

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL
LINHA DE PESQUISA: CONFORTO AMBIENTAL

A INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE OBSTRUÇÃO SOLAR
NO NÍVEL E NA DISTRIBUIÇÃO INTERNA DE
ILUMINAÇÃO NATURAL:
ESTUDO DE CASO EM PROTÓTIPO ESCOLAR DE FLORIANÓPOLIS

AUTOR: ADRIANO KREMER
ORIENTADOR: PROF. FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2002

A INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS DE OBSTRUÇÃO SOLAR NO NÍVEL E NA DISTRIBUIÇÃO INTERNA DE
ILUMINAÇÃO NATURAL: ESTUDO DE CASO EM PROTÓTIPO ESCOLAR DE FLORIANÓPOLIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD – (Orientador)

Prof. Jucilei Cordini, Dr. – (Coordenador do Curso)

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD – (Moderador)

Prof. Roberto Lamberts, PhD – (Examinador)

Prof. Anderson Claro, Dr. – (Examinador)

Prof^a. Silvia Regina Morel Corrêa, Dr^a. – (Examinadora externa)

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe que mesmo tendo passado por momentos muito difíceis, nunca deixou de me incentivar no prosseguimento do trabalho.

À Monica que soube entender minha ausência em diversos momentos do curso.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de estudos fornecida durante o período de junho de 2000 a dezembro de 2001.

À arquiteta Marisa Fonseca da Secretaria Municipal de Transportes e Obras e Secretaria da Educação de Florianópolis que gentilmente forneceu informações a respeito do projeto do novo protótipo escolar municipal.

Ao LabCon (Laboratório de Conforto Ambiental – Departamento de Arquitetura e Urbanismo) pelo fornecimento de equipamentos, materiais e de infra-estrutura física para realização dos trabalhos e também por ter me acolhido tão bem nestes últimos seis anos (graduação e pós-graduação).

Aos amigos do LabCon (Alexandre, Catharina, Veridiana, Solange, Amílcar e, principalmente, Roberta) e do LabEEE (Ana Lúcia, Fernando, Alexandra, Joyce e Antônio César) pelo incentivo e companheirismo durante o curso.

Ao Prof. Anderson Claro pelos ensinamentos fornecidos no uso do software utilizado e por ter aceito o convite para ser membro da comissão examinadora.

À Prof^a. Silvia Regina Morel Corrêa pela participação na banca examinadora.

Ao Prof. Roberto Lamberts pela participação na comissão examinadora, pelo auxílio durante o curso e no período anterior ao início do mesmo, tendo sido responsável, juntamente com o Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, pela minha permanência em Florianópolis e conseqüente ingresso no Mestrado.

Por último, mas de maneira especial, agradeço ao “*meu mestre*”, Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira pelos seis anos de convívio e orientação em pesquisas no LabCon. Agradeço também o seu exemplo de caráter, postura e dedicação no desenvolvimento das atividades científicas e acadêmicas. Sua orientação, dedicação, apoio e confiança, orgulhou-nos muito e foram fundamentais para o pleno êxito do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE QUADROS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
1.3 JUSTIFICATIVA	5
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 OBJETIVO GERAL	9
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5 HIPÓTESES DE TRABALHO	10
1.6 LIMITAÇÕES INICIAIS	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Fontes de luz natural	11
2.1.1 Luz do Sol	11
2.1.2 Luz da abóbada celeste	11
2.2 Disponibilidade e variabilidade da iluminação natural	11
2.2.1 Condições de céu	12
2.2.1.1 Céu claro	12
2.2.1.2 Céu encoberto	12
2.3 O projeto de iluminação e o conforto visual	12
2.4 Os fechamentos transparentes e ganho solar térmico	13
2.4.1 Multifuncionalidade das aberturas	14
2.4.2 Sistemas de iluminação natural	14
2.4.2.1 Aberturas Laterais	16
2.4.2.2 Aberturas Zenitais	18
2.4.3 Elementos de controle	20
2.5 Legislação Construtiva - Código de Obras e Edificações	25
2.6 Uso final da iluminação elétrica	26
2.7 Quantidade de iluminação no plano de trabalho	27
2.8 Iluminação natural em escolas	27
2.9 Parâmetros de avaliação de desempenho da iluminação natural	31
2.9.1 Proporção de luminâncias – contraste	31
2.9.2 Níveis de iluminação (Iluminância média)	32
2.9.3 Distribuição dos níveis de iluminação	33

2.10	Índice de refletância das superfícies internas	35
2.11	Ferramentas de avaliação da iluminação	36
2.11.1	Métodos simplificados	36
2.11.2	Modelos físicos em escala	36
2.11.3	Métodos computacionais	37
2.12	Análise de trabalhos recentes	39
3	METODOLOGIA	44
3.1	Medições <i>in loco</i>	44
3.1.1	Delimitação do objeto de estudo	45
3.1.2	Estudo de caso: Escola Donícia Maria da Costa (padrão arquitetônico escolar municipal)	45
3.1.3	Identificação das variáveis a serem medidas	49
3.1.4	Escolha e preparo do ferramental necessário	49
3.1.5	Definição das medições	50
3.1.6	Promoção das medições	53
3.1.7	Análise e discussão dos resultados	54
3.2	Simulações computacionais	55
3.2.1	Escolha do software a ser adotado	55
3.2.2	Delimitação do modelo de estudo	56
3.2.3	Construção e elaboração do modelo	57
3.2.4	Características físicas padrões para simulação do modelo	59
3.2.5	Definição das configurações das simulações	60
3.2.6	Coleta dos valores de iluminância	65
3.2.7	Construção dos gráficos (curvas isolux)	66
3.2.8	Análise dos resultados	66
3.2.8.1	Método gráfico	66
3.2.8.2	Método analítico	68
3.2.9	Índice de refletância	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	Análise do protótipo escolar	74
4.2	Medições em campo	76
4.2.1	Medições de iluminância	76
4.2.2	Medições do índice de refletância das superfícies	80
4.2.2.1	Refletância piso	81
4.2.2.2	Refletância teto	81
4.2.2.3	Refletância parede amarela	82
4.2.2.4	Refletância parede verde	83
4.2.2.5	Refletância carteira	83
4.2.2.6	Refletância quadro negro	84
4.2.2.7	Comparativo dos valores recomendados com os valores medidos	84
4.2.3	Medições de Luminância	85

4.3	Simulações computacionais	90
4.3.1	Resultados do método gráfico	90
4.3.1.1	Orientação Norte	92
4.3.1.2	Orientação Leste	120
4.3.2	Resultados do método analítico	149
4.3.2.1	Orientação Norte	151
4.3.2.2	Orientação Leste	160
4.3.3	Índice de refletância	169
5	CONCLUSÕES	174
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	174
5.2	PROTÓTIPO ESCOLAR	175
5.3	MEDIÇÕES DE CAMPO	175
5.4	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	176
5.4.1	Sistema unilateral (pavimento inferior) versus sistema bilateral (pavimento superior)	178
5.4.2	Situação atual versus situações com proteções solares	179
5.4.3	Orientação Norte versus Orientação Leste	182
5.4.4	Índice de refletância das superfícies	182
5.5	LIMITAÇÕES	183
5.6	RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS	184
5.7	ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES	188
5.8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	189
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	190

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1	Igreja Sagrada Família, Barcelona, Espanha – Arq. Gaudí	1
Figura 1-2	Edifício Seagram, Nova Iorque, EUA – Arq. Mies van der Rohe	2
Figura 1-3	Vista interna da escola Leith Academy em Edimburgo, Reino Unido	6
Figura 1-4	Convento Saint-Marie de La Tourette, Evieux, França – Arq. Le Corbusier	7
Figura 1-5a	Vista externa da cúpula do Parlamento Alemão, Berlim, Alemanha – Arq. Norman Foster	7
Figura 1-5b	Vista interna da cúpula do Parlamento Alemão, Berlim, Alemanha – Arq. Norman Foster	7
Figura 2-1	Exemplo de átrio, Bruxelas, Bélgica	15
Figura 2-2	Hotel Unique, São Paulo, Brasil – Arq. Ruy Othake	16
Figura 2-3	Centro Universitário Positivo (UNICENP), Curitiba, Brasil.....	17
Figura 2-4	Pantheon em Roma - Itália	18
Figura 2-5	Arquitetura vernacular primitiva em Apulia	19
Figura 2-6	Fallingwater, Bear Run, EUA – Arq. Frank Lloyd Wright	20
Figura 2-7	Instituto Mundo Árabe, Paris, França – Arq. Jean Nouvel	21
Figura 2-8	Pavilhão do Reino Unido na Expo 92, Sevilha, Espanha – Arq. O. Arup	21
Figura 2-9	Escola Lycée Albet Camus, Fréjus, Côte d’Azur, França – Arq. Norman Foster	22
Figura 2-10	Colégio Tecnológico, John Cabot, Reino Unido	23
Figura 2-11	Faculdade Teológica Sulamericana, Londrina, Brasil	23
Figura 2-12	Universidade Paulista (UNIP), Manaus, Brasil	24
Figura 2-13	Escola Atam Centre, Mairena del Aljarafe, Sevilha, Espanha – Arq. Alberich Sotomayor	24
Figura 2-14	Escola Lycée Albet Camus, Fréjus, Côte d’Azur, França – Arq. Norman Foster	28
Figura 2-15	Faculdade de História da Universidade de Cambridge, Reino Unido – Arq. James Stirling	28
Figura 2-16a	Foto interna da Galeria Menil Collection, Houston, EUA – Arquiteto Renzo Piano	30
Figura 2-16b	Esquema em corte do sistema de iluminação da Galeria Menil Collection	30
Figura 2-17	Corte do projeto da escola bioclimática para Lages, SC	30
Figura 2-18a	Foto da maquete para escola bioclimática em Lages, SC	31
Figura 2-18b	Foto da maquete para escola bioclimática em Lages, SC	31
Figura 2-19	Recomendação de proporção de luminâncias para salas de aula	32
Figura 2-20	Recomendação do índice de refletância para salas de aula	36
Figura 2-21	Estudo de iluminação através de simulação computacional com o software <i>Lightscape v. 3.2</i> ...	38
Figura 3-1	Vista frontal externa da Escola Básica Donícia Maria da Costa	45
Figura 3-2	Planta-baixa do pavimento térreo da Escola Donícia Maria da Costa	46
Figura 3-3	Planta-baixa do pavimento superior da Escola Donícia Maria da Costa	47
Figura 3-4	Corte AA (transversal) da Escola Básica Donícia Maria da Costa	47
Figura 3-5	Detalhe do corte AA (transversal) da Escola Básica Donícia Maria da Costa	48
Figura 3-6	Sala 1 - pavimento superior à Leste	50
Figura 3-7	Sala 2 - pavimento térreo à Leste	51
Figura 3-8	Sala 3 - pavimento superior à Oeste	51
Figura 3-9	Pontos de medição de iluminância nas salas de aula	52
Figura 3-10	Pontos de medição de luminância nas salas de aula	52
Figura 3-11	Visualização em 3D do módulo a ser analisado	57

Figura 3-12a	Planta-baixa situação atual	62
Figura 3-12b	Corte situação atual	62
Figura 3-13a	Planta-baixa situação light-shelf	63
Figura 3-13b	Corte situação light-shelf	63
Figura 3-14a	Planta-baixa situação horizontal	63
Figura 3-14b	Corte situação horizontal	63
Figura 3-15a	Planta-baixa situação vertical	64
Figura 3-15b	Corte situação vertical	64
Figura 3-16a	Planta-baixa situação inclinado	64
Figura 3-16b	Corte situação inclinado	64
Figura 3-17	Planta-baixa com identificação dos pontos medidos	65
Figura 4-1	Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 1.....	77
Figura 4-2	Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 2	78
Figura 4-3	Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 3	79
Figura 4-4	Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 1	87
Figura 4-5	Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 2	88
Figura 4-6	Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 3	89
Figura 4-7	Norte-14-claro-inverno-atual-superior	93
Figura 4-8	Norte-14-claro-inverno-light-shelf-superior	93
Figura 4-9	Norte-14-claro-inverno-horizontal-superior	93
Figura 4-10	Norte-14-claro-inverno-atual-inferior	94
Figura 4-11	Norte-14-claro-inverno-light-shelf-inferior	94
Figura 4-12	Norte-14-claro-inverno-horizontal-inferior	94
Figura 4-13	Norte-14-claro-verão-atual-superior	96
Figura 4-14	Norte-14-claro-verão-light-shelf-superior	96
Figura 4-15	Norte-14-claro-verão-horizontal-superior	96
Figura 4-16	Norte-14-claro-verão-atual-inferior	97
Figura 4-17	Norte-14-claro-verão-light-shelf-inferior	97
Figura 4-18	Norte-14-claro-verão-horizontal-inferior	97
Figura 4-19	Norte-10-claro-inverno-atual-superior	99
Figura 4-20	Norte-10-claro-inverno-light-shelf-superior	99
Figura 4-21	Norte-10-claro-inverno-horizontal-superior	99
Figura 4-22	Norte-10-claro-inverno-atual-inferior	100
Figura 4-23	Norte-10-claro-inverno-light-shelf-inferior	100
Figura 4-24	Norte-10-claro-inverno-horizontal-inferior	100
Figura 4-25	Norte-10-claro-verão-atual-superior	102
Figura 4-26	Norte-10-claro-verão-light-shelf-superior	102
Figura 4-27	Norte-10-claro-verão-horizontal-superior	102
Figura 4-28	Norte-10-claro-verão-atual-inferior	103
Figura 4-29	Norte-10-claro-verão-light-shelf-inferior	103
Figura 4-30	Norte-10-claro-verão-horizontal-inferior	103
Figura 4-31	Norte-14-encoberto-inverno-atual-superior	105

Figura 4-32	Norte-14-encoberto-inverno-light-shelf-superior	105
Figura 4-33	Norte-14-encoberto-inverno-horizontal-superior	105
Figura 4-34	Norte-14-encoberto-inverno-atual-inferior	106
Figura 4-35	Norte-14-encoberto-inverno-light-shelf-inferior	106
Figura 4-36	Norte-14-encoberto-inverno-horizontal-inferior	106
Figura 4-37	Norte-14-encoberto-verão-atual-superior	108
Figura 4-38	Norte-14-encoberto-verão-light-shelf-superior	108
Figura 4-39	Norte-14-encoberto-verão-horizontal-superior	108
Figura 4-40	Norte-14-encoberto-verão-atual-inferior	109
Figura 4-41	Norte-14-encoberto-verão-light-shelf-inferior	109
Figura 4-42	Norte-14-encoberto-verão-horizontal-inferior	109
Figura 4-43	Norte-10-encoberto-inverno-atual-superior	110
Figura 4-44	Norte-10-encoberto-inverno-light-shelf-superior	110
Figura 4-45	Norte-10-encoberto-inverno-horizontal-superior	110
Figura 4-46	Norte-10-encoberto-inverno-atual-inferior	112
Figura 4-47	Norte-10-encoberto-inverno-light-shelf-inferior	112
Figura 4-48	Norte-10-encoberto-inverno-horizontal-inferior	112
Figura 4-49	Norte-10-encoberto-verão-atual-superior	113
Figura 4-50	Norte-10-encoberto-verão-light-shelf-superior	113
Figura 4-51	Norte-10-encoberto-verão-horizontal-superior	113
Figura 4-52	Norte-10-encoberto-verão-atual-inferior	114
Figura 4-53	Norte-10-encoberto-verão-light-shelf-inferior	114
Figura 4-54	Norte-10-encoberto-verão-horizontal-inferior	114
Figura 4-55	Leste-14-claro-inverno-atual-superior	121
Figura 4-56	Leste-14-claro-inverno-vertical-superior	121
Figura 4-57	Leste-14-claro-inverno-inclinado-superior	121
Figura 4-58	Leste-14-claro-inverno-atual-inferior	123
Figura 4-59	Leste-14-claro-inverno-vertical-inferior	123
Figura 4-60	Leste-14-claro-inverno-inclinado-inferior	123
Figura 4-61	Leste-14-claro-verão-atual-superior	124
Figura 4-62	Leste-14-claro-verão-vertical-superior	124
Figura 4-63	Leste-14-claro-verão-inclinado-superior	124
Figura 4-64	Leste-14-claro-verão-atual-inferior	126
Figura 4-65	Leste-14-claro-verão-vertical-inferior	126
Figura 4-66	Leste-14-claro-verão-inclinado-inferior	126
Figura 4-67	Leste-10-claro-inverno-atual-superior	127
Figura 4-68	Leste-10-claro-inverno-vertical-superior	127
Figura 4-69	Leste-10-claro-inverno-inclinado-superior	127
Figura 4-70	Leste-10-claro-inverno-atual-inferior	129
Figura 4-71	Leste-10-claro-inverno-vertical-inferior	129
Figura 4-72	Leste-10-claro-inverno-inclinado-inferior	129
Figura 4-73	Leste-10-claro-verão-atual-superior	130

Figura 4-74	Leste-10-claro-verão-vertical-superior	130
Figura 4-75	Leste-10-claro-verão-inclinado-superior	130
Figura 4-76	Leste-10-claro-verão-atual-inferior	132
Figura 4-77	Leste-10-claro-verão-vertical-inferior	132
Figura 4-78	Leste-10-claro-verão-inclinado-inferior	132
Figura 4-79	Leste-14-encoberto-inverno-atual-superior	133
Figura 4-80	Leste-14-encoberto-inverno-vertical-superior	133
Figura 4-81	Leste-14-encoberto-inverno-inclinado-superior	133
Figura 4-82	Leste-14-encoberto-inverno-atual-inferior	135
Figura 4-83	Leste-14-encoberto-inverno-vertical-inferior	135
Figura 4-84	Leste-14-encoberto-inverno-inclinado-inferior	135
Figura 4-85	Leste-14-encoberto-verão-atual-superior	136
Figura 4-86	Leste-14-encoberto-verão-vertical-superior	136
Figura 4-87	Leste-14-encoberto-verão-inclinado-superior	136
Figura 4-88	Leste-14-encoberto-verão-atual-inferior	138
Figura 4-89	Leste-14-encoberto-verão-vertical-inferior	138
Figura 4-90	Leste-14-encoberto-verão-inclinado-inferior	138
Figura 4-91	Leste-10-encoberto-inverno-atual-superior	139
Figura 4-92	Leste-10-encoberto-inverno-vertical-superior	139
Figura 4-93	Leste-10-encoberto-inverno-inclinado-superior	139
Figura 4-94	Leste-10-encoberto-inverno-atual-inferior	140
Figura 4-95	Leste-10-encoberto-inverno-vertical-inferior	140
Figura 4-96	Leste-10-encoberto-inverno-inclinado-inferior	140
Figura 4-97	Leste-10-encoberto-verão-atual-superior	142
Figura 4-98	Leste-10-encoberto-verão-vertical-superior	142
Figura 4-99	Leste-10-encoberto-verão-inclinado-superior	142
Figura 4-100	Leste-10-encoberto-verão-atual-inferior	143
Figura 4-101	Leste-10-encoberto-verão-vertical-inferior	143
Figura 4-102	Leste-10-encoberto-verão-inclinado-inferior	143
Figura 4-103	Índice de refletância alto – situação atual	170
Figura 4-104	Índice de refletância médio – situação atual	170
Figura 4-105	Índice de refletância nulo – situação atual	170
Figura 4-106	Índice de refletância alto - situação brise horizontal	172
Figura 4-107	Índice de refletância médio - situação brise horizontal	172
Figura 4-108	Índice de refletância nulo - situação brise horizontal	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1	Critério para dimensionamento da abertura	25
Tabela 2-2	Critério para determinação da profundidade em função do pé-direito	25
Tabela 2-3	Uso final de eletricidade para edifícios nos Estados Unidos	26
Tabela 2-4	Uso final de eletricidade para edifícios comerciais e públicos de São Paulo	26
Tabela 2-5	Proporções de luminâncias mínimas recomendadas	32
Tabela 2-6	Classificação de iluminâncias por região de mapeamento	40
Tabela 2-7	Critério de avaliação da iluminância média interna	42
Tabela 2-8	Critério de avaliação da distribuição de luz natural (diversidade)	42
Tabela 3-1	Características físicas das superfícies do modelo simulacional	59
Tabela 3-2	Classificação das zonas por intervalo de iluminância	68
Tabela 3-3	Critério de avaliação da iluminância média interna	68
Tabela 3-4	Critério de avaliação da distribuição das zonas	70
Tabela 3-5	Critério de avaliação do coeficiente de variação	71
Tabela 3-6	Critério de avaliação da uniformidade	72
Tabela 3-7	Critério de avaliação da diversidade	72
Tabela 3-8	Classificação das categorias do índice de refletância	73
Tabela 3-9	Parâmetros de entrada das simulações da refletância das superfícies	73
Tabela 4-1	Comparativo dos valores do índice de reflexão recomendados e medidos	84
Tabela 4-2	Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 1.....	85
Tabela 4-3	Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 2	85
Tabela 4-4	Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 3	85
Tabela 4-5	Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 1.....	86
Tabela 4-6	Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 2	88
Tabela 4-7	Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 3	89
Tabela 4-8	Critério de avaliação da iluminância média interna	150
Tabela 4-9	Critério de avaliação da distribuição das zonas	150
Tabela 4-10	Critério de avaliação do coeficiente de variação	150
Tabela 4-11	Critério de avaliação da uniformidade	150
Tabela 4-12	Critério de avaliação da diversidade	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 4-1	Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 1	77
Quadro 4-2	Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 2	79
Quadro 4-3	Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 3	80
Quadro 4-4	Determinação do índice de refletância do piso (distância 15cm)	81
Quadro 4-5	Determinação do índice de refletância do piso (distância 50cm)	81
Quadro 4-6	Determinação do índice de refletância do teto (distância 15cm)	82
Quadro 4-7	Determinação do índice de refletância do teto (distância 50cm)	82
Quadro 4-8	Determinação do índice de refletância da parede amarela (distância 15cm)	82
Quadro 4-9	Determinação do índice de refletância da parede amarela (distância 50cm)	82
Quadro 4-10	Determinação do índice de refletância da parede verde (distância 15cm)	83
Quadro 4-11	Determinação do índice de refletância da parede verde (distância 50cm)	83
Quadro 4-12	Determinação do índice de refletância da carteira (distância 15cm)	83
Quadro 4-13	Determinação do índice de refletância da carteira (distância 50cm)	83
Quadro 4-14	Determinação do índice de refletância do quadro negro (distância 15cm)	84
Quadro 4-15	Determinação do índice de refletância do quadro negro (distância 50cm)	84
Quadro 4-16	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-claro-inverno	115
Quadro 4-17	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-claro-verão	116
Quadro 4-18	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-claro-inverno	117
Quadro 4-19	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-claro-verão	118
Quadro 4-20	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-encoberto-inverno..	119
Quadro 4-21	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-encoberto-verão	119
Quadro 4-22	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-encoberto-inverno..	120
Quadro 4-23	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-encoberto-verão	120
Quadro 4-24	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-claro-inverno	144
Quadro 4-25	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-claro-verão	145
Quadro 4-26	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-claro-inverno	146
Quadro 4-27	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-claro-verão	147
Quadro 4-28	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-encoberto-inverno..	147
Quadro 4-29	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-encoberto-verão	148
Quadro 4-30	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-encoberto-inverno..	148
Quadro 4-31	Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-encoberto-verão	149
Quadro 4-32	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-claro	152
Quadro 4-33	Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-superior-claro	152
Quadro 4-34	Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-superior-claro	152
Quadro 4-35	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-superior-claro	152
Quadro 4-36	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-claro	154
Quadro 4-37	Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-inferior-claro	154
Quadro 4-38	Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-inferior-claro	154
Quadro 4-39	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-inferior-claro	155

Quadro 4-40	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-encoberto	156
Quadro 4-41	Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-superior-encoberto	157
Quadro 4-42	Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-superior-encoberto	157
Quadro 4-43	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-superior-encoberto	157
Quadro 4-44	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-encoberto	158
Quadro 4-45	Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-inferior-encoberto	159
Quadro 4-46	Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-inferior-encoberto	159
Quadro 4-47	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-inferior-encoberto	159
Quadro 4-48	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-claro	160
Quadro 4-49	Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-superior-claro	161
Quadro 4-50	Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-superior-claro	161
Quadro 4-51	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-superior-claro	161
Quadro 4-52	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-claro	163
Quadro 4-53	Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-inferior-claro	163
Quadro 4-54	Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-inferior-claro	163
Quadro 4-55	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-inferior-claro	163
Quadro 4-56	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-encoberto	165
Quadro 4-57	Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-superior-encoberto	165
Quadro 4-58	Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-superior-encoberto	165
Quadro 4-59	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-superior-encoberto	166
Quadro 4-60	Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-encoberto	167
Quadro 4-61	Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-inferior-encoberto	167
Quadro 4-62	Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-inferior-encoberto	167
Quadro 4-63	Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-inferior-encoberto	167
Quadro 4-64	Valores de iluminância média e coeficiente de variação para a situação atual	171
Quadro 4-65	Valores de iluminância média e coeficiente de variação para a situação elemento horizontal ...	173

RESUMO

O correto aproveitamento da iluminação natural é inseparável do bom projeto de arquitetura, entretanto a maior parte dos projetistas ignoram ou desconhecem os conceitos de iluminação, ficando a sua aplicação comprometida. Já é conhecido de outrora que a maior restrição ao uso da iluminação natural é o ganho de calor das aberturas provocado pela irradiação solar direta nas aberturas. Para amenizar estes ganhos de calor são utilizados elementos de proteção com a função de promover o sombreamento das aberturas. Entretanto, estas proteções apresentam uma dualidade: calor *versus* luz. Ao mesmo tempo que barram o Sol e amenizam os ganhos solares, as proteções podem influenciar negativamente na distribuição e no nível de iluminação internos.

O presente trabalho visa contribuir para a melhoria deste quadro, investigando o aproveitamento e o comportamento da iluminação natural em edificações escolares públicas municipais de Florianópolis. Inicialmente são desenvolvidas medições *in loco* a fim de caracterizar a real situação das escolas frente ao fenômeno em estudo. Em seguida, são realizadas simulações computacionais através do software *Lightscape v. 3.2*, a fim de avaliar as condições atuais, realizando um estudo paramétrico com o objetivo de detectar possíveis relações entre o nível de iluminação interno, a orientação da abertura e o sistema de iluminação. Para melhorar a qualidade da distribuição interna e reduzir o ganho solar térmico, também propõe-se trabalhar com elementos de obstrução solar usuais na região de Florianópolis e analisar a sua influência no comportamento interno da iluminação.

Os resultados encontrados demonstram o baixo aproveitamento da iluminação natural no protótipo escolar investigado, evidenciando a falta de preocupação ambiental relacionada, sobretudo, com a orientação das aberturas e inexistência de elementos de controle. As medições de campo (iluminância e luminância) atestam este descaso e comprovam a vulnerabilidade e displicência das salas frente a incidência e penetração dos raios solares. As simulações computacionais mostram o melhor comportamento lumínico tanto quantitativamente (níveis de iluminação) como qualitativamente (distribuição) das salas com sistema de iluminação bilateral em relação as salas com sistema unilateral. As simulações demonstram que a inserção dos elementos de obstrução provocam uma melhora no comportamento interno com relação ao controle da insolação e à distribuição interna da iluminação, mas prejudicam o desempenho frente ao nível de iluminação interno, demonstrando que a simples inserção dos elementos de proteção, sem a preocupação devida com a sua geometria, não garante melhora geral no desempenho interno da iluminação. Com relação a orientação das aberturas, os resultados comprovam uma melhor performance das salas com orientação Norte-Sul em relação às salas orientadas no sentido Leste-Oeste. Pelos resultados das simulações computacionais, também atesta-se a grande influência do índice de refletância das superfícies no nível e na distribuição interna da iluminação.

O trabalho gera uma metodologia de avaliação da iluminação natural através da classificação dos parâmetros de análise. Também concebe-se recomendações para que os projetistas da região busquem o balanço da equação térmica *versus* lumínica e possam tirar proveito dos princípios bioclimáticos para alcance da qualidade ambiental e visual do espaço construído, otimizando os gastos com energia artificial.

ABSTRACT

One cannot separate the correct use of daylight from a good architectonic conception, and still most building designers ignore or do not know the basic concepts of daylighting, and its best application is not achieved in many cases. It's already known that one of the major restrictions to the daylight use is the heat gain from apertures due to incident solar radiation. In order to attenuate these heat gains, protection elements are used to shade apertures. These elements, though, present a duality: as they block the sun incidence and attenuate the heat gains, they can negatively change the distribution and levels of daylight in a room.

The present work intends to contribute to this issue, investigating the use and behavior of natural light in municipal public school buildings of Florianópolis. Initially *in situ* measurements are carried out in order to characterize the school buildings in relation to the studied phenomena. The next step consists in making computer simulations of the school buildings in order to evaluate their daylighting conditions. The software used to carry out the simulations is Lightscape 3.2. In the following step, a parametric study is done to detect possible existing relations between the internal daylighting levels, the apertures orientation and the daylighting systems. To enhance the quality of the internal daylighting distribution and reduce solar heat gains, shading elements are proposed and their influence in the internal daylighting is analyzed.

The results found show low levels of natural lighting in the school prototype, that show the lack of environmental concern related to this item, mostly when the aperture orientation and the existence of shading elements is analyzed. Field measurements (of illuminance and luminance) show this lack of concern and attest the vulnerability of the rooms in relation of the direct sunlight penetration. The computer simulations show a better luminous behavior qualitatively (distribution of light) and quantitatively (minimum levels achieved) of bilateral daylighting systems rooms in relation to one sided daylighting systems. The simulations show that the insertion of shading elements presents a better solar control and internal daylight distribution, but the daylight levels are lowered. In relation to the aperture orientation, the results show that a better performance is obtained to North and South orientations. The simulations also show that there's a great influence of the reflectance indices in the daylight levels and internal distribution obtained.

This work generates a methodology for the evaluation of daylight in internal rooms through the classification of analysis parameters. Recommendations are conceived to the local designers who seek a better balance between daylight admittance and heat gains and to those who intend to take advantage of the bioclimatic principles to reach environmental and visual quality in buildings, optimizing the consumption of electric energy to lighting.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A questão bioclimática empregada na arquitetura tem-se apresentado em grandes ciclos na história da humanidade. Antigamente, os cidadãos tinham total necessidade de viverem mimetizados com os recursos bioclimáticos, afinal era o único recurso de que dispunham para o atendimento de suas necessidades relacionadas ao conforto ambiental. Nesta época, o arquiteto concebia e construía simultaneamente suas obras. Gaudí, embora não seja desta época, é um exemplo deste tipo de arquiteto (Figura 1-1). Posteriormente no Renascimento (início do século XV), com a invenção da perspectiva por Brunelleschi e aperfeiçoamento da mesma por Alberti, surge o desenho arquitetônico que possibilita a matematização do espaço (DUTRA, 1994). Sendo assim, o arquiteto não precisa mais estar na obra, pois o desenho supre esta necessidade. Este fenômeno influenciado sobretudo pelo advento da tecnologia fez com que a concepção arquitetônica se distanciasse em muito do ambiente onde seria implantada a edificação.



Figura 1-1: Igreja Sagrada Família, Barcelona, Espanha – Arq. Gaudí (Fonte: Arquivo do autor)

No século XX, esta desvinculação do arquiteto com a obra chega ao seu extremo. Surge o Estilo Internacional com Mies Van de Rohe. Nesta nova fase da arquitetura, os princípios bioclimáticos são momentaneamente esquecidos, abrindo um novo ciclo na história. A partir de agora, a arquitetura passa a ser puramente formalista, com a disseminação desenfreada do poder da tecnologia através de cópias de edifícios

monstruosamente altos e rodeados de vidros por todos os lados, os chamados edifícios estufas (Figura 1-2). E o homem ainda se vangloria com isso, pois já evoluiu tecnologicamente o bastante para promover o resfriamento mecânico de todo o edifício. Apesar de apresentar grande importância para a história da arquitetura, o Estilo Internacional não apresentou grandes preocupações para a área ambiental. Afinal, ele descompromete-se com as especificidades culturais e bioclimáticas do sítio a ser edificado e, conseqüentemente, ignora as necessidades de conforto dos seres humanos. A forma reina absoluta e a manutenção de sua pureza prepondera sobre todas as outras necessidades ambientais.



Figura 1-2: Edifício Seagram, Nova Iorque, EUA – Arq. Mies van der Rohe (Fonte: GÖSSEL, 1996)

Este ciclo dura até a década de 70, quando a população mundial vivencia a crise energética provocada pela crise do petróleo, do esgotamento dos recursos naturais e da utilização desenfreada de sistemas artificiais utilizados para iluminar e climatizar os ambientes internos. O homem descobre que tecnologia não é somente construir caixas de vidro com 200 metros de altura e colocar ar condicionado e lâmpadas para tornar o ambiente habitável. Com isto, tem-se nova ruptura de ciclo. Os conceitos de conforto ambiental e eficiência energética ganham força, não por vontade própria, mas por necessidade e escassez de recursos energéticos. Inicia-se assim novo ciclo com preocupações bioclimáticas que perdura até os dias atuais.

Após esta crise, difundem-se ensinamentos voltados para a área bioclimática. Surgem novas tecnologias preocupadas com o conforto ambiental como softwares desenvolvidos para permitir avaliar as variáveis ambientais na concepção de projetos. Novas formulações são desenvolvidas e divulgadas por pesquisadores de todo o mundo. O

conforto ambiental se solidifica novamente e com ele as questões térmicas, lumínicas e acústicas voltam a ser preocupação dos arquitetos.

Diante deste contexto, este trabalho surge com o intuito de colaborar com o estudo das questões bioclimáticas, bem como colaborar com a disseminação de informações importantes desta área de pesquisa, aprofundando-se em um dos muitos tópicos que ainda necessitam ser estudados. Nesta pesquisa, o foco de nossa atenção é a questão lumínica, mais especificamente, o estudo da iluminação natural.

1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A sensação de conforto é premissa fundamental para que o ser humano tenha prazer e bem estar. Entretanto, este conforto está associado a inúmeros fatores relacionados diretamente com as características físicas e psicológicas que envolvem o ser humano. O conforto ambiental (térmico, visual e acústico) é um fator importante que influencia nesta sensação de prazer e bem estar. Embora o conforto ambiental esteja relacionado com características físicas do ambiente como a temperatura, iluminação e ruído, ele desperta sensações psicológicas que influenciam diretamente no comportamento do indivíduo. A iluminação natural vinculada ao conforto visual aparece como uma destas variáveis físicas/ psicológicas constituintes do universo do indivíduo que exercem influência na sua sensação de conforto.

O conforto visual está associado não só a parâmetros físicos relacionados diretamente com níveis de iluminação, brilho e contraste adequados para desenvolvimento da tarefa visual, mas também a aspectos subjetivos associados com o ambiente arquitetônico. Estudos de BAKER (1993) mostram que ambientes de trabalho com grande riqueza arquitetônica podem elevar a produtividade de seus usuários.

MILLET (1996) enumera uma série de tarefas arquitetônicas que a luz natural pode proporcionar relacionada com a forma e com o espaço arquitetônico. Segundo ela, a iluminação natural associada a forma pode enfatizá-la, desmaterializá-la, revelar a estrutura, conciliar a estrutura, enfatizar os materiais e modificar os materiais. Com relação ao espaço, a luz natural pode conectar ou separar espaços internos dos externos, unificar espaços, diferenciar espaços, conectar espaços internos, separar espaços internos; a luz pode servir de elemento de marcação, pode desenvolver uma hierarquia de espaços, ou ainda, levar dinamismo e movimento ao ambiente.

Além disso, o uso da iluminação natural apresenta inúmeros aspectos positivos como a qualidade da luz, alta eficiência luminosa, excelente reprodução de cores, disponibilidade (gratuidade) da luz, comunicação visual com o meio externo, não degradação ambiental, redução do consumo de energia, benefícios psicológicos, benefícios fisiológicos e variabilidade de luz. Esta última qualidade, que é a principal característica da luz, traz algumas preocupações, mas a variação da luz, seja horária, diária ou mensal, propicia dinamismo ao espaço. Esta variabilidade enriquece visualmente o ambiente pois o mesmo sempre está em movimento e em transformação, evitando o cansaço ou a monotonia visual.

O uso da iluminação natural pode trazer vantagens significativas nos custos econômicos, reduzindo gastos desnecessários com energia elétrica bem como contribuindo para obtenção de bem-estar no ambiente e podendo

até, de acordo com MCHUGH (1998), reduzir a taxa de stress dos trabalhadores. Entretanto, para que o uso da iluminação natural seja benéfico sem trazer problemas, cuidados devem ser tomados e conceitos estudados de forma que o projeto de iluminação natural leve em consideração características climáticas, físicas e ambientais do local de estudo.

Mesmo a iluminação natural apresentando inúmeras virtudes, o seu uso exclusivo não é capaz de suprir as necessidades visuais durante todo o tempo, uma vez que a iluminação natural interna depende de fatores naturais climatológicos e fatores físicos da edificação. A iluminação natural dentro de edifícios depende da: disponibilidade externa de iluminação relacionada principalmente com a condição de céu; do tipo, da orientação e geometria dos sistemas de aberturas utilizado; da geometria e forma do edifício; da presença ou não de obstruções; da transmitância das superfícies transparentes ou translúcidas; e da refletância das superfícies internas.

O principal cuidado deve-se ao ganho solar térmico proporcionado pela irradiação direta do Sol nas aberturas que poderá ocasionar, principalmente, desconforto térmico. Aspectos relativos a existência de um brilho excessivo proveniente do céu e da distribuição da iluminação no ambiente interno, também devem merecer preocupação.

