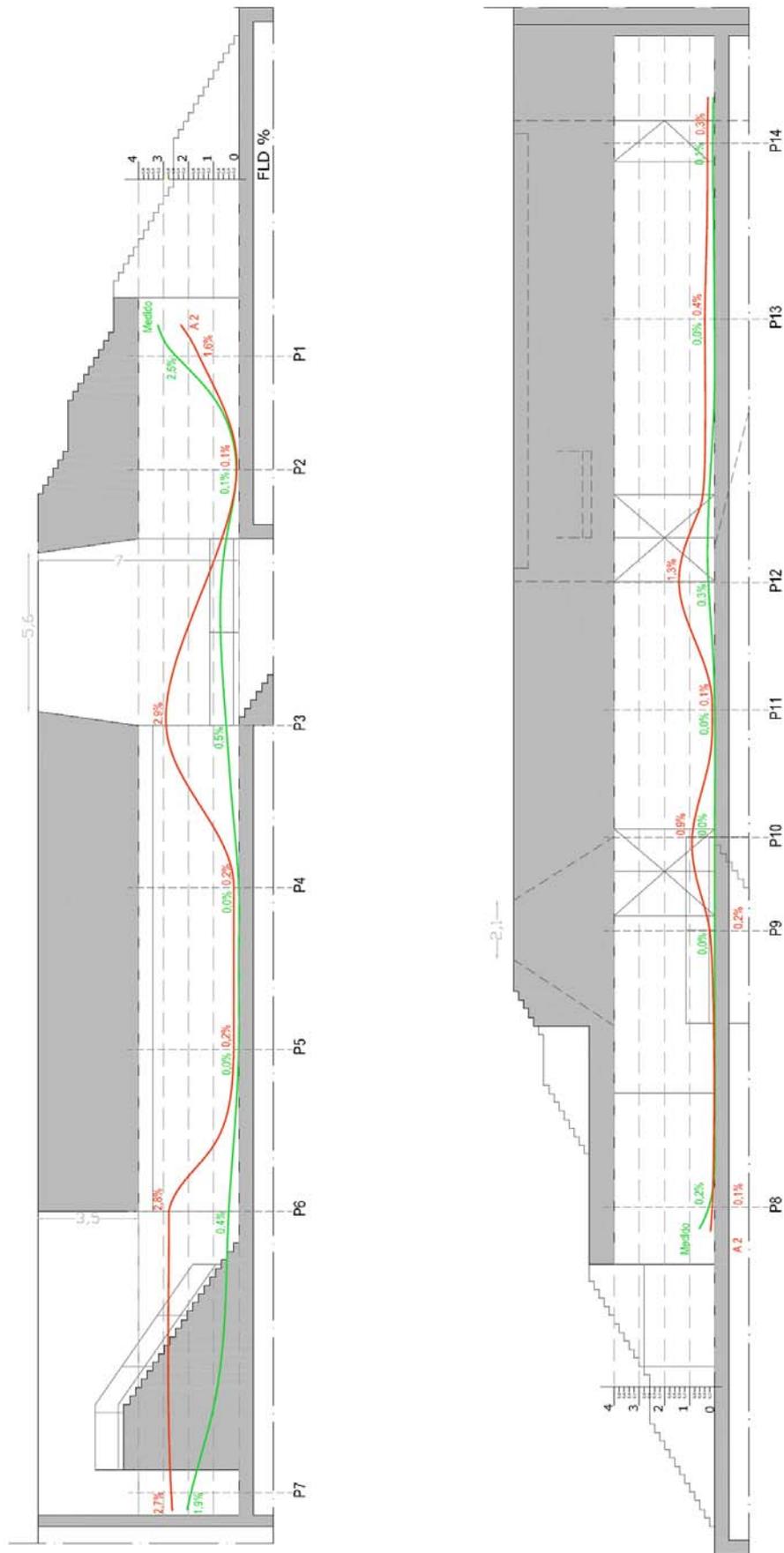


Fig. 105 – Gráfico da distribuição do FLD no átrio, sobre corte esquemático 1 e 2, respectivamente, considerando a alternativa 2

Quadro 16 – Valores de FLD para as alternativas 2 e 1.1;
 Comparação com os valores calculados e os simulados do existente

	FLD (%)		FLD (%)	
	A 2	A 1.1	Medido	Simulado
P1	1,6%	1,1%	2,5%	1,0%
P2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
P3	2,9%	2,8%	0,5%	0,3%
P4	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
P5	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
P6	2,8%	2,8%	0,4%	0,3%
P7	2,7%	2,7%	1,9%	1,5%

Quadro 17 – Valores de FLD para as alternativas 1 e 1.1;
 Comparação com os valores calculados e os simulados do existente

	FLD (%)		FLD (%)	
	A 2	A 1.1	Medido	Simulado
P8	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%
P9	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
P10	0,9%	0,9%	0,0%	0,0%
P11	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
P12	1,3%	1,3%	0,3%	0,3%
P13	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%
P14	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%

Com a implementação das novas aberturas zenitais e as alterações efectuadas junto às aberturas laterais, foi possível aumentar o nível de iluminação natural em praticamente todos os pontos. Mas não o suficiente para atingir os valores mínimos recomendados (1,0% a 1,5%). A luz não consegue chegar em quantidade suficiente aos espaços mais profundos e interiores do átrio, pelos sistemas de iluminação aqui apresentados.

O que leva à conclusão que seria necessário projectar de raiz outros sistemas de iluminação natural que permitissem uma maior e uniforme distribuição de luz no interior do espaço.



Fig. 106 – Imagem do ponto de vista 1, da alternativa 2, sob as condições das medições *in situ*

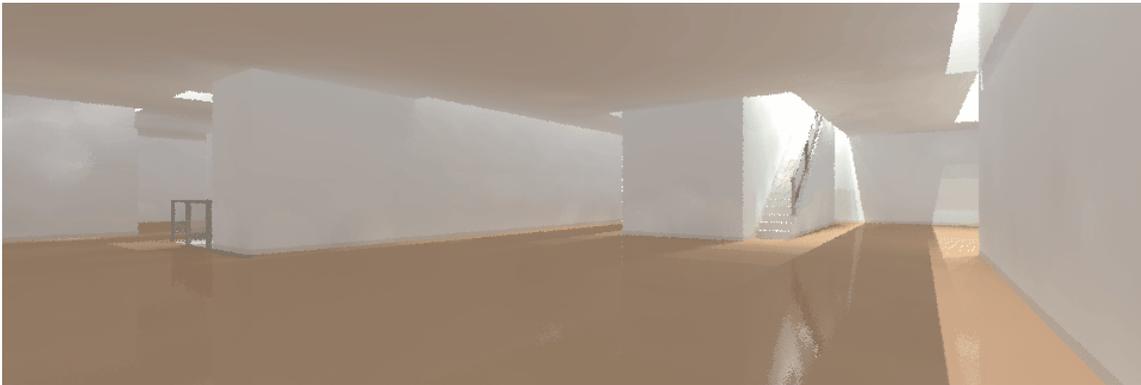


Fig. 107 – Imagem do ponto de vista 2, da alternativa 2, sob as condições das medições *in situ*

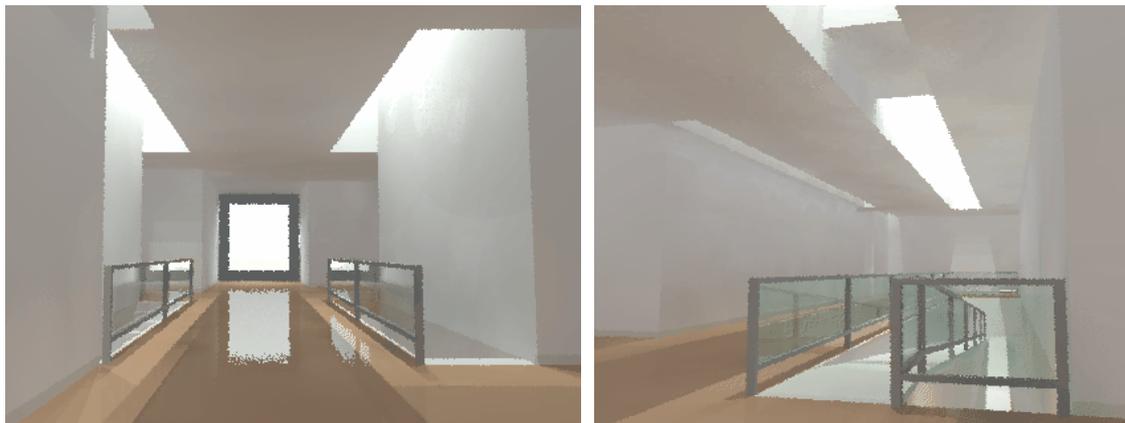


Fig. 108 – Imagem do ponto de vista 3 e 4, da alternativa 2, sob as condições das medições *in situ*

Capítulo 4

CONCLUSÃO

O objectivo principal desta dissertação consistia na análise de soluções de iluminação natural em modelos virtuais através do *software* Desktop Radiance e no estudo qualitativo e quantitativo de soluções de iluminação natural. O trabalho também pretendia reflectir sobre a viabilidade, as vantagens e as limitações que a ferramenta de simulação pode proporcionar na prática corrente de projecto.

Este estudo incidiu sobre duas salas de reunião e o átrio do edifício da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa, cuja avaliação quantitativa, através do cálculo do FLD, permitiu determinar o nível de iluminação natural e verificar se respeitava os valores mínimos recomendados. Estes valores também permitiram calibrar e validar o modelo tridimensional, comparando os valores do FLD simulados com os valores obtidos *in situ*. A avaliação qualitativa pretende analisar a evolução da luz no espaço ao longo do dia, nos principais meses do ano. A análise é feita com base em imagens sintetizadas e analíticas dos ambientes interiores, em condições de céu limpo (*CIE – Clear*)

A avaliação quantitativa da **sala 1** apresentou claramente a curva típica da iluminação lateral, onde foi possível observar o nível de iluminação a diminuir drasticamente com o aumento de distância em relação à janela. Foi possível constatar que a iluminação da sala se encontrava abaixo dos valores mínimos recomendados para um espaço de trabalho.

Já a **sala 2** mostrou que a localização das aberturas laterais conferiram um ambiente uniformemente iluminado e com valores superiores ao valor mínimo recomendado, atingindo assim um nível de iluminação satisfatório.

O **átrio** apresentou claramente um défice de iluminação natural devido às reduzidas dimensões das aberturas zenitais. Para além disso a luz precisa de percorrer a altura de um piso até chegar ao piso do átrio e o facto das aberturas se localizarem por cima dos acessos verticais faz com que a luz se concentre nesta área e não seja distribuída para o interior do espaço.

No que diz respeito ao desempenho do modelo tridimensional conclui-se, através da análise de gráficos e de tabelas, que os valores simulados são próximos dos valores obtidos *in situ*, no entanto mostram-se sempre inferiores.

Esta discrepância pode ser devido a imprecisões ocorridas durante as medições do FLD *in situ*, uma vez que só foram realizadas uma vez para cada ponto. Os materiais também podem ter contribuído para essa diferença, porque apenas se caracterizaram as reflectâncias dos materiais opacos, deixando de parte outras propriedades como a especularidade e a rugosidade.

Mas este facto não compromete o desenvolvimento das soluções alternativas, uma vez que se estas conseguissem atingir os níveis de iluminação satisfatórios no modelo, a solução real também conseguiria.

A **primeira alternativa** proposta pretendia maximizar o aproveitamento de luz natural, aumentando a área de envidraçado dos sistemas zenitais existentes, mantendo a iluminação pontual nos acessos verticais, conservando assim a identidade do espaço. Mas como os resultados obtidos não foram satisfatórios, houve a necessidade de inclinar as faces de algumas aberturas zenitais, para ser possível reflectir a luz em maior profundidade no espaço. Verificou-se através do quadro 18 que a alternativa 1.1, embora reduza a área de captação de luz é mais eficaz na distribuição desta, uma vez que o nível médio de FLD aumenta.

A **segunda alternativa** propõe novas aberturas zenitais, localizadas longitudinalmente junto às paredes, que simultaneamente marcam acontecimentos diferentes no átrio aproveitando essas superfícies para reflectir a luz. Optou-se por inclinar também umas das faces das aberturas zenitais aproveitando essa superfície para redireccionando a luz e diminuir as suas inter-reflexões no interior dos rasgos.

Os valores obtidos mostraram que foi possível aumentar o nível de iluminação natural geral, sendo o seu valor médio 1,0% (quadro 18). No entanto, através da análise pontual dos valores de FLD obtidos pela simulação concluiu-se que muito embora entre uma maior quantidade de luz difusa, esta não é devidamente distribuída, revelando-se insuficiente nos espaços mais profundos do átrio.

