

INSTITUTO SUPERIOR MANUEL TEIXEIRA GOMES



ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS EM NAVE

OBSERVAÇÃO E ANÁLISE DE TRÊS CASOS NO ALGARVE

Lionel Alexandre Xavier Estriga

Orientador Científico

Professor Licínio Cantarino de Carvalho

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

Novembro de 2012

LIONEL ALEXANDRE XAVIER ESTRIGA

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS EM NAVE:
OBSERVAÇÃO E ANÁLISE DE TRÊS CASOS NO
ALGARVE.**

Dissertação defendida em provas públicas no Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes, no dia 14/12/2012 perante o júri nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º. 05/2012, com a seguinte composição:

Presidente:

Prof.^a Doutora Ana Maria Moya Pellitero
(Professora Auxiliar, ISMAT)

Arguente:

Prof. Doutor Guilherme Manuel Torres Leotte
Quintino (Professor Associado, ISMAT)

Orientador (substituto):

Prof. Doutor Luís Filipe Pires Conceição
(Professor Associado, ISMAT)

Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes

Portimão

2012

AGRADECIMENTOS

Ao Eng.º Libório Correia do Ministério da Educação pela disponibilização de meios necessários à realização do presente trabalho.

Ao Eng.º Silvestre Guerreiro da Câmara Municipal de Loulé pela disponibilização de meios necessários à realização do presente trabalho.

Ao Prof. Domingos Grilo pela criação das condições que tornaram possível a observação e estudo das oficinas da Escola Secundária Tomás Cabreira no local.

Ao Prof. Fernando Magalhães pela criação das condições que tornaram possível a observação e estudo do pavilhão desportivo da Escola Secundária de Loulé no local.

Ao Prof. André Gomes pela criação das condições que tornaram possível a observação e estudo do Pavilhão Ginmodesportivo Municipal de Loulé no local.

Ao Prof. Licínio Cantarino de Carvalho pela sua disponibilidade e paciência no decurso do trabalho e, como orientador, pelo apoio e formação essencial à realização deste trabalho.

Aos colegas do ISMAT e amigos que, de uma ou outra forma apoiaram e incentivaram a realização do trabalho.

À Rosa Nunes pela amizade e compreensão no decurso do trabalho.

Aos meus pais Arnaldo Estriga e Jolentina Xavier, aos meus avós Manuel Xavier e Clementina Casinha pelo apoio e paciência no decurso do trabalho.

RESUMO

Os edifícios em nave têm a possibilidade de aproveitar a luz natural através de aberturas na cobertura. O tipo de captação da luz natural deve adaptar-se ao clima do lugar e está usualmente dependente do tipo de solução construtiva adoptado.

O estudo desenvolve-se com base na observação do funcionamento de três edifícios em nave no Algarve e na análise do seu desempenho. Os três edifícios observados têm soluções de captação da luz natural diferenciadas. Os dados recolhidos incluem registos da observação directa do desempenho das condições de iluminação natural. A opinião dos utilizadores foi obtida através de inquéritos.

A análise do desempenho dos três edifícios atende ao carácter dinâmico da iluminação natural e traduz o desempenho em condições médias ao longo do ano. Foram usados vários instrumentos de estudo de que se destacam simulações através do programa de cálculo *Desktop Radiance*, análises da geometria da insolação através de cartas solares e aplicação da metodologia de caracterização do desempenho da iluminação natural através de indicadores de horas de iluminação natural.

O trabalho finaliza com uma série de recomendações para projecto de edifícios deste tipo.

PALAVRAS CHAVE: Iluminação Natural, Conforto Visual, Simulação Computacional, Cartas Solares, Desktop Radiance, Indicadores de Horas de Iluminação Natural

ABSTRACT

Single storey buildings have the ability to capture daylight through apertures on the roof. The type of capture should adapt to the local climate and is usually dependent on the type of adopted constructive solution.

The study develops based on the observation of the use of three single storey buildings in Algarve and on the analysis of their performance. The three observed buildings have different capture daylight solutions. Data collected include records of direct observation of daylight performance. Feedback from users was obtained through surveys.

Performance analysis of the three buildings attends the dynamic character of daylight and expresses the performance in average conditions in the course of the year. Several analysis tools were used, main tools being simulations through Desktop Radiance software, studies of solar insolation geometry through sun path diagrams and application of the methodology of daylighting characterization through daylighting hours indicators.

The work finishes with a series of design recommendations for this type buildings.

KEYWORDS: Daylighting, Visual Comfort, Computer Simulation, Desktop Radiance, Sun Path Diagrams, Daylighting Hours Indicators.

ÍNDICE DE TEXTO

	<i>Pág.</i>
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – ILUMINAÇÃO NATURAL DOS EDIFÍCIOS	4
2.1 – CONCEITOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL	4
2.1.1 – Factor de luz do dia	6
2.1.2 – Fontes de luz natural	8
2.1.3 – Tipos de céu	9
2.2 – ENCANDEAMENTO NA ILUMINAÇÃO NATURAL	10
2.2.1 – Condicionantes do tipo de uso dos edifícios	11
2.2.2 – Campo visual	12
2.3 – TIPOS DE FENESTRAÇÃO	14
2.3.1 – Propriedades das superfícies não opacas	15
2.3.2 – Geometria	17
2.3.3 – Controlo solar	19
2.3.4 – Desempenho de fenestrações na fachada	21
2.3.5 – Desempenho de fenestrações na cobertura	23
2.4 – TIPOS DE SOLUÇÃO CONSTRUTIVAS	25
2.5 – CLIMA DO ALGARVE	29
CAPÍTULO 3 – INSTRUMENTOS DE ESTUDO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	31
3.1 – DESKTOP RADIANCE	31
3.1.1 – Características gerais	31
3.1.2 – Funcionamento do programa	33
3.1.3 – Contribuição das superfícies envidraçadas	34
3.1.4 – Parâmetros de cálculo	36
3.1.4.1 – <i>Parâmetros de cálculo da luz indirecta</i>	37
3.1.4.2 – <i>Parâmetros de cálculo da luz directa</i>	38
3.1.4.3 – <i>Parâmetros de cálculo dos pixéis</i>	39
3.1.4.4 – <i>Outros parâmetros de cálculo</i>	40
3.2 – CARTAS SOLARES	41
3.3 – INDICADORES DE HORAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL	44

CAPÍTULO 4 – OSERVAÇÃO DE TRÊS EDIFÍCIOS	45
4.1 – APRESENTAÇÃO DOS CASOS SELECTIONADOS	46
4.1.1 – Apresentação do edifício ESTC	47
4.1.1.1 – <i>Descrição geral</i>	47
4.1.1.2 – <i>Captação da luz natural</i>	49
4.1.2 – Apresentação do edifício ESL	51
4.1.2.1 – <i>Descrição geral</i>	51
4.1.2.2 – <i>Captação da luz natural</i>	53
4.1.3 – Apresentação do edifício GML	55
4.1.3.1 – <i>Descrição geral</i>	55
4.1.3.2 – <i>Captação da luz natural</i>	57
4.2 – OBSERVAÇÃO DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL	49
4.2.1 – Observação do edifício ESTC	60
4.2.1.1 – <i>Tipos de encandeamento observados</i>	60
4.2.1.2 – <i>Registos fotográficos</i>	61
4.2.1.3 – <i>Pontos síntese</i>	62
4.2.2 – Observação do edifício ESL	63
4.2.2.1 – <i>Tipos de encandeamento observados</i>	63
4.2.2.2 – <i>Registos fotográficos</i>	64
4.2.2.3 – <i>Pontos síntese</i>	65
4.2.3 – Observação do Edifício GML	66
4.2.3.1 – <i>Tipos de encandeamento observados</i>	66
4.2.3.2 – <i>Registos fotográficos</i>	67
4.2.3.3 – <i>Pontos síntese</i>	68
4.2.4 – Sistematização dos tipos de encandeamento e condições de ocorrência	69
4.3 – OPINIÕES DE UTILIZADORES DOS EDIFÍCIOS	73
4.3.1 – Edifício ESTC	74
4.3.2 – Edifício ESL	76
4.3.3 – Edifício GML	78
 CAPÍTULO 5 – CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO	 80
5.1 – CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO	80
5.1.1 – Modelo virtual	81
5.1.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior	82
5.1.3 – Factores da luz do dia e áreas não opacas	83
5.1.4 – Indicadores de horas de iluminação natural	84

5.2 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESTC	88
5.2.1 – Modelo virtual	88
5.2.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior	90
5.2.3 – Factores da luz do dia e áreas não opacas	92
5.2.4 – Indicadores de horas de iluminação natural	94
5.3 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESL	99
5.3.1 – Modelo virtual	99
5.3.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior	101
5.3.3 – Factores da luz do dia e áreas não opacas	108
5.3.4 – Indicadores de horas de iluminação natural	110
5.4 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO GML	115
5.4.1 – Modelo virtual	115
5.4.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior	117
5.4.3 – Factores da luz do dia e áreas não opacas	120
5.4.4 – Indicadores de horas de iluminação natural	122
5.5 – CRÍTICA E REVISÃO DAS SUPERFÍCIES RELATIVAS DE ÁREA NÃO OPACA	127
5.6 – SÍTESE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DOS TRÊS EDIFÍCIOS	131
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	134
6.1 – RECOMENDAÇÕES DA FENESTRAÇÃO	134
6.1.1 – Iluminação natural e térmica	135
6.1.2 – Área e transmitância das superfícies não opacas	136
6.1.3 – Condicionantes da inclinação e orientação das aberturas	138
6.1.3.1 – <i>Aberturas verticais</i>	138
6.1.3.2 – <i>Aberturas horizontais</i>	141
6.1.3.3 – <i>Aberturas inclinadas</i>	142
6.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
6.2.1 – Propostas de trabalhos futuros de investigação	145
BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS	146
ANEXO A – RENDERIZAÇÕES ANUAIS DO EDIFÍCIO ESTC	A.1
ANEXO B – RENDERIZAÇÕES ANUAIS DO EDIFÍCIO ESL	A.12
ANEXO C – RENDERIZAÇÕES ANUAIS DO EDIFÍCIO GML	A.23
ANEXO D – TERMOS E DEFINIÇÕES	A.34

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 2.1 – Diagrama do estudo da iluminação natural	4
Figura 2.2 – Esquema de medição do FLD	6
Figura 2.3 – Incidência da luz natural no interior de um edifício	8
Figura 2.4 – Três tipos de céu produzidos no Desktop Radiance	9
Figura 2.5 – Ilustrações do campo visual num plano horizontal e vertical	12
Figura 2.6 – Diagrama de campo de visão binocular	13
Figura 2.7 – Diagrama dos elementos de projecto e desempenho da fenestração	14
Figura 2.8 – Propriedades de transmissão de superfícies não opacas	15
Figura 2.9 – Geometria da fenestração	17
Figura 2.10 – Controlo solar da fenestração	19
Figura 2.11 – Fotos de soluções em aço com fenestrações na cobertura	26
Figura 2.12 – Fotos de soluções em betão com fenestrações na cobertura	27
Figura 2.13 – Fotos de soluções em madeira com fenestrações na cobertura	28
Figura 2.14 – Insolação no Algarve no período de 1931-1960	29
Figura 3.1 – Tipos de representação das iluminâncias e luminâncias segundo uma imagem renderizada	32
Figura 3.2 – Renderização com: área envidraçada como fonte luminosa (à esquerda); área envidraçada como material que transmite luz (à direita)	35
Figura 3.3 – Janela de configuração da simulação (à esquerda) e parâmetros avançados de cálculo do Desktop Radiance (à direita)	36
Figura 3.4 – Ilustração da abóbada celeste	41
Figura 3.5 – Três tipos de projecção da abóbada celeste: projecção ortográfica; projecção gnomónica; projecção estereográfica	42
Figura 3.6 – Carta solar em projecção estereográfica para a latitude 37°	43
Figura 3.7 – Carta de iluminâncias difusas em superfície vertical orientada a Sul em condições de Sol descoberto	45
Figura 4.1 – Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício ESTC	47
Figura 4.2 – Desenhos técnicos do edifício ESTC (imagem de satélite da localização, planta, cortes)	48
Figura 4.3 – Ilustração da captação de iluminação natural através da cobertura. (ESTC)	49
Figura 4.4 – Fotografia dos envidraçados na cobertura. (ESTC)	49
Figura 4.5 – Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício ESL	51

Figura 4.6 –	Desenhos técnicos do edifício ESL (imagem de satélite da localização, planta, cortes)	52
Figura 4.7 –	Ilustração da captação de iluminação natural através da cobertura. (ESL)	53
Figura 4.8 –	Ilustração da captação de iluminação natural através dos elementos translúcidos no rebordo da cobertura. (ESL)	53
Figura 4.9 –	Ilustração da captação de iluminação natural através dos envidraçados na fachada sul. (ESL)	53
Figura 4.10 –	Fotografia dos três meios de captação de iluminação natural. (ESL)	53
Figura 4.11 –	Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício GML	55
Figura 4.12 –	Desenhos técnicos do edifício GML (imagem de satélite da localização, planta, cortes)	56
Figura 4.13 –	Ilustração da captação de iluminação natural através dos elementos translúcidos na cobertura. (GML)	57
Figura 4.14 –	Ilustração da captação de iluminação natural através do envidraçado translúcido na fachada Poente. (GML)	57
Figura 4.15 –	Fotografia dos elementos translúcidos na cobertura. (GML)	57
Figura 4.16 –	Fotografia do envidraçado translúcido na fachada Poente. (GML)	57
Figura 4.17 –	Registos fotográficos do edifício ESTC, 9 de Setembro, 8:30 horas solares aproximadas [céu limpo]	61
Figura 4.18 –	Registos fotográficos do edifício ESTC, 1 de Junho, 11:30 horas solares aproximadas [céu limpo]	61
Figura 4.19 –	Registos fotográficos do edifício ESTC, 9 de Setembro, 15:00 horas solares aproximadas [céu limpo]	62
Figura 4.20 –	Registos fotográficos do edifício ESL, 31 de Maio, 12:00 horas solares aproximadas [céu limpo]	64
Figura 4.21 –	Registos fotográficos do edifício ESL, 11 de Novembro, 14:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol descoberto]	64
Figura 4.22 –	Registos fotográficos do edifício ESL, 4 de Novembro, 16:00 horas solares aproximadas [céu limpo]	65
Figura 4.23 –	Registos fotográficos do edifício GML, 16 de Setembro, 9:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol encoberto]	67
Figura 4.24 –	Registos fotográficos do edifício GML, 31 de Maio, 10:00 horas solares aproximadas [céu limpo]	67
Figura 4.25 –	Registos fotográficos do edifício GML, 31 de Janeiro, 16:30 horas solares aproximadas [céu limpo]	68

Figura 4.26 – Modo de ocorrência dos diferentes tipos de encandeamento pela luz do Sol	69
Figura 4.27 – Resultado dos inquéritos do edifício ESTC	74
Figura 4.28 – Resultado dos inquéritos do edifício ESL	76
Figura 4.29 – Resultado dos inquéritos do edifício GML	78
Figura 5.1 – Ilustração dos três níveis de obstrução das superfícies não opacas	82
Figura 5.2 – Renderização em projecção ortogonal da incidência de luz do Sol à cota dos olhos dos utilizadores	86
Figura 5.3 – Renderização em projecção hemisférica da incidência de luz do Sol no pavimento e nas paredes	86
Figura 5.4 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 9 de Setembro, 8:30 horas solares aproximadas [céu limpo] – ESTC	89
Figura 5.5 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 1 de Junho, 11:30 horas solares aproximadas [céu limpo] – ESTC	89
Figura 5.6 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 9 de Setembro, 15:00 horas solares aproximadas [céu limpo] – ESTC	89
Figura 5.7 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a NE – SO) – ESTC	90
Figura 5.8 – Planta do edifício ESTC com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias	92
Figura 5.9 – Representação cromática e numérica da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (ESTC)	92
Figura 5.10 – Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (ESTC)	93
Figura 5.11 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 31 de Maio, 12:00 horas solares aproximadas [céu limpo] - ESL	100
Figura 5.12 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 11 de Novembro, 14:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol descoberto] – ESL	100
Figura 5.13 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 4 de Novembro, 16:00 horas solares aproximadas [céu limpo] – ESL	100

Figura 5.14 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas horizontais na cobertura) – ESL	101
Figura 5.15 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Norte) – ESL	102
Figura 5.16 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Sul) – ESL	103
Figura 5.17 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Este) – ESL	104
Figura 5.18 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Oeste) - ESL	105
Figura 5.19 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na fachada orientadas a Sul) – ESL	106
Figura 5.20 – Planta do edifício ESL com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias	108
Figura 5.21 – Representação cromática da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (ESL)	108
Figura 5.22 – Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (ESL)	109
Figura 5.23 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 16 de Setembro, 9:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol encoberto] – GML	116
Figura 5.24 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 31 de Maio, 10:00 horas solares aproximadas [céu limpo] – GML	116
Figura 5.25 – Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita). 31 de Janeiro, 16:30 horas solares aproximadas [céu limpo] – GML	116
Figura 5.26 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas inclinadas na cobertura orientadas a Este) – GML	117
Figura 5.27 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na fachada orientadas a Oeste) – GML	118
Figura 5.28 – Planta do edifício GML com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias	120
Figura 5.29 – Representação cromática da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (GML)	120
Figura 5.30 – Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (GML)	121

Figura 5.31 – Relação entre o FLD Médio com as SRANOárea e as SRANOvolume	127
Figura 5.32 – Ângulo Y da formula SRANO Revista	128
Figura 5.33 – Relação entre o FLD Médio com as SRANOárea Revista e as SRANOvolume Revista	130
Figura 5.34 – Percentagem anual do número máximo de horas de iluminação natural correspondente aos indicadores de horas de iluminação natural de risco e de encandeamento	132
Figura 6.1 – Relação entre a SRANOárea Revista com o FLD Médio e as horas de iluminâncias médias anuais	137
Figura 6.2 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Norte	138
Figura 6.3 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Sul	139
Figura 6.4 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Sul com pala horizontal corrida	139
Figura 6.5 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Este	140
Figura 6.6 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Oeste	140
Figura 6.7 – Obstrução de uma abertura horizontal	141
Figura 6.8 – Obstrução de uma abertura inclinada a 50° orientada a Norte	142

ÍNDICE DE QUADROS

	<i>Pág.</i>
Quadro 2.1 – Insolação média mensal e anual entre 1941 e 1960	30
Quadro 4.1 – Quadro de análise do risco encandeamento pela luz do Sol	71
Quadro 4.2 – Riscos de encandeamento a considerar para os três edifícios	72
Quadro 5.1 – Fases a considerar na determinação dos indicadores de horas de iluminação natural	84
Quadro 5.2 – Características físicas das superfícies opacas – ESTC	88
Quadro 5.3 – Características físicas das superfícies não opacas – ESTC	88
Quadro 5.4 – Características das Áreas Não Opacas – ESTC	93
Quadro 5.5 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto – ESTC	94
Quadro 5.6 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto – ESTC	94
Quadro 5.7 – Risco de Encandeamento pela Luz do Sol Directa – ESTC	96
Quadro 5.8 – Risco de Encandeamento pela Luz do Sol Reflectida – ESTC	96
Quadro 5.9 – Períodos com e sem Risco de Encandeamento – ESTC	97
Quadro 5.10 – Características físicas das superfícies opacas – ESL	99
Quadro 5.11 – Características físicas das superfícies não opacas – ESL	99
Quadro 5.12 – Características das Áreas Não Opacas – ESL	109
Quadro 5.13 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto – ESL	110
Quadro 5.14 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto – ESL	110
Quadro 5.15 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Directa – ESL	112
Quadro 5.16 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Reflectida – ESL	112
Quadro 5.17 – Períodos com e sem Risco de Encandeamento – ESL	113
Quadro 5.18 – Características físicas das superfícies opacas – GML	115
Quadro 5.19 – Características físicas das superfícies não opacas – GML	115
Quadro 5.20 – Características das Áreas Não Opacas – GML	121
Quadro 5.21 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto – GML	122
Quadro 5.22 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto – GML	122
Quadro 5.23 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Directa – GML	124
Quadro 5.24 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Reflectida e Difundida – GML	124
Quadro 5.25 – Períodos com e sem risco de Encandeamento – GML	125
Quadro 5.26 – Características das Áreas Não Opacas (SRANO Revista) – ESTC	129
Quadro 5.27 – Características das Áreas Não Opacas (SRANO Revista) – ESL	129
Quadro 5.28 – Características das Áreas Não Opacas (SRANO Revista) – GML	129
Quadro 5.29 – Resultados da caracterização do desempenho	131

Capítulo 1

Introdução

A iluminação natural desde sempre esteve presente na arquitectura e é parte fundamental do estudo das condições de conforto ambiental no interior dos edifícios, nomeadamente o conforto visual e térmico. A iluminação natural é um fenómeno físico natural que deve ser usado de modo a adaptar-se às necessidades humanas na vivência do edifício. No âmbito do conforto visual, a utilização racional da iluminação natural permite reduzir o consumo de energia eléctrica, contribuindo desta forma para a economia da energia e para uma maior autonomia do edifício.

O conforto visual é determinado pela quantidade e qualidade da luz natural e, igualmente, pelas características dos edifícios que influenciam a sua distribuição no interior. Em consequência, as condições climatéricas, o dia do ano, as obstruções exteriores, a geometria dos edifícios e as características das superfícies opacas e não opacas são factores importantes no desempenho da iluminação natural num edifício.

Ao contrário da iluminação artificial que tem um carácter constante do ponto de vista da qualidade e quantidade, a iluminação natural tem a particularidade de ser dinâmica. É, por isso, importante na sua avaliação ter em conta a sua evolução no tempo. Na modelação do desempenho dos edifícios em estudo, é essencial considerar-se de forma coerente todos os diversos factores atrás referidas de modo obter-se resultados fiáveis e representativos da realidade. A observação de edifícios em funcionamento permite extrair indicações relevantes para o projecto, pois possibilita o contacto directo com os utilizadores do edifício, cujas opiniões é de interesse registar.

Através do programa informático Desktop Radiance, consegue-se simular o desempenho da iluminação natural num modelo virtual, para diferentes condições climatéricas exteriores, podendo extrair-se da simulação, valores de iluminâncias, de luminâncias e de factores da luz do dia, ao longo de todo ano em qualquer ponto e plano.

A possibilidade de apresentar de uma forma sucinta resultados representativos do desempenho médio anual da iluminação natural nos edifícios observados implica, por um lado, a disponibilidade de informação sobre o clima luminoso dos locais onde se situam os edifícios e, por outro, a definição de indicadores apropriados. Os indicadores de horas de iluminação natural são uma resposta a esta questão. Correspondem ao número médio anual de horas durante o período de utilização do espaço, em que, com apenas iluminação natural, a iluminância no plano de trabalho excede um valor de referência e assegura condições satisfatórias de conforto visual. Associado a este conceito existe uma metodologia de cálculo e dados do clima luminoso válidas para Portugal, o que torna possível a sua aplicação no presente estudo.

- Objectivos e metodologia

O trabalho fará o estudo de edifícios em nave, tendo em vista a preparação de recomendações para projecto. Abrangerá também edifícios que, não sendo em nave, apresentem soluções de iluminação zenital equiparáveis.

O estudo desenvolver-se-á com base na observação do funcionamento de três edifícios, para o efeito seleccionados, e na modelação teórica do seu desempenho. Os três edifícios a observar terão soluções de iluminação diferenciadas. Os dados a recolher incluirão registos da observação directa do desempenho quantitativo e qualitativo das condições de iluminação natural. A opinião dos utilizadores em geral será obtida através de inquéritos.

A modelação teórica do desempenho dos edifícios deverá permitir atender ao carácter dinâmico da iluminação natural e produzir informação que traduza o desempenho, em condições médias, ao longo do ano. Para tal, tirar-se-á partido das possibilidades de simulação do programa de cálculo *Desktop Radiance* e adoptar-se-á a metodologia de caracterização do desempenho através de indicadores de horas de iluminação natural.

- Estrutura do trabalho

O trabalho é composto por seis capítulos, sendo o primeiro a presente introdução.

No capítulo 2 serão apresentados conceitos gerais de iluminação natural indispensáveis ao seu estudo. Será realizado uma abordagem aos tipos de encandeamento e suas condicionantes. Ainda nessa perspectiva de enquadramento, o trabalho realizará um levantamento das soluções construtivas mais correntes para edifícios em nave e apresentará uma proposta de classificação de tipos de fenestração.

O capítulo 3 fará uma descrição dos instrumentos de estudo da iluminação natural utilizados no presente trabalho. Será aprofundado o modo de funcionamento do programa computacional Desktop Radiance. As cartas solares e os indicadores de horas de iluminação natural serão igualmente referenciados.

No capítulo 4 começar-se-á por descrever os edifícios seleccionados, que terão características de fenestração diferenciadas. Seguir-se-á o registo dos resultados da observação directa dos edifícios, procurando recolher, tanto quanto possível, informações cobrindo a diversidade de condições exteriores que se verificam ao longo de todo o ano. Far-se-á, por fim, o registo de opiniões de utilizadores do edifício através de inquéritos aos utilizadores dos três edifícios em observação.

O capítulo 5 será apresentada um metodologia de análise e caracterizado o desempenho para os casos em estudo através do vários instrumentos de estudo. Seguidamente será elaborada uma síntese comparativa do desempenho.

No capítulo 6 serão elaboradas recomendações para futuros projectos de arquitectura que visam a criação de edifícios com captação de luz natural essencialmente pela cobertura. Aspectos que se verifique necessitarem ainda de mais investigação, darão uso a propostas de novos estudos.

Capítulo 2

Iluminação Natural dos Edifícios

2.1 – CONCEITOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL

O estudo da iluminação natural em projectos de arquitectura é fundamental para se assegurarem boas condições de quantidade e qualidade da luz natural no espaço habitável. Deve-se definir objectivos de conforto visual resultantes da necessidade do programa de projecto, e encontrar soluções que se adaptem às disponibilidades climáticas do lugar. A figura 2.1 ilustra um diagrama simples de estudo da iluminação natural.



Fig. 2.1 - Diagrama do estudo da iluminação natural.

Na envolvente dos edifícios pode-se distinguir de superfícies opacas todas aquelas que impedem a passagem de luz por si mesmas, e de superfícies não opacas às que permitem a penetração de luz. As superfícies não opacas juntamente com os elementos de fixação, de protecção e de controlo solar a elas associadas irão-se designar por fenestração. Por outras palavras a fenestração representa os meios de captação e de sombreamento da luz natural.

O projecto da fenestração poderá fazer uso de instrumentos de estudos que ajudam a determinar o seu desempenho. Um bom desempenho da iluminação natural deve satisfazer as necessidades de conforto visual dos ocupantes. Existem vários instrumentos e ferramentas, abordados mais adiante, que possibilitam calcular ou simular em ambiente virtual condições de iluminação natural para diferentes geometrias e propriedades da fenestração.

O clima é um factor importante que determina a disponibilidade e característica da luz natural para um determinado lugar, tais como as trajectórias do Sol, a insolação e as luminâncias do céu. Desta forma será importante realizar-se uma abordagem do presente estudo adaptado ao clima de Portugal, com especial atenção no Algarve.

Ao longo deste trabalho são usados uma série de conceitos que têm uma definição precisa que está fixada num vocabulário internacional, parcialmente traduzido em português [LNEC, 1986]. Dessa tradução transcrevem-se as definições das principais grandezas, propriedades ópticas da matéria apresentadas no Anexo D, Termos e Definições. São contemplados os termos seguintes: fluxo luminoso (Φ), intensidade luminosa (I), luminância (L), iluminância (E), reflectância (ρ), transmissão, transmissão directa ou regular, transmissão difusa, transmitância (τ), difusão, reflexão, reflexão regular ou especular, reflexão difusa, refacção, interreflexões ou reflexões mútuas e factor de uniformidade da iluminância.

2.1.1 – Factor de luz do dia

O Factor de Luz do Dia (FLD) traduz uma relação entre a iluminação natural interior e a iluminação simultaneamente disponível no exterior. O valor do FLD corresponde ao quociente entre a iluminância num ponto e plano interiores (E_{int}) e a iluminância horizontal num ponto exterior (E_{ext}) desobstruído recebendo a luz de todo o hemisfério celeste (fig. 2.2). Em ambas iluminâncias medidas não se considera a luz do Sol.

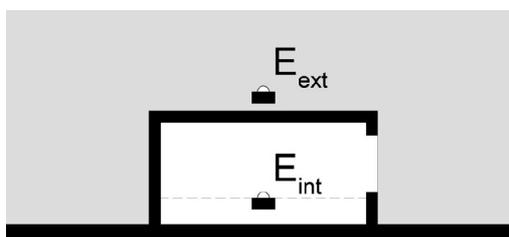


Fig. 2.2 - Esquema de medição do FLD.

A fórmula de cálculo do FLD é a seguinte:

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

O valor do FLD exprime-se geralmente em percentagem. Admitamos, por exemplo, que, estando o sol encoberto, a iluminância exterior num plano horizontal que receba a luz de todo o hemisfério celeste é de 10000 lux, em determinado instante. Então num ponto do plano de trabalho com um FLD de 3% terá nesse instante, 300 lux.

Pode-se aplicar o FLD em quaisquer condições atmosféricas, tais como céu encoberto, limpo ou intermédio. Porém habitualmente é utilizado para condições de céu encoberto, com características definidas por um modelo conhecido por céu encoberto padrão da CIE. Considera-se também o céu uniforme para cálculos mais simples. Para estas condições o FLD permanece constante, sendo proporcionais as variações das iluminâncias no interior às que se verificam no exterior. Quando se quer definir o FLD para uma área, em vez de para um ponto singular, pode-se considerar a iluminância média nessa área.

Em países onde há pouca predominância de Sol descoberto os céus são maioritariamente intermédios e encobertos. Para o estudo da iluminação natural nestas condições torna-se bastante vantajoso o uso do FLD. Consegue-se desta forma ter uma noção aceitável do desempenho da iluminação natural a nível da sua quantidade e em certa medida também da sua qualidade.

Em países com climas de insolação elevada, tal como Portugal, existe predominância significativa de Sol descoberto ao longo de todo o ano e em consequência pequena probabilidade de céus totalmente encobertos. Desta forma o uso do FLD, para o estudo do desempenho da iluminação natural, resulta uma ferramenta um pouco limitada, visto que se distancia das condições reais predominantes. Porém o FLD pode ser usado como parâmetro intermédio em métodos de cálculo da iluminação natural que privilegiam outras condições atmosféricas.

2.1.2 – Fontes de luz natural

Apesar de o Sol ser a única fonte de luz natural a difusão dos raios solares na atmosfera torna o hemisfério celeste também uma fonte de luz. Desta forma, nos estudos de iluminação natural nos edifícios é comum distinguirem-se dois tipos de fonte de luz natural: a luz do Sol e a luz do céu.

Chama-se luz do Sol à luz directa do Sol. O movimento aparente do Sol no céu faz com que os raios de luz paralelos incidam de diferentes direcções, ao longo do dia e do ano. Para a sua quantificação é necessário o conhecimento da sua posição e das iluminâncias num plano por ele produzidas.

A luz do céu corresponde à luz difusa proveniente de todo o hemisfério celeste. A distribuição da luz do céu está dependente de vários factores, nomeadamente da difusão causada pela atmosfera. A sua caracterização é realizada através do conhecimento da distribuição das luminâncias do céu em todo hemisfério, e das iluminâncias produzidas num plano. A luminância do céu não é constante nem uniforme devido às mudanças na posição do Sol e às variações dos mantos de nuvens.

A reflexão da luz do Sol e do céu sobre o pavimento exterior ou outros elementos de elevada reflectância pode ter impacto no desempenho da iluminação natural no interior do edifício. A luz que chega e é distribuída no interior dum edifício pode-se classificar, como ilustra a figura 2.3, por: luz directa (proveniente directamente da luz do Sol ou do céu); luz reflectida exterior; e luz reflectida interior.

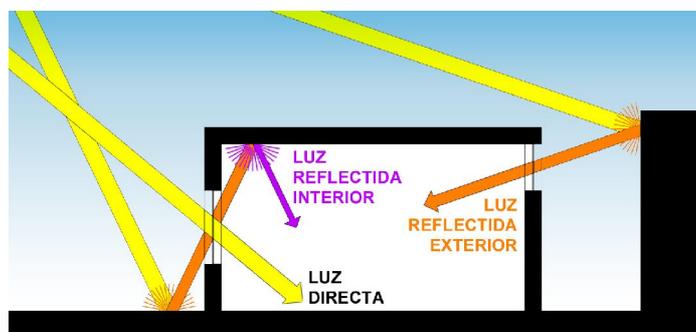


Fig. 2.3 - Incidência da luz natural no interior de um edifício.

2.1.3 – Tipos de céu

Distinguem-se três tipos de céu: céu limpo, céu intermédio e céu encoberto (fig. 2.4). O céu limpo representa um céu totalmente livre de nuvens, prevalecendo a luz do Sol. O céu intermédio pretende representar um céu com a presença de algumas nuvens, podendo o Sol estar descoberto ou encoberto. O céu encoberto traduz um céu com nuvens na sua totalidade obstruindo a incidência de luz do Sol.

A Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.) tem dois modelos de referência padronizados para a distribuição de luminâncias do céu, nomeadamente: Céu Encoberto Padrão da C.I.E. e o Céu Limpo Padrão da C.I.E.. O céu encoberto padrão da C.I.E. traduz céus completamente encobertos por nuvens espessas e escuras. O céu limpo padrão da C.I.E. caracteriza as situações reais de céus azuis completamente livres de nuvens.

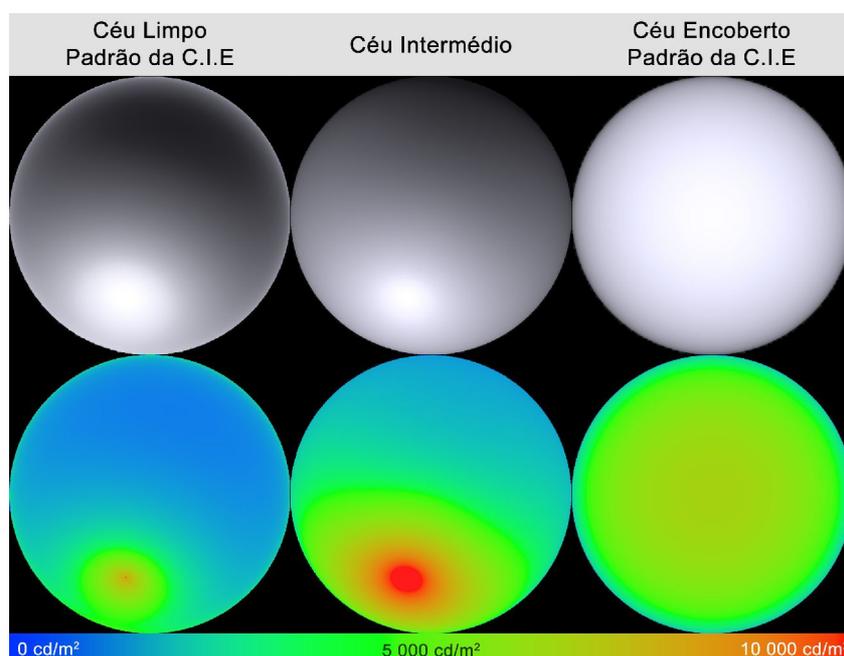


Fig. 2.4 - Três tipos de céu produzidos no Desktop Radiance.

2.2 – ENCANDEAMENTO NA ILUMINAÇÃO NATURAL

Para um bom desempenho visual não só é necessário garantir níveis de iluminância satisfatórios como é importante evitar o desconforto visual, em especial o encandeamento.

Os contrastes excessivos de luminâncias no campo de visão são aspectos da iluminação que de um modo geral causam desconforto visual ou encandeamento aos ocupantes do espaço. A visão humana permite trabalhar bem em amplos níveis de luminâncias mas a sua aptidão é prejudicada quando níveis extremos de luminâncias estão presentes no campo de visão ao mesmo tempo.

O desconforto visual é um fenómeno por vezes subjectivo e difícil de quantificar. Existem estudos que visam quantificar os rácios de contraste ou limites de luminâncias absolutas que possam provocar encandeamento. Mas na maioria dos casos, a sua aplicabilidade em projecto ou num edifício já construído pode tornar-se complicada.

Os efeitos de encandeamento na maioria das vezes verificam-se singularmente em determinadas condições. Estas dependem de vários factores, tais como: condições climatéricas (diferentes tipos de céu); a posição do Sol no céu e o seu ângulo de incidência no interior do espaço; a posição do campo de visão do utilizador; e características físicas dos materiais opacos (tecto, paredes, chão, equipamento) e não opacos (aberturas).

Entender quais as condições de ocorrência de encandeamento é o primeiro passo para encontrar soluções de projecto que permitam resolver problemas de desconforto visual.

No Anexo D, Termos e Definições, transcrevem-se as seguintes definições dos vários tipos de encandeamento: encandeamento directo, encandeamento indirecto, encandeamento por reflexão, encandeamento perturbador, encandeamento desconfortável ou incómodo.

2.2.1 – Condicionantes do tipo de uso dos edifícios

No interior dos edifícios, a iluminação natural tem exigências quantitativas e qualitativas que dependem do tipo de tarefa visual. Portanto, para além dos aspectos quantitativos da luz natural, é importante reconhecer que para cada tipo de utilização de um edifício, existem riscos de encandeamento específicos a considerar.

Por exemplo, os espaços de circulação, corredores ou até mesmo armazéns não têm necessariamente que dar grande importância ao risco de encandeamento. Estes são espaços de utilização temporária, em que o utilizador constantemente se encontra em movimento desempenhando tarefas visuais que não exigem níveis de concentração elevados. De um modo diverso, nas salas de aula ou escritórios, em que a realização de tarefas visuais exige maior acuidade e concentração, o risco de encandeamento é um factor muito importante a ter em conta. Quando a luz do Sol incide directamente na secretária ou no campo de visão do utilizador que se encontra numa posição imóvel, se não existir controlo solar nas janelas, há risco de desconforto visual causado pelo encandeamento. A percepção no campo visual do utilizador de uma parede de elevada reflectância iluminada directamente pela luz do Sol poderá ser uma fonte de risco de encandeamento.