Na prática, esta preocupação é materializada com a introdução de elementos de obstrução solar para a promoção de sombreamento das aberturas. Contudo, embora estes elementos possam apresentar algumas virtudes como a de evitar a penetração interna da radiação solar, restrição do ganho térmico, melhora na distribuição interna da iluminação e diminuição da probabilidade da presença de ofuscamento, eles apresentam alguns inconvenientes.

Os elementos de obstrução restringem o contato visual com o exterior e principalmente, influenciam diretamente no comportamento da iluminação, reduzindo consideravelmente os níveis de iluminação interno. Desta maneira, o uso do elemento de proteção requer grande estudo da geometria da abertura, pois a sua aplicação sem preocupação com a geometria da abertura e da insolação pode não melhorar o comportamento interno da iluminação, mas também prejudicar o desempenho interno. Entretanto, a promoção de um estudo apurado na geometria e no dimensionamento da proteção solar, deve proporcionar grande melhora com relação a qualidade da luz natural interna.

Atualmente, a presença dos brises somente é relacionada com a função benéfica de reduzir os ganhos térmicos da abertura, muito pouco foi estudado para analisar o aspecto da redução dos níveis internos de iluminação. Parte da causa por ainda não terem ocorridos mais estudos para promover esta avaliação é o descaso dos nossos planos reguladores. O Código de Obras e Edificações (FLORIANÓPOLIS, 1996) que é o responsável pela legislação construtiva de nosso País, cujos deveres inclui o de garantir a aplicação destas questões ambientais, se restringe a apenas empregar relações simplificadas no cálculo das aberturas. Estas simples relações tem sua eficácia questionada uma vez que nas suas variáveis de cálculo só entram a relação área de janela por área de piso e profundidade por altura do ambiente. A área de iluminação e ventilação das aberturas de todas as edificações da cidade, não diferenciando o seu uso, ficam sujeitas apenas ao cumprimento destas duas relações.

Será que isto é o suficiente para garantir níveis adequados de iluminação natural aos usuários das nossas edificações? Será que usos diferenciados não deveriam ter critérios diferenciados para determinação destes níveis?

E a orientação da abertura, não tem influência nenhuma no comportamento da iluminação interna? Será que os elementos de controle não modificarão a quantidade e a distribuição da iluminação interna?

Diante destas interrogações, verifica-se que ainda há muito a ser pesquisado na área da iluminação natural no Brasil. Esta pesquisa visa contribuir no desenvolvimento de estudos nesta área buscando respostas, principalmente para a última interrogação. O trabalho pretende realizar um estudo a fim de detectar possíveis relações entre a inserção de elementos de obstrução e o nível e a distribuição da iluminação interna.

1.3 JUSTIFICATIVA

O emprego correto da iluminação natural apresenta inúmeras justificativas para o seu uso, dentre elas destacam-se vantagens como a visão e contato com exterior, benefícios psicológicos e fisiológicos para os usuários, qualidade da iluminação natural e economia de energia. Além destes, a luz natural enriquece o ambiente servindo de elemento estético e arquitetônico.

Usualmente para evitar a penetração da irradiação direta do Sol no plano de trabalho, procurando uma distribuição homogênea da iluminação interna e uma redução do ganho solar térmico, trabalha-se com elementos de proteção solar. Desde que bem projetados, estes elementos de obstrução podem responder de maneira adequada ao seu objetivo de barrar a irradiação direta. Entretanto, o sombreamento da abertura provocado pela proteção solar pode não garantir índices de iluminação interno adequados.

Embora muito tenha sido estudado na avaliação solar em situações desobstruídas, pouco foi produzido sobre os efeitos da obstrução (LITTLEFAIR, 2001). Isto vale tanto para a escala macro, onde o entorno é o elemento de obstrução, como para escala micro, onde as proteções solares são os elementos de obstrução da abertura. Ainda não estudou-se com a profundidade requerida a influência de elementos de controle (internos ou externos, fixos ou móveis) no nível de iluminância interna, bem como seus efeitos na distribuição destes níveis no interior do ambiente.

Através deste estudo diferenciado, propõe-se analisar o comportamento de elementos de controle (proteções solares) usuais na região de Florianópolis empregados diferentemente para cada fachada e analisar a influência dos mesmos. Sendo assim, a pesquisa procura analisar a geometria da abertura levando em consideração além das variáveis atuais (área de piso, profundidade do ambiente e pé direito), a sua orientação, o seu sistema e seus elementos de obstrução, fato pouco estudado até hoje (LITTLEFAIR, 2001). Para mostrar a importância da geometria do elemento de proteção e que a simples presença deste elemento sem a promoção de um estudo apurado de sua geometria pode não melhorar o desempenho da luz natural interna, esta pesquisa empregou elementos de proteções usuais das edificações de Florianópolis.

A NBR 5413 (ABNT, 1991) fixa valores de iluminância dependendo da atividade visual que se pretende desenvolver. Entretanto, a Norma ainda necessita de revisão para aplicação dos seus limites, uma vez que não estabelece de forma clara a atividade específica tratada.

Pesquisas já realizadas em modelos residenciais e comerciais (AMARAL, 1999) evidenciaram que as relações propostas pelo Código de Obras não são suficientes para garantir os níveis de iluminação adequados propostos pela NBR 5413 (ABNT, 1991) e nem garantem uma boa distribuição de luz no interior do ambiente.

O bom aproveitamento da iluminação natural é inseparável do bom projeto de arquitetura e deveria ser considerada no estágio inicial do processo de projeto (BATSFORD, 1995). Entretanto, muitos projetistas ignoram ou desconhecem estes conceitos de iluminação natural, ficando a sua aplicação comprometida. As escolas de nosso País, evidenciam este descomprometimento frente aos assuntos referentes ao conforto ambiental e o que se vê são edificações totalmente dependente de sistemas artificiais com uma arquitetura pobre e debilitada.

As edificações escolares apresentam um enorme potencial para o aproveitamento da iluminação natural visto o tipo de uso que apresentam, onde a utilização da energia elétrica pode se restringir a uma iluminação complementar. Além disso, ela pode fornecer uma iluminação com maior qualidade, melhor reprodução de cores e proporcionar maior bem estar aos usuários. Embora a iluminação natural não exija a troca de lâmpadas como a iluminação artificial, ela requer manutenção das esquadrias, manutenção do sistema de abertura dos vidros e dos sistemas de controle (limpeza e funcionamento).

Exemplos de edificações escolares na Europa (YANNAS, 1994-a) e, principalmente na Inglaterra (YANNAS, 1994-b; PASSIVE SOLAR SCHOOLS, 1994), comprovam os benefícios e as qualidades plásticas que o aproveitamento da luz natural pode trazer (Figura 1-3). Estes exemplos, servem como inspiração e provam que não é difícil saber aproveitar estes recursos naturais.



Figura 1-3: Vista interna da escola *Leith Academy* em Edimburgo, Reino Unido
(Fonte: PASSIVE SOLAR SCHOOLS, 1994)



Figura 1-4: Convento Saint-Marie de La Tourette, Eveux, França – Arq. Le Corbusier (Fonte: FONTOYNONT, 1999)

Grandes mestres da arquitetura mundial ajudam a mostrar a importância e a beleza plástica que o controle e a manipulação da luz natural podem proporcionar aos nossos olhos. Le Corbusier na Capela de Ronchamp (Figura 1-3) ou no Convento de Saint-Marie de La Tourette, Norman Foster na cúpula do Parlamento Alemão (Figura 1-5a e 1-5b) ou na escola em Fréjus, Louis Kahn na maior parte de suas obras, Alvar Aalto na série de bibliotecas na Finlândia, Jean Nouvel no Instituto Mundo Árabe e Tadao Ando nas residências ou em templos no Japão, são alguns dos muitos exemplos dos efeitos arquitetônicos que a iluminação natural é capaz de produzir.



Figura 1-5a (esquerda): Vista externa da cúpula do Parlamento Alemão, Berlim, Alemanha – Arq. Norman Foster
Figura 1-5b (direita): Vista interna da mesma cúpula (Fonte: Arquivo do autor)

Em ambientes escolares, onde exige-se um bom nível de iluminação principalmente durante o dia, já que nem todas as escolas possuem período noturno de aula, a luz natural poderia ser a maior responsável pela iluminação interna. Entretanto, isto não reflete-se na prática. De acordo com GELLER (1994) a participação da iluminação artificial em edifícios comerciais e públicos do Brasil em 1988 foi de 44% no consumo final de eletricidade.

Embora em nosso País, mais especificamente em Florianópolis, nossas escolas possam ser divididas em 2 grandes grupos, públicas e particulares, os princípios bioclimáticos aplicados nas mesmas a fim de otimizar o aproveitamento da iluminação natural não se faz presente de forma evidente em nenhum destes grupos. Mesmo as escolas particulares, que possuem recursos próprios, não conseguem oferecer as melhores condições bioclimáticas para os seus usuários. Entretanto, estas conseguem compensar a falta de qualidade ambiental investindo em equipamentos artificiais gerando gastos energéticos, seja eles com objetivos de alcançar conforto visual, térmico ou acústico. Nas escolas públicas a situação ainda é mais desfavorável. As escolas, além de sofrerem com a falta de planejamento do conforto ambiental em suas instalações, ainda sofrem com a falta de recursos financeiros gerados pela má administração dos recursos públicos. Esta falta de recursos inviabiliza o alcance de melhores condições de qualidade ambiental também por meios artificiais.

Em virtude disso, a escola pública tornou-se foco principal do estudo, pois se o conforto ambiental não for alcançado de maneira natural, dificilmente o será através da aplicação de recursos em meios artificiais. Sabe-se que a escola pública é dividida em diversos âmbitos (municipal, estadual e federal) da esfera do poder executivo em nosso País. Entretanto, o objeto de estudo desta pesquisa foca sua atividade no estudo das escolas públicas municipais de Florianópolis com o intuito de regionalizar e delimitar o universo de estudo.

A preocupação pelo estudo estar centralizado nas escolas municipais de Florianópolis também é justificado pelo número de usuários destas escolas. São aproximadamente 20 mil alunos na rede escolar pública municipal de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2001).

As escolas públicas são resultados deste processo onde os usuários deparam-se com falta, excesso ou má distribuição da iluminação interna. É claro que a utilização da iluminação natural não garante níveis adequados de iluminação para todos os tipos de tarefa e nem garante a iluminação durante todo o período do dia e do ano, mas ela pode suprir grande parte da necessidade que temos com relação à luz. Sendo assim, a iluminação artificial deve aparecer integrada e adequada à utilização da luz natural, de forma a complementar os níveis de iluminação existentes.

É preciso estudar as formas como vem sendo utilizada a iluminação natural nas escolas municipais de Florianópolis para se constatar o grau de aproveitamento da mesma e a partir disso, propor melhorias na sua utilização. Para promoção destes estudos, uma das formas mais indicadas para o estudo da iluminação natural que permite a independência de fatores externos como a condição de céu, o tempo (hora, dia) e não necessita de um ambiente real construído é a simulação através de métodos computacionais.

Neste sentido, o software *Lightscape* versão 3.2 aparece como uma ferramenta útil, eficaz e com validade comprovada para o desenvolvimento de simulações computacionais a fim de avaliar o comportamento da iluminação natural (LD+A, 1998; HOUSER, 1999; ZEILMANN, 1999; GRAZIANO JÚNIOR, 2000; TAVARES LEITE, 2001).

O interesse pelo estudo voltado para um modelo representando a atividade escolar foi despertado inicialmente na disciplina de Projeto Bioclimático do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFSC), onde o produto da disciplina foi o desenvolvimento de um projeto escolar empregando princípios bioclimáticos. Este interesse particular pela atividade escolar também se fez presente nas disciplinas de Iluminação Natural e de T.E.

Métodos de Simulação em Iluminação Natural (PPGEC – UFSC), onde os estudos das mesmas voltaram-se para edificações escolares.

A importância dessa pesquisa encontra-se na preocupação em otimizar o uso da iluminação natural em edifícios escolares como forma de melhorar o conforto visual dos ocupantes e evitar desperdícios com iluminação artificial. É através do seguimento adequado dos conceitos pertinentes a iluminação que se poderá chegar a um projeto arquitetônico visualmente apropriado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

☞ O principal objetivo desta pesquisa é analisar o desempenho de alguns elementos de controle solar no nível e na distribuição interna da iluminação. Para isto delimitou-se as salas de aula do novo protótipo escolar municipal de Florianópolis como objeto de estudo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

☞ Proposição de uma metodologia baseada em critérios de classificação para avaliar os parâmetros empregados na análise do comportamento da iluminação;

☞ Avaliar o aproveitamento da iluminação natural em edificações escolares da região de Florianópolis, através de estudos de simulação paramétrica (software *Lightscape v. 3.2*) envolvendo diversas variáveis (orientação, horário, condição de céu, época do ano e nível – pavimento superior e inferior);

☞ Avaliar através das simulações computacionais dois elementos de controle usuais na região para as aberturas voltadas para a orientação Norte (light-shelf e elemento horizontal) e para a orientação Leste (elemento vertical e inclinado);

☞ Verificar a importância do índice de refletância das superfícies nos níveis de iluminação, uma vez que o mesmo não é considerado pelo critério do Código de Obras e Edificações do Município (FLORIANÓPOLIS, 1996).

☞ Fornecer informações que venham ajudar os projetistas (arquitetos e engenheiros) na aplicação da questão da iluminação natural em seus projetos. O estudo procura ajudar na conscientização desses projetistas para a importância de se levar em consideração os fatores climáticos, particularmente na atividade escolar, na busca em aumentar a qualidade do ambiente construído de forma natural.

1.5 HIPÓTESES DE TRABALHO

① Os elementos de controle podem influenciar significativamente os níveis de iluminação interna, assim como a distribuição interna da iluminação.

② A ferramenta computacional *Lightscape* v. 3.2 vem sendo utilizada para a promoção de estudos de iluminação natural, mostrando-se um mecanismo útil para avaliar as condições de iluminação interna. Suas simulações permitem analisar os níveis e a distribuição de iluminação natural para o ambiente analisado.

1.6 LIMITAÇÕES INICIAIS

As propriedades óticas fundamentais para o estudo da iluminação são a absorção, a transmissão e a reflexão. A reflexão da luz é afetada diretamente pela textura da superfície. Desta maneira, a direção da luz refletida pode variar de difusa (luz refletida igualmente em todas as direções) a especular (luz refletida somente numa direção – espelho). Entretanto, na prática, a maioria das superfícies encontradas não são nem perfeitamente difusoras nem especulares, refletindo luz em várias direções e em diferentes proporções (PEREIRA, 2000). Sendo assim, uma importante limitação do trabalho gerada pelo algoritmo de cálculo do software utilizado para o desenvolvimento de todas as simulações computacionais diz respeito a forma de tratamento das superfícies. O *Lightscape* v. 3.2 considera todas as superfícies como sendo perfeitamente difusoras quando na verdade elas variam de difusoras a especulares.

Outra limitação do trabalho relacionada com o software empregado nas simulações diz respeito a caracterização da condição de céu. O *Lightscape* v. 3.2 emprega 3 tipos de modelo de céu: céu claro, céu encoberto e céu intermediário (entre o claro e o encoberto). Entretanto, o software não permite trabalhar com outros modelos de céu, ficando o trabalho restrito aos modelos disponibilizados pelo software.

Uma última limitação diz respeito ao emprego somente de elementos de controle solar sem superfícies especulares, uma vez que o *Lightscape* v. 3.2 não permite a utilização de superfícies especulares refletoras nem superfícies difusas transmissoras.

Em virtude do trabalho analisar primeiramente o comportamento da iluminação natural no interior das salas nas condições atuais (sem proteções solares) e posteriormente com a inserção dos elementos de proteção, e também devido ao fato de o critério para definição do tipo e geometria do elemento de proteção ser sua aplicação usual na região, a pesquisa limitou-se a aplicar estas proteções no protótipo escolar, não analisando proteções projetadas especialmente para a situação de estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica são abordados temas de relevância para o estudo, constituindo em um embasamento teórico pessoal apoiado em conceitos e experiências já estudados por outros autores. A Revisão Bibliográfica também visa explicar sobre os assuntos abordados na dissertação para que os leitores possam obter informações mais aprofundadas a respeito dos conceitos utilizados na pesquisa.

Este capítulo inicia-se com seções relacionadas aos aspectos climáticos/ ambientais/ externos sobre a disponibilidade da iluminação natural (Tópicos 2.1 e 2.2). Em seguida, são abordados assuntos referentes aos aspectos da iluminação ligados à edificação e ao ambiente interno (Tópicos 2.3 a 2.8). Por último, são apresentados os parâmetros e métodos para avaliação do comportamento interno da iluminação (Tópicos 2.9 a 2.12).

2.1 Fontes de luz natural

De acordo com MOORE (1991) as fontes de luz são divididas em 2 grupos: fonte de luz direta (luz do Sol e da abóbada celeste) e fonte de luz indireta (difusores reflexivos ou translúcidos iluminados anteriormente por outra fonte de luz que pode estar externa ou internamente à edificação).

2.1.1 Luz do Sol

A luz do Sol fornece índices altíssimos de iluminância no plano horizontal. Isto acaba restringindo a sua aplicação. Cuidados devem ser tomados ao se expor superfícies envidraçadas à exposição direta da luz do Sol visto o aquecimento solar passivo que a mesma pode proporcionar. Entretanto, estudos afirmam que a luz solar introduz menos calor por lúmen que muitas fontes elétricas não eficientes (MOORE, 1991). Cabe salientar, que a luz do Sol possui inúmeras vantagens com relação a iluminação elétrica como a melhor reprodução de cores, a alta eficiência luminosa, o bem-estar psicológico e principalmente, por ser uma fonte natural (BAKER, 1993).

2.1.2 Luz da abóbada celeste

A luz da abóbada celeste é proveniente da refração e da reflexão da luz ao passar pela atmosfera. Sua intensidade é dependente das condições atmosféricas (MOORE, 1991 e SOUZA, 1997). Embora possua menores níveis de iluminação, a luz proveniente do céu possui níveis de iluminação mais constantes que a luz do Sol.

2.2 Disponibilidade e variabilidade da iluminação natural

A ENERGY CONSCIOUS DESIGN (1993) trata a disponibilidade de luz natural referenciando-se a orientação e a altura do ponto. A disponibilidade estaria representada por três componentes:

- Luz vinda diretamente do Sol;
- Luz recebida do céu depois da refração e reflexão dos raios solares na atmosfera;
- Luz refletida das 2 componentes anteriores nas superfícies adjacentes.

A iluminação natural, apesar de apresentar diversas vantagens em relação à artificial, nem sempre nos garante níveis de iluminação adequados. Segundo GUZOWSKI (2000), são 4 fatores principais que influenciam este fenômeno: a trajetória aparente do Sol (hora do dia, data e azimute), a condição de céu, o clima e o sítio.

Entretanto, a variabilidade da luz natural pode trazer um dinamismo diferente ao ambiente, fugindo da monotonia dos ambientes iluminados artificialmente, onde os níveis mantêm-se regulares durante todo o tempo gerando um ambiente estático em termos de iluminação. Além do mais, esse dinamismo proporciona às edificações uma qualidade viva única, que nenhum outro elemento consegue obter (ROBBINS, 1986).

2.2.1 Condições de céu

A condição de céu está relacionada com a distribuição da sua emissão de luz. Esta emissão é função das condições do tempo. Em virtude da grande variabilidade das condições de céu e dos inúmeros modelos para caracterizar as diferentes condições de céu, a CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) adota 2 modelos de céu padronizados internacionalmente: céu claro e céu encoberto (ROBBINS, 1986).

2.2.1.1 Céu claro

Caracteriza-se pela inexistência de nuvens e baixa nebulosidade. O céu apresenta-se com uma alta temperatura de cor (cor azul), em razão das partículas reduzidas em suspensão no ar fazerem com que apenas o comprimento de onda da porção azul do espectro seja refletido em direção à superfície (LAM, 1986). Segundo MOORE (1991), este céu claro é representado por uma condição sem nuvem, onde a luminância do céu é diretamente proporcional ao ângulo da altura solar e da posição do Sol. Sendo assim, a distribuição de luz é estável e varia conforme a mudança da posição do Sol na abóbada celeste (AMARAL, 1999).

2.2.1.2 Céu encoberto

Este tipo de céu é resultado da reflexão/refração da luz direta do Sol em grandes partículas de água em suspensão no ar. A abóbada tem geralmente cor cinza claro, sendo a tonalidade dependente da espessura das nuvens. De uma forma geral, em um céu encoberto temos a porção zenital com três vezes mais luminância que a porção de céu próxima à linha do horizonte. Esta proporção é padronizada internacionalmente pela CIE (1996) apud SOUZA (1997) como forma de caracterizar a condição de céu encoberto. Mesmo com a variação do ângulo de altura do Sol em um céu encoberto, a proporção definida de 1:3 da luminância do zênite para o horizonte não se altera. Este tipo de céu é comumente utilizado em pesquisas por ser a condição de céu mais uniforme.

2.3 O projeto de iluminação e o conforto visual

O bom projeto de iluminação deve apresentar conforto visual aos seus usuários. Segundo LAMBERTS et al (1997) o conforto visual é “entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes”.

Estudos apontados por BAKER (1993) apontam que a iluminação natural é mais preferida que a iluminação artificial e que os projetistas deveriam respeitar 6 premissas básicas em seu projeto de iluminação para alcance do conforto visual: distribuição espacial dos níveis de iluminação natural, razões de luminância, forma da sombra, cor, ofuscamento e clamor visual.

PEREIRA (1994) e PEREIRA e SOUZA (2000) relacionam a visão e o projeto de iluminação a 4 pontos básicos: visão e percepção, adaptação visual, desempenho das tarefas visuais (nível de iluminação médio, contraste, acuidade visual, desempenho visual e eficiência visual) e ofuscamento (contraste ou saturação).

Para LAM (1986), o projetista em um projeto de iluminação deve se esforçar para: prover o usuário de conforto e prazer no interior do ambiente, satisfazer as necessidades programáticas dos usuários, minimizar o gasto de energia do edifício, otimizar a imagem pública da arquitetura e minimizar o custo inicial da construção do edifício. O autor também acredita que na prática estes objetivos podem ser de difícil integração com o restante de necessidades do edifício. Entretanto, reitera a importância em se priorizar o aspecto do conforto ambiental como critério fundamental das decisões arquitetônicas.

Para que o alcance do conforto visual seja atendido, PEREIRA (1994) ressalta que é necessária uma série de requisitos como: iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, ausência de ofuscamento, contrastes adequados (equilíbrio de luminâncias) e bom padrão e direção de sombras.

A ENERGY CONSCIOUS DESIGN (1993) refere-se ao conforto visual como sendo o resultado de 4 parcelas mais importantes: nível de iluminação, nível de contraste, ofuscamento e ferramentas de controle.

Para ocorrer o uso efetivo da iluminação como elemento de projeto, o projetista deve incorporar a iluminação natural no processo projetual do edifício, estabelecendo quais pontos devem ser relacionados nas decisões de projeto. O projetista também deve determinar que elementos destas decisões devem ser utilizados e como isto influenciará na forma e na arquitetura do edifício (ROBBINS, 1986).

Figuras consagradas da arquitetura mundial utilizaram a iluminação natural como elemento central de projeto indo de encontro à colocação anterior de ROBBINS (1986). Frank Lloyd Wright, Nervi, James Stirling, Norman Foster, Alvar Aalto, Tadao Ando, Le Corbusier e Louis Kahn são alguns dos arquitetos que realmente incorporaram ou incorporam a iluminação como elemento definidor do espaço.

2.4 Os fechamentos transparentes e ganho solar térmico

Com a incidência da radiação solar no fechamento transparente ou translúcido, temos parte da radiação refletida, absorvida e transmitida. A parcela absorvida e toda a parcela transmitida são as responsáveis por permitir a entrada de luz no interior das edificações. Isto acontece tanto por meio de fontes de luz diretas quanto por indiretas.

Apesar destes fechamentos proporcionarem bem estar ao ambiente por permitirem grande transmissão de luz e possibilitarem contato visual com o exterior, muitas vezes, dependendo dos aspectos climáticos da região, eles podem ser os responsáveis por desconforto térmico. São nestes fechamentos transparentes que acontecem as principais trocas térmicas de condução, convecção e radiação (LAMBERTS et al., 1997).

Para o Brasil, o principal cuidado em relação aos fechamentos transparentes (aberturas) diz respeito ao ganho solar térmico. Segundo ENERGY CONSCIOUS DESIGN (1993) o ganho solar térmico é dependente das propriedades físicas do material, da área, do ângulo de incidência dos raios solares e da radiação, que é dependente da orientação, da topografia e do sombreamento.

2.4.1 Multifuncionalidade das aberturas

Segundo HOPKINSON (1966), o projeto das aberturas deve levar em consideração a ventilação, a proteção contra as intempéries, o isolamento em relação ao ruído exterior e, principalmente, deve proporcionar um visual e permitir que a luz penetre no interior do edifício com tal quantidade e distribuição que resulte em uma iluminação interior satisfatória.

De acordo com MACÊDO (2002), “a utilização correta do sistema de aberturas possibilita que trocas térmicas, luminosas e visuais entre o interior e o exterior da edificação aconteçam da maneira desejada, privilegiando o conforto físico e psicológico do usuário”.

As aberturas, em especial, as janelas apresentam inúmeras funções, dentre as quais estão englobadas basicamente as funções ambientais, estéticas, de segurança, operacionais e psicológicas (DUTRA, 1994). Dentro do objetivo do trabalho interessam principalmente as funções psicológicas e ambientais.

As funções psicológicas estão intimamente ligadas a relação com os visuais externos do ambiente proporcionando aos indivíduos informações com relação ao clima, ventos, precipitações e hora do dia. A janela também permite trocas sensoriais relacionadas ao estímulo psicológico devido à exposição do organismo às variações das condições ambientais. A conexão com o mundo exterior como forma de aliviar o sentimento de confinamento e o alívio relaxante proporcionado pela vista da janela são outros benefícios psicológicos proporcionados pelas aberturas (MACÊDO, 2002 apud HEERWAGEN, 1990).

As funções ambientais estão associadas principalmente a proporcionar ventilação e luz natural para o interior do ambiente. As aberturas podem promover ventilação tanto por convecção, seja ela natural ou forçada, como pela forma mais efetiva e usual, que é a ventilação cruzada por meio de pressão de vento. Já com relação a proporcionar luz natural interna existem inúmeros tipos de sistemas de iluminação natural.

2.4.2 Sistemas de iluminação natural

Os sistemas de iluminação natural possuem a função de permitir que a luz natural externa chegue até o ambiente interno. Com este intuito, os sistemas de iluminação natural são constituídos de inúmeros elementos, como aberturas, superfícies transparentes (vidros, policarbonato, etc.) e dispositivos de controle.

De acordo com ROBBINS (1986), “a principal proposta de um sistemas de iluminação natural é providenciar um montante razoável de luz onde ela é necessária no interior do edifício, ao mesmo tempo garantindo uma boa performance visual e proporcionando suficiente contraste de luz para o conforto visual dos usuários”.

Segundo MOORE (1985), os principais objetivos do sistema de iluminação natural são maximizar a transmissão de luz por unidade de área envidraçada, controlar a penetração da luz direta do Sol, minimizar o ganho de calor no verão, minimizar a perda de calor no inverno e controlar o brilho excessivo (ofuscamento).

O projeto do sistema de iluminação natural é baseado em relações geométricas entre a fonte de luz natural e o ambiente em questão (tamanho, área, forma e localização das aberturas). A compreensão da relação proporcional entre o espaço e a abertura permite ao projetista manipulá-la, a fim de modificar a penetração, a distribuição, a quantidade e a qualidade de luz natural no espaço. O projetista deve estabelecer os conceitos de iluminação natural necessários para fornecer uma quantidade de luz adequada, garantindo um bom desempenho visual e contraste suficiente para proporcionar conforto visual (ROBBINS, 1986). O autor classifica as seguintes categorias de sistemas que propiciam luz natural ao ambiente interno: iluminação lateral; zenital; utilizando a luz direta do Sol; através de átrios, pátios e reentrâncias; inclinada; e combinações diversas.

Já, de acordo com BAKER (1993), os sistemas de iluminação natural podem ser divididos em: componentes de condução e componentes de passagem. Os componentes de condução são elementos ou espaços que conduzem e/ou distribuem a luz para o interior de um edifício. Varandas e átrios são exemplos de componentes de condução (Figura 2-1). Já os componentes de passagem são os elementos que permitem a passagem da luz de um ambiente para outro. A abertura é o exemplo mais típico de componente de passagem.



Figura 2-1: Exemplo de átrio, Bruxelas, Bélgica (Fonte: Arquivo do autor)

Os componentes de passagem são divididos em:

- ① Lateral: elementos localizados em superfícies verticais do edifício, admitindo a entrada lateral da luz;
- ② Zenital: elementos situados nas superfícies horizontais ou nos planos de cobertura do edifício, permitindo a entrada de luz de forma zenital;

③ Global: elementos constituintes do próprio envoltório do edifício, permitindo penetração da luz de forma lateral ou zenital (Figura 2-2).



Figura 2-2: Hotel Unique, São Paulo, Brasil – Arq. Ruy Othake (Fonte: PROJETO DESIGN, 2002-b)

2.4.2.1 Aberturas Laterais

São a forma mais comumente utilizada de iluminação, uma vez que podem proporcionar, simultaneamente, iluminação, ventilação e visão do exterior. Por questões culturais e principalmente econômica, as aberturas laterais são a forma mais tradicional de iluminação, embora apresente uma série de desvantagens.

Como a iluminância interna reduz-se à medida que se afasta da fonte, este sistema provoca geralmente uma distribuição irregular. Nas regiões próximas à abertura temos níveis elevados de iluminação e estes vão diminuindo proporcionalmente à medida que nos afastamos da mesma. Isto acaba gerando grande incidência de ofuscamento próximo à abertura e alto contraste na distribuição dos níveis de iluminação (ROBBINS, 1986).

A área, forma, espaçamento e a orientação da abertura irão determinar o comportamento da iluminação interna. TAVARES LEITE (2001) classifica as aberturas laterais em janela, janela balcão, parede translúcida e parede cortina. PEREIRA (1995) classifica às janelas quanto à função, ao tamanho, à forma, à posição, à orientação e aos controles. Informações mais detalhadas sobre estas classificações devem ser procuradas nas seguintes bibliografias: LAM (1986), ROBBINS (1986), PEREIRA (1995), FREIRE (1996) e TAVARES LEITE (2001).

As janelas laterais com posição baixa, quando usadas como fonte primária de iluminação, podem tornar-se ineficientes, pois somente iluminam uma parte restrita do cômodo (abaixo do plano de trabalho), além de aumentarem os riscos de ofuscamento e de proporcionarem uma aparência mais sombria ao cômodo em razão do grande

contraste com as superfícies sombreadas mais altas (FREIRE, 1996). A vantagem da janela baixa é o fato de evitar a penetração da radiação solar direta na parte mais profunda do cômodo.

As janelas laterais altas proporcionam maior penetração de luz direta e difusa para o ambiente, exceto nas áreas próximas à abertura. Em geral, apresentam melhor distribuição de luz e sua localização acima do campo de visão do usuário reduz o risco de ofuscamento. Contudo, elas podem tornar o ambiente mais exposto à radiação solar, além de diminuir o contato visual com o exterior.

As janelas de altura intermediária não são tão eficientes quanto as baixas para a distribuição de luz refletida do piso externo para o teto, nem são tão eficazes quanto as janelas altas para a distribuição mais profunda e uniforme de luz refletida da abóbada celeste. No entanto, ela é freqüentemente adotada devido à sua melhor visão da paisagem e ao fato de proporcionar ventilação natural ao nível do corpo do usuário (FREIRE, 1996).

Assim como na maioria das edificações brasileiras, nas instituições de ensino, a abertura lateral com janelas de altura intermediária é forma mais comumente utilizada para a penetração da iluminação natural. Nas edificações escolares públicas, este domínio da abertura lateral com altura intermediária é ainda mais gritante. Além do aspecto de proporcionar visão da paisagem e ventilação ao nível do corpo do usuário, a aplicação usual (convencional) relacionada com os custos econômicos iniciais, são os principais fatores que fazem com que sua aplicação seja a mais utilizada.

Mais recentemente, em escolas particulares, sobretudo escolas de 3º grau, percebe-se uma preocupação maior com o sistema de abertura, fugindo do padrão tradicional de salas com sistema unilateral e janelas de altura intermediária. Mesmo com a permanência do predomínio do sistema lateral, percebe-se a existência de abertura em duas laterais (bilateral), assim como preocupações com a geometria e forma da abertura (altura, largura, peitoril), e presença de proteções solares (Figura 2-3).



Figura 2-3: Centro Universitário Positivo (UNICENP), Curitiba, Brasil (Fonte: PROJETO DESIGN, 2002-a)

As janelas laterais, principalmente em climas quentes, devem merecer atenção especial pois devem estar protegidas do ganho térmico do Sol e do excesso de luminância proveniente da abóbada celeste e do Sol. Esta proteção deve ser realizada através de elementos de controle que sombreiam e redirecionam a luz, os quais serão abordados posteriormente.

2.4.2.2 Aberturas Zenitais

De acordo com ROBBINS (1986), as aberturas zenitais são aquelas onde a luz natural penetra no interior do ambiente através de aberturas situadas no teto. Para LAM (1986), as aberturas zenitais, apesar de já serem utilizadas no passado (Figura 2-4) como fonte de luz e também com importância térmica (Figura 2-5), apresentaram durante muito tempo limitações tecnológicas que só foram resolvidas com o aparecimento do vidro e do desenvolvimento de sistemas de abertura resistentes à infiltrações de água.



Figura 2-4: Pantheon em Roma - Itália (Fonte: FONTOYNONT, 1999)

Ainda segundo LAM (1986), a maior vantagem da abertura zenital sobre a lateral é a liberdade de colocar a fonte de luz natural onde a iluminação é desejada. Também apresenta a vantagem da facilidade de integração com o sistema de iluminação artificial, uma vez que, como as lâmpadas, a luz natural proveniente da abertura zenital vem do teto (ROBBINS, 1986). Entretanto, as principais desvantagens da abertura zenital são a dificuldade em iluminar edifícios com mais de dois pavimentos e a impossibilidade de proporcionar visão da paisagem externa, apesar de permitir visão do céu e das condições externas.

Comparando-se as vantagens da abertura zenital sobre a lateral tem-se: possibilidade de localizar a fonte de luz nos locais mais profundos do ambiente ou do espaço interno, a uniformidade na distribuição da iluminação e a possibilidade de obter uma maior iluminância média sobre o plano de trabalho horizontal, comparada com área equivalente da iluminação lateral. Isto acontece devido ao ângulo de incidência ser maior, ou seja, a direção da iluminação é perpendicular ao plano de trabalho (LAM, 1986; ROBBINS, 1986; MOORE, 1991).



Figura 2-5: Arquitetura vernacular primitiva em Apulia (Fonte: GALLO, 1983)

Assim como nas aberturas laterais, nestas deve-se ter grande cuidado quanto a recepção da radiação solar direta, principalmente em regiões quentes de baixa latitude. LAM (1986) considera que a otimização do desempenho da iluminação implica no uso da luz solar indiretamente, e por isso a radiação solar direta deve ser interceptada e redirecionada para evitar ofuscamento e superaquecimento. O autor também aponta a importância da altura do teto na interferência do resultado da iluminação. O valor de iluminância será maior, para uma mesma área de abertura zenital, quanto menor for a distância do plano de trabalho ao teto, onde está locada a abertura. Por outro lado, quanto mais alto for o teto, maior será a área beneficiada pela luz zenital.

De acordo com CABÚS (1997), as aberturas zenitais podem ser classificadas em:

① Clarabóia: abertura construída com superfícies transparentes ou translúcidas no teto. Podem ser inclinadas ou verticais permitindo uma penetração zenital da luz natural no interior do ambiente. Podem apresentar configurações que evitem ou alterem a direção solar direta;

② Monitor: abertura formada pela suspensão de uma parte central do telhado. A abertura localiza-se nos vãos existentes na cumeeira ou em trechos verticais suspensos do telhado;

③ Dente-de-serra: são aberturas formadas por sucessivas aberturas paralelas, verticais ou inclinadas construídas no próprio telhado. As aberturas dente-de-serra tem sua maior aplicação em fábricas e galpões, podendo apresentar vãos para ventilação;

④ Teto transparente: são aberturas horizontais levemente inclinadas construídas geralmente com material translúcido. Deve ter aplicação cuidadosa em razão do grande ganho de calor;

⑤ Domó: abertura constituída por uma superfície hemisférica, podendo ser construído com material opaco com perfurações ou com material translúcido;

© Lanternim: consiste em uma elevação do telhado, normalmente no ponto mais alto do mesmo ou de uma cúpula, construído geralmente de forma circular onde as aberturas localizam-se no vão entre a elevação e o telhado.

2.4.3 Elementos de controle

A penetração da radiação solar direta no interior dos edifícios pode trazer benefícios ou malefícios dependendo dos fatores climáticos do sítio onde o ambiente está inserido. Quando esta penetração é indesejada, deve-se utilizar ferramentas de controle.

A janela como um elemento de fonte de luz não é necessariamente um componente eficiente da estrutura do edifício. Quando constituída por elementos transparentes tem a importante missão de promover a penetração de luz para o interior e o contato com o exterior, mas ela também pode produzir ofuscamento e problemas térmicos.