As alternativas aqui apresentadas conseguiram acentuar e enriquecer a leitura espacial e arquitectónica, mantendo o conceito do átrio. Mas pelos resultados obtidos, seria necessário projectar de raiz outros sistemas de iluminação natural que permitissem uma maior e melhor distribuição de luz no interior do espaço.

O resultado obtido pelas propostas permitiu concluir que uma área envidraçada por si só não consegue iluminar todos os espaços, sendo fundamental conhecer o seu percurso e dirigi-la até onde ela é necessária. Logo é muito importante conjugar a captação de luz com o seu redireccionamento, tornando-se essencial estudar e experimentar várias soluções de iluminação, até se alcançar a iluminação natural interior pretendida.

Quadro 18 – Comparação da área de vidro em relação à área de tecto útil, com os valores de FLD médios

	Existente	A 1	A 1.1	A 2	Tecto
Área	9 m²	71 m ²	67 m ²	102 m ²	720 m ²
FLD	0,3 %	0,8 %	0,9 %	1,0 %	-

A utilização do *software* Desktop Radiance nesta dissertação possibilitou compreender que este tipo de programas nem sempre são fáceis de manusear, requerem treino e experiência, para além do tempo que é necessário despende para realizar as simulações. No que diz respeito ao Desktop Radiance, a falta de publicações e informações actualizadas sobre as suas capacidades foi o maior obstáculo. A publicação mais relevante encontrada foi o manual do programa, mas este apenas descreve os comandos, sendo pouco didáctico e muito incompleto.

Este *software* é baseado no Radiance, um *software* rigoroso e fiável no cálculo de iluminação, e trabalha como um *plug-in* no AutoCAD, sendo a execução do modelo beneficiada pela familiarização deste programa.

Infelizmente o Desktop Radiance mostra-se desactualizado face às necessidades actuais, a sua última versão é de 2002. O seu interface é complexo uma vez que é necessário conjugar correctamente todos os parâmetros disponíveis, sendo a colocação das câmaras e a aplicação dos materiais pouco interactiva, pois estas escolhas só se percebem através da imagem simulada.

Por outro lado possui uma extensa biblioteca de materiais, permite personalizar materiais e possibilita análises qualitativas e quantitativas de iluminação natural. Mas as simulações geram vários erros durante o processo, sendo necessário reiniciar todo o procedimento e por vezes o próprio programa. Existem parâmetros que não ficam em memória, tendo que se inserir novamente os valores de cada vez que se pretende realizar uma simulação. Por último, mas não menos importante, é necessário despende tempo a experimentar várias alternativas e parâmetros, até se obter os resultados pretendidos.

O trabalho desenvolvido permitiu concluir que é muito importante incorporar a iluminação natural desde o início do projecto, para um correcto dimensionamento de forma a proporcionar o conforto visual ao utilizador do espaço. Se essa avaliação for realizada com recurso a simulações em modelos virtuais é possível explorar de uma forma rápida e precisa várias soluções arquitectónicas e optar pela mais adequada.

A utilização deste tipo de ferramenta trás muita liberdade na escolha e ensaio de dimensões, formas e materiais, mas embora seja necessário o conhecimento e aquisição de prática no uso do *software*, é um investimento que vale a pena.

Capítulo 5

BIBLIOGRAFIA

Livros:

BAKER, Nick & STEEMERS, Koen – *Daylight Design of Buildings*. S/ed. Londres: James & James, 2002.

BAKER, N. & FANCHIOTTI, A. & STEEMERS, K. – *Daylighting in Architecture: a European Reference Book*. S/ed. Londres: James & James, 1993.

BROWN, G. Z. & DEKAY, Mark – *Sun, Win & Light: Architectural Design Strategies of Buildings*. 2ª Edição. New York: John Wiley, 2000.

BÜTTIKER, Urs & BEAN, David, trad. - *Louis I. Kahn: licht und raum / light and space*. S/ed. Basel: Birkhäuser Verlag, 1993.

Comissão das Comunidades Europeias – *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*. 1ª Edição. Lisboa: Ordem dos Arquitectos, 2001.

EGAN, M. David & OLGAY, Victor W. - *Architectural lighting*. 2ª Edição. Boston: McGraw-Hill, 2002.

HOPKINSON, R. G. & PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. – *Iluminação Natural*. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – *Vocabulário Internacional de Iluminação*. 1970. Trabalho integrado no Planeamento de Estudos no Domínio dos Edifícios. Lisboa: LNEC, 1986.

LAM, M. C. William – *Sunlighting as Formgiver*. S/ed. Van Nostrand Reinhold, Outubro, 1986.

LBNL – *Desktop Radiance: User Manual*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department. (disponível para download gratuito em <http://gaia.lbl.gov/iea21/> - [13/07/2008])

LICHT, Ulrike Brandi – *DETAIL Practice Lighting Design*. Birkhauser-Edition Detail, 2006.

NEVES, José Manuel das – *Anuário de Arquitectura 7*. Lisboa: Caleidoscópio, Julho 2004.

O'CONNOR, Jennifer – *Tips for daylighting with windows: the integrated approach*. S/ed. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.

OLGYAY, Victor – *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4ª Edição. Princeton, N.J.: Princeton University Press, cop. 1963.

PHILLIPS, Derek – *Daylighting: Natural Light In Architecture*. S/ed. Amsterdam: Elsevier, 2004.

RUCK, Nancy - *Daylighting in Buildings. A source Book on Daylighting Systems and Components*. IEA - International Energy Agency, Julho, 2000 (disponível para download gratuito em <http://gaia.lbl.gov/iea21/> - [02/08/2008])

SCHILER, Marc E. & JAPEE, Shweta A. - *Interior illuminance, daylight controls and occupant response*. Vital Signs Project, University of Southern California, School of Architecture, Los Angeles, Maio 1996. (disponível para download gratuito em <http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns/res/rps.html> - [02/08/2008])

VIANNA, Nelson Solano & GONÇALVES, Joana Carla Soares – *Iluminação e Arquitectura*. 2ª Edição. São Paulo: Geros, Março 2004.

Teses:

CHRISTAKOU, Evangelos Dimitrios – *A simulação computacional da luz natural aplicado ao projecto de arquitectura*. (Dissertação de Mestrado). Brasília: PPG-FAU, Dezembro, 2004

GUERREIRO, Inês Gonçalves Toronjo – *A luz natural na materialização da arquitectura*. (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura) Lisboa: UTL, Instituto Superior Técnico, Dezembro, 2007

OLIVEIRA, Fernanda Sá de – *Iluminação natural em museus: um estudo em Lisboa*. (Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Construção). Lisboa: UTL, Instituto Superior Técnico, 2005

MATOS, Michele – *Uso de ferramenta computacional para análise de sistemas de iluminação natural: Estudo de caso no prédio de Engenharia Civil*. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil no curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina) Florianópolis: Julho, 2004

SANTOS, António José Costa dos – *Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação " in situ "*. (Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física, área de especialização Ambiente em Edifícios, pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa). Lisboa: LNEC, 2003

Sites:

Arquitectos Aires Mateus – <http://www.airesmateus.com/>

Desktop Radiance – <http://radsite.lbl.gov/radiance/>

Lawrence Berkeley National Laboratory - <http://btech.lbl.gov/>

Lighting Research Center – <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/>

MIT - Daylighting Lab – <http://daylighting.mit.edu/>

Normalização em Conforto Ambiental – <http://www.labee.ufsc.br/conforto/>

Reitoria da Universidade Nova de Lisboa – <http://www.unl.pt/reitoria/reitoria>

Seattle Daylighting Lab – <http://www.daylightinglab.com/>

The Daylight Site – <http://www.thedaylightsite.com/>

ANEXOS

Índice

ANEXO I – TABELAS	A. 3
ANEXO II – CARACTERÍSTICAS DO LUXÍMETRO.....	A. 7
ANEXO III – ESTUDO DE CASO: DESENHOS E FOTOGRAFIAS.....	A. 9
ANEXO IV – SIMULAÇÕES.....	A. 16

REFLECTÂNCIA DE ALGUNS MATERIAIS

Surface type	Description	Reflectance
Ceilings	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	White emulsion paint on acoustic tile	0.7
	White emulsion paint on no-fines concrete	0.6
	White emulsion paint on wood-wool slab	0.5
Walls	White emulsion paint on plain plaster surface	0.8
	Tiles: white glazed	0.8
	Brick: white gault	0.7
	Plaster, pink	0.65
	White asbestos cement	0.4
	Brick: concrete, light grey	0.4
	Portland cement, smooth	0.4
	Stainless steel	0.35
	Brick, fletton	0.3
	Concrete: light grey	0.25
	Portland cement, rough (as board marked)	0.25
	Brick, London stock	0.25
	Timber panelling: light oak, mahogany, gaboona	0.25
	Timber panelling: teak, afromosia, medium oak	0.2
	Brick: concrete, dark grey	0.2
	Brick: blue engineering	0.15
	Chalkboard, painted black	0.05
Floors and furniture	Paper, white	0.8
	Cement: screed	0.45
	PVC tiles: cream	0.45
	Carpet: light grey, middle buff	0.45
	Timber: birch, beech, maple	0.35
	Timber: oak	0.25
	PVC tiles: brown and cream marbled	0.25
	Carpet: turquoise, sage green	0.25
	Timber: iroko, kerning, medium oak	0.2
	Tiles: cork, polished	0.2
	Quarry tiles: red, heather, brown	0.1
	Carpet: dark, 'low maintenance'	0.1
	PVC tiles: dark brown	0.1
	Timber: dark oak	0.1
	Other	Asphalt
Moist earth		0.07
Salte (dark grey)		0.08
Gravel		0.13
Water		0.15
Grandolite		0.17
Bluestone, sandstone		0.18
Macadam		0.18
Vegetation (average)		0.25
Cement		0.27
Dark red glazed brick		0.3
Green grass		0.33
Dark buff brick		0.4
Light buff brick		0.48
Concrete		0.05–0.5
Marble (white)		0.45
Oak		0.15–0.05
Old white paint		0.55
New white paint		0.75
Old snow		0.64
New snow	0.74	
Specular reflectance	Aluminium commercial grade (anodised and polished)	0.7
	Aluminium super-purity (anodised and polished)	0.8
	Surface aluminised glass or plastic	0.94
	Chromium (plate quality)	0.65
	Stainless steel (polished)	0.6
Steel: white paint glossy (specular only)	0.05	

Sources: CIBSE, 1994 *Code for Interior Lighting*, CIBSE, London.; Baker, N, Fanchiotti A and Steemers K; (eds), 1993 *Daylighting in Architecture*, James & James, London.
Cayless M.A and Marsden AM (eds); 1983 *Lamps and Lighting*, Edward Arnold, London.

TRANSMITÂNCIA DE ALGUNS VIDROS

Glass type	Light transmittance	Reflectance
Single pane		
Clear glass 6 mm	0.89	0.08
Clear glass 6 mm low-e	0.84	0.10
Clear acrylic 6 mm	0.92	0.08
Diffusing white acrylic 6 mm	0.17–0.72	–
Clear polycarbonate	0.83	–
Double pane with clear inner		
Clear glass 6 mm	0.76	0.10
Tinted 4–12 mm		
Green	0.53–0.70	0.10
Bronze	0.24–0.55	0.10
Grey	0.17–0.49	0.07
Reflective 6–10 mm		
Silver	0.09–0.26	0.38–0.16
Bronze	0.09–0.22	0.19–0.17
Blue	0.18–0.35	0.19–0.11
Green	0.23–0.53	0.13–0.15
Double glazing for high thermal performance		
Aerogel and transparent insulation glazings		
Monolithic aerogel	0.84–0.87	
Polycarbonate capillary transparent insulation materials (TIM)	0.77–0.78	
Polycarbonate honeycomb TIM	0.84	
Evacuated glazing		
One low-e (0.2)	0.75	
One low-e (0.1–0.2)	0.68	
Glazing with integrated blinds		
Lamellae open	0.5–0.08	
Lamellae closed	0.05–0.15	
Triple glazing		
Triple glazing	0.55	
Triple-glazed unit, 2 low-e (argon gas fill)	0.62–0.67	
Triple-glazed unit, 2 low-e (krypton gas fill)	0.63	

Source: abstracted from manufacturer's data.

Note 1: Values indicative only; do not use for design specification – refer to manufacturer's data.

Note 2: Values are for normal incidence. For diffuse transmittance x 0.91, for diffuse reflectance x 1.1.

SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Software/Plataforma	Desenvolvido por
ADELINE IBM-PC/DOS	Fraunhofer Institute for Buildings – IBP - Suíça
AGI 32 IBM PC/WINDOWS	LIGHTING ANALYSTIS Inc. EUA
DAYSIM Linux, Mac OSX, Windows	Institute for Research in Construction Canadá
DeLIGHT IBM PC/WINDOWS	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA
DESKTOP RADIANCE IBM PC/WINDOWS	GREG WARD no Lawrence Berkeley Laboratory California EUA e
ECOTECT IBM PC/WINDOWS	SQUARE ONE <i>research</i> PTY LTD - AUS
GENELUX-WEB WEB	Département Génie Civil et Bâtiment, França
HELIOS 32 IBM PC/WINDOWS	Heart Consultants Limited EUA
INSPIRER IBM PC/WINDOWS	INTEGRA Japão
LESO-DIAL IBM PC/WINDOWS	École Polytechnique Federale Lausanne EPFL - Suíça
LIGHTSCAPE IBM PC/WINDOWS	DISCREET – AUTODESK EUA
LIGHTSKETCH IBM PC/WINDOWS	University of California Energy Institute EUA
LIGHSTUDIO IBM PC/WINDOWS	Die Lichtplaner Alemanha
LUMEM MICRO IBM PC	Lighting Technologies Inc. Colorado EUA
POV-RAY Linux, Mac OSX, Windows	Persistence of Vision Raytracer Pty. Ltd. EUA
RADIANCE Linux, Mac OSX, SGI	GREG WARD no Lawrence Berkeley Laboratory California EUA e ...
RAYFRONT Linux, Mac OSX, Windows	ALWARE - Alemanha
RAYSHADE Linux, Mac OSX, DOS, AMIGA	STANFORD UNIVERSITY EUA
RENDERPARK Linux	Computer Graphics Research Group Katholieke Universiteit Leuven Belgica
RELUX IBM PC/WINDOWS	INFORMATIK AG Alemanha
SKYVISION IBM PC/WINDOWS	Institute for Research in Construction Canadá
SUPERLITE Mainframes, IBM-PC/DOS	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA
VIRTUAL LIGHTING SIMULATOR WEB	Lawrence Berkeley Laboratory California EUA

VALORES DE ILUMINAÇÃO RECOMENDADOS NO PLANO DE TRABALHO

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			B	2	
	Factories					
	Offices Recreational buildings					
Woodwork Metalwork Engineering (teaching)	Schools	500	16	A	5	21
	Colleges			B	2	
	Training centres					
	Recreational buildings					
Laboratories	Educational buildings	500 to 750 (300 to 500 on bench, in hospitals)	16	A	5	21
	Hospitals			B	2	
	Offices					
	Research establishments Factories					
Staff rooms Common rooms	Educational buildings	150 to 300 (100 average in hospitals)	19	A	5	23
	Hospitals			B	2	
	Offices					
	Factories					
Offices (enclosed)	Offices	500 (300 on desks, in hospitals)	19	A	5	23
	Educational buildings			B	2	
	Factories					
	Hospitals					
	Banks					
	Insurance buildings					
	Post offices Libraries					
Deep (open) plan offices Landscaped offices	Offices	500 to 750	19	A	5	23
	Colleges			B	2	
	Banks					
	Insurance buildings, etc					
Typing Business machines Punch card	Offices	500 to 750	19	A	5	23
	Colleges			B	2	
	Banks					
	Post offices, etc					
Computers	Offices	500 to 750 Limit illuminance where VDUs are used	19	A	5	23
	Banks			B	2	
	Educational buildings					
	Hospitals					
Drawing offices Design offices	Educational buildings	500 to 750 plus local lighting to 1000 on boards	16	A	5 1 (in supplemented area)	21
	Offices			B		
	Factories					
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			B	1 (in supplemented area)	
	Hospitals, etc					

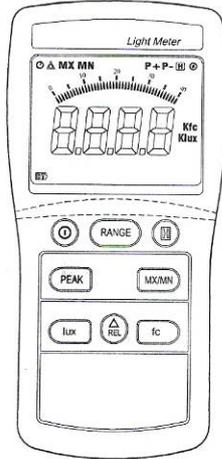
* A - Full daylighting, B - Supplemented daylighting.

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

EQUIPAMENTO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES *IN SITU*

TES DIGITAL ILLUMINANCE METER

TES-1335
INSTRUCTION MANUAL



TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP

I INSTRUCTION

- The digital illuminance meter is a precision instrument used to measure illuminance (lux, footcandle) in the field.
- It meets CIE photopic spectral response.
- It is fully cosine corrected for the angular incidence of light.
- The illuminance meter is compact, tough and easy to handle owing to its construction.
- The light sensitive component used in the meter is a very stable, long-life silicon photo diode and spectral response filter.
- U.S. Pat. No. Des. 446,135
- U.S. Pat. No. Des. 469,025

II FEATURES

- Light-measuring levels ranging from 0.01 lux ~ 0.1 klux / 0.01 fc ~ 0.01 kfc, repeatedly.
- High accuracy and rapid response.
- Data-hold function for holding measuring values.
- Unit and sign display for easy reading.
- Automatic zeroing.
- Meter corrected for spectral relative efficiency.
- Correction factor need not be manually calculated for non-standard light sources.
- Short rise and fall times.
- Peak-hold function for tracing the peak signal of light pulse with least duration 10 μ s and keeping it.
- Capable of selecting measuring mode in lux or fc scale, alternatively.
- Auto power off 30 minutes.
- Maximum and minimum measurements.
- Relative reading function.

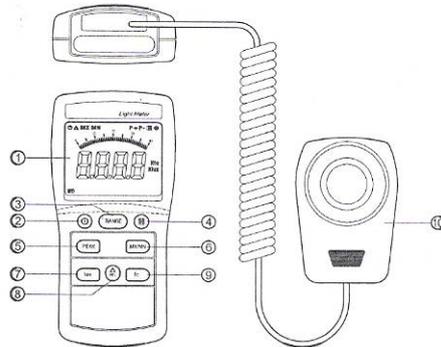
1

III SPECIFICATIONS

- Display : 3-3/4 digit LCD with high speed 42 segment bargraph.
- Measuring Range : 40.00 lux, 400.0 lux, 4000 lux, 40.00 Klux and 400.0 klux / 40.00 fc, 400.0 fc, 4000 fc, 40.00 Kfc. Note : 1fc=10.76Lux , 1Klux=1000Lux , 1Kfc=1000fc
- Overrange Display : LCD will show "OL" symbol.
- Spectral Response : CIE Photopic. (CIE human eye response curve).
- Spectral Accuracy : CIE VA function $f'_{\lambda} \leq 6\%$
- Cosine Response : $f'_{\theta} \leq 2\%$
- Accuracy : $\pm 3\%$ rdg $\pm 0.5\%$ f.s. ($\pm 4\%$ rdg ± 10 dgts as $> 10,000$ lux/fc range). (calibrated to standard incandescent lamp at color temperature 2856K).
- Repeatability : $\pm 2\%$.
- Temperature Characteristics : $\pm 0.1\%/^{\circ}\text{C}$.
- Sampling Rate : 13.3 times/sec of analog bar-graph indication ; 1.3 times/sec of digital display.
- Photo Detector : One silicon photo diode and spectral response filter.
- Operating Temperature & Humidity : 0°C to 40°C (32°F to 104°F) & 0% to 80% RH.
- Storage Temperature and Humidity : -10°C to 50°C (14°F to 140°F) & 0% to 70% RH.
- Power Source : 6 pcs size AAA battery.
- Battery life (typical) : 400 hours (carbon zine).
- Photo detector Lead Length : 150 cm (approx.).
- Photo detector Dimensions : 92Lx 60Wx 29H (mm);
- Meter Dimensions : 150Lx 72Wx 35H (mm);
- Weight : 320g .
- Accessories : Carry case, instruction manual, battery.

2

IV NAME OF PARTS AND POSITIONS



1. LCD Display : 3-3/4 digit displays with a maximum reading of 3999 , and the indicating signs of measured values, unit function symbols, and decimal points etc are display.
2. Power Control key : The power switch key turns the illuminance meter ON or OFF.
3. Range Selector key : It indicates 40.00 lux, 400.0 lux, 4000 lux, 40.00 Klux 400.0 klux/40.00 fc, 400.0 fc, 4000 fc, 40.00 Kfc total 5 range for lux and 4 range for fc.
4. Data-Hold key : Data Hold control key.
5. Peak Hold key : Peak Hold recorder control key.

3

6. MX/MN key : Maximum and Minimum reading recorder control key.
7. Lux key : Pressing the Lux key selects taking measurement of illuminance in lux scale.
8. Relative Reading key : Relative reading control key.
9. fc key : Pressing the fc key selects taking measurement of illuminance in footcandle scale; and, 1 footcandle=10.76 lux.
10. Photo Detector.

V OPERATING INSTRUCTIONS

1. Power-up : Press the power key to turn the meter ON or OFF.
2. Selecting the lux or fc scale : Set the range selection switch to desired lux or fc range.
3. Remove the photo detector cap and face it light source in a horizontal position
4. Read the illuminance nominal from the LCD display.
5. Overrange : If the instrument only display "OL", the input signal is too strong, and a higher range should be selected.
6. Data-Hold mode : Press the HOLD key to select Data-Hold mode. When HOLD mode is selected, the illuminance meter stops all further measurements. Press the HOLD key again to exit DATA-HOLD mode. Then it resumes normal operation.
7. Peak-Hold recorder mode : Press and hold down PEAK key until display shown the "CAL" letter, then press PEAK key cycle through P+ and P- recorder mode, and expose the photo detector to light pulse measuring field. Press and hold down PEAK key 2 seconds to exit PEAK recorder mode, then the meter will resume normal operation.

4

VIII MAINTENANCE

1. The white plastic disc on the top of the detector should be cleaned with a damp cloth when necessary.
2. Do not store the instrument where temperature or humidity is excessively high.
3. The reference level, as marker on the face plate, is the tip of the photo detector globe.
4. The calibration interval for the photo detector will vary according to operational conditions, but generally the sensitivity decreases in direct proportion to the product of luminous intensity by the operational time. In order to maintain the basic accuracy of the instrument, periodic calibration is recommended.

IX RECOMMENDED ILLUMINATION

1fc = 10.76 Lux

LOCATIONS	Lux	fc
OFFICE		
Conference, Reception room.	200 ~ 750	18 ~ 70
Clerical work	700 ~ 1,500	65 ~ 140
Typing drafting	1000 ~ 2,000	93 ~ 186
FACTORY		
Visual work at production line	300 ~ 750	28 ~ 70
Inspection work	750 ~ 1,500	70 ~ 140
Electronic parts assembly line	1500 ~ 3,000	140 ~ 279
Packing work, Entrance passage	150 ~ 300	14 ~ 28

6

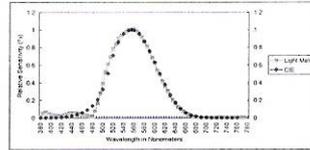
8. Maximum and Minimum recorder mode : Press MX/MN key to cycle through Maximum (MX) reading, Minimum (MN) reading and current reading (MX/MN blink) recorder mode. Press MX/MN key two seconds to exit this mode.
9. Relative reading mode : Press Δ REL key to enter Relative mode. The display shown zero value and the current reading will be stored as a zero-in value. Press again to exit this mode.
10. When the measurement is completed, replace the photo detector cap and turn the meter off.

VI BATTERY CHECK-UP & REPLACEMENT

1. As the battery power is not sufficient, LCD will display "BT" : and, replacement of one new batterie type 6 \times 1.5V is required.
2. After turning off the meter, press the battery cover and push in the direction of the arrow to open.
3. Disconnect the battery from the instrument and replace it with a standard 6 \times 1.5V battery and go for the cover.

VII SPECTRAL SENSITIVITY CHARACTERISTIC

- To the detector, the applied photo diode with filters makes the spectral sensitivity characteristic almost meet C.I.E. (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION) photopic curve $V(\lambda)$ as the following chart described.