Um tipo de risco de encandeamento pode, para um determinado uso, ser importante e, para outro tipo de uso, ser pouco relevante para a avaliação da qualidade da iluminação natural.

Desta forma, na análise da qualidade da iluminação natural, é fundamental caracterizar quais os riscos de encandeamento mais relevantes a ter em conta face ao tipo de utilização do edifício.

2.2.2 – Campo visual

Entende-se por campo visual a porção do espaço que pode ser visualizada quando a cabeça e os olhos estão imóveis. O campo visual de um só olho chama-se monocular e o resultante da observação simultânea pelos dois olhos binocular.

O tipo de tarefa visual a realizar poderá exigir a discriminação da cor, o reconhecimento de símbolos e palavras ou a distinção de pequenos detalhes. Desta forma, os limites do campo visual para a realização de tarefas visuais são relativos, podendo ser abrangentes para algumas tarefas e muito reduzidos para outras. Porém estes limites não são obrigatoriamente estáticos para cada tarefa visual. O utilizador poderá naturalmente necessitar de movimentar a cabeça para desviar o olhar, alterando assim a posição do campo visual. Os efeitos do encandeamento são diferentes consoante a posição ocupada pelo objecto luminoso no campo visual. Em certas posições do campo visual pode mesmo não haver encandeamento.

Concluindo o exposto, pode dizer-se que a geometria do campo visual é um factor a considerar no estudo das possibilidades de encandeamento, consoante o tipo de utilização dos edifícios.

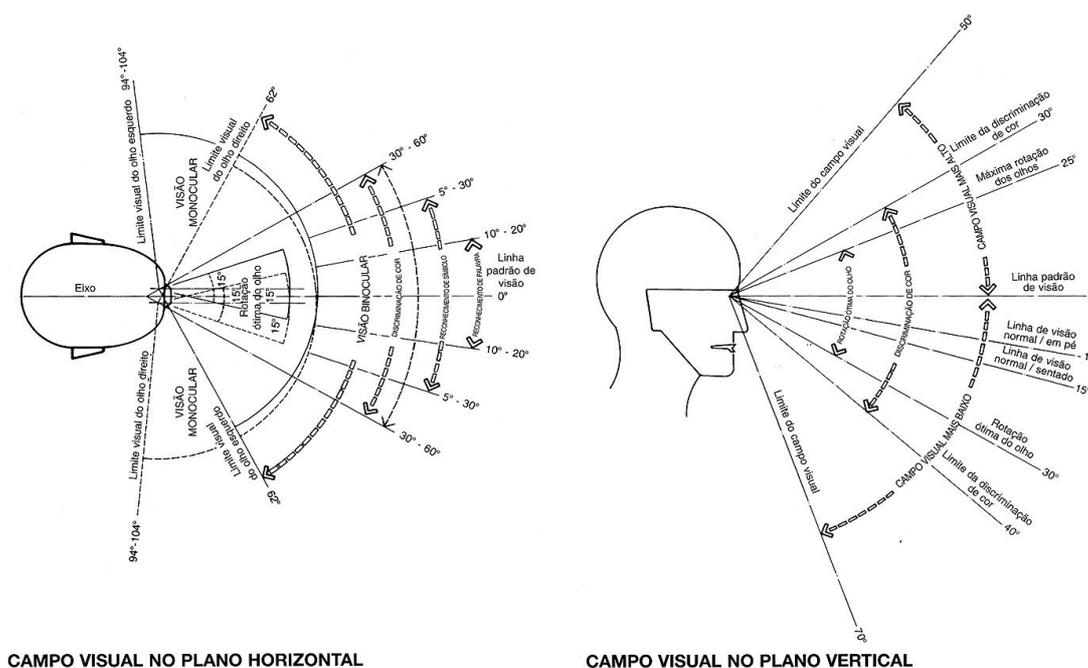


Fig. 2.5 – Ilustrações do campo visual num plano horizontal e vertical.
 [Retirado de: PANERO, ZELNIK, 2002]

Resultados de estudos antropométricos, ilustrados nas figuras 2.5, facultam alguns resultados úteis para a análise da iluminação natural nos edifícios. Questões simples como: A que altura média se encontram os olhos em indivíduos de pé e sentados? Que direcções de visão são mais usadas na realização de determinadas tarefas visuais? Até que afastamento angular em relação a essas direcções há risco de encandeamento? Podem ter resposta nesse tipo de estudos.

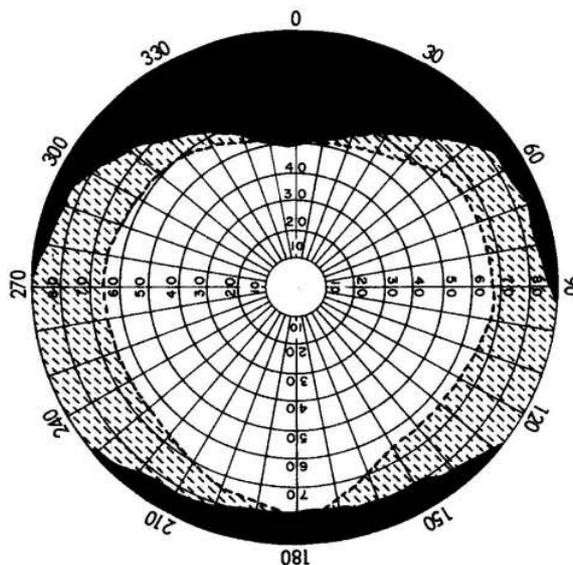


Fig. 2.6 - Diagrama de campo de visão binocular.
[Retirado de: <http://vision.arc.nasa.gov>, 2012]

A figura 2.6 ilustra o diagrama do campo de visão binocular com cabeça e os olhos imóveis. A área central a branco representa a região vista por ambos os olhos. As porções a cinzento à esquerda e direita representam as regiões vistas pelo olho esquerdo e direito respectivamente. A área ocultada pelas sobrancelhas, bochechas e nariz é mostrado a preto.

2.3 – TIPOS DE FENESTRAÇÃO

A fenestração sempre teve um papel fundamental na Arquitectura. Permite a relação do espaço interior com o exterior através do contacto visual e acústico, da iluminação natural, ganho solar e ventilação. Grande parte do conforto visual e térmico de um edifício pode ser determinado pelo uso adequado da fenestração.

Pode-se distinguir pela sua localização as fenestrações na fachada e as fenestrações na cobertura. Ambas se caracterizam pelas propriedades de transmissão das superfícies não opacas (transmissão directa, transmissão com reorientação, transmissão com difusão, transmissão com coloração ou filtragem), pela sua geometria (tamanho, posição, inclinação e orientação) e pelo uso de dispositivos de controlo solar (elemento rígido, elemento flexível, persiana e obstrução). Pode-se afirmar que o desempenho de uma determinada fenestração está dependente da iluminação natural disponível num determinado espaço e tempo e de factores do seu projecto. Na figura 2.7 apresentam-se os elementos do projecto da fenestração que irão influenciar o seu desempenho.

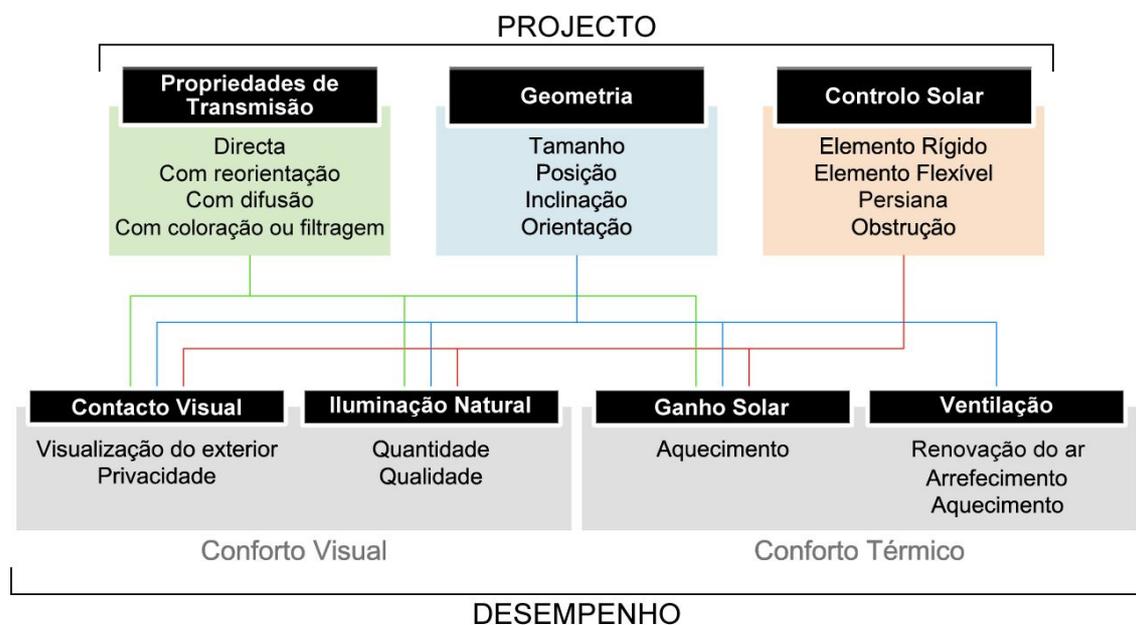


Fig. 2.7 - Diagrama dos elementos de projecto e desempenho da fenestração.

2.3.1- Propriedades de transmissão das superfícies não opacas

As propriedades mais comuns das superfícies não opacas a ter em conta no projecto da fenestração estão ilustradas na figura 2.8.

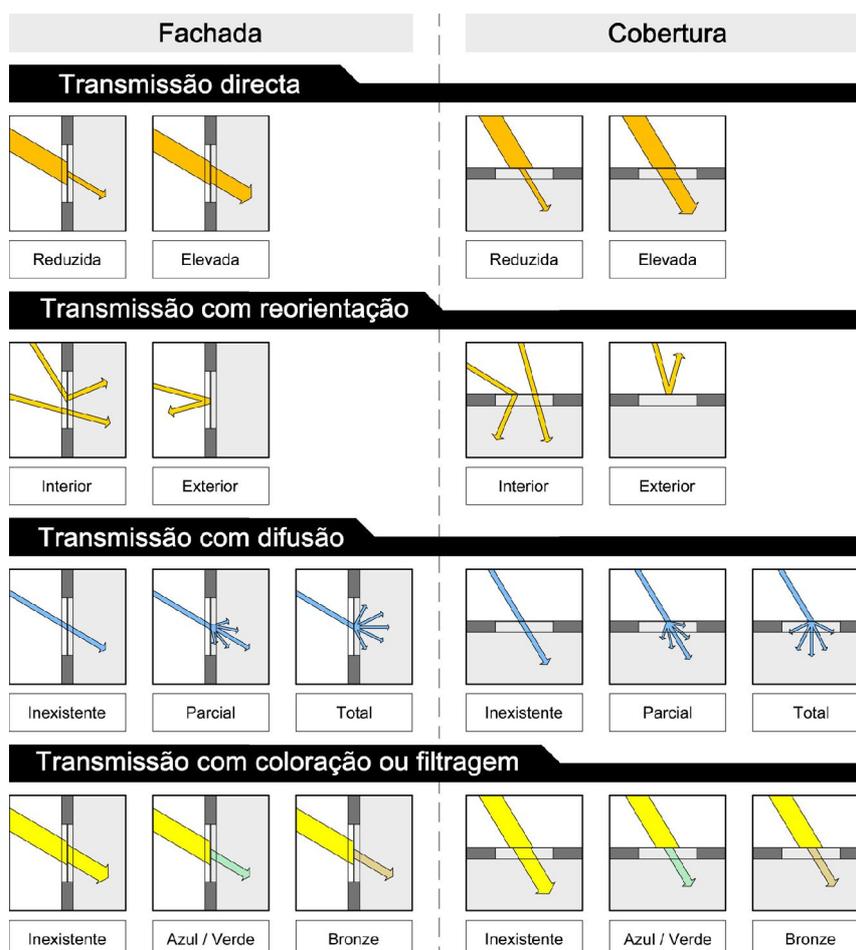


Fig. 2.8 - Propriedades de transmissão de superfícies não opacas.

Uma transmitância elevada fará com que seja aproveitada mais luz natural para o interior. Para além de aumentar as iluminâncias também irá aumentar o ganho solar térmico.

Os painéis prismáticos e *laser-cut* redireccionam para uma determinada direcção os raios neles incidentes. A refacção pode ser usada para redireccionar a luz para o tecto para uma melhor distribuição da luz natural nas áreas mais afastadas das aberturas. A refacção de um painel prismático

também poderá ser utilizada para desviar para o exterior grande parte dos raios solares que nele incide evitando deste modo grande parte dos ganhos térmicos ou encandeamento causado pela luz do Sol no plano de trabalho ou nos olhos dos utilizadores.

A difusão total ou perfeita fará com que a luz incidente de qualquer ângulo seja transmitida uniformemente em todas as direcções. Apesar de um envidraçado difusor incapacitar a percepção visual nítida através dele geralmente é mais brilhante do que se fosse transparente.

A utilização de envidraçados com tonalidades cromáticas e outras características próprias faz com que sejam filtradas gamas do espectro luminoso, diminuindo no geral a transmitância. Os vidros podem também filtrar radiação de onda longa responsável pela produção de calor e radiação ultra violeta.

2.3.2- Geometria

Os vários elementos que caracterizam a geometria da fenestração estão ilustrados na figura 2.9.

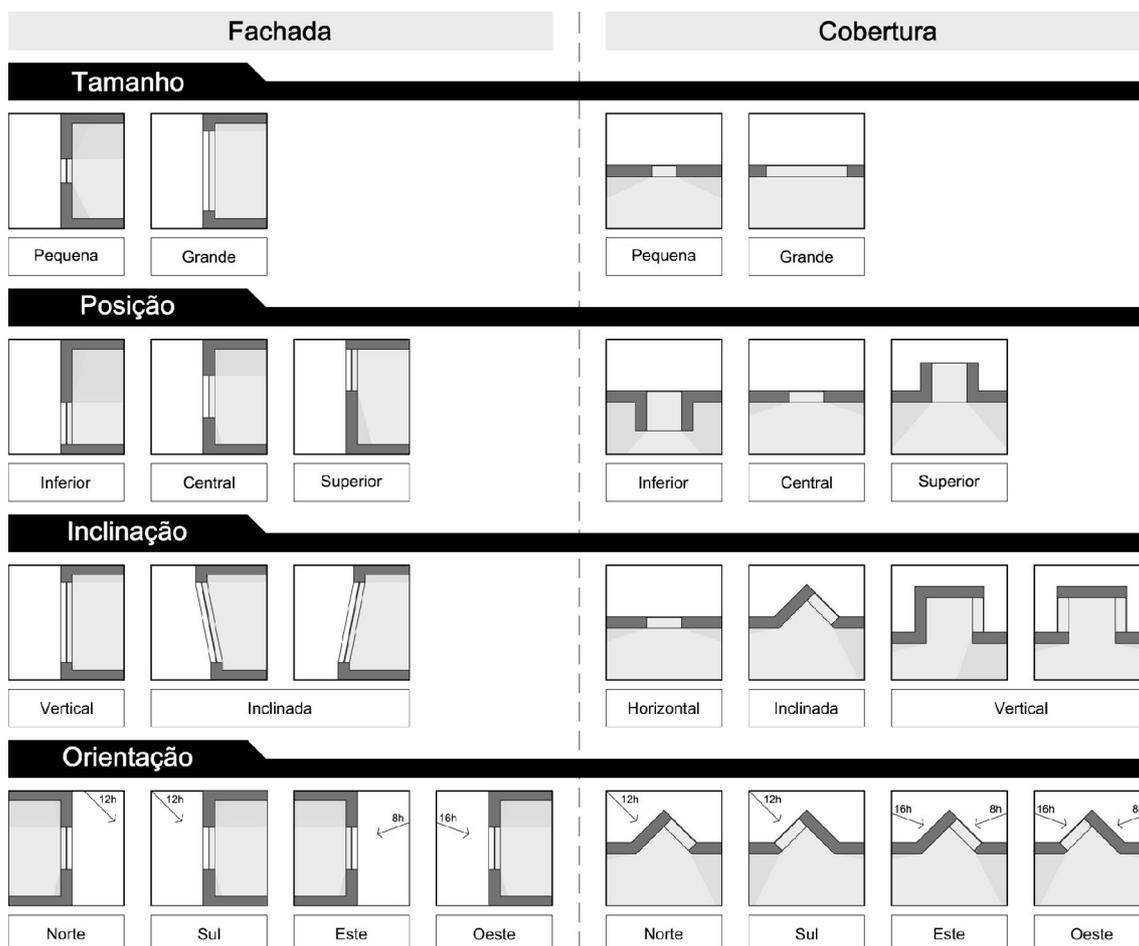


Fig. 2.9 - Geometria da fenestração.

O tamanho das aberturas irá influenciar o seu desempenho. Quanto maior a sua área não opaca, maior será o contacto com o exterior, e maior será a quantidade de luz natural e o ganho solar no interior. A distribuição de luz natural no interior é mais uniforme através do uso de várias aberturas em diversas posições do que o total da área envidraçada numa só abertura.

As aberturas podem assumir diferentes posições em altura e consequentemente diferentes características no seu desempenho. Uma abertura na parte inferior da fachada caracteriza-se por tirar partido

maioritariamente da luz reflectida e não permitem contacto visual satisfatório.

Aberturas a meia altura da fachada permitem que haja contacto visual com o exterior e iluminam bem o plano de trabalho próximo. Uma abertura no topo da fachada pode não permitir contacto visual de interesse, mas aproveita melhor a luz do céu, pois ilumina melhor as zonas afastadas. A variação em altura da posição das aberturas na cobertura não influencia tão significativamente o seu desempenho como nas fachadas.

A inclinação da fenestração apresenta um aspecto muito importante principalmente em aberturas na cobertura. Uma inclinação horizontal recebe luz de todas as direcções e é geralmente a solução que faculta mais luz natural. O seu ganho solar pode ser crítico no verão visto que a incidência dos raios solares pode chegar a ser quase perpendicular. As aberturas inclinadas e verticais têm um ângulo menor de aproveitamento da luz do céu, porém podem mais facilmente evitar problemas de penetração de luz do Sol e excesso de ganho térmico.

A orientação da fenestração deve ser projectada de modo a condicionar eficazmente a iluminação natural e ganho térmico no interior dos edifícios. Orientações verticais a Sul caracterizam-se por receber maior quantidade de radiação solar directa durante o dia. As orientações a Norte são as que menos recebem radiação solar directa. A Nascente e Poente recebem radiação solar directa no período da manhã e de tarde, respectivamente.

2.3.3 - Controlo solar

A classificação dos dispositivos de controlo solar da fenestração estão representados na figura 2.10.

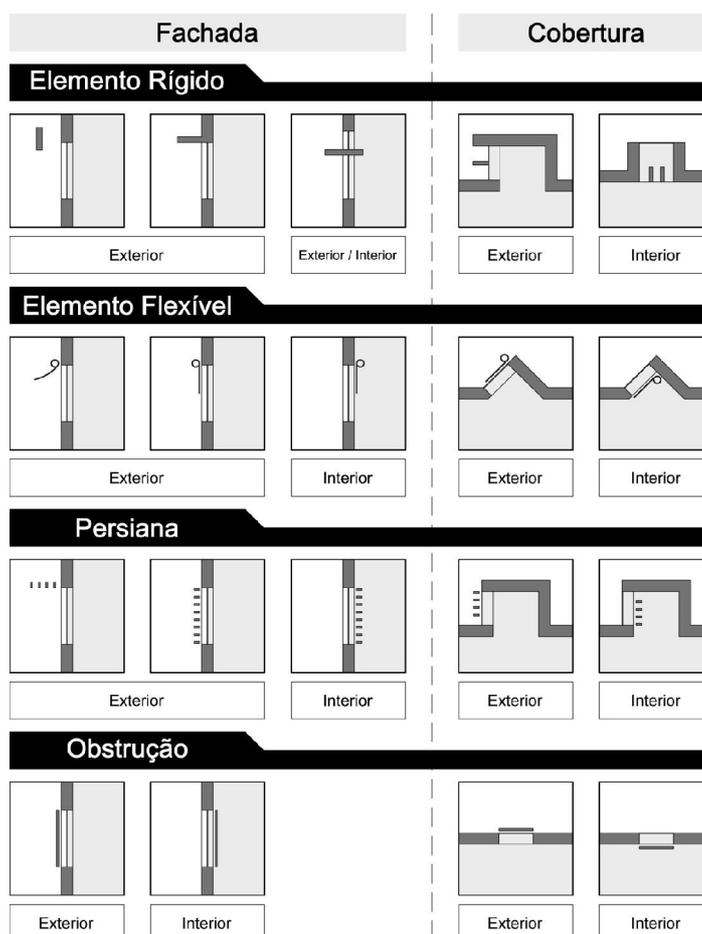


Fig. 2.10 - Controlo solar da fenestração.

Os dispositivos de controlo solar têm a finalidade de otimizar o desempenho da fenestração face à iluminação natural e ganho solar. Os elementos rígidos não são ajustáveis e costumam ser de material opaco. Podem limitar a incidência da radiação nos envidraçados e no interior ao mesmo tempo redireccionar ou difundir a luz natural para o interior.

Os elementos flexíveis costumam ser ajustáveis, tais como os toldos, os estores ou as cortinas. Podem ser utilizados materiais opacos para obstruir

totalmente a incidência da radiação solar ou então materiais translúcidos para difundir e diminuir a quantidade de luz no interior.

As persianas podem ser fixas ou móveis. A obstrução e difusão da luz natural e o contacto visual com o exterior dependem da inclinação das lâminas. O uso de materiais reflectores faz com que se possa aproveitar mais iluminação natural diminuindo o contraste na sua visualização.

Os dispositivos de obstrução são móveis tais como as portadas de janela. A sua utilização pelo exterior ou interior permite que haja ventilação impedindo que haja contacto visual e iluminação natural. Ao contrário do uso pelo exterior, o uso pelo interior permite ganhos solares maiores.

2.3.4 – Desempenho da fenestração das fachadas

- *Contacto visual*

As aberturas nas fachadas quando a sua posição se encontra à altura dos olhos geralmente permitem um contacto visual com o exterior fácil, excepto se a superfície não opaca for translúcida, ou possuir elementos de controlo solar que limitem a visualização através da janela. As dimensões da área transparente são factor determinante para um bom desempenho do contacto visual. Por outro lado, grandes dimensões de fenestração poderão reduzir a sensação de privacidade sendo portanto às vezes necessário usar dispositivos de ocultação.

- *Iluminação natural*

A quantidade de iluminação natural que é aproveitada pelas fenestrações na fachada está dependente de imensos factores, como transmitância das superfícies não opacas, dimensões, orientação e elementos de controlo solar. De um modo geral uma abertura vertical na fachada tem a particularidade de reduzir significativamente o nível de iluminação à medida que aumenta a distância em relação à janela. Para otimizar a distribuição da iluminação natural pode-se usar dispositivos de controlo solar que redireccionam a luz tais como elementos rígidos no topo da janela denominados de palas reflectoras (em inglês, *lightshelf*). A utilização de aberturas bilaterais também permitem uniformizar a distribuição da iluminação natural no interior do espaço.

Para uma boa qualidade da iluminação natural é importante reduzir ou eliminar os efeitos de encandeamentos causados pela luz do Sol e ou pela luz do céu. O uso de superfícies não opacas com características difusoras poderá funcionar bem em fenestrações mais afastadas do campo de visão, como por exemplo, no topo da fachada. Envidraçados difusores à cota dos olhos poderá ter um efeito contrário fazendo com que a superfície não opaca se visualize excessivamente brilhante o que pode causar encandeamento. Elementos de

controlo solar são muitos úteis para a redução do encandeamento visto que parte deles podem ser ajustados manualmente quando necessário, como por exemplo as persianas.

- Ganho solar

As aberturas verticais na fachada orientadas a Sul sem obstáculos em frente têm boas condições para o aproveitamento de ganhos solares, visto que, a incidência da luz do Sol nas superfícies a sul é maior no Inverno e menor no Verão. Fenestração orientadas a Norte minimizam os ganhos solares durante todo o ano. Os dispositivos de controlo solar pelo exterior permitem reduzir mais o ganho solar do que quando colocados pelo interior impedindo o aquecimento da área envidraçada.

- Ventilação

O uso de aberturas acessíveis ou com comando acessível na fachada facilitam o controlo da ventilação manualmente. O tamanho e posição da fenestração são factores relevantes a considerar para um bom desempenho de arrefecimento por meio da ventilação natural.

2.3.5 – Desempenho de fenestrações na cobertura

- *Contacto visual*

As aberturas na cobertura podem permitir contacto visual com o exterior, mas é pobre, visualizando-se na maioria dos casos apenas o céu. Porém desta forma poderão contribuir para uma maior privacidade do espaço.

- *Iluminação natural*

As aberturas na cobertura caracterizam-se geralmente por uma boa uniformidade da distribuição da luz natural no interior. Estas encontram-se na maioria dos casos desobstruídas permitindo maior aproveitamento da luz natural resultando em iluminâncias mais elevadas sobre o plano de trabalho. As aberturas na cobertura têm a vantagem de poderem assumir diferentes inclinações e orientações independentemente da envolvente vertical do edifício. A sua aplicação é mais comum em edifícios de um só piso que possuam grandes áreas a iluminar. O uso de superfícies não opacas difusoras pode melhorar a uniformidade de distribuição da luz natural reduzindo o efeito de manchas solares causadas pela incidência da luz do sol directa no interior. O uso de dispositivos de controlo solar permanentes em aberturas na cobertura é de mais interesse do que dispositivos móveis, porque salvo no caso de serem comandados por sistemas eléctricos, os dispositivos móveis são de difícil controlo a partir de zonas acessíveis. Aberturas verticais na cobertura orientadas a Norte dispensam em geral características difusoras ou controlo solar visto que aproveitam principalmente a luz difusa proveniente do céu e é reduzida a luz do Sol directa nelas incidente. Aberturas verticais de dupla orientação na cobertura denominadas de lanternim devem ser orientadas a Sul e Norte pois permitem mais facilmente o controlo da luz do Sol directa a Sul e da luz do céu a Norte.

- Ganho solar

Aberturas horizontais na cobertura poderão permitir um excesso de ganho térmico no período da Primavera e Verão visto que os raios solares incidem quase perpendiculares à superfície não opaca. Minimizar o excesso de ganho solar neste tipo de fenestração poderá passar pelo uso de superfícies não opacas difusoras e de transmitâncias ou áreas mais reduzidas. As aberturas verticais na cobertura têm ganhos solares idênticos às aberturas nas fachadas por possuírem a mesma inclinação. Convenientemente orientadas, podem ser mais eficientes no aproveitamento dos ganhos solares.

- Ventilação

Ventilar um espaço pela cobertura permite extrair mais eficientemente o ar quente. Existe todavia, o problema do seu controlo, sendo necessário, em geral, a aplicação de sistemas de controlo eléctricos.

2.4 – TIPOS DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

A solução construtiva de um edifício reflecte sobretudo o tipo de estrutura e respectivos materiais de construção. Como tal, a solução construtiva representa o modelo de materialização.

Os edifícios em nave tendem a possuir grandes áreas de utilização, com grandes vãos e o mínimo de pilares. São edifícios que têm a particularidade de geralmente conterem um só piso. Devido a tais singularidades, torna-se viável captar a iluminação natural por meio da cobertura e assegurar a sua distribuição interior adequada.

Um determinado tipo de fenestração na cobertura poderá ficar condicionado pelo tipo de solução construtiva, do mesmo modo que um tipo de solução construtiva poderá ficar comprometido pelo tipo de fenestração.

Hoje em dia, no mercado, existe uma grande diversidade de soluções abrangendo vários tipos de fenestrações, muitas delas com nível elevado de pré-fabricação, o que permite reduzir o custo e o tempo de construção. Em linhas gerais, as diferentes soluções construtivas podem-se ordenar segundo o material de construção, nomeadamente: aço, betão e madeira.

Para todas estes materiais é possível encontrar soluções de fenestração diversificadas, todavia cada situação tem singularidades que podem ser decisivas na sua escolha, designadamente: a capacidade de se adequar à geometria do espaço projectado (vãos; pé direito livre, dimensões da fenestração), custo da construção, entre outras.

Tal como no capítulo anterior se chegou à conclusão de que não existe um tipo de fenestração exemplar, de igual modo não é possível qualificar um melhor tipo de solução construtiva. Parte sempre de o arquitecto e respectiva equipa de trabalho ponderar qual delas se adapta melhor às necessidades e condicionantes do projecto.

As figuras 2.11, 2.12 e 2.13 exemplificam para cada um dos materiais referidos – aço, betão e madeira – soluções com fenestrações que possibilitam aberturas horizontais, inclinadas e verticais.

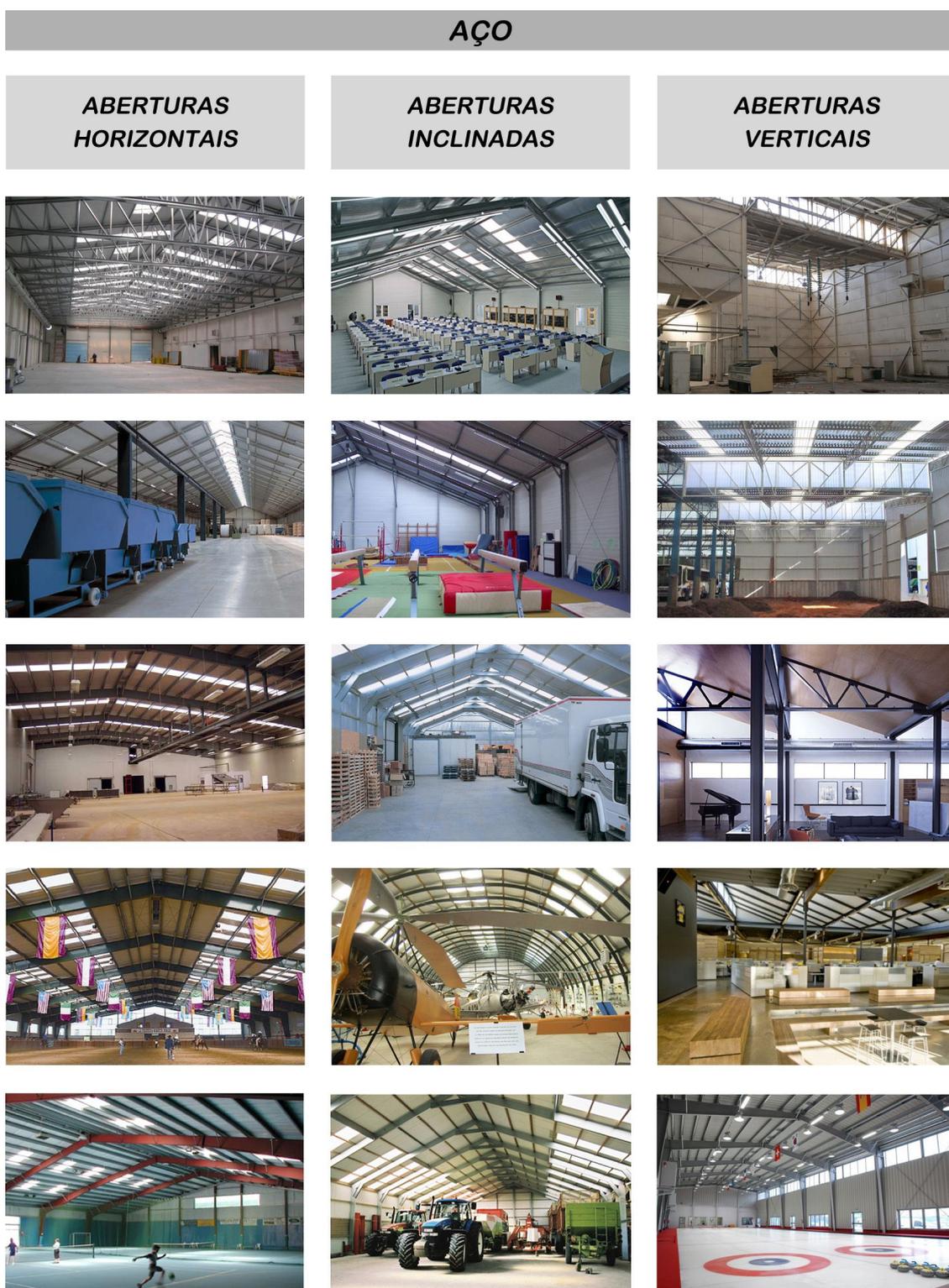


Fig. 2.11 - Fotos de soluções em aço com fenestrações na cobertura.
[Adaptado de: <http://www.archiproducts.com>, 2010]

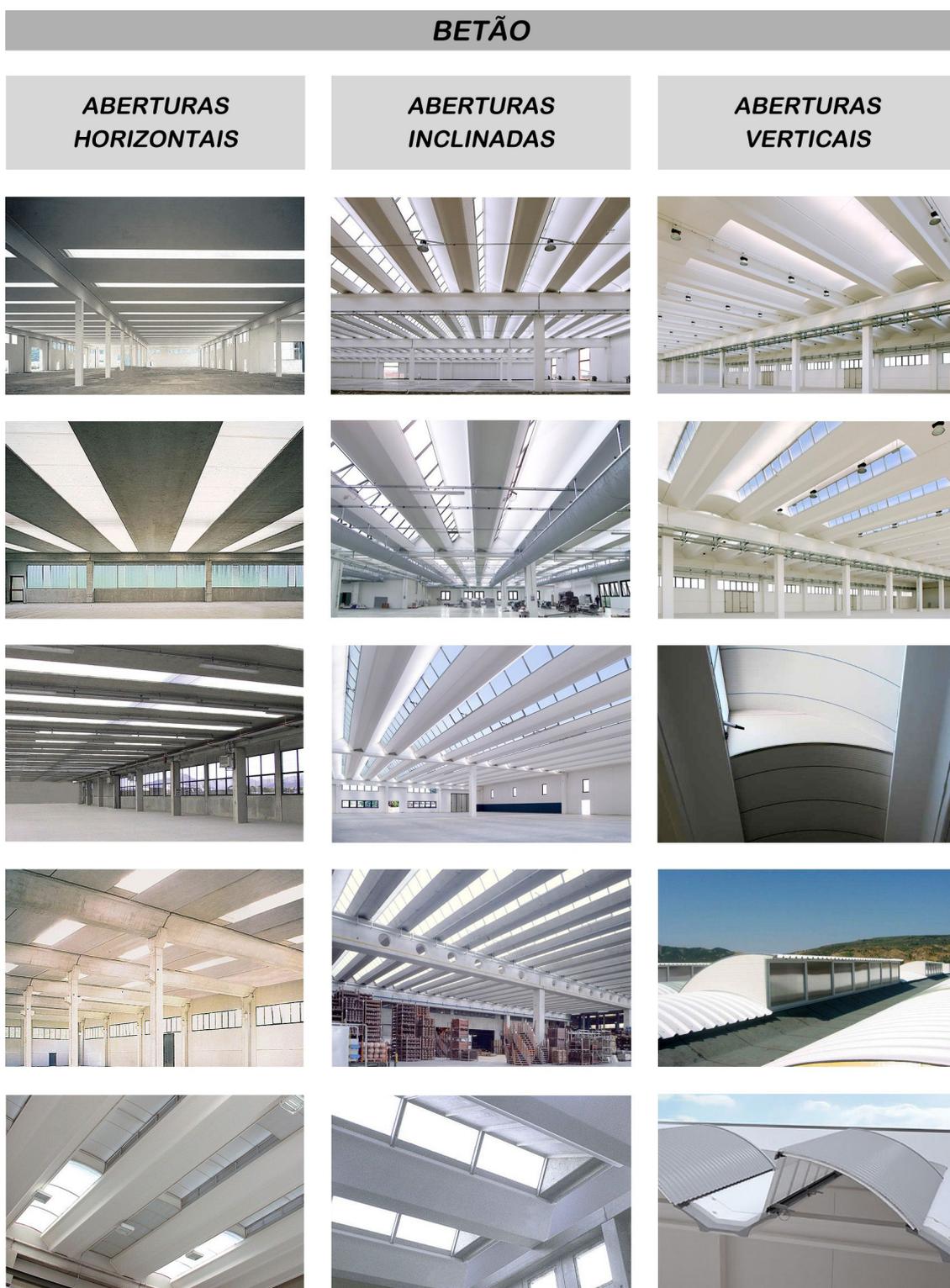


Fig. 2.12 - Fotos de soluções em betão com fenestrações na cobertura.
[Adaptado de: <http://www.archiproducts.com>, 2010]

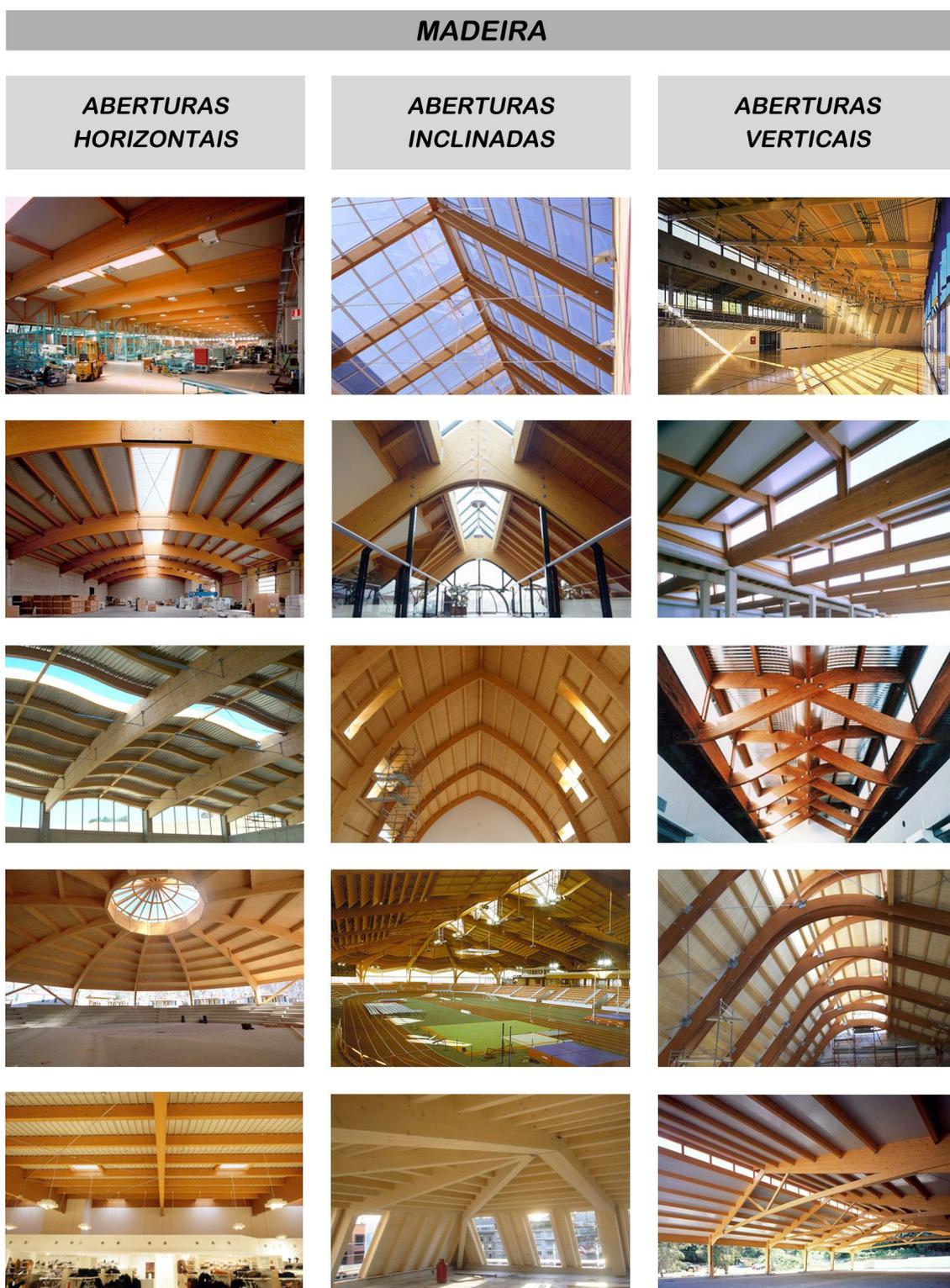


Fig. 2.13 - Fotos de soluções em madeira com fenestrações na cobertura.
[Adaptado de: <http://www.archiproducts.com>, 2010]

2.5 – CLIMA DO ALGARVE

O Algarve tem uma área total de 5412 km² e localiza-se sensivelmente entre 36° 58' e 37° 33' de latitude. O Algarve é caracterizado por um clima temperado mediterrâneo. Segundo a classificação de Köppen, a região do Algarve tem um clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente. A estação seca coincide com o Verão, sendo este, um tipo climático pouco comum no conjunto das áreas continentais da Terra.