Os elementos de controle surgem da necessidade ambiental de barrar a incidência direta do Sol no interior do ambiente, evitando o ganho de calor excessivo pelos fechamentos transparentes. A forma como estas proteções podem ser utilizadas em um projeto são as mais diversificadas possíveis.

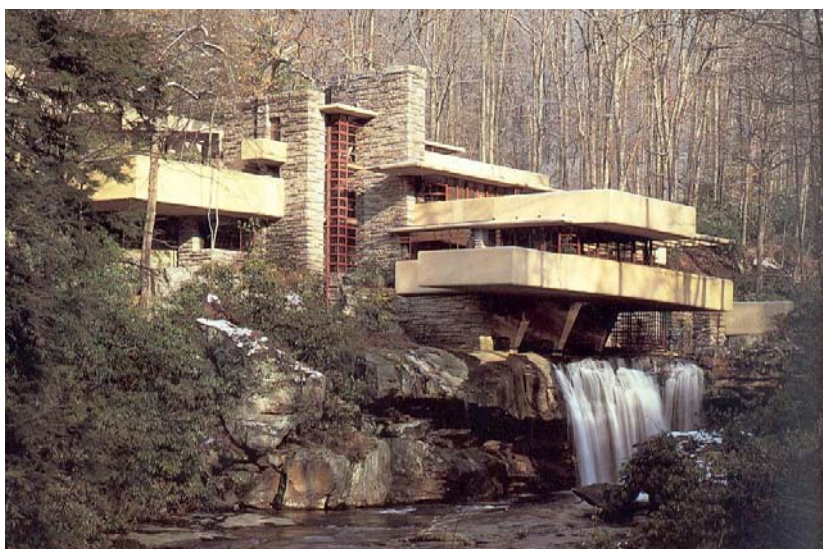


Figura 2-6: Fallingwater, Bear Run, EUA – Arq. Frank Lloyd Wright (Fonte: GÖSSEL, 1996)

Reportando-se ao passado, vemos que os principais gênios da arquitetura mundial Frank Lloyd Wright e Le Corbusier utilizam os elementos de proteção de forma diferenciada. Enquanto o “pai” da arquitetura orgânica Frank Lloyd Wright empregava elementos arquitetônicos definidores da forma volumétrica do edifício fazendo uso de telhados, coberturas e terraços generosos para sombrear as aberturas (Figura 2-6), Le Corbusier empregou conjuntos de brises pequenos para sombrear as fachadas envidraçadas provenientes do “Estilo Internacional”. Wright concebia o projeto arquitetônico de acordo com as condicionantes ambientais, tendo soluções arquitetônicas que “camuflavam” estas proteções solares. Já, em fases da arquitetura de Le Corbusier, principalmente nos edifícios envidraçados, o arquiteto marcava a presença do brise, explorando-o como elemento plástico definidor da composição da fachada.

Com o passar dos anos, surgem novas tecnologias e produtos com a função de barrar o Sol e proporcionar níveis adequados de iluminação internos. Jean Nouvel, no final da década de 80, criou no Instituto Mundo Árabe em

Paris (Figura 2-7), um tipo de brise “*high-tech*” que funciona como um diafragma. O brise controla automaticamente a intensidade de luz solar no interior, através da abertura ou fechamento destes diafragmas dispostos na fachada.



Figura 2-7: Instituto Mundo Árabe, Paris, França – Arq. Jean Nouvel (Fonte: Arquivo do autor)

O Pavilhão do Reino Unido na Expo 92 em Sevilha (Figura 2-8) é outro exemplo da arquitetura de alta tecnologia a serviço do conforto ambiental. Nele o arquiteto Nicholas Grimshaw (do escritório O Arup Arquitetos), utilizou diversos elementos bioclimáticos como ventilação da cobertura, proteções solares e cascata d’água na fachada reduzindo significativamente o consumo de energia do edifício.



Figura 2-8: Pavilhão do Reino Unido na Expo 92, Sevilha, Espanha – Arq. O. Arup (Fonte: GALLO, 1983)

Atualmente, MACÊDO (2002), em pesquisas realizadas para avaliar sistemas de iluminação que utilizam a luz direta do Sol, mostra diversos materiais com alta tecnologia que funcionam como proteções solares. Dentre eles pode-se citar as venezianas espelhadas, o painel prismático, o painel cortado a laser e elementos halográficos, que dentre suas funções está a de proteger o ambiente do Sol (sombreamento).

Entretanto, mesmo com toda esta evolução tecnológica, ainda é muito difícil conciliar os fenômenos lumínicos e térmicos na eficiência de um brise, sendo que por mais avançados que sejam os materiais, estes ainda não são capazes de suprir as deficiências térmicas e lumínicas de um projeto inadequado de abertura. Isto quer dizer que um material não é capaz de resolver um problema de má concepção de projeto, ou seja, o projetista ainda ocupa o papel principal de solucionar esta dualidade térmica e lumínica no projeto da abertura.



Figura 2-9: Escola Lycée Albet Camus, Fréjus, Côte d'Azur, França – Arq. Norman Foster (Fonte: YANNAS, 1994-b)

Outro bom exemplo, que mostra a importância do projetista no desenho da abertura e dos elementos de controle, é o projeto arquitetônico da Escola de Fréjus do arquiteto Norman Foster (Figura 2-9). Nela Foster aplica 2 sistemas de abertura: o lateral e o zenital. O lateral ilumina diretamente a sala de aula, enquanto o zenital ilumina um átrio que transmite luz difusa para o interior da sala de aula. Tanto o sistema lateral quanto o zenital apresentam elementos de controle fixos que barram a incidência direta do Sol e funcionam como um filtro de luz. Estes elementos são proteções horizontais constituídas por uma malha metálica com pequenos orifícios.

Continuando com exemplos de aplicação de proteções solares que destacam-se na volumetria de edificações escolares, mostrando a preocupação do arquiteto em aliar projeto arquitetônico ao projeto bioclimático, destaca-se o projeto do escritório Feilden Clegg para o Colégio Tecnológico da cidade de John Cabot (Figura 2-10). O arquiteto utilizou tanto elementos de proteção solar fixos e móveis. Os elementos fixos aparecem dispostos horizontalmente na parte superior do edifício barrando principalmente o Sol com um ângulo de altura maior (verão). Já os elementos móveis apresentam-se na vertical com uma estrutura própria e distanciados da parede da fachada, permitindo ventilação entre a abertura e a proteção. Estas proteções são constituídas por material colorido opaco que barra a radiação solar. Em períodos em que a proteção é indesejável, esta superfície opaca fica totalmente enrolada na parte superior da edificação, não causando nenhuma obstrução à abertura.

No Brasil, ainda não existe a mesma preocupação bioclimática demonstrada nestes 2 exemplos de escolas européias. As escolas da rede pública brasileira são as mais expostas à radiação solar, com menor presença de

elementos de proteção solar. Geralmente nestas escolas públicas, a proteção fica por conta da cortina interna e do beiral do telhado ou alguma laje que avance externamente na horizontal sombreando a janela.



Figura 2-10: Colégio Tecnológico, John Cabot, Reino Unido (Fonte: PASSIVE SOLAR SCHOOLS, 1994)

Já em escolas particulares brasileiras, principalmente as mais novas e de 3º grau, presencia-se cada vez mais a preocupação com a insolação e a iluminação interna evidenciada pela presença de elementos de proteção solar (Figura 2-11 e Figura 2-12). Entretanto, muitas vezes por questões de linguagem arquitetônica, a mesma proteção aparece em todas as aberturas da escola independente da orientação e do uso.



Figura 2-11: Faculdade Teológica Sulamericana, Londrina, Brasil (Fonte: PROJETO DESIGN, 2001)

As proteções fixas mais comuns nas escolas particulares são: laje avançada ou beiral da cobertura; brises com aletas fixas na horizontal, vertical ou inclinada; e elementos vazados de alvenaria, de concreto ou metálicos. Já os brises móveis que mais aparecem são as aletas com eixo pivotante na horizontal ou vertical e as proteções internas compostas por persianas e cortinas translúcidas ou opacas.



Figura 2-12: Universidade Paulista (UNIP), Manaus, Brasil (Fonte: PROJETO DESIGN, 2001)

Os elementos de controle podem ser utilizados não só para barrar a incidência direta dos raios solares no interior do ambiente, mas também em áreas externas como foi empregado em circulações externas na escola de telefonia Atam Centre em Sevilha na Espanha (Figura 2-13).

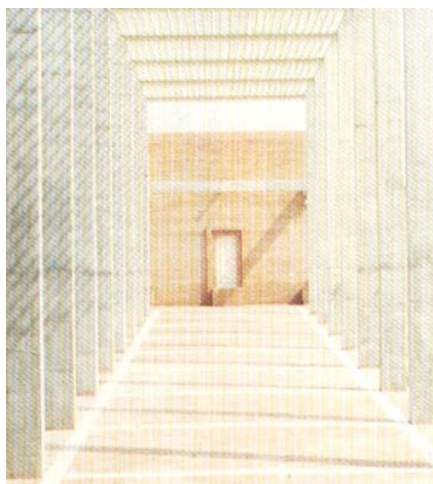


Figura 2-13: Escola Atam Centre, Sevilha, Espanha – Arq. Alberich Sotomayor (Fonte: YANNAS, 1994-a)

BAKER (1993) enumera 4 objetivos principais para os elementos de controle: incremento do nível de iluminação natural; contribuir para a melhoria da distribuição interna da iluminação; reduzir o brilho proveniente do céu; e controlar a incidência direta dos raios solares. De acordo com o autor, o efeito dos elementos de controle na

iluminação natural podem ser baseados em fenômenos físicos: reflexão (lightshelf), refração (elementos prismáticos) ou difração (elementos holográficos).

Para LAM (1986) a luz pode ser controlada através dos seguintes fenômenos: reflexão, refração, polarização, interferência, difração, difusão e absorção. Sendo que, para restringir a luz direta do Sol, o controle da reflexão é o mais importante princípio. O autor divide a reflexão em especular, espalhada, difusa e composta.

De acordo com ENERGY CONSCIOUS DESIGN (1993) o controle da luz direta ou difusa do Sol é importante para obtenção do conforto visual, já que reduz o brilho. O controle pode ser alcançado pela incorporação de superfícies permanentes ou móveis no exterior da edificação para reduzir a visão do céu ou utilizando elementos móveis no interior para reduzir a luminância da janela. Três elementos são apontados pelo referido livro: lightshelf, elementos prismáticos e venezianas refletoras. A redução do contraste excessivo pode ser obtido pelo uso de cor nas paredes da edificação. As superfícies coloridas ajudam a melhorar a distribuição interna.

GUZOWSKI (2000) acredita que, a resposta ambiental ao controle da luz e ao conforto térmico pode ser obtida pela utilização de novas tecnologias relacionadas com o tipo de vidro combinadas com sistemas internos e externos de sombreamento.

Entretanto, o principal cuidado que deve-se ter na aplicação destes elementos de controle é com relação a perda do contato visual com o exterior e a diminuição dos níveis de iluminação internos.

2.5 Legislação Construtiva - Código de Obras e Edificações

O Código de Obras e Edificações (FLORIANÓPOLIS, 1996) é o instrumento regulamentador dos aspectos relativos à estrutura, função e forma das construções nas zonas urbanas e rurais do Município. Desta forma, ele é o responsável por garantir a qualidade ambiental das construções.

Entretanto, ao analisá-lo vemos que os aspectos referentes ao dimensionamento da abertura para ventilação e iluminação dos compartimentos ficam restritos a duas relações simplificadas. Uma para ventilação e iluminação onde tem-se a relação área de janela (A_j) por área de piso (A_p) como mostra a Tabela 2-1. E outra relação que determina a profundidade (P) do ambiente em razão de sua altura - pé direito (H), como mostra a Tabela 2-2.

Tabela 2-1: Critério para dimensionamento da abertura

Tipo de compartimento	Critério $A_j / A_p >$
Compartimentos habitáveis	$1/6$
Compartimentos não habitáveis	$1/8$

Fonte: Código de Obras e Edificações (FLORIANÓPOLIS, 1996)

Tabela 2-2: Critério para determinação da profundidade em função do pé-direito

Tipo de compartimento	Critério $P <$
Compartimentos habitáveis	$2,5 \times H$
Compartimentos não habitáveis	$3,0 \times H$

Fonte: Código de Obras e Edificações (FLORIANÓPOLIS, 1996)

Nos códigos de outros países como da Inglaterra e Alemanha, a garantia da penetração da iluminação natural é função do *Daylight Factor* - *DF* (LITTLEFAIR, 2001). O *DF* consiste na divisão da iluminância interna pela iluminância externa, conforme mostra a Equação 2-1.

$$DF = \frac{(\text{Iluminância interna no ponto de interesse})}{(\text{Iluminância externa com céu desobstruído})} \times 100\% \quad [2-1]$$

Fonte: ENERGY CONSCIOUS DESIGN, 1993

2.6 Uso final da iluminação elétrica

A iluminação artificial, além de possuir inúmeras desvantagens com relação a iluminação natural pode também ser a principal responsável pelos gastos com energia elétrica. De acordo com dados do EIA (1994) apud GHISI (1997), a iluminação artificial é a principal responsável pelo uso final médio de eletricidade consumido em diferentes tipos de edifícios nos Estados Unidos (Tabela 2-3).

Tabela 2-3: Uso final de eletricidade para edifícios nos Estados Unidos

Uso final	(%)
Iluminação	39
Outros equipamentos	16
Equipamentos de escritório	14
Ventilação	10
Refrigeração	10
Geladeiras	7
Aquecimento/ Cocção/ Aquecimento d'água	6

Fonte: EIA ,1994 apud GHISI, 1997

Tabela 2-4: Uso final de eletricidade para edifícios comerciais e públicos de São Paulo

Uso final	(%)
Iluminação	44
Ar condicionado	20
Refrigeração	17
Cocção	8
Outros	11

Fonte: GELLER, 1994

No cenário brasileiro este panorama não é muito diferente. GELLER (1994) relata a dificuldade em se obter estes tipos de dados numa análise para o Brasil inteiro. Entretanto o autor nos mostra o levantamento de usos finais para edifícios comerciais e públicos de São Paulo (Tabela 2-4), que apontam para os dados do cenário brasileiro. Estes dados confirmam a real importância em otimizar o uso da iluminação natural com intuito de economizar gastos desnecessários com energia elétrica.

2.7 Quantidade de iluminação no plano de trabalho

Para desempenhar uma atividade que necessite visibilidade, as pessoas necessitam de iluminação mínima no ambiente. O desempenho da tarefa visual é, de acordo com PEREIRA e SOUZA (2000), dependente de 4 fatores: luz, contraste, tamanho e tempo. O mais importante deles é a luz, sendo o único dos fatores a ser regulamentado por norma. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma NBR 5413 (ABNT, 1991) fixa valores de iluminação mínimos em função do tipo de atividade visual ou tarefa visual. Tarefas visuais que envolvam muitos detalhes, precisão e baixos contrastes, requerem maiores níveis de iluminação.

PEREIRA (1994) aponta que a iluminância média para desempenhar uma determinada tarefa visual depende da combinação de quatro elementos: cena visual (tarefa visual), idade dos observadores, importância da velocidade e acuidade visual no desempenho visual e refletância da tarefa (do fundo no qual os detalhes são vistos).

As atividades em sala de aula necessitam de iluminação qualificada, uma vez que temos atividades específicas que vão desde ler e escrever no caderno a ler e escrever no quadro negro, variando bastante a distância entre o observador e a tarefa visual. Cada tarefa específica exige um nível mínimo de iluminação.

De acordo com vários autores (MILLS, 1999; BAKER, 1993; ENERGY CONSCIOUS DESIGN, 1993) os níveis de iluminação recomendados para salas de aula são diferenciados em função da atividade desenvolvida, onde o quadro negro merece atenção especial. Segundo estes autores o nível de iluminação no quadro negro deve possuir índices maiores que no restante do ambiente.

A NBR 5413 (ABNT, 1991) estabelece a iluminância de 300 lux para salas de aula onde os usuários apresentem idade inferior a 40 anos, onde a velocidade e precisão de execução da tarefa visual seja importante e onde a refletância de fundo da tarefa seja superior a 30% e inferior a 70%. A recomendação da NBR 5413 (ABNT, 1991) para valores de iluminância no quadro negro é de 500 lux.

MILLS (1999) estabelece uma comparação entre os níveis requeridos de iluminância em salas de aula (nível geral e específico para o quadro negro) ao longo dos anos para diferentes países. Para a iluminação geral em 1990, os valores vão de 200 a 550 lux. Já para iluminação do quadro negro, os valores vão de 250 a 700 lux.

De acordo com BAKER (1993), os níveis de iluminação recomendados no plano de trabalho para atividade escolar variam entre 300 a 500 lux, dependendo da tarefa visual desempenhada.

2.8 Iluminação natural em escolas

Em 1874, depois do Ato Educacional de 1870, os arquitetos ingleses já se preocupavam com o estudo de iluminação natural em escolas. O princípio formulado na época é que a iluminação deveria vir da lateral, especialmente do lado esquerdo para que o braço não sombreasse a tarefa visual. Nesta época, na Inglaterra já usava-se uma relação semelhante a área de janela por área de piso como critério do dimensionamento das aberturas. A área de janela deveria corresponder aproximadamente a 20% da área do piso (BAKER, 1993).

De acordo com LYNES (1968) a escola foi o primeiro e grande exemplo depois da guerra, da preocupação com a luz natural. A preocupação com a iluminação natural em escolas da Inglaterra, gerou um alerta para algo antes nunca pesquisado: a abundância de luz pode ser maléfica. Esta preocupação foi despertada em função do

desconforto visual e térmico provocado pela incidência direta do Sol nas crianças que estavam sentadas em áreas próximas das janelas.

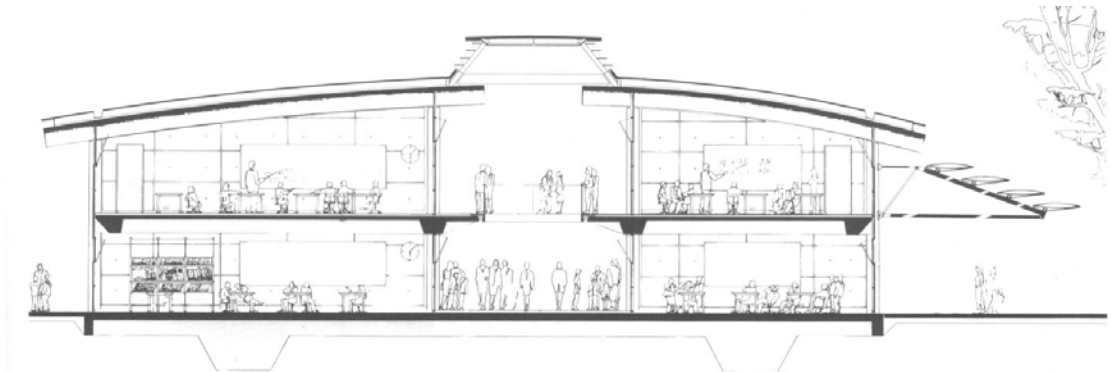


Figura 2-14: Escola Lycée Albet Camus, Fréjus, Côte d'Azur, França - Arq. Norman Foster (Fonte: YANNAS, 1994-b)

Com o passar dos anos, percebe-se cada vez mais a importância da iluminação natural nas escolas inglesas. A iluminação natural em escolas é visto como elemento de fundamental importância para a qualidade do ambiente. A edificação escolar é um dos tipos de edificações onde tem-se maior interesse na aplicação de estratégias que promovam o conforto térmico e o aproveitamento da iluminação natural. Não é gratuito que arquitetos como Norman Foster (Figura 2-14) e James Stirling (Figura 2-15) tenham se dedicado à estudos específicos para escolas. Isto é comprovado pelos estudos de YANNAS (1994-a) no Reino Unido e na Europa (YANNAS, 1994-b) e através do livro *PASSIVE SOLAR SCHOOLS: A DESIGN GUIDE*, 1994.



Figura 2-15: Faculdade de História de Cambridge, Reino Unido – Arq. James Stirling (Fonte: GALLO, 1983)

CORREA (1999) preocupada com a questão do conforto visual em salas de aula promoveu estudos com 2 diferentes tipos de abertura: lateral e lateral com light-shelf. A abertura lateral apresentava lâminas de plástico branco como elemento de controle. Já a abertura com light-shelf apresentava aletas de alumínio na parte superior da janela acima do elemento light-shelf e filtro plástico preto translúcido na parte inferior da abertura. A abertura lateral apresentou problemas de alto contraste de luminâncias principalmente entre o quadro negro e a janela, enquanto que a abertura lateral com light-shelf apresentou uma relação balanceada de luminâncias entre as superfícies analisadas.

O estudo comprovou que a geometria e a posição da abertura combinada com elementos de controle podem proporcionar um ambiente visual adequado com uma distribuição de luminâncias equilibrada.

DOBRIN (1998) analisa a importância da geometria da abertura em salas de aula para o alcance de uma distribuição de iluminação adequada. Seus estudos mostram que é possível reduzir a área envidraçada em mais de 30%, sem comprometer a performance da iluminação interna das salas.

Recentemente, FONTOYNONT (1999) analisando a performance da iluminação natural em edifícios distribuídos por toda a Europa dedicou um capítulo de sua obra para analisar edificações escolares. Segundo ele, a sala de aula é melhor iluminada se a abertura estiver locada do lado esquerdo (iluminação unilateral), devido a maioria dos indivíduos serem destros. Entretanto, se o ambiente também dispor de iluminação na outra lateral (iluminação bilateral) suplementando a primeira, isto será benéfico para incrementar o *DF* interno. O ambiente, desta forma, terá uma iluminação mais uniformemente distribuída, diminuindo a necessidade de iluminação artificial. O autor também ressalva a necessidade de elementos móveis que garantam o sombreamento do quadro negro e seu entorno imediato a fim de evitar reflexões que causem desconforto visual.

Para utilização da iluminação natural na atividade escolar, sugere-se o uso combinado da abertura lateral integrada com aberturas zenitais. A abertura lateral, além de proporcionar a entrada da luz também seria responsável pelos aspectos físicos relacionados principalmente com a ventilação natural e subjetivos (contato visual com o exterior). A iluminação zenital teria a função principal de melhorar a distribuição e a penetração da luz natural em regiões mais afastadas da abertura principal.

Os sistemas de iluminação zenital apresentam-se mais indicados para o tipo de atividade em estudo. No sistema zenital de aberturas, mesmo com elementos de proteção, a luz necessita de apenas uma reflexão para penetrar no interior do ambiente. Com a presença de elementos de proteção no sistema lateral, a luz necessita de mais reflexões, perdendo sua força através da dissipação de luz em cada reflexão. Outra questão importantíssima a favor da iluminação zenital é o fato da superfície brilhante de controle da insolação (que proporciona a reflexão) não estar no campo visual do observador, evitando possíveis brilhos excessivos, ofuscamentos ou desconforto visual. Já nos sistemas de abertura laterais as superfícies de controle geralmente estão no campo visual dos usuários.

Como uma das maiores críticas para empregar-se componentes de passagem zenitais é a sua aplicabilidade se restringir apenas a edifícios térreos ou com poucos andares, esta limitação fica anulada pois as escolas da rede municipal de ensino são térreas ou no máximo com 2 pavimentos. O arquiteto Renzo Piano emprega estes conceitos de iluminação zenital integrados com a iluminação lateral na galeria Menil Collection (Figura 2-16a e 2-16b), enriquecendo de maneira especial o espaço arquitetônico.

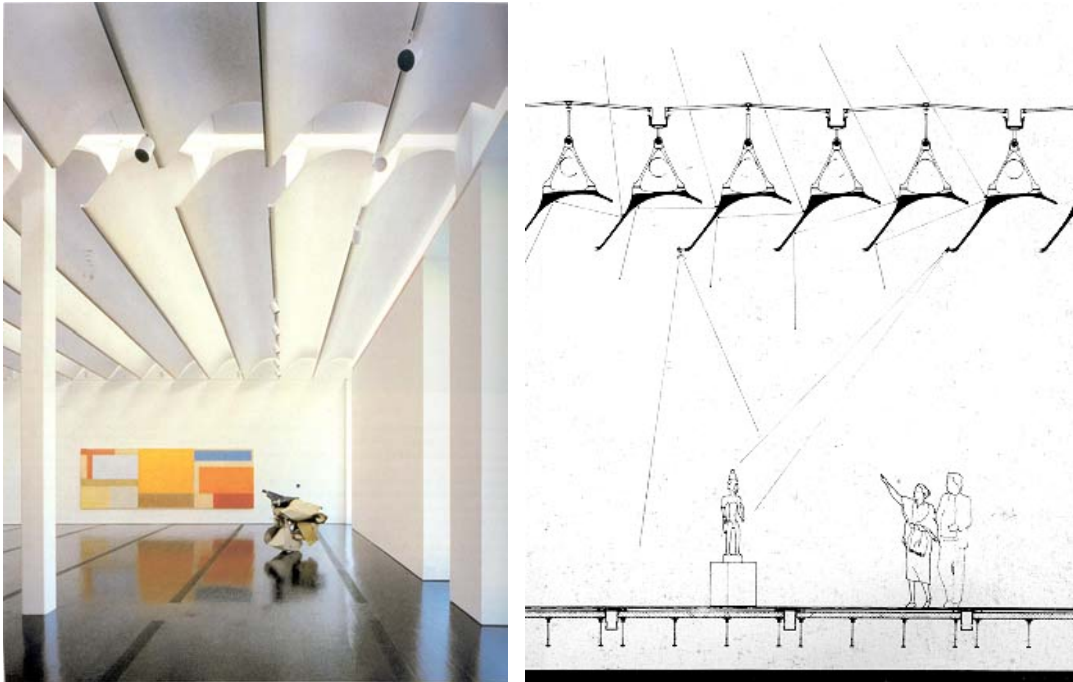


Figura 2-16a (esquerda): Foto interna da Galeria Menil Collection, Houston, EUA – Arquiteto Renzo Piano
 Figura 2-16b (direita): Esquema em corte do sistema de iluminação da mesma galeria (Fonte: GÖSSEL, 1996)

Alguns exemplos da aplicação destes 2 sistemas integrados podem ser percebidos em países vizinhos como a Argentina (ROSA, 1999), onde uma reestruturação do sistema nacional de educação promoveu a construção de novas escolas eficientes energeticamente que utilizam estes 2 sistemas de iluminação integrados (MITCHELL, ____). No Brasil, o descaso do Governo para estas questões e a limitada verba para as pesquisas com este cunho, limitam a aplicação prática dos pesquisadores. Projetos que levem realmente em consideração a aplicação dos recursos bioclimáticos (Figura 2-17, 2-18a e 2-18b) são reduzidos a cunho acadêmico-científico sem nenhuma aplicação prática (KREMER, 2000).

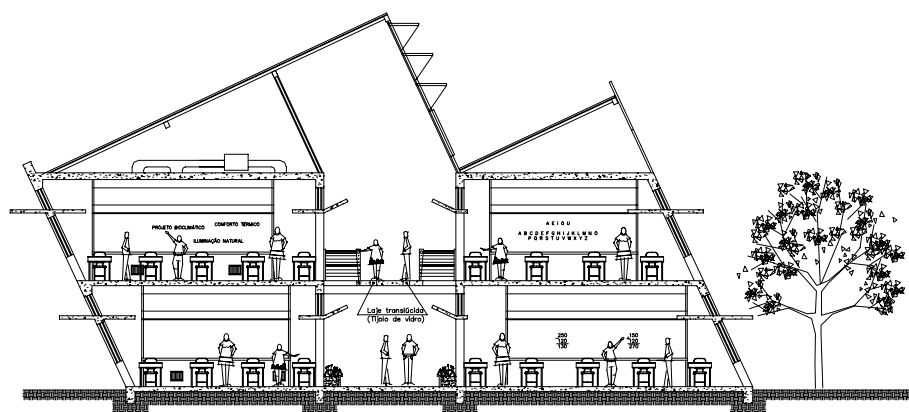


Figura 2-17: Corte do projeto da escola bioclimática para Lages, SC (Fonte: KREMER, 2000)

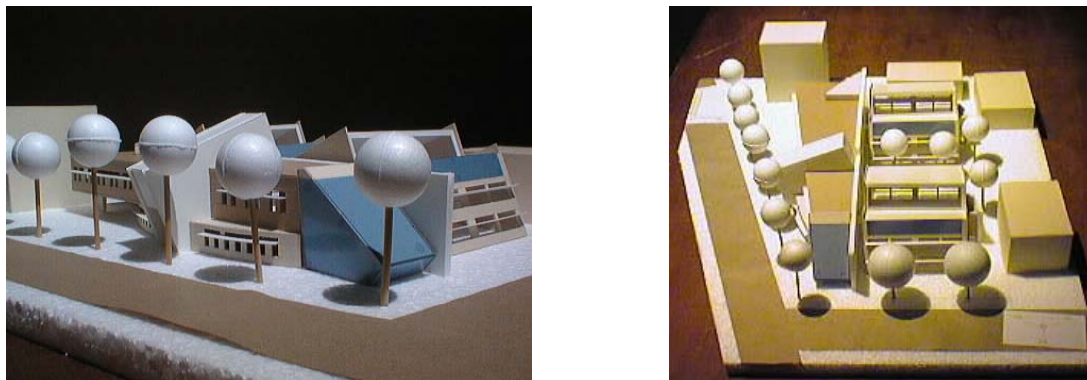


Figura 2-18a e 2-18b: Fotos da maquete para escola bioclimática em Lages, SC (Fonte: KREMER, 2000)

2.9 Parâmetros de avaliação de desempenho da iluminação natural

Para o desempenho da tarefa ocorrer de forma agradável, satisfazendo às necessidades do usuário e sem desconforto visual é fundamental que o ambiente esteja proporcionando um ambiente visual confortável. Para avaliar se este ambiente visual está proporcionando iluminação adequada aos seus usuários, diversos parâmetros são adotados com o intuito de avaliar a qualidade e a quantidade de iluminação.

A qualidade da iluminação está relacionada com fatores qualitativos que buscam evitar distúrbios na visão normal dos objetos, relacionados com a fonte de luz, a presença de ofuscamento, a qualidade espectral da luz, o contraste de cores e outros. Já a quantidade de iluminação está relacionada diretamente com o nível de iluminação (iluminância) e sua distribuição espacial.

Como parâmetros de avaliação podem ser citados a proporção de luminâncias - contraste, a iluminância média e parâmetros relacionados com a distribuição como as curvas de iluminação (curvas isolux e isoDF), o coeficiente de variação, a uniformidade e a diversidade.

2.9.1 Proporção de luminâncias - contraste

A luminância é a intensidade de luz refletida (ou transmitida) por uma superfície em determinada direção (HOPKINSON, 1966). De acordo com PEREIRA e SOUZA (2000), a luminância pode ser considerada como uma medida física do brilho de uma superfície iluminada ou fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam. A luminância é uma excitação visual e a sensação de brilho é a resposta visual desse estímulo.

De acordo com REA (1995) o brilho das diferentes superfícies do campo visual devem apresentar variações dentro de certos limites. Quando o olho humano fixa em uma tarefa é necessária uma adaptação visual. Por exemplo, quando olha-se primeiramente para um livro e depois para o quadro negro, o olho necessita promover uma adaptação ao novo nível de luminância. Se existe uma diferença muito grande entre estes dois níveis, o tempo requerido pelo olho para adaptar-se a nova luminância é muito grande, podendo ocorrer desconforto.

O contraste é definido como a diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Subjetivamente falando, contraste é a determinação da diferença em aparência de duas partes do campo visual. O contraste depende não só do nível de iluminação, mas principalmente das características de reflexão dos elementos envolvidos (PEREIRA e SOUZA, 2000). De acordo com LAMBERTS et al (1997), a

sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação até certos limites (possibilidade de ocorrer ofuscamento).

Desta maneira, um ambiente pode ser avaliado luminicamente em termos qualitativos através do seu contraste. A avaliação do contraste é realizada em função das taxas de proporção de luminâncias (Tabela 2-5). REA (1995) em específico para a atividade escolar em salas de aula é mais rigoroso, apresentando, através da Figura 2-19, recomendações das proporções que devem ser respeitadas para a boa performance visual.

Tabela 2-5: Proporções de luminâncias mínimas recomendadas

Proporção	Relação
3:1	Entre a tarefa e o entorno imediato (adjacente)
10:1	Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas
0,1:1	Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas
20:1	Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes
40:1	Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão

(Fonte: Lamberts et al., 1997)

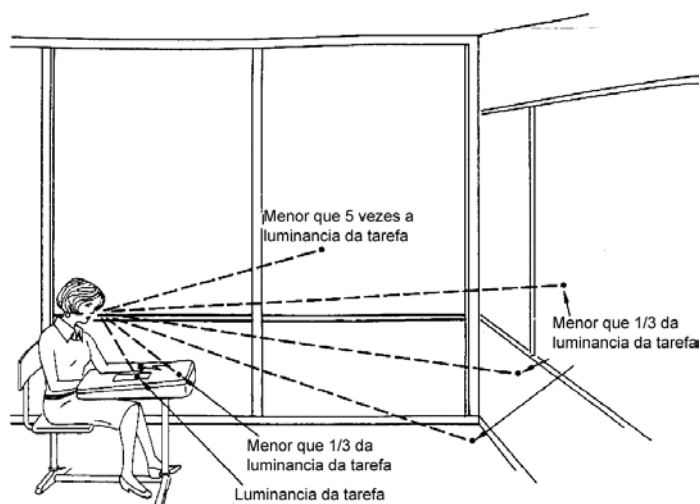


Figura 2-19: Recomendação de proporção de luminâncias para salas de aula (Fonte: REA, 1995)

2.9.2 Níveis de iluminação (Iluminância média)

A iluminância é definida como a medida da quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área. A iluminância é função da distância entre a fonte e a superfície analisada. À medida que a fonte se distancia da superfície, o fluxo se expande cada vez mais tornando-se menos denso, ou seja, aumenta-se a área abrangida pelo fluxo, mas a intensidade é menor.

A caracterização do nível de iluminação de um ambiente é resultado da medida da iluminância em diversos pontos do ambiente. A determinação da localização e do número de pontos, assim como todos os procedimentos necessários para a medição de iluminância estão presentes no Projeto de Norma ABNT (1999): *Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição.*

Através da média dos dados obtidos pela medição de iluminância determina-se o valor da iluminância média. Este é o parâmetro mais utilizado para análises de iluminação. A NBR 5413 (ABNT, 1991) fixa iluminâncias mínimas a serem atingidas em função do tipo de atividade (tarefa visual).

Usualmente, o valor da iluminância média é retirado do plano de trabalho horizontal (altura de 70 a 90cm), caracterizando a iluminação planar. Contudo somente a iluminação planar não descreve totalmente as condições de iluminação, principalmente se o objeto central da tarefa visual é tridimensional. Nestes casos é necessária o emprego da iluminação escalar e do vetor iluminação. A iluminação escalar caracteriza-se como a iluminância média recebida por uma pequena esfera, proveniente de todas as direções, ou seja, o fluxo total incidente na esfera dividido pela sua superfície. Já o vetor iluminação é uma figura composta, apresentando magnitude e direção. Sua magnitude é a diferença máxima de iluminação entre dois pontos diametralmente opostos na superfície de uma pequena esfera. Sua direção é dada pelo diâmetro que liga os dois pontos que apresentam a máxima diferença. PEREIRA (2001) utilizou a taxa vetor iluminação/ iluminação escalar associada com a direção do vetor como parâmetro de análise para estimar a direcionalidade da luz e suas qualidades.

O nível de iluminação pode ser correlacionado com o rendimento visual e fadiga visual. Como regra geral, quanto maior for o nível de iluminação médio melhor será a nitidez da imagem vista pelo olho. Entretanto, níveis elevados de iluminação podem gerar fadiga visual sem melhora do rendimento visual (PEREIRA e SOUZA, 2000).

2.9.3 Distribuição dos níveis de iluminação

A análise quantitativa do nível de iluminação de um ambiente não é suficiente para caracterizá-lo visualmente. Aspectos relacionados com a qualidade também devem ser utilizados na análise da iluminação natural. Dos aspectos relacionados com a qualidade, a distribuição apresenta-se como um dos fatores de maior importância. A distribuição está associada as variações dos níveis de iluminação no mesmo ambiente.

De acordo com a LD+A (1997), uma grande amplitude de valores de iluminância proporcionam uma distribuição irregular da iluminação interna e conseqüentemente podem ser causa de desconforto visual. Já uma distribuição mais uniforme ocasionará uma melhor performance das atividades por parte do usuário. Contudo, ambientes excessivamente uniformes sem variação na distribuição dos níveis de iluminação poderão ocasionar cansaço visual nos seus usuários.

A distribuição dos níveis de iluminação deve apresentar um equilíbrio entre a uniformidade e o contraste, tomando-se cuidado para evitar variações acentuadas dos níveis sobre uma mesma área de trabalho. Estas grandes variações irão necessitar adaptação visual do olho, reduzindo o desempenho e afetando o nível de conforto visual.

A distribuição dos níveis de iluminação podem ser analisados em função de diversos parâmetros, entre eles destacam-se as curvas isolux, as curvas isoDF, o coeficiente de variação, a uniformidade e a diversidade.

① **Curvas isolux:**

É o parâmetro mais utilizado para análises de distribuição de iluminâncias, uma vez que sua visualização permite rapidez e facilidade no entendimento do comportamento da distribuição, além de ser a forma de análise

(gráficos/ figuras) mais familiarizada com a linguagem utilizada pelos projetistas, em especial, os arquitetos. As curvas isolux caracterizam-se pelo mapeamento da iluminância no plano de trabalho. Este mapeamento é definido por limites de níveis de iluminação expressos por curvas de contorno, as chamadas curvas isolux. Desta maneira, as curvas isolux definirão áreas que se apresentam dentro de um mesmo intervalo de iluminação.