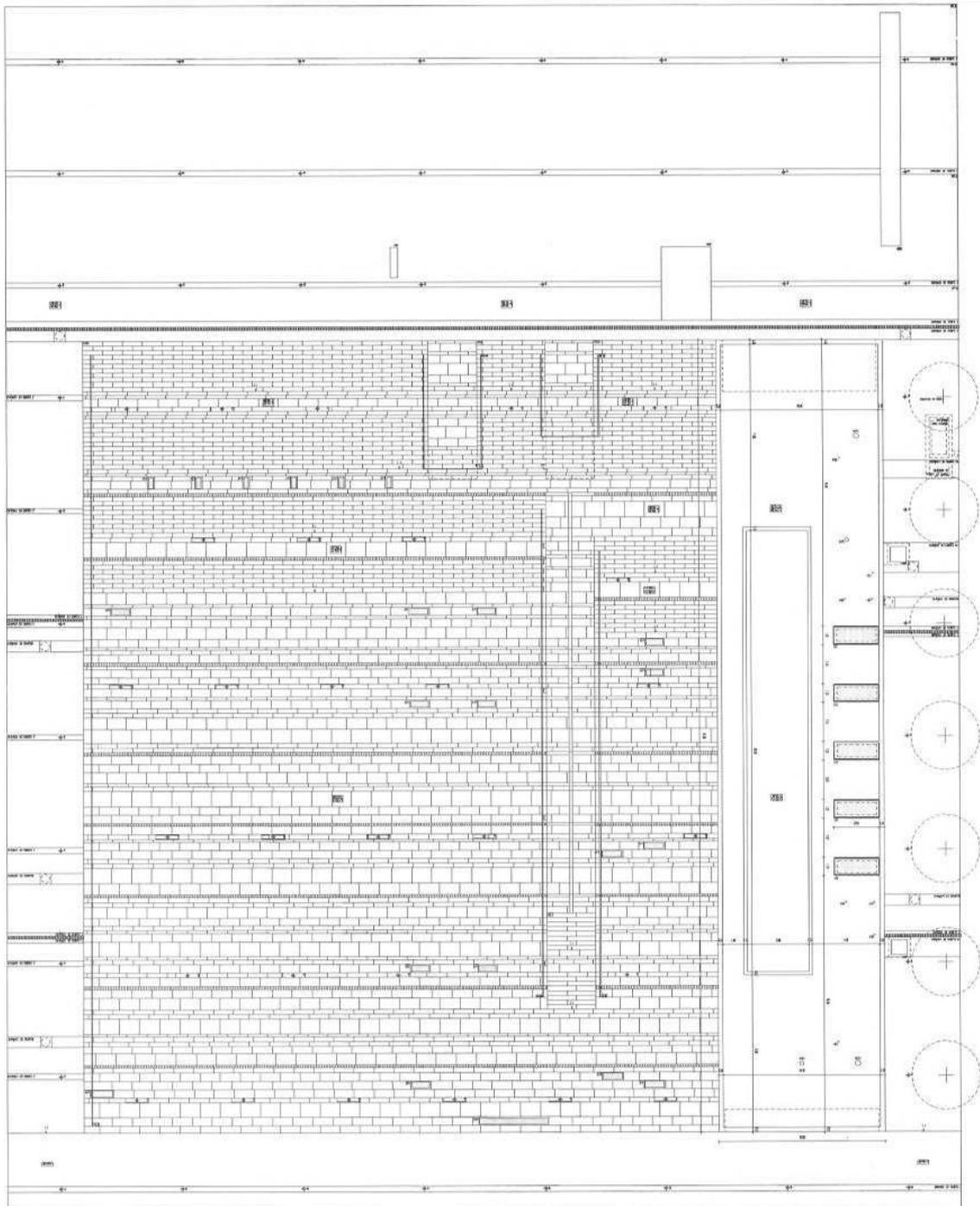
5

HOTEL		
Public room, Cloakroom	100 ~ 200	9 ~ 18
Reception	200 ~ 500	18 ~ 47
Cashier	750 ~ 1000	70 ~ 93
STORE		
Indoors Stairs Corridor	150 ~ 200	14 ~ 18
Show window, Packing table	750 ~ 1,500	70 ~ 140
Forefront of show window	1500 ~ 3,000	140 ~ 279
HOSPITAL		
Sickroom, Warehouse	100 ~ 200	9 ~ 18
Medical Examination room	300 ~ 750	28 ~ 70
Operating room		
Emergency Treatmet	750 ~ 1,500	70 ~ 140
SCHOOL		
Auditorium, Indoor Gymnasium	100 ~ 300	9 ~ 28
Class room	200 ~ 750	18 ~ 70
Laboratory, Library, Drafting, room	500 ~ 1,500	47 ~ 140

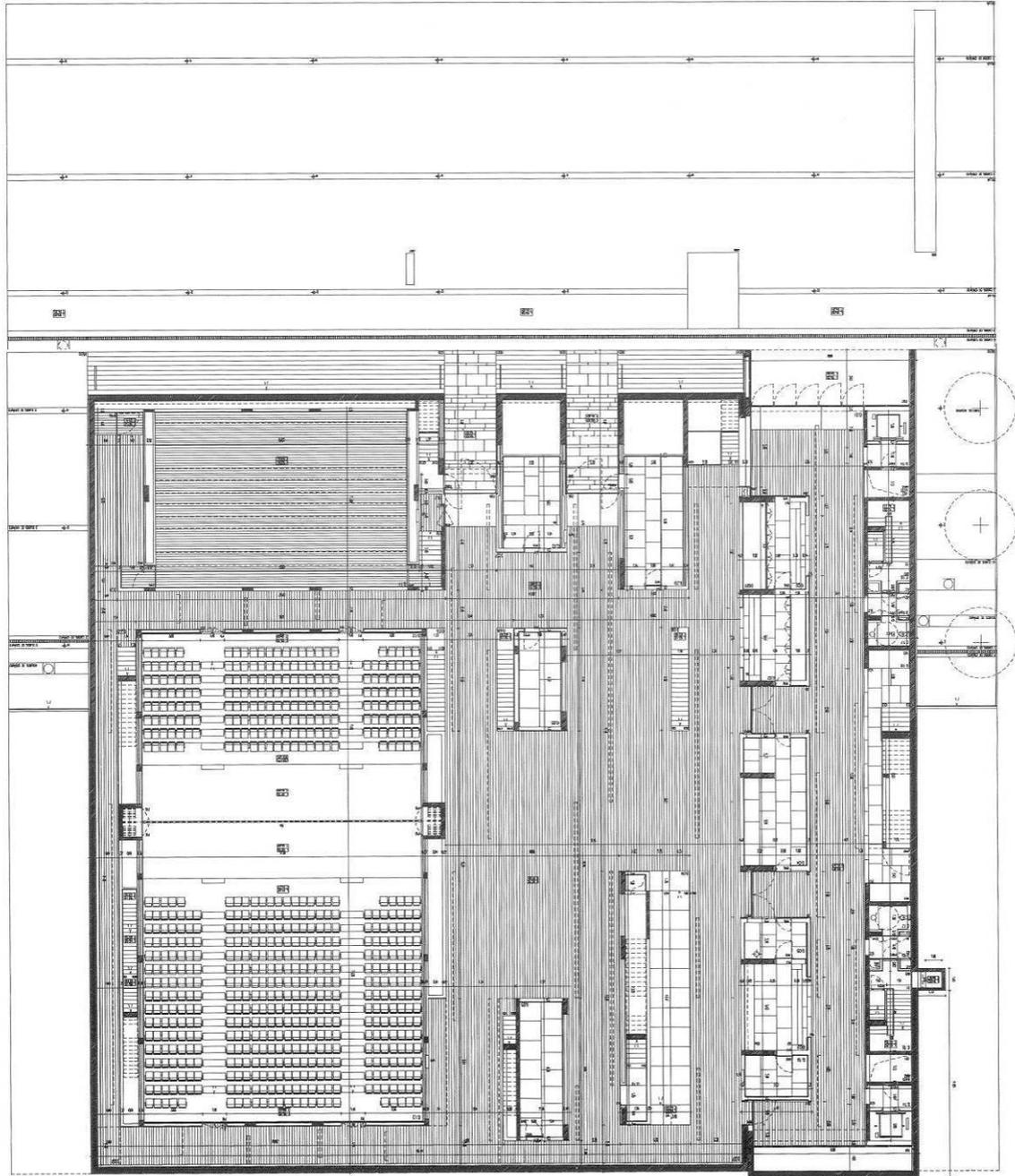
TES TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP.
 7F, No. 31, Lane 513, Rui Guang Road, Neihu Dist. Taipei, Taiwan, R. O. C.
 Tel : (02) 2799-3660 Fax : 886-2-2799-5099
 E-Mail : tes@ms9.hinet.net http://www.tes.com.tw