Num dado local, a insolação é o tempo durante o qual o Sol está descoberto nesse local. Exprime-se em horas (h) ou em percentagem, isto é, o quociente multiplicado por 100% entre a insolação observada e a insolação máxima possível no mesmo intervalo de tempo dada por tábuas astronómicas.

A figura 2.14 ilustra a insolação no Algarve no período de 1931 a 1960.

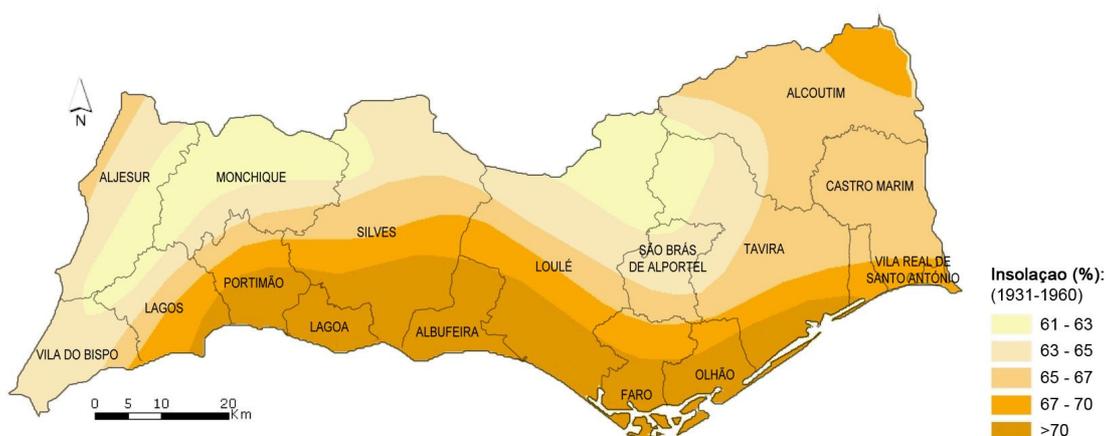


Fig. 2.14 - Insolação no Algarve no período de 1931-1960
[Adaptado de: INCB, 2009]

A insolação depende da latitude, da época do ano, da exposição ao Sol e da nebulosidade, notando-se diferenças nos valores observados de local para local. O quadro 2.1 contém os valores médios no mês e no ano da insolação em sete regiões do Algarve entre 1941 e 1970. No mesmo quadro, acrescenta-se à direita uma coluna com os valores de insolação anual apurada no período 1951-80, que como se pode ver, apresenta ligeiras diferenças.

Quadro 2.1 - Insolação média mensal e anual entre 1941 e 1960

[Adaptado de INMG, 1981]

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano (1941-70)	Ano (1951-80)
Sagres	h	148,1	168,8	197,2	256,9	300,9	315,9	340,4	327,5	249,0	220,0	160,6	161,9	2847,2	61
	%	48	55	53	65	69	72	76	78	67	63	52	54	64	
Faro	h	167,4	187,2	210,7	273,0	322,0	340,0	381,6	362,8	273,1	237,4	174,9	179,6	3110,4	68
	%	54	61	57	69	73	77	85	86	73	68	57	60	70	
Foia	h	110,8	143,3	140,2	223,7	294,4	312,0	368,2	350,4	242,8	171,5	108,3	92,8	2558,4	—
(1958-65)	%	36	47	38	57	67	71	82	83	65	49	35	28	57	
Praia da Rocha	h	166,9	181,7	209,1	272,8	322,2	333,0	347,5	362,9	264,6	224,5	174,9	179,6	3039,7	68
	%	54	59	56	69	73	76	78	86	71	64	57	60	68	
Tavira	h	172,2	199,3	205,4	265,5	322,4	376,7	391,6	368,9	277,5	237,0	178,9	171,4	3166,8	71
(1941-63)	%	56	65	55	67	73	86	88	88	74	68	58	57	71	
Tavira/Conc.	h	166,1	163,7	239,7	273,2	341,9	335,1	397,0	378,2	268,4	233,5	170,9	207,2	3174,9	68
(1964-70)	%	54	53	65	69	78	76	89	90	72	67	56	69	71	
Vila Real S. Antão	h	192,2	166,0	218,7	250,4	275,7	326,1	346,6	332,8	270,8	198,6	144,7	126,7	2689,3	—
(1941-51)	%	42	54	59	64	63	74	77	79	73	57	47	43	63	

Capítulo 3

Instrumentos de Estudo da Iluminação Natural

3.1 – DESKTOP RADIANCE

No estudo da iluminação natural, a utilização de uma programa computacional para simulação e análise do desempenho da iluminação torna-se cada vez mais útil nos dias de hoje. Para além de se poder recriar virtualmente um edifício já construído o interessante objectivo desta ferramenta é servir de instrumento de estudo da iluminação ao Arquitecto ainda na fase de projecto. Desta forma o Arquitecto pode possuir com algum rigor, a quantificação do desempenho da iluminação num determinado espaço geométrico projectado.

3.1.1 – Características gerais

O *Desktop Radiance* é uma ferramenta de análise e visualização da iluminação desenvolvida no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley situado na Califórnia, Estados Unidos. Pode ser usado para modelar a iluminação natural ou sistemas de iluminação eléctrica. Permite criar virtualmente toda a geometria do modelo a analisar.

Este programa provém de outro chamado *Radiance*, que foi inicialmente desenvolvido como uma ferramenta de pesquisa para o sistema *Unix*, obrigando a entender alguns princípios de programação. A versão *Desktop Radiance* é mais versátil, trabalhando através de uma interface gráfica, que

permite uma melhor interacção do utilizador com o programa. O *Desktop Radiance* é instalado como forma de plug-in, ou seja, um acrescento ao programa *AutoCAD R14* ou *AutoCAD 2000* no sistema operativo *Windows*. A integração com o programa *AutoCAD* permite maior liberdade e controlo na modelação da geometria do modelo em estudo. Por outro lado, dá uma maior comodidade no controlo dos parâmetros de simulação do *Radiance* e a maioria dos comandos complexos do programa tornam-se mais transparentes para o utilizador. Contudo nem todos os comandos estão directamente disponíveis ou visíveis na interface com o utilizador e é necessário entender primeiramente alguns conceitos do *Radiance* se queremos resultados mais exigentes ou precisos.

O Desktop Radiance permite calcular a iluminância de um ponto singular ou de uma malha de pontos em planos com qualquer orientação, ou produzir uma imagem renderizada¹ representativa de iluminâncias ou luminâncias (figura 3.1).

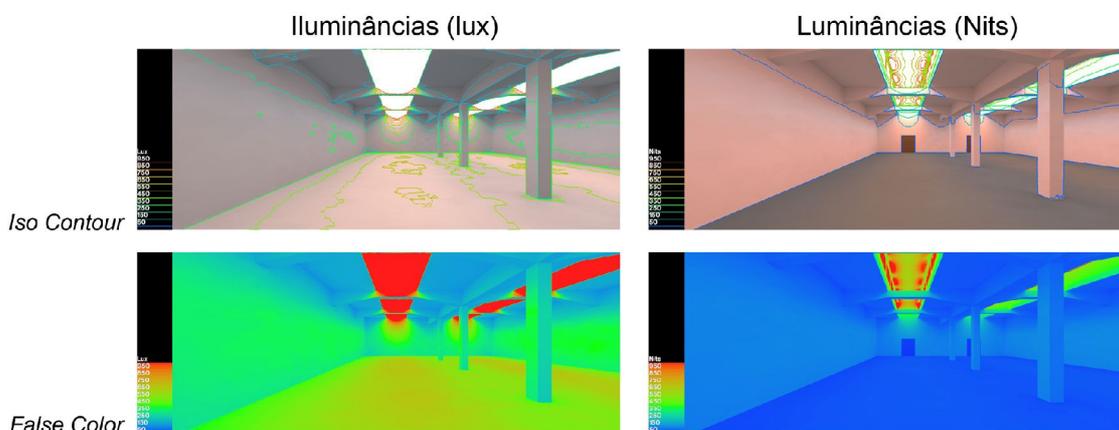


Fig 3.1 - Tipos de representação das iluminâncias e luminâncias segundo uma imagem renderizada.

¹ Faz-se aqui um aporuguesamento do termo inglês *render*. Este termo refere-se ao processo de cálculo para representação de uma imagem através de pontos. Aplica-se como verbo à actividade corresponde – o que se designará em português por “renderizar” - ou ao resultado dum processo – a que se chamará “renderização”.

3.1.2 – Funcionamento do programa

O programa *Desktop Radiance* funciona primeiramente usando o traçado inverso de raios (*backward ray tracing*). Este processo é apropriado para gerar as renderizações de uma imagem, e para realizar cálculos das iluminâncias em pontos ou em malha de pontos. Os raios são traçados da posição do observador para cada superfície que é visível desta posição, visando calcular a cor e a intensidade luminosa a atribuir a cada um dos pixels da imagem renderizada. Alguma interpolação pode ser feita entre pixels individuais. Um processo idêntico é realizado para os cálculos das iluminâncias em pontos singulares ou numa malha de pontos.

Para cada raio que é traçado no espaço para uma determinada superfície, são consideradas várias reflexões adicionais até que o raio atinja a fonte luminosa. Em cada reflexão é considerada a reflectância da superfície. A distribuição do traçado inverso de raios é estatisticamente determinada segundo as propriedades de reflexão da superfície. A vantagem desta técnica do traçado inverso de raios é que imagens de um espaço complexo podem ser renderizados num intervalo de tempo relativamente curto. Uma superfície que não esteja no campo de visão não é analisada a menos que seja atingida por um dos raios traçados. De uma maneira geral, o tempo que o programa demora a processar uma renderização ou um cálculo depende dos valores dos parâmetros de cálculo utilizados. Quantas mais reflexões ou mais detalhe nos parâmetros forem considerados, mais lento será o processamento de cálculo.

O *Desktop Radiance* considera igualmente a composição espectral das fontes luminosas e as características espectrais das reflexões ou transmissões de uma superfície, usando para a fonte de luz a composição de cores equivalente do sistema RGB (Red Green Blue). Estas componentes espectrais RGB correspondem ao sistema de especificação de cor adequado ao sistema de cores usado nos ecrãs de computador.

3.1.3 – Contribuição das superfícies envidraçadas

No Desktop Radiance existem duas formas diferentes de calcular a contribuição de uma superfície envidraçada. Uma delas considera a área envidraçada como fonte luminosa, a outra considera a área envidraçada apenas como um material que transmite a luz.

Considerando a área envidraçada como uma fonte luminosa usa-se o comando *mkillum* do *Desktop Radiance*. Este é o método usado por defeito no Desktop Radiance. Neste modo toda a luz vinda do exterior que incide na superfície envidraçada é primeiramente analisada, sendo atribuída ao envidraçado uma intensidade luminosa uniformemente distribuída em toda a sua área, cujo efeito para dentro do modelo de estudo, será posteriormente estimado.

O cálculo com o comando *mkillum* é relativamente rápido na maioria dos casos, mas tem a desvantagem de admitir uma distribuição uniforme da intensidade luminosa através de toda a janela, o que não será o caso quando existir uma pala ou outras obstruções exteriores próximas da janela. Para solucionar esse problema, é necessário subdividir a área envidraçada em áreas mais pequenas, permitindo deste modo considerar na janela, distribuições com diferentes intensidades luminosas.

Outra desvantagem deste método considerando a área envidraçada como uma fonte luminosa é que, por força deste processo de cálculo, esta mesma área é subdividida em 64 superfícies, representadas por pontos que emitem luz, tal provoca uma distribuição não uniforme da iluminância no contorno das janelas que torna menos realista a imagem do contorno das janelas. Para solucionar o problema há necessidade de subdividir a superfície envidraçada em áreas mais pequenas. Quando as janelas são consideradas como fontes luminosas, a contribuição directa dos raios do Sol é considerada separadamente, não sendo incluída na distribuição da intensidade luminosa da superfície envidraçada.

Considerando a área envidraçada como um material que transmite a luz, esta pode ter uma distribuição não uniforme da intensidade luminosa, pois os

raios, segundo o traçado inverso podem passar através dela chegando a objectos exteriores com diferentes características.

Este processo considera-se ser o mais exacto quando existem palas, saliências ou outros elementos de obstrução no exterior influenciando a distribuição da luz admitida através da superfície envidraçada. Porém na maioria dos casos o cálculo poderá demorar significativamente mais por necessitar de mais reflexões. Um problema pode surgir quando a área envidraçada é demasiadamente pequena, pois os raios gerados e estatisticamente organizados podem falhar a fonte luminosa. Pode acontecer o mesmo em protecções com pequenas aberturas como estores, persianas, entre outros.

Ao considerar a área envidraçada como uma fonte luminosa, a distribuição das iluminâncias nas superfícies tende a ser muito uniforme. Considerando a área envidraçada como um material que transmite a luz, a distribuição das iluminâncias nas superfícies costuma apresentar um aspecto mais manchado ou desigual, acentuando-se tanto mais quanto mais insuficiente for o número de raios reflectidos. Deve-se tal ao facto de a luz reflectida no interior ser determinada por uma amostragem aleatória de raios adicionais reflectidos pelas superfícies.

Na figura 3.2 ilustra-se um exemplo de uma renderização com os dois tipos de contribuição das superfícies envidraçadas.

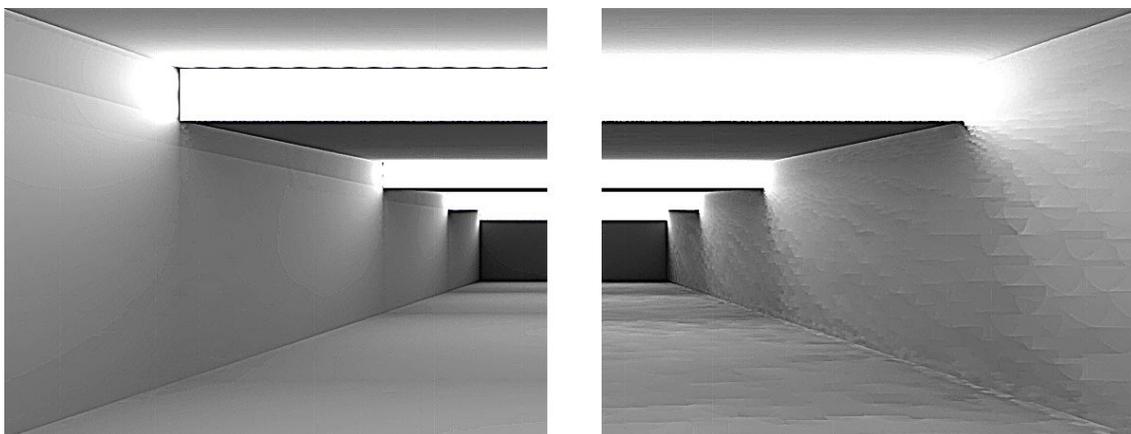


Fig. 3.2 – Renderização com: área envidraçada como fonte luminosa (à esquerda); área envidraçada como material que transmite luz (à direita).

3.1.4 – Parâmetros de cálculo do Desktop Radiance

Para compreender o funcionamento da simulação da iluminação natural no *Desktop Radiance* é necessário conhecer os parâmetros de cálculo usados no programa. Os parâmetros de cálculo são inseridos numa linha de comandos com a designação *Override Settings* no separador *Rendering* dos parâmetros avançados de cálculo do *Desktop Radiance* (figura 3.3). Estes parâmetros estão associados em quatro grupos: Parâmetros de cálculo da luz indirecta; Parâmetros de cálculo da luz directa; Parâmetros de cálculo dos pixeis; Outros parâmetros de cálculo. Para cada parâmetro de cálculo é mencionado, logo a seguir ao nome, o respectivo comando.

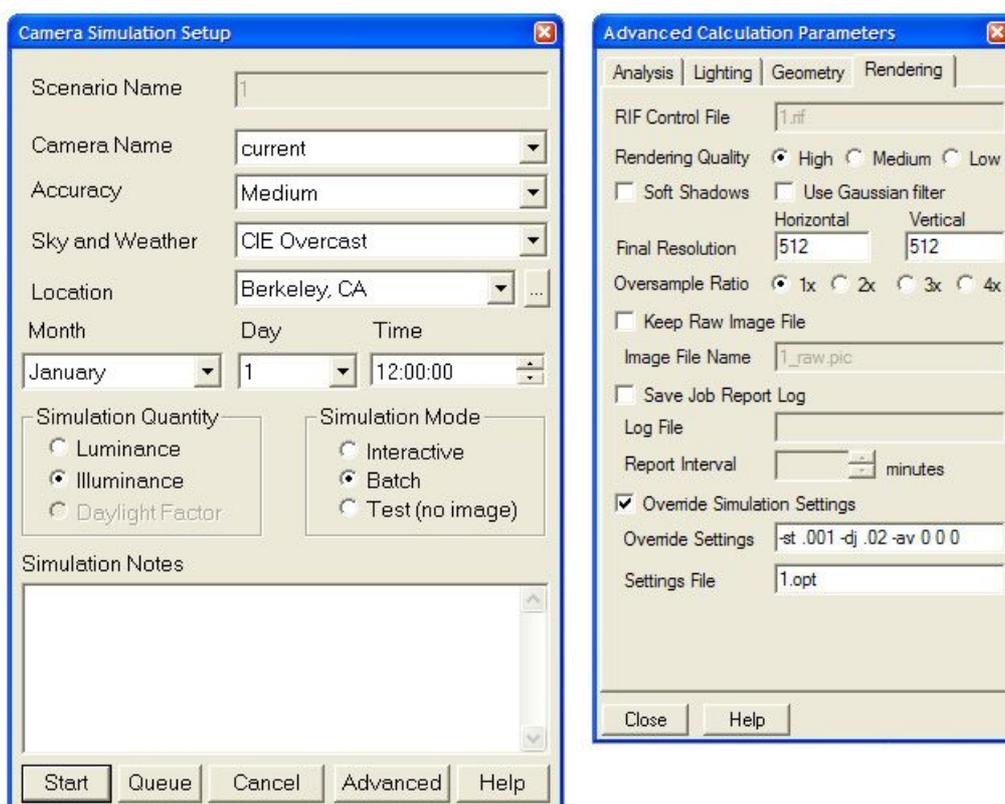


Fig. 3.3 – Janela de configuração da simulação (à esquerda) e parâmetros avançados de cálculo do Desktop Radiance (à direita).

3.1.4.1 – Parâmetros de cálculo da luz indirecta

Os parâmetros de cálculo da luz indirecta especificam o modo de simulação da luz indirecta. Esta é a parte mais importante e igualmente mais complicada do cálculo, reflectindo-se no número de parâmetros que podem ser definidos.

Ambient Value -av

O *Ambiente Value* caracteriza a luz ambiente, distinguindo o vermelho, verde e azul (RGB) e corresponde aos valores finais adoptados para a luz indirecta. Este é o valor final usado no cálculo indirecto da luz. Por defeito o programa estima automaticamente o valor da luz ambiente. Contudo para conseguir resultados satisfatórios é preferível eliminar toda a luz ambiente e permitir que o programa a calcule através de múltiplas reflexões de raios.

Ambient Resolution -ar

O *Ambient Resolution* irá determinar a densidade máxima de valores de ambiente utilizados na interpolação. Este valor é introduzido automaticamente pelo Desktop Radiance consoante o tamanho da cena. O valor de “0” interpreta a resolução como ilimitada.

Ambient Accuracy -aa

O *Ambient Accuracy* é aproximadamente igual ao erro da interpolação da iluminação indirecta. O valor de “0” implica não existir interpolação. Para resultados com maior acuidade é recomendável utilizar um valor baixo para este parâmetro.

Ambient Divisions -ad

O *Ambient Divisions* define o número de raios gerados para o cálculo da luz indirecta. Considerando reflexões difusas da luz indirecta, através do parâmetro *Ambient Bouces*, em cada reflexão será gerado a mesma quantidade de raios definido pelo *Ambient Divisions*. O valor de “0” implica

nenhum cálculo indirecto. Para se conseguir resultados mais precisos é recomendável usar um valor alto para este parâmetro.

Ambient Super-Samples -as

O *Ambient Super-Samples* regula o número de amostras extras. São consideradas amostras extra somente para o *Ambient Divisions* que mostram uma variação significativa. As amostras extras aumentam a densidade espacial dos pontos amostrados sobre a superfície em análise, nas divisões, onde realmente fazem a diferença e podem melhorar a precisão. Para se conseguir resultados mais precisos é recomendável usar um valor alto para este parâmetro.

Ambient Bounces -ab

O *Ambient Bounces* determina o número máximo de reflexões difusas da luz. O valor de “0” implica ausência de cálculo da luz indirecta. Para resultados precisos, os valores mais aconselháveis a utilizar são entre “5” e “8”.

3.1.4.2 – Parâmetros de cálculo da luz directa

Os parâmetros de cálculo da luz directa especificam o modo de simulação da luz que é transmitida directamente entre as fontes luminosas e as superfícies. Na maioria dos casos, afectará a representação das sombras causadas por objectos entre as fontes luminosas e as superfícies.

Direct-pretest Density -dp

O *Direct-pretest Density* define a densidade das amostras das fontes secundárias. Este é o número de amostras por esterradiano que será usado para determinar antecipadamente se vale a pena ou não seguir os raios de sombra em todas as reflexões ou transmissões associadas a uma fonte secundária. O valor de “0” significa que o caminho de todas as fontes secundárias será sempre considerado para sombras.

Source Substructuring -ds

Uma fonte luminosa será subdividida até que a largura de cada área da amostra, dividida pela distância ao ponto iluminado, esteja abaixo da relação. Isto assegura com pouco consumo computacional a exactidão nas regiões próximas de fontes luminosas de grande dimensão. Com o valor de “0”, é desligada a subdivisão da fonte.

Source Jitter -dj

Um valor positivo do *Source Jitter* faz com que os raios sejam distribuídos sobre cada amostra da fonte luminosa de acordo com o seu tamanho, criando deste modo penumbras mais exactas. Quando o valor é baixo pode causar problemas tais como o efeito de distribuição luminosa manchado ou desigual.

Direct Relays -dr

O *Direct Relays* controla as fontes de luz secundárias. O valor de “0” faz com que as fontes secundárias sejam ignoradas. O valor de “1” significa que serão simuladas as fontes secundárias da primeira geração. O valor de “2” significa que as fontes secundárias da segunda geração, e assim sucessivamente.

3.1.4.3 – Parâmetros de cálculo dos pixeis

Os parâmetros desta secção têm somente o significado em simulações que resultam numa imagem. Podem ser dispensados para o cálculo e análise da iluminação.

Pixel Sampling Rate -ps

O *Pixel Sampling Rate* especifica o afastamento das amostras em pixeis, para a subdivisão adaptável no plano da imagem.

Sampling Threshold -pt

Se o afastamento de duas amostras difere mais do que o valor do *Sampling Threshold*, uma terceira amostra será criada entre elas.

3.1.4.4 – Outros parâmetros de cálculo

Os parâmetros nesta secção configuram alguns detalhes no comportamento de materiais brilhantes e optimizações para o uso de reflexões especulares.

Specular Jitter -sj

O *Specular Jitter* alterará o grau de detalhe ou pormenor que é considerado nos materiais de superfície rugosa. Um valor de 1 significa que todos os graus de pormenor serão totalmente desenhados usando o método de traçamento de raios. O valor de 0 fará com que todas as reflexões sejam especulares mesmo quando deviam ser difusas.

Limit Reflection -lr

O *Limit Reflection* configura o limite máximo de reflexões especulares.

Limit Weight -lw

O *Limit Weight* limita o traçamento de raios segundo um valor mínimo. Durante o traçamento de raios, um registo é mantido para a contribuição final que um raio tem na imagem. Se essa contribuição é menor que o valor especificado, o raio não será traçado.

3.2 – CARTAS SOLARES

As cartas solares são muito utilizadas na resolução de problemas de insolação e sombreamento. Elas representam a relação entre o observador e o céu. Na Terra o observador pode entender essa relação através do movimento aparente do Sol que ao longo do ano descreve diferentes trajectórias na abóbada celeste. A figura 3.4 ilustra a abóbada celeste e a relação geométrica entre o observador e a posição do Sol. O azimute é a distância angular horizontal entre o Norte e o objecto observado medida positivamente para Nascente. A altura solar é a distância angular vertical que vai do horizonte ao objecto observado. O zénite é o pólo superior da abóbada celeste que coincide em projecção ortogonal no plano horizontal com o observador. O zenite representa o ponto de altura máxima de 90° .

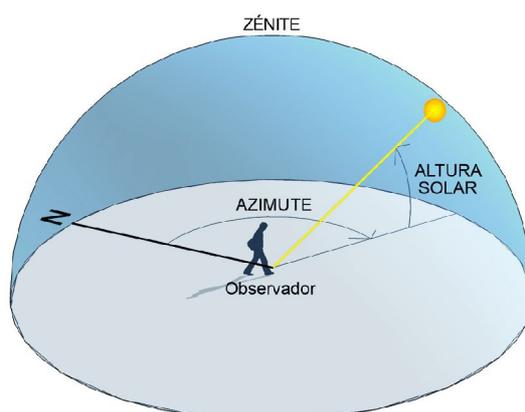


Fig. 3.4 – Ilustração da abóbada celeste.

Uma carta solar representa as trajectórias do Sol ao longo do ano para dada latitude. Em regra, as cartas solares, fazem essa representação recorrendo a uma projecção plana da abóbada celeste. Existem vários tipos de projecções planas dentre as quais se ilustram na figura 3.5 três tipos: projecção ortográfica, projecção gnomónica e projecção estereográfica. Todas têm particularidades na distorção da escala. A projecção ortográfica representa os círculos das alturas solares mais espaçados próximo do centro diminuindo o espaçamento até ao horizonte. Na projecção gnomónica é impossível representar o horizonte e o espaçamento das alturas solares aumenta à medida que se afasta do centro. A projecção estereográfica é uma perspectiva

verdadeira na sua forma esférica. O espaçamento das alturas solares também aumenta à medida que se afasta do centro, mas a variação da escala é pouco significativa face às projecções atrás referidas. Esta é a projecção adoptada mais correntemente em Portugal para a representação de cartas solares. As trajectórias do Sol bem como as linhas que referenciam o tempo solar verdadeiro correspondem, na projecção estereográfica, a arcos de circunferência, o que facilita muito a construção das cartas solares.

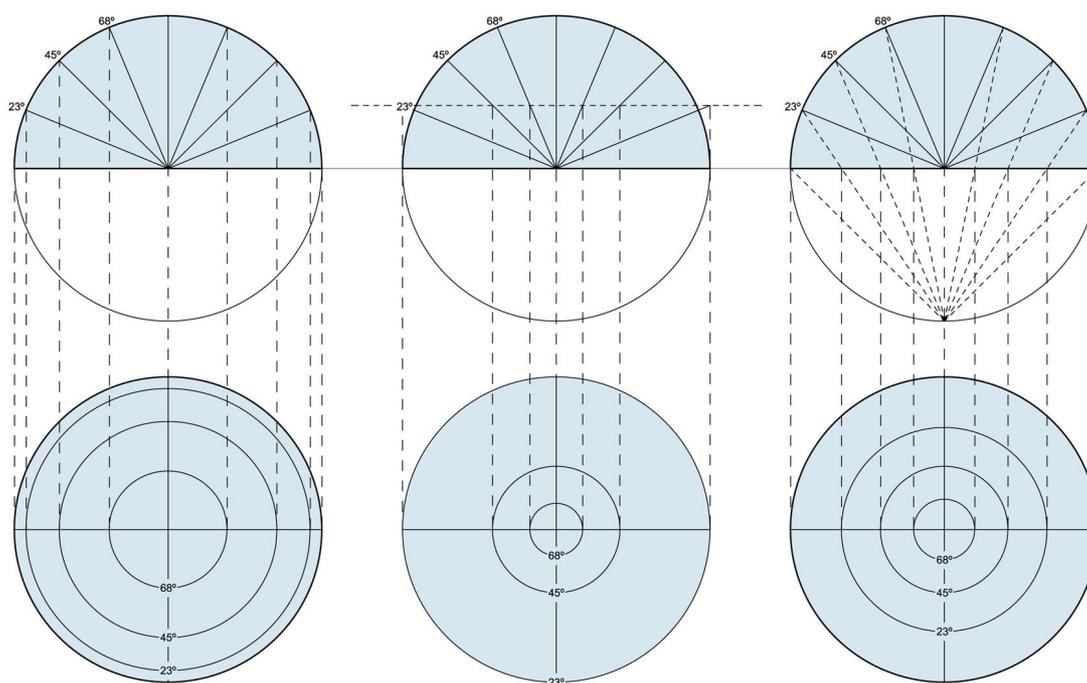


Fig. 3.5 – Três tipos de projecção da abóbada celeste: projecção ortográfica; projecção gnomónica; projecção estereográfica.

Apresenta-se na figura 3.6 uma carta solar em projecção estereográfica para a latitude 37° correspondente à cidade de Faro. As linhas curvas horizontais ilustram a trajectória do Sol durante os meses do ano, incluindo solstícios, equinócios e outras datas intermédias. As linhas curvas verticais representam as horas solares. Na carta apresentada também estão assinalados os azimutes por linhas irradiadas do centro e as alturas solares representadas por circunferências.

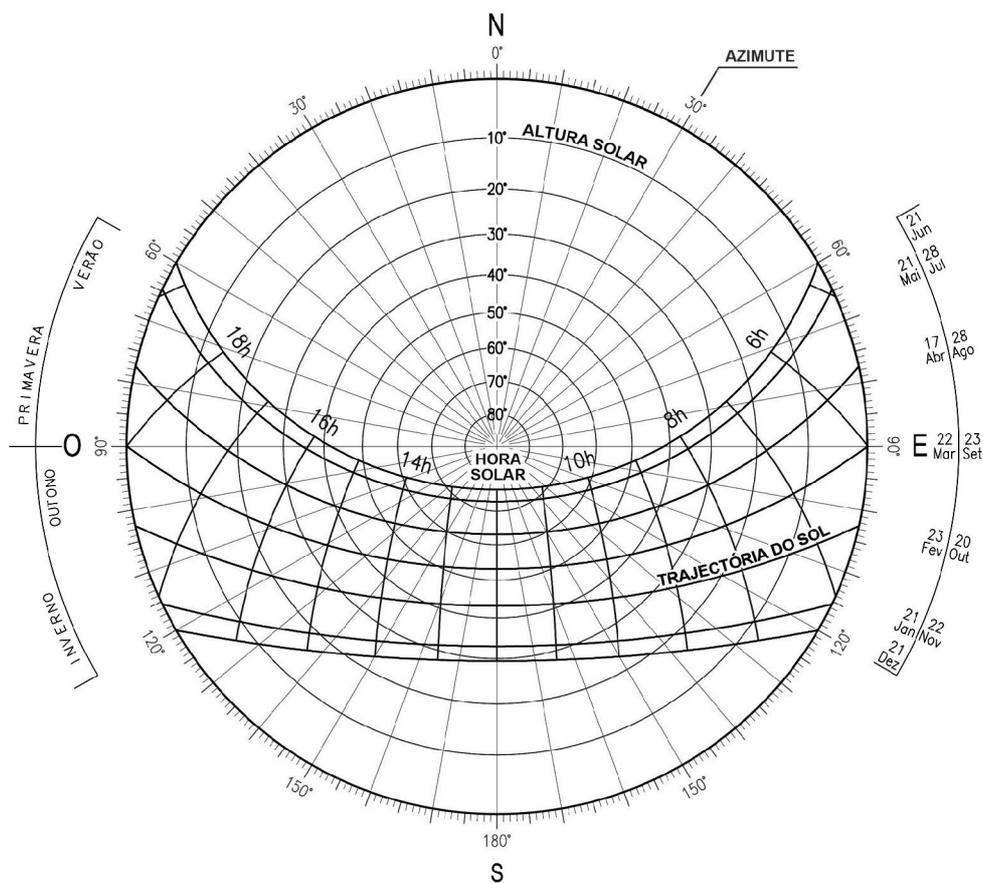


Fig. 3.6 – Carta solar em projecção estereográfica para a latitude 37°.

3.3 – INDICADORES DE HORAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Os indicadores de horas de iluminação natural definem-se para uma zona de um espaço como: Número médio anual de horas durante o período de utilização do espaço, em que, com apenas iluminação natural, a iluminância no plano de trabalho num ponto representativo dessa zona excede um valor de referência e simultaneamente são asseguradas condições para a satisfação do conforto visual.

Representam-se pelo símbolo *Href*, em que *ref* indica a iluminância de referência. Por exemplo: H300 = 1000 horas, significa que a iluminância da zona excede 300 lx durante 1000 horas por ano em média sendo satisfeitas as condições para o conforto visual.

Existem cartas de iluminâncias que quantificam as iluminâncias médias em superfícies verticais com as quatro orientações N, S, E, O e numa superfície horizontal para condições de Sol encoberto e descoberto. Para condições de Sol descoberto essas cartas estão disponíveis para as iluminâncias globais e difusas. A título de exemplo apresenta-se, na figura 3.7, uma das cartas de iluminâncias utilizadas, onde se podem observar os valores das iluminâncias difusas em superfícies verticais orientadas a sul, quando o Sol está descoberto, para diferentes posições do Sol.

O critério de cálculo dos indicadores *Href* admite existir proporcionalidade entre as iluminâncias interiores e as que se verificam nas superfícies exteriores das aberturas de iluminação natural. A área onde se pretende caracterizar a iluminação natural é dividida em zonas e para cada zona é considerado apenas um valor representativo da iluminância, que pode ser, por exemplo, a iluminância num ponto central ou a iluminância média.

O número de horas em que a iluminância representativa de cada zona é excedida em média ao longo do ano resulta da contagem sobre as cartas de iluminâncias dos pontos com valores acima das iluminâncias exteriores que precisariam de ser excedidas para que tal se verificasse. Estes pontos, no cruzamento das linhas das horas e das datas, representam, cada um, horas e datas definidas e, no seu conjunto, representam todo o ano. É necessário ainda

ter em conta a proporção de períodos com sol descoberto e encoberto o que é dado através da percentagem de insolação.

As horas só podem ser contabilizadas quando existem condições de conforto visual. Em consequência, as iluminâncias têm que ser consideradas admitindo a aplicação dos dispositivos de controlo de penetração solar directa, quando estes são necessários.

O cálculo dos indicadores pode fazer-se manualmente ou com o apoio de um programa de cálculo criado para o efeito.