De acordo com a CIBSE (1993), as curvas isolux constituem um diagrama que mostra curvas de igual iluminância, desenhadas em um sistema de coordenadas apropriado para exibir todos os pontos de mesmos valores de iluminância. As curvas isolux permitem a realização de análises e interpretações rápidas e diretas de dados de iluminação, sem requerer que estes dados tenham um tratamento. O formato apresentado por estes gráficos também facilita a comparação entre diversas situações. As curvas isolux podem apresentar-se de forma bidimensional ou tridimensional, enquanto que os contornos das curvas podem ser em forma de linhas, ou em uma escala de cores ou ainda os dois conjugados.

② Curvas isoDF ou isoFLD

Similar as curvas isolux, as curvas que trabalham com o *DF* (*Daylight Factor*) ou *FLD* (Fator de Luz Diurna) constituem um diagrama que mostra curvas de igual *DF* ou *FLD*, definindo áreas que se apresentam dentro de um mesmo intervalo. Estas curvas baseadas no método gráfico facilitam o entendimento dos resultados e permitem sua compreensão através de uma visualização rápida. As curvas iso*DF* ou iso*FLD* também podem apresentar-se de forma bidimensional ou tridimensional, enquanto que os contornos das curvas podem ser em forma de linhas, ou em uma escala de cores ou ainda os dois conjugados.

③ Coeficiente de variação

É uma medida estatística de dispersão relativa dos dados de iluminância para determinada situação. A grande vantagem do coeficiente de variação é caracterizar a dispersão dos dados em termos relativos ao seu valor médio. Segundo NANNI (1986) e IEMMA (1992) apud CABÚS (1997), o coeficiente de variação é uma medida útil quando se quer comparar as variabilidades de várias amostras com médias de diferentes ordens de magnitude.

O coeficiente de variação é utilizado para analisar o desempenho do ambiente quanto a variabilidade dos dados com vistas a distribuição interna da iluminação. Ele é de fundamental importância para indicar o grau de variação existente no conjunto dos dados medidos para cada situação e ambiente.

O coeficiente de variação (c.v.) é dado em porcentagem (relativo) em função da relação do desvio padrão (*s*) pela iluminância média (E_m), conforme a Equação 2-2.

$$\text{c.v.} = \frac{s}{E_m} \times 100\% \quad [2.2]$$

Fonte: CABÚS, 1997

④ Uniformidade

A uniformidade pode ser definida como a razão da iluminância mínima (E_{\min}) pela iluminância média ($E_{\text{méd}}$), sendo que valores próximos a 1 (um) caracterizam uma distribuição altamente uniforme. Segundo a CIBSE (1993) a uniformidade é muito importante na análise da área de trabalho e do seu entorno imediato.

A CIBSE (1993) recomenda que a uniformidade relacionada com nível de iluminação não pode ser menor que 0,8 para a área de trabalho e seu entorno imediato. Com relação ao ambiente inteiro, a entidade restringe-se a comentar que este valor não precisa ser respeitado para o ambiente inteiro.

⑤ Diversidade

A diversidade relacionada com iluminação é expressa como sendo a razão da iluminância máxima ($E_{\text{máx}}$) pela iluminância mínima (E_{\min}). A CIBSE (1993) recomenda que a relação da diversidade não pode ser superior a 5:1. Este valor diz respeito a diversidade na área de trabalho e na região formada por um perímetro que diste 0,5m da área de trabalho. Assim como a uniformidade, não se faz referência do valor indicado para analisar a diversidade do ambiente inteiro.

2.10 Índice de refletância das superfícies internas

A quantidade e a qualidade da iluminação natural são diretamente dependentes da penetração da luz proporcionada pelo tipo de sistema de abertura empregado. Entretanto, este não é o único fator de influência. Após a luz ter penetrado no interior, ela é refletida pelas superfícies interiores e a quantidade de luz refletida é função do índice de reflexão destas superfícies. O índice de refletância além de ser importante sob o ponto de vista quantitativo também apresenta influência no aspecto da qualidade da iluminação. Esta qualidade diz respeito ao fato das superfícies com índice de refletância alto apresentarem a virtude de iluminarem os locais mais profundos do ambiente, melhorando a distribuição interna e reduzindo os contrastes.

Em geral, o índice de reflexão do teto é o que exerce maior influência no nível de iluminação interno. Como o plano de trabalho está paralelo ao teto, esta superfície é a mais “*enxergada*” pelo plano de trabalho (fator de forma). Ao mesmo tempo que o teto é a superfície mais “*enxergada*” pelo plano de trabalho, ela é uma das superfícies menos “*vistas*” pelo olho humano e desta forma, pode apresentar índices de refletância mais elevados sem causar problemas de desconforto visual.

SOUZA et al (2001-a) e SOUZA et al (2001-b) estudaram a influência do índice de refletância das paredes e do teto no comportamento interno do nível de iluminação de uma sala de aula. Nestas pesquisas, o índice de refletância original das paredes e do teto foi reduzido em 15, 30, 50 e 75%. A redução de 75% dos valores de refletâncias originais, ocasionou uma redução média de 50% do valor da iluminância média do ambiente, demonstrando a grande importância do índice de reflexão das superfícies internas no comportamento da iluminação natural.

REA (1995) através da Figura 2-20 recomenda valores do índice de refletância para salas de aula.

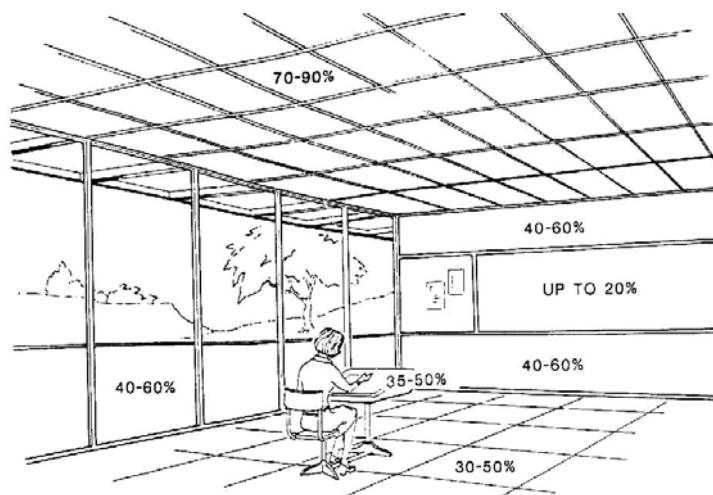


Figura 2-20: Recomendação do índice de refletância para salas de aula (Fonte: REA, 1995)

Sendo assim, a quantidade e a qualidade da iluminação não é função apenas do tamanho, formato e colocação das aberturas, mas também do índice de refletância das superfícies internas, representando todos estes elementos uma significativa contribuição para a iluminação total do ambiente (HOPKINSON, 1966).

2.11 Ferramentas de avaliação da iluminação

Para avaliar iluminâncias foram desenvolvidos diversos métodos que partem de modelos simplificados até ferramentas complexas de cálculo. Basicamente pode-se distinguir estas ferramentas em 3 grandes grupos: métodos simplificados (métodos matemáticos e gráficos), simulação com modelos físicos em escala e simulações com ferramentas computacionais (BAKER, 1993).

2.11.1 Métodos simplificados

Os métodos simplificados podem ser ferramentas de fácil aplicação e permitem uma análise rápida, sem exigir a confecção de um modelo real ou computacional. Entretanto, não são indicadas para estudos paramétricos em razão de analisarem uma situação de cada vez. Os estudos com métodos simplificados também possuem a limitação de serem baseados em suposições teóricas inerentes a aplicação (SOUZA, 1997).

BAKER (1993) analisa diferentes métodos gráficos e matemáticos em função de alguns parâmetros. Nele são analisados: métodos matemáticos, como o método dos lúmens; métodos gráficos como o diagrama de pontos e diagrama de Waldram; e métodos tabulares. SOUZA (1997) discorre sobre vários métodos simplificados como: diagrama da BRS (*Building Research Station*), métodos de grade, método do fluxo total, coeficientes de luz natural, diagramas de Waldram e diagramas Pepper-Pot.

2.11.2 Modelos físicos em escala

A utilização de modelos em escala para estudo da iluminação natural no ambiente interno é indicado sobretudo para analisar situações diferentes ou em estudos com formas complexas, onde as formas não são as usuais (formas ortogonais). Ele também é indicado para estudo em janelas com alto grau de obstrução.

Embora a escala do modelo não tenha influência no fenômeno desde que o modelo apresente as proporções corretas do modelo original, deve-se ter cuidado na representação das cores e texturas dos materiais empregados.

Segundo PEREIRA (1995), as principais vantagens do estudo através de modelos são:

- ☺ Mesmo com a utilização de modelos simplificados, os dados quantitativos obtidos podem ser precisos;
- ☺ Indicado para lidar com geometrias complexas;
- ☺ Facilidade nas comparações pela simplicidade na variação de parâmetros;
- ☺ Possibilidade de avaliações qualitativas seja pela observação direta ou por registros fotográficos;
- ☺ Objeto familiar aos projetistas na prática de projeto;
- ☺ A visualização do modelo ilustra e proporciona a comunicação com outros membros da equipe e clientes.

Entretanto, os modelos em escala possuem 2 desvantagens cruciais. A primeira diz respeito a dificuldade em realizar estudos paramétricos onde tenha-se uma enormidade de soluções a serem investigadas. Para o estudo com dezenas de propostas teriam que ser confeccionados dezenas de modelos, exigindo recursos financeiros altos (BAKER, 1993). A segunda é a forma como são desenvolvidos os estudos. O desenvolvimento dos estudos em escala reduzida depende de condições ambientais propícias ou condições laboratoriais complexas. Esta dependência aumenta consideravelmente o tempo necessário para realização de estudos.

2.11.3 Métodos computacionais

Atualmente, os métodos computacionais vêm ganhando cada vez mais destaque na análise da iluminação natural. Há pouco tempo a análise computacional demandava computadores poderosos e raros além de um elevado tempo de processamento. Mas, em razão do grande avanço tecnológico na área da informática, os softwares estão ganhando recursos e realizando simulações rápidas que podem relatar com grande aproximação o fenômeno prático.

A simulação numérica computacional é uma ferramenta de avaliação abstrata baseada em equações matemáticas que retratam os fenômenos físicos. BAKER (1993) apresenta a análise de 36 programas para avaliar iluminação, enquanto o "Software Survey Subcommittee of the IESNA Computer Committee" (LD+A, 1998), avalia 37 programas computacionais.

A principal questão destas ferramentas é se elas são realmente válidas. Quando um projetista as utiliza é importante saber o nível de confiança dos seus resultados. Com este intuito a comparação e a validação são essenciais, como realizaram MOECK (1998) e HOUSER (1999). MOECK (1998), em seus estudos com sistemas de persianas prismáticas utilizou o software Radiance comprovando a sua eficácia. HOUSER (1999) desenvolveu pesquisas para validar a precisão de 2 ferramentas computacionais: *Lightscape* (Figura 2-21) e *Radiance*.

De uma forma geral, pode-se creditar vantagens aos métodos computacionais frente aos outros. Dentre estas vantagens podem ser citados as seguintes características:

- ☺ Facilidade e flexibilidade no desenvolvimento de estudos paramétricos;
- ☺ Processamento dos cálculos: utiliza cálculos numéricos que retratam com grande aproximação o fenômeno real da propagação da luz;

- ☺ Rapidez: realização de cálculos extensos com pouco tempo de processamento;
- ☺ Total independência de fatores externos como a condição de céu, hora do dia e época do ano;
- ☺ Possibilidade de efetuar pesquisas em ambientes não construídos;
- ☺ Facilidade de promoção de ajustes no modelo computacional;
- ☺ Economia de tempo e recursos pela não necessidade de construção de modelos físicos;
- ☺ Facilidade de visualização da análise.

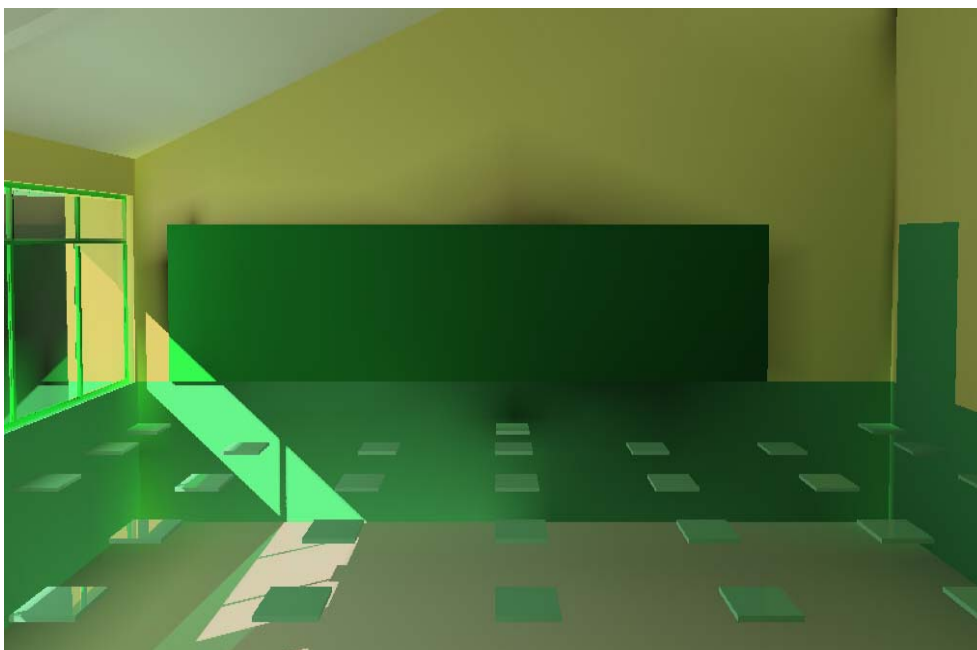


Figura 2-21: Estudos de iluminação através de simulação computacional com o software *Lightscape v. 3.2*

Existem basicamente 2 algoritmos de cálculo empregados nos softwares de simulação de iluminação: o método “*ray-tracing*” e o método “*radiosity*”, ou radiosidade (WALLACE et al, 1987; HOUSER, 1999; LIGHTSCAPE, 1996). De acordo com CLARO (1998), estes modelos de cálculo podem ser considerados de maior consistência na fundamentação física.

O “*ray-tracing*”, que pode ser traduzido como perseguição ao raio, utiliza o conceito de que o que o observador vê em um ponto de uma determinada superfície é o resultado da interação desta superfície neste ponto de vista com os raios oriundos diretos de uma fonte de luz ou através da reflexão e refração destes raios na incidência sobre outras superfícies (CLARO, 1998).

O método “*ray-tracing*” aplicado a partir de 1968 considera a luz como milhões de fótons, que saem da fonte de luz até encontrarem uma superfície. As propriedades físicas dessa superfície é que determinarão a quantidade de fótons que serão absorvidos, refletidos ou transmitidos. A iluminação final do ambiente é dada pela interação entre estes fótons e estas superfícies. Os primeiros fótons a serem considerados no cálculo são aqueles que atingem os olhos do observador, ou seja, o algoritmo deste método de cálculo trabalha com o percurso inverso dos raios

luminosos, voltando do observador até a interseção com a superfície (LIGHTSCAPE, 1996), conhecido como “*ray-tracing*” recursivo.

Embora o “*ray-tracing*” seja o método mais completo para trabalhar com modelos de iluminação, reflexão e transmissão especular, o mesmo não pode ser dito com relação aos efeitos da iluminação ambiental global. Sendo assim, surge o método da radiosidade que considera a maioria das superfícies como refletores difusos.

O método da radiosidade baseia-se em um cálculo matricial de interações sucessivas até que se atinja um equilíbrio (pequena variação pré-estabelecida) no balanço de energia radiante no interior do ambiente. De acordo com isso, a luz que sai de uma superfície (radiosidade) é resultado da luz incidente que é refletida ou transmitida e da própria luz emitida. Entretanto, o somatório da luz que atinge uma superfície é resultado de relações geométricas (fator de forma) entre todas as superfícies refletoras e transmissoras, e da própria luz que deixa todas as outras superfícies (Cohen et al., 1985). A maior dificuldade do método é o cálculo do fator de forma que deve ser calculado para cada parcela receptora em relação a todas as outras emissoras (CLARO, 1998).

Admitindo que grande parte das superfícies são refletores difusos, Cohen et al. (1985) apoia-se em métodos desenvolvidos por Siegel et al. (apud Cohen et al., 1985) para determinar a troca de energia em “ambientes fechados” e em métodos de Goral et al. (apud Cohen et al., 1985) para implementação computacional da interação de luz entre superfícies difusas, surgindo um método simplificado amplamente utilizado para tratamento da luz difusa denominado hemi-cubo. O método do hemi-cubo desenvolvido por Cohen et al. (1985) surge para sanar a principal dificuldade do método da radiosidade, ou seja, o cálculo do fator de forma.

O método da radiosidade considera a superfície como sendo difusa com lumimância uniforme. Como isto não ocorre nos grandes planos da arquitetura, o método recorre aos elementos finitos para garantir a uniformidade (CLARO, 1988). Sendo assim, este método consiste em uma divisão inicial das superfícies em pequenas áreas (malha). O método da radiosidade calcula a quantidade de luz distribuída da fonte para cada uma dessas áreas, assim como, a reflexão destes elementos entre si. As superfícies refletem luz igualmente em todas as direções (perfeitamente difusoras) e métodos iterativos são responsáveis pelo cômputo final dos níveis de iluminação (LIGHTSCAPE, 1996).

2.12 Análise de trabalhos recentes

Vários trabalhos nos últimos anos tem se preocupado em avaliar quantitativamente e qualitativamente o desempenho da luz natural interna. Estes trabalhos apresentam diferentes metodologias e critérios de avaliação. A maior parte deles é baseada em avaliações paramétricas proporcionadas por simulações computacionais e utilizam principalmente as zonas de iluminância como critério de avaliação.

CABÚS (1997), propôs o método gráfico baseado na definição de zonas de iluminância. Este método é caracterizado pelo mapeamento da iluminância no plano de trabalho, onde são definidos limites de níveis de iluminação expressos pelas curvas isolux. Desta maneira, as curvas isolux definem áreas que se apresentam dentro de um mesmo intervalo de iluminação. Para definir estes intervalos, CABÚS (1997) utilizou como base a definição da ABNT (1991) que recomenda que a iluminação em qualquer ponto do ambiente não deve ser inferior a

70% da iluminância média deste ambiente. Por analogia o autor utilizou como limite superior 130% da iluminância média, classificando assim 3 regiões de mapeamento: excessiva, suficiente e insuficiente (Tabela 2-6).

Tabela 2-6: Classificação de iluminâncias por região de mapeamento

Iluminância (E)		
Região	Classificação	Intervalo
α	Excessiva	$E_{\alpha} > 130\%E_m$
β	Suficiente	$70\%E_m \leq E_{\beta} \leq 130\%E_m$
χ	Insuficiente	$E_{\chi} < 70\%E_m$

Fonte: CABÚS, 1997

A principal crítica a esta proposição de CABÚS (1997) diz respeito ao valor base de cálculo da iluminância média de referência. De acordo com o autor, o valor da iluminância média de referência é o valor médio da iluminância do ambiente para a situação em estudo. Sendo assim, o valor de referência varia de situação para situação, podendo ser superior ou inferior ao valor de iluminância mínima recomendado pela norma ABNT (1991). Desta maneira, o autor preocupa-se somente com o critério qualitativo da distribuição da iluminância, ignorando o critério quantitativo de iluminância mínima para realização da tarefa visual. Utilizando este critério, um conjunto com valores de iluminância baixíssimos onde o valor da iluminância média é, por exemplo, de 100 lux, vão ser classificados como zona com iluminância suficiente se estiverem entre 70% a 130% deste valor médio de 100 lux, ou seja, os valores de iluminância de 70 a 130 lux vão ser classificados como zona de iluminância suficiente, mesmo tendo valores muito abaixo do mínimo recomendado pela norma. Utilizando este mesmo exemplo, valores acima de 130 lux seriam considerados como excessivos, o que é uma incoerência sob o ponto de vista quantitativo.

Outro aspecto questionável do critério apresentado por CABÚS (1997) é o fato da classificação ser baseada em apenas 3 zonas: excessiva, suficiente e insuficiente. Esta classificação apoiada em somente 3 zonas pode ser ríspida em algumas situações, pois uma mínima variação do nível de iluminância, faz um ponto passar da zona suficiente para insuficiente ou da zona suficiente para excessiva. Uma classificação que contemplasse mais zonas poderia amenizar este tipo de radicalismo.

Outros autores como AMARAL (1999) e ZEILMANN (1999) também empregaram estas 3 zonas de classificação propostas por CABÚS (1997), aplicando-as da mesma maneira discutível em relação ao valor utilizado como iluminância média de referência.

TAVARES LEITE (2001) em seu estudo paramétrico baseado em simulações computacionais visando a avaliação da área, posição e forma das aberturas, utilizou como principal parâmetro de análise o FLD (Fator de Luz Diurna) ou *DF* (*Daylight Factor*). Mais especificamente, TAVARES LEITE (2001) utilizou gráficos de isoFLD para realização das análises e apoiada nos critérios do método sugerido por ROBBINS (1986) empregou zonas de abrangência de intervalos de isoFLD com respectivas classificações (insuficiente, aceitável e inaceitável). Este parâmetro possui grande respaldo, pois pode constatar facilmente o aproveitamento interno da iluminação natural já que utiliza a relação da iluminância interna dividida pela iluminância externa. Entretanto, a principal restrição para

aplicação deste parâmetro é a impossibilidade da realização de avaliações sob céu claro, uma vez que o FLD ou *DF* só pode ser aplicado para a condição de céu encoberto.

GRAZIANO JÚNIOR (2000) analisando o desempenho da light-shelf, utilizou três linhas imaginárias (próxima a uma parede, no centro e próxima a outra parede) perpendiculares à abertura com 20 pontos cada para retirada dos níveis de iluminação. O procedimento para verificar a redução no nível de iluminação à medida que afasta-se da abertura foi a iluminância média dos 3 pontos em uma determinada distância. Como o trabalho utilizou somente céu encoberto, sem presença de radiação direta interna, a média dos 3 pontos foi um parâmetro adequado para caracterizar o comportamento. Entretanto, em outras situações, não deve-se utilizar somente o valor da iluminância média como parâmetro de avaliação do comportamento da iluminação uma vez que a iluminância média deixa-se influenciar demasiadamente quando da incidência direta do Sol em algum ponto da malha medida.

A maioria dos recentes trabalhos desenvolvidos para avaliação paramétrica da iluminação natural, apresentam alguma restrição quanto a condição de céu empregada em suas pesquisas. Embora, AMARAL (1999) tenha mostrado em seus estudos a maior incidência do céu encoberto em Florianópolis, o céu claro não pode ser descartado como uma das condições a ser analisadas.

AMARAL (1999) através de análise de dados de radiação solar constatou que o céu encoberto é o que apresenta maior ocorrência em Florianópolis, seguido pelo céu intermediário e por último o céu claro. Sendo assim, utilizou em suas simulações apenas os 2 tipos mais freqüentes de céu caracterizados por seu estudo (céu encoberto e céu intermediário). Não promoveu estudos com céu claro.

CABÚS (1997), GRAZIANO JÚNIOR (2000) e TAVARES LEITE (2001) também limitaram-se a não utilizar céu claro em seus ensaios simulacionais. CABÚS (1997) utilizou somente o céu parcialmente encoberto, enquanto GRAZIANO JÚNIOR (2000) empregou somente céu encoberto. TAVARES LEITE (2001) utilizou o céu encoberto, justificando-se em AMARAL (1999) - tipo de céu majoritário da região. Outra razão que pode ter levado TAVARES LEITE (2001) a utilizar somente o céu encoberto foi o seu parâmetro de análise (*FLD*) que somente é aplicável sob esta condição de céu.

Em contraponto aos autores anteriores, ZEILMANN (1999) e MACÊDO (2002) utilizaram em suas pesquisas o céu claro. ZEILMANN (1999) empregou céu claro e encoberto. Em sua pesquisa, o céu claro foi utilizado para analisar o comportamento dos sistemas de controle solar frente a incidência de radiação solar direta. Já, o céu encoberto, foi empregado para verificar a redução dos elementos de controle no nível de iluminação interno.

MACÊDO (2002) promoveu medições sob céu claro pois o objetivo do seu trabalho era analisar o desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do Sol.

CABÚS (1997) além de propor a classificação das zonas de iluminância também utilizou o coeficiente de variação (c.v.) como parâmetro de avaliação da distribuição da iluminação nos diferentes padrões de ambientes compostos por geometrias diferenciadas de aberturas zenitais. Vale salientar que o seu trabalho foi inteiramente baseado em simulações computacionais sob condição de céu parcialmente encoberto, onde a performance da iluminação natural permanece praticamente constante pois não tem-se a variabilidade provocada pela presença do Sol. Por esta razão e pelo fato de ter utilizado o valor médio da situação como sendo o valor de referência para

classificação das zonas, o coeficiente de variação encontrado no trabalho de CABÚS (1997) apresentou valor muito baixo em todas as situações simuladas. Sendo assim, a relação encontrada pelo autor entre a zona suficiente e o c.v., onde tem-se a classificação ótimo para o c.v. menor que 15%, bom para o c.v. entre 15% a 20%, regular entre 20% a 25% e insuficiente para coeficiente maior que 25%, só poderia ser aplicada para esta condição de céu.

Já ZEILMANN (1999), para avaliar a distribuição da iluminação nos diferentes modelos com abertura zenital, aplicou o parâmetro proposto pela CIBSE (1983) da uniformidade e da diversidade. A limitação da avaliação destes parâmetros fica a cargo da CIBSE (1983) que apenas recomenda não ultrapassar a relação 5:1 da diversidade e para a uniformidade a entidade apenas recomenda que não deve ser inferior a 0,8. Desta maneira, se seguir fielmente a proposição da CIBSE, o ambiente apresenta uma avaliação muito rude, ou seja o ambiente é apenas avaliado se está de acordo ou não com estes parâmetros, não apresentando nenhuma classificação intermediária.

Na busca de melhorar estes critérios de avaliação, MACÊDO (2002) introduz faixas de classificação para avaliar a distribuição da luz natural baseada no critério da diversidade e no nível de iluminação (iluminância média). Em seu trabalho, a autora propõe diferentes faixas de classificação caracterizadas por conceitos e símbolos. Esta forma metodológica de avaliação dos resultados por categorias aplicando conceitos e símbolos é altamente válida principalmente no sentido de auxiliar e regir a execução de uma análise. Além disso, a associação de um símbolo visual facilita no entendimento rápido do resultado.

Com relação as faixas de classificação dos parâmetros adotados por MACÊDO (2002) sob o ponto de vista da iluminação temos a iluminância média interna classificada de acordo com a Tabela 2-7 e a distribuição de luz natural (diversidade) classificada em função da Tabela 2-8.

Tabela 2-7: Critério de avaliação da iluminância média interna

Símbolo	Conceitos	Critérios
●	Muito bom	Valores entre 1000 e 2000 lux
■	Bom	Valores entre 300 e 1000 lux
▲	Ruim	Valores entre 100 e 300 lux e entre 2.000 e 3.000 lux
◆	Muito ruim	Valores abaixo de 100 lux e acima de 3000 lux

Fonte: MACÊDO (2002)

Tabela 2-8: Critério de avaliação da distribuição de luz natural (diversidade)

Símbolo	Conceitos	Critérios
●	Muito bom	Valores de índice de diversidade (Ilum. máx./ Ilum. mín.) menores que 2
■	Bom	Valores de índice de diversidade (Ilum. máx./ Ilum. mín.) entre 2 e 3
▲	Ruim	Valores de índice de diversidade (Ilum. máx./ Ilum. mín.) entre 3 e 4
◆	Muito ruim	Valores de índice de diversidade (Ilum. máx./ Ilum. mín.) maiores que 4

Fonte: MACÊDO (2002)

Apesar do trabalho de MACÊDO (2002) apresentar inúmeras qualidades relacionadas principalmente com seu estudo conjunto da questão térmica e luminosa, um ponto específico do trabalho referente a questão luminosa

deve ser ressaltado: o número de pontos coletados. Embora, saibamos das dificuldades encontradas pelo trabalho na questão experimental (limitação de fotocélulas para medição das iluminâncias), o número de pontos coletados foi muito baixo. Apenas 3 pontos de medição podem não ser suficientes para validação total dos resultados, assim como as análises dos parâmetros referentes a iluminância média e a distribuição da luz natural interna. É óbvio que os resultados acrescentam informações valiosas apresentando coerência, respaldo e servem como referência para este tipo de estudo. Entretanto, o número limitado de pontos medidos não apresenta base suficiente para conclusões profundas a respeito dos parâmetros analisados para avaliação de todo o ambiente estudado.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão expostos todos os passos, métodos e materiais utilizados na pesquisa. Os métodos utilizados pela pesquisa são divididos basicamente em dois estágios: estágio investigativo e estágio experimental.

O estágio investigativo trata da fase de aproximação em relação ao levantamento de informações referentes à atividade escolar, onde são pesquisados e investigados dados referentes ao número, localização, plano e projetos que rejam as edificações escolares. A coleta dos dados necessários para a elaboração desta análise foi processada em dois tipos de levantamentos: levantamento de dados secundários e de dados primários.

O levantamento de dados secundários consistiu de visitas ao órgão público competente (Secretaria Municipal de Educação). Trata-se do levantamento de informações referentes ao crescimento físico da rede escolar de Florianópolis, a localização das escolas dentro da malha urbana municipal, a busca do plano que dirige os novos projetos a fim de identificar os padrões de edificações que vem sendo implementados nas construções das novas escolas e o contato com pessoas da área a fim de colaborar com indicações ou informações para o prosseguimento da pesquisa.

Após o levantamento dos dados secundários partiu-se para o levantamento dos dados primários. Este último consistiu no levantamento físico da escola considerada protótipo pelo levantamento dos dados secundários. Nesta etapa, são realizadas visitas a campo a fim de identificar características físicas como: dimensões, pé direito, especificação dos materiais (piso, teto, paredes, cobertura, janela, carteiras, portas, iluminação artificial), posicionamento das salas, orientação das aberturas, número de alunos e horário de ocupação. Também neste levantamento pode-se sentir do diretor da escola a esperada colaboração com a pesquisa. Apesar da pouca receptividade do diretor da escola, a escolha da escola foi determinada em função de ser a única a estar concluída fisicamente durante o período de medição de acordo com o novo protótipo escolar adotado.

O estágio experimental consiste em duas atividades distintas de experimentos: um *in loco*, mais superficial, através da promoção de medições de iluminação interna em salas de aula e outro em laboratório, mais aprofundado, através da promoção das simulações computacionais. Dentro do objetivo da pesquisa, o estágio experimental é o que concentra a maior parte dos métodos utilizados no trabalho e, em virtude disto, o mesmo está apresentado em diversas etapas descritas a seguir.

3.1 Medições *in loco*

As medições *in loco* têm o objetivo principal de proporcionar contato direto com a atividade e o ambiente em que se estará trabalhando nas simulações computacionais. É através do desenvolvimento destas medições que se estará conhecendo melhor o objeto de estudo que se pretende simular.

Constitui-se na verificação do fenômeno na atividade e no espaço físico escolar usual com intuito de fornecer o embasamento necessário para a continuação da pesquisa, onde se estará aprofundando as particularidades deste fenômeno.

3.1.1 Delimitação do objeto de estudo

Como já mencionado anteriormente, as edificações escolares apresentam um enorme potencial para o aproveitamento da iluminação natural, entretanto isto não está sendo realizado da melhor maneira possível. As escolas públicas deveriam merecer atenção especial neste processo, pois se elas não conseguirem disponibilizar aos seus usuários boas condições de iluminação por meio natural, dificilmente o conseguirão por meios artificiais, visto a precariedade dos recursos públicos investidos em infra-estrutura pública.

O objeto de estudo desta pesquisa foca sua atividade no estudo das escolas públicas municipais de Florianópolis com o intuito de regionalizar e delimitar o universo de estudo. Esta delimitação também é fruto de estar sendo implantado pela Secretaria de Educação e Secretaria de Transportes e Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis um projeto arquitetônico padrão para todas as novas escolas públicas do município. Qualquer escola pública nova a partir de 2001 será implantada de acordo com o padrão arquitetônico estipulado.

Aí reside a importância em se estudar especificamente o comportamento da iluminação natural neste modelo, visto que sua aplicação se tornará freqüente em Florianópolis. Atualmente, a rede pública escolar municipal conta com mais de 20 mil alunos dispostos no ensino infantil e fundamental (FLORIANÓPOLIS, 2001), justificando assim a importância deste estudo.

3.1.2 Estudo de caso: Escola Básica Donícia Maria da Costa (padrão arquitetônico escolar municipal)

Em virtude da Prefeitura Municipal de Florianópolis estar iniciando este novo padrão de projeto para as futuras escolas da rede municipal no ano de 2001, no momento de decisão do trabalho pela unidade escolar a ser investigada não tinha-se opções de escolha. Somente a Escola Básica Donícia Maria da Costa (Figura 3-1) já havia sido construída de acordo com os moldes do novo protótipo escolar do município. Este fato foi determinante para a escolha desta escola para realização das medições.



Figura 3-1: Vista frontal externa da Escola Básica Donícia Maria da Costa (Fonte: Arquivo do autor)

A Escola Básica Donícia Maria da Costa está situada na Rodovia Virgílio Várzea no bairro Saco Grande II no município de Florianópolis. Sua execução foi determinada principalmente devido o rápido crescimento do bairro impulsionado pela implantação de um conjunto habitacional do Programa Bom Abrigo da Prefeitura Municipal de Florianópolis. A escola, assim como as demais da rede pública municipal, atende alunos do primeiro grau, primário (1° a 4° série) e ginásio (5° a 8° série).

O projeto arquitetônico da escola segue o padrão estabelecido pela Secretaria Municipal de Educação em conjunto com a Secretaria Municipal de Transportes e Obras. Este projeto padrão será implantado em todas as novas unidades escolares do Município. Embora haja a repetição do projeto arquitetônico, a organização espacial da escola será determinada em função do terreno, ou seja, a implantação do projeto incluindo a orientação de todas as salas da escola será determinada pela forma e área do terreno. O projeto apenas adequa-se as dimensões e formas do terreno, tendo a sua implantação disposta de maneira a poder ser contido no terreno.

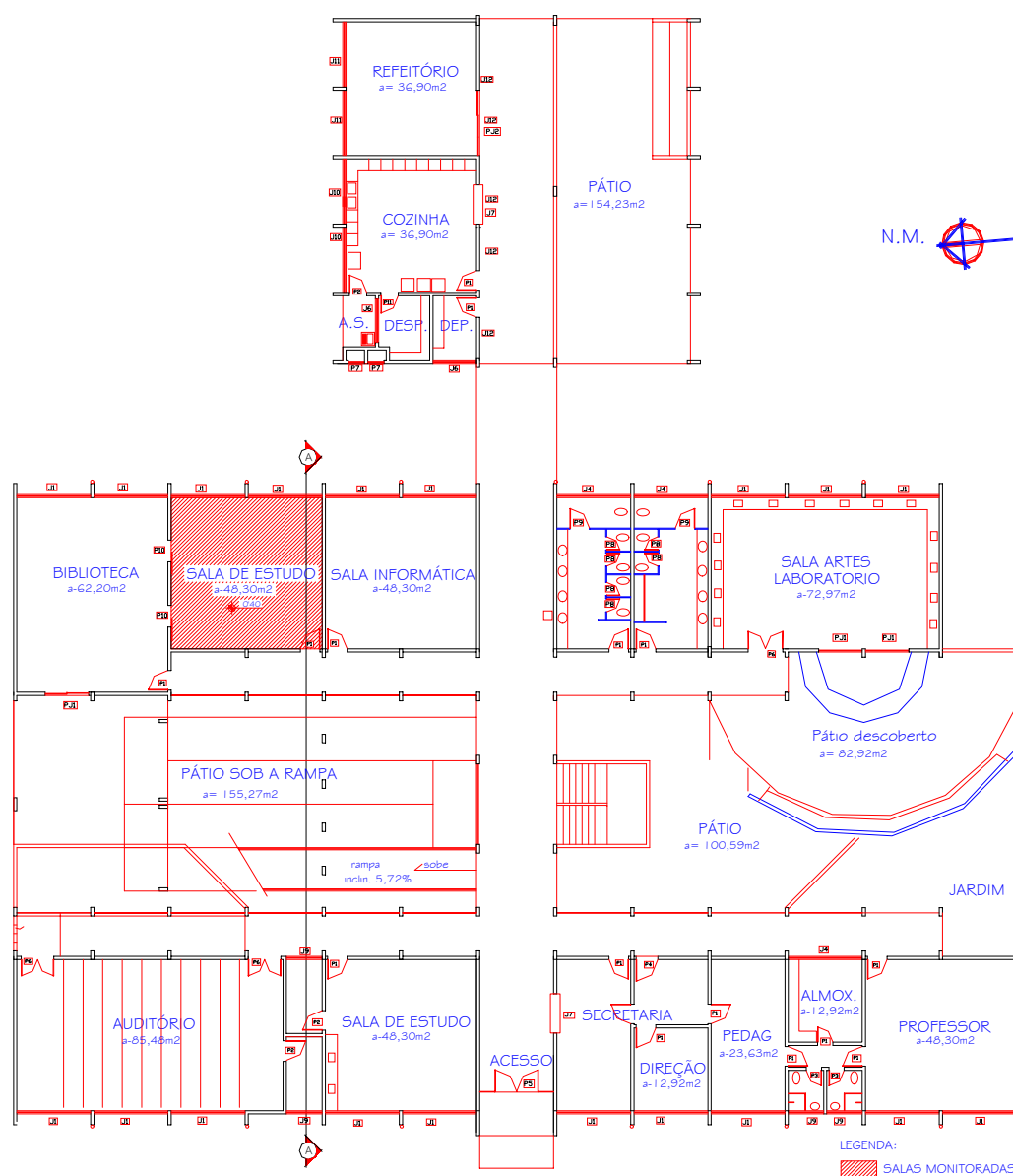


Figura 3-2: Planta-baixa do pavimento térreo da Escola Donícia Maria da Costa (Fonte: FLORIANÓPOLIS, 2001)

O projeto da escola (Figura 3-2 e 3-3) está dividido em três alas: duas alas para atividades de ensino (salas de aula, biblioteca, sala de informática, sala de artes, auditório, secretaria, sala professores) e uma ala para serviço (cozinha, refeitório). O pátio central coberto em sua maioria por policarbonato alveolar azul faz a ligação entre as alas.