Feb-2003-2

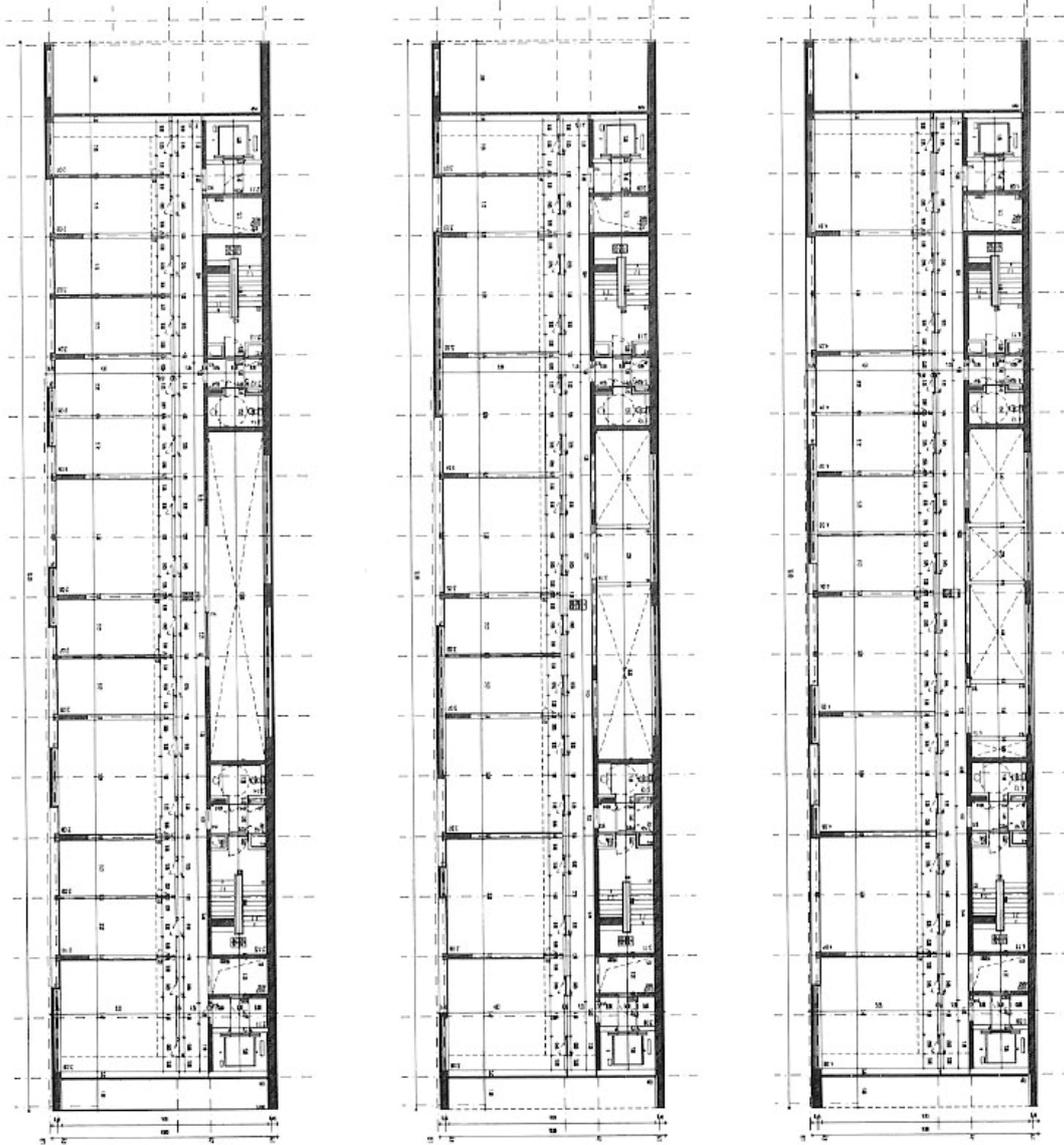
PLANTA DA COBERTURA



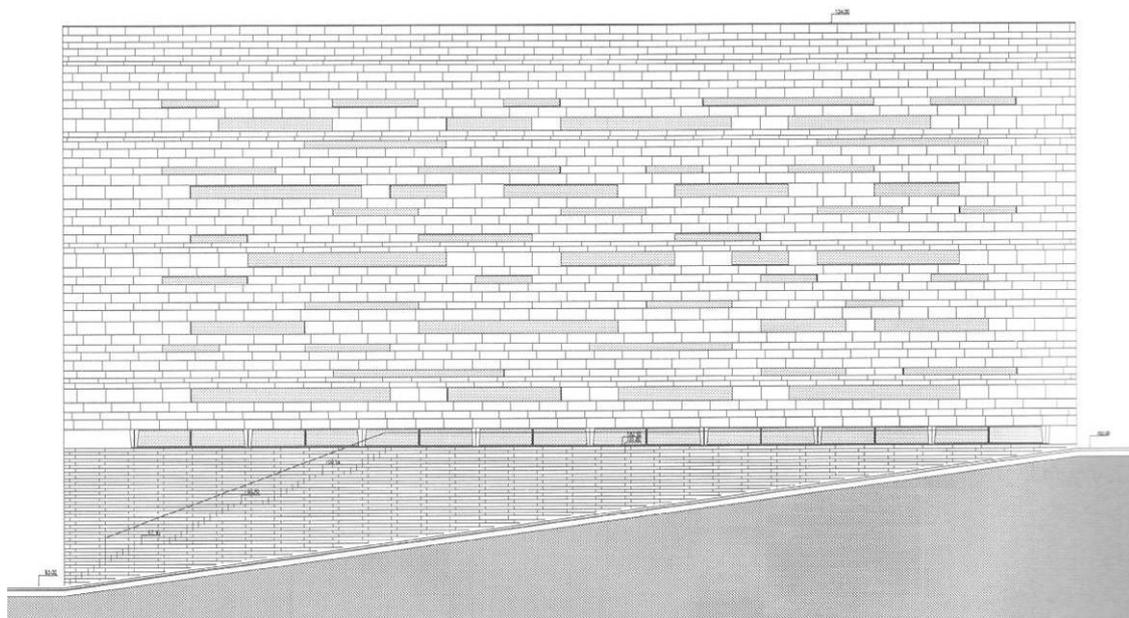
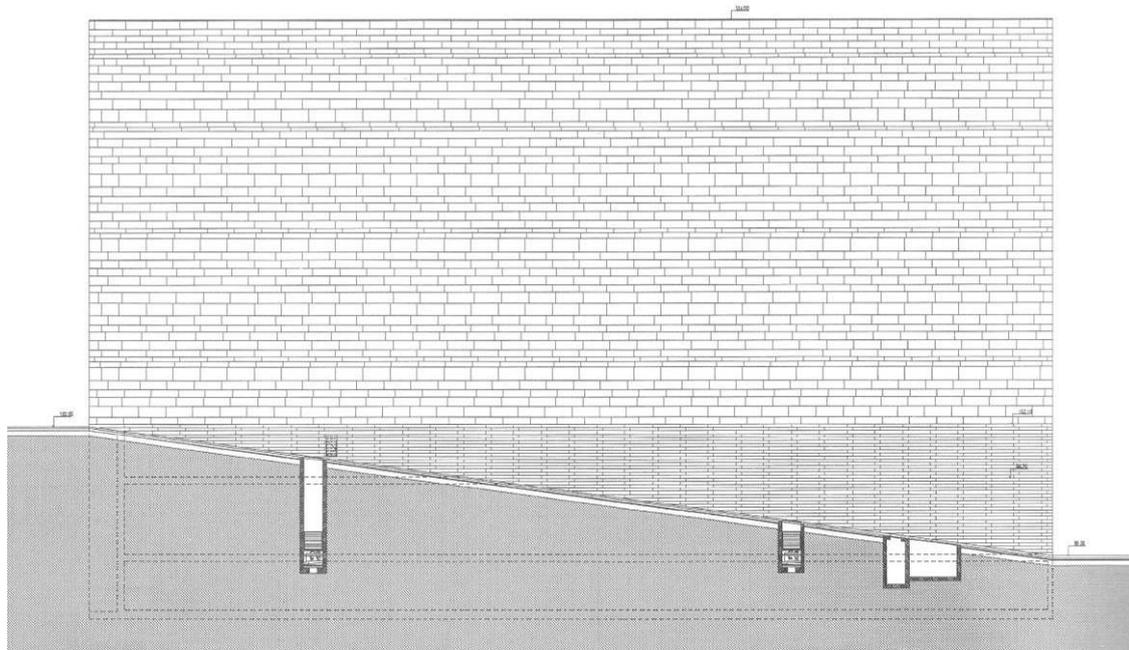
PLANTA DO PISO 0



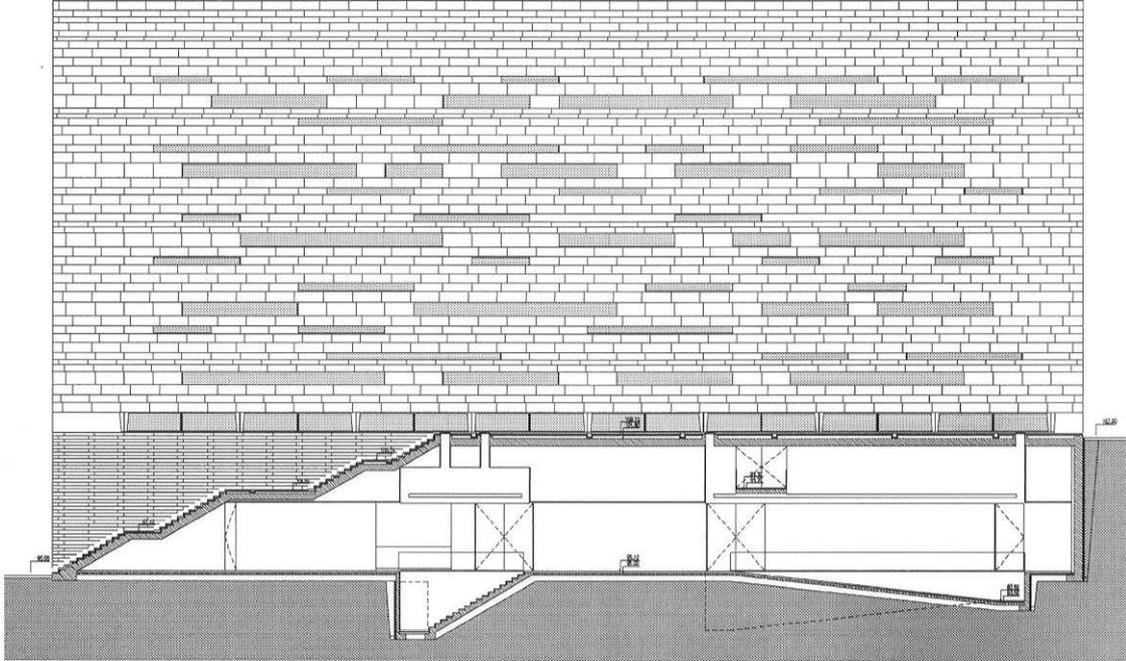
PLANTA DO PISO 2, 3 E 4



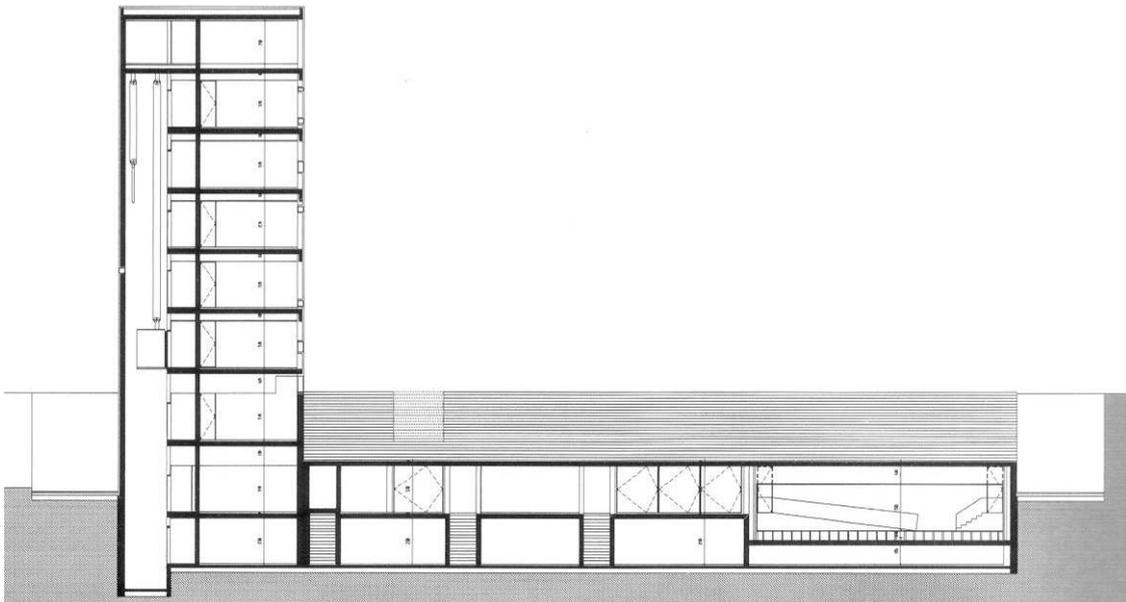
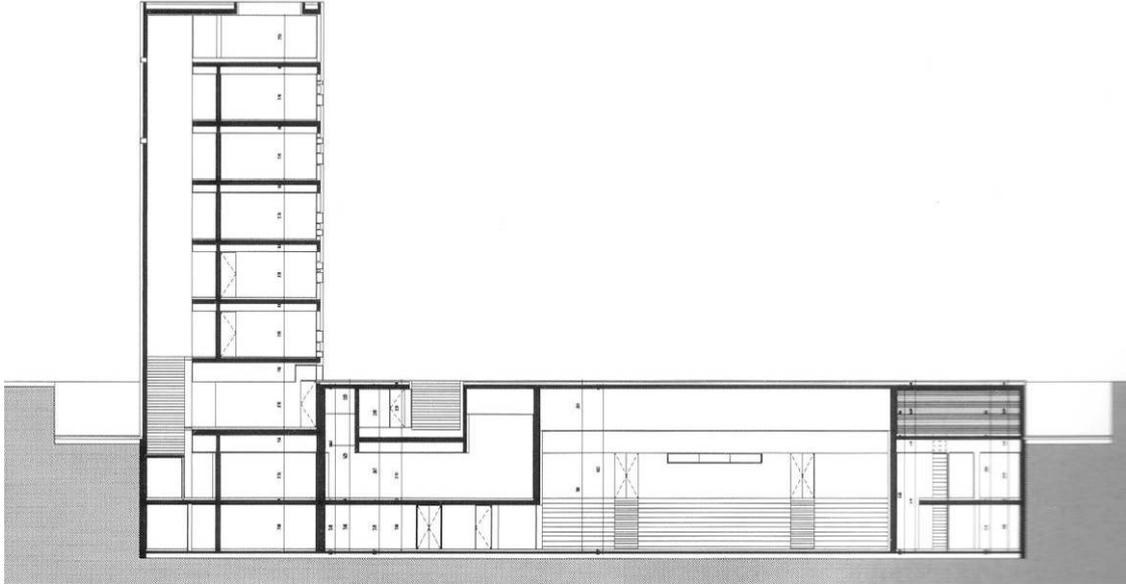
ALÇADOS