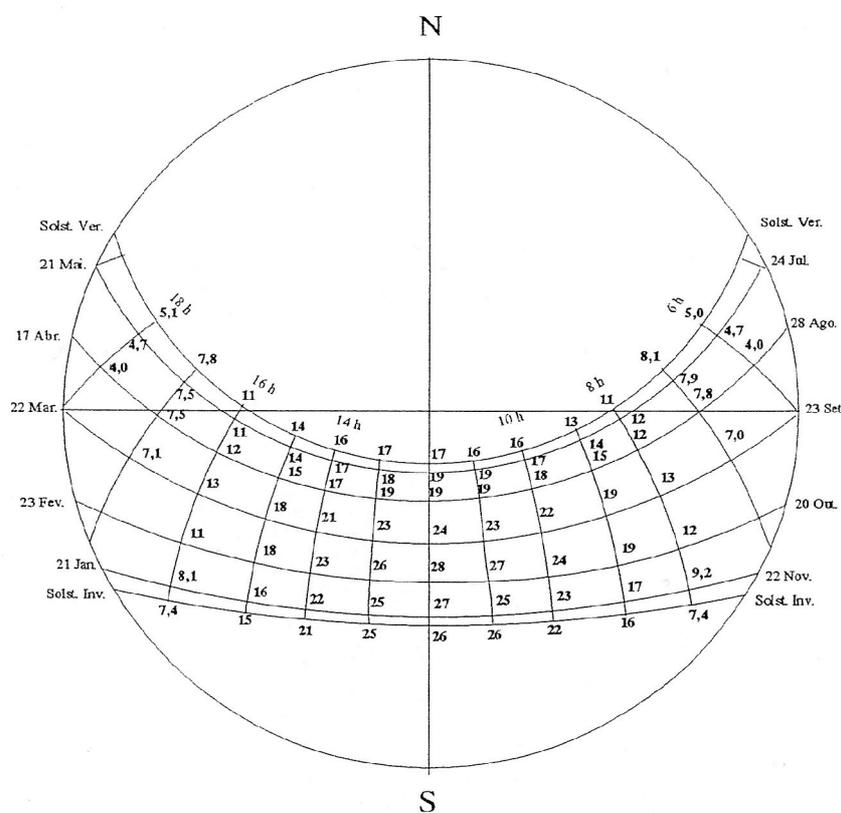


Fig. 3.7 - Carta de iluminâncias difusas em superfície vertical orientada a Sul em condições de Sol descoberto.
 [Retirado de: CARVALHO, 1996]

Capítulo 4

Observação de Três Edifícios

4.1 – APRESENTAÇÃO DOS CASOS SELECIONADOS

Foi elaborado um levantamento de vários edifícios em nave no Algarve com a particularidade de serem edifícios de um só piso e de captarem a iluminação natural principalmente através da cobertura. Procurou-se ir ao encontro de edifícios com soluções de fenestração distintas.

Perante as características dos edifícios e as limitações da pesquisa, seleccionaram-se os três edifícios em nave seguintes:

- Oficinas da Escola Secundária Tomás Cabreira em Faro (ESTC), com captação da luz natural por aberturas verticais na cobertura.
- Pavilhão desportivo da Escola Secundária de Loulé (ESL), com captação da luz natural por aberturas aproximadamente horizontais e verticais na cobertura e verticais numa fachada.
- Pavilhão Ginmodesportivo Municipal de Loulé (GML), com captação da luz natural por aberturas inclinadas na cobertura e verticais numa fachada.

4.1.1 – Apresentação do edifício ESTC

4.1.1.1 – Descrição geral

O primeiro edifício em estudo, actualmente demolido, constituía uma das salas de aula da Escola Secundária de Tomás Cabreira em Faro. Esta escola secundária localiza-se a Sul na cidade de Faro, na rua Dr. Manuel de Arriaga e junto ao Jardim da Alameda João de Deus. Foi construída em 1888 com o nome de Escola de Desenho Industrial de Pedro Nunes. O edifício em estudo foi construído em 1952, como oficinas de serralharia e carpintaria. Entretanto designada de Escola Industrial e Comercial de Faro, em 1979 adquire o nome actual de Escola Secundária de Tomás Cabreira. Em Janeiro de 2011 o edifício é demolido para construção de novas instalações.

A zona em estudo tem uma área de utilização de 328 m² e um volume interior de cerca de 1800 m³. As dimensões interiores em planta são aproximadamente 16,4 m x 20 m e o pé direito é de 4,9 m. Apresentam-se na figura 4.1 fotografias de vistas exteriores e interior do bloco e na figura 4.2 uma imagem de satélite, uma planta e dois cortes em direcções ortogonais.



Fig. 4.1 - Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício ESTC

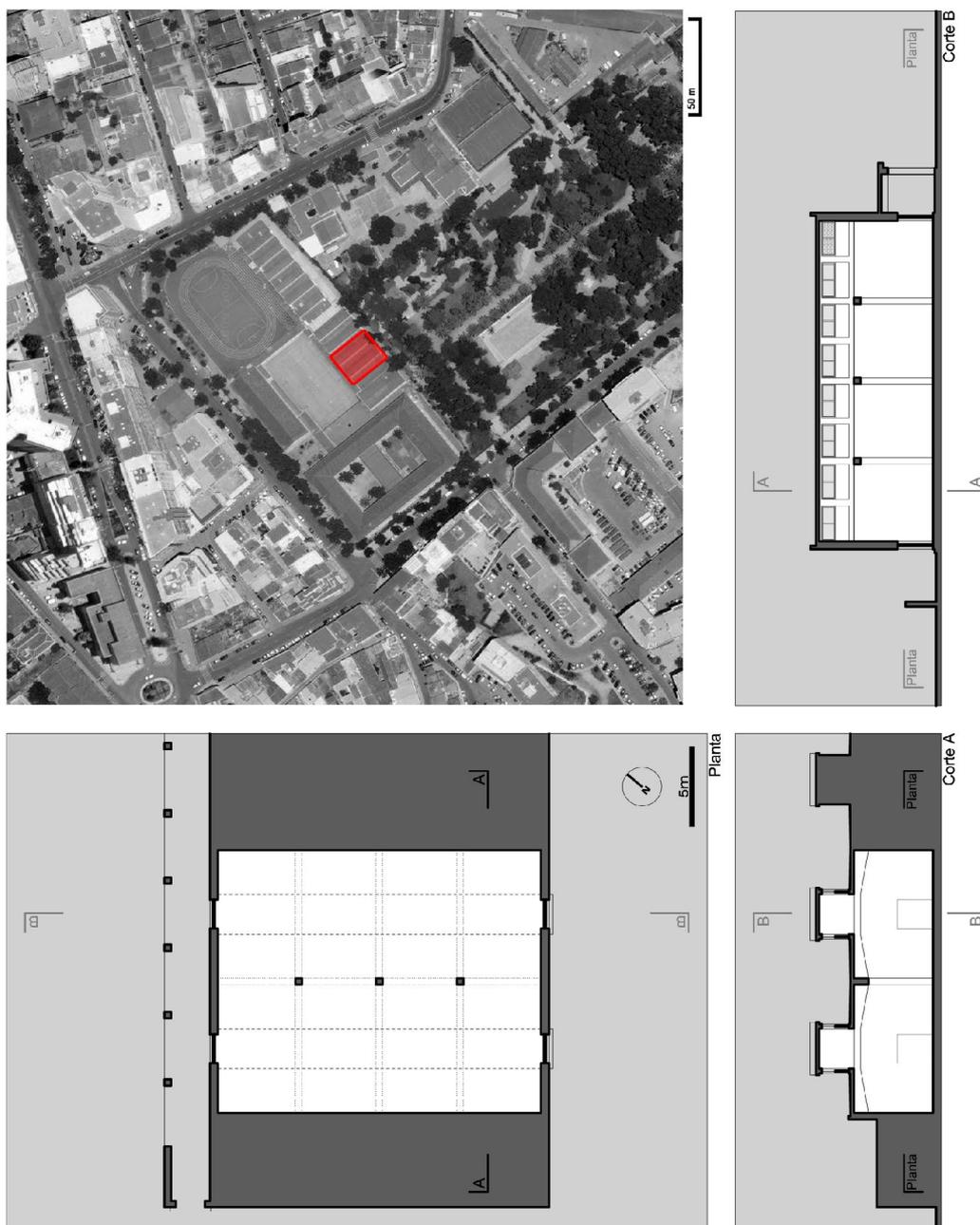


Fig. 4.2 - Desenhos técnicos do edifício ESTC (imagem de satélite da localização, planta, cortes)

4.1.1.2 – Captação da luz natural

O edifício capta a iluminação natural por meio de envidraçados verticais na cobertura, através de dois sistemas tipo lanternim de dupla orientação. O sistema lanternim na cobertura não dispõe de controlo solar. Os envidraçados estão dispostos longitudinalmente ao espaço com orientações para Nordeste e Sudoeste. As superfícies não opacas são maioritariamente transparentes, com a excepção de algumas que têm características difusoras. Ambas superfícies não opacas apresentam uma elevada transmitância. Os envidraçados têm altura de 0,85 m e no total uma área de 60 m². A altura e largura dos lanternins, medidas pelo interior, são, respectivamente de 2,15 m e 2,5 m.

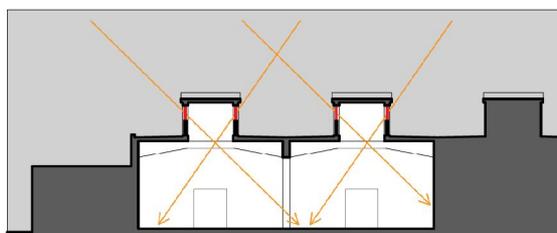


Fig. 4.3 - Ilustração da captação de iluminação natural através da cobertura. (ESTC)

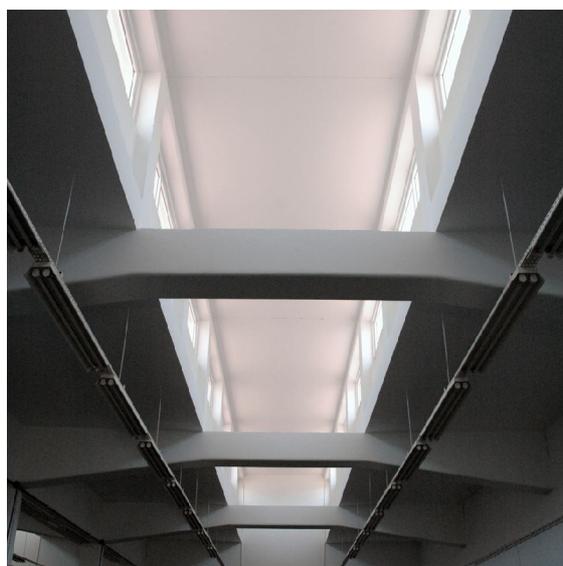


Fig. 4.4 - Fotografia dos envidraçados na cobertura. (ESTC)

Na envolvente exterior do edifício em estudo não é visível a presença de obstruções relevantes que possam intervir significativamente no desempenho da iluminação natural.

Os vãos envidraçados, originalmente projectados com 1,70 m de altura, foram posteriormente obstruídos em metade da sua altura, medindo actualmente 0,85 m como já foi referido. Alguns dos envidraçados foram substituídos por envidraçados de segurança translúcidos, mantendo-se os restantes transparentes.

4.1.2 – Apresentação do edifício ESL

4.1.2.1 – Descrição geral

O segundo edifício em estudo é o pavilhão gimnodesportivo da Escola Secundária de Loulé. A escola foi fundada em 1957 e localiza-se junto da Avenida Engenheiro Laginha Serafim e ao lado das Piscinas Municipais de Loulé. O pavilhão gimnodesportivo foi construído sensivelmente em 1975. Em 2012 concluiu-se um projecto de requalificação da escola que inclui um novo projecto para o pavilhão. Este edifício gimnodesportivo apresenta vários tipos de utilização, tais como a prática de Ginástica, Futebol de Salão, Andebol, Basquetebol, Voleibol, entre outros tipos de desporto ou actividades presentes nas aulas de Educação Física.

O edifício em estudo tem uma área de utilização de 842 m², e um volume interior de cerca de 7800 m³. As dimensões interiores em planta são aproximadamente 21,6 m x 39 m e o pé direito é de 7 m. Apresentam-se na figura 4.5 fotografias de vistas exteriores e interior do bloco e na figura 4.6 uma imagem de satélite, uma planta e dois cortes em direcções ortogonais.



Fig. 4.5 - Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício ESL

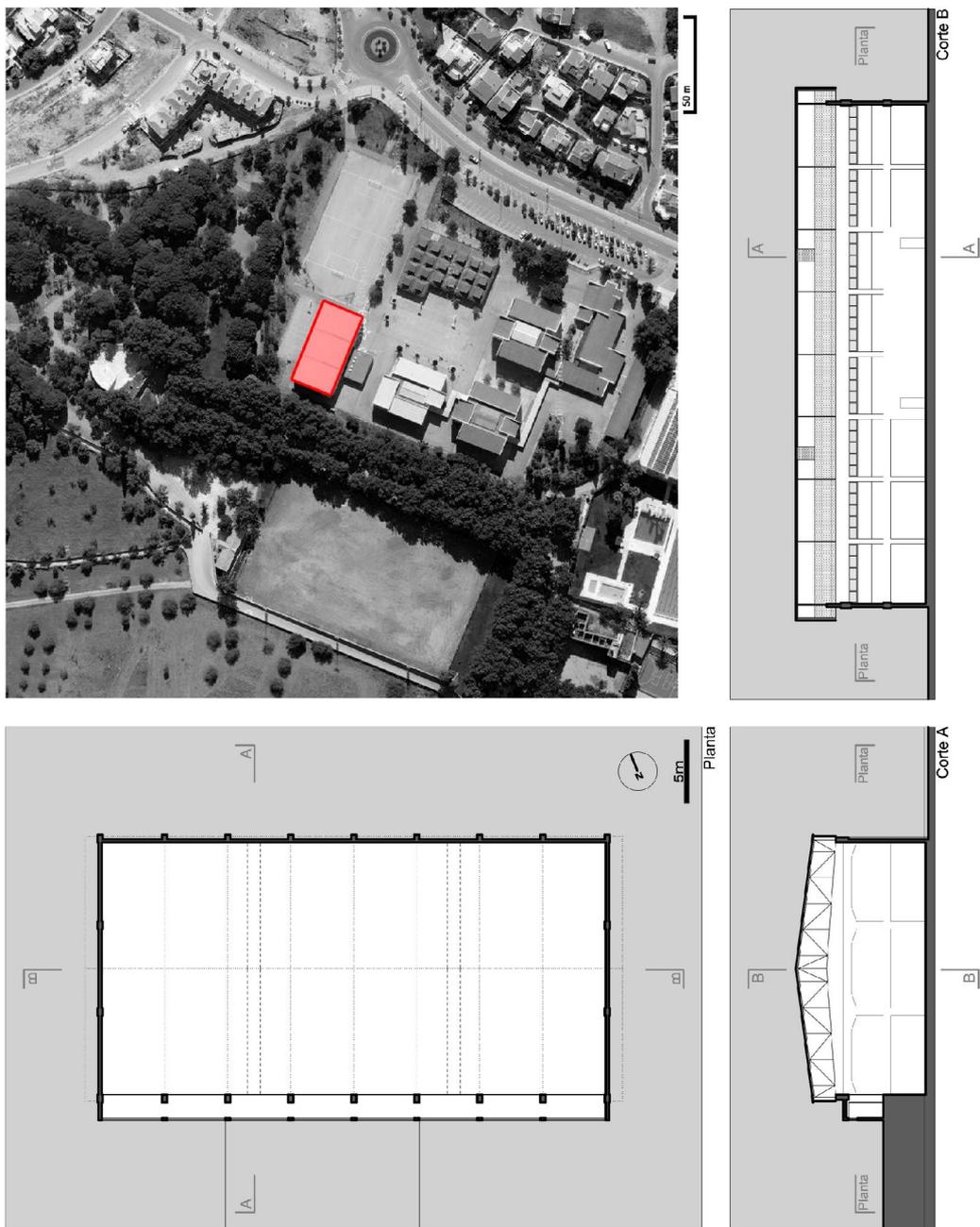


Fig. 4.6 - Desenhos técnicos do edifício ESL
(imagem de satélite da localização, planta, cortes)

4.1.2.2 – Captação da luz natural

O edifício capta a iluminação natural pela cobertura e pela fachada sul: na cobertura, através de dois elementos horizontais translúcidos de transmitância elevada, no perímetro da cobertura através de quatro superfícies verticais translúcidas de transmitância reduzida, na fachada sul por envidraçados verticais maioritariamente transparentes, tendo alguns características difusoras (ver figura 4.7 a 4.10). Nenhuma das superfícies não opacas possui elementos de controlo solar. As superfícies não opacas têm uma área total de 324 m². As duas faixas translúcidas transversais a toda a cobertura têm largura de 1 m, as aberturas verticais no perímetro da cobertura têm altura de 1,8 m e as da fachada sul têm 0,7 m.

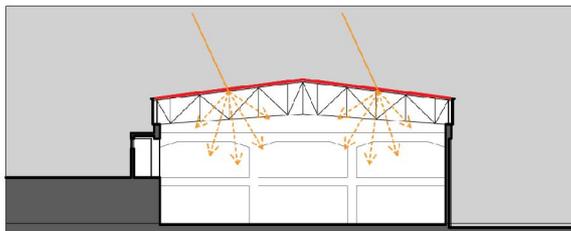


Fig. 4.7 - Ilustração da captação de iluminação natural através da cobertura. (ESL)

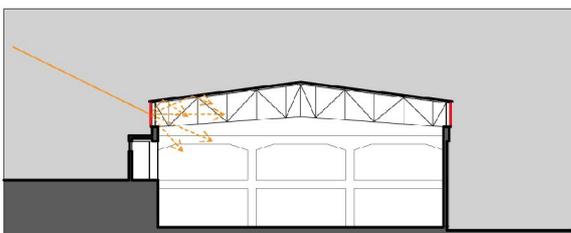


Fig. 4.8 - Ilustração da captação de iluminação natural através dos elementos translúcidos no rebordo da cobertura. (ESL)

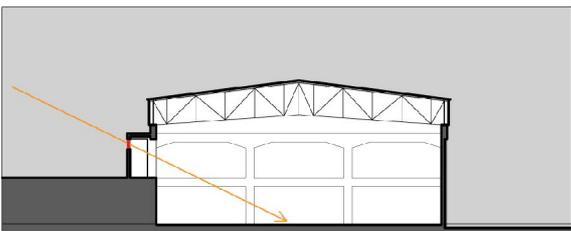


Fig. 4.9 - Ilustração da captação de iluminação natural através dos envidraçados na fachada sul. (ESL)

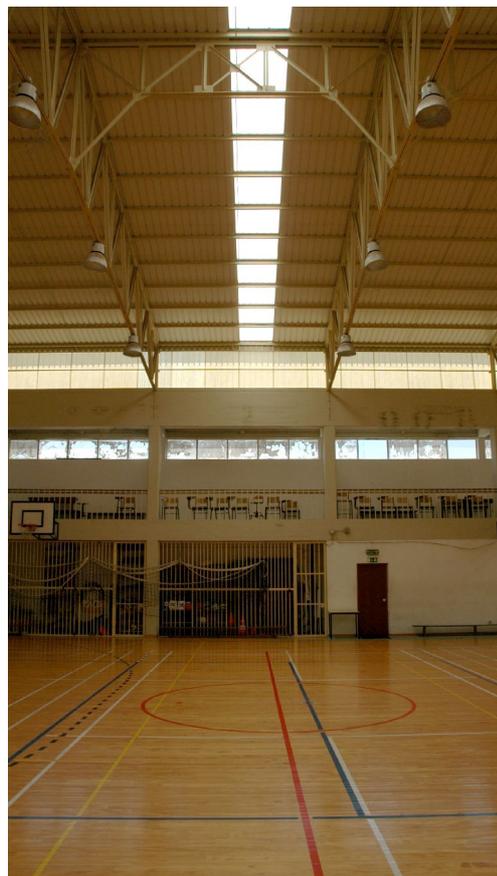


Fig. 4.10 - Fotografia dos três meios de captação de iluminação natural. (ESL)

Na envolvente exterior do edifício existem duas obstruções: um edifício próximo a sul e uma faixa de árvores de copa alta a poente. Estas obstruções poderão ter alguma influência na captação solar da fachada, mas é pouco relevante e não foi considerada na modelação do desempenho apresentado no capítulo 5.

Os envidraçados da fachada sul, originalmente transparentes, foram obstruídos com tinta opaca. Posteriormente foi-lhes retirada parte da tinta. Alguns dos envidraçados foram substituídos por envidraçados de segurança translúcidos, mantendo-se os restantes transparentes.

4.1.3 – Apresentação do edifício GML

4.1.3.1 – Descrição geral

O terceiro edifício em estudo é o Pavilhão Gimnodesportivo Municipal de Loulé. Este localiza-se a norte da cidade de Loulé, junto à Estrada Nacional nº 396, em frente ao Centro de Saúde de Loulé. O Pavilhão Gimnodesportivo Municipal foi construído no ano de 2001. Está dividido em dois elementos, o pavilhão principal e o pavilhão de apoio, sendo o primeiro o edifício em estudo. Trata-se de um pavilhão polivalente onde se pratica: Futebol de Salão, Voleibol, Basquetebol, Ginástica, Karaté, entre outras modalidades desportivas. Este pavilhão também abrange actividades lúdicas ou de lazer, como espectáculos e outros eventos.

O edifício tem uma área de utilização de 2800 m², e um volume interior de cerca de 33800 m³. As dimensões interiores em planta são aproximadamente 65 m x 43 m e o pé direito maior é de 13 m. Apresentam-se na figura 4.11 fotografias de vistas exteriores e interior do bloco e na figura 4.12 uma imagem de satélite, uma planta e dois cortes em direcções ortogonais.



Fig. 4.11 - Duas fotografias exteriores e uma interior do edifício GML

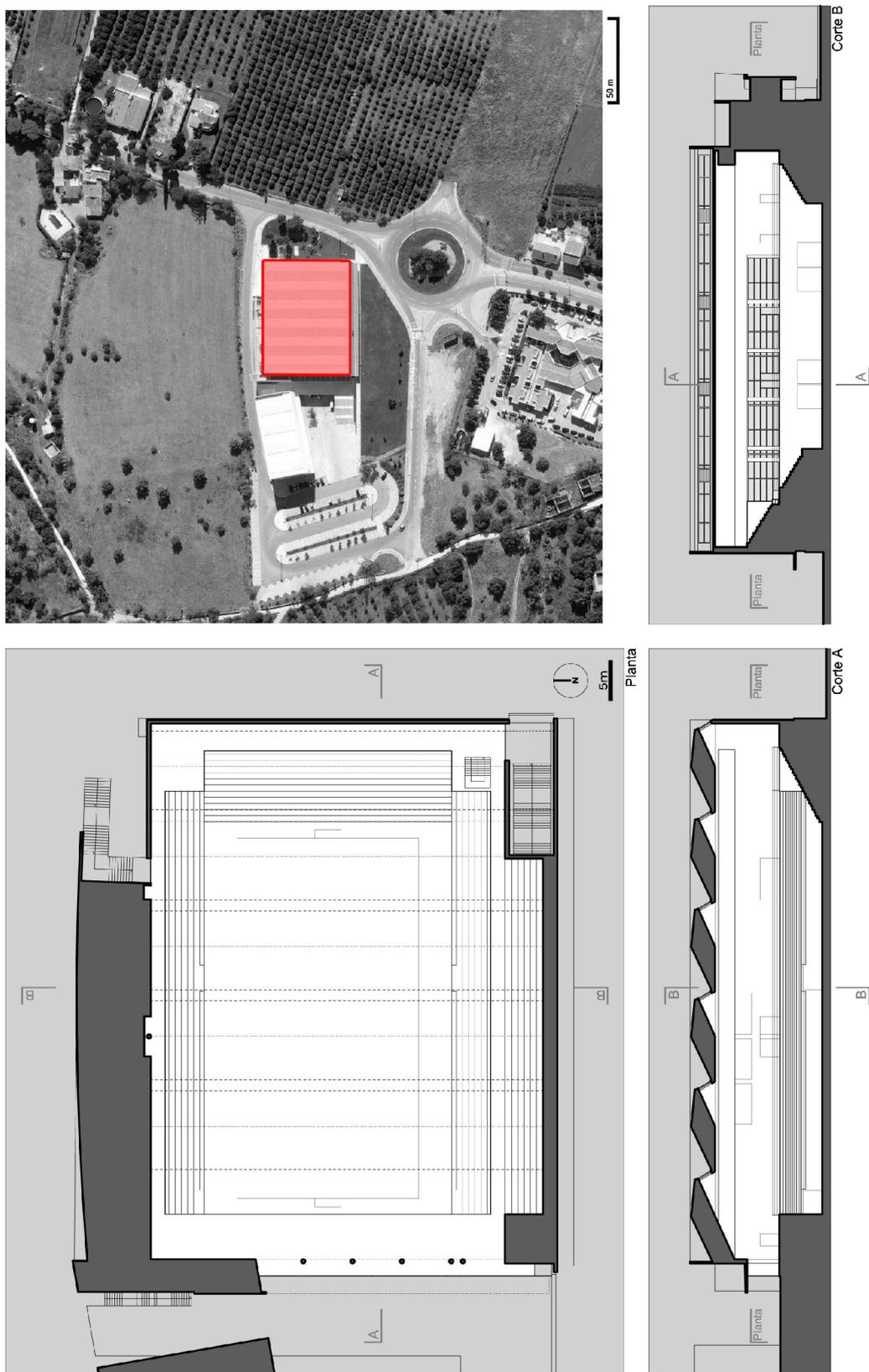


Fig. 4.12 - Desenhos técnicos do edifício GML (imagem de satélite da localização, planta, cortes)

4.1.3.2 – Captação da luz natural

O edifício capta a iluminação natural pela cobertura e pela fachada poente. Na cobertura dispõe de um sistema em forma de “dente de serra”, através de seis elementos inclinados translúcidos orientados a nascente. Na fachada poente possui um grande vão envidraçado também ele translúcido. Como elemento de controlo solar, o envidraçado vertical a poente possui uma pala horizontal em toda a sua extensão. As superfícies não-opacas têm uma área total de 635 m². As aberturas transversais a toda a cobertura têm altura de

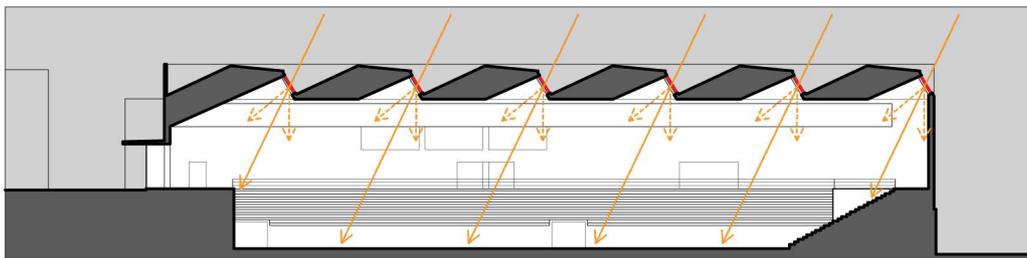


Fig. 4.13 - Ilustração da captação de iluminação natural através dos elementos translúcidos na cobertura. (GML)

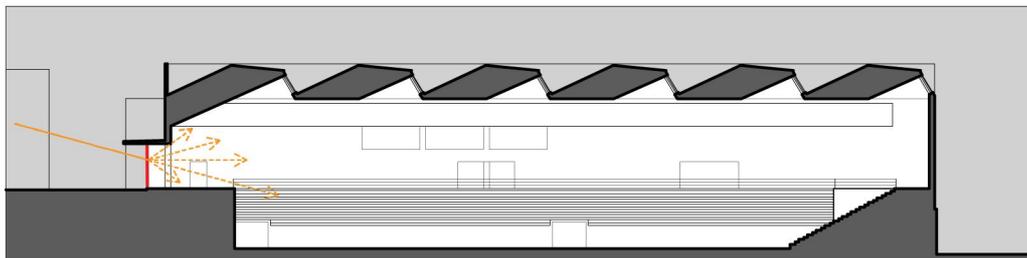


Fig. 4.14 - Ilustração da captação de iluminação natural através do envidraçado translúcido na fachada Poente. (GML)

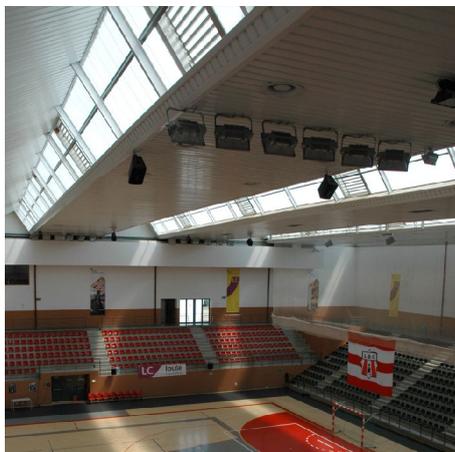


Fig. 4.15 - Fotografia dos elementos translúcidos na cobertura. (GML)



Fig. 4.16 - Fotografia do envidraçado translúcido na fachada Poente. (GML)

1,8 m e inclinação de 59°. A abertura a poente tem altura de 3,9 m por 34 m de largura.

Na envolvente exterior do edifício em estudo não é visível a presença de obstruções relevantes. Contudo há a considerar a pequena obstrução causada pelo edifício do pavilhão de apoio.

A fachada poente, originalmente projectada e construída com envidraçados transparentes, foi objecto da aplicação de uma película difusora de luz, tendo, assim, de momento, características difusoras.

4.2 – OBSERVAÇÃO DIRECTA DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A observação directa apresenta-se como um dado muito importante no estudo da iluminação natural em edifícios já construídos. Com visitas ao próprio local consegue-se usufruir do contacto real com o objecto em estudo e avaliar o desempenho da iluminação. No presente estudo foi possível observar o desempenho dos edifícios em diferentes momentos ao longo do ano, correspondentes a posições do Sol e condições de nebulosidade diversificadas, que no conjunto constituíram uma boa representação das condições da iluminação natural dos edifícios observados.

4.2.1 – Edifício ESTC

Nas observações feitas é notório tratar-se de um edifício com alguns problemas no desempenho da iluminação natural. Sendo a maior parte dos envidraçados transparentes, sem controlo solar, e com orientação que se aproxima de nascente e poente, respectivamente, penetra luz solar directa no interior do edifício durante quase todo o dia. Durante a manhã existe um período de cerca de duas horas em que a penetração da radiação solar directa fica obstruída. Nesse período, todo o interior apresenta uma iluminação natural muito bem distribuída. As superfícies não-opacas interiores, excepto as do pavimento, são de cor branco favorecendo a quantidade de luz natural difusa disponível no interior, mas por outro lado, aumentam o encandeamento produzido pela reflexão da luz do sol.

4.2.1.1 – Tipos de encandeamento observados

O edifício ESTC, utilizado como oficina de mecânica e sala de aula, é um espaço onde se realizam tarefas visuais dirigindo as linhas de visão sobre um plano de trabalho e para superfícies verticais, como o quadro, projecções, audiovisuais, ou outras. Visto que a luz do Sol penetra no interior do edifício pela cobertura, observa-se a possibilidade de existir encandeamento pela luz do Sol directamente nos olhos dos utilizadores. A luz do Sol reflectida no plano de trabalho e nas paredes de cor branco são outras causas de risco de encandeamento, podendo originar reflexões especulares ou luminâncias excessivas provocadoras de distração ou desconforto. Neste edifício não ocorre a existência de encandeamento causado pela observação do céu através dos envidraçados, visto que estes se encontram fora do campo de visão.

4.2.1.2 – Registos fotográficos



Fig. 4.17 - Registos fotográficos do edifício ESTC,
9 de Setembro, 8:30 horas solares aproximadas [céu limpo]

É visível nas fotos da figura 4.17 a incidência directa de luz do Sol no interior do edifício durante a manhã, o que, como se referiu, poderá provocar encandeamento de diversas formas.



Fig. 4.18 - Registos fotográficos do edifício ESTC,
1 de Junho, 11:30 horas solares aproximadas [céu limpo]

Na figura 4.18 apresentam-se fotos de períodos em que, estando o Sol descoberto, a penetração da radiação solar directa se encontra totalmente obstruída. Verifica-se, então, uma iluminação natural no interior muito bem distribuída sem quaisquer riscos de encandeamento.



Fig. 4.19 - Registos fotográficos do edifício ESTC, 9 de Setembro, 15:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

Tal como se pode observar na figura 4.19, no período da tarde, de novo se verifica a incidência de luz do Sol no interior do edifício e os riscos de encandeamento associados a essa incidência. Na imagem da direita, em particular, observa-se que a luz do Sol incide na parede onde se encontra um quadro, o que dificulta tarefas visuais necessárias num edifício escolar.

4.2.1.3 – Pontos síntese

Resumem-se a seguir os resultados da observação do edifício ESTC:

- O edifício aparenta ter quantidade suficiente de iluminação natural no seu interior.
- Em condições de Sol descoberto a luz do Sol incide no interior do edifício durante todo o ano, quer no período da manhã, quer no da tarde.
- Há risco de encandeamento causado pela luz do Sol directa nos olhos dos utilizadores, por reflexões especulares e por luminâncias excessivas no plano de trabalho ou nas paredes.
- Nos momentos de total obstrução solar dos envidraçados ou em condições de Sol encoberto, verifica-se uma boa distribuição da iluminação natural.

4.2.2 – Edifício ESL

Observa-se neste edifício uma boa quantidade de luz natural no seu interior. Os elementos translúcidos na cobertura difundem de forma muito eficiente a luz para o interior do edifício resultando numa boa distribuição da iluminação natural. Em condições de Sol descoberto, não existem quaisquer manchas solares no interior do edifício provocadas pelos elementos translúcidos na cobertura. Todavia, os envidraçados transparentes na fachada sul, deixam passar luz directa. Tal só acontece em certas alturas do dia e do ano, nomeadamente, com mais relevância, para o fim da tarde no Outono e Inverno.

4.2.2.1 – Tipos de encandeamento observados

O edifício ESL, como pavilhão desportivo de uma escola secundária, visa, como já referido, a realização de diferentes práticas desportivas, tais como Ginástica, Futebol de Salão, Basquetebol, Voleibol, entre outras, existindo desta forma uma diversificação de tarefas visuais. Porém, é comum a todas elas, a particularidade dos utilizadores apresentarem uma posição móvel, à excepção do guarda-redes que se apresenta mais limitado na sua deslocação, como acontece, por exemplo na prática do Futebol de Salão. Tal dinâmica no posicionamento permite que uma eventual incidência directa da luz do Sol nos olhos seja temporária. Apesar dessa particularidade, em alguns casos, um efémero momento de encandeamento directo da luz do Sol pode ser suficiente para se perder parte da acuidade visual ou sentir alguma distração num momento de maior concentração. Em determinados momentos, há também a possibilidade de encandeamento por reflexão especular da luz do Sol no pavimento. Pode-se ainda observar algum desconforto visual produzido pelas manchas de luz do Sol nas paredes de cor branco.

Salienta-se, no entanto, que estas entradas de luz do Sol directa só ocorrem pela fachada Sul, como acima se referiu.

4.2.2.2 – Registos fotográficos



Fig. 4.20 - Registos fotográficos do edifício ESL, 31 de Maio, 12:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

Em condições de céu limpo, ao meio dia solar do mês de Março, verifica-se uma boa distribuição da iluminação natural no interior do edifício (fig. 4.20). As superfícies translúcidas da cobertura difundem eficazmente a luz por elas captadas produzindo uma iluminação difusa livre de manchas solares. Não se observam quaisquer riscos de encandeamento.



Fig. 4.21 - Registos fotográficos do edifício ESL, 11 de Novembro, 14:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol descoberto]

No mês de Novembro, período em que o Sol circunda o hemisfério celeste com menor altura, às 14:00 horas solares a luz do Sol atravessa o envidraçado da fachada sul incidindo no interior do edifício (fig. 4.21). Existe, então, risco de encandeamento pela luz do Sol directa à cota dos olhos dos utilizadores. As reflexões especulares no pavimento não contêm, nesta situação, expressão suficiente para causar encandeamento.



Fig. 4.22 - Registos fotográficos do edifício ESL,
4 de Novembro, 16:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

Ao final da tarde, a posição do Sol faz com que a sua luz incida unicamente nas paredes do edifício (fig. 4.22). Há risco de encandeamento no caso da luz do Sol incidir directamente nos olhos dos utilizadores. Verifica-se agora também risco de encandeamento por reflexões especulares no pavimento. A visualização das manchas solares nas paredes claras pode geralmente provocar algum encandeamento.

4.2.2.3 – Pontos síntese

Podem enumerar-se assim os resultados da observação do edifício ESL:

- O edifício aparenta ter uma boa quantidade de iluminação natural no seu interior.
- Observa-se uma distribuição totalmente difusa da iluminação natural no interior do edifício captada pelos elementos translúcidos na cobertura.
- Em relação à luz captadas pelos envidraçados da fachada sul:
 - Há risco de encandeamento causado pela luz do Sol directa nos olhos dos utilizadores.
 - Pode existir risco de encandeamento pela incidência de luz do Sol nas paredes e por algumas reflexões especulares no pavimento.

4.2.3 – Edifício GML

Este edifício aparenta ter uma boa quantidade de iluminação natural no seu interior. As superfícies translúcidas na cobertura parecem ter a dimensão suficiente para iluminar intensamente o espaço subjacente. Por estas não serem totalmente difusoras, com Sol descoberto, são visíveis manchas solares durante o período da manhã. Porém, não provocam encandeamento por reflexão. Quando se visualiza directamente a cobertura durante o período da manhã e meio dia é possível o encandeamento pela luz do Sol directa. No final da tarde, num período de uma hora e meia antes de o Sol se pôr, este incide frontalmente no envidraçado poente podendo provocar encandeamento. Os elementos translúcidos da cobertura a nascente, juntamente com o grande envidraçado translúcido na fachada poente, aparentam complementar entre si a quantidade de luz natural disponível no interior do edifício.

4.2.3.1 – Tipos de encandeamento observados

O edifício CML é um gimnodesportivo e abrange as mesmas práticas desportivas que o edifício anterior além de outras. Desta forma, prevalece nele igualmente a particularidade da mobilidade dos utilizadores. Apesar de o pavimento ter uma cor clara, a luz do Sol directa que nele incide, atravessando os elementos translúcidos da cobertura, não aparenta causar uma luminância suficientemente alta para poder provocar encandeamento. De forma diversa no vão poente observa-se, ao final do dia, algum encandeamento perturbador devido à excessiva luminância do envidraçado pelas suas propriedades difusoras e igualmente pela reflexão especular causada no pavimento.

4.2.3.2 – Registos fotográficos



Fig. 4.23 - Registos fotográficos do edifício GML, 16 de Setembro, 9:00 horas solares aproximadas [céu parcialmente encoberto com Sol encoberto]

Com o Sol encoberto é visível a distribuição difusa e muito uniforme da iluminação natural no interior (fig. 4.23). Durante a manhã verifica-se uma boa quantidade de luz disponível. Não se observa risco de encandeamento.