As duas primeiras alas são compostas de dois pavimentos (térreo e superior) enquanto a ala de serviço é apenas térrea. Nas duas alas de ensino, as atividades se dividem em função do nível. No térreo aparecem as funções de ensino de apoio como biblioteca, sala de estudo, informática, sala de artes, auditório, secretaria e sala dos professores. Já no pavimento superior se concentram as salas de aula.

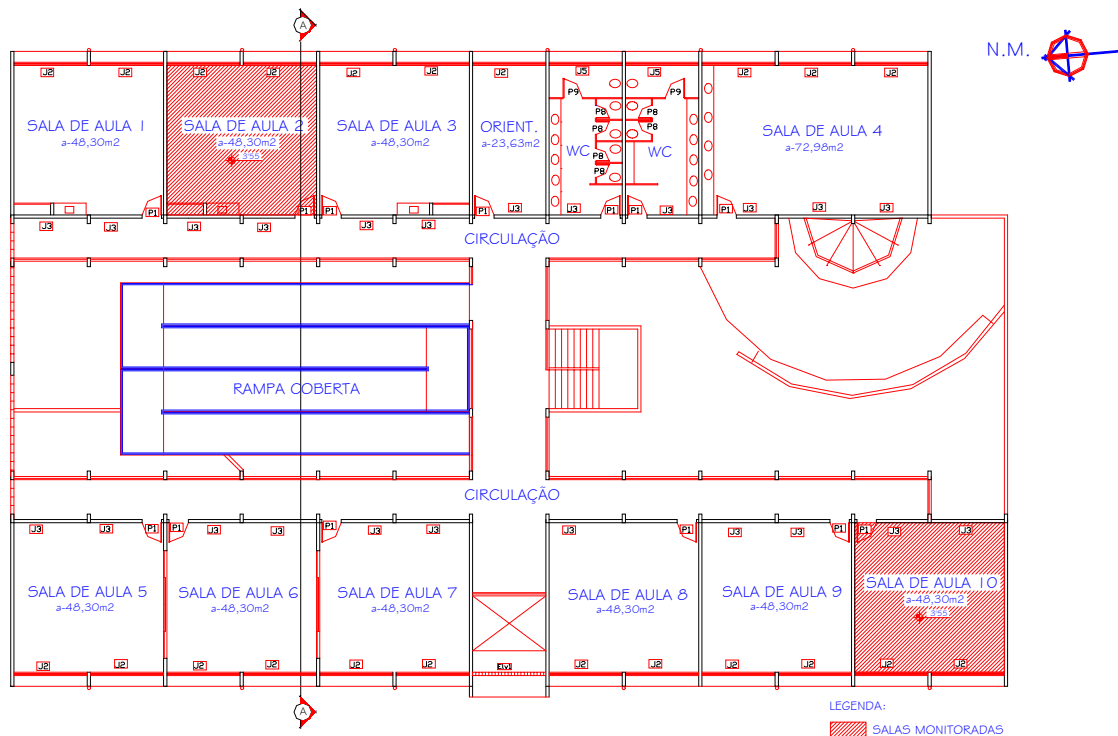


Figura 3-3: Planta-baixa do pavimento superior da Escola Donícia Maria da Costa (Fonte: FLORIANÓPOLIS, 2001)

O projeto segue uma modulação de 3,4m, marcada por seus pilares de 15cm de largura. Sendo assim, uma sala de aula padrão possui as dimensões de 6,95 x 6,95m (dois módulos de 3,4m + 15cm do pilar).

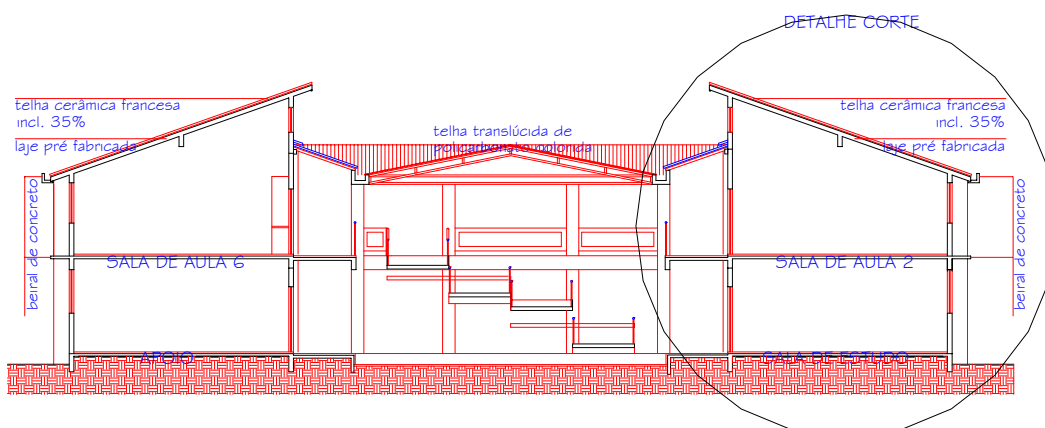


Figura 3-4: Corte AA (transversal) da Escola Básica Donícia Maria da Costa (Fonte: FLORIANÓPOLIS, 2001)

O sistema de iluminação natural e ventilação é distinto entre os pavimentos. No térreo tem-se o sistema usual de iluminação unilateral com janelas de correr (4 folhas sendo 2 fixas) em toda a extremidade da parede lateral externa. Já no superior temos um sistema bilateral de iluminação proporcionado pela laje inclinada da cobertura que possibilitou a colocação de uma janela basculante no alto da parede lateral voltada para a circulação externa (Figura 3-4). Esta abertura superior além de proporcionar a entrada de luz natural também permite a saída de ar quente e ventilação cruzada para o ambiente.

As janelas principais do pavimento superior apresentam altura de 1,3m com peitoril de 1m. As aberturas superiores apresentam peitoril de 3,93m e altura de 0,8m. Já, no pavimento térreo temos a janela com altura de 1,4m e peitoril de 1,25m (Figura 3-5). Os caixilhos das janelas são metálicos pintados de verde com vidro liso de 3mm.

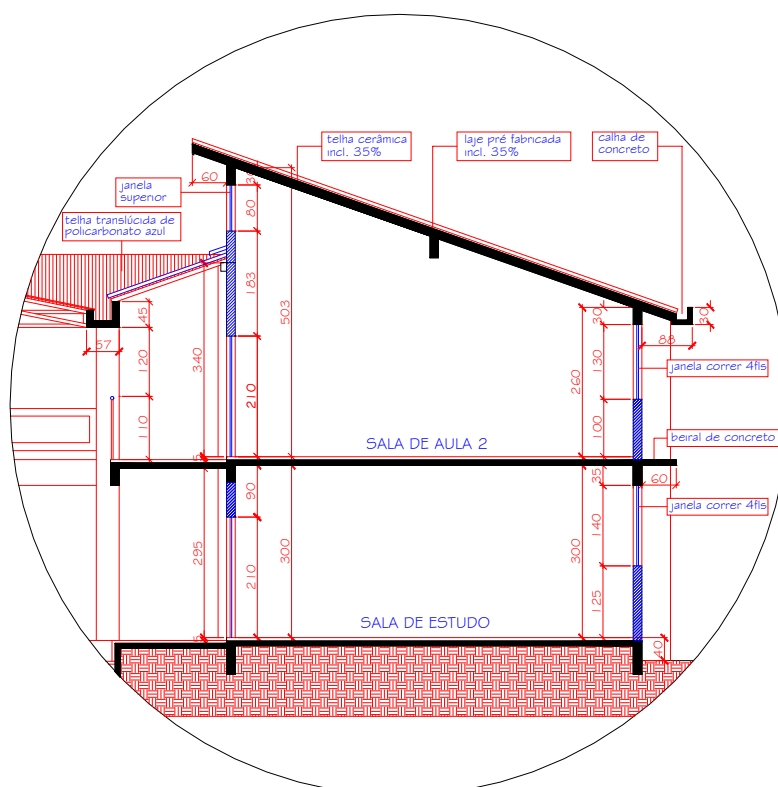


Figura 3-5: Detalhe do corte AA (transversal) da Escola Donícia Maria da Costa (Fonte: FLORIANÓPOLIS, 2001)

A laje de cobertura é coberta com telha cerâmica romana. As paredes das salas são todas rebocadas e pintadas. As paredes externas têm cor amarelo claro (tom pastel). Internamente as paredes são pintadas de verde claro até 1m e em amarelo claro (tom pastel) até o teto. O teto é rebocado e pintado de branco. As carteiras são de ferro com tampo de madeira revestida de fórmica verde claro (alto brilho) e as cadeiras são de ferro com assento e encosto em aglomerado de madeira. O piso é cerâmico em tom claro (quase branco). As portas e o quadro negro são em madeira pintados de verde escuro. O tom deste verde é o mesmo utilizado nos caixilhos das esquadrias.

Cabe salientar que, em virtude da demanda de vagas nas comunidades, o projeto pode ser readequado. Para esta escola específica, tem-se 3 alas e 2 pavimentos. Entretanto, em escolas mais isoladas, pode-se ter apenas 2 alas e 1 pavimento.

3.1.3 Identificação das variáveis a serem medidas

A principal variável a ser medida foi a medição de luminância (cd/m^2) a fim de detectar possíveis pontos que causassem desconforto, fadiga visual, redução da acuidade visual ou ofuscamento. Paralelo a esta medição, também foi realizada medições do nível de iluminação interno, fornecido pela iluminância (lux).

Realizou-se também medições de iluminância e luminância de determinadas superfícies através do método do luminancímetro (PEREIRA, 1994) para determinar as diferentes refletâncias das superfícies das salas de aula. Isto é de fundamental importância, pois adotando-se estes valores nas simulações estará se aproximando ao máximo do fenômeno prático, diminuindo-se assim a porcentagem de erro nas simulações para avaliar o comportamento da iluminação natural nas escolas.

O método do luminancímetro (PEREIRA, 1994) consiste em 2 medições. A primeira com o luxímetro sobre a superfície desejada para medir a iluminância (E - lux), medindo-se assim a quantidade de luz proveniente de todo o hemisfério que chega a este ponto. E a segunda com um luminancímetro (L - cd/m^2) voltado para a mesma superfície com uma distância aproximada de 15cm.

Como a luminância é determinada pela Equação 3.1:

$$L = \frac{E \times \rho}{\pi} \quad [3.1]$$

Para o cálculo da refletância da superfície teremos a Equação 3.2:

$$\rho = \frac{L \times \pi}{E} \quad [3.2]$$

Sendo que:

- L = luminância no ponto desejado
- E = iluminância no ponto desejado
- ρ = índice de refletância do ponto desejado
- π = 3,14

Vale salientar que as Equações 3.1 e 3.2 são válidas apenas para superfícies difusoras.

3.1.4 Escolha e preparo do ferramental necessário

Como principal ferramenta para a medição das iluminâncias utilizou-se 4 fotocélulas da marca *LI-COR*. Estas fotocélulas estavam ligadas a um aparelho de aquisição de dados denominado *LI-250 LIGHT METER* da *LI-COR*. Também foi utilizado um luxímetro digital da marca Lutron modelo LX-102, para aquisição dos dados de iluminâncias das superfícies.

Para medir a luminância nas superfícies foi utilizado um luminancímetro portátil da marca LITEMATE III, modelo 504 com sensor PHOTO RESEARCH, modelo 502. Todos os aparelhos pertencem ao LabCon (Laboratório de Conforto Ambiental/ ARQ/UFSC).

3.1.5 Definição das medições

As medições ocorreram dentro das possibilidades impostas pela escola em questão, a respeito de datas, disponibilidade, acessibilidade e horários. As mesmas foram realizadas com uma condição de céu uniforme (claro) a fim de reduzir a influência da variabilidade da luz natural nos valores coletados.

Quanto às medições realizadas nas salas de aula da escola, elas ocorreram no dia 13/07/2001 (medição de iluminância e luminância do ambiente em geral) e 19/09/2001 (medição de iluminância e luminância das superfícies). A escolha destas datas não teve nenhum cunho científico. Elas foram determinadas pela diretora da escola, já que nestes dias não houve aula na escola em razão de acontecerem somente atividades extra alunos (conselho de classe com os professores). Cabe salientar a resistência da diretora em permitir acesso liberado e ajuda para que as medições fossem realizadas. Como exemplo pode-se citar a não permissão para que as medições fossem realizadas em dias não letivos (fim de semana).

As medições foram realizadas em 3 salas de aula no período vespertino (das 14h00min às 18h00min) da Escola Básica Donícia Maria da Costa. A primeira sala está localizada no pavimento superior com orientação da abertura principal a Leste (Figura 3-6). A segunda sala está localizada abaixo da primeira, ou seja, no pavimento térreo com orientação da abertura principal a Leste (Figura 3-7). A terceira sala está localizada no pavimento superior com orientação da abertura principal a Oeste (Figura 3-8).



Figura 3-6: Sala 1 - pavimento superior à Leste (Fonte: Arquivo do autor)

Como forma de analisar na prática o comportamento da iluminação natural no interior das salas de aula da escola, foram realizadas estas medições de iluminância e luminância em determinados pontos da sala. O objetivo destas medições superficiais não é o de determinar com exatidão os índices de iluminação nem a sua distribuição interna. Mesmo porque se este fosse o objetivo, a monitoração deveria atender aos requisitos da norma ABNT (1999): *“Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações.*

Método de medição”. A finalidade destas medições foi verificar o fenômeno na prática, identificando possíveis pontos que sejam importantes para a realização das simulações. Quanto à medição dos níveis de iluminação eles serviram para se ter um resultado prévio, principalmente relacionado com a diferença nos níveis de iluminação e na sua distribuição entre o pavimento térreo (sistema de iluminação unilateral) e o superior (sistema de iluminação bilateral).



Figura 3-7: Sala 2 - pavimento térreo à Leste (Fonte: Arquivo do autor)

No momento da medição das iluminâncias tinha-se a disposição da pesquisa apenas 4 fotocélulas *LI-COR*. Em virtude disso, determinou-se uma malha imaginária no ponto médio de cada superfície da sala, resultando em 4 quadrados. O centro geométrico de cada quadrado foi o ponto escolhido para realizar-se a medição, determinando-se assim 4 pontos de medição em cada sala de aula (Figura 3-9).



Figura 3-8: Sala 3 - pavimento superior à Oeste (Fonte: Arquivo do autor)

Em virtude de o olho humano possuir a tendência de adaptar-se à luminância média do seu campo de visão, ocorrerá problemas de adaptação do olho em situações que se tenha grandes diferenças de luminância em objetos próximos. Esta grande amplitude acabará acarretando em uma dificuldade do olho em distinguir detalhes destes objetos, principalmente o objeto com menor luminância (PEREIRA, 1994). Desta forma, as medições de luminância foram realizadas com o intuito de avaliar a proporção de luminâncias de maneira a caracterizar pontos da sala de aula que pudessem causar desconforto, fadiga visual, redução da acuidade visual ou ofuscamento.

Em virtude da sala possuir inúmeros postos de trabalho (caracterizadas na sala pelo local onde os alunos ficam – sentados na cadeira em frente a carteira) onde este distúrbio deveria ser evitado, optou-se por simplificar todos os postos de trabalho (20) determinando um posto de trabalho que pudesse ser representativo entre os demais.

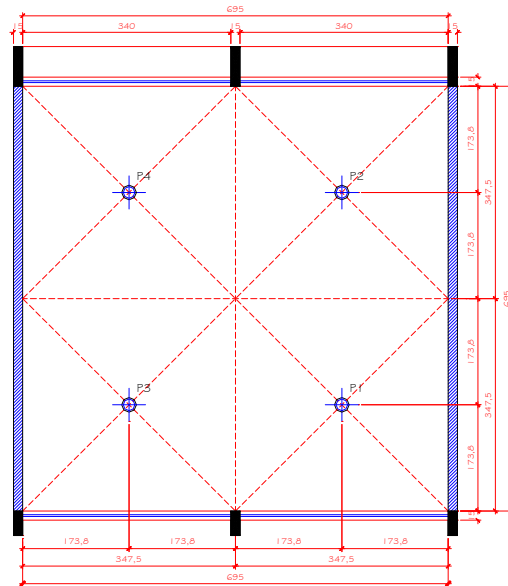


Figura 3-9: Pontos de medição de iluminância nas salas de aula

Este ponto seria representado por uma pessoa sentada no centro geométrico da sala (Figura 3-10) olhando para o quadro. A partir deste ponto foram realizadas medições nas seguintes direções: centro da tarefa (carteira); entorno próximo (carteira em frente, lateral); parede de fundo (parede ou quadro negro); janela; e algum outro ponto julgado crítico a respeito do excesso de luminâncias. Os pontos críticos variaram entre as salas em função da sua geometria, da orientação e do horário de medição.

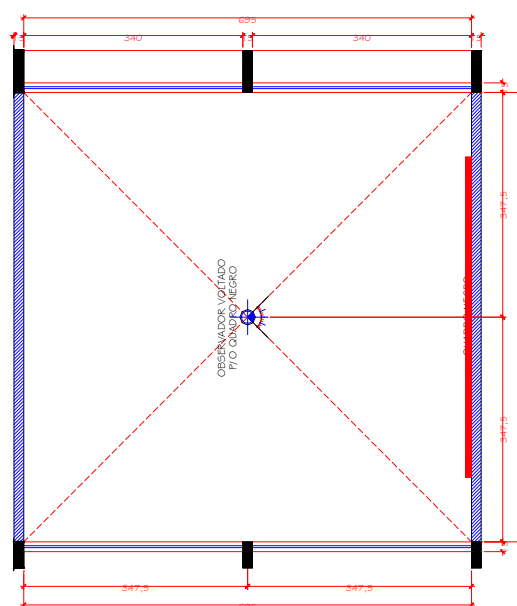


Figura 3-10: Pontos de medição de luminância nas salas de aula

Devido à alta sensibilidade do equipamento de medição, para cada ponto visado, tirava-se cerca de 2 ou 3 leituras de luminância até se obter um conjunto de valores próximos, anotando-se a média. Esse valor era plotado sobre a planilha para medições de luminância do Anexo C do projeto de norma *Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição* (ABNT, 1999). Em seguida, determinou-se a relação entre a luminância de tarefa e entorno medido, montando-se a tabela de contrastes compatível com a Tabela 2-5, que serviu de referência para avaliação destas medidas no ambiente de trabalho.

Com o objetivo de conhecer os valores do índice de refletância das principais superfícies compositivas de uma sala de aula foram medidos os valores de iluminância e luminância de pontos destas superfícies. Através do método do luminancímetro (PEREIRA, 1994) pode-se determinar estes índices em função dos valores de iluminância e luminância.

Em função do índice de refletância apresentar grande influência no comportamento da iluminação natural interna (SOUZA et al, 2001a e SOUZA et al, 2001b) fez-se necessária a sua determinação. Posteriormente, estes valores determinados alimentarão a base de dados para a simulação de diversas situações desejadas. Desta forma, o ensaio simulacional procura retratar fielmente a realidade aproximando ao máximo os parâmetros físicos (reais) nas simulações.

3.1.6 Promoção das medições

Os pontos internos de iluminância foram medidos a uma altura média de 70cm acima do nível do piso, ou seja, no plano de trabalho estipulado pela NBR 5143 (ABNT, 1991). Este plano de trabalho, corresponde a altura das carteiras da sala de aula. Estas medições de iluminância realizadas pelas 4 fotocélulas LI-COR foram realizadas simultaneamente em cada sala de aula, ou seja, cada leitura do nível de iluminação dos 4 pontos medidos em cada sala correspondem ao mesmo instante de tempo. Entretanto, entre as salas de aula não tem-se valores simultâneos de iluminância em razão da pesquisa dispor apenas de 4 fotocélulas.

No momento da execução das medições a sala permaneceu sem alunos para que as medições não ficassem prejudicadas bem como para manter a integridade física dos equipamentos de medição.

Vale salientar que em todas as medições o céu encontrava-se claro com a presença de poucas nuvens. Embora tendo nuvens, estas estavam posicionadas próximas a linha do horizonte, não barrando o Sol em nenhum momento da medição. Como a medição ocorreu em períodos em que o Sol estava com um ângulo de altura maior, as nuvens não interferiram na incidência direta dos raios solares, podendo-se considerar o céu com a condição clara.

As medições de luminância da sala ocorreram com o luminancímetro na altura dos olhos da pessoa sentada, visando-se os pontos críticos que poderiam interferir na condição de contraste entre a tarefa desenvolvida e o entorno. Não foram realizadas medições de luminância apontado-se para as luminárias, uma vez que as mesmas estavam desligadas no momento da medição e em virtude do trabalho se preocupar exclusivamente com a iluminação natural. Em virtude disso, retirou-se das Tabelas 4-2, 4-3 e 4-4 presentes no capítulo dos Resultados, os campos referentes à luminárias.

As medições de iluminância e luminância a fim de determinar o índice de refletância das superfícies foram realizadas próximas a superfície desejada tendo-se o cuidado de realizar medições com 2 distâncias distintas entre o equipamento e a superfície desejada. Estas 2 distâncias são oriundas de 2 procedimentos distintos. No método do luminâncímetro recomenda-se uma distância aproximada de 15cm entre o aparelho e a superfície. Entretanto, na regulagem da distância do aparelho luminâncímetro LITEMATE III a menor distância permitida para regulagem é de 50cm. Em virtude disso e para aumentar a confiabilidade dos resultados realizou-se 3 medições com distância de 15cm entre o aparelho e cada superfície e 3 medições com distância de 50cm. Isto resultou em 6 medições para cada superfície.

Para realizar a leitura de luminância o observador é obrigado a posicionar-se em frente à superfície para poder colocar o olho na mira do luminâncímetro. Isto acaba por influenciar no nível de iluminação que chega na superfície já que o observador “sombreia” a superfície, ou seja, no mascaramento do ponto desejado estará se causando obstrução neste ponto. Sendo assim, para cada medição de luminância, tomou-se o cuidado de realizar 2 leituras de iluminância: uma com obstrução (c/ obst.) e outra sem obstrução (s/ obst.).

Na situação com obstrução, a medida de iluminância é retirada com o indivíduo na mesma posição da leitura efetuada de luminância. Já sem obstrução, o indivíduo não causa interferência na leitura do nível de iluminação.

Foram medidos valores de luminância e iluminância para determinar o índice de refletância das seguintes superfícies: piso, teto, parede amarela (cor da parede acima de 1m até o teto), parede verde (cor da parede abaixo de 1m até o piso), carteira e quadro negro. Escolheu-se estas superfícies em virtude das mesmas serem as superfícies com maior influência no comportamento da iluminação interna.

3.1.7 Análise e discussão dos resultados

A determinação *in loco* dos índices de iluminação e sua distribuição no interior das salas de aula, serão avaliados em função dos valores de iluminância coletados correlacionados com a sua posição, orientação e horário. Estes valores medidos servem como referência para o estudo, já que a pesquisa está voltada sobretudo para os resultados dos ensaios simulacionais.

Para os valores de luminância, as medições seguiram os procedimentos pertinentes na norma *Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição* (ABNT, 1999). Desta maneira pode-se analisar os resultados com a avaliação do contraste observando-se as taxas de proporção de luminâncias presentes na Tabela 2-5.

Entretanto, o principal resultado desta etapa de medições é levantar as reais características físicas das salas de aula, assim como as superfícies que a compõem a fim de realizar as simulações computacionais embasadas em dados físicos reais, evitando possíveis distorções dos resultados das simulações frente ao fenômeno real.

3.2 Simulações computacionais

No tópico Revisão Bibliográfica foram abordados 3 métodos para avaliação da iluminação natural: ferramentas simplificadas, modelos em escala e simulação computacional. As ferramentas simplificadas apesar de não necessitarem de grande tempo de execução de cálculos apresentam resultados normalmente limitados e aproximados, inviabilizando o estudo.

Já os modelos em escala apresentam inúmeras virtudes em relação ao método simplificado. Entretanto, para o desenvolvimento de estudos paramétricos ficam submissos à condições naturais (condição de céu, hora do dia, época do ano e outros) ou a disponibilidade de um céu artificial (inexistente em nossa região). Além disso, os modelos necessitam de grande quantidade de sensores para leitura dos valores de avaliação e também obrigam a execução física de inúmeros modelos (dependendo do estudo), exigindo gastos financeiros maiores.

Sendo assim, diante dos métodos possíveis para analisar o aproveitamento da iluminação natural, julgou-se o método computacional o mais indicado para desenvolver tal tarefa. Sua principal vantagem diante dos demais diz respeito a possibilidade de realizar diversas avaliações paramétricas de forma rápida e flexível (PEREIRA, 1995). Além de realizar extensos cálculos com facilidade e rapidez, outras importantes vantagens do método computacional são: a total liberdade de dependência de fatores externos, possibilitando assim um estudo mais rápido com um aprofundamento maior; a possibilidade de efetuar pesquisas em ambientes não construídos, permitindo a promoção de constantes ajustes; e a facilidade de visualização de seus resultados.

3.2.1 Escolha do software a ser adotado

Atualmente no mercado existe uma enormidade de ferramentas computacionais indicadas para a promoção de estudos com iluminação. O "*Software Survey Subcommittee of the IESNA Computer Committee*" (LD+A, 1998), mostra sua inspeção feita em 37 softwares utilizados para desenvolver estudos de iluminação. Nesta análise estão presentes tanto softwares de iluminação quanto softwares de luminárias. Os softwares são avaliados em diversos tópicos dentro de 8 categorias principais: preço, aplicação geral, hardware, tipos de análises, aspectos especiais, interação de uso, tipos de saída e base de dados fotométrica.

Diante dos programas computacionais que processam o cálculo de iluminação natural disponíveis para a pesquisa, destacam-se o nome de 3 softwares: *Lumen Micro v. 7.0*, *Radiance v. 2.3* e *Lightscape v. 6.0*. MOECK (1998), em seus estudos com sistemas de persianas prismáticas utilizou o software *Radiance*.

HOUSER (1999) desenvolveu pesquisas para validar a precisão de 2 ferramentas computacionais: *Lightscape v. 3.0* e *Radiance v. 2*, apontando seus funcionamentos e suas limitações. CABÚS (1997) e AMARAL (1999) utilizaram o software *Lumen Micro v. 7.0* em suas pesquisas. Já ZEILMANN (1999), GRAZIANO JUNIOR (2000) e TAVARES LEITE (2001) em pesquisas mais recentes, utilizaram o software *Lightscape v. 3.0*.

De acordo com CABUS (1997), o software *Radiance v. 2.3* apresenta facilidades gráficas e algoritmos que combinam a reflexão difusa com a especular. Entretanto, o *Radiance v. 2.3* é um software extremamente complexo de se utilizar, exigindo grande domínio do operador.

Embora o software *Lumen Micro v. 7.0* apresente uma série de vantagens como o processamento para diferentes tipos de céu, facilidade de manuseio, interface com programas CAD e facilidade de processamento de dados, o programa apresenta como principal desvantagem a não modelagem de superfícies inclinadas.

Em virtude disso, dos 3 softwares indicados para a promoção de simulações de iluminação natural, foi escolhido o programa *Lightscape v. 3.2*. A escolha do mesmo frente aos demais deve-se por:

☺ Permitir o processamento para diferentes condições de céu, partindo de uma escala de céu claro até a escala de céu encoberto;

☺ Possuir interface amigável com programas CAD, especialmente o AutoCad, já que os dois softwares pertencem a mesma empresa (*Autodesk*);

☺ Permitir estudos de simples geometrias até as formas mais complexas;

☺ Tempo de processamento rápido para o cálculo de geometrias menos complexas;

☺ Permitir estudos de iluminação artificial combinados com iluminação natural;

☺ Permitir trabalhar com diferentes tipos de materiais e propriedades físicas para cada superfície diferente;

☺ Simular ambientes internos e externos;

☺ Possuir biblioteca com as propriedades físicas de materiais e permitir a criação das mesmas;

☺ Permitir uma análise qualitativa seguindo métodos que garantem uma aproximação rigorosa da realidade;

☺ Possibilitar uma excelente visualização;

☺ Possuir uma interface simples, amigável e direta entre usuário e o programa.

O *Lightscape 3.2* é um programa que oferece como resultado final, modelos renderizados com excelente qualidade visual, além de modelos com escala de cores ou valores numéricos, que fornecem dados sobre a distribuição qualitativa e quantitativa dos níveis de iluminância no ambiente (SOUZA et al, 2001a).

O software *Lightscape* trabalha com 2 fases: a fase de preparação com arquivos com terminação *lp* e a fase de solução com arquivos com terminação *ls*. Como o próprio nome diz, a fase de preparação engloba todos os procedimentos de preparação para a realização da simulação, permitindo ao usuário interação (promoção de mudanças). Já a fase de solução constitui-se apenas no resultado, ou seja, a simulação propriamente dita, não permitindo modificações no modelo. É através do arquivo *ls* que se pode aplicar a renderização através do método *ray tracing*.

Vale salientar que os softwares, incluindo o *Lightscape 3.2*, só tratam as superfícies como especulares ou difusas, sendo que na verdade a maioria das superfícies não é nem perfeitamente difusa nem perfeitamente especular (semi-difusas). Além disso, o software escolhido apresenta a limita-se a calcular somente reflexão difusa e transmissão especular.

3.2.2 Delimitação do modelo de estudo

Em virtude de ter-se voltado o estudo para uma edificação escolar, desenvolveu-se o modelo baseado no ambiente de uma sala de aula usual na maior parte das instituições de ensino da região. Desta forma, o modelo

representa o padrão arquitetônico de uma sala de aula baseado no protótipo escolar da Secretaria de Educação do Município de Florianópolis.

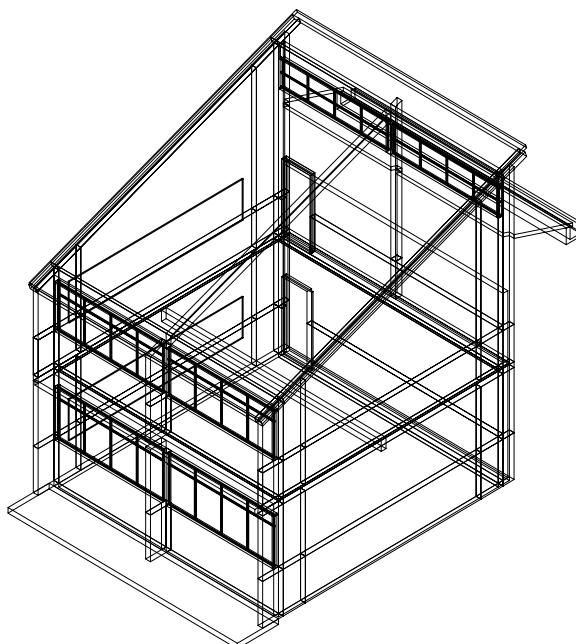


Figura 3-11: Visualização em 3D do módulo a ser analisado

Como no projeto arquitetônico as salas de aulas apresentam-se sempre com as mesmas características, não sofrendo flexibilização em razão da orientação de suas aberturas, e para facilitar a construção do modelo e diminuir o tempo de processamento das simulações, optou-se por delimitar o estudo da escola a uma seção (módulo) de uma ala da escola (Figura 3-11). Afinal, esta seção (módulo) possui as mesmas características físicas do restante de todas as salas de aula.

Como a escola possui 2 pavimentos (térreo e superior) com características distintas (sistema de iluminação, área de abertura, altura de peitoril), o modelo construído abarca uma sala de aula no pavimento superior e uma sala de aula no pavimento térreo.

Como o objetivo principal do trabalho é analisar a influência de proteções solares no nível de iluminação interno, o módulo em estudo sofreu incrementos de proteções para obstrução solar em modelos diferenciados apresentados no tópico abaixo.

3.2.3 Construção e elaboração do modelo

Através do levantamento de dados primários, conseguiu-se através da arquiteta Marisa Fonseca (arquiteta responsável por todos os projetos da Secretaria de Educação do Município de Florianópolis) o projeto da escola em questão contendo planta de cobertura, planta-baixa dos pavimentos, cortes e fachadas. Também foram fornecidos os arquivos do projeto digitalizados em 2 dimensões (em *AutoCAD*).

A partir destes arquivos cedidos pela Secretaria de Educação, partiu-se para a modelagem em 3 dimensões (3D) do projeto. Antes que seja feito qualquer tipo de simulação é necessária a construção de um esqueleto do

modelo em 3D, para que, o *Lightscape v. 3.2* possa analisar a geometria e processar a solução. Para a realização desta modelagem foi utilizado o software *AutoCAD 2000*.

A modelagem em 3D foi feita inicialmente através do comando “*3DFACE*”. Nesta forma de modelagem, não existe sólidos e sim a junção de superfícies que formam o sólido. Entretanto, após a construção do modelo através deste método, verificou-se nas simulações a presença de inúmeros “*vazamentos de luz*” e “*escuridão*” no encontro de arestas de diferentes superfícies do modelo que acabariam comprometendo os resultados.

Como forma de tentar solucionar este problema resultante do método de construção, foram feitas várias tentativas. A primeira delas, foi através de mudanças na intersecção das superfícies. Outra foi através de superfícies auxiliares, os chamados “*bandaids*”. Também tentou-se juntar diferentes superfícies onde ocorria o vazamento. Por último, optou-se por aumentar a malha de pontos das superfícies, ou seja, aumentar o refinamento. Entretanto, o aumento da malha acabou por gerar um aumento significativo do tempo de processamento da simulação sem melhoras significativas nos resultados, inviabilizando tal esforço.

Sem conseguir atenuar ou acabar com os vazamentos provenientes da construção através do método de “*3DFACE*”, a alternativa foi mudar o método de modelagem. Partiu-se então para a construção do modelo através do comando “*EXTRUDE*”. Este comando permite que polígonos em 2D sejam “*extrudados*”, formando sólidos em 3D. Sendo assim, o modelo foi todo construído novamente.

Mesmo construindo o modelo através deste método, ainda persistiam em poucos pontos do modelo alguns pequenos “*vazamentos de luz*”, principalmente na aresta resultante do encontro da parede da janela com a parede do quadro negro. Estes vazamentos foram expurgados através da construção de uma parede por trás da parede do quadro negro, ou seja, construiu-se uma parede paralela e encostada na parede do quadro negro. A inserção desta parede não influencia nas formas do modelo, ela apenas serve como subterfúgio para eliminar o vazamento de luz.

Utilizando este modelo que eliminou os vazamentos de luz, partiu-se para a construção dos outros modelos que contemplam situações com a presença de proteções solares. Na construção dos modelos teve-se o cuidado de segmentar os elementos de construção em diversos *layers* diferentes, a fim de facilitar a sua construção no *AutoCad 2000* e permitir ajustes individualizados das propriedades físicas de cada superfície no *Lightscape v.3.2*.

Também teve-se a preocupação de manter o mesmo número da cor para os mesmos materiais embora eles estivessem em *layers* diferentes. Isso é de fundamental importância uma vez que, no *Lightscape v.3.2*, a propriedade do material será reconhecida pelo número da cor que o identifica.

A transferência dos modelos (situação atual e com proteções solares) do software *AutoCAD 2000* para o *Lightscape v. 3.2* foi realizada através da exportação de arquivos *dwg* do *AutoCAD* na versão 14.

No *Lightscape v. 3.2*, cada material define a aparência da superfície onde ele é aplicado, a quantidade de luz e cor refletida pela superfície, durante o processo da radiação. Existe uma lista de materiais e um mapa de texturas disponíveis no programa, com parâmetros pré-definidos que podem ser alterados a qualquer momento pelo usuário (SOUZA et al, 2001b).

A cor é a primeira propriedade que deve ser selecionada. Ela é definida através dos seus componentes: *Hue* (Cromaticidade), *Saturation* (Saturação) e o *Value* (Brilho).

O brilho controla a quantidade de luz difusamente refletida e absorvida pela superfície. Aumentando-se o valor do brilho eleva-se a quantidade de luz refletida e diminui-se a quantidade de energia absorvida. A saturação controla o grau de coloração da luz refletida. Aumentando a saturação, adensa-se a cor do material refletindo-se em uma maior quantidade de cor de volta para o ambiente. A cromaticidade controla e indica a cor do material.

Outra propriedade importante é a transparência. Esta determina o quanto da luz passa através de determinado material. A transparência está associada com a especularidade da superfície.