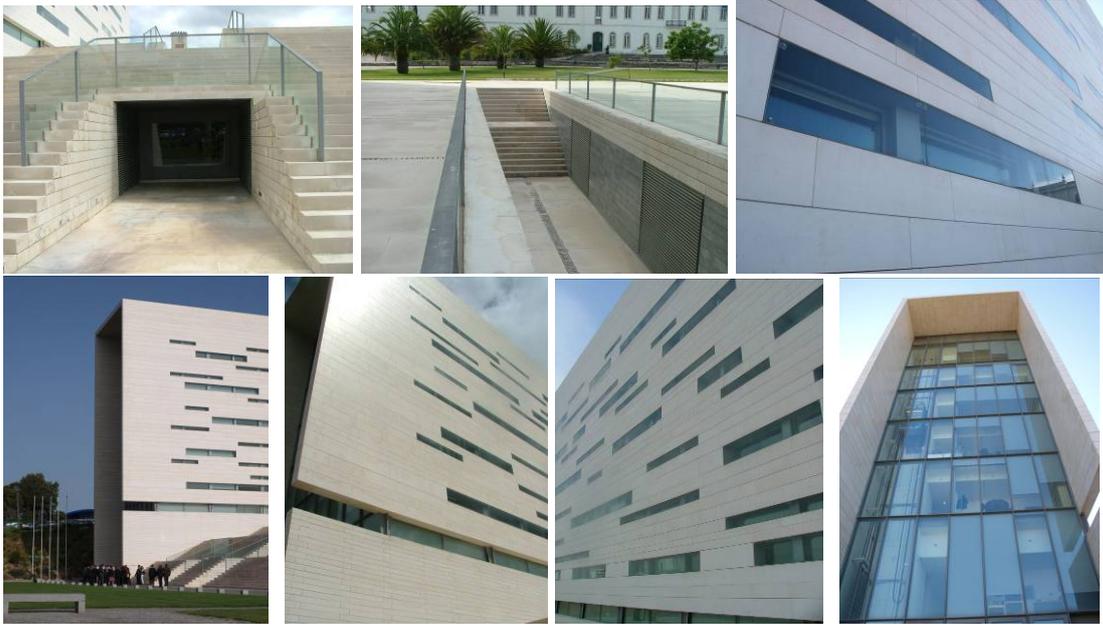
CORTES



CORTES



FOTOGRAFIAS



SALA 1



SALA 2



ÁTRIO



SALA 1 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO

9H



12H

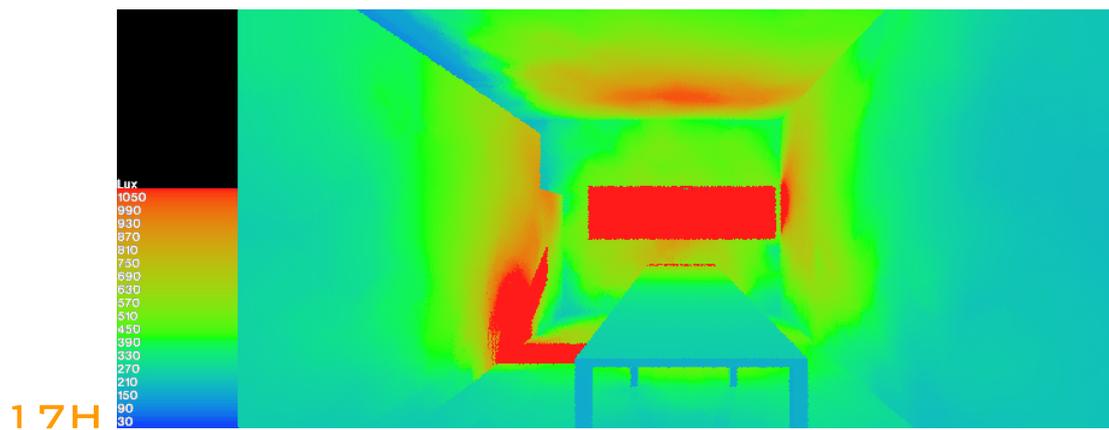
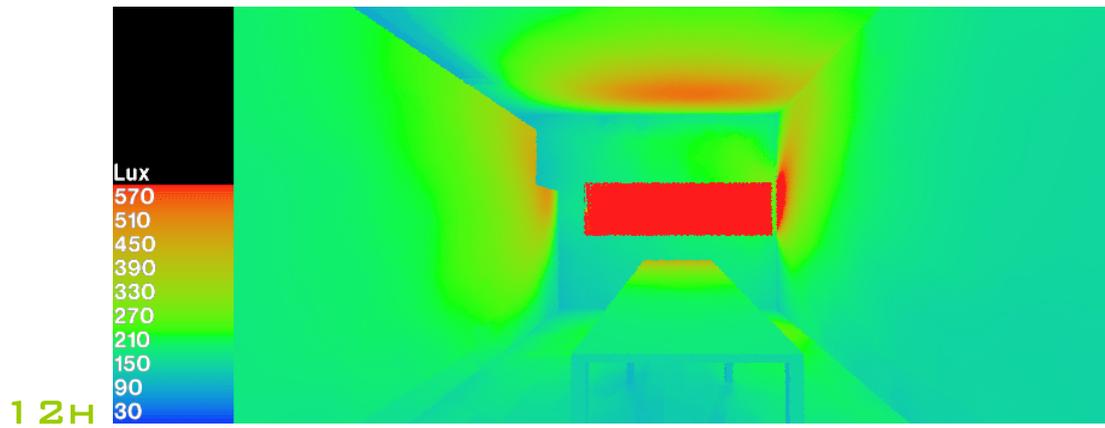
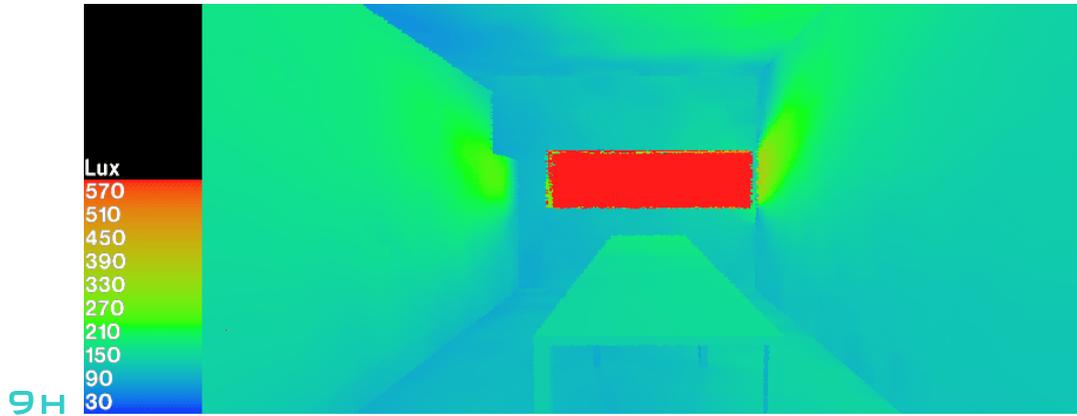


17H



SALA 1 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO



SALA 1 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

EQUINÓCIO DA PRIMAVERA
21 MARÇO / SETEMBRO

9H



12H

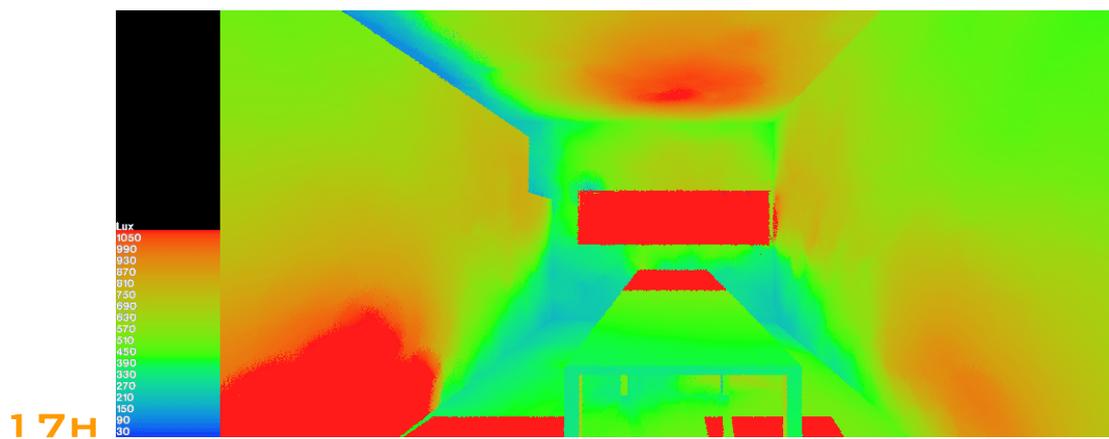
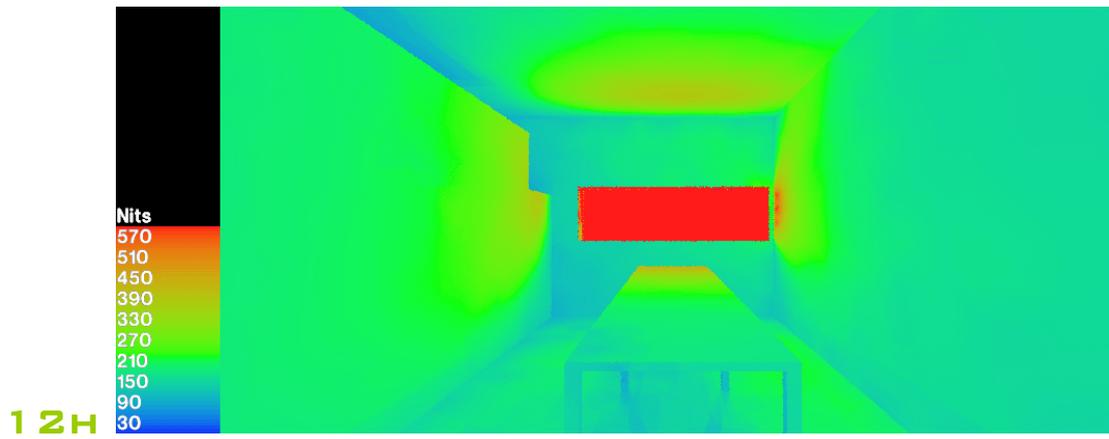
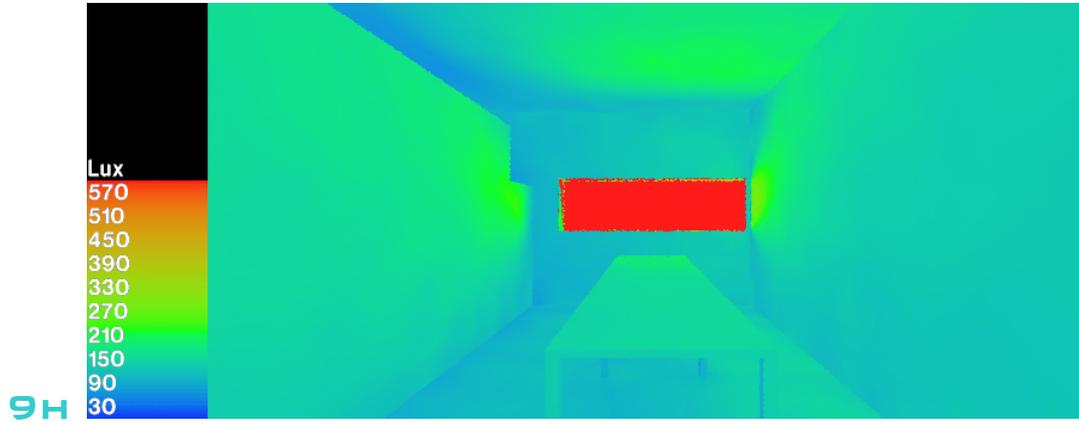


17H



SALA 1 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

EQUINÓCIO DA PRIMAVERA
21 MARÇO / SETEMBRO



SALA 1 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE INVERNO
21 DEZEMBRO