Fig. 4.24 - Registos fotográficos do edifício GML, 31 de Maio, 10:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

Durante a manhã de períodos de Sol descoberto a luz do Sol penetra no interior do edifício pelos elementos translúcidos da cobertura (fig. 4.24). Parte dela é difundida e outra parte chega em forma de luz directa. Isto deve-se ao facto dos elementos translúcidos não serem suficientemente difusores. Apesar das manchas solares no pavimento não serem muito brilhantes e as reflexões especulares pouco expressivas, a incidência da luz do Sol à cota dos olhos pode provocar encandeamento.



Fig. 4.25 - Registos fotográficos do edifício GML, 31 de Janeiro, 16:30 horas solares aproximadas [céu limpo]

Durante o final da tarde a luz do Sol incide directamente no envidraçado a Poente (fig. 4.25). As características de difusão e transmissão do envidraçado não são adequadas para atenuar suficientemente o risco de encandeamento. Na imagem da esquerda vê-se a mancha de luz do sol produzida nas bancadas. Na imagem da direita pode-se observar o encandeamento resultante do brilho excessivo do envidraçado e da reflexão especular no pavimento.

4.2.3.3 – Pontos síntese

Pode resumir-se nos pontos seguintes, os resultados da observação do edifício GML:

- O edifício aparenta ter uma boa quantidade de iluminação natural no seu interior.
- Em condições de Sol descoberto, manchas solares visualizam-se no pavimento durante a manhã, mas sem provocar encandeamento.
- A incidência da luz do Sol directa nos olhos dos utilizadores poderá provocar encandeamento.
- Durante a tarde há risco de encandeamento devido ao brilho excessivo do envidraçado da fachada poente e da reflexão especular no pavimento.

4.2.4 – Sistematização dos tipos de encandeamento e condições de ocorrência.

Em todos os edifícios em estudo, observa-se que os riscos de encandeamento são causados essencialmente pela luz do Sol e não pela luz do céu, ao contrário do que admitem muitos estudos de iluminação natural de países do norte da Europa. Em Portugal, em particular no Algarve, o clima tem uma predominância de períodos de Sol descoberto, apontando-se para Faro uma insolação média anual de 68%. Tal facto explica a importância que a luz do Sol tem entre nós na iluminação natural e também no encandeamento.

Na figura 4.26 ilustra-se o modo de ocorrência dos diferentes tipos de encandeamento pela luz do Sol.

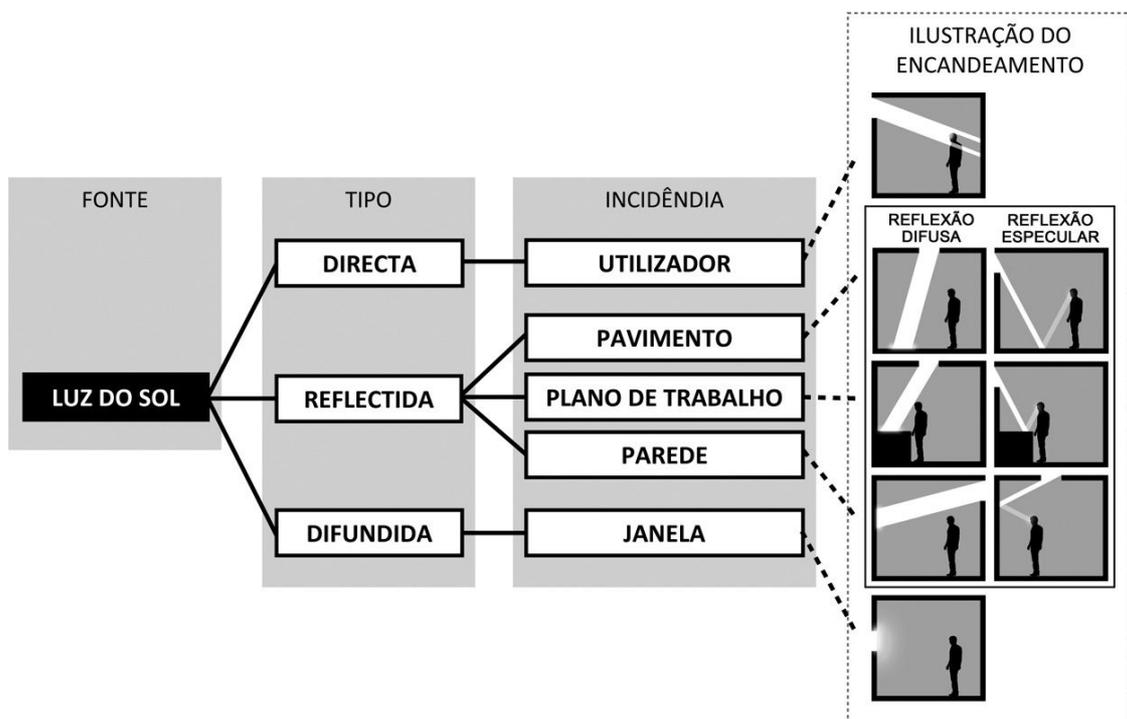


Fig. 4.26 – Modo de ocorrência dos diferentes tipos de encandeamento pela luz do Sol.

Para os tipos de uso dos três edifícios em estudo, os utilizadores realizam as suas tarefas visuais maioritariamente na posição de pé, considerando-se desta forma somente a cota da altura dos olhos nessa posição. Admite-se, de acordo com os estudos antropométricos referidos em 3.4.3 como altura média dos olhos para um indivíduo de pé, 1,60 metros.

Para a análise quantificada da iluminação natural que se apresentará adiante é necessário considerar quais os ângulos de incidência directa da luz do Sol que podem causar encandeamento para o utilizador. Nas tarefas visuais realizadas numa sala de aula, sejam elas na posição de pé ou sentada, a linha de visão do utilizador tende a estar orientada entre um objecto no plano de trabalho e horizontalmente para uma parede. Neste caso, o ângulo do limite superior do campo visual encontra-se nos 50°, de acordo com os estudos já referidos acima. Com vista a assegurar alguma margem de erro, considerou-se o ângulo de 55° como limite máximo superior do campo visual para este tipo de tarefas. Em consequência, admite-se que incidências de luz directa do Sol, à cota dos olhos, com inclinações até 55° possam originar de encandeamento. Para inclinações superiores, considera-se que esse risco já não é relevante.

Admite-se que este critério mereça discussão quando considerando à luz de uma perspectiva mais vasta do que apenas o conforto visual. Com efeito, a incidência de sol de cara torna-se desconfortável mesmo que não cause encandeamento. No âmbito do presente trabalho entende-se preferível, contudo privilegiar a perspectiva do conforto visual em exclusivo e optou-se por admitir tolerável a incidência de sol acima dos 55°, no caso de uma sala de aula em apreço.

Atendendo aos tipos de encandeamento observados para os três casos de acordo com os meios e ferramentas disponíveis para o presente estudo, consideram-se os riscos de encandeamento seguintes: risco de encandeamento pela luz do Sol directa e risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida ou difundida. Formaliza-se no quadro de análise 4.1 os diversos tipos de encandeamento a distinguir.

Quadro 4.1 - Quadro de análise do risco encandeamento pela luz do Sol.

RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA	
<p>- Incidência à cota dos olhos dos utilizadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>com inclinação inferior a 55°.</i> - <i>com qualquer inclinação.</i> 	<p>A incidência da luz do Sol nos olhos dos utilizadores provoca encandeamento. Dependendo das tarefas visuais serão admitidas incidências com quaisquer inclinações ou apenas com inclinações inferiores a 55°.</p>
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA E DIFUNDIDA	
<p>- Incidência no pavimento</p>	<p>A incidência da luz do Sol no pavimento pode causar encandeamento por reflexões difusas ou reflexões especulares se o pavimento contiver cores claras ou acabamento brilhante.</p>
<p>- Incidência no plano de trabalho</p>	<p>A incidência da luz do Sol no plano de trabalho pode causar encandeamento por reflexões difusas ou reflexões especulares na secretária ou equipamento de trabalho.</p>
<p>- Incidência nas paredes</p>	<p>A incidência da luz do Sol nas paredes pode causar encandeamento por reflexões difusas ou reflexões especulares se as paredes possuírem cores claras ou acabamento brilhante.</p>
<p>- Incidência nas janelas</p>	<p>A incidência da luz do Sol em janelas com características difusoras pode provocar encandeamento devido a luminâncias excessivas.</p>

O encandeamento pela luz do Sol directa corresponde à incidência da luz do Sol directamente nos olhos do utilizador. O encandeamento pela luz do Sol reflectida ou difundida respeita a situações de reflexões especulares ou elevados contrastes no pavimento, plano de trabalho ou paredes ou de difusão em envidraçados posicionados na linha de visão dos utilizadores. Contudo, nem todos os edifícios em estudo têm os mesmos tipos de risco de encandeamento, como foi explicado no ponto anterior. Para uma melhor percepção de quais os tipos de incidência da luz do Sol e os respectivos tipos de encandeamento possíveis para os três casos em estudo, é apresentado o quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Riscos de encandeamento a considerar para os três edifícios

ESTC		
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência à cota dos olhos dos utilizadores com inclinação inferior a 55°		Há risco de encandeamento sempre que a luz do Sol incide directamente à cota dos olhos dos utilizadores (1.60 metros acima do pavimento) com inclinações inferiores a 55°.
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência no plano de trabalho		Há risco de encandeamento por reflexões difusas e especulares no plano de trabalho (1 metro acima do pavimento) sempre que a luz do Sol incide sobre o mesmo. Verifica-se risco de encandeamento por reflexão difusa nas paredes sempre que a luz do Sol incide sobre as mesmas.
- Incidência nas paredes		
ESL		
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência à cota dos olhos dos utilizadores com qualquer inclinação.		Há risco de encandeamento sempre que a luz do Sol incide directamente à cota dos olhos dos utilizadores (1.60 metros acima do pavimento) com qualquer inclinação.
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência no pavimento		Há risco de encandeamento por reflexões especulares no pavimento sempre que a luz do Sol incide sobre o mesmo. Verifica-se risco de encandeamento por reflexão difusa nas paredes sempre que a luz do Sol incide sobre as mesmas.
- Incidência nas paredes		
GML		
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência à cota dos olhos dos utilizadores com qualquer inclinação		Há risco de encandeamento sempre que a luz do Sol incide directamente à cota dos olhos dos utilizadores (1.60 metros acima do pavimento) com qualquer inclinação.
RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA E DIFUNDIDA		
Tipo de incidência:	Ilustração:	Factos observados:
- Incidência no pavimento		Há risco de encandeamento por reflexões especulares no pavimento somente quando a luz do Sol incide nas janelas a poente. Verifica-se existir risco de encandeamento quando a luz do Sol incide directamente nas janelas a poente.
- Incidência nas janelas		

4.3 – OPINIÕES DE UTILIZADORES DOS EDIFÍCIOS

As opiniões de utilizadores pretendem ser um complemento importante quando se estuda um edifício já construído e utilizado. Como tal foi elaborado um inquérito aos utilizadores dos três edifícios em estudo. Foram preenchidos 50 inquéritos para cada edifício em estudo e teve-se em conta que fossem realizados por utilizadores que usavam o espaço há mais de um ano. Os inquéritos foram preenchidos entre o mês de Outubro e Dezembro do ano 2010. Não se sabe em que períodos do dia foram preenchidos os inquéritos com a excepção do GML em que foram preenchidos no período da tarde.

O inquérito tem como objectivo entender a percepção dos utilizadores ao desempenho da iluminação natural de cada edifício e servir de complemento à observação directa dos três casos em estudo. Pretendeu-se apurar as opiniões do nível de quantidade de iluminação natural no interior de cada edifício e quais os casos de encandeamentos observados.

Os resultados, como se explicará seguidamente, apresentam algumas contradições importantes. Afirma-se, pois, que há que acautelar possíveis conclusões a retirar dos mesmos.

4.3.1- Edifício ESTC

Na figura 4.27 estão presentes os resultados dos inquéritos do edifício ESTC.

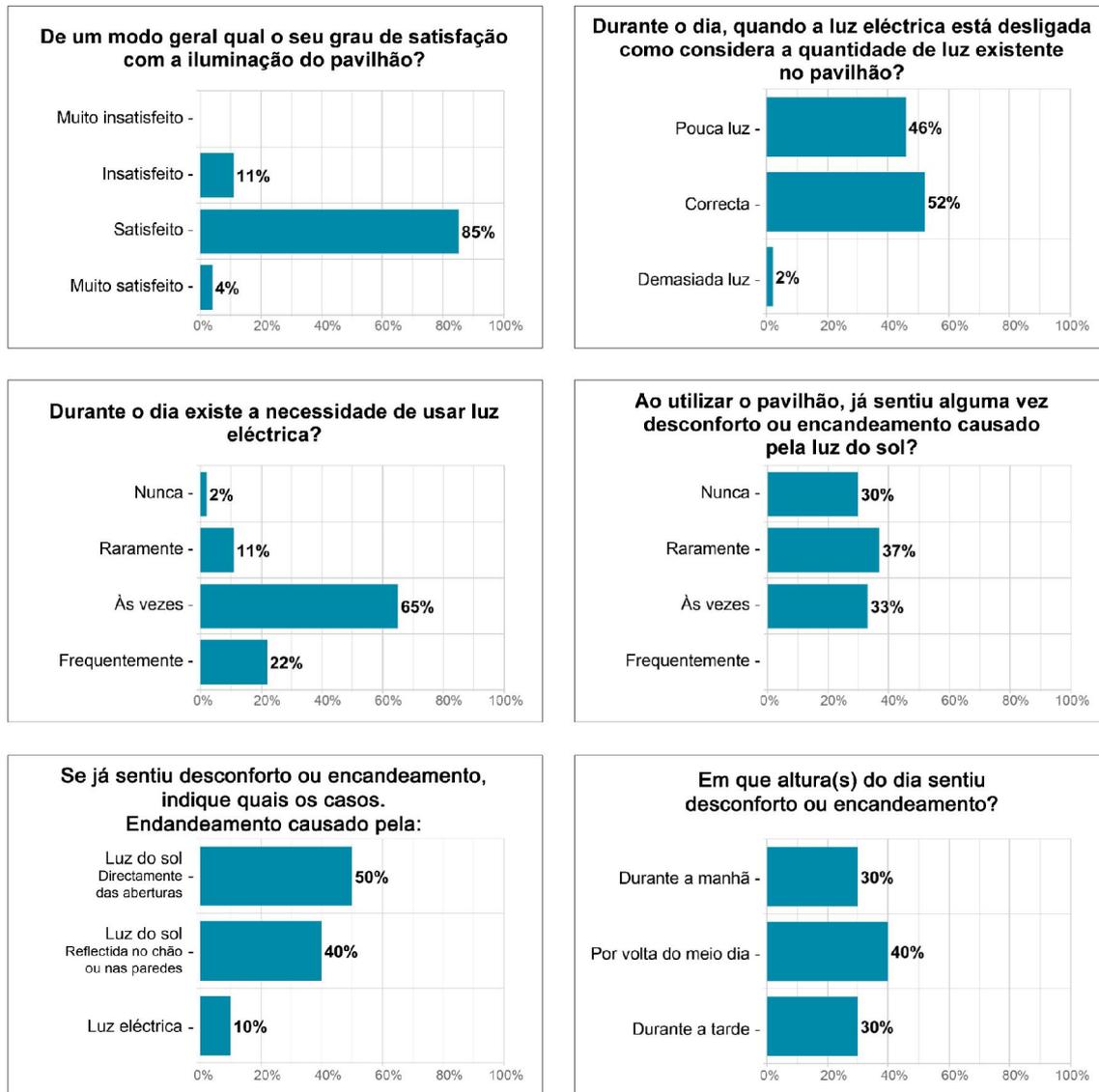


Fig. 4.27 - Resultado dos inquéritos do edifício ESTC.

Mais de oito em cada dez utilizadores manifestam-se satisfeitos com a iluminação do pavilhão. Dividem-se as opiniões sensivelmente em partes iguais dos utilizadores que dizem existir pouca luz, e luz correcta durante o dia, quando a luz eléctrica está desligada. Apenas cerca de um em cada dez acha que nunca ou raramente existe a necessidade de usar luz eléctrica durante o dia.

Mais de seis em cada dez inquiridos raramente ou nunca sentiram desconforto ou encandeamento pela luz do Sol. Dentro os que experimentaram desconforto ou encandeamento metade referem ter sido provocado pela luz do Sol directa e um pouco menos pela luz do Sol reflectida. Os períodos do dia em que os utilizadores dizem ter experimentado esses desconforto ou encandeamento distribui-se de modo aproximadamente igual pela manhã, meio-dia e tarde, com algum predomínio pelo período do meio-dia.

4.3.2 – Edifício ESL

Na figura 4.28 estão presentes os resultados dos inquéritos do edifício ESL.

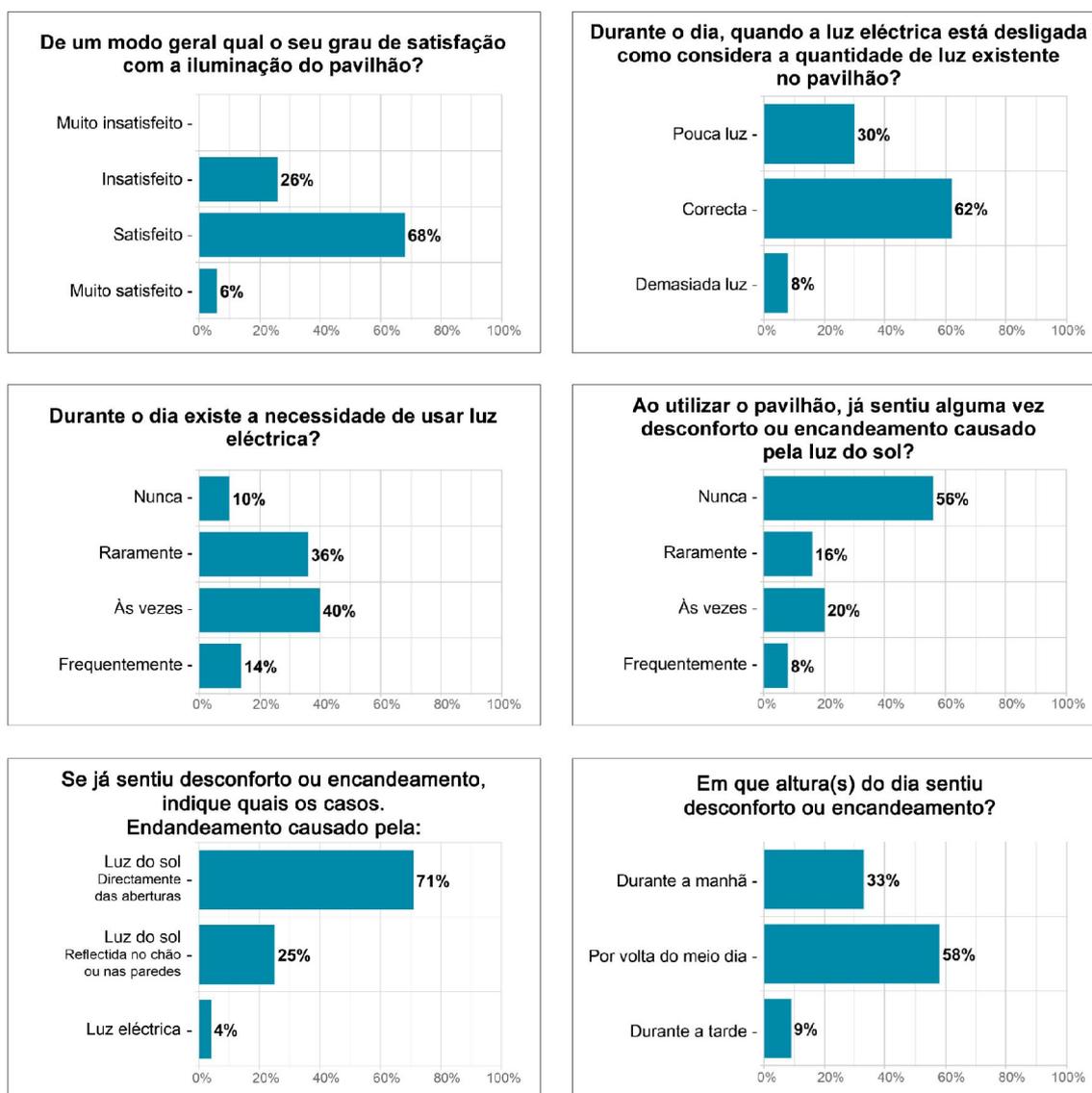


Fig. 4.28 - Resultado dos inquéritos do edifício ESL.

Quase sete em cada dez utilizadores manifestam-se satisfeitos com a iluminação do pavilhão. Cerca de dois em cada três utilizadores considera existir uma correcta quantidade de iluminação natural durante o dia quando a luz eléctrica se encontra desligada. Mas mais de metade considera que existe necessidade de usar a luz eléctrica durante o dia às vezes ou frequentemente.

Mais de sete em cada dez inquiridos afirma nunca ou raramente ter sentido desconforto ou encandeamento causado pela luz do Sol. Dos utilizadores que já sentiram desconforto é o encandeamento causado pela luz do Sol directa o mais predominante. É curioso, segundo a opinião de parte dos utilizadores, ser o período da manhã o mais propício a causar encandeamento, quando é no período da tarde que mais se observou a entrada da luz solar directa. É possível que as respostas possam ter sido influenciadas pelo período do dia em que foram preenchidos, visto que, no mês de Novembro existe alguma entrada de luz solar directa no interior no período da manhã.

4.3.3 – Edifício GML

Na figura 4.29 estão presentes os resultados dos inquéritos do edifício GML.

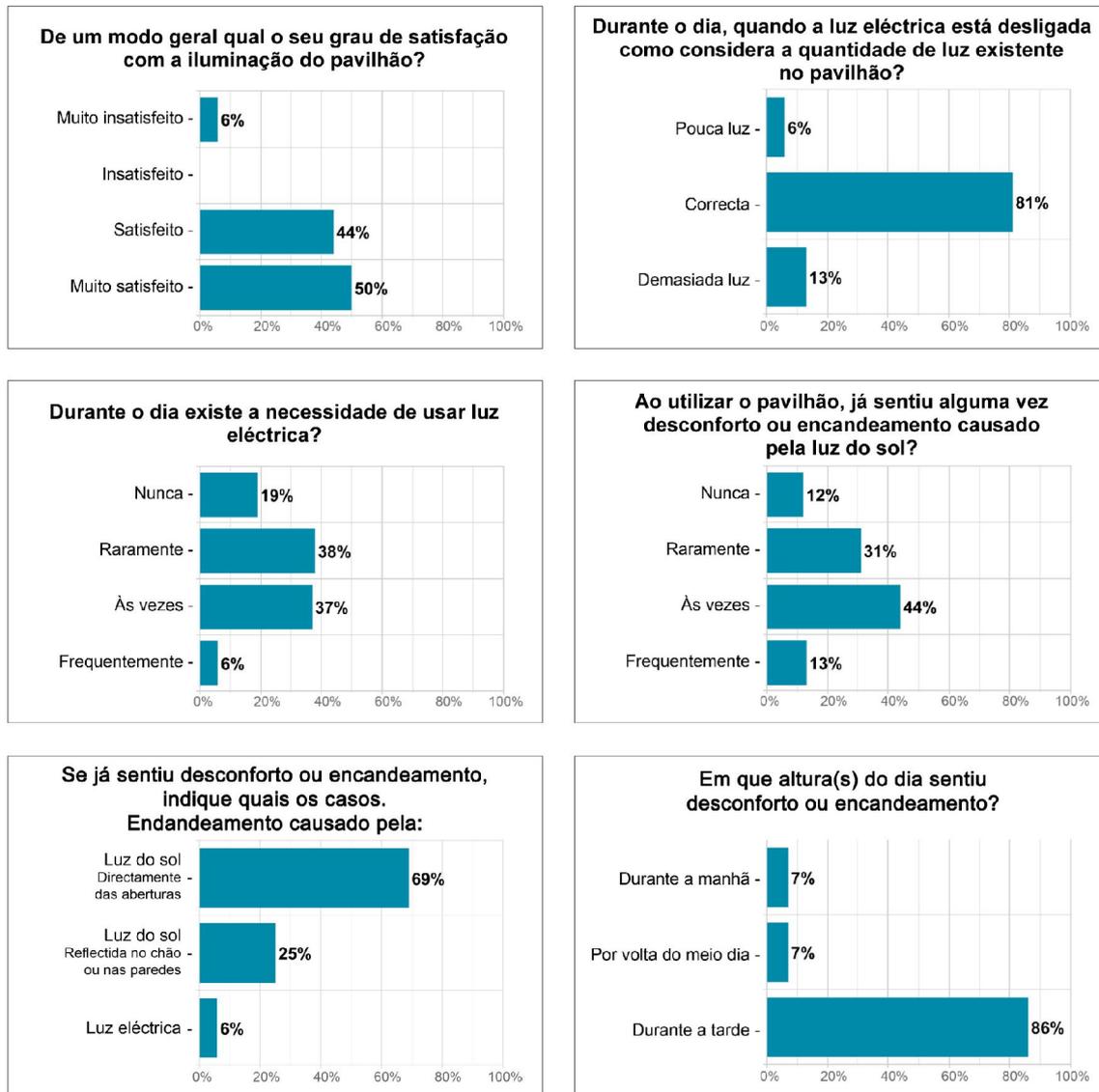


Fig. 4.29 - Resultado dos inquéritos do edifício GML.

Mais de nove em cada dez utilizadores manifestam-se satisfeitos ou muito satisfeitos com a iluminação do pavilhão. Cerca de oito em cada dez utilizadores considera correcta a quantidade de luz natural no edifício durante o dia quando a luz eléctrica se encontra desligada. Mas mais de metade considera que existe necessidade de usar a luz eléctrica durante o dia raramente ou nunca.

Quase seis em dez dos utilizadores afirma às vezes ou frequentemente ter sentido desconforto ou encandeamento causado pela luz do Sol. Dos que já sentiram desconforto ou encandeamento é o causado pela luz do Sol directa o mais experimentado. O encandeamento é experimentado por quase totalidade dos inquiridos no período da tarde. Os inquiridos do GML apenas utilizam o edifício no período da tarde, assim, não possuem referências do desempenho da iluminação natural em qualquer outro período do dia.

Capítulo 5

Caracterização do Desempenho

5.1 – CRITÉRIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Para caracterizar o desempenho da iluminação natural nos edifícios em estudo recorre-se a diferentes meios, a saber:

- Construção de um modelo virtual, o que possibilita simular diferentes condições úteis para a caracterização do desempenho;
- Representação sobre cartas solares das condições de incidência solar;
- Quantificação dos factores de luz do dia e índices que caracterizam as áreas não opacas da envolvente;
- Quantificação dos indicadores de horas de iluminação natural.

5.1.1 – Modelo virtual

Constrói-se um modelo virtual de cada edifício em estudo para simulação do desempenho da iluminação natural. A geometria do modelo virtual é criada no programa *AutoCad* e a simulação é feita no programa *Desktop Radiance*. Para tal é necessário ter-se em conta dois factores essenciais: a geometria e as propriedades dos materiais aplicados.

Quanto à geometria esta deve conter os elementos importantes que irão influenciar significativamente o comportamento da iluminação natural no interior do edifício. Porém, não deverá ser demasiadamente complexa de modo a não agravar desnecessariamente o tempo de cálculo. A geometria dos modelos virtuais construídos para os três edifícios contém um nível de detalhe que pretende ser suficiente para recriar com eficácia o desempenho da iluminação natural dos casos em estudo. Exclui-se a modelação de elementos do mobiliário visto estes não serem relevantes para os objectivos visados.

Foi necessário fazer um levantamento das propriedades dos materiais usados nos três casos estudados. O levantamento teve em conta o tipo de material, acabamento, cor e textura. Devido à impossibilidade de medição destas propriedades dos materiais, o que obrigaria a dispor de equipamento especializado, determinou-se tais valores, através de tabelas facultadas pela bibliografia da especialidade.

Para detectar eventuais falhas na construção do modelo virtual efectuaram-se simulações da iluminação natural para situações de que se dispunha de registos fotográficos, o que permitiu realizar alguns ajustes para aproximar o desempenho simulado ao desempenho real observado.

5.1.2 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior

A caracterização da exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior dos três edifícios é feita com o recurso a cartas solares. Em cada edifício em estudo é utilizada uma carta solar para cada tipo de fenestração. São representados três níveis de obstrução das superfícies não opacas à radiação solar directa: obstrução reduzida, obstrução elevada e obstrução total. Admite-se obstrução reduzida quando mais de metade da área das superfícies não opacas se encontra exposta à radiação solar directa. Considera-se obstrução elevada quando mais de metade, mas não a totalidade da área das superfícies não opacas está obstruída. A obstrução total respeita a períodos em que as superfícies não opacas se encontram totalmente obstruídas à radiação solar directa. Na figura 5.1 exemplificam-se os três níveis de obstrução. Nas mesmas cartas solares são representados os períodos em que há incidência directa da radiação solar no pavimento.



Fig. 5.1 - Ilustração dos três níveis de obstrução das superfícies não opacas.

A caracterização do desempenho por meio de cartas solares privilegia essencialmente a relação do edifício com a radiação solar directa. Embora não se especifiquem, nas cartas solares, quantificações da iluminação natural no interior do edifício, tais como iluminâncias, faculta-se informação que contempla todo o ano e não apenas uma certa hora e data do ano. Essa informação relativa à penetração e incidência solares está estreitamente ligada às condições de iluminação natural. Este método permite sem grande esforço identificar e corrigir problemas na geometria das fenestrações.

5.1.3 – Factores de luz do dia e áreas não opacas

A determinação dos FLD faz-se com o recurso ao programa *Desktop Radiance* e ao modelo virtual construído e ajustado conforme se descreveu em 5.1.1. Calculam-se as iluminâncias numa malha quadrada de pontos do pavimento e simultaneamente a iluminância num ponto exterior totalmente desobstruído. Consideram-se as seguintes malhas:

- **ESTC** – malha de 285 pontos com 1,05 m de espaçamento.
- **ESL** – malha de 325 pontos com 1,50 m de espaçamento.
- **GML** – malha de 375 pontos com 1,80 m de espaçamento.

Admitem-se condições atmosféricas correspondentes a céu encoberto padrão da CIE. Embora para o cálculo não seja relevante o dia e a hora, o modo de funcionamento do programa usado obriga a que se considere uma data determinada, tendo sido adoptado o dia 1 de Janeiro às 12 horas.

A distribuição do FLD no pavimento é representada cromaticamente e por meio de isolinhas. Por fim é determinado o valor médio do FLD e o valor de uniformidade. A uniformidade corresponde ao quociente da iluminância mínima pela iluminância média.

As áreas não opacas são caracterizadas por índices que se designam de Superfícies Relativas de Área Não Opaca (SRANO). Estes índices relacionam a área não opaca (A_{no}), e a sua transmitância (T), com a área do pavimento (A) ou com o volume do edifício (V). Calculam-se pelas seguintes formulas:

$$SRANO_{\text{ÁREA}} (\%) = \frac{A_{no} \times T}{A} \times 100\%$$

$$SRANO_{\text{VOLUME}} (\%) = \frac{A_{no} \times T}{V} \times 100\%$$

5.1.4 – Indicadores de horas de iluminação natural

Os indicadores de horas de iluminação natural contabilizam as horas em que são asseguradas condições de conforto visual. Para tal haverá que considerar as condições de iluminação natural com os dispositivos de protecção solar aplicados, sempre que estes sejam necessários para evitar o encandeamento. Nos edifícios em estudo estes dispositivos não estão presentes, pelo que há que descontar na totalidade os períodos em que se detectou o risco de encandeamento. O método a considerar na determinação dos indicadores de horas de iluminação natural organiza-se em várias fases consoante ilustra o quadro 5.1 e se descreve a seguir.

Quadro 5.1 – Fases a considerar na determinação dos indicadores de horas de iluminação natural

<p>a) Determinação das iluminâncias médias anuais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iluminâncias médias anuais com Sol encoberto - Iluminâncias médias anuais com Sol descoberto - Horas de iluminâncias médias anuais [h300 / h600]
<p>b) Determinação dos períodos com risco de encandeamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risco de encandeamento pela luz do Sol directa - Risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida e difundida - Horas de risco de encandeamento [R300 / R600]
<p>c) Cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de horas de iluminação natural [H300 / H600]

a) Determinação das iluminâncias médias anuais

As iluminâncias médias anuais no pavimento são determinadas conforme é descrito em 3.3 e recorrendo ao programa *HORAS* [CARVALHO, 1996]. Apresentam-se cromaticamente, em forma de quadro, as horas em que as iluminâncias médias anuais com Sol encoberto e com Sol descoberto atingem ou ultrapassam os valores de referência no pavimento. O cálculo final das horas por ano que satisfazem essa condição leva em conta a percentagem de insolação no local, tendo-se considerado o valor na região de Faro. Desta forma, o número médio anual de horas corresponde a 68% das horas determinadas com Sol descoberto mais 32% das horas apuradas com Sol encoberto. Adoptaram-se como valores de referência de iluminâncias médias anuais a serem excedidos os valores 300 lux e 600 lux, representando-se respectivamente por h300 e h600. O valor mais baixo pretende representar o nível mínimo de quantidade de iluminação natural requerido para diversos usos nos espaços estudados. O valor mais alto corresponde ao necessário para tarefas visuais mais exigentes.

b) Determinação dos períodos com risco de encandeamento

O risco de encandeamento é determinado atendendo às ocorrências de encandeamento descritas no quadro 4.2 do capítulo 4. O processo de verificação dos períodos de encandeamento para os três edifícios é realizado separadamente para o risco de encandeamento pela luz do Sol directa e para o risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida e difundida. É usado o modelo virtual de cada edifício para recriar as várias trajectórias do Sol e respectivas incidências no interior.

Para a determinação do risco de encandeamento pela luz do Sol directa admite-se um plano horizontal a 1,60 m de altura correspondente à cota dos olhos do utilizadores. Admite-se existir risco de encandeamento sempre que a luz do Sol incide directamente sobre o plano. No *Desktop Radiance* são feitas renderizações em projecção ortogonal ao referido plano para uma rápida observação da incidência solar, tal como ilustra a figura 5.2.

A determinação do risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida e difundida obriga a verificar quando o sol incide no pavimento, no plano de trabalho, nas paredes e nas janelas. Para tal, são renderizadas imagens em projecção hemisférica que permitem uma visualização global do interior dos edifícios como ilustra a figura 5.3.

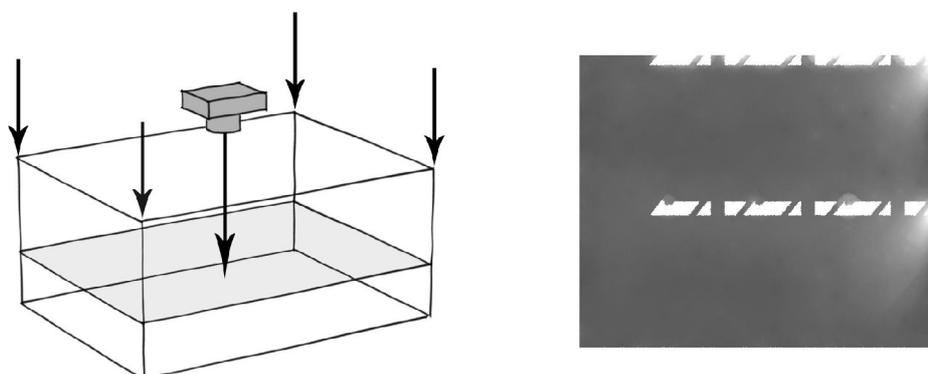


Fig. 5.2 - Renderização em projecção ortogonal da incidência de luz do Sol à cota dos olhos dos utilizadores.

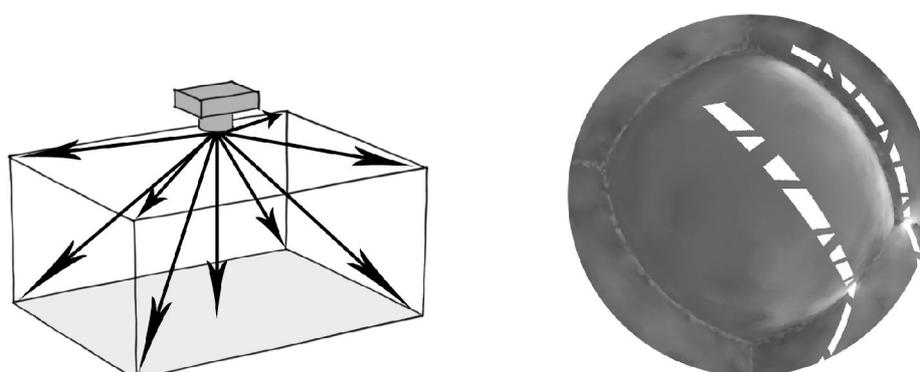


Fig. 5.3 - Renderização em projecção hemisférica da incidência de luz do Sol no pavimento e nas paredes.

Por fim determinam-se as horas anuais de risco de encandeamento nos períodos de Sol descoberto contabilizados na determinação dos indicadores h300 e h600. Como no capítulo anterior se verificou apenas a existência encandeamento em condições de Sol descoberto, o número de horas anuais considerado deve reflectir o valor da insolação do local, ou seja, corresponde a 68% do total de horas de risco de encandeamento acima apurado.

c) Cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural

Nesta última fase do cálculo determinam-se os indicadores de horas de iluminação natural com base na subtração das horas com risco de encandeamento aos indicadores $h300$ e $h600$. Os resultados são os indicadores $H300$ e $H600$.

A expressão de cálculo destes indicadores é, pois:

$$H300 = h300 - R300$$

$$H600 = h600 - R600$$

Onde:

H corresponde aos indicadores de horas tal como definidos em 3.3.

h corresponde ao mesmo indicadores sem atender ao risco de encandeamento.

300 e **600** são as iluminâncias de referência, isto é, as iluminâncias que nos períodos contabilizados pelos indicadores H e h são atingidas ou ultrapassadas em média anual.

$R300$ e **$R600$** são os números de horas com Sol descoberto durante os períodos em que é feita a contagem, respectivamente, do indicador $h300$ ou $h600$, em que há risco de encandeamento.

5.2 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESTC

5.2.1 – Modelo virtual

Apresentam-se nos quadros 5.2 e 5.3 as características físicas das superfícies opacas e não opacas, respectivamente, do edifício ESTC. Neles estão presentes as características observáveis dos diversos materiais e os valores da reflectância, das características de especularidade e rugosidade, a transmitância e a transmitância directa aplicadas no modelo virtual.