3.2.4 Características físicas padrões para simulação do modelo

Em todos os modelos de análise para todas as situações empregou-se as mesmas características físicas das superfícies, ou seja, tanto para o modelo da sala de aula na condição atual quanto para os modelos com proteções solares, foram utilizadas o mesmo tipo de material, os mesmos coeficientes e as mesmas propriedades físicas das superfícies. A Tabela 3-1 apresenta estas características físicas componentes de todos os modelos juntamente com os coeficientes pertinentes a cada superfície.

Tabela 3-1: Características físicas das superfícies do modelo simulacional

Superfície	Material	Transparência	Cromaticidade (H)	Saturação (S)	Valor (V)	Refletância média
Telha	Argila	0,0	39	0,75	0,30	0,30
Parede amarela	Pintura semi-brilho	0,0	55	0,45	0,55	0,55
Parede verde	Pintura semi-brilho	0,0	140	0,60	0,27	0,27
Policarbonato	Vidro	0,5	196	0,68	0,50	0,50
Vidro	Vidro	0,8	0	0,00	0,80	0,80
Envoltório (abertura para luz)	Sem definição	0,0	0	0,00	1,00	1,00
Piso	Cerâmica	0,0	55	0,10	0,47	0,47
Teto	Pintura semi-brilho	0,0	0	0,00	0,68	0,68
Quadro-negro	Pintura fosca	0,0	130	0,80	0,11	0,11
Carteira	Pintura brilhante	0,0	150	0,38	0,38	0,38
Porta	Pintura fosca	0,0	130	0,80	0,20	0,20
Janela	Metal	0,0	130	0,80	0,25	0,25
Proteções solares	Pintura semi-brilho	0,0	0	0,00	0,68	0,68

Com relação as características de transparência, tom e saturação, todos os índices acima foram arbitrados utilizando o bom senso. Entretanto, com relação ao valor e a refletância média (propriedades físicas mais importantes), os coeficientes dos principais materiais são resultados da medição do índice de refletância. Sendo assim, as superfícies que apresentam maior influência no comportamento da iluminação (parede amarela, parede verde, piso, teto, quadro negro e carteira) tiveram seus valores do índice de refletância calculados em razão das medições in loco da iluminância e luminância das superfícies, aproximando ao máximo as simulações com as características reais do fenômeno estudado.

3.2.5 Definição das configurações das simulações

As simulações tem o intuito de verificar as condições atuais das escolas, sendo que os resultados serão avaliados tanto quantitativa como qualitativamente. Para cada uma das simulações serão coletados valores de iluminância em diversos pontos da sala demarcados por uma malha imaginária.

De posse da análise das primeiras simulações, serão inseridos elementos de controle solar nas diferentes orientações a fim de verificar sua influência nos níveis e na distribuição da iluminação interna. Para o desenvolvimento do estudo paramétrico, os modelos apresentam variações entre si de acordo com as seguintes situações: orientação, horário, época do ano, condição de céu, sistema de iluminação/ nível (pavimento) e situação (atual ou com elementos de obstrução solar). Estes parâmetros são descritos a seguir.

① Orientação:

De acordo com a Secretaria de Educação do Município de Florianópolis, o protótipo escolar estudado está sendo implantado desde 2001 em todas as novas unidades escolares do Município. Neste padrão escolar, a organização espacial do projeto será determinado exclusivamente em função do terreno disponibilizado para atender este uso. Desta forma, a implantação do projeto incluindo a orientação de todas as salas de aula da escola será determinada pela forma e área do terreno. Esta arbitrariedade de implantação da escola, não respeitando as variáveis ambientais, pode levar a uma inadequada resposta da edificação sob o critério ambiental. A correta orientação das salas de aula fica sujeita a variável sorte.

A variabilidade de implantação da escola acaba por gerar inúmeras possibilidades de orientação das salas. O presente trabalho otimiza estas variáveis a fim de não proceder um número infundável de situações a serem simuladas. Sendo assim, o modelo de estudo possui aberturas voltadas para os principais pontos cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste. Como a orientação Sul, em função da geometria de insolação para a latitude de Florianópolis (Figura 2-1) recebe incidência direta dos raios solares em poucas horas do ano e no sentido de otimizar as situações de estudo, optou-se por estudar somente as orientações Norte, Leste e Oeste.

Também em razão da geometria solar tem-se a simetria da trajetória solar para a orientação Leste e Oeste. Em razão disto, onde a análise de uma situação pode ser utilizada também para caracterizar uma outra, otimizou-se o número de situações estudadas, reduzindo-se assim o número de simulações pela metade para estas orientações (Leste e Oeste). Por livre arbítrio, deste ponto em diante do trabalho, para analisar estas 2 orientações, será utilizada apenas a orientação Leste.

Sendo assim, determinou-se o estudo para as orientações Norte e Leste. Como o estudo está voltado para a cidade de Florianópolis, a situação geográfica considerada foi: Latitude $27^{\circ} 30'$ Sul e Longitude $48^{\circ} 00'$ Oeste.

Vale salientar que mesmo sabendo de antemão que a orientação mais adequada para salas de aula ser a Norte-Sul em razão da geometria solar e da maior facilidade na promoção de sombreamento das aberturas, as simulações também contemplam a orientação menos favorável (Leste-Oeste) em razão desta última orientação aparecer em escolas como foi o que aconteceu na escola que foi promovido o estudo de caso (Escola Básica Donícia Maria da Costa).

② Horários:

A determinação de apenas 2 horários de análise deveu-se sobretudo em função de limitar o número de simulações, haja visto, a enormidade de situações a serem analisadas. Sendo assim, optou-se por um horário em que a sala estivesse sendo utilizada no período matutino e um no vespertino, correspondendo aos horários de 10h00min e 14h00min, consecutivamente.

③ Época do ano:

Da mesma maneira que os horários, para evitar um grande número de situações, o número de dia e mês do ano foram limitados a apenas 2 situações. Estas datas referem-se as situações extremas do trajetória solar, analisando o solstício de verão (22 de dezembro) e solstício de inverno (21 de junho).

④ Condição de céu:

Como o objetivo principal da pesquisa é analisar a influência de elementos de proteção solar no nível de iluminação interno, julgou-se necessário analisar os modelos com a condição de céu claro. A determinação desta condição de céu busca avaliar a diminuição da penetração dos raios solares no ambiente interno.

Inúmeros estudos de conforto ambiental avaliam somente os benefícios dos elementos de obstrução solares sob a condição de céu claro, já que estas proteções garantem uma menor incidência dos raios solares no interior do ambiente, com conseqüente diminuição dos ganhos térmicos provocados por esta incidência. Todavia a introdução destes elementos, normalmente é feita de forma fixa, ou seja, o mesmo elemento de proteção está presente em todas as horas, dias e meses do ano e ainda sob todas as condições de céu, inclusive céu encoberto. A presença destes elementos sob esta condição de céu é inútil e desnecessária, podendo ainda prejudicar substancialmente os níveis de iluminação internos. Para analisar isto, este trabalho também promove os estudos dos modelos com a condição de céu encoberto.

⑤ Sistema de iluminação / nível (pavimento):

Apesar da sala do pavimento térreo e do superior apresentarem a mesma área, elas distinguem-se na configuração especial, como já mencionado anteriormente (item 3.1.2). Desta forma, são promovidas simulações dos dois sistemas de iluminação: unilateral (sala do pavimento térreo) e bilateral (sala do pavimento superior) a fim de avaliarmos comparativamente o desempenho dos níveis de iluminação natural nos dois pavimentos.

A sala no pavimento térreo apresenta abertura apenas em uma lateral, abrangendo 9,52m² de área de janela. Já a sala do pavimento superior apresenta 8,84m² de área de janela lateral principal mais 5,54m² de área da janela superior, totalizando 14,28m². Como as salas apresentam área de 48,30m² temos as seguintes relações de área de janela por área de piso:

① Sala pavimento térreo: $A_j / A_p = 0,20$ ou 20%;

② Sala pavimento superior: $A_j / A_p = 0,30$ ou 30%.

© Situações do modelo (situação atual e com as proteções solares):

Primeiramente, as simulações possuem o objetivo de verificar o comportamento dos níveis de iluminação na situação atual da sala de aula, de acordo com o projeto padrão implantado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis em todas as escolas do Município. As Figuras 3-12a e 3-12b, caracterizam o modelo da situação atual.

Posteriormente à construção do modelo da sala de aula caracterizando a situação atual são construídos modelos que incorporam elementos de obstrução solar. A inserção destes elementos de proteção solar visam barrar a incidência direta dos raios solares no interior do ambiente para conseqüente análise do comportamento da iluminação da sala com e sem as proteções solares.

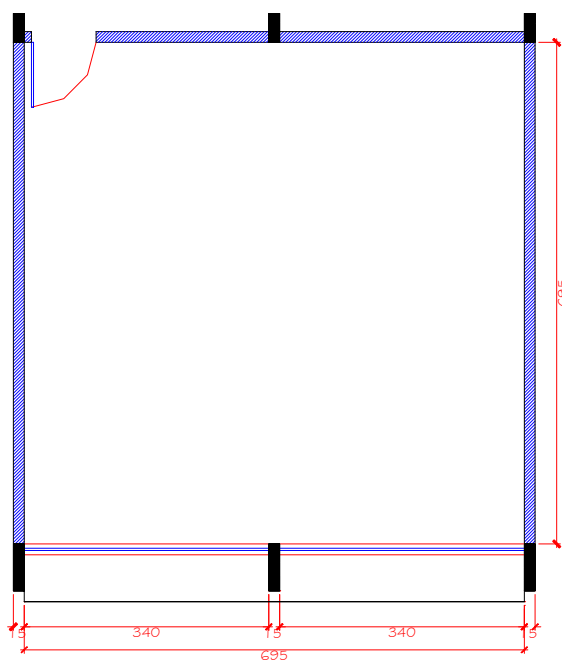


Figura 3-12a: Planta-baixa situação atual

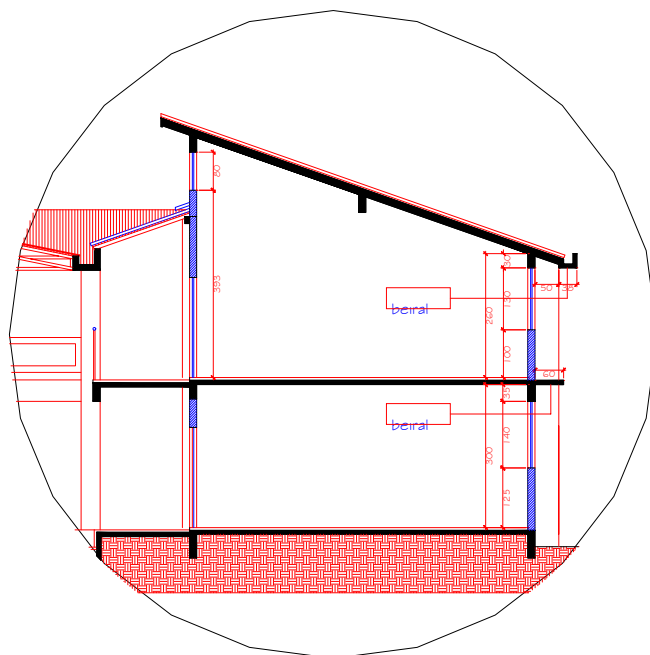


Figura 3-12b: Corte situação atual

Em virtude do comportamento da trajetória solar ser diferenciado para cada orientação, o trabalho promove a inserção de elementos de proteção solar distintos para cada orientação. Sendo assim, para cada orientação (Norte e Leste), são criados dois modelos com proteções solares.

Modelos de proteção solar usuais em nossa região para cada orientação foi o critério adotado para a escolha da geometria dos elementos de obstrução solar. Este critério foi adotado com o intuito de alertar que a simples inserção dos elementos de proteção, sem a preocupação devida com a sua geometria, com a geometria da abertura e a geometria solar, pode não garantir melhora no desempenho interno da iluminação. Desta forma, a pesquisa limitou-se a aplicar proteções solares com grande frequência na região de Florianópolis, não analisando proteções projetadas especificamente para cada situação de estudo.

Sendo assim, para a orientação Norte optou-se por utilizar o elemento de proteção *light-shelf* (Figuras 3-13a e 3-13b) e elementos planos horizontais (Figuras 3-14a e 3-14b).

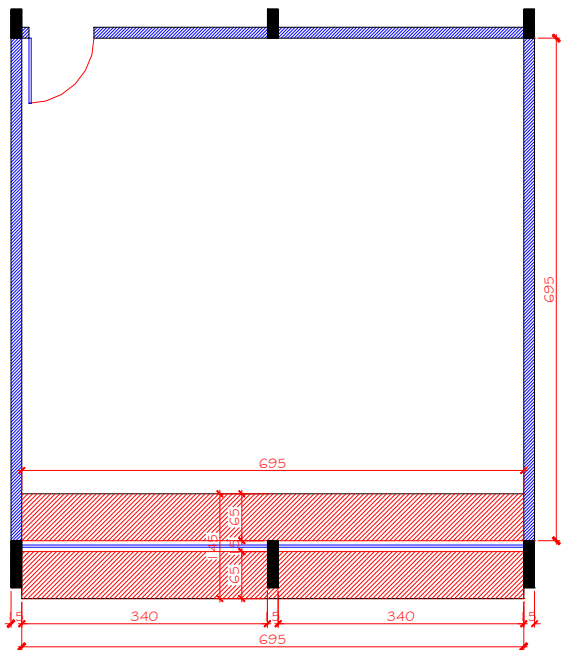


Figura 3-13a: Planta-baixa situação light-shelf

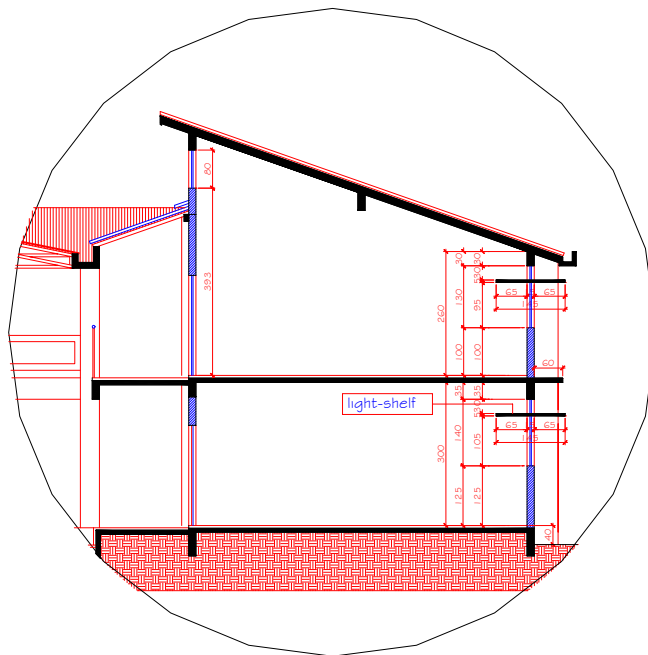


Figura 3-13b: Corte situação light-shelf

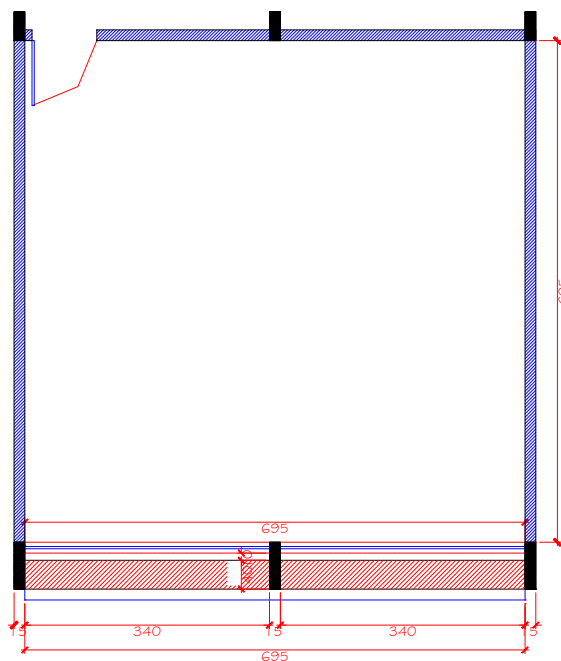


Figura 3-14a: Planta-baixa situação horizontal

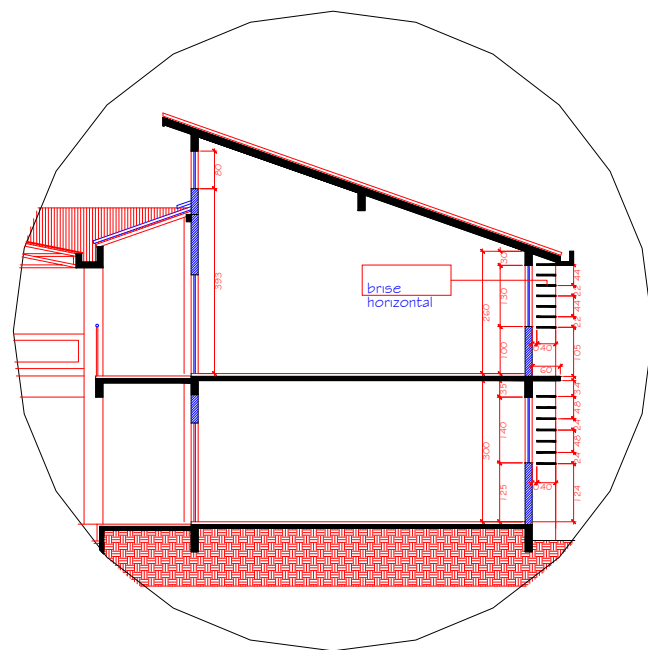


Figura 3-14b: Corte situação horizontal

Vale ressaltar que a definição do tipo e geometria do elemento de proteção ser sua aplicação usual na região, acabou gerando uma situação inusitada com a presença do elemento light-shelf abaixo do beiral.

Baseado no mesmo critério, para a orientação Leste optou-se por utilizar elementos verticais perpendiculares à fachada (Figura 3-15a e 3-15b) e elementos verticais inclinados não perpendiculares à fachada (Figura 3-16a e 3-16b).

A iluminância é a variável física de interesse nas simulações computacionais. Ela caracteriza a quantidade de iluminação em um dado plano, geralmente horizontal, caracterizando a iluminação planar. Todavia, esta grandeza fotométrica não caracteriza totalmente as condições de iluminação de um ambiente. Esta variável contempla a medida da quantidade de luz, não servindo isoladamente para caracterização da presença ou não de conforto visual em um dado ambiente.

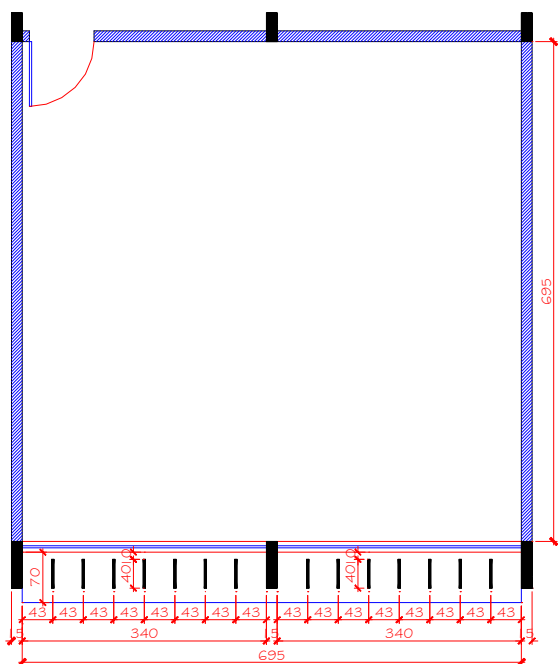


Figura 3-15a: Planta-baixa situação vertical

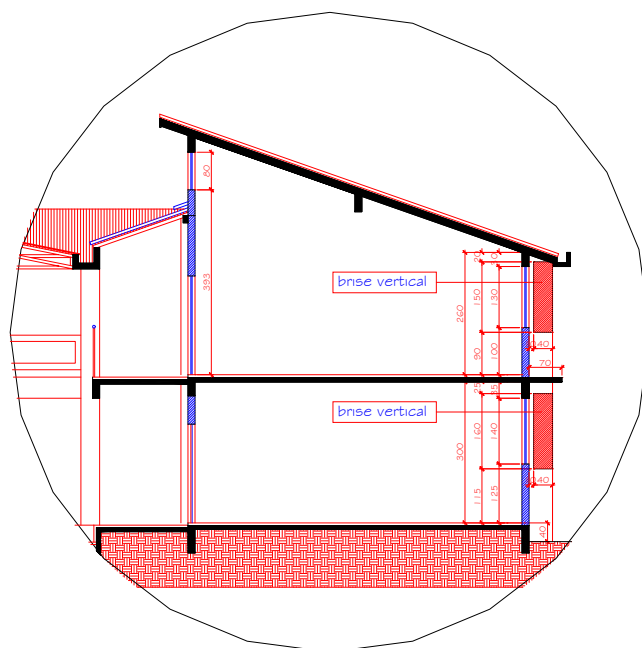


Figura 3-15b: Corte situação vertical

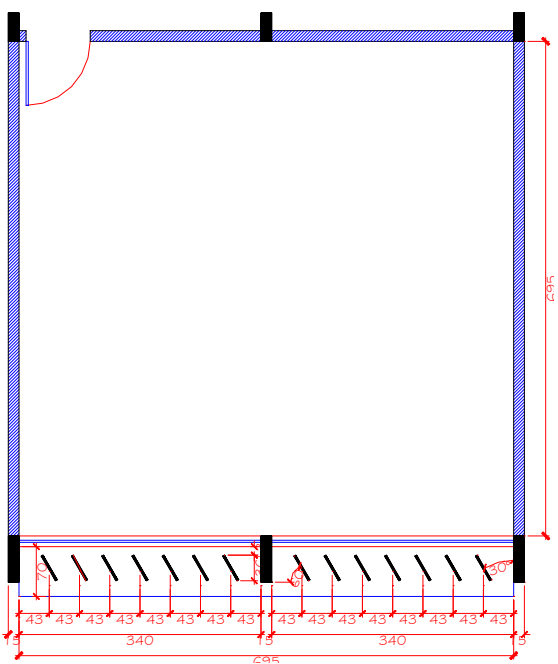


Figura 3-16a: Planta-baixa situação inclinado

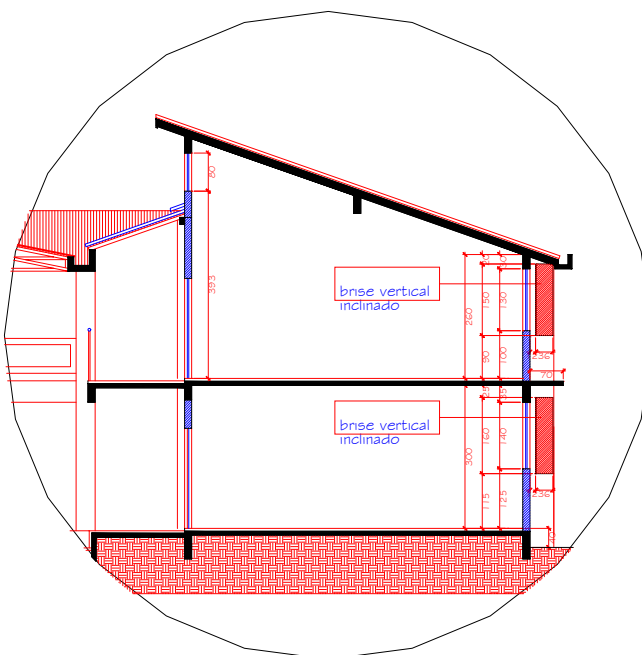


Figura 3-16b: Corte situação inclinado

As medições de todas as situações e em todos os modelos para cada sala ocorreram em uma malha de 7 x 7 pontos, perfazendo 49 pontos internos de acordo com a Figura 3-17. Os pontos internos foram medidos na altura do plano de trabalho, ou seja, no tampo da carteira a aproximadamente 70cm acima do nível do piso.

Vale salientar que, a planta-baixa apresentada na Figura 3-17, como caráter elucidativo, está contemplando a situação da sala de aula original, sem a presença de elementos de proteção solar. Entretanto, esta malha de pontos para coleta dos valores de iluminância foi adotada para todas as situações.

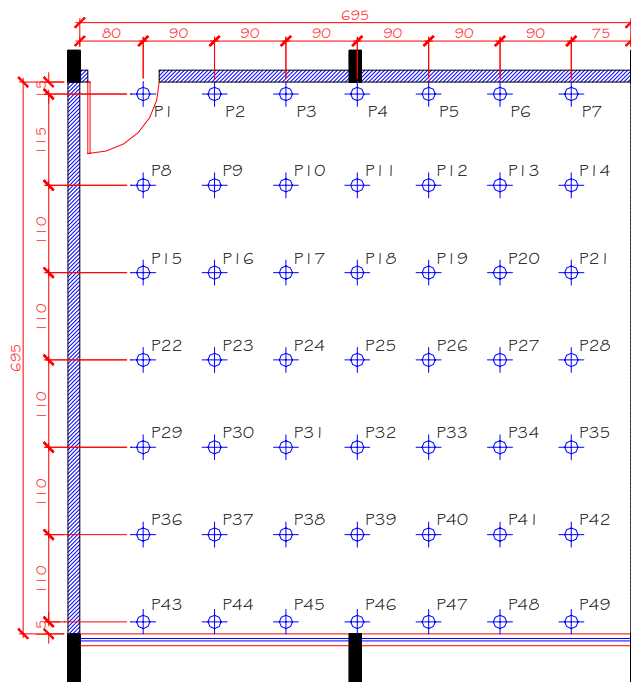


Figura 3-17: Planta-baixa com identificação dos pontos medidos

3.2.6 Coleta dos valores de iluminância

O *Lightscape v. 3.2* apesar de apresentar visualização da simulação em termos de análise do nível de iluminância (escala de cores em função do nível de iluminação), não apresenta uma saída de dados em formato de texto, ou seja, os valores de iluminação não são retirados de maneira direta pela simples criação de um arquivo.

Diante disso, a coleta dos valores nos pontos de análise (49 pontos para cada situação analisada) torna-se extremamente dispendiosa e demorada. Esta coleta é inteiramente manual, clicando o mouse no ponto em questão e fazendo a leitura no quadro estatístico proveniente do menu de análise do *Lightscape v. 3.2* para, posteriormente, anotar-se o valor em planilha (papel).

Após a coleta dos valores em papel, estes são digitados e tabulados em planilhas do software *Microsoft Excel*. Como esta planilha é a base para construção dos gráficos de isolinhas (software *Surfer v. 5.0*), além de se digitar os valores de iluminância deve-se dar as coordenadas do ponto. Isto é realizado em virtude do software *Surfer v. 5.0* trabalhar com os valores nas 3 coordenadas (eixo x, y e z). Desta forma, agrupou-se os dados em 3 colunas: uma representando a coordenada x (distância em x), a y (distância em y) e por último a z (valores de iluminância).

Como são simulados modelos para 2 orientações, 2 horários, 2 datas, 2 condições de céu, 2 níveis e 3 situações, temos 96 simulações. Para cada simulação deve-se fazer 53 leituras (49 pontos da malha mais 4 pontos de referência), totalizando 5088 pontos, todos retirados, digitados e tabulados manualmente.

3.2.7 Construção dos gráficos (curvas isolux)

Estes valores tabulados no *Excel* são copiados e colados em planilhas do *Surfer v. 5.0*. Posteriormente, a planilha é salva em arquivo com terminação *.dat*. Este arquivo *.dat* que contem os valores das coordenadas e dos níveis de iluminação é o arquivo de base para gerar-se o arquivo com terminação *.grd*. Somente após gerar-se o arquivo *.grd* no *Surfer v. 5.0* que se processará o arquivo com as curvas isolux. Este arquivo final plotando as curvas isolux possui a extensão *.srf*.

É importante salientar que as curvas próximas das paredes apresentam distorções. Isto se deve em razão do software utilizado (*Surfer versão 5.0*) necessitar de um valor em pelo menos um ponto de cada superfície com o intuito de promover as interações necessárias do método utilizado pelo programa (método *Kriging*). Este trabalho coletou 4 pontos de referência para promoção destas interações localizados nos encontros das 4 paredes.

3.2.8 Análise dos resultados

Os resultados das simulações serão avaliados através do método gráfico e do método analítico. O método gráfico exposto através de figuras torna possível uma visualização rápida e direta do comportamento da iluminação interna, permitindo uma avaliação qualitativa dos níveis internos de iluminação. Além disso, esta forma de análise (gráficos/ figuras) é mais familiarizada com a linguagem utilizada pelos projetistas, em especial, os arquitetos.

Por outro lado, o método analítico, através da aplicação de ferramentas fundamentadas em cálculos estatísticos e matemáticos, permite uma avaliação aprofundada das variáveis analisadas e também serve de respaldo para o método gráfico.

3.2.8.1 Método gráfico

O método gráfico utilizado por esta pesquisa consta da representação gráfica da distribuição dos níveis de iluminação no interior do ambiente expostos através das curvas isolux. Este tipo de representação permite a realização de análises e interpretações diretas de dados de iluminação, sem requerer que estes dados tenham um tratamento. O formato apresentado por estes gráficos além de proporcionar uma visualização rápida também facilita a comparação entre diversas situações.

No trabalho os gráficos das curvas isolux são apresentados de forma bidimensional, sendo inseridas conjuntamente a planta-baixa da sala de aula para facilitar na compreensão da relação da forma física da sala com o comportamento da iluminação.

O método gráfico é caracterizado pelo mapeamento da iluminância no plano de trabalho. Este mapeamento é definido por limites de níveis de iluminação expressos por curvas de contorno, as chamadas curvas isolux. Desta

maneira, as curvas isolux definirão áreas que se apresentam dentro de um mesmo intervalo de iluminação. Estes intervalos são definidos através de critérios qualitativos.

Para definir estes critérios utilizou-se como base a definição da ABNT (1991) e a classificação proposta por CABÚS (1997) apresentada na Tabela 2-6. A ABNT (1991) recomenda que a iluminação em qualquer ponto do ambiente não deve ser inferior a 70% da iluminância média deste ambiente. CABÚS (1997), por analogia utilizou como limite superior 130% da iluminância média, classificando assim 3 regiões de mapeamento (Tabela 2-6).

Entretanto, esta classificação de apenas 3 zonas acaba por vezes sendo radical pois determinado ponto passa da zona suficiente para zona insuficiente ou ainda para a zona excessiva por uma variação de apenas 1 lux. Variação essa totalmente imperceptível ao olho humano e até a determinados aparelhos de medição. Um pequeno descuido na coleta do valor de iluminância também pode acarretar em uma mudança de zona de determinado ponto. Para evitar este tipo de situação, propõe-se uma nova classificação de zonas que contempla mais regiões de mapeamento buscando distribuir melhor as categorias. Com isto, cria-se 5 zonas de classificação (Tabela 3-2).

Outro aspecto diferenciado deste trabalho em relação a classificação proposta por CABUS (1997) diz respeito ao valor da iluminância média de referência. CABÚS (1997) assim como AMARAL (1999) e ZEILMANN (1999), utiliza o valor da iluminância média de referência como sendo o valor médio da iluminância do ambiente para a situação em estudo, ou seja, este valor de referência varia de situação para situação, podendo estar dentro do intervalo recomendado pela norma ABNT (1991) ou não. Sendo assim, um conjunto com valores de iluminância baixíssimo vai apresentar um valor médio de iluminância muito baixo e todos os dados que estiverem entre 70% a 130% serão classificados como suficiente, mesmo tendo valores muito abaixo do mínimo recomendado.

Já esta pesquisa fixa o valor da iluminância média de referência independente da situação de estudo. Em virtude do valor de iluminância recomendado para atividade escolar variar de 300 a 700 lux de acordo com a bibliografia estudada, adotou-se o valor médio deste intervalo, ou seja, 500 lux.

A partir deste valor de iluminância média de referência (500 lux) defini-se os intervalos para classificação das 5 zonas de mapeamento de iluminância (Tabela 3-2). Utilizando o critério de 70% e 130% para determinação do limite inferior e superior, respectivamente, da região de iluminância suficiente, temos os valores de 350 e 650 lux. Todavia, de acordo com a ABNT (1991), 300 lux ainda pode ser considerado como um valor mínimo admissível e com o intuito de evitar que uma pequena variação de iluminância provoque uma mudança radical de zona, propõe-se a criação de uma zona de transição inferior. Esta zona intermediária está situada entre a zona insuficiente e a suficiente, sendo delimitada pelo intervalo que vai de 300 a 349 lux.

Por conseguinte, promove-se a criação da zona de transição superior. Sabendo que até 1000 lux não temos a incidência direta dos raios solares (evitando um incremento dos ganhos térmicos) e que este valor não é indesejável para o conforto visual, adota-se o valor de 1000 lux como sendo o limite superior da zona de transição superior.

Por fim, para contemplar todos os valores de iluminância adota-se que valores abaixo de 300 lux são classificados na zona com iluminância insuficiente e valores acima de 1000 lux na zona com iluminância excessiva. A Tabela 3-2 apresenta concisamente estes valores e as zonas de classificação das iluminâncias.

Tabela 3-2: Classificação das zonas por intervalo de iluminância

Intervalo de Iluminância (lux)	Zona	Classificação
0 a 299	INSUFICIENTE	RUIM
300 a 349	TRANSIÇÃO INFERIOR	REGULAR
350 a 650	SUFICIENTE	BOM
651 a 1000	TRANSIÇÃO SUPERIOR	REGULAR
Acima de 1000	EXCESSIVA	RUIM

De acordo com a Tabela 3-2 fica delimitado que a zona suficiente será adotada como parâmetro de avaliação do método gráfico. Quanto maior for o número de pontos situados nesta zona melhor será o desempenho desta situação. Entretanto, as zonas de transição também serão utilizadas como parâmetro de avaliação, pois os pontos situados nestas zonas são considerados pontos de iluminância admissíveis.

3.2.8.2 Método analítico

O método analítico é empregado com o intuito de analisar profundamente os dados tanto sob o ponto de vista quantitativo como qualitativo. Para isso, são aplicados princípios matemáticos provenientes da estatística a fim avaliar o desempenho da iluminação natural no ambiente interno.






Para promover a análise dos dados provenientes das simulações utiliza-se os seguintes parâmetros: iluminância média, distribuição das zonas, uniformidade, diversidade e coeficiente de variação.

① Iluminância média

O valor que representa a média dos 49 pontos medidos no interior do ambiente é um dos parâmetros utilizados para avaliação. A média é resultado da soma dos valores de todos os pontos dividido pelo número de pontos. Desta maneira, a média torna-se um parâmetro estatístico que pode não representar fielmente o valor ponto a ponto, pois deixa-se influenciar demasiadamente por valores extremamente altos ou baixos.

Por esta razão em uma análise quantitativa não deve-se empregar a iluminância média como único parâmetro de avaliação. Sendo assim, o trabalho utiliza a média combinada com outros parâmetros de avaliação de desempenho, permitindo uma análise segura e confiável.

Tabela 3-3: Critério de avaliação da iluminância média interna

ILUMINÂNCIA MÉDIA INTERNA		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	RUIM (baixo)	De 0 a 299 lux
	REGULAR (baixo)	De 300 a 349 lux
	BOM	De 350 a 650 lux
	REGULAR (alto)	De 651 a 1000 lux
	RUIM (alto)	Acima de 1000 lux

O desempenho de cada situação utilizando o parâmetro iluminância média será analisado em função da Tabela 3-3, que é retirada da Tabela 3-2. A determinação dos limites de classificação já foi justificada anteriormente na construção da Tabela 3-2.

Na tabela formatada para analisar este parâmetro, assim como os outros parâmetros a seguir, temos o campo “*simbologia*” que nada mais é que uma representação visual de uma figura e uma cor para cada categoria. Desta forma, a informação é transmitida de forma ágil para o observador, facilitando o entendimento do resultado.

De todos os parâmetros de análise de desempenho, este é o único que contempla 5 faixas de avaliação: ruim (baixo), regular (baixo), bom, regular (alto) e ruim (alto). O restante dos parâmetros serão avaliados por 3 faixas: ruim, regular e bom. Para caracterizar estas 3 faixas foi utilizada, além da figura desenhada, uma cor de fundo representando cada faixa. Desta forma, a cor de fundo amarelo sempre está associada a classificação bom, a cor de fundo azul refere-se a classificação regular, enquanto a vermelha diz respeito a categoria ruim.

Esta classificação diferenciada em 5 zonas para classificar a iluminância média é resultado da preocupação em se determinar mais intervalos de avaliação. Desta forma, as zonas de classificação regular (transição superior - alto e inferior - baixo) e ruim (excessiva - alto e insuficiente - baixo) são classificadas diferentemente para que em um cálculo de consumo de eletricidade se consiga diferenciar o que está necessitando de iluminação complementar (artificial) e o que não está.

No caso, a zona de transição inferior (regular – baixo) poderia necessitar de uma pequena complementação de iluminação artificial, se o sistema de controle permitisse isto. Já a zona de transição superior não necessitaria de complementação. Para a zona ruim (baixo) é necessária iluminação artificial enquanto que a ruim (alto) não necessita. Embora este trabalho não aborde consumo de eletricidade, esta diferenciação pode ser de suma importância para avaliação do consumo com iluminação artificial complementar. Estas simplificações foram feitas com caráter elucidativo embora tenha-se consciência de que o fenômeno não está relacionado apenas com nível de iluminação, mas também com contrastes entre luminâncias.