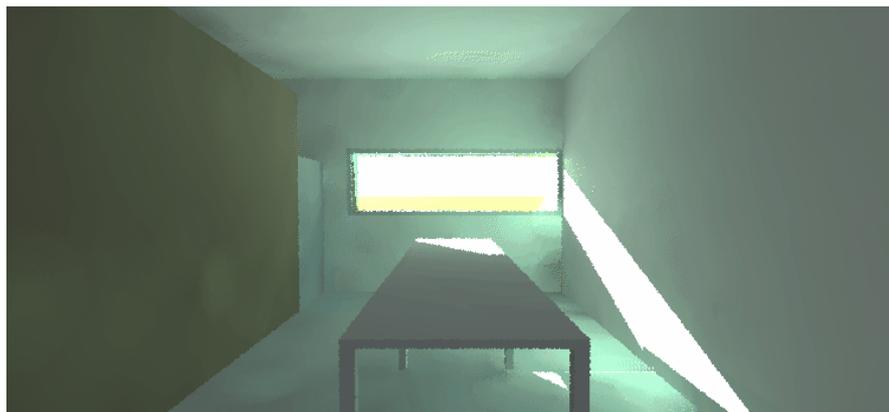
9H



12H

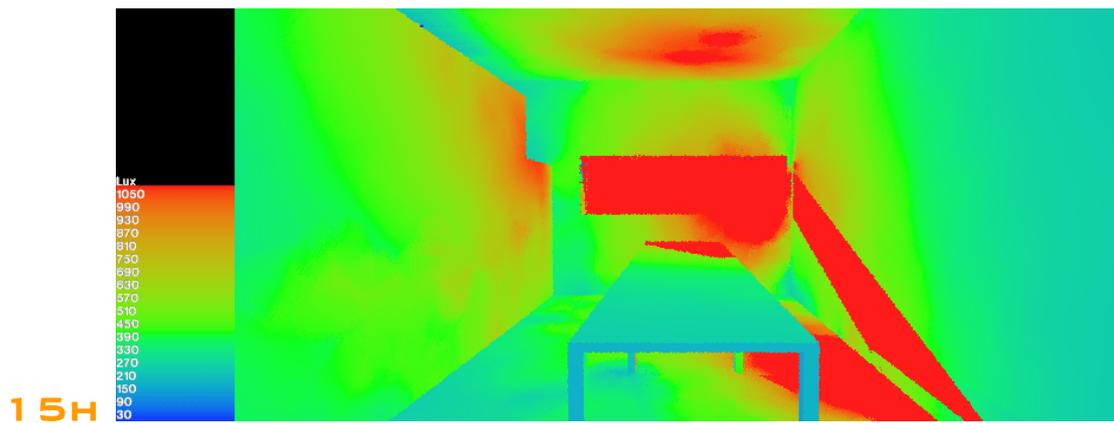
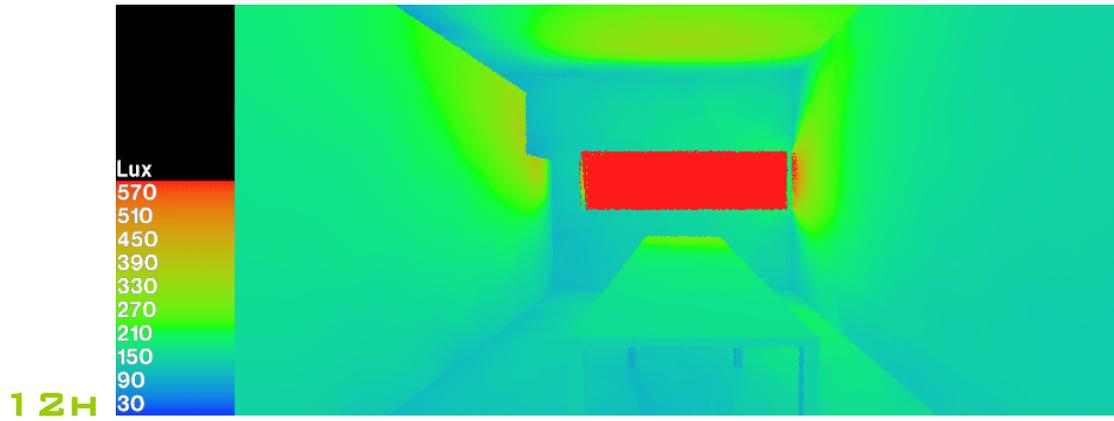
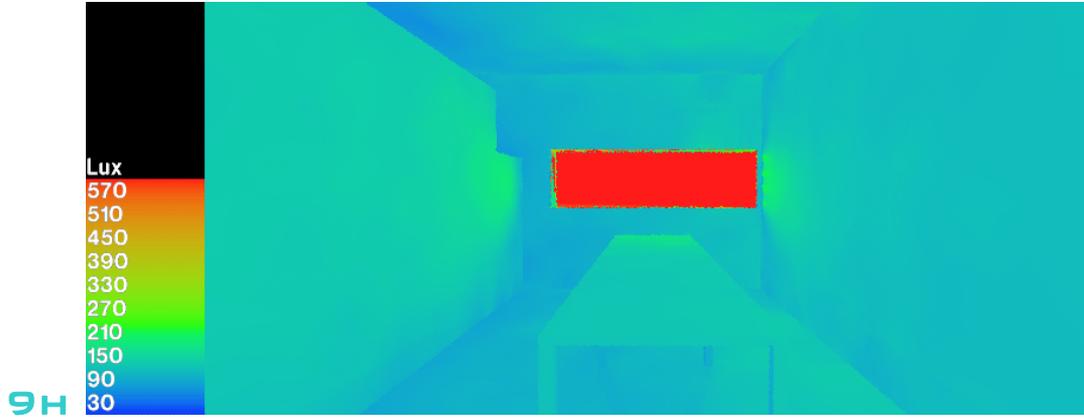


15H



SALA 1 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

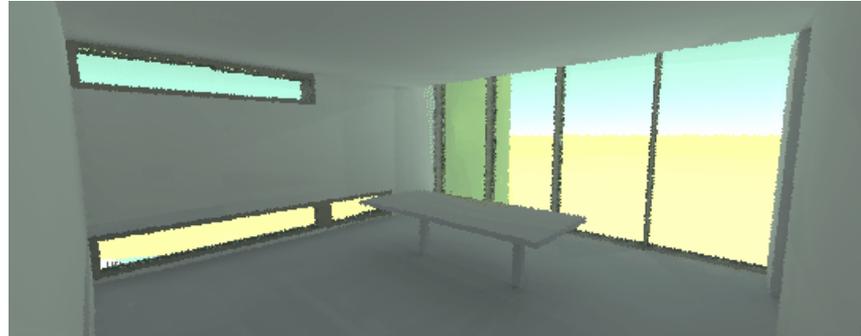
SOLSTÍCIO DE INVERNO
21 DEZEMBRO



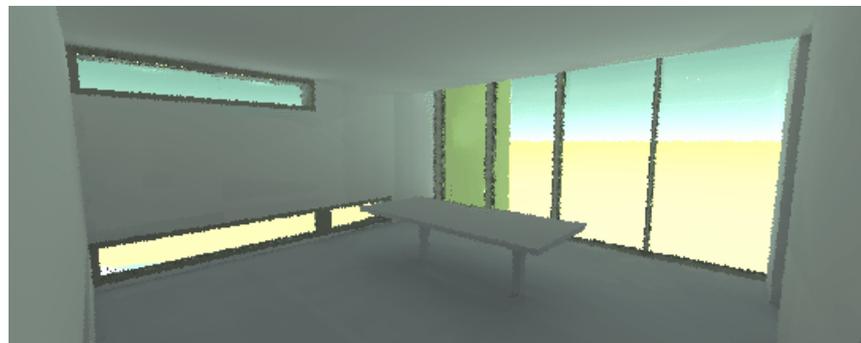
SALA 2 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO

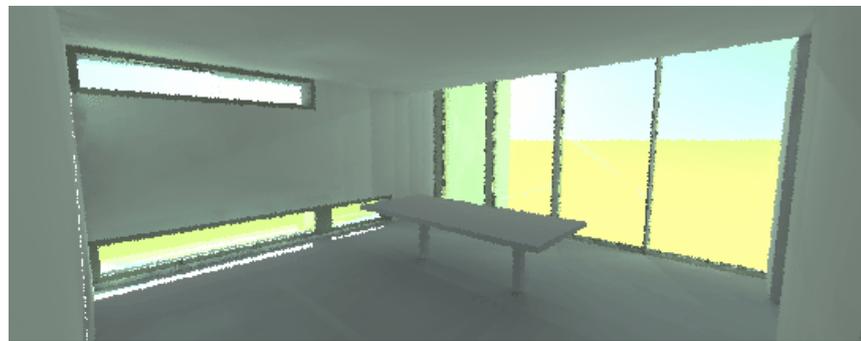
9H



12H

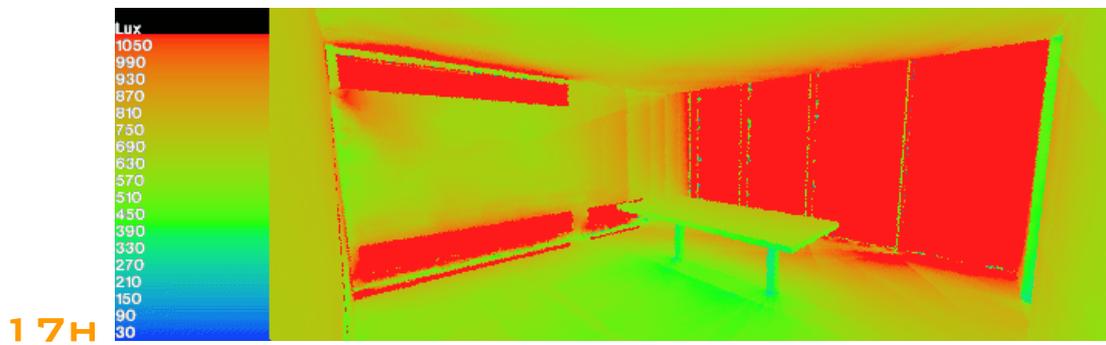
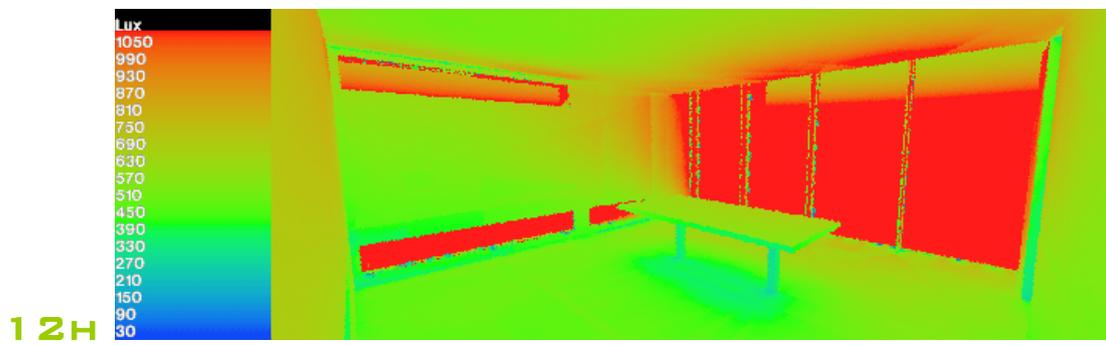
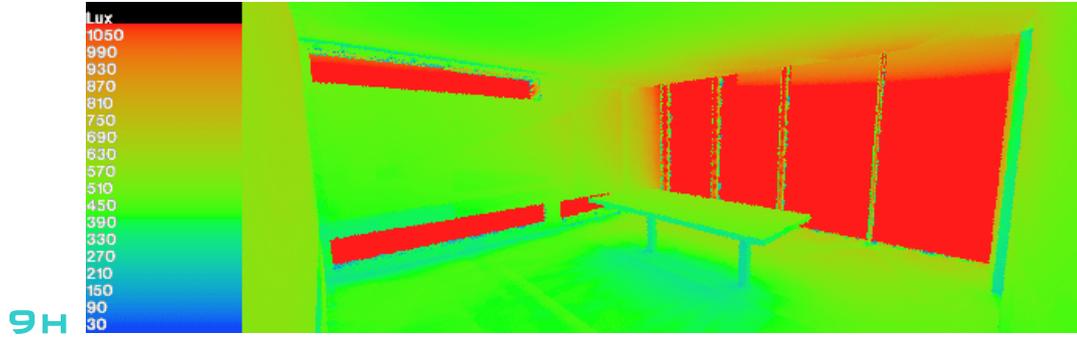


17H



SALA 2 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

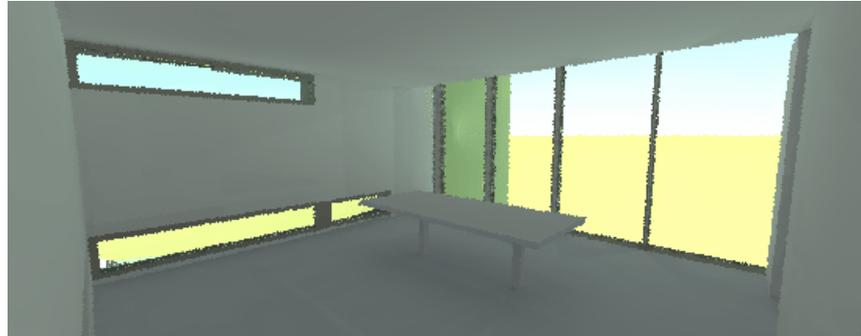
SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO



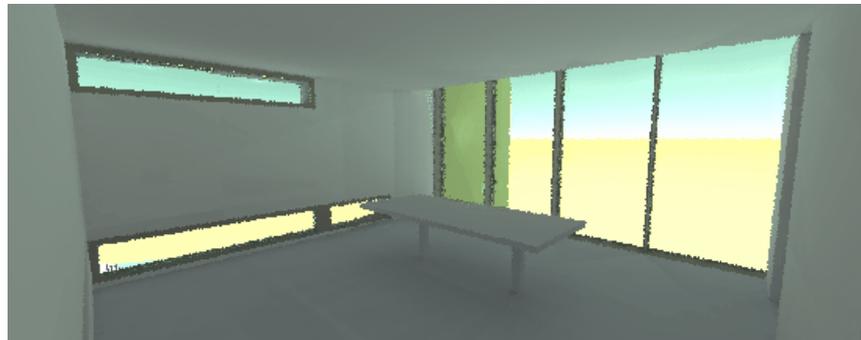
SALA 2 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