Quadro 5.2 – Características físicas das superfícies opacas – ESTC

Designação	Material de Acabamento	Cor	Reflectância	Especularidade	Rugosidade
Pavimento	Vinílico	Azul Esverdeado	20%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Paredes e Tecto	Reboco Pintado	Branco	80%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Portas	Madeira Envernizada	Castanho Escuro	10%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%
Cobertura	Chapa Metálica Pintada	Vermelho	20%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%

Quadro 5.3 – Características físicas das superfícies não opacas - ESTC

Designação	Material de Acabamento	Posição / Orientação	Cor	Transmitância	Difusão
Cobertura	Vidro Simples Transparente	Vertical NE - SO	Incolor	88%	0%

Nas figuras 5.4 a 5.6 estão presentes registos fotográficos de momentos diferentes e respectivas simulações feitas no *Desktop Radiance* de modo permitir verificar o desempenho do modelo virtual. É notável a semelhança entre os resultados do modelo virtual e os registos fotográficos. Não se visualizam nenhuma imperfeições relevantes da distribuição da iluminação natural simulada pelo modelo virtual.



Fig. 5.4 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
9 de Setembro, 8:30 horas solares aproximadas [céu limpo]



Fig. 5.5 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
1 de Junho, 11:30 horas solares aproximadas [céu limpo]



Fig. 5.6 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
9 de Setembro, 15:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

5.2.2 – Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior

Na figura 5.7 representa-se a exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior através de uma carta solar, bem como algumas propriedades da fenestração em análise.

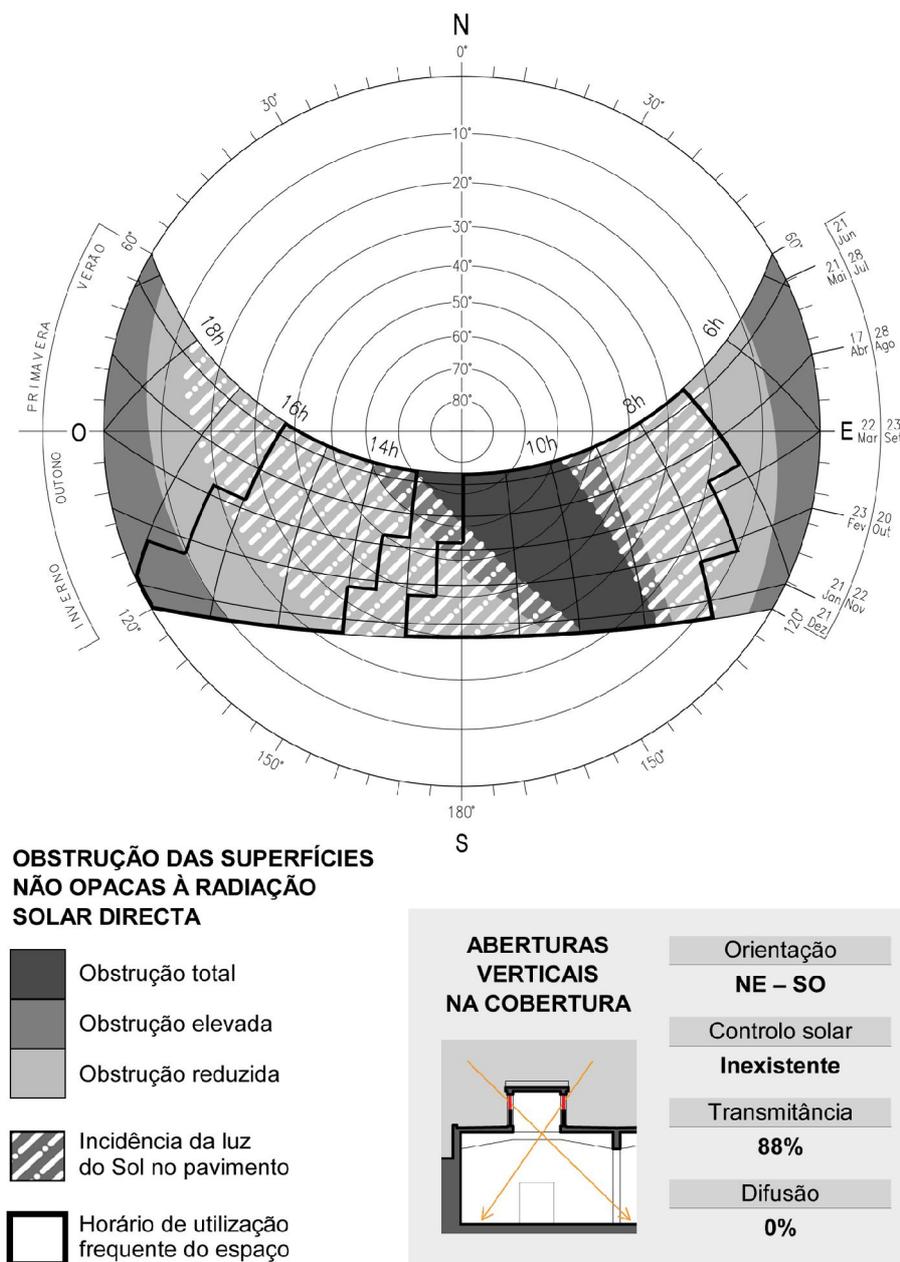


Fig. 5.7 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a NE - SO)

As aberturas verticais na cobertura estão orientadas a NE e SO e não possuem elementos de controlo solar nem propriedades difusoras. Isto faz com que facilmente penetre luz do Sol no interior do edifício por longos períodos. São as aberturas orientadas a SO que mais se encontram expostas à radiação solar directa. Devido às superfícies não opacas serem transparentes e com transmitância elevada a luz do Sol que incide no interior torna-se intensa. No período em que as superfícies não opacas se encontram totalmente obstruídas a iluminação natural no interior do edifício tem boa uniformidade.

5.2.3 - Factores de luz do dia e áreas não opacas

A figura 5.8 ilustra a posição em planta da malha de pontos onde as iluminâncias serão simuladas. A representação cromática e numérica da distribuição do FLD pela malha de pontos está ilustrada na figura 5.9.

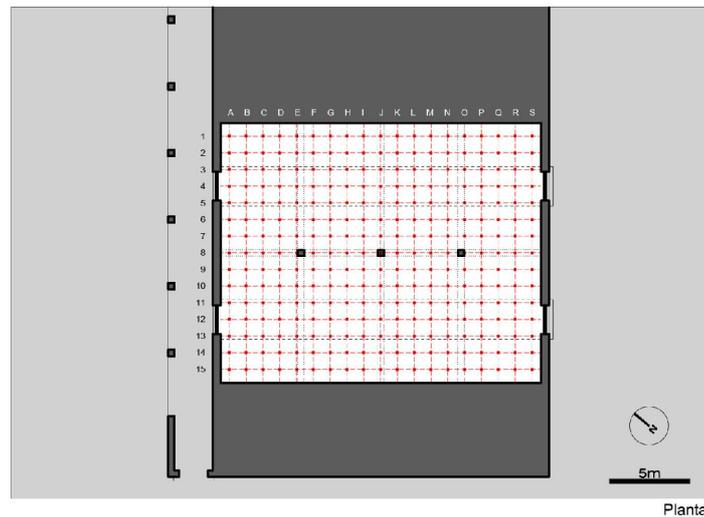


Fig. 5.8 - Planta do edifício ESTC com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias.

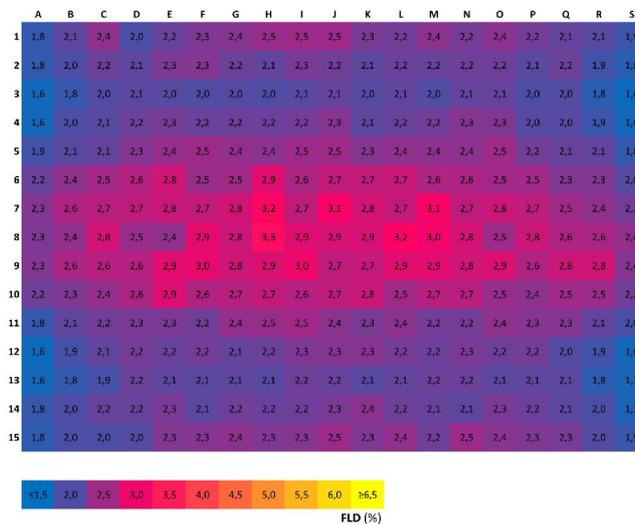


Fig. 5.9 – Representação cromática e numérica da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (ESTC)

A representação da distribuição do FLD por isolinhas está presente na figura 5.10.

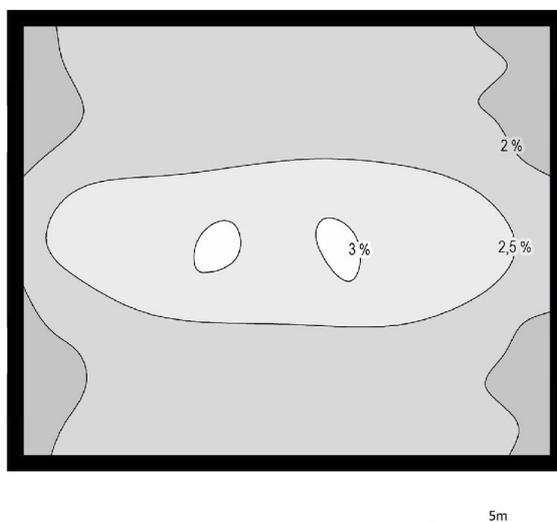


Fig. 5.10 - Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (ESTC)

O valor mínimo do FLD é 1,6% e o máximo 3,3%. O valor médio do FLD é 2,3%, com um valor de uniformidade de 0,7. As zonas onde o FLD é mais elevado são a área central do pavimento, onde recebe luz do céu directa vinda de duas aberturas.

As áreas não opacas de captação da luz natural são caracterizadas no quadro 5.4. As superfícies relativas de área não opaca (SRANO) em relação à área do pavimento tem o valor de 16,1% e em relação ao volume de 2,9%.

Quadro 5.4 – Características das Áreas Não Opacas - ESTC

	Orientações	Área Não Opaca A_{no}	Transmitância T	SRANO _{área}	SRANO _{volume}	FLD Médio
COBERTURA						
Aberturas verticais	NE, SO	60 m ²	88%	16,1%	2,9%	2,3%
Total:				16,1%	2,9%	2,3%

Área de pavimento (A):	328 m ²
Volume interior (V):	1800 m ³
Pé direito:	4,9 m

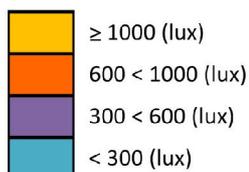
5.2.4 - Indicadores de horas de iluminação natural

a) Determinação das iluminâncias médias anuais

Nos quadros 5.5 e 5.6 apresentam-se as iluminâncias médias anuais com Sol encoberto e Sol descoberto, respectivamente, para o edifício ESTC.

Quadro 5.5 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto

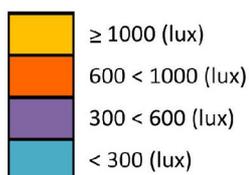
	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Light Blue	Purple	Purple	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Purple	Purple	Light Blue
ABR / AGO	Light Blue	Purple	Purple	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Purple	Purple	Light Blue
MAR / SET	Dark Grey	Light Blue	Purple	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Purple	Purple	Light Blue	Dark Grey
FEV / OUT	Dark Grey	Dark Grey	Light Blue	Purple	Purple	Purple	Purple	Purple	Purple	Purple	Light Blue	Dark Grey	Dark Grey
JAN / NOV / DEZ	Dark Grey	Dark Grey	Light Blue	Light Blue	Purple	Purple	Purple	Purple	Purple	Light Blue	Light Blue	Dark Grey	Dark Grey



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 1410 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3060 h/ano

Quadro 5.6 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
ABR / AGO	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange
MAR / SET	Dark Grey	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Dark Grey
FEV / OUT	Dark Grey	Dark Grey	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Dark Grey	Dark Grey
JAN / NOV / DEZ	Dark Grey	Dark Grey	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Dark Grey	Dark Grey



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 3960 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3960 h/ano

Em condições de Sol encoberto é satisfatório o número de horas que excede os 300 lux no pavimento. Porém menos de metade dessas horas conseguem exceder os 600 lux.

Tendo em consideração a insolação média no local, a determinação das horas de iluminâncias médias anuais que excedem os 300 lux e 600 lux resulta das seguintes expressões:

Horas de iluminâncias médias anuais [h300 / h600]

$$\mathbf{h300} = (3060 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{3700 \text{ h/ano}}$$

$$\mathbf{h600} = (1410 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{3100 \text{ h/ano}}$$

b) Determinação dos períodos com risco de encandeamento

Os quadros 5.7 e 5.8 apresentam separadamente os períodos em que se verificou existir risco de encandeamento pela luz do Sol directa e pela luz do Sol reflectida. O quadro 5.9 representa a síntese do risco de encandeamento incluindo o risco de encandeamento pela luz do Sol directa e reflectida.

Quadro 5.7 – Risco de Encandeamento pela Luz do Sol Directa

	PERÍODO DA MANHÃ					PERÍODO DA TARDE							
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL		■	■	■						■	■	■	
ABR / AGO			■	■						■	■		
MAR / SET			■	■					■	■			
FEV / OUT							■	■	■	■			
JAN / NOV / DEZ						■	■	■	■				

■ RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol directa = 1620 h/ano

Quadro 5.8 – Risco de Encandeamento pela Luz do Sol Reflectida

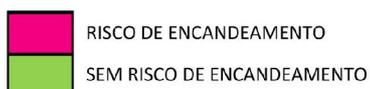
	PERÍODO DA MANHÃ					PERÍODO DA TARDE							
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL		■	■	■				■	■	■	■	■	
ABR / AGO			■	■				■	■	■	■		
MAR / SET			■	■			■	■	■	■			
FEV / OUT			■	■		■	■	■	■				
JAN / NOV / DEZ						■	■	■	■				

■ RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida = 2280 h/ano

Quadro 5.9 – Períodos com e sem Risco de Encandeamento

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	SEM	SEM	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	SEM
ABR / AGO	SEM	SEM	RISCO	RISCO	SEM	SEM	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	SEM	SEM
MAR / SET	SEM	SEM	RISCO	RISCO	SEM	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	SEM	SEM
FEV / OUT	SEM	SEM	RISCO	RISCO	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	SEM	SEM	SEM
JAN / NOV / DEZ	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	SEM	SEM	SEM	SEM



Horas de risco de encandeamento = 2280 h/ano

Verifica-se que o edifício apresenta longos períodos em que existe risco de encandeamento, tanto encandeamento pela luz do Sol directa como pela luz do Sol reflectida.

O cálculo das horas de risco de encandeamento faz-se através das seguintes expressões:

Horas de risco de encandeamento [R300 / R600]

R300 = 2280 × 0,68 ≈ 1600 h/ano

R600 = 2280 × 0,68 ≈ 1600 h/ano

c) Cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural

O cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural para o edifício ESTC resulta da seguinte expressão:

Indicadores de horas de iluminação natural [H300 / H600]

H300 = 3700 – 1600 = 2100 h/ano

H600 = 3100 – 1600 = 1500 h/ano

Pode-se concluir que para o edifício ESTC a iluminância de 300 lux no pavimento é excedido durante 2100 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual. Para a realização de tarefas visuais mais exigentes o valor de 600 lux no pavimento é excedido durante 1500 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual.

5.3 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESL

5.3.1 – Modelo virtual

Apresentam-se nos quadros 5.10 e 5.11 as características físicas das superfícies opacas e não opacas, respectivamente, do edifício ESL.

Quadro 5.10 – Características físicas das superfícies opacas – ESL

Designação	Material de Acabamento	Cor	Reflectância	Especularidade	Rugosidade
Pavimento	Flutuante em Madeira	Castanho Médio	30%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%
Paredes 1	Reboco Pintado	Branco	80%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Paredes 2	Reboco Pintado	Castanho Claro	45%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Portas	Madeira Envernizada	Castanho	20%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Tecto e Cobertura 1	Chapa Metálica Pintada	Branco	65%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%
Cobertura 2	Tela Asfáltica	Cinzeno Escuro	20%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%

Quadro 5.11 – Características físicas das superfícies não opacas – ESL

Designação	Material de Acabamento	Posição / Orientação	Cor	Transmitância	Difusão
Cobertura 1	Poliéster reforçado com fibra de vidro Translúcido	Horizontal	Incolor	50%	100%
Cobertura 2	Poliéster reforçado com fibra de vidro Translúcido	Vertical N, S, E, O	Creme	15%	100%
Fachada	Vidro Simples Transparente	Vertical S	Incolor	85%	10%

Nas figuras 5.11 a 5.13 estão presentes registos fotográficos de momentos diferentes e respectivas simulações feitas no *Desktop Radiance* de modo a permitir verificar o desempenho do modelo virtual.



Fig. 5.11 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
31 de Maio, 12:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

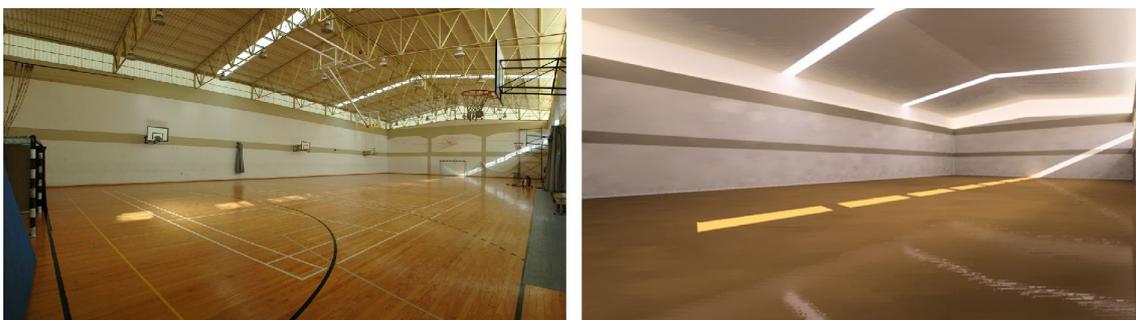


Fig. 5.12 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
11 de Novembro, 14:00 horas solares aproximadas
[céu parcialmente encoberto com Sol descoberto]

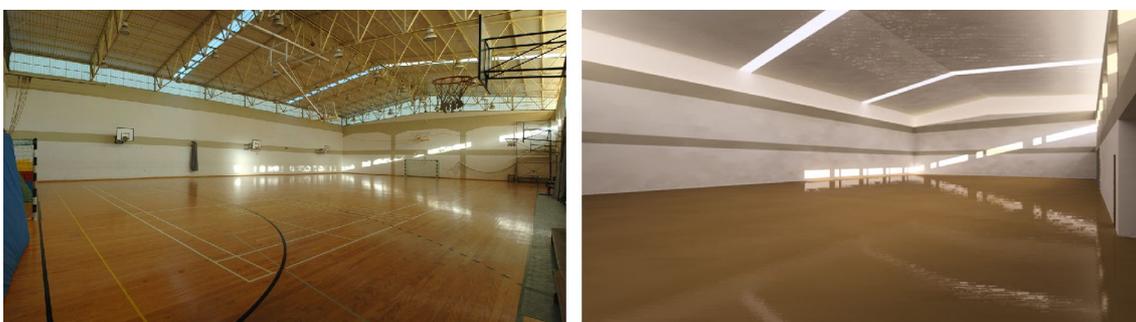


Fig. 5.13 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
4 de Novembro, 16:00 horas solares aproximadas [céu limpo]

5.3.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior

Nas figuras 5.14 a 5.19 está representada a exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior através de cartas solares, bem como algumas propriedades da fenestração em análise.

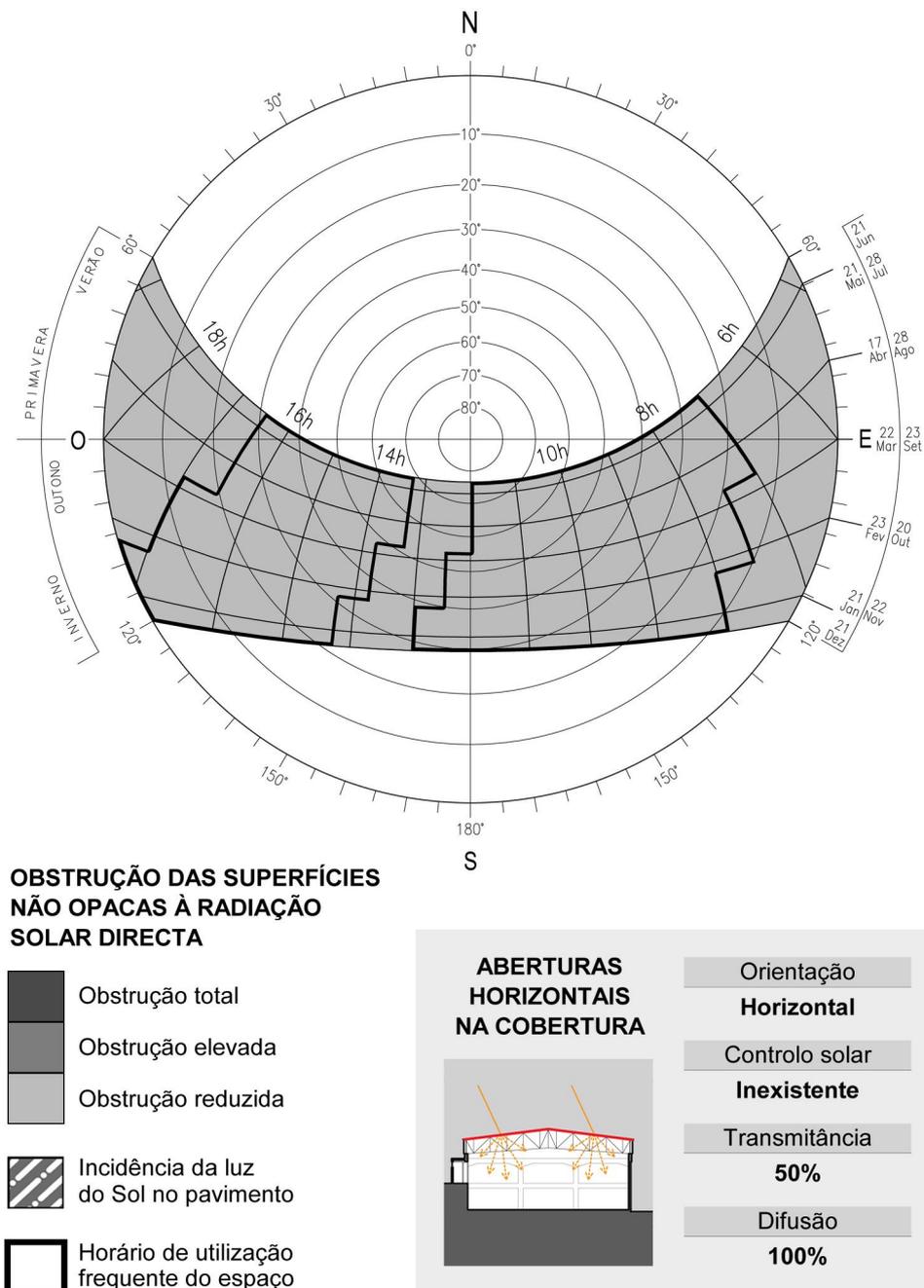
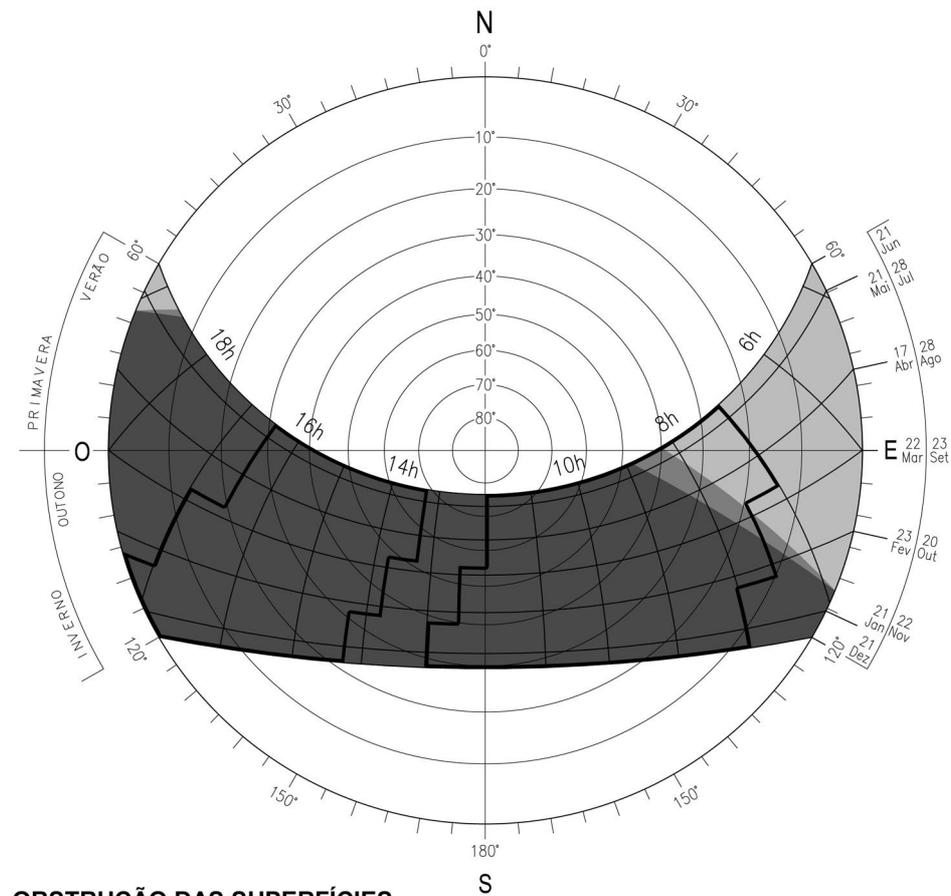


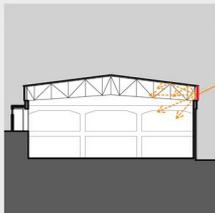
Fig. 5.14 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas horizontais na cobertura)



OBSTRUÇÃO DAS SUPERFÍCIES NÃO OPACAS À RADIAÇÃO SOLAR DIRECTA

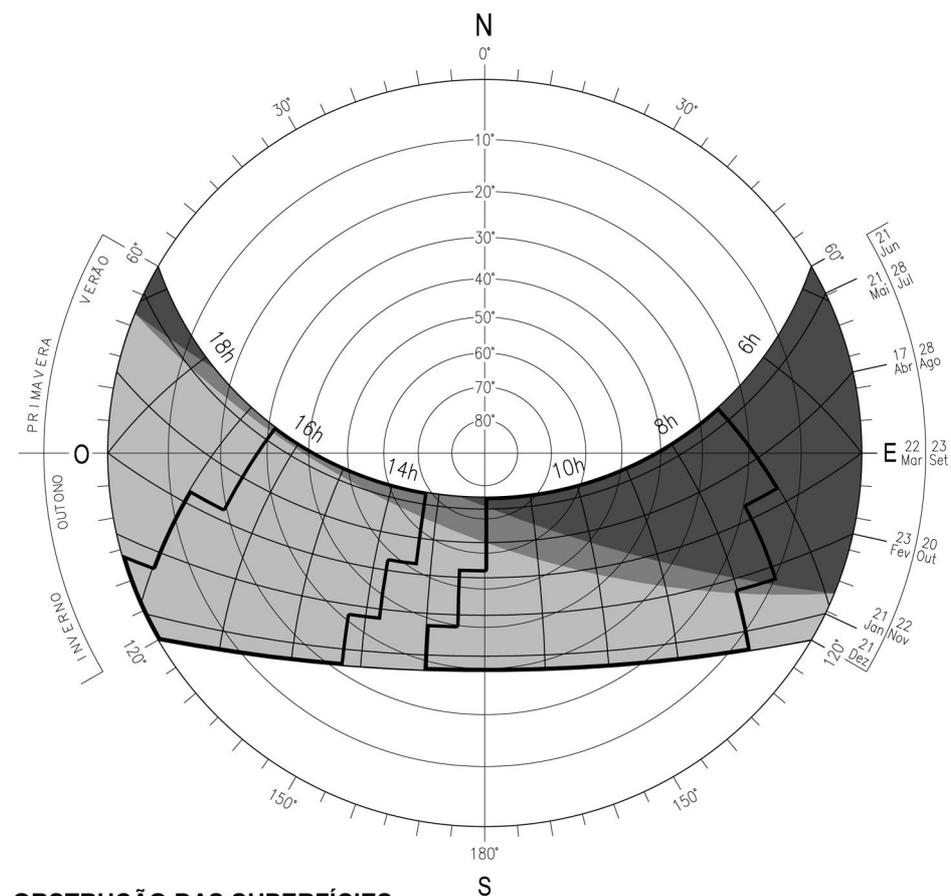
-  Obstrução total
-  Obstrução elevada
-  Obstrução reduzida
-  Incidência da luz do Sol no pavimento
-  Horário de utilização frequente do espaço

ABERTURAS VERTICAIS NA COBERTURA



Orientação	Norte
Controlo solar	Inexistente
Transmitância	15%
Difusão	100%

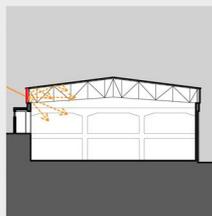
Fig. 5.15 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Norte)



OBSTRUÇÃO DAS SUPERFÍCIES NÃO OPACAS À RADIAÇÃO SOLAR DIRECTA

-  Obstrução total
-  Obstrução elevada
-  Obstrução reduzida
-  Incidência da luz do Sol no pavimento
-  Horário de utilização frequente do espaço

ABERTURAS VERTICAIS NA COBERTURA



Orientação

Sul

Controlo solar

Inexistente

Transmitância

15%

Difusão

100%

Fig. 5.16 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Sul)

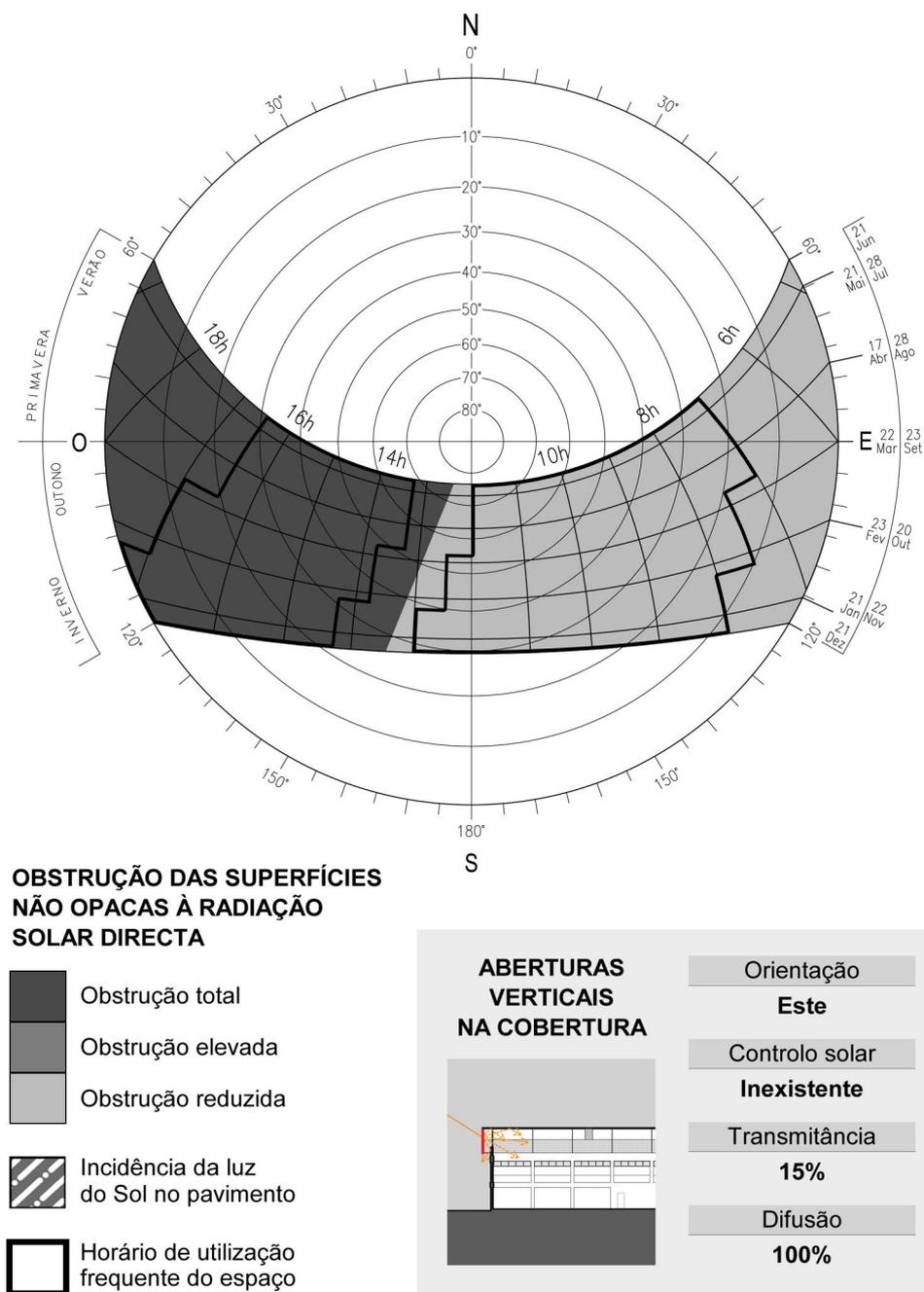


Fig. 5.17 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Este)

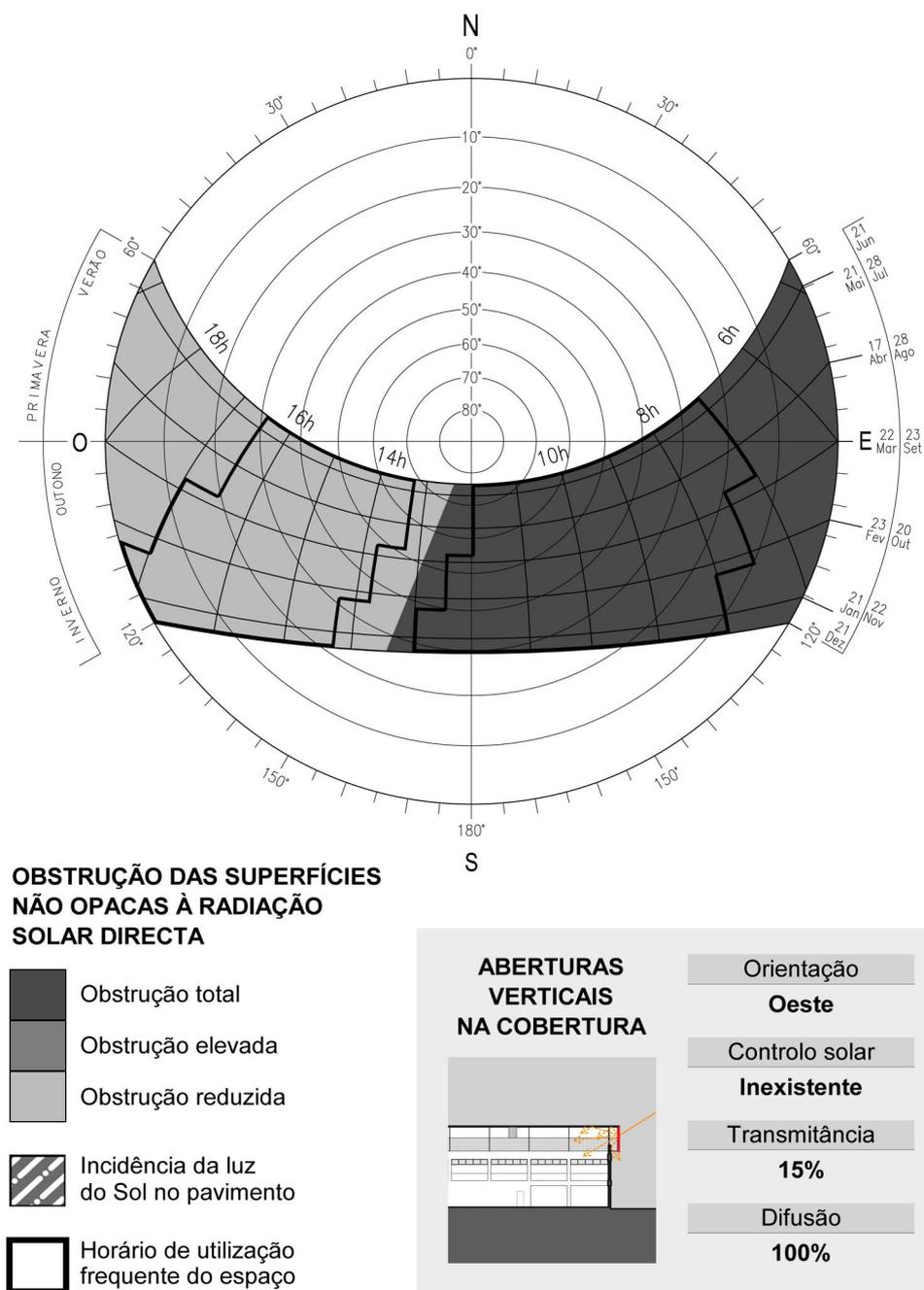


Fig. 5.18 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na cobertura orientadas a Oeste)

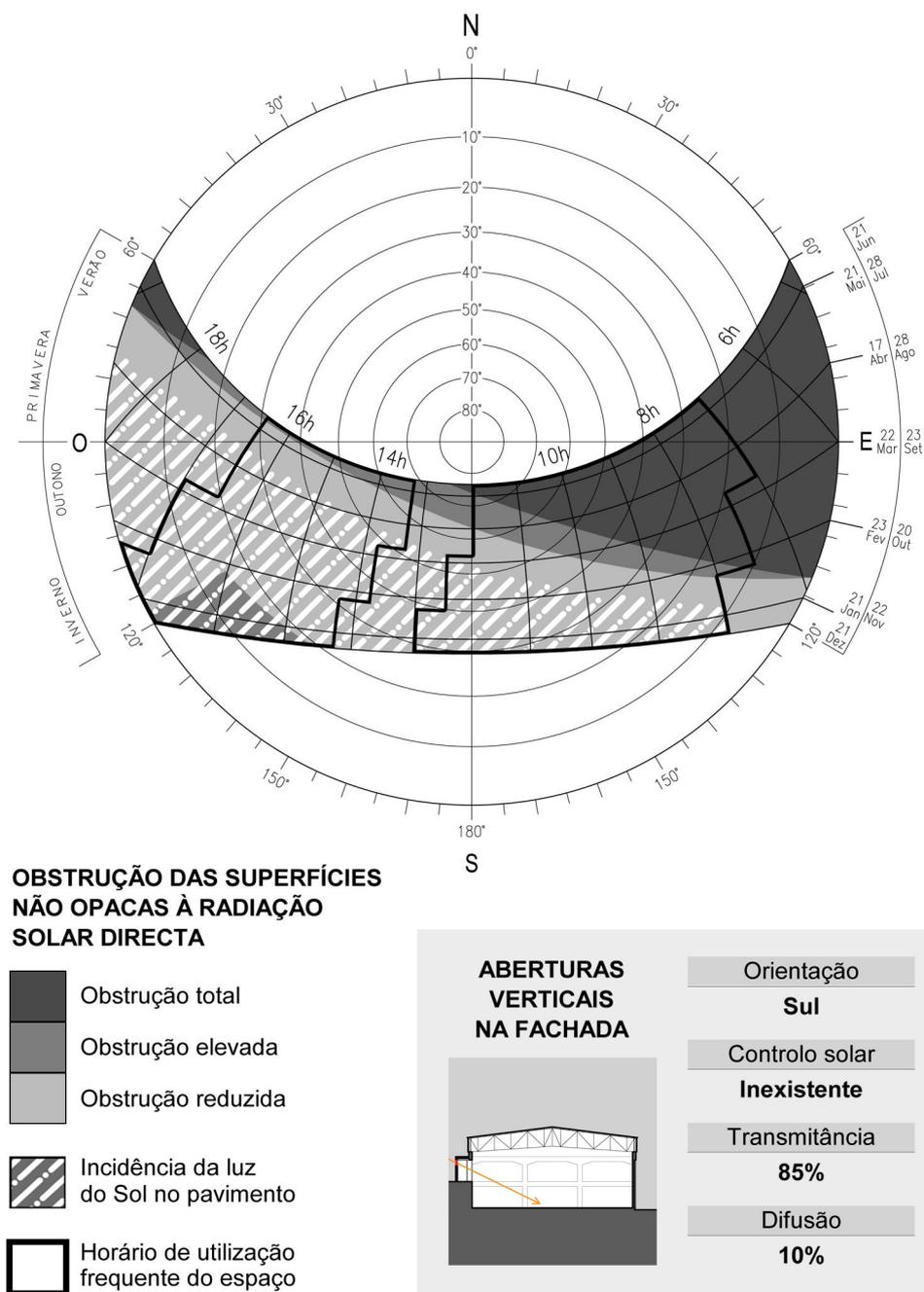


Fig. 5.19 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na fachada orientadas a Sul)

Na cobertura as aberturas horizontais e, pelo menos, uma das aberturas verticais (a N, S, E ou O) estão expostas à radiação solar directa durante todo o ano. Devido a terem propriedades difusoras eficientes distribuem com boa uniformidade a luz natural para o interior do edifício sem a existência de manchas solares ou incidência directa da luz do Sol nos olhos dos utilizadores.