A simbologia para caracterizar cada um destes 5 intervalos de avaliação segue o mesmo critério anterior da cor de fundo, ou seja, cor de fundo amarelo: classificação bom; a cor de fundo azul: classificação regular; e cor de fundo vermelha: classificação ruim. O que diferencia as classificações ruim (baixo e alto) e regular (baixo e alto) é a cor da figura. A figura de cor verde está associada a classificação baixo, enquanto a figura de cor branca associa-se a classificação alto.

② Distribuição das zonas

A avaliação do método gráfico caracterizado pelo mapeamento da iluminância no plano de trabalho definindo limites de níveis de iluminação expressos por curvas isolux teve como objetivo a classificação de zonas de iluminância. Estas zonas determinam a área abrangida por determinados limites dos níveis de iluminação.

A avaliação do desempenho em função da Tabela 3-3, nos mostra 5 zonas de classificação. Destas 5 zonas, 2 caracterizam áreas com iluminância inapropriada seja por falta (zona insuficiente) ou excesso de iluminância (zona excessiva).




A zona suficiente é a região ideal pois concentra limites adequados para o desempenho das tarefas visuais quanto ao nível de iluminação. Entretanto, as zonas de transição (inferior e superior) apesar de não serem as mais adequadas, são consideradas regiões com níveis de iluminação aceitáveis.

Sendo assim, o parâmetro para avaliar o desempenho da distribuição das zonas caracteriza o somatório das 3 zonas (suficiente, transição inferior e transição superior) sendo chamada como zona de iluminância aceitável. Quanto maior for a área de abrangência da zona aceitável, melhor será o seu desempenho.

Se a área abrangida pelas 3 zonas de iluminação aceitáveis ultrapassar a 70% da área da sala, a situação é classificada como boa. O limite de 70% é utilizado por analogia a ABNT (1991), a qual recomenda que a iluminação em qualquer ponto do ambiente não deve ser inferior a 70% da iluminância média deste ambiente.

Entretanto, uma situação é classificada como regular se a área de abrangência das 3 zonas aceitáveis for maior que 50% da área da sala e menor que 70%, ou seja, se pelo menos metade da sala estiver contida pelas zonas aceitáveis de iluminação ela é classificada como regular. Abaixo de 50% ela é classificada como ruim. Estes limites, assim como suas classificações, estão presentes na Tabela 3-4.

Tabela 3-4: Critério de avaliação da distribuição das zonas

DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Acima de 70,1%
	REGULAR	De 50,1% a 70%
	RUIM	Abaixo de 50%

O limite de 70% e 50% apesar de apresentarem estas justificativas são resultados de bom senso e estão sujeitos a aprimoramentos à medida que forem sendo utilizados por outros trabalhos.

③ Coeficiente de variação

Para analisar o desempenho do ambiente quanto a variabilidade dos dados com vistas a distribuição interna da iluminação é utilizada esta medida de dispersão relativa. Ela é de fundamental importância para indicar o grau de variação existente no conjunto dos 49 pontos de cada situação.

CABÚS (1997) relacionando a área com classificação suficiente e coeficiente de variação, utilizou a classificação ótimo para o coeficiente de variação menor que 15%, bom para o coeficiente entre 15% a 20%, regular entre 20% a 25% e insuficiente para coeficiente de variação maior que 25%. Entretanto, para chegar nesta classificação o autor utilizou o valor da iluminância média do ambiente como sendo o valor da iluminância de referência e todos os pontos que estivessem entre 70% e 130% deste valor médio seriam classificados como suficiente. Para CABÚS (1997) este valor de referência não é fixo, variando conforme a média de cada situação. Sendo assim, a variabilidade será menor que em situações onde o valor de referência é fixo.




Como neste trabalho o valor de referência é fixo (500 lux), teremos uma dispersão muito maior de todos os valores em relação a este valor de referência. Conseqüentemente, a classificação do coeficiente de variação proposto por este trabalho deve ser menos rigorosa e mais flexível que a classificação proposta por CABÚS (1997).

Outra justificativa para não sermos tão rigorosos diz respeito ao conforto visual. O olho humano tem grande capacidade de adaptação às condições variáveis de iluminação (PEREIRA, 1994). Além disso a velocidade de adaptação do olho a uma variação de até 50% no nível de iluminação não irá ocasionar ofuscamento ou perda de visibilidade. O olho humano se adapta gradualmente a estas variações de iluminação, possibilitando maior contraste.

Em uma situação em que há uma variação muito pequena dos níveis de iluminação, tem-se um ambiente altamente uniforme, sem variação, sem contraste, estático, ou seja, um ambiente pobre visualmente. Isto certamente irá provocar cansaço visual aos seus usuários.

Pela falta de bibliografia que classifique este parâmetro, pelas razões descritas acima e pelo uso do bom senso, os limites de classificação do coeficiente de variação foram determinados em função da Tabela 3-5. Nela, tem-se a classificação bom para o coeficiente de variação menor que 20%, regular para o coeficiente entre 20% a 50% e ruim para o coeficiente de variação maior que 50%.

Tabela 3-5: Critério de avaliação do coeficiente de variação




COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Abaixo de 20%
	REGULAR	De 20,1% a 50%
	RUIM	Acima de 50,1%

④ Uniformidade

Assim como o coeficiente de variação, a uniformidade é um parâmetro para avaliar o comportamento quanto a distribuição da iluminação interna. CIBSE (1994) recomenda que a uniformidade (razão entre a iluminância mínima pela iluminância média) não pode ser menor que 0,8, respeitando uma iluminância média apropriada para o tipo de atividade em questão. Entretanto, o valor desta taxa é recomendado para a uniformidade na área de trabalho e no entorno imediato. Não se faz referência do valor indicado para analisar a uniformidade do ambiente inteiro, como é o interesse desta pesquisa. Se para a área de trabalho e entorno imediato, recomenda-se valor superior a 0,8, para o ambiente inteiro este valor deverá ser mais flexível não podendo ser tão rigoroso.

Novamente utilizando o bom senso, apoiado neste valor de referência para a área de trabalho e entorno imediato, e sempre preocupados com a qualidade do campo visual (ambiente dinâmico, com contraste, sem marasmo visual) adotamos os seguintes valores e classificação para a uniformidade: será classificado bom o ambiente que estiver acima de 0,6; regular o ambiente que tiver o valor da uniformidade compreendida entre 0,4 e 0,6; e ruim o ambiente com valor abaixo de 0,4. A Tabela 3-6 mostra esta classificação proposta para avaliar o desempenho quanto a uniformidade do ambiente.

Tabela 3-6: Critério de avaliação da uniformidade




UNIFORMIDADE		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Acima de 0,60
	REGULAR	De 0,40 a 0,59
	RUIM	Abaixo de 0,39

⑤ Diversidade

A diversidade exprime a razão da iluminância máxima pela iluminância mínima e também é um parâmetro de avaliação da variação da iluminação. De acordo com CIBSE (1994) a razão da diversidade não deve exceder a relação 5:1. Entretanto, o valor desta taxa é recomendado para a diversidade na área de trabalho e na região formada por um perímetro que diste 0,5m da área de trabalho. Assim como a uniformidade, não se faz referência do valor indicado para analisar a diversidade do ambiente inteiro.

Utilizando os mesmos critérios anteriores, adotou-se a classificação ruim para os valores de diversidade que excederem ao valor recomendado pela CIBSE (1994) de 5. Para a diversidade entre 3 e 5 tem-se a classificação regular e para a diversidade abaixo de 3 tem-se a classificação bom. A Tabela 3-7 mostra esta classificação para avaliar a diversidade do ambiente.

Tabela 3-7: Critério de avaliação da diversidade

DIVERSIDADE		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Abaixo de 3
	REGULAR	De 3,1 a 5
	RUIM	Acima de 5

3.2.9 Índice de refletância

Com o intuito de verificar a importância do índice de refletância médio nos níveis de iluminação internos, julga-se necessário o desenvolvimento de simulações computacionais para constatar influência deste índice no comportamento interno da iluminação.

Como o teto, as paredes e o piso são as maiores superfícies constituintes do ambiente e desta maneira terem grande influência no nível de iluminação interno, estas superfícies são o alvo desta análise. Sendo assim, nas simulações para avaliar o índice de refletância, são fixados os valores de refletância das outras superfícies, variando apenas os valores destas três superfícies.

Para analisar comparativamente diferentes valores deste índice, classificou-se arbitrariamente 3 categorias de índice de refletância: alto, médio e nulo (Tabela 3-8). A categoria alto apresenta valores elevados de refletância do teto, da parede e do piso. A categoria nulo, zera o índice de refletância destas três superfícies, quase que anulando a componente refletida interna. Já a categoria médio, trabalha com valores intermediários para os índices de refletância destas superfícies.

Tabela 3-8: Classificação das categorias do índice de refletância

Categorias	Teto	Parede	Piso
Nulo	0	0	0
Médio	70	45	15
Alto	80	70	35

Para desenvolver este estudo trabalhou-se da mesma forma que os estudos anteriores, ou seja, utilizou-se o mesmo modelo de estudo com o mesmo método de simulação e a mesma forma de apresentação. Entretanto, para limitar o estudo, optou-se por analisar apenas uma orientação, um horário, uma época do ano, uma condição de céu, um nível e duas situações, como apresentado na Tabela 3-9.

Tabela 3-9: Parâmetros de entrada das simulações da refletância das superfícies

Orientação	Norte
Horário	14hs
Época do ano	21 de junho (solstício inverno)
Condição de céu	Céu encoberto
Nível (pavimento)	Superior
Situações	- Situação atual sem proteção solar (Figura 3-12a e 3-12b) e situação com proteção solar horizontal (Figura 3-14a e 3-14b)
Latitude/ Longitude	27° 30' Sul/ 48° 00' Oeste

O método gráfico e o método analítico serão empregados para avaliar o desempenho dos resultados. Por tratar-se de um estudo bastante específico, os resultados das simulações serão avaliados somente através de 3 critérios. Um destes critérios é referente ao método gráfico representado pelas curvas com intervalos de iluminância (isolux). A iluminância média da sala e o coeficiente de variação são os outros dois critérios empregados que contemplam a avaliação do método analítico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados da pesquisa, assim como a discussão dos mesmos. Os resultados estão divididos basicamente em três partes: análise do protótipo escolar, medições de campo e simulações computacionais.

A análise do protótipo escolar diz respeito a investigação realizada sobre as características do modelo escolar implantado pela Secretaria de Educação para todas as novas escolas do Município. São analisadas principalmente características físicas relacionadas com conforto ambiental, sendo numeradas aspectos positivos e negativos deste protótipo escolar.

As medições de campo são realizadas sobretudo com a intenção de conhecer e familiarizar-se com o fenômeno na prática. As visitas à escola assim como as medições promovidas na mesma servem para aquisição de informações relativas às características físicas e funcionais da escola. Nestas medições são colhidos valores de iluminância e luminância de 3 salas de aula com diferentes geometrias. Também são realizadas medições de iluminância e luminância das principais superfícies constituintes da sala, a fim de determinar o índice de refletância das mesmas.

Os resultados das simulações computacionais e sua análise compõem a última e mais importante seção deste capítulo. Nas simulações são apresentados gráficos provenientes de dados retirados do software *Lightscape* v.3.2. As análises das simulações são referentes às diversas situações investigadas no modelo de estudo (orientação, horário, época do ano, condição de céu, nível) a fim de determinar o aproveitamento da iluminação natural na sala atual e com a implementação de elementos de proteção solar. Com este intuito, são promovidas análises gráficas e analíticas de cada situação simulada, bem como são aplicados parâmetros (iluminância média, distribuição das zonas, coeficiente de variação, uniformidade e diversidade) para avaliar o comportamento da iluminação natural nestas situações. Por fim, são realizadas simulações a fim de constatar a importância do índice de refletância no nível e na distribuição interna da iluminação.

4.1 Análise do protótipo escolar

O projeto protótipo a ser implantado em todas as novas escolas de Florianópolis apresenta uma série de qualidades do ponto de vista de conforto térmico e lumínico em relação aos projetos escolares públicos anteriores, como:

☺ **Iluminação de tarefa:** Os níveis de iluminação recomendados para salas de aula são diferenciados em função da atividade desenvolvida, onde o quadro negro merece atenção especial exigindo níveis maiores de iluminação que o restante da sala. Na escola pesquisada, existe iluminação artificial específica para o quadro negro (3 lâmpadas fluorescentes de 40W dispostas ao longo do quadro), mostrando preocupação em iluminar melhor o foco central da atividade visual dos alunos;

☺ **Circuitos de iluminação artificial paralelos à abertura:** Cada sala possui 4 circuitos de iluminação artificial (3 para iluminação geral do ambiente e 1 para iluminação específica do quadro negro). Cada circuito

genérico apresenta 2 luminárias compostas cada uma por 4 lâmpadas fluorescentes de 40W. Os 3 circuitos de iluminação geral apresentam-se dispostos paralelamente ao plano da abertura, possibilitando o acionamento independente dos circuitos. O paralelismo com a abertura permite acionar independentemente o circuito à medida que se afaste da abertura. Isto possibilita que em situações onde o nível de iluminação esteja heterogêneo, apenas um determinado circuito seja acionado, reduzindo gastos com energia elétrica;

☺ **Abertura alta para saída de ar quente:** Nas salas de aula compreendidas no pavimento superior, beneficiadas pela laje inclinada da cobertura, existem aberturas superiores tipo basculantes no alto da parede com pé direito elevado. Estas aberturas móveis possibilitam a saída do ar quente e também proporcionam ventilação cruzada ao ambiente uma vez que na parede oposta existem aberturas de correr;

☺ **Pátio com cobertura translúcida:** O pátio localizado no centro da escola que dá acesso a todas as salas de aula é coberto com telhas de policarbonato alveolar azul. Embora a presença deste policarbonato apresente aspectos negativos (aquecimento térmico e ofuscamento), ela propicia um ambiente de transição quantitativa dos níveis de iluminação. Até chegar na sala, o usuário vai sofrendo uma mudança gradual no nível de iluminação saindo de valores elevados (externo) passando por moderados (pátio) até valores mais baixos (interior da sala de aula), de forma que se possa haver uma adaptação visual gradativa;

☺ **Abertura bilateral na maioria das salas de aula:** Principal aspecto positivo do projeto. Todas as salas situadas no pavimento superior apresentam um sistema de abertura bilateral provocada pela inclinação da laje de cobertura. Este sistema além de propiciar ventilação cruzada e saída superior para o ar quente, também provoca um sistema bilateral de iluminação, o qual melhora consideravelmente a distribuição interna da iluminação natural uma vez que a fonte de luz não é concentrada em uma única superfície lateral, diminuindo os contrastes internos.

☺ **Cobertura com laje inclinada e telhas cerâmicas:** Visualizando-se o corte transversal do projeto, observa-se que a laje de cobertura do pavimento superior apresenta-se inclinada, elevando o pé direito na maior parte do ambiente. Isto acaba por melhorar as condições de conforto térmico dos usuários, uma vez que o ar quente subirá se afastando do usuário. Além disso, o telhado é coberto com telhas cerâmicas porosas que possui melhor performance térmica que a telha de fibrocimento, utilizada em vários projetos de escolas públicas de Florianópolis. Não existe câmara de ar entre a laje e as telhas, uma vez que as ripas são assentadas diretamente sobre a laje.

Com relação a iluminação, a laje inclinada proporcionou a presença de uma abertura superior oposta à abertura lateral principal. A angulação desta laje em relação ao plano horizontal e às aberturas deve aumentar a contribuição de luz da abertura secundária superior principalmente com relação a luz difusa, uma vez que a luz natural ao penetrar nesta abertura irá ser logo em seguida refletida para baixo, ou seja, para o plano de trabalho. O ângulo da laje proporciona que a luz natural sofra menos reflexões até atingir o plano de trabalho e com isso aumente sua contribuição. Já com relação à abertura principal isto não acontece em razão de não se ter um plano que proporcione uma reflexão direta para o plano de trabalho. Nesta situação a luz terá que sofrer inúmeras reflexões até atingir o plano de trabalho, sendo cada vez mais dissipada à medida que aumente o número de reflexões.

Apesar destas qualidades, a seguir estão expostos aspectos negativos ou questionáveis a respeito do projeto de protótipo escolar. São eles:

⊕ **Padrão estético questionável:** Os profissionais responsáveis pelos projetos das unidades escolares da Prefeitura apresentam preocupações relacionadas com a imagem visual das escolas. O novo padrão arquitetônico escolar é um exemplo disto. Entretanto, embora se tenha conseguido melhorar a qualidade visual das edificações com este novo padrão, ainda são questionáveis a coerência formal e volumétrica do novo protótipo. Acredita-se que o partido geral da escola não conseguiu suprir as necessidades arquitetônicas e estéticas da melhor maneira possível. Elementos arquitetônicos presentes não são valorizados, assim como não se tem uma forte identidade arquitetônica que marque a importância da escola para a comunidade;

⊕ **Incidência direta do Sol no policarbonato azul:** Todo o pátio central é coberto por policarbonato alveolar azul (material translúcido). Apesar de ser um elemento interessante para “filtrar” os raios solares (diminuição dos níveis de iluminação) do espaço de transição entre o ambiente externo e a sala de aula, sua inserção apresenta alguns malefícios aos usuários como a possibilidade de ofuscamento e aquecimento térmico demais. A cor azul do policarbonato também faz com que a luz ao ser transmitida para o pátio interno apresente coloração em tom de azul, dificultando a percepção visual das cores internas;

⊕ **Inexistência de elementos de controle:** Em todas as aberturas, nas diferentes orientações das salas de aula inexistem elementos de proteção móveis ou fixos. O único elemento que assume a função de proteção é o beiral. Nem cortinas, geralmente presentes, foram encontradas. Algumas salas apresentavam papel *craft* colado nas janelas para proteger determinados pontos internos da incidência direta dos raios solares;

⊕ **Orientação das aberturas:** Principal aspecto negativo do projeto. A orientação das salas de aula são determinadas pela forma e área do terreno. Desta forma, ignora-se a orientação das aberturas. A preocupação em orientar de maneira correta as aberturas fica renegada à sorte de se escolher um terreno que permita uma implantação coerente. Este fato é agravado pela inexistência de elementos de proteção, já que se estes estivessem presentes poderia-se amenizar os malefícios de uma orientação incorreta.

4.2 Medições em campo

As medições in loco na Escola Básica Donícia Maria da Costa foram realizadas para colher valores de iluminância e luminância nas 3 salas de aula determinadas. Também foram medidos valores de iluminância e luminância especificamente de algumas superfícies a fim de determinar o índice de refletância das mesmas.

O horário das medições ficou restrito ao período vespertino em razão das salas de aula estarem disponíveis apenas neste período.

4.2.1 Medições de iluminância

O nível de iluminação foi monitorado durante 15 minutos, com exceção da Sala 1 em que ocorreram problemas de leitura, sendo coletados apenas 8 minutos. Os dados foram adquiridos com intervalo de 1 minuto.

A Sala 1 (Figura 4-1) no pavimento superior com orientação das aberturas principais à Leste, teve incidência direta dos raios solares em algumas áreas da sala provocadas pela abertura superior voltada à Oeste. Entretanto,

mais especificamente nos pontos medidos, não teve-se incidência solar direta. Mesmo assim, o nível de iluminação apresentou-se elevado, como pode-se perceber no Quadro 4-1.

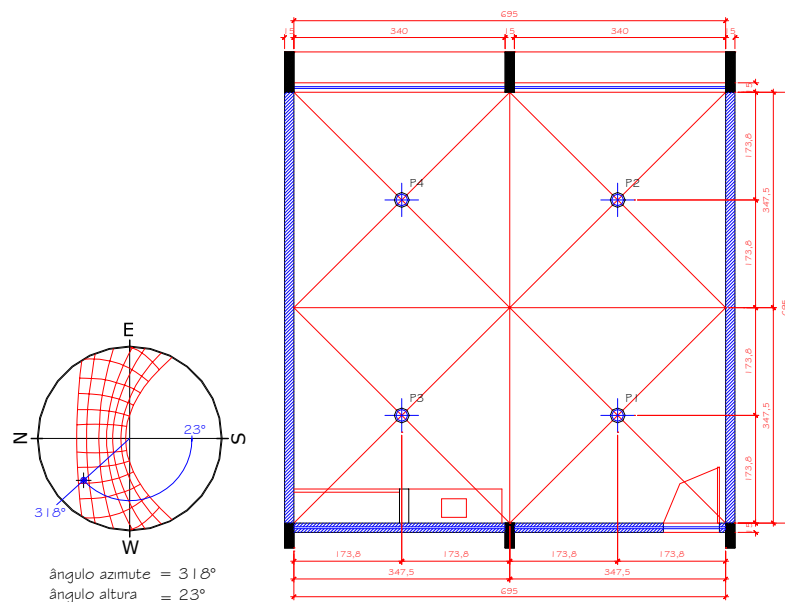


Figura 4-1: Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 1

Os valores em cada ponto não apresentaram grande variação durante a medição em razão de não ter ocorrido incidência direta solar em nenhum ponto medido e em nenhum momento da medição. O curto período de duração da medição também influenciou para esta pequena variação.

Horário	P1	P2	P3	P4
14:41	3130	2378	2411	2054
14:42	3145	2405	2421	2062
14:43	3157	2432	2434	2071
14:44	3168	2459	2439	2075
14:45	3180	2487	2450	2085
14:46	3195	2520	2464	2092
14:47	3208	2553	2467	2098
14:48	3179	2565	2470	2065
Média	3170	2475	2445	2075

Quadro 4-1: Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 1

Analisando os dados percebe-se que no momento da medição os valores de iluminância estiveram mais elevados na região do Ponto 1. Isto pode ser justificado pela penetração de luz do pátio interno proporcionado pela abertura da porta. A porta estava aberta no período da medição. Outra razão para os níveis de iluminação serem os mais elevados neste ponto é a geometria solar (ângulo azimute e ângulo de altura solar). Em função da geometria

solar, a área que compreende o Ponto 1 ficou mais próxima da incidência direta dos raios solares. Por conseguinte, os valores neste ponto são mais elevados (acima de 3000 lux) que no restante da sala.

Em uma análise estatística simplificada abrangendo todos os valores coletados nesta sala, temos uma média de 2541lux com desvio padrão de 404 lux e uma variância próxima de 16%. Estes dados demonstram o elevado nível de iluminação interno, estando muito acima do nível recomendado para salas de aula e também mostram a pequena variação entre os pontos durante o intervalo de medição.

Para a Sala 2 (Figura 4-2) com sistema unilateral de iluminação e com orientação das aberturas à Leste, não tem-se incidência direta dos raios solares em nenhum ponto medido assim como em nenhum ponto da sala. Em função desta sala não apresentar abertura superior como na Sala 1, já que o projeto da escola não prevê aberturas superiores nas salas do térreo, percebe-se através dos valores do Quadro 4-2, os baixos níveis de iluminação.

Assim como na Sala 1, os valores em cada ponto não apresentaram grande variação devido a não incidência direta solar em nenhum ponto e também ao curto período de duração da medição. Como esperado, a região próxima à abertura, onde estavam situados os pontos P8 (média de 675 lux) e P6 (média de 452 lux), foi a que apresentou os maiores valores de iluminância.

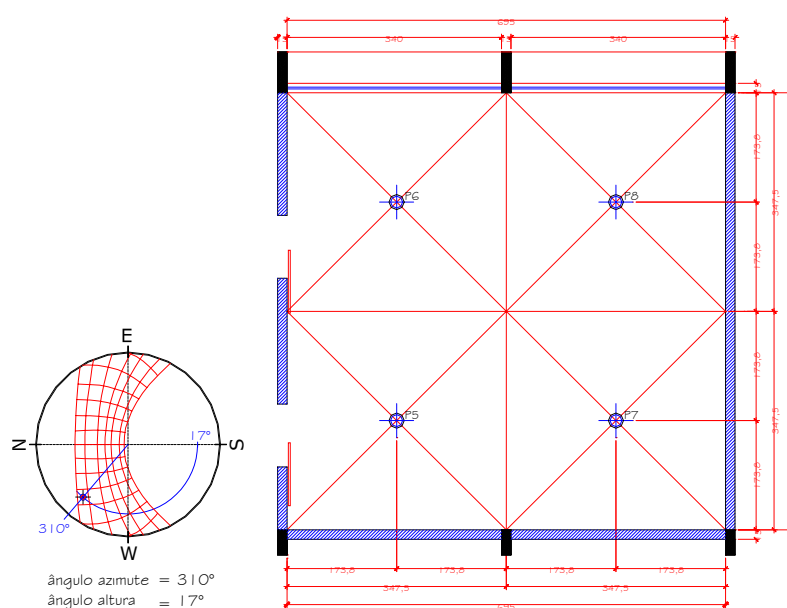


Figura 4-2: Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 2

Aplicando uma análise estatística simplificada com todos os valores coletados temos uma média de 427 lux com desvio padrão de 161 lux e uma variância próxima de 37%. Estes dados mostram um nível de iluminação moderado, estando muito abaixo dos valores da Sala 1, com uma variação maior de iluminação entre os pontos medidos.

Horário	P5	P6	P7	P8
15:20	266	471	351	692
15:21	270	471	352	691
15:22	259	462	338	684
15:23	260	463	319	684
15:24	262	463	338	686
15:25	260	460	337	684
15:26	259	458	322	682
15:27	255	454	335	679
15:28	253	451	332	676
15:29	250	448	329	673
15:30	248	444	325	668
15:31	245	440	322	665
15:32	244	438	320	663
15:33	242	435	317	660
15:34	240	441	315	657
15:35	239	431	313	654
Média	253	452	329	675

Quadro 4-2: Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 2

Com isso percebe-se que o sistema bilateral além de elevar o índice de iluminação interno também faz com que a distribuição interna seja mais homogênea, não havendo grandes diferenças no nível de iluminação em pontos distintos da sala. Este comportamento diferenciado das salas reforça a importância em se trabalhar distintamente as salas do térreo e do pavimento superior nos ensaios computacionais.

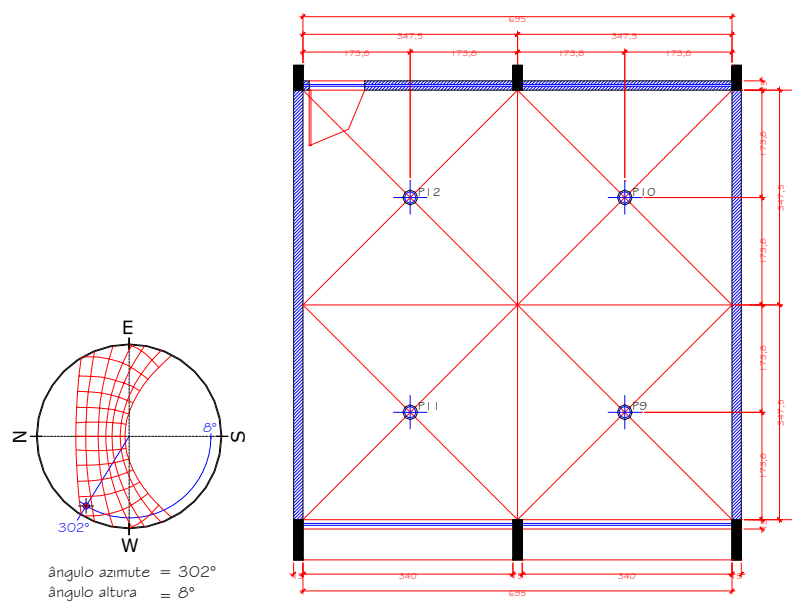


Figura 4-3: Diagrama solar e pontos de medição de iluminância na Sala 3

Na Sala 3 (Figura 4-3), posicionada no pavimento superior com aberturas principais à Oeste, percebemos pelo diagrama solar que há incidência direta do Sol no interior da sala no horário da medição. Em virtude da sala não apresentar proteção solar nenhuma, com exceção do beiral (proteção horizontal) e dos pilares ressaltados (proteção vertical), a incidência direta dos raios solares, acabou refletindo nos altos níveis de iluminação medidos internamente.

Através do Quadro 4-3 percebe-se a grande variação dos níveis de iluminação entre os diferentes pontos medidos. Esta variação também se dá nos valores do mesmo ponto durante o intervalo de medição, visto que em alguns pontos a incidência direta dos raios solares se deu em apenas parte do intervalo.

Os pontos próximos à abertura (P9 e P11) foram os que apresentaram os níveis mais altos. No Ponto 9 durante todo o intervalo de medição houve incidência direta dos raios solares. Já no Ponto 12, não houve incidência direta em nenhum momento da medição.

Estatisticamente temos uma média de 7382 lux com desvio padrão de 5557 lux e uma variância próxima de 75%. Isto demonstra um alto nível de iluminação, estando muito acima dos valores encontrados na Sala 1 e Sala 2. Em virtude da incidência direta dos raios solares em vários pontos da sala, os valores de iluminação apresentaram uma variação muito grande durante o intervalo de medição.

Horário	P9	P10	P11	P12
16:25	15700	1818	13740	1396
16:26	15450	1832	13440	1383
16:27	15180	1840	13180	1363
16:28	14930	1820	12910	1361
16:29	14650	1791	12660	1347
16:30	14320	1795	12340	1334
16:31	14010	1830	12070	1315
16:32	13700	5034	11770	1298
16:33	13440	1729	11470	1279
16:34	13100	1761	11170	1258
16:35	12810	1748	10890	1240
16:36	12470	1762	10590	1215
16:37	12210	2451	10360	1209
16:38	11960	4072	10090	1209
16:39	11620	11580	9208	1185
16:40	11360	8370	7805	1199
Média	13557	3202	11481	1287

Quadro 4-3: Valores de iluminância (em lux) medidos na Sala 3

4.2.2 Medições do índice de refletância das superfícies

Como o índice de reflexão é uma das propriedades físicas com maior influência no comportamento da iluminação natural interna, julgou-se essencial a sua determinação in loco para posteriormente utilizar estes valores nos ensaios simulacionais. Em razão do método utilizado para determinação do índice de reflexão das superfícies ter

como variável a luminância e a iluminância da superfície desejada, primeiramente mediu-se estas variáveis in loco para, posteriormente, determinar-se o índice de reflexão.

Embora os quadros abaixo apresentem valores do índice de refletância com obstrução e sem obstrução, julgou-se que o valor sem obstrução seria o mais correto em virtude da medição de iluminância ter ocorrido sem obstrução. Como caráter elucidativo, os quadros a seguir também apresentam os valores com obstrução embora eles não tenham sido utilizados na determinação do índice de refletância final.

Sendo assim, o índice de refletância foi determinado pela média entre o valor médio sem obstrução a uma distância de 15cm e o valor médio sem obstrução a uma distância de 50cm.

4.2.2.1 Refletância piso

O piso das salas de aula é cerâmico cor branco com ranhuras em tons cinzas. Nos Quadros 4-4 e 4-5, temos os valores medidos de refletância do piso.

PISO	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	84.9	84.9	71.0	71.0	68.9	68.9		
ILUMINÂNCIA (E)	525.0	601.0	425.0	489.0	479.0	555.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.51	0.44	0.52	0.46	0.45	0.39	0.49	0.43

Quadro 4-4: Determinação do índice de refletância do piso (distância 15cm)

PISO	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	49.6	49.6	82.0	82.0	95.1	95.1		
ILUMINÂNCIA (E)	278.0	345.0	476.0	498.0	525.0	553.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.56	0.45	0.54	0.52	0.57	0.54	0.56	0.50

Quadro 4-5: Determinação do índice de refletância do piso (distância 50cm)

Valor do índice de refletância do piso: $\rho = 0.47$

4.2.2.2 Refletância teto

O teto da sala de aula é rebocado pintado na cor branco gelo. Nos Quadros 4-6 e 4-7 estão presentes os valores medidos para determinar a refletância do teto.

TETO	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	85.1	85.1	80.3	80.3	88.7	88.7		
ILUMINÂNCIA (E)	370.0	405.0	377.0	388.0	397.0	419.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.72	0.66	0.67	0.65	0.70	0.66	0.70	0.66

Quadro 4-6: Determinação do índice de refletância do teto (distância 15cm)

TETO	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	88.4	88.4	86.6	86.6	89.1	89.1		
ILUMINÂNCIA (E)	400.0	413.0	380.0	385.0	395.0	410.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.69	0.67	0.72	0.71	0.71	0.68	0.71	0.69

Quadro 4-7: Determinação do índice de refletância do teto (distância 50cm)

Valor do índice de refletância do teto: $\rho = 0.68$

4.2.2.3 Refletância parede amarela

A parede rebocada pintada de amarelo claro vai da cota de 1m de altura até o teto. Os valores determinados de refletância da parede amarela estão nos Quadros 4-8 e 4-9.

PAREDE AMARELA	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	92.8	92.8	81.0	81.0	106.9	106.9		
ILUMINÂNCIA (E)	570.0	583.0	454.0	470.0	665.0	698.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.51	0.50	0.56	0.54	0.50	0.48	0.53	0.51

Quadro 4-8: Determinação do índice de refletância da parede amarela (distância 15cm)

PAREDE AMARELA	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	119.8	119.8	100.5	100.5	133.4	133.4		
ILUMINÂNCIA (E)	602.0	649.0	517.0	549.0	702.0	719.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.62	0.58	0.61	0.57	0.60	0.58	0.61	0.58

Quadro 4-9: Determinação do índice de refletância da parede amarela (distância 50cm)

Valor do índice de refletância da parede amarela: $\rho = 0.55$

4.2.2.4 Refletância parede verde

O trecho da parede que vai do piso até 1m de altura é pintada de verde. Nos Quadros 4-10 e 4-11, temos os valores calculados de refletância da parede verde.

PAREDE VERDE	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	40.0	40.0	39.0	39.0	55.2	55.2		
ILUMINÂNCIA (E)	432.0	513.0	442.0	481.0	608.0	651.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.29	0.24	0.28	0.25	0.29	0.27	0.28	0.26

Quadro 4-10: Determinação do índice de refletância da parede verde (distância 15cm)

PAREDE VERDE	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	43.3	43.3	44.5	44.5	54.8	54.8		
ILUMINÂNCIA (E)	445.0	550.0	475.0	484.0	650.0	663.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.31	0.25	0.29	0.29	0.26	0.26	0.29	0.27

Quadro 4-11: Determinação do índice de refletância da parede verde (distância 50cm)

Valor do índice de refletância da parede verde: $\rho = 0.27$

4.2.2.5 Refletância carteira

As carteiras são metálicas com tampo de madeira revestido de fórmica verde claro. Os valores de refletância medidos das carteiras estão presentes nos Quadros 4-12 e 4-13.

CARTEIRA	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	66.0	66.0	89.6	89.6	188.0	188.0		
ILUMINÂNCIA (E)	490.0	553.0	726.0	864.0	1350	1510		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.42	0.37	0.39	0.33	0.44	0.39	0.42	0.36

Quadro 4-12: Determinação do índice de refletância da carteira (distância 15cm)

CARTEIRA	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	71.4	71.4	106.0	106.0	203.0	203.0		
ILUMINÂNCIA (E)	509.0	550.0	916.0	983.0	1450	1513		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.44	0.41	0.36	0.34	0.44	0.42	0.41	0.39

Quadro 4-13: Determinação do índice de refletância da carteira (distância 50cm)

Valor do índice de refletância da carteira: $\rho = 0.38$

4.2.2.6 Refletância quadro negro

O quadro negro tem pintura fosca verde. Nos Quadros 4-14 e 4-15 estão presentes os valores medidos de refletância do quadro negro.

QUADRO NEGRO	15cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	15.3	15.3	15.8	15.8	18.9	18.9		
ILUMINÂNCIA (E)	445.0	478.0	451.0	493.0	471.0	495.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.11	0.10	0.11	0.10	0.13	0.12	0.11	0.11

Quadro 4-14: Determinação do índice de refletância do quadro negro (distância 15cm)

QUADRO NEGRO	50cm						média c/ obstrução	média s/ obstrução
	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.	c/ obst.	s/ obst.		
LUMINÂNCIA (L)	15.3	15.3	16.1	16.1	20.0	20.0		
ILUMINÂNCIA (E)	464.0	490.0	445.0	462.0	620.0	649.0		
ÍNDICE DE REFLEXÃO (ρ)	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10

Quadro 4-15: Determinação do índice de refletância do quadro negro (distância 50cm)

Valor do índice de refletância do quadro negro: $\rho = 0.11$

4.2.2.7 Comparativo dos valores recomendados com os valores medidos

Os valores do índice de reflexão recomendados para salas de aula de acordo com *Illuminating Engineering Society of North America - IESNA* (REA, 1995) estão presentes na coluna central da Tabela 4-1. Ao lado desta coluna, por caráter comparativo, estão apresentados os valores determinados pelas medições de luminância e iluminância na sala de aula em questão.

Tabela 4-1: Comparativo dos valores do índice de reflexão recomendados e medidos

Superfície	Valores recomendados IESNA	Valores medidos
Teto	70-90%	68%
Paredes	40-60%;	55% (parede amarela) 27% (parede verde)
Piso	30-50%;	47%
Carteira	35-50%;	38%
Quadro negro	até 20%.	11%

Como pode-se perceber pela Tabela 4-1, as superfícies medidas referentes ao teto e a parede verde apresentam índice de reflexão abaixo dos valores recomendados. Como a parede amarela, a carteira e o quadro negro estão dentro da faixa aconselhada, nenhuma superfície está acima do índice recomendado. Se nos ensaios computacionais fossem utilizados os valores recomendados pela *IESNA* (REA, 1995), os valores referentes ao nível de iluminância das simulações seriam diferentes dos valores encontrados utilizando as refletâncias medidas in loco.