EQUINÓCIO DA PRIMAVERA
21 MARÇO / SETEMBRO

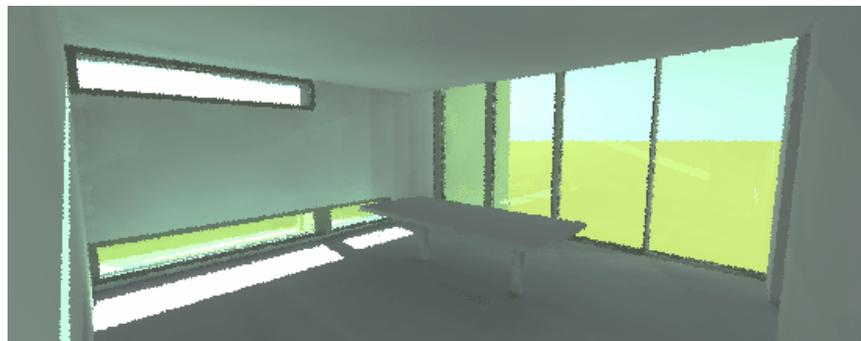
9H



12H

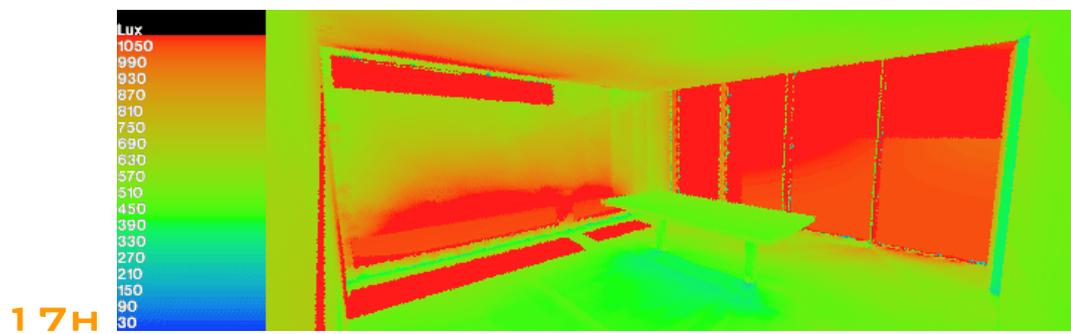
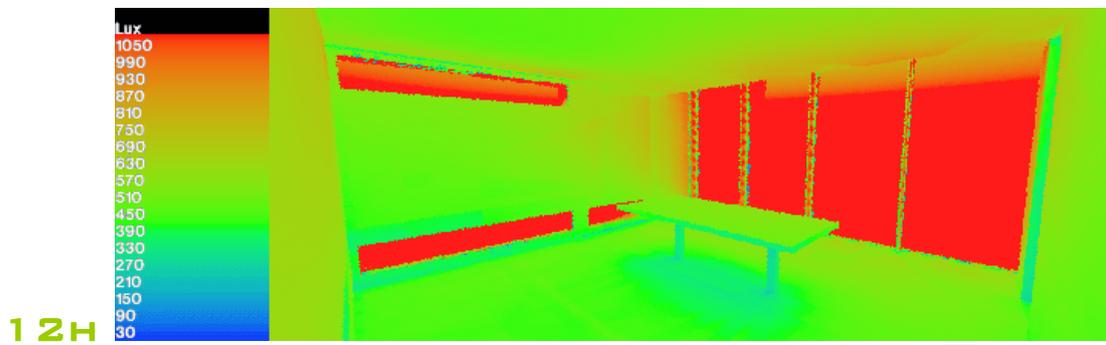
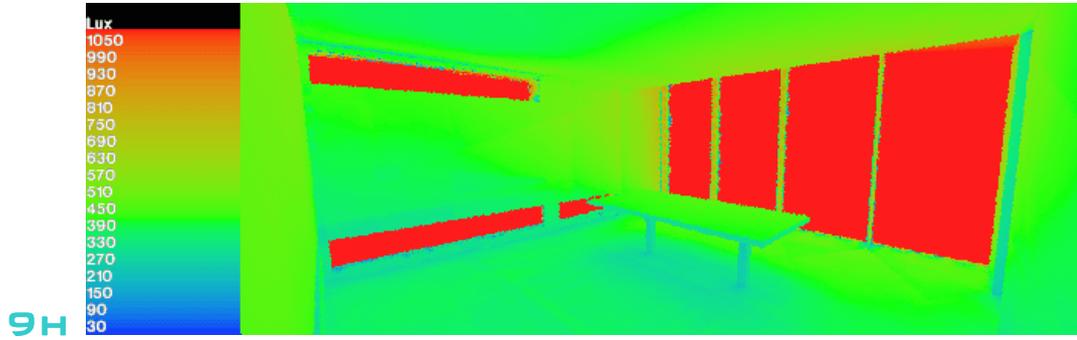


17H



SALA 2 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

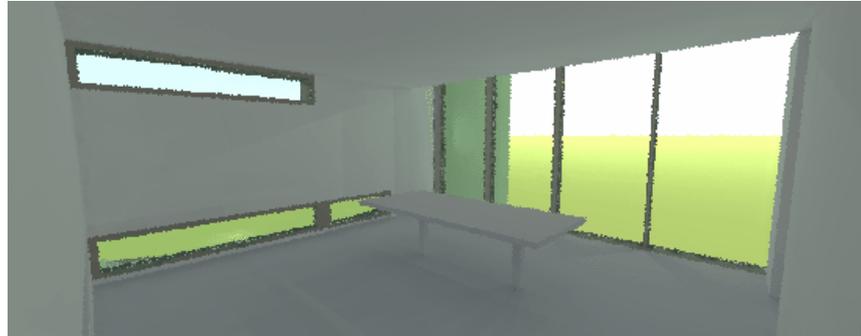
EQUINÓCIO DA PRIMAVERA
21 MARÇO / SETEMBRO



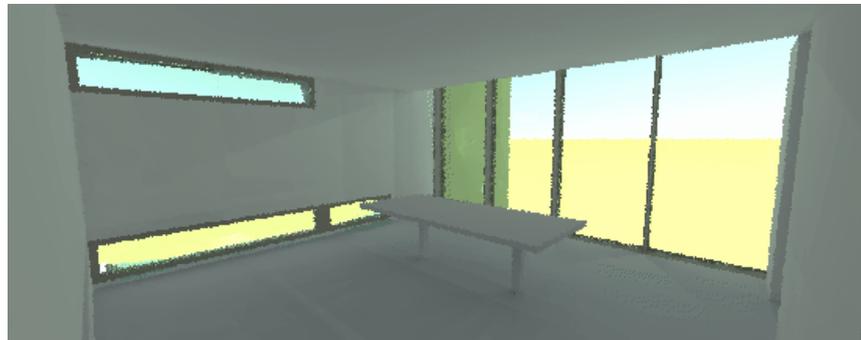
SALA 2 – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE INVERNO
21 DEZEMBRO

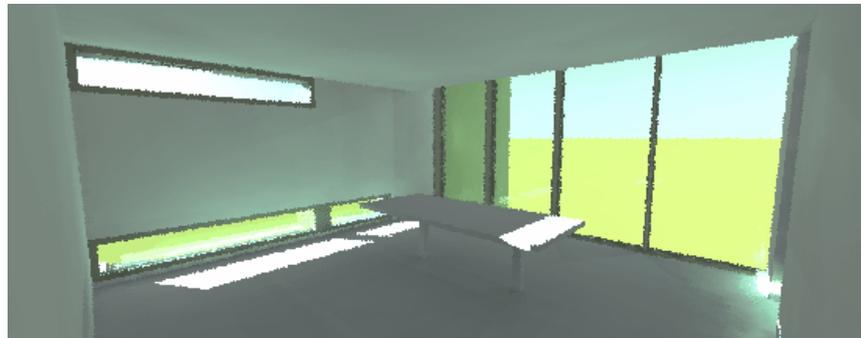
9H



12H

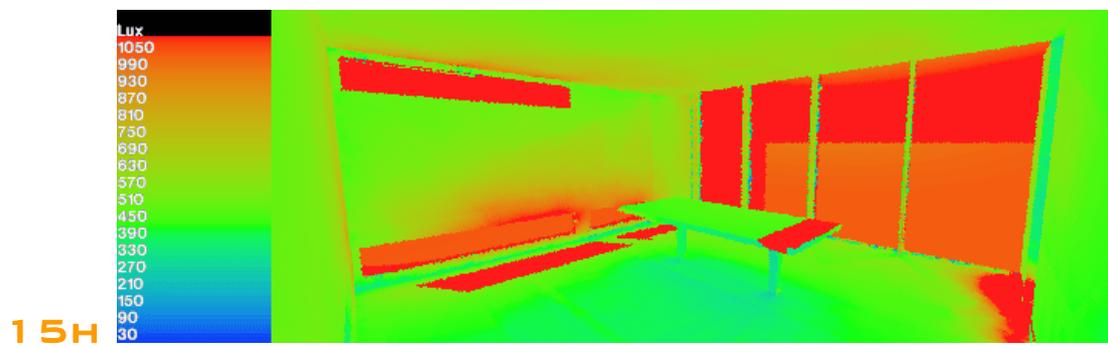
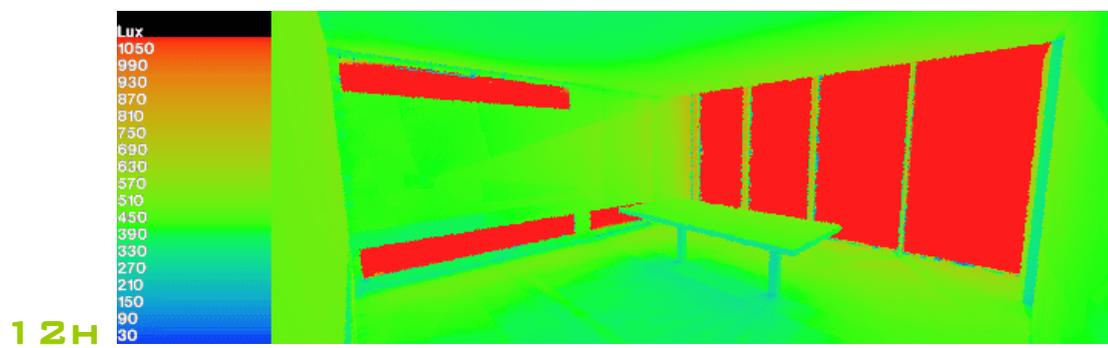
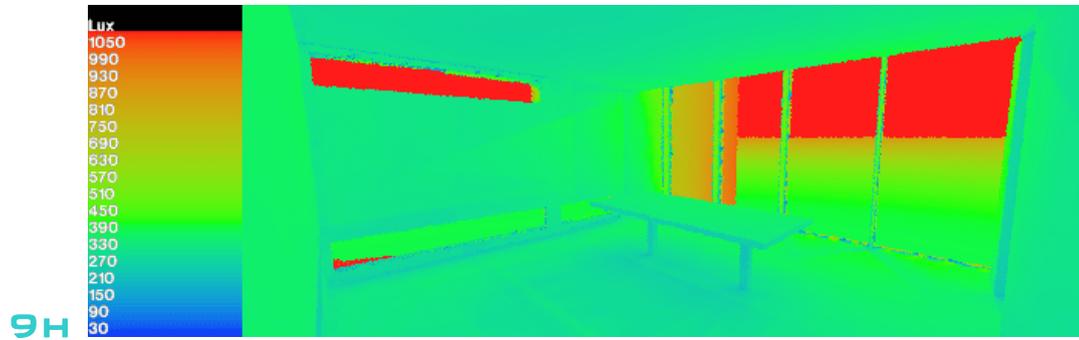


15H



SALA 2 – IMAGEM ANALÍTICA EM FALSECOLOR | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE INVERNO
21 DEZEMBRO



ÁTRIO – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO

VISTA 1

9H



12H



17H



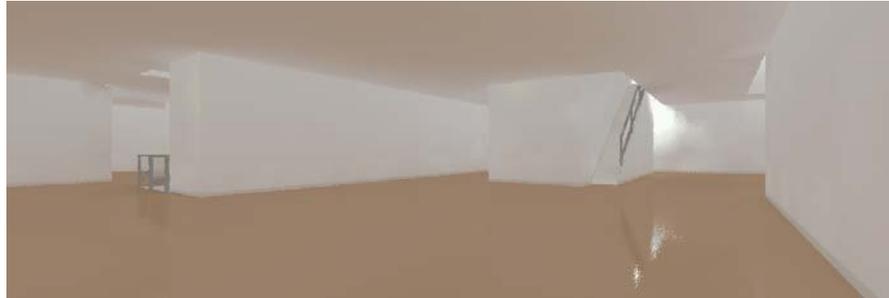
ÁTRIO – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO

21 JUNHO

VISTA 2

9H



12H



17H



ÁTRIO – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

SOLSTÍCIO DE VERÃO
21 JUNHO

VISTA 3 E 4

9H



12H



17H



ÁTRIO – IMAGEM SINTETIZADA | LUZ DIRECTA

EQUINÓCIO DA PRIMAVERA
21 MARÇO / SETEMBRO

VISTA 1

9H



12H



17H