As aberturas verticais na fachada orientadas a sul são as que causam a existência de manchas solares no interior e com isso contribuem para o risco de encandeamento que tem mais relevância, no período da tarde de Outono e Inverno.

5.3.3 - Factores de luz do dia e áreas não opacas

A figura 5.20 ilustra a posição em planta da malha de pontos onde as iluminâncias serão simuladas. A representação cromática e numérica da distribuição do FLD pela malha de pontos está ilustrada na figura 5.21.

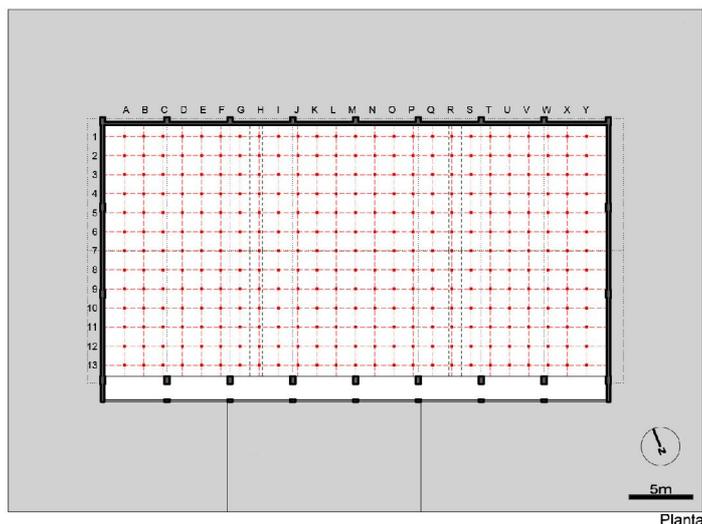


Fig. 5.20 - Planta do edifício ESL com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias.

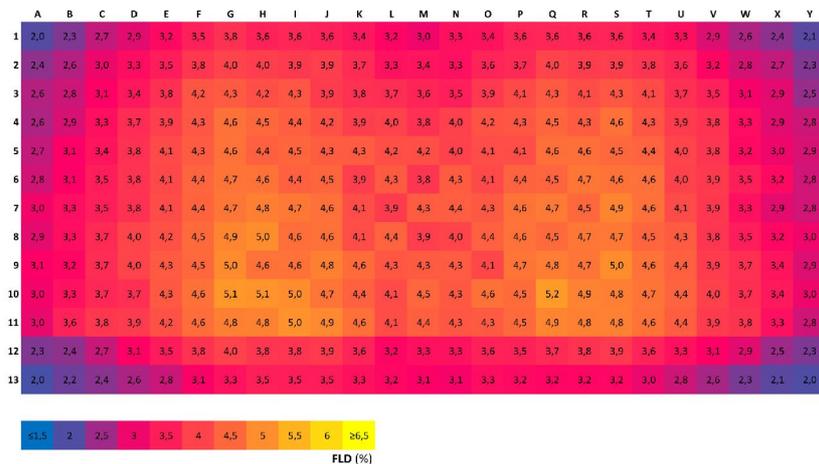


Fig. 5.21 – Representação cromática da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (ESL)

A representação da distribuição do FLD por isolinhas está presente na figura 5.22.

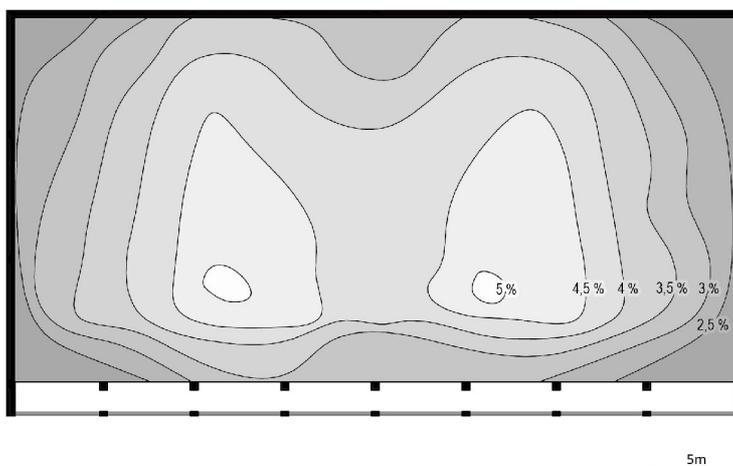


Fig. 5.22 - Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (ESL)

O valor mínimo do FLD é 2,0% e o máximo 5,2%. O valor médio do FLD é 3,6%, com um valor de uniformidade de 0,6. A zona onde o FLD é mais elevado é a área central do pavimento, e as zonas onde é menos elevado ficam nos cantos.

As áreas não opacas de captação da luz natural são caracterizadas no quadro 5.12. As superfícies relativas de área não opaca (SRANO) em relação à área do pavimento têm o valor de 10,9% e em relação ao volume de 1,2%.

Quadro 5.12 – Características das Áreas Não Opacas - ESL

	Orientações	Área Não Opaca A_{no}	Transmitância T	SRANOárea	SRANOvolume	FLD Médio
COBERTURA						
Aberturas horizontais	–	42 m ²	50%	2,8%	0,3%	1,6%
Aberturas verticais	N, E, S, O	257 m ²	15%	5,2%	0,6%	1,6%
FACHADA						
Aberturas verticais	S	25 m ²	85%	2,9%	0,3%	0,4%
Total:				10,9%	1,2%	3,6%

Área de pavimento (A): 842 m²
 Volume interior (V): 7800 m³
 Pé direito: 7 m

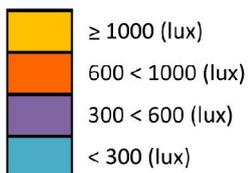
5.3.4 - Indicadores de horas de iluminação natural

a) Determinação das iluminâncias médias anuais

Nos quadros 5.13 e 5.14 apresentam-se as iluminâncias médias anuais com Sol encoberto e Sol descoberto, respectivamente, para o edifício ESL.

Quadro 5.13 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto

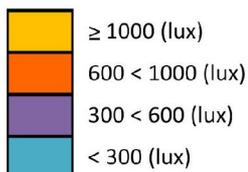
	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange
ABR / AGO	Light Blue	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Light Blue
MAR / SET	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange
FEV / OUT	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
JAN / NOV / DEZ	Orange	Orange	Light Blue	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 2760 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3660 h/ano

Quadro 5.14 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
ABR / AGO	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange
MAR / SET	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange
FEV / OUT	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
JAN / NOV / DEZ	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 3960 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3960 h/ano

Durante quase todos os períodos do dia e do ano satisfazem iluminâncias médias no pavimento superior a 300 lux.

Tendo em consideração a insolação média no local, a determinação das horas de iluminâncias médias anuais que excedem os 300 lux e 600 lux resulta das seguintes expressões:

Horas de iluminâncias médias anuais [h300 / h600]

$$\mathbf{h300} = (3660 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{3900 \text{ h/ano}}$$

$$\mathbf{h600} = (2760 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{3600 \text{ h/ano}}$$

b) Determinação dos períodos com risco de encandeamento

Os quadros 5.15 e 5.16 apresentam separadamente os períodos em que se verificou existir risco de encandeamento pela luz do Sol directa e pela luz do Sol reflectida. O quadro 5.17 representa a síntese do risco de encandeamento incluindo o risco de encandeamento pela luz do Sol directa e reflectida.

Quadro 5.15 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Directa

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL													
ABR / AGO													
MAR / SET													
FEV / OUT													
JAN / NOV / DEZ													

 RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol directa = 1440 h/ano

Quadro 5.16 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Reflectida

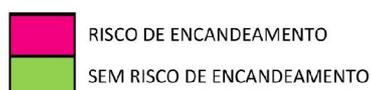
	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL													
ABR / AGO													
MAR / SET													
FEV / OUT													
JAN / NOV / DEZ													

 RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida = 1710 h/ano

Quadro 5.17 – Períodos com e sem Risco de Encandeamento

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO
ABR / AGO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO
MAR / SET	RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO
FEV / OUT	RISCO	RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	SEM RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO
JAN / NOV / DEZ	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO	RISCO



Horas de risco de encandeamento = 1710 h/ano

Verifica-se que o risco de encandeamento, pela luz do Sol directa e reflectida, está mais significativamente presente no período da tarde. Nos meses de Maio, Junho e Julho não se verificou existência de risco de encandeamento. Em contrapartida, nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, o risco de encandeamento é constante durante o dia todo.

O cálculo das horas de risco de encandeamento faz-se através das seguintes expressões:

Horas de risco de encandeamento [R300 / R600]

R300 = 1710 × 0,68 ≈ 1200 h/ano

R600 = 1710 × 0,68 ≈ 1200 h/ano

c) Cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural

O cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural para o edifício ESL resulta da seguinte expressão:

Indicadores de horas de iluminação natural [H300 / H600]

H300 = 3900 – 1200 = 2700 h/ano

H600 = 3600 – 1200 = 2400 h/ano

Pode-se concluir que para o edifício ESL a iluminância de 300 lux no pavimento é excedido durante 2700 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual. Para a realização de tarefas visuais mais exigentes o valor de 600 lux no pavimento é excedido durante 2400 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual.

5.4 – CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO GML

5.4.1 – Modelo virtual

Apresentam-se nos quadros 5.18 e 5.19 as características físicas das superfícies opacas e não opacas, respectivamente, do edifício GML.

Quadro 5.18 – Características físicas das superfícies opacas – GML

Designação	Material de Acabamento	Cor	Reflectância	Especularidade	Rugosidade
Pavimento 1	Flutuante em Madeira	Castanho Claro	40%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%
Pavimento 2	Mosaico Liso Polido	Cinzeno Escuro	15%	Brilhante – 6,7%	Liso – 1,0%
Pavimento Exterior	Calcário Bujardado	Branco	60%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Paredes 1	Reboco Pintado	Branco	80%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Paredes 2	Monomassa	Laranja Escuro	30%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Portas 1	Metal	Cinzeno Escuro	15%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Portas 2	Madeira Envernizada	Castanho	20%	Brilhante – 3,3%	Rugoso – 10,0%
Bancadas 1	Plástico e Betão	Vermelho e Cinzeno	25%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Bancadas 2	Plástico e Betão	Preto e Cinzeno	15%	Mate – 0,0%	Liso – 0,0%
Tecto e Cobertura	Chapa Metálica Pintada	Branco	70%	Brilhante – 0,5%	Liso – 1,0%

Quadro 5.19 – Características físicas das superfícies não opacas – GML

Designação	Material de Acabamento	Posição / Orientação	Cor	Transmitância	Difusão
Cobertura	Policarbonato Translúcido	Inclinada E	Incolor	50%	50%
Fachada	Vidro Duplo Translúcido	Vertical O	Incolor	50%	90%

Nas figuras 5.23 a 5.25 estão presentes registos fotográficos de momentos diferentes e respectivas simulações feitas no *Desktop Radiance* de modo permitir verificar o desempenho do modelo virtual.



Fig. 5.23 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
16 de Setembro, 9:00 horas solares aproximadas
[céu parcialmente encoberto com Sol encoberto]



Fig. 5.24 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
31 de Maio, 10:00 horas solares aproximadas [céu limpo]



Fig. 5.25 - Registo fotográfico (à esquerda) e respectiva simulação computacional (à direita).
31 de Janeiro, 16:30 horas solares aproximadas [céu limpo]

5.4.2 – Exposição solar dos envidraçados e do espaço interior

As figuras 5.26 e 5.27 representam a exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior através de cartas solares, bem como algumas propriedades da fenestração em análise.

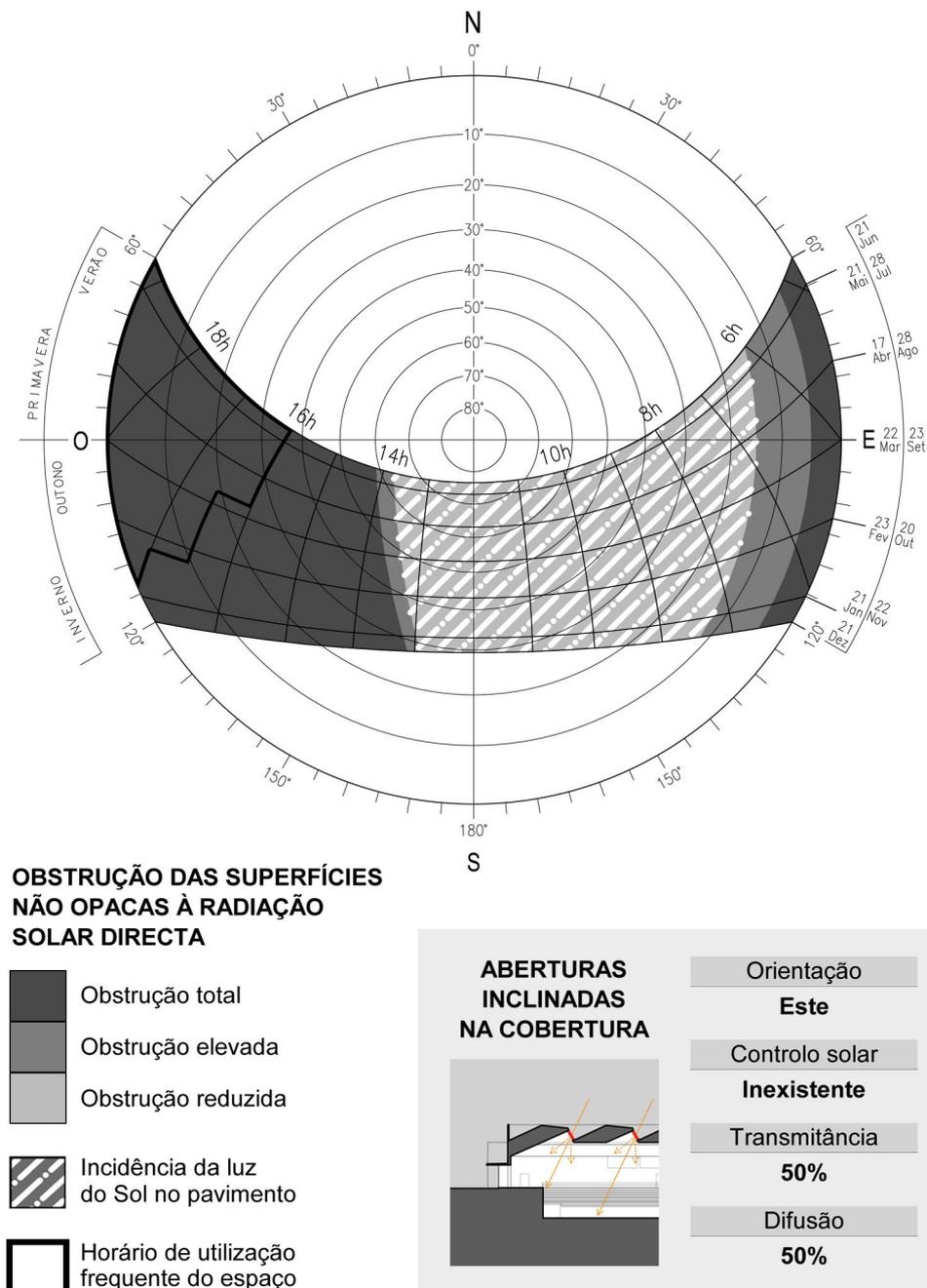
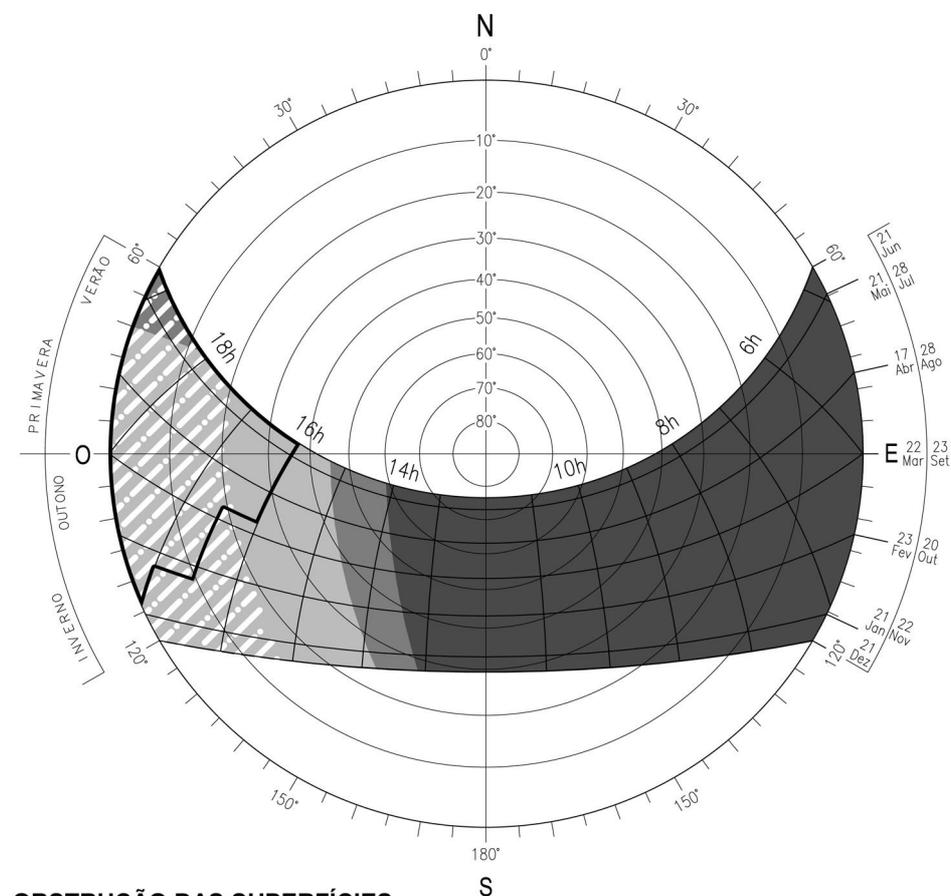


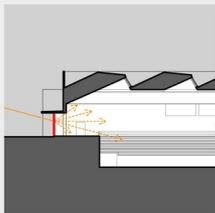
Fig. 5.26 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas inclinadas na cobertura orientadas a Este)



OBSTRUÇÃO DAS SUPERFÍCIES NÃO OPACAS À RADIAÇÃO SOLAR DIRECTA

-  Obstrução total
-  Obstrução elevada
-  Obstrução reduzida
-  Incidência da luz do Sol no pavimento
-  Horário de utilização frequente do espaço

ABERTURAS VERTICAIS NA FACHADA



Orientação	Oeste
Controlo solar	Elemento rígido
Transmitância	50%
Difusão	90%

Fig. 5.27 - Exposição solar das superfícies não opacas e do espaço interior (aberturas verticais na fachada orientadas a Oeste)

As aberturas inclinadas na cobertura orientadas a Este não difundem suficientemente a luz do Sol. Em consequência verifica-se a incidência da luz do Sol no pavimento no período da manhã durante todo o ano.

As aberturas verticais na fachada orientada a Oeste difundem quase totalmente a luz do Sol incidente. Porém ainda existe uma porção de luz directa transmitida. Os períodos em que se observa incidência de luz do Sol no pavimento são ao final da tarde, quando a posição do Sol se aproxima do horizonte.

5.4.3 - Factores da luz do dia e áreas não opacas

A figura 5.28 ilustra a posição em planta da malha de pontos onde as iluminâncias serão simuladas. A representação cromática e numérica da distribuição do FLD pela malha de pontos está ilustrada na figura 5.29.

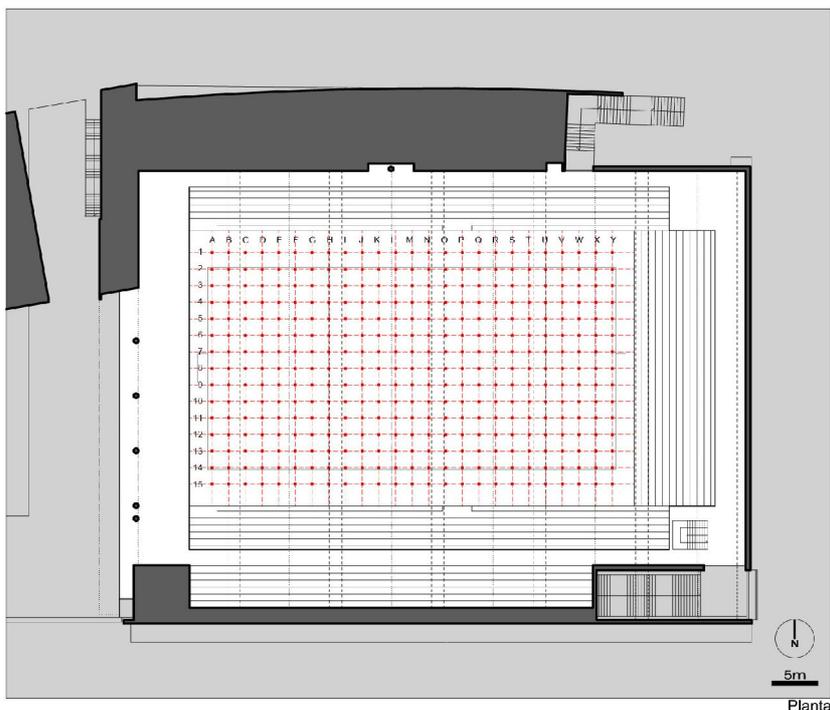


Fig. 5.28 - Planta do edifício GML com a indicação da malha de pontos da simulação de iluminâncias.

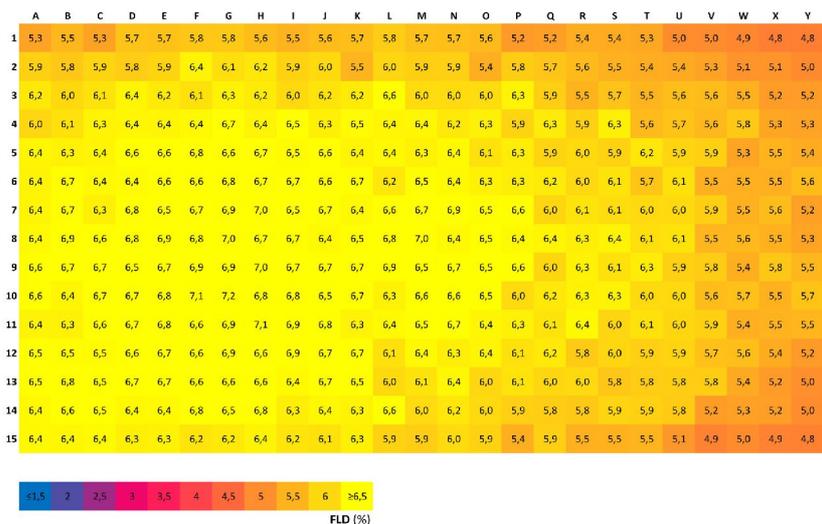


Fig. 5.29 – Representação cromática da distribuição do FLD por uma malha de pontos no pavimento. (GML)

A representação da distribuição do FLD por isolinhas está presente na figura 5.30.

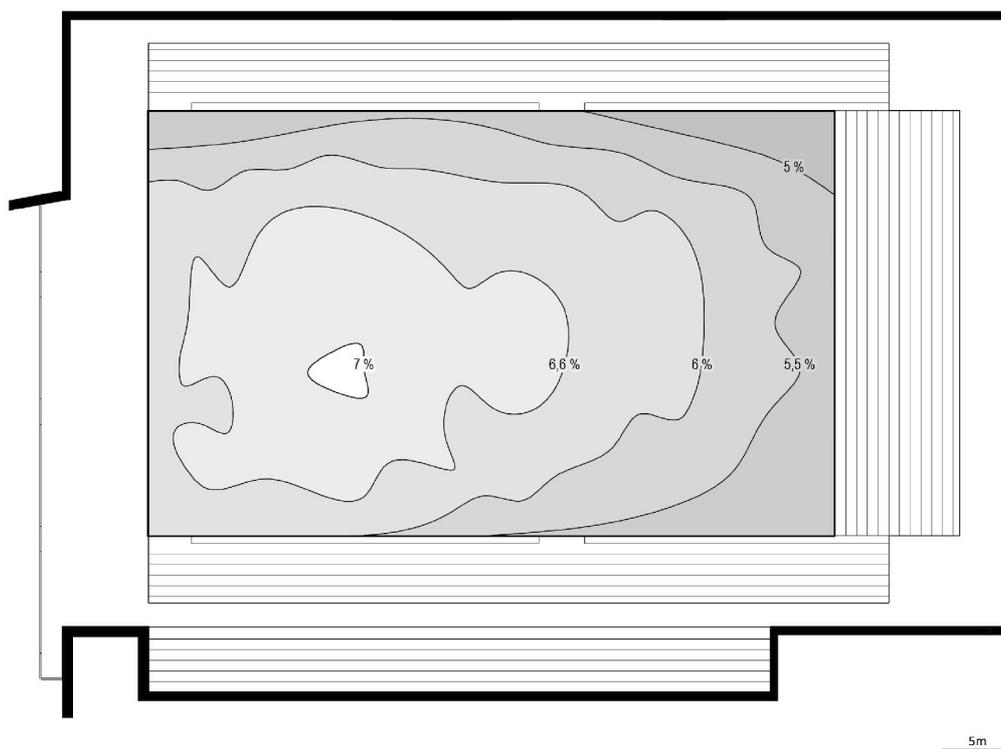


Fig. 5.30 - Representação por isolinhas da distribuição do FLD no pavimento (GML)

O valor mínimo do FLD é 4,8% e o máximo 7,2%. O valor médio do FLD é 6,1%, com um valor de uniformidade de 0,8. O valor do FLD é no geral elevado e bastante uniforme em toda a área do pavimento.

As áreas não opacas de captação da luz natural são caracterizadas no quadro 5.20. As superfícies relativas de área não opaca (SRANO) em relação à área do pavimento tem o valor de 12,9% e em relação ao volume de 1,0%.

Quadro 5.20 – Características das Áreas Não Opacas - GML

	Orientações	Área Não Opaca A_{no}	Transmitância T	SRANOárea	SRANOvolume	FLD Médio
COBERTURA						
Aberturas inclinadas	E	502 m ²	50%	10,2%	0,8%	5,8%
FACHADA						
Aberturas verticais	O	133 m ²	50%	2,7%	0,2%	0,3%
Total:				12,9%	1,0%	6,1%

Área de pavimento (A): 2800 m²
 Volume interior (V): 33800 m³
 Pé direito: 13 m

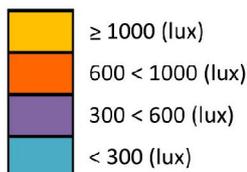
5.4.4 - Indicadores de horas de iluminação natural

a) Determinação das iluminâncias médias anuais

Nos quadros 5.21 e 5.22 apresentam-se as iluminâncias médias anuais com Sol encoberto e Sol descoberto, respectivamente, para o edifício GML.

Quadro 5.21 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Encoberto

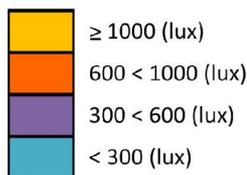
	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Purple
ABR / AGO	Purple	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Purple
MAR / SET	Grey	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Purple	Grey
FEV / OUT	Grey	Grey	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Purple	Grey	Grey	Grey
JAN / NOV / DEZ	Grey	Grey	Purple	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Purple	Grey	Grey	Grey



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 3450 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3960 h/ano

Quadro 5.22 – Iluminâncias Médias Anuais com Sol Descoberto

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange
ABR / AGO	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange
MAR / SET	Grey	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Grey
FEV / OUT	Grey	Grey	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Grey	Grey
JAN / NOV / DEZ	Grey	Grey	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Grey	Grey



Horas com iluminâncias ≥ 600 lux = 3960 h/ano
 Horas com iluminâncias ≥ 300 lux = 3960 h/ano

O edifício GML atinge luminâncias médias de 600 lux no pavimento durante praticamente todo o ano.

Tendo em consideração a insolação média no local a determinação das horas de iluminâncias médias anuais que excedem os 300 lux e 600 lux resulta das seguintes expressões:

Horas de iluminâncias médias anuais [h300 / h600]

$$\mathbf{h300} = (3960 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{4000 \text{ h/ano}}$$

$$\mathbf{h600} = (3450 \times 0,32) + (3960 \times 0,68) \approx \mathbf{3800 \text{ h/ano}}$$

b) Determinação dos períodos com risco de encandeamento

Os quadros 5.23 e 5.24 apresentam separadamente os períodos em que se verificou existir risco de encandeamento pela luz do Sol directa e pela luz do Sol reflectida. O quadro 5.25 representa a síntese do risco de encandeamento incluindo o risco de encandeamento pela luz do Sol directa e reflectida.

Quadro 5.23 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Directa

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	■	■	■	■	■	■							
ABR / AGO		■	■	■	■	■	■						
MAR / SET		■	■	■	■	■	■						■
FEV / OUT		■	■	■	■	■						■	■
JAN / NOV / DEZ		■		■	■	■	■					■	■

■ RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL DIRECTA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol directa = 1920 h/ano

Quadro 5.24 – Risco de Encandeamento pela luz do Sol Reflectida e Difundida

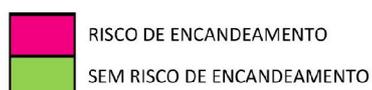
	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL												■	■
ABR / AGO												■	■
MAR / SET											■	■	■
FEV / OUT		■									■	■	■
JAN / NOV / DEZ		■								■	■	■	■

■ RISCO DE ENCANDEAMENTO PELA LUZ DO SOL REFLECTIDA

Horas de risco de encandeamento pela luz do Sol reflectida = 660 h/ano

Quadro 5.25 – Períodos com e sem risco de Encandeamento

	PERÍODO DA MANHÃ						PERÍODO DA TARDE						
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
MAI / JUN / JUL	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ABR / AGO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
MAR / SET	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
FEV / OUT	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
JAN / NOV / DEZ	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	



Horas de risco de encandeamento = 2580 h/ano

O risco de encandeamento pela luz do Sol directa sem um impacto significativo no período da manhã durante todo ano. O número de horas em que existe risco de encandeamento pela luz do Sol difundida é mais reduzido, e verificam-se apenas ao final do dia.

O cálculo das horas de risco de encandeamento faz-se através das seguintes expressões:

Horas de risco de encandeamento [R300 / R600]
R300 = 2580 × 0,68 ≈ 1800 h/ano
R600 = 2580 × 0,68 ≈ 1800 h/ano

c) Cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural

O cálculo dos indicadores de horas de iluminação natural para o edifício GML resulta da seguinte expressão:

Indicadores de horas de iluminação natural [H300 / H600]

H300 = 4000 – 1800 = 2200 h/ano

H600 = 3800 – 1800 = 2000 h/ano

Pode-se concluir que para o edifício GML a iluminância de 300 lux no pavimento é excedido durante 2200 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual. Para a realização de tarefas visuais mais exigentes o valor de 600 lux no pavimento é excedido durante 2000 horas por ano, sendo satisfeitas as condições de conforto visual.

5.5 – CRÍTICA E REVISÃO DAS SUPERFÍCIES RELATIVAS DE ÁREA NÃO OPACA

Comparando os valores das superfícies relativas de área não opaca com os factores de luz do dia médios, constata-se não existir uma relação coerente. O edifício GML tem o FLD total mais elevado de 6,1% e uma SRANOárea de 12,9%, ao passo que o edifício ESTC com 2,3% de FLD tem uma SRANOárea 16,1%. A figura 5.31 apresenta os valores das SRANOárea e SRANOvolume, respectivamente, versus os FLD médios simulados para os diferentes edifícios em estudo.

Conclui-se que as SRANO, tal como foram calculadas, não traduzem bem as condições quantitativas de iluminação natural quando aplicadas a tipos de fenestração diferentes, como é o caso.

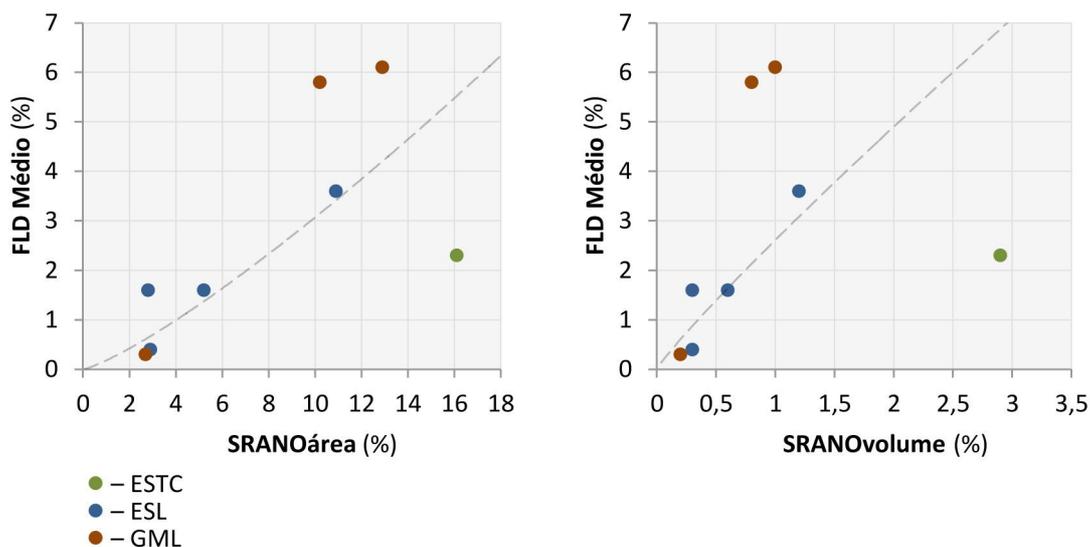


Fig. 5.31 - Relação entre o FLD Médio com as SRANOárea e as SRANOvolume.

As aberturas na cobertura podem assumir inclinações diferentes, e diferir também noutros factores geométricos, o que influencia a quantidade de luz natural por elas captada. Existem ainda, obviamente, muitos outros factores tais como as reflexões interiores condicionadas pelas propriedades das superfícies opacas. Sem querer complicar e com o objectivo de melhorar a representatividade das SRANO para uma aplicação mais fiável em diferentes tipos de fenestração, alterou-se a fórmula de cálculo para:

$$\text{SRANO}_{\text{ÁREA}}^{\text{Optimizado}} (\%) = \frac{\frac{Y}{180} \times A_{\text{no}} \times T}{A} \times 100\%$$

$$\text{SRANO}_{\text{VOLUME}}^{\text{Optimizado}} (\%) = \frac{\frac{Y}{180} \times A_{\text{no}} \times T}{V} \times 100\%$$

Em que (Y) corresponde ao ângulo do leque de direcções da luz que penetra pela abertura e incide no pavimento e paredes interiores, tal como exemplifica a figura 5.32. Os valores das SRANO Revista estão presentes nos quadros 5.26, 5.27 e 5,28 respectivamente para os edifícios ESTC, ESL e GML.