Através das medições *in loco* constatou-se e analisou-se a forma de utilização da iluminação natural nas salas de aula através do entendimento da ocorrência, na prática, do fenômeno analisado. Buscou-se também, colher informações para alimentar um banco de dados sobre a refletância das superfícies (piso, paredes, teto, carteiras e quadro negro). Estes valores serão importantes para o desenvolvimento das simulações computacionais.

4.2.3 Medições de Luminância

As medições de luminância ocorreram nas 3 salas, sendo que em cada sala escolheu-se um posto de trabalho, o qual foi designado no centro geométrico de cada sala. Os valores de luminância medidos nos postos de trabalho visando-se as situações consideradas mais críticas são mostrados nas Tabelas 4-2, 4-3 e 4-4.

Tabela 4-2: Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 1

Posições	Luminância (cd/m ²)					
	A	B	C	D	E	F
Parede ao nível dos olhos	1399	1210				
Piso	4580	4470				
Cortinas						
Janelas	10340	10210	9540	9230	17980	16840
Tarefa						
Área central da tarefa	105					
Área adjacente da tarefa	664	402				
Maior luminância no campo de visão	17980					

Tabela 4-3: Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 2

Posições	Luminância (cd/m ²)					
	A	B	C	D	E	F
Parede ao nível dos olhos	14	15				
Piso	23	17				
Cortinas						
Janelas	4540	3230	3780	3320		
Tarefa						
Área central da tarefa	65					
Área adjacente da tarefa	36	23				
Maior luminância no campo de visão	9540					

Tabela 4-4: Medições de luminância nos pontos visados a partir do posto de trabalho da Sala 3

Posições	Luminância (cd/m ²)					
	A	B	C	D	E	F
Parede ao nível dos olhos	83	88	4900	4590		
Piso	1684	1662				
Cortinas						
Janelas	31900	41800	26370	23450		
Tarefa						
Área central da tarefa	1760					
Área adjacente da tarefa	1490	1530	2120	2230		
Maior luminância no campo de visão	41800					

A partir desses valores, determinou-se as proporções a serem comparadas com a Tabela 2-5. Os valores de contraste para cada posto de trabalho são apresentados nas Tabelas de 4-5, 4-6 e 4-7. As Figuras 4-4, 4-5 e 4-6 apresentam estes contrastes assim como alguns valores de luminância das superfícies. Vale salientar que foram medidos exclusivamente os pontos críticos quanto ao excesso de luminâncias de cada sala.

Interpretando-se os dados da Tabela 4-5 e da Figura 4-4, verificou-se que no ponto medido da Sala 1 o contraste não está de acordo com a proporção recomendada em nenhuma das situações analisadas, com exceção da relação de luminâncias entre a fonte de luz natural e a superfície adjacente. Observando os valores coletados temos que o valor de luminância da área central da tarefa é o menor valor de luminância medido ($105\text{cd}/\text{m}^2$).

Vale salientar que a sala apresenta orientação principal das aberturas à Leste e uma abertura superior à Oeste. Como as medições nesta sala foram realizadas no período vespertino (próximo às 14h30min) com céu claro e em virtude da sala não apresentar nenhum tipo de proteção solar, a incidência solar esteve presente em grande parte da sala principalmente na frente do observador posicionado no posto de trabalho. Entretanto, o posto de trabalho não apresentava esta incidência direta dos raios solares. Isto acabou ocasionando em um valor de luminância relativamente baixo na área de trabalho (carteira - $105\text{cd}/\text{m}^2$) com relação ao restante dos pontos medidos.

Como exemplo, pode-se citar a relação recomendada de luminância entre a tarefa central e o entorno imediato. De acordo com a Tabela 4-5, a área central deveria apresentar 3 vezes a luminância do entorno imediato, mas o que se constatou foi o contrário. O entorno imediato ($402 - 664\text{cd}/\text{m}^2$) apresenta mais de 3 vezes a luminância da área central da tarefa ($105\text{cd}/\text{m}^2$). Da mesma forma, esta relação inversa da recomendada acontece em outras situações. Nas paredes escuras mais afastadas (paredes – mais de $1000\text{cd}/\text{m}^2$) a luminância é mais de 10 vezes maior que a luminância da área central da tarefa, sendo que o recomendado seria o inverso.

Tabela 4-5: Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 1

Relação	Proporção recomendada	Proporções medidas
Entre a tarefa e o entorno imediato (adjacente)	3:1	0.16:1 0.26:1
Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10:1	1:13 1:12
Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0.1:1	0.010:1 0.010:1 0.006:1 0.006:1 0.023:1 0.023:1
Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20:1	23:1
Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão	40:1	171:1

Os maiores valores medidos de luminância se deram nas janelas, principalmente na abertura superior voltada para Oeste (presença de raios solares). Nesta, os valores (acima de $10000\text{cd}/\text{m}^2$) foram mais de 100 vezes superiores que o valor da área central da tarefa, sendo que o contraste recomendado para esta situação seria de

apenas 10 vezes. Em virtude dos altos valores de luminância medidos nas janelas chegamos a ter um contraste de 171:1 entre um valor de luminância da janela superior (17980 cd/m^2) e a área central da tarefa (105 cd/m^2).

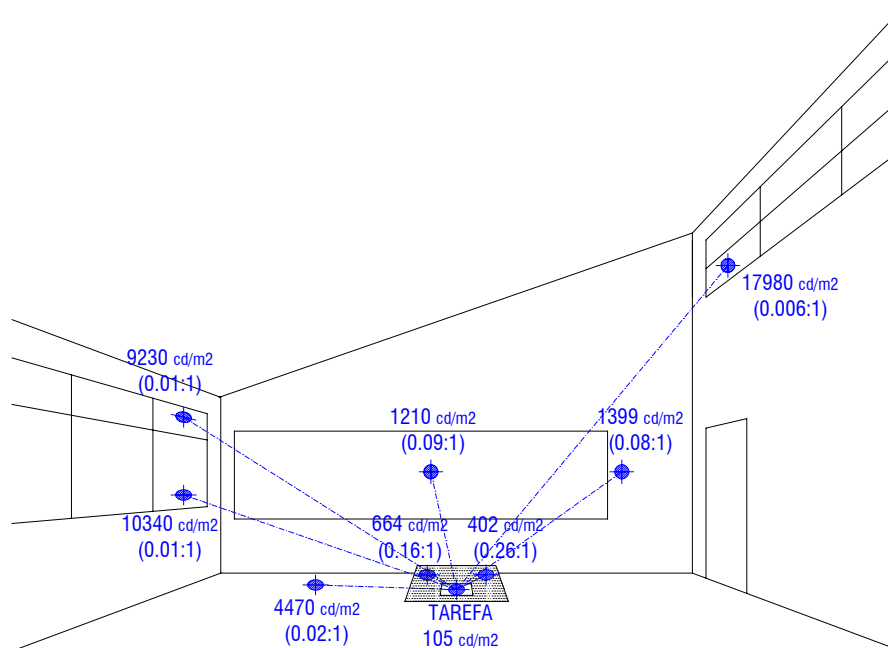


Figura 4-4: Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 1

Cabe salientar, que nesta situação o piso foi enquadrado como superfície clara mais afastada, já que o mesmo apresentava incidência direta do Sol chegando a ter mais de 4000 cd/m^2 .

Sendo assim, temos excesso de luminância no entorno imediato (áreas adjacentes) e nas superfícies claras e escuras mais afastadas, não sendo verificado em nenhum ponto o contraste recomendado entre a proporção de luminâncias, com exceção da relação entre a fonte de luz natural e a superfície adjacente. Em todas as outras situações, o contraste recomendado não foi atendido e sequer chegou próximo aos valores recomendados.

Analisando-se os valores medidos de luminância na Sala 2 e os seus contrastes (Tabela 4-6 e Figura 4-5), temos uma situação distinta da anterior no que concerne à magnitude dos valores encontrados. Se na Sala 1 tivemos valores de luminância acima de 17000 cd/m^2 , nesta sala o maior valor encontrado foi de 4540 cd/m^2 mirando-se o luminômetro na direção da janela, pegando a cobertura da ala de serviço (cantina, refeitório), que apresentava incidência direta dos raios solares.

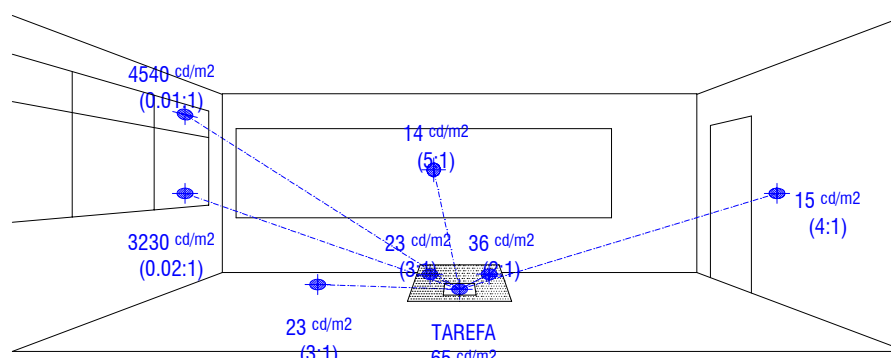
Em virtude da geometria da sala apresentar apenas abertura na lateral Leste, sem abertura superior à Oeste, já que esta sala está localizada no térreo, não tivemos a penetração direta dos raios solares no interior da sala em nenhum ponto analisado. Com isso, os valores de luminância encontrados foram bem inferiores aos da Sala 1.

Embora as proporções de luminância tenham sido observadas somente na situação entre a tarefa e o entorno imediato (3:1), observamos que nesta sala os contrastes obtidos se aproximaram mais dos contrastes recomendados, principalmente nas variáveis relacionadas com a área central da tarefa. Nesta sala, o valor da área central da tarefa (65 cd/m^2) esteve acima dos valores das áreas adjacentes (média de 30 cd/m^2) e das áreas escuras mais afastadas (média de 17 cd/m^2).

Tabela 4-6: Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 2

Relação	Proporção recomendada	Proporções medidas
Entre a tarefa e o entorno imediato (adjacente)	3:1	2:1 3:1
Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10:1	5:1 4:1 3:1 4:1
Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0.1:1	0.014:1 0.020:1 0.017:1 0.020:1
Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20:1	124:1
Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão	40:1	324:1

O grande problema encontrado diz respeito ao máximo contraste em qualquer parte do campo de visão. O maior valor foi de 4540 cd/m^2 encontrado na janela que é mais de 300 vezes maior que o menor valor encontrado 14 cd/m^2 no quadro negro, superando substancialmente a proporção recomendada (40:1).

**Figura 4-5: Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 2**

Assim como na sala anterior, os maiores valores medidos de luminância se deram nas janelas, com valores acima de 3000 cd/m^2 . Comparando-se os valores de luminância da área central da tarefa (65 cd/m^2) com estes valores, temos uma relação aproximada de 0,02, sendo que a proporção recomendada seria 0,1.

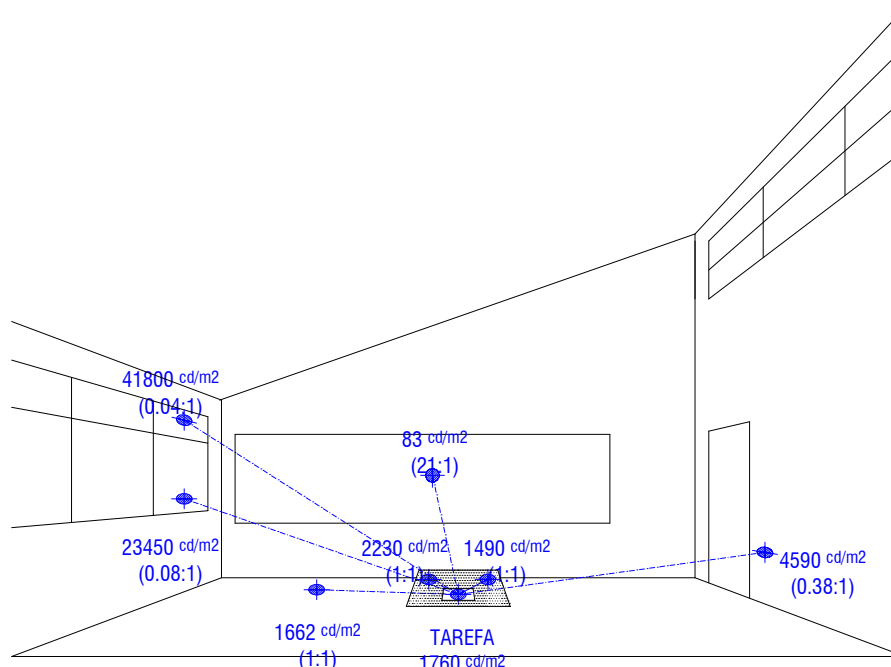
De acordo com os valores coletados e as proporções calculadas, pode-se dizer que o contraste é atendido na situação entre a área central da tarefa e o seu entorno imediato. Nas outras situações envolvendo a tarefa, o contraste indicado não foi atendido, mas a proporção calculada se aproximou mais da proporção recomendada do que em relação a Sala 1. Nas situações entre a fonte de luz natural e superfícies adjacentes e no máximo contraste no campo de visão, a proporção calculada foi extremamente superior a proporção recomendada.

Observando-se os valores coletados de luminância da Sala 3 (Tabela 4-7 e Figura 4-6), percebe-se valores elevados em praticamente todas as situações. Estes valores elevados são resultado da incidência direta do Sol em grande parte da sala estudada ocasionada pela geometria da mesma.

Tabela 4-7: Contrastes verificados no posto de trabalho da Sala 3

Relação	Proporção recomendada	Proporções medidas
Entre a tarefa e o entorno imediato (adjacente)	3:1	1:1 1:1 1:1 1:1
Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10:1	21:1 20:1
Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0.1:1	0.35:1 0.38:1 1:1 1:1 0.06:1 0.04:1 0.07:1 0.08:1
Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20:1	17:1
Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão	40:1	504:1

Como citado anteriormente, as medições foram realizadas no período vespertino sob condição de céu claro. Em virtude da Sala 3 apresentar orientação da abertura principal à Oeste e da medição específica desta sala ocorrer no horário das 16h30min próximo ao solstício de inverno (ângulo de altura do Sol baixo), a incidência direta dos raios solares esteve presente na maior parte da sala, ocasionando em valores altos de luminância. A luminância da área central da tarefa, por exemplo, foi de 1760 cd/m^2 .

**Figura 4-6: Valores de luminância e relação de contrastes na Sala 3**

De acordo com os dados, verificou-se que no ponto medido da Sala 3 o contraste não está sendo atendido em nenhuma das situações (Tabela 4-7 e Figura 4-6). Com relação aos valores coletados da tarefa (carteira) e do entorno imediato, temos valores muito próximos entre si, ocasionando em um contraste de 1:1.

A situação em que a proporção de luminâncias mais se aproximou da recomendada foi entre a fonte de luz natural e superfícies adjacentes onde o contraste recomendado é de 20:1, sendo que o medido ficou em 17:1.

Os menores valores medidos de luminância para esta sala se deram no quadro negro e na parede verde abaixo deste, pois nestas superfícies não se tinha a incidência direta do Sol. Os valores obtidos foram de 83 e 88 cd/m^2 , obtendo-se um contraste de 20:1, o dobro do recomendado para a relação entre a tarefa e as superfícies escuras mais afastadas (10:1).

Observando-se os valores obtidos com o luminômetro voltados para a janela na direção do Sol, obtivemos valores acima de 40000 cd/m^2 , quase 2 vezes o valor delimitador da causa de ofuscamento por saturação (25000 cd/m^2).

Mesmo com a tarefa apresentando alto valor de luminância (1760 cd/m^2), não obteve-se o contraste adequado com as superfícies claras mais afastadas pois as janelas apresentavam luminância superior a 20000 cd/m^2 , causando um contraste inferior a 0,1:1. Com relação a luminância do piso (1700 cd/m^2) obtivemos contraste de 1:1 em relação a tarefa. A parede com incidência direta do Sol teve valores de luminância abaixo de 5000 cd/m^2 , proporcionando uma relação aproximada de 0,35:1.

O máximo contraste em qualquer parte do campo de visão ficou na relação acima de 500:1, em virtude dos altos valores de luminância medidos nas janelas na direção do Sol. O valor máximo chegou a 41800 cd/m^2 e foi comparado com o valor obtido no quadro negro (85 cd/m^2). Na Sala 3, obtivemos os maiores valores de luminância em razão da geometria da sala, do horário, da data e da orientação da abertura. Em nenhuma situação o contraste recomendado foi obtido através das proporções de luminâncias.

4.3 Simulações computacionais

Os resultados das simulações computacionais estão apresentados abaixo sendo divididos em resultados gráficos e resultados analíticos.

4.3.1 Resultados do método gráfico

O método gráfico é responsável por apresentar os resultados em forma de figura (representação gráfica), permitindo uma visualização e interpretação rápida e direta do desempenho da iluminação natural na situação estudada. Este método é resultado do mapeamento das iluminâncias no plano de trabalho com o objetivo de avaliar o comportamento da distribuição das iluminâncias em toda a área da sala de estudo. Este mapeamento é dividido em regiões com iluminância excessiva, transição superior, suficiente, transição inferior e insuficiente (Tabela 3-2).

Destas 5 zonas, a zona suficiente é a região "ideal" com relação a quantidade de iluminação. Mas, as zonas de transição superior e inferior também representam regiões onde se têm níveis de iluminação aceitáveis. Estas zonas são consideradas limites de iluminância máxima e mínima admissíveis, respectivamente. Conseqüentemente, o somatório destas 3 zonas caracterizam a zona de iluminância aceitável e quanto maior for a área de abrangência desta zona, melhor será a performance da situação investigada.

Os resultados do método gráfico são oriundos das simulações realizadas no programa computacional *Lightscape v. 3.2*. Os valores de iluminância resultantes destas simulações foram tratados e organizados em planilhas do software *Microsoft Excel* para em seguida serem exportados para o programa *Surfer v. 5.0*. Este último software faz a leitura dos dados de iluminância, tendo como resultado a plotagem gráfica em curvas isolux destes valores quantitativos. Desta maneira, todas as figuras apresentadas neste capítulo são resultantes dos gráficos gerados por este *software*.

Os gráficos estão ordenados em conjunto de 3 figuras. Sendo que, para cada conjunto deste tem-se a mesma orientação, horário, condição de céu, época do ano e pavimento. A variável entre eles é a situação (atual, com o primeiro elemento de proteção e com o segundo elemento de proteção). Vale salientar que quando referencia-se ao pavimento, também está intrínseco o sistema de iluminação, ou seja, para o pavimento inferior tem-se sistema de iluminação unilateral e para o pavimento superior tem-se sistema de iluminação bilateral, conforme descrito no tópico 3.2.5 da Metodologia.

As figuras dos gráficos isolux além de apresentarem o valor do índice de iluminância das curvas estão divididos em cinco tonalidades diferentes, representando as cinco zonas de iluminância. As cores das curvas apresentam um “*degradê*” de cinco cores que vão da cor mais escura até a mais clara. A cor mais escura representa a zona insuficiente, enquanto a cor mais clara representa a zona com iluminância excessiva. Por conseguinte, as cores intermediárias a estas duas, representam as três zonas restantes (transição inferior, suficiente e transição superior).

Juntamente com o gráfico de cada simulação, estão apresentadas a área de abrangência das zonas de iluminação. Este cálculo de áreas não é realizado fazendo a leitura das regiões presentes nos gráficos. O cálculo é feito em função dos valores de iluminância retirados do *Lightscape v.3.2*. Como a malha auxiliar de coleta das iluminâncias apresenta 49 pontos, cada ponto corresponde a 2,04% da área. Através do somatório dos pontos pertencentes a cada zona de iluminância, obtém-se suas respectivas áreas de abrangência.

Na parte inferior de cada gráfico está citada a situação de estudo sendo composta, consecutivamente, pelas seguintes variáveis: orientação (Norte e Leste), horário (14h00min e 10h00min), condição de céu (claro e encoberto), época do ano (solstício de inverno e solstício de verão), situação (atual, elemento de proteção 1 e elemento de proteção 2) e nível (pavimento térreo e superior). A separação entre as variáveis é realizada pela presença de hífen.

Nos gráficos apresentados a seguir, as curvas isolux estão desenhadas sobre a planta-baixa da sala a fim de auxiliar na compreensão dos resultados. Primeiramente são apresentados os gráficos das simulações da orientação Norte e, posteriormente, da orientação Leste. Vale ressaltar que nas situações com a presença dos elementos de obstrução, os mesmos foram inseridos somente na abertura principal, ou seja, nas salas com orientação da abertura principal à Norte, o elemento de obstrução solar aparece exclusivamente na abertura voltada para o Norte. Esta mesma explicação serve para as salas com orientação da abertura principal à Leste.

Após a análise dos gráficos para cada orientação são apresentados quadros que descrevem a área de abrangência das zonas para cada situação, facilitando a comparação entre as diferentes situações (atual, com

proteção solar 1 e com proteção solar 2) para cada condição (orientação, horário, época do ano, condição de céu e pavimento).

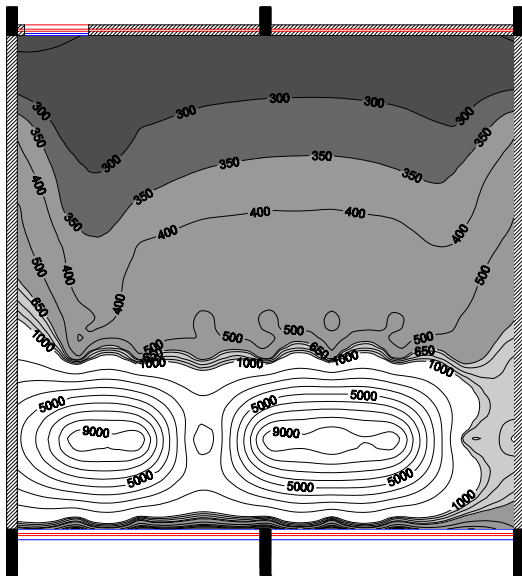
4.3.1.1 Orientação Norte

As Figuras 4-7 a 4-54, representam os gráficos com as curvas isolux, indicando os níveis de iluminação e a sua distribuição, para as diferentes situações da sala com orientação da abertura principal à Norte. Primeiramente, são mostrados os gráficos referentes as situações com céu claro (Figuras 4-7 a 4-30) e posteriormente, os gráficos com céu encoberto (Figuras 4-31 a 4-54).

Para a situação Norte-14-claro-inverno-superior (Figura 4-7), fica evidente a presença do Sol no interior do ambiente na situação atual chegando a ter áreas com valores próximos a 10.000 lux. Em contrapartida, nas regiões mais afastadas da abertura principal temos valores abaixo de 200 lux, caracterizando uma grande variação na distribuição interna da iluminação. Mesmo assim, a zona preponderante na situação é a suficiente (42,86%).

Com a inserção dos elementos de proteção (Figuras 4-8 e 4-9), anulou-se a presença do Sol no interior da sala e conseqüentemente, extinguiu-se a zona com iluminância excessiva. Mas, a introdução dos elementos de obstrução também acarretaram na diminuição dos níveis internos de iluminação na região oposta à abertura principal, aumentando a zona com iluminância insuficiente. A zona suficiente diminui sua área para 28,57% com a light-shelf e para 10,82% com o elemento horizontal.

Através da observação das Figuras 4-7, 4-8 e 4-9 percebe-se a distribuição dos níveis de iluminação natural interno maiores próximo a abertura principal, diminuindo gradualmente em direção à superfície oposta desta abertura. Com isso, percebe-se pouca contribuição de iluminação proporcionada pela abertura secundária superior disposta na fachada oposta à abertura principal.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 10,20
651 a 1000 lux	- 16,33
350 a 650 lux	- 42,86
300 a 349 lux	- 14,29
< 300 lux	- 16,33

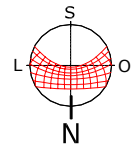
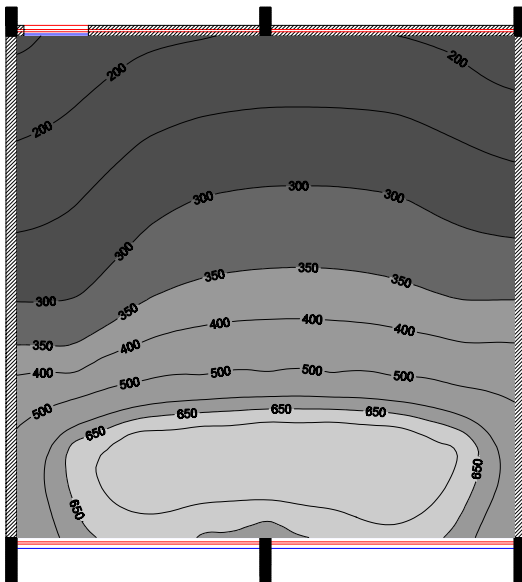


Figura 4-7: Norte-14-claro-inverno-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 22,45
350 a 650 lux	- 28,57
300 a 349 lux	- 12,24
< 300 lux	- 36,73

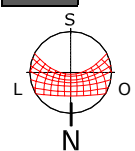
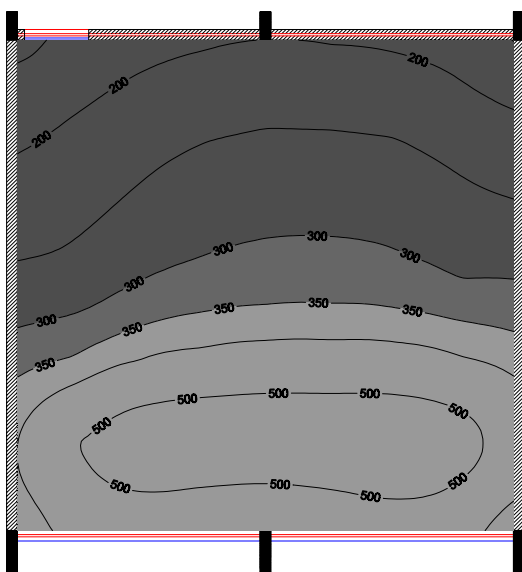


Figura 4-8: Norte-14-claro-inverno-light-shelf-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 10,82
300 a 349 lux	- 2,04
< 300 lux	- 57,14

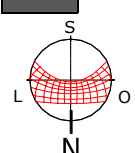
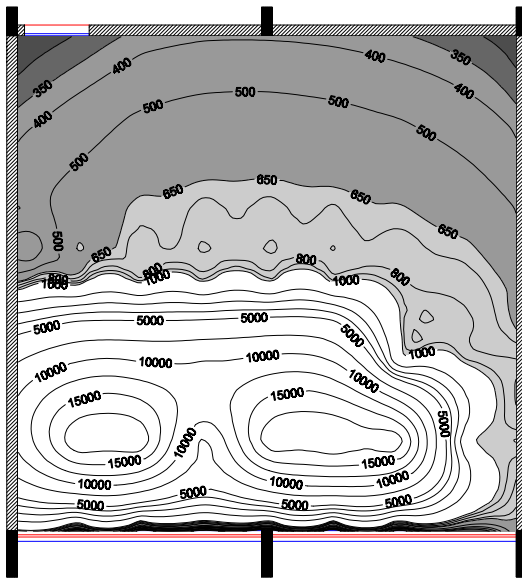


Figura 4-9: Norte-14-claro-inverno-horizontal-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 28,57
651 a 1000 lux	- 38,78
350 a 650 lux	- 28,57
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 0,00

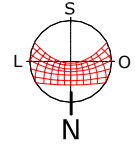
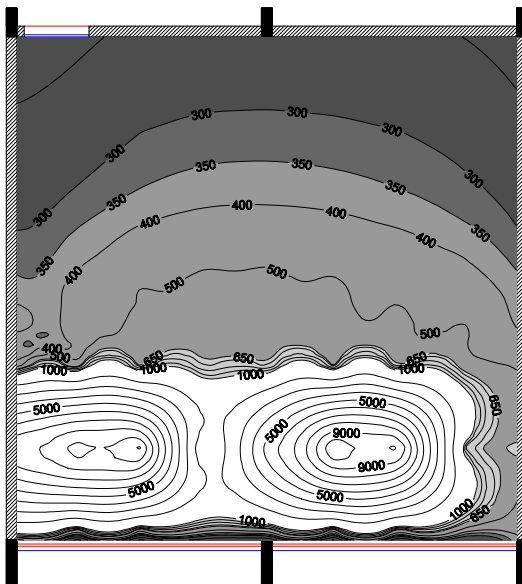


Figura 4-10: Norte-14-claro-inverno-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 10,20
651 a 1000 lux	- 14,29
350 a 650 lux	- 42,86
300 a 349 lux	- 12,24
< 300 lux	- 20,41

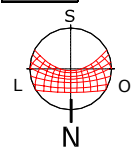
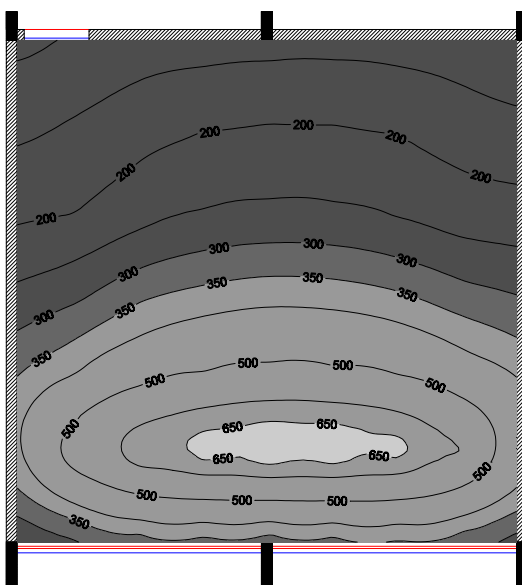


Figura 4-11: Norte-14-claro-inverno-light-shelf-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 8,16
350 a 650 lux	- 40,82
300 a 349 lux	- 6,12
< 300 lux	- 44,90

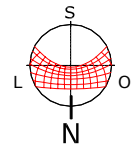


Figura 4-12: Norte-14-claro-inverno-horizontal-inferior

Na situação Norte-14-claro-inverno-inferior (Figura 4-10), também há presença do Sol no interior da sala. Mas, em razão da geometria da sala diferenciada em relação ao pavimento superior, percebe-se uma região maior com iluminância excessiva (28,57%) causada pela maior área de abertura voltada para a fachada Norte e menor proteção externa. Estas condições físicas diferenciadas fizeram com que a área com iluminância excessiva avançasse na direção oposta da abertura principal. A área com zona suficiente corresponde a 28,57%.

Mesmo que inexistindo a zona de iluminância insuficiente, esta situação apresenta uma enorme variação nos níveis de iluminação internos que variam de aproximadamente 300 a 20.000 lux.

É importante salientar que as curvas próximas das paredes apresentam distorções. Isto se deve em razão do software utilizado (*Surfer*, versão 5.0) necessitar de um valor de iluminância em pelo menos um ponto de cada superfície (para este caso, um valor de iluminância para um ponto de cada uma das 4 paredes) com o intuito de promover as interações necessárias do método utilizado pelo programa (método *Kriging*). Desta maneira, embora no gráfico apareça nos cantos superiores uma pequena zona com iluminância insuficiente ela não deve ser levada em consideração pois é fruto de pontos de referência retirados na parede.

Em razão da geometria solar e do tipo de proteção empregado, para esta condição, a proteção light-shelf não é suficiente para barrar a incidência do Sol no ambiente (Figura 4-11). Com a inserção do light-shelf tivemos uma diminuição da região excessiva (10,20%), aumento da região suficiente (42,86%), mas aumento da área com iluminância insuficiente (20,41%)

Já com a introdução do elemento de proteção horizontal (Figura 4-12), consegue-se barrar toda a incidência direta solar, mas esta obstrução acaba por gerar uma grande área com iluminância insuficiente (44,90%).

Na situação Norte-14-claro-verão-superior (Figura 4-13, 4-14 e 4-15), não tem-se a presença do Sol no interior da sala em razão da geometria da sala do pavimento superior e da posição do Sol nesta situação. Na situação atual (Figura 4-13), constata-se a influência no comportamento interno da iluminação das aberturas superiores dispostas na fachada Sul. Isto evidencia-se pelo desenho alongado na direção oposta a fachada principal das curvas isolux que configuram a zona de transição inferior.

Na situação atual (Figura 4-13), embora estando no verão sob céu claro, presencia-se que a maior parte do ambiente está situado na zona de iluminação insuficiente (57,14%). Com a inserção dos elementos de obstrução (Figura 4-14 e Figura 4-15), reduziu-se a zona suficiente e ampliou-se a zona insuficiente, sendo que na condição com o elemento de proteção horizontal (Figura 4-15), a zona insuficiente esteve presente em todo o ambiente. Para esta condição o elemento de proteção piorou em muito a performance quanto ao desempenho da iluminação natural.

Assim como em todas as situações anteriores sem a presença direta do Sol, nota-se nesta que os valores de iluminância situados do lado direito do observador são mais elevados que o do lado esquerdo. Isto é fruto da diferenciação interna dos índices de reflexão. Do lado esquerdo temos a porta de entrada da sala e o quadro negro e do lado direito temos apenas paredes. Estes diferentes materiais apresentam diferentes índices de reflexão, sendo que os materiais da esquerda (porta e quadro negro) apresentam índices de reflexão mais baixos que o das paredes. Consequentemente os valores de iluminância deste lado esquerdo são inferiores aos do lado direito.

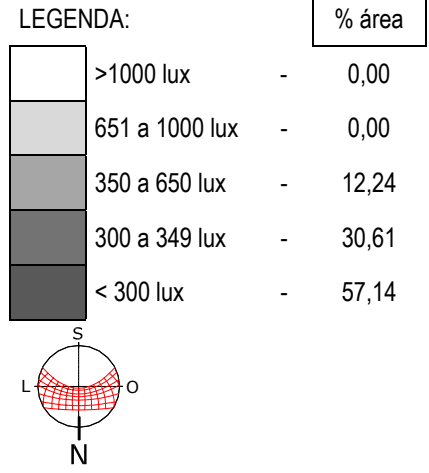
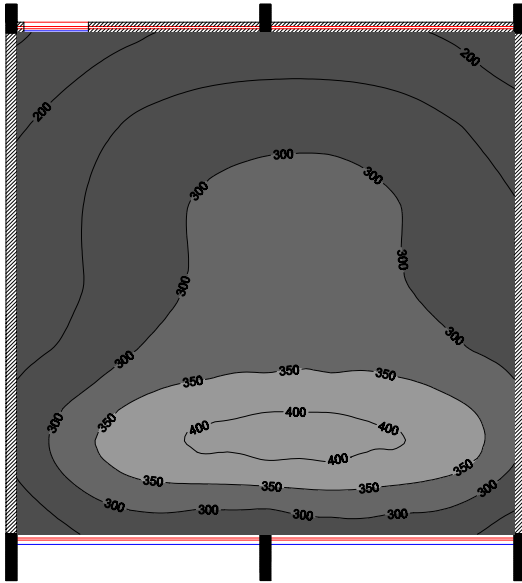


Figura 4-13: Norte-14-claro-verão-atual-superior

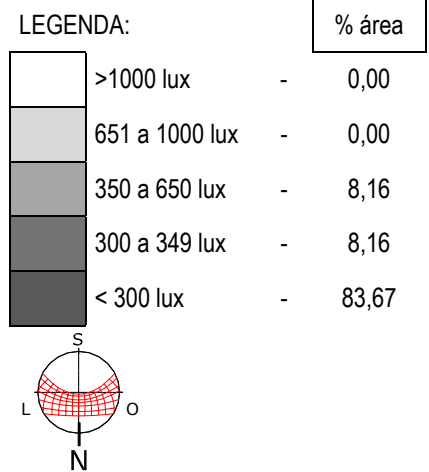
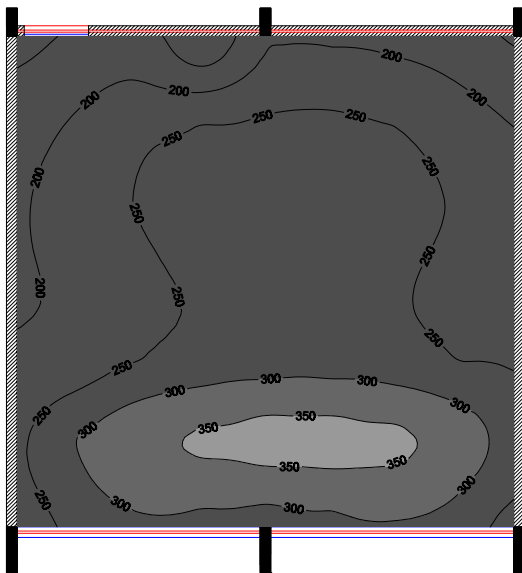


Figura 4-14: Norte-14-claro-verão-light-shelf-superior

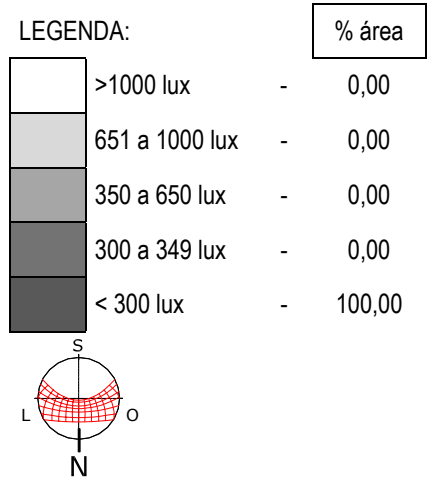