Fig. 5.32 - Ângulo Y da formula SRANO Revista.

**Quadro 5.26 – Características das Áreas Não Opacas
(SRANO Revista) - ESTC**

	Orientações	Ângulo céu Y	Área Não Opaca A _{no}	Transmitância T	SRANO _{área} Revista	SRANO _{volume} Revista	FLD Médio
COBERTURA							
Aberturas verticais	NE, SO	50°	60 m ²	88%	4,5%	0,8%	2,3%
Total:					4,5%	0,8%	2,3%

Área de pavimento (A): 328 m²

Volume interior (V): 1800 m³

Pé direito: 4,9 m

**Quadro 5.27 – Características das Áreas Não Opacas
(SRANO Revista) - ESL**

	Orientações	Ângulo céu Y	Área Não Opaca A _{no}	Transmitância T	SRANO _{área} Revista	SRANO _{volume} Revista	FLD Médio
COBERTURA							
Aberturas horizontais	–	180°	42 m ²	50%	2,8%	0,3%	1,6%
Aberturas verticais	N, E, S, O	67°	257 m ²	15%	1,7%	0,2%	1,6%
FACHADA							
Aberturas verticais	S	53°	25 m ²	85%	0,7%	0,1%	0,4%
Total:					5,2%	0,6%	3,6%

Área de pavimento (A): 842 m²

Volume interior (V): 7800 m³

Pé direito: 7 m

**Quadro 5.28 – Características das Áreas Não Opacas
(SRANO Revista) - GML**

	Orientações	Ângulo céu Y	Área Não Opaca A _{no}	Transmitância T	SRANO _{área} Revista	SRANO _{volume} Revista	FLD Médio
COBERTURA							
Aberturas inclinadas	E	104°	502 m ²	50%	5,2%	0,4%	5,8%
FACHADA							
Aberturas verticais	O	22°	133 m ²	50%	0,3%	0,0%	0,3%
Total:					5,5%	0,4%	6,1%

Área de pavimento (A): 2800 m²

Volume interior (V): 33800 m³

Pé direito: 13 m

Na figura 5.33 verifica-se existir uma coerência maior entre os valores das SRANO Optimizadas e os FLD médios. Aparentemente as SRANOárea são mais representativas que as SRANOvolume.

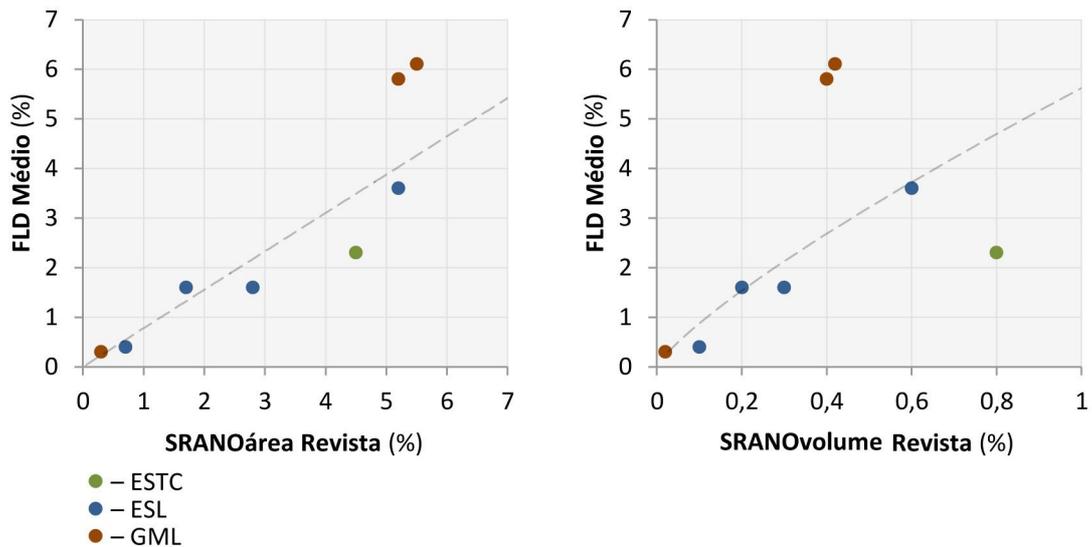


Fig. 5.33 - Relação entre o FLD Médio com as SRANOárea Revista e as SRANOvolume Revista.

Apesar da fórmula das SRANO não considerar alguns efeitos da geometria e das reflexões interiores e exteriores, considera-se acessível e interessante em estudos preliminares da iluminação natural.

5.6 – SÍNTESE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DOS TRÊS EDIFÍCIOS

No quadro 5.29 estão presentes os resultados obtidos da caracterização do desempenho dos três edifícios em estudo.

Quadro 5.29 – Resultados da caracterização do desempenho

ESTC	ESL	GML
- Aberturas verticais na cobertura	- Aberturas horizontais na cobertura - Aberturas verticais na cobertura - Aberturas verticais na fachada	- Aberturas inclinadas na cobertura - Aberturas verticais na fachada
<i>Factor de luz do dia</i>		
FLD = 2,3% Uniformidade = 0,7	FLD = 3,6 % Uniformidade = 0,6	FLD = 6,1 % Uniformidade = 0,8
<i>Superfícies relativas de área não opaca</i>		
SRANOárea = 16,1% SRANOvolum = 2,9%	SRANOárea = 10,9% SRANOvolum = 1,2%	SRANOárea = 12,9% SRANOvolum = 1,0%
<i>Superfícies relativas de área não opaca OPTIMIZADO</i>		
SRANOárea = 4,5% SRANOvolum = 0,8%	SRANOárea = 5,2% SRANOvolum = 0,6%	SRANOárea = 5,5% SRANOvolum = 0,4%
<i>Horas de Iluminâncias médias anuais</i>		
h300 = 3700 h/ano h600 = 3100 h/ano	h300 = 3900 h/ano h600 = 3600 h/ano	h300 = 4000 h/ano h600 = 3800 h/ano
<i>Horas de risco de encandeamento</i>		
R300/600 = 1600 h/ano	R300/600 = 1200 h/ano	R300/600 = 1800 h/ano
<i>Indicadores de horas de iluminação natural</i>		
H300 = 2100 h/ano H600 = 1500 h/ano	H300 = 2700 h/ano H600 = 2400 h/ano	H300 = 2200 h/ano H600 = 2000 h/ano

A iluminação natural é quantitativamente bastante satisfatória para os três casos. Todos os edifícios apresentam um bom número de horas em que excedem as condições mínimas de 300 lux no pavimento, sendo mais reduzido para o edifício ESTC o número de horas em que são excedidas as condições mais exigentes de 600 lux no pavimento.

O método considerado para identificar as horas de risco de encandeamento permitiu quantificar o número de horas por ano em que se admite a possibilidade de encandeamento. O valor do desempenho final para os três casos está expresso pelos indicadores de horas de iluminação natural. A figura 5.34 ilustra a percentagem anual do número máximo anual em que se admite possível a iluminação natural que corresponde aos indicadores de horas de iluminação natural H300/H600 e os indicadores de risco de encandeamento R300/R600 para os três edifícios.

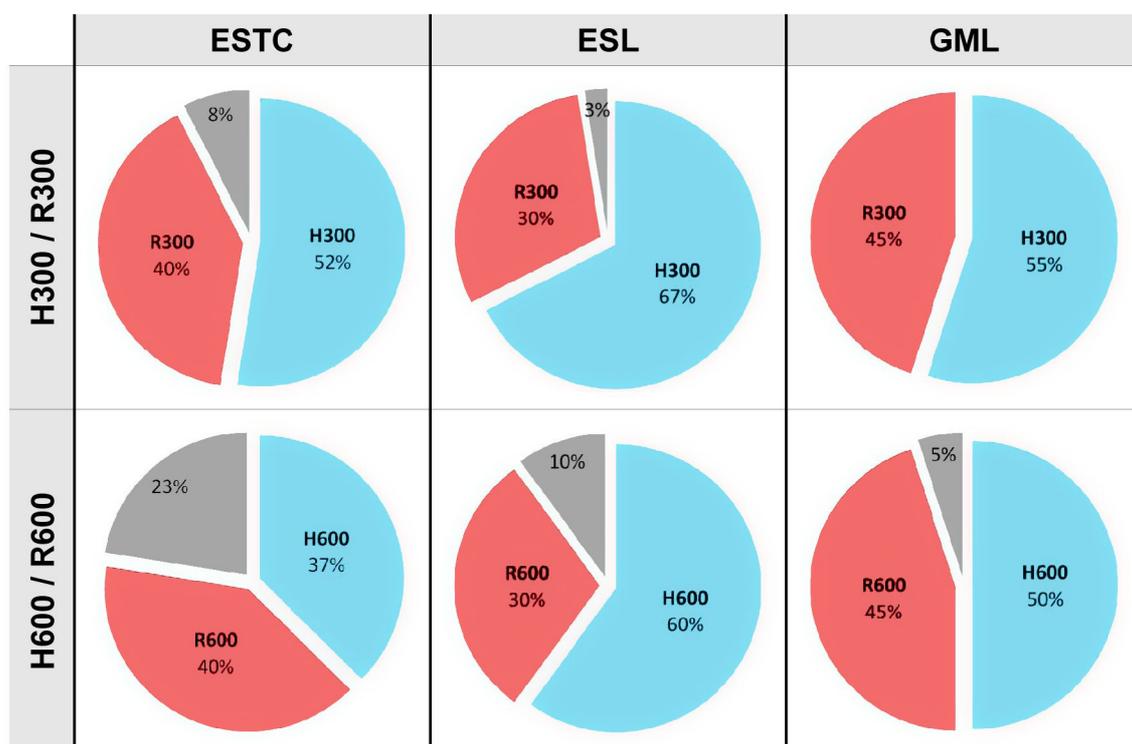


Fig. 5.34 - Percentagem anual do número máximo de horas de iluminação natural correspondente aos indicadores de horas de iluminação natural de risco e de encandeamento

O FLD mais reduzido do edifício ESTC reflecte-se no reduzido número de horas anuais em que se excede 600 lux de iluminância no pavimento. Curiosamente o projecto inicial previa o dobro da área de superfície não opaca, fazendo com isto aumentar a quantidade de luz no seu interior. Devido ao seu tipo de fenestração com aberturas verticais na cobertura permite reduzir os excessos de ganho solar no Verão por estarem obstruídas da radiação solar directa ao meio dia solar. Porém as suas orientações quase Nascente-Poente com aberturas transparentes desfavorecem o seu desempenho dando origem a extensos períodos com risco de encandeamento. O uso de aberturas verticais

na cobertura com propriedades de transmissão com difusão total ou orientações Norte-Sul facilitariam o controlo solar para minimizar os efeitos do encandeamento e melhorar o desempenho da iluminação natural.

Dos três casos de estudo é o edifício ESL que possui melhor desempenho da iluminação natural. Mesmo com aberturas horizontais na cobertura, não se verifica excesso de ganho solar devido a não possuir grandes áreas de superfícies não opacas. As aberturas verticais na cobertura são de baixa transmitância, mas têm quase o mesmo peso na contribuição da iluminação natural que as aberturas horizontais. As propriedades de transmissão com difusão total das aberturas horizontais e verticais na cobertura possibilitam a inexistência de penetração solar directa no interior. As horas de risco de encandeamento obtido devem-se unicamente às aberturas transparentes na fachada Sul. Visto que estas não contribuem significativamente na quantidade da luz natural e não facultam contacto visual relevante com o exterior poderiam ser retiradas, e deste modo eliminar os riscos de encandeamento.

O edifício GML tem um FLD elevado resultando desde modo num elevado número de horas de iluminâncias médias anuais (h300/h600). O tipo de fenestração com aberturas inclinadas na cobertura orientadas a nascente origina elevados ganhos solares, acabando por aquecer demasiado no Verão. Devido às superfícies não opacas na cobertura não possuírem propriedades de difusão totalmente eficientes são visíveis manchas solares no interior. As propriedades difusoras e a orientação a poente das aberturas na fachada provocam luminâncias excessivas na sua observação e deste modo contribuem para o risco de encandeamento no final do dia. Elementos de controlo solar reguláveis poderão ser solução para eliminar este risco de encandeamento.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 – RECOMENDAÇÕES PARA A FENESTRAÇÃO

O presente estudo permitiu compreender as várias condicionantes da luz natural para diferentes tipos de fenestração e torna possível apresentar recomendações para as seguintes matérias:

- Iluminação natural e térmica.
- Área e transmitância das superfícies não opacas.
- Condicionantes da inclinação e orientação das aberturas.

6.1.1 – Iluminação natural e térmica

O estudo da iluminação natural não deve ser considerado isolado do estudo da térmica. Sabe-se que é possível aquecer um determinado espaço sem que exista penetração de luz natural, porém, iluminar um espaço com luz natural significa inevitavelmente existirem ganhos térmicos. A fenestração de um edifício é na maioria das vezes a principal responsável pelo desempenho visual e térmico de um edifício. Por norma tende-se a querer aproveitar o máximo de quantidade de luz natural possível durante todo o ano e ao mesmo tempo controlar a incidência de luz do Sol directa no interior de modo a minimizar os riscos de encandeamento. Paralelamente, deve-se ter em conta os ganhos térmicos obtidos pela fenestração, aceitando-os nos períodos mais frios do ano (Outono, Inverno) e rejeitando-os nos períodos mais quentes do ano (Primavera, Verão). Assim a relação entre a iluminação e a térmica deve estar sempre equacionada quando se projecta uma solução de fenestração.

Do ponto de vista do consumo de energia eléctrica a iluminação natural assume um papel importante. Pouca quantidade de luz natural ou má distribuição tende a aumentar o consumo de energia eléctrica para iluminação artificial. Se a pouca quantidade de luz natural for simultânea a poucos ganhos solares haverá maior necessidade de consumo de energia para aquecimento nos períodos mais frios. Uma elevada quantidade de luz natural quando associada a ganhos solares elevados poderá significar um aumento considerável de consumo de energia eléctrica para arrefecimento nos períodos quentes do ano. Com área de fenestração elevada, é possível até existirem ganhos solares excessivos nos períodos mais frios.

6.1.2 – Área e transmitância das superfícies não opacas

A área de superfície não opaca e a transmitância são duas condicionantes tanto da quantidade de luz natural como dos ganhos solares térmicos. O desempenho da luz captada e dos ganhos térmicos serão idênticos tanto no uso de uma área pequena de superfície não opaca com transmitância elevada, como numa maior de superfície não opaca com transmitância mais baixa.

Servem de exemplo as aberturas horizontais do edifício ESL com 42 m² de área não opaca e 50% de transmitância contribuem com o mesmo FLD médio de 1.6% que as superfícies verticais na cobertura de 257 m² de área não opaca e 15% de transmitância. Para uma melhor uniformidade da luz natural no plano de trabalho é preferível a utilização de uma determinada área não opaca distribuída por várias aberturas ao longo da cobertura ou fachada que a concentração da mesma área numa única abertura.

Através dos resultados obtidos na revisão das SRANO concluiu-se que versão revista é mais fiável e mais versátil do que a anterior na medida que está apta para ser utilizada para várias inclinações de aberturas.

A figura 6.1 ilustra a relação entre a SRANOárea Revista com os FLD médios e as horas de iluminâncias médias anuais (indicadores h300, h600 e h1000). Para os FLD médios e para os indicadores de horas representam-se a cheio os valores obtidos e a tracejado uma possível variação com as SRANOarea Revista, tendo em consideração a tendência evidenciada pelos resultados determinados.

Um valor de 2% de FLD Médio no plano de trabalho nos casos em que a iluminação natural é predominantemente assegurada pela cobertura é um valor mínimo recomendado por diferentes autores como CARVALHO, 1996 e HOPKINSON e GOULDING, citado por SANTOS, 2001. De acordo com a análise apresentada em 5.5 um valor SRANOárea Revista de 3% permite dar satisfação a um limite mínimo e corresponde para os edifícios em estudo aproximadamente ao indicador h300 = 3000 h/ano, e h600 = 2000 h/ano.

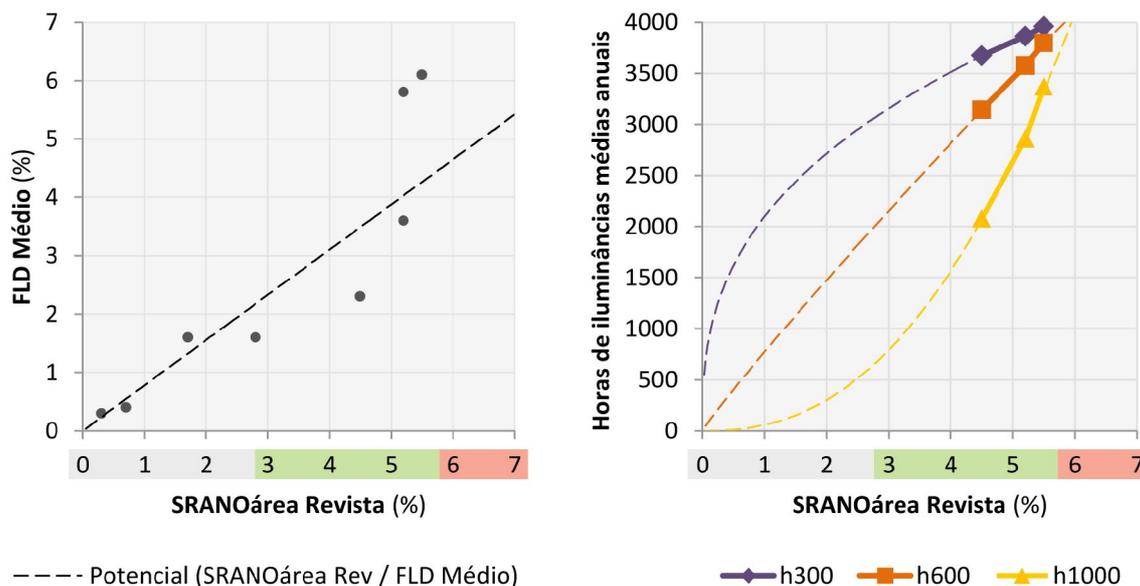


Fig. 6.1 - Relação entre a SRANO Área Revista com o FLD Médio e as horas de iluminâncias médias anuais.

Valores mais elevados podem justificar-se, caso existam necessidade maiores de iluminação no plano de trabalho, mas devem ser atendidas sempre as consequências térmicas.

Admite-se que um valor igual ou superior a 6% seja demasiadamente elevado para o clima de Portugal, visto poder facilmente conduzir a ganhos solares excessivos e sem por isso contribuir significativamente para um aumento útil da quantidade de luz natural no interior do edifício.

6.1.3 – Condicionantes da Inclinação e orientação das aberturas

6.1.3.1 – Aberturas verticais

Em comparação com as aberturas em zonas acessíveis das fachadas, as aberturas verticais na cobertura têm um contacto visual para o exterior de pouco interesse mas conseguem iluminar com mais eficácia zonas mais afastadas, e de um modo geral consegue-se mais uniformidade na distribuição do FLD no plano de trabalho. Quer para as aberturas na cobertura, quer nas fachadas a orientação é um factor relevante do seu desempenho. Num clima onde existem mais períodos de Sol descoberto do que encoberto, é bastante importante conhecer as particularidades da geometria da insolação para cada orientação.

- Orientação Norte

A orientação Norte faculta uma iluminação natural essencialmente proveniente da luz do céu. Como se pode observar na carta solar da figura 6.2 são mínimos os períodos em que penetra luz solar directa no interior. De um modo geral não há necessidade de usar elementos de controlo solar nem superfícies não opacas difusoras em aberturas verticais orientadas a Norte. De um ponto de vista térmico esta orientação quase não adquire ganhos térmicos por isso em regra geral é vantajosa no Verão não sendo vantajosa no Inverno.

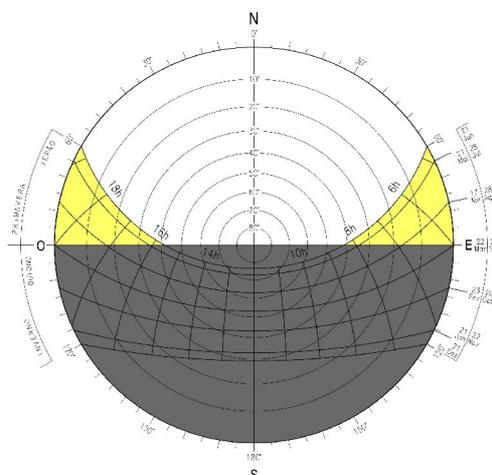


Fig. 6.2 – Obstrução de uma abertura vertical orientada a Norte.

- **Orientação Sul**

A orientação Sul é caracterizada pela exposição à radiação solar directa quase todo ano como se pode observar na carta solar da figura 6.3. No Inverno as trajectórias do Sol são mais baixas, fazendo com que incida significativamente luz do Sol directa no interior, enquanto que no Verão, com o Sol alto, a incidência é menor. Para eliminar a penetração da luz do Sol directa a fim de reduzir os riscos de encandeamento em aberturas na cobertura, podem ser usados envidraçados totalmente difusores.

Do ponto de vista do conforto térmico, quando se pretende ganhos solares no inverno e evitá-los no Verão as aberturas podem ser facilmente sombreados no Verão por palas horizontais fixas sem que isto impeça a insolação dos vãos no Inverno como exemplifica a carta solar da figura 6.4.

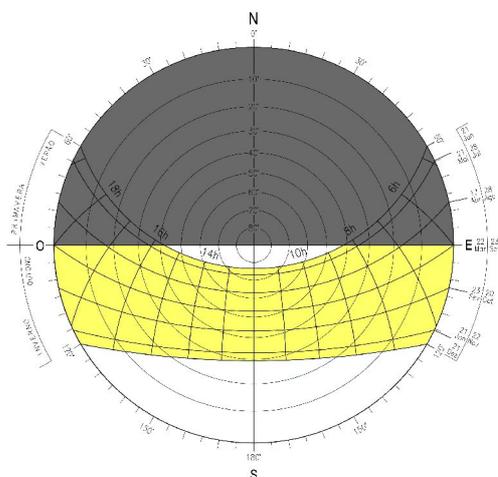


Fig. 6.3 - Obstrução de uma abertura vertical orientada a Sul.

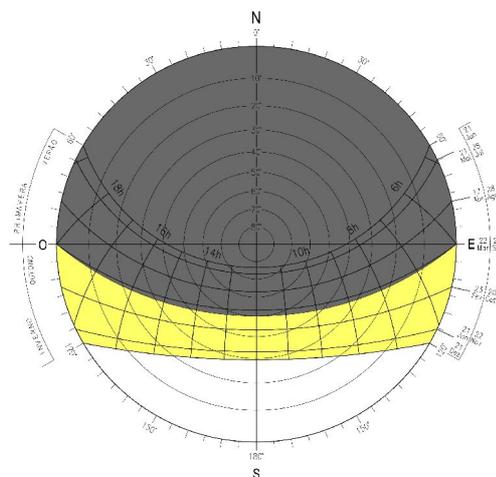


Fig. 6.4 - Obstrução de uma abertura vertical orientada a Sul com pala horizontal corrida.

- Orientação Este e Oeste

As orientações a Este e Oeste são simétricas, desta forma as aberturas verticais orientadas a Este encontram-se expostas à radiação solar directa durante a manhã e totalmente obstruídas durante a tarde (fig. 6.5). As aberturas orientadas a Oeste ficam totalmente obstruídas durante a manhã e expostas a radiação solar directa durante a tarde (fig. 6.6).

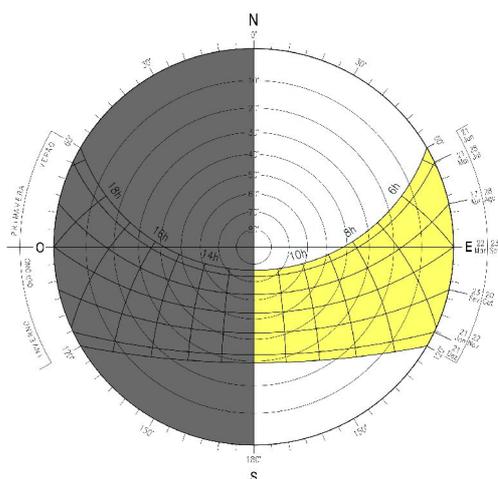


Fig. 6.5 - Obstrução de uma abertura vertical orientada a Este.

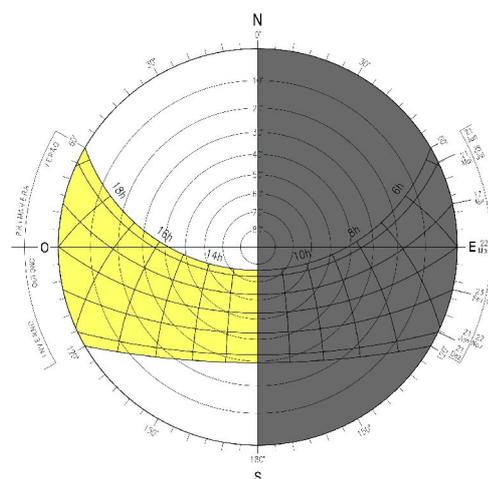


Fig. 6.6 - Obstrução de uma abertura vertical orientada a Oeste.

Estas orientações são relativamente pouco expostas à radiação solar no Inverno e bastante expostas no Verão. A luz do Sol incide de lado no Inverno e frontalmente no Verão. Quando não se pretende a penetração da luz do Sol directa é recomendado o uso de dispositivos de controlo solar móveis (portadas, estores, persianas), de preferência o que permitem controlar e difundir a luz solar directa, tais como sistemas de lâminas horizontais ou verticais ajustáveis. Para estas orientações é difícil conseguir-se uma boa solução de controlo solar com elementos fixos, visto que as palas horizontais não conseguem sombrear nas alturas em o Sol está baixo, e as palas verticais obstruem demasiado o contacto visual com o exterior. Quando se pretende eliminar a penetração da luz do Sol em aberturas verticais na cobertura, nestas orientações, o uso de envidraçados difusores é favorável sendo uma solução permanente. Do ponto de vista térmico aberturas desobstruídas a Este ou Oeste não são recomendadas visto terem mais ganhos solares no Verão e menos no Inverno.

6.1.3.2 – Aberturas horizontais

As aberturas horizontais são menos expostas à radiação solar directa no Inverno do que as aberturas a Sul, mas são mais expostas no Verão. Devido a serem horizontais, recebem luz natural vinda de toda a abóbada celeste, como ilustra a figura 6.7. Com a mesma área envidraçada uma superfície horizontal consegue iluminar consideravelmente mais do que uma superfície vertical.

Do ponto de vista térmico, por estarem bastante expostas à radiação solar directa no Verão, as aberturas horizontais devem ser projectadas com um cuidado maior. Deve-se evitar o uso de grandes áreas envidraçadas com vista a evitar ganhos térmicos excessivos no Verão. Outra solução poderá passar pelo uso de envidraçados de baixa transmitância. Quando se pretende que não haja penetração da luz do Sol no interior é recomendado o uso de superfícies não opacas com propriedades eficientes de difusão. Apesar das desvantagens do ponto de vista térmico, as aberturas horizontais, do ponto de vista da iluminação natural, bem estudadas, facultam boa quantidade e qualidade de luz natural.

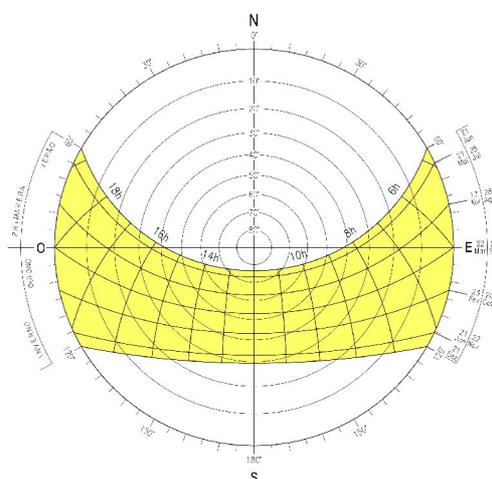


Fig. 6.7 - Obstrução de uma abertura horizontal.

6.1.3.3 – Aberturas inclinadas

Dependendo do ângulo de inclinação as aberturas inclinadas poderão aproximar-se mais das características de aberturas verticais ou de aberturas horizontais. As aberturas inclinadas captam relativamente mais luz do que as aberturas verticais, mas menos do que as aberturas horizontais.

Apesar de Norte ser uma boa orientação para uso de aberturas verticais, o uso de aberturas inclinadas desobstruídas com esta orientação pode ser bastante desfavorável. Como exemplifica a carta solar da figura 6.8, uma abertura inclinada desobstruída orientada a Norte faz com que haja incidência de luz do Sol directa quando o Sol se encontra mais alto contribuindo para ganhos térmicos desfavoráveis nos períodos mais quentes do ano.

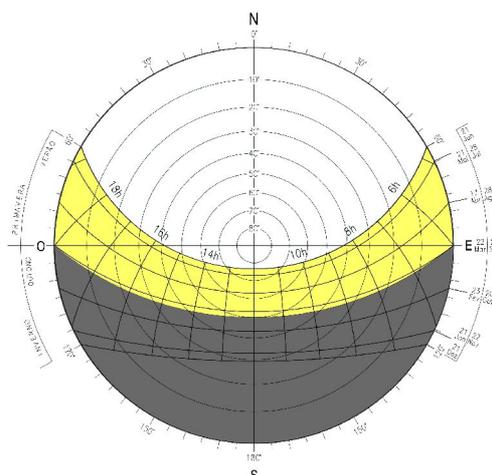


Fig. 6.8 - Obstrução de uma abertura inclinada a 50° orientada a Norte.

De um modo geral as aberturas inclinadas devem ter especial atenção e seguir as recomendações para as aberturas horizontais. Se estas forem bastante inclinadas, quase verticais, poder-se-há adoptar algumas recomendações segundo a orientação.

6.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho tratou-se o estudo iluminação natural com especial atenção ao projecto da fenestração. Foi considerada uma metodologia de análise da iluminação natural para três casos reais através da observação directa e da caracterização do desempenho usando vários instrumentos de estudo.

No capítulo 2, iluminação natural dos edifícios, aprofundou-se tipos de encandeamento, sistematização de tipos de fenestração e soluções construtivas. No capítulo 3, instrumentos de estudo da iluminação natural, dedicou-se bastante tempo no *Desktop Radiance*.

O *Desktop Radiance* é uma ferramenta útil que permite simular condições de iluminação natural a partir de um modelo virtual. Infelizmente ainda está incompleto e possui alguns erros de programação sendo necessário dispensar algum tempo para compreender o seu modo de funcionamento. O processo de criação e alterações da geometria do modelo virtual é relativamente demorado. O uso de envidraçados com propriedades difusoras é limitado sendo unicamente possível através de programação manual em determinados ficheiros do programa. Em 3.1 fez-se uma descrição resumida do funcionamento do programa que poderá vir a ser útil a novos utilizadores.

As cartas solares por vezes esquecidas são uma ferramenta bastante útil que permite identificar e corrigir problemas geométricos da fenestração. Estas possuem informação da relação do edifício com a radiação solar directa durante todo o ano num determinado lugar. Tal como se verificou neste estudo a carta solar permitiu antever os períodos em que a luz do Sol incide no interior e deste modo traduzir em número de horas eventuais períodos de risco de encandeamento.

No capítulo 4 a observação dos três edifícios permitiu ter uma boa percepção do desempenho da iluminação, designadamente, através de diferentes épocas do ano e do dia, traduzidos em registos fotográficos. Importa referir a análise feita aos diversos tipos de encandeamento que se sistematizaram em 4.2.4.

Os inquéritos aos utilizadores dos três edifícios em estudo não se concretizou como se esperava inicialmente, devido ao número reduzido de inquiridos e também à ausência de utilizadores do edifício GML no período da manhã. Os resultados dos inquéritos apresentaram alguma inconsistência, o que leva a não se dar realce às respectivas conclusões, apesar de se terem retirado informações úteis.

No capítulo 5 faz caracterização do desempenho com algumas contribuições úteis, por exemplo, na aplicação dos indicadores de horas, fazendo uso do *Desktop Radiance* para cálculo dos FLD e outros aspectos.

Finalmente nas conclusões sistematizaram-se recomendações para a fenestração e apresentam-se estas considerações finais.

No presente estudo deparou-se com falta de informação de propriedades físicas de materiais não opacos disponíveis no mercado. Existem poucas referências de valores de transmitância e menos ainda da eficiência difusora do material. Estes elementos são importantes para se poder simular as condições de iluminação natural com mais fiabilidade na fase de projecto.

6.2.1 – Propostas de trabalhos futuros de investigação

Quantificar eficazmente o encandeamento observado ou o seu risco é uma tarefa complicada visto que depende de muitos factores relativos da percepção humana. Todavia a metodologia considerada para a determinação do risco anual de encandeamento tenta traduzir, segundo os vários tipos de encandeamento pela luz do Sol, observados no local, ou não, as horas anuais em que há risco de encandeamento. É uma metodologia que merece ser aprofundada para, se viável, poder identificar o maior ou menor risco de encandeamento em cada situação. É intenção do autor do presente trabalho desenvolver esta linha de investigação no futuro.

As SRANO área Revista é um indicador de interesse que permite traduzir facilmente a relação das superfícies não opacas quanto a sua área, transmitância e inclinação com a área do pavimento. Embora de maneira alguma substitua o cálculo do FLD, as SRANO têm a grande vantagem de serem uma ferramenta de cálculo simples, facilitando a sua aplicação em diversos estudos básicos da iluminação natural. Será de grande interesse estudar mais aprofundadamente a relação das SRANO não somente com o FLD mas também com os Indicadores de Horas de Iluminação Natural visto a estes expressarem resultados que atendem aos dados climáticos do local. É intenção do autor do presente trabalho continuar a desenvolver também esta linha de investigação no futuro.

Considera-se ainda de interesse desenvolver trabalhos de estudo da iluminação natural e consequentes consumos energéticos associados à iluminação eléctrica e à climatização térmica do edifício.

Bibliografia e referências

ANDER, Gregg D. – **Daylighting Performance and Design**. 2ª ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

APPLETON, João – **Edifícios Industriais e Agrícolas**. Lisboa: LNEC, 1982.

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

BOUBEKRI, Mohamed – **Daylighting Architecture and Health. Building Design Strategies**. Oxford: Elsevier Architectural Press, 2008.

CARVALHO, Licínio C. – **A Envolvente dos Edifícios e a Iluminação Natural**. Lisboa: Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1987.

CARVALHO, Licínio C. – **Curso Sobre Insolação e Iluminação Natural dos Edifícios**. Faro: Escola Superior de Tecnologia, Ualg, 1996.

CARVALHO, Licínio C. – **Iluminação Natural e Radiação Solar no Projecto da Fenestração**. Lisboa: LNEC. 1995.

FARIA, J., GODINHO, S., ALMEIDA, M., MACHADO, M. – **O Clima de Portugal, estudo hidroclimatológico da região do Algarve**. Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1981.

FRAMPTON, Kenneth – **Historia crítica de la Arquitectura Moderna**. 11ª ed., Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.

GUALLART, V., MÜLLER, W. e CAPPELLI, L. – **Self-suficiente housing**. Barcelona: IaaC. Actar, 2006.

HOPKINSON, R. G., PETHER BRIDGE, P., e LONGMORE, J. – **Iluminação Natural**. 2ª ed., Lisboa: Fundação Galouste Gulbenkian, 1980.

IES, New York – **Recommended practice of daylighting**. New York: IES, 1979.

KÖSTER, Helmut – **Dynamic Daylighting Architecture. Basics, Systems. Projects**, Suíça: Birkhäuser, 2004.

LAMBIN, Éric – **A Terra Sobre Corda Bamba, para um reequilíbrio ecológico**. Lisboa: Instituto Piaget, 2004.

LNEC – **Vocabulário Internacional de Iluminação. 1970**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986

MUNEER, T. – **Solar Radiation and Daylight Models**. 2ª ed., Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

PANERO, J., ZELNIK, M. – **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 2002.

REID, Esmond – **Understanding Buildings. A Multidisciplinary Approach**. Inglaterra: The Mit Press, 1984.

RODRIGUES, M., SOUSA, P., BONIFÁCIO, H. - **Vocabulário Técnico e Crítico de Arquitectura**. Coimbra: Quimera Editores, 2005.

TREGENZA, Peter, LOE, David – **The Design of Lighting**. Londres: E & FN Spon, 1998.

WALISIEWICZ Marek – **Energias Alternativas**. Porto: Civilização Editores, 2003.

ZEVI, Bruno – **Saber ver a Arquitectura**. 5ª ed., São Paulo: Martins Fontes, 1996.

- Dissertações

COUTINHO, Mónica S. – **Avaliação das condições de iluminação Natural através de Simulações em Modelos Virtuais**. [Em linha]. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Arquitectura pela Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009.

Disponível em <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/331469/1/iluminacao%20natural%20em%20modelos%20virtuais%20-%20monica%20coutinho.pdf>

MATOS, Michele – **Uso de ferramenta computacional para análise de sistemas de iluminação natural: Estudo de caso no prédio de Engenharia Civil**. [Em linha]. 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: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

Disponível em http://www.technobuild.com.br/arquivos/TCC_MicheleMatos.pdf

PALHINHA, Milene S. J. – **Sistemas de sombreamento em Arquitectura: Proposta de um novo método de concepção de dimensionamento**. [Em linha]. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Arquitectura pela Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009.

Disponível em <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/331475/1/Dissertacao.pdf>

SANTOS, António J. C. – **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

TAVARES, Sílvia G. – **Simulação computacional para projecto de iluminação em Arquitectura**. [Em linha]. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitectura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos de avaliação para obtenção do título de Mestre em Arquitectura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Brasil, 2007.

Disponível em http://www.ufrgs.br/labcon/mestrado/silvia_tavares.pdf

- Websites

Radiance, website: <http://radsite.lbl.gov/radiance/> .

Desktop Radiance, website: <http://radsite.lbl.gov/deskrad/> .

LawrenceBerkeley National Laboratory, website: <http://www.lbl.gov/> .

Análise Geo, website: <http://analisegeo.wordpress.com/> .

Ecotec Community, website: <http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Daylighting/> .

Archoproducts, websote: <http://www.archiproducts.com/> .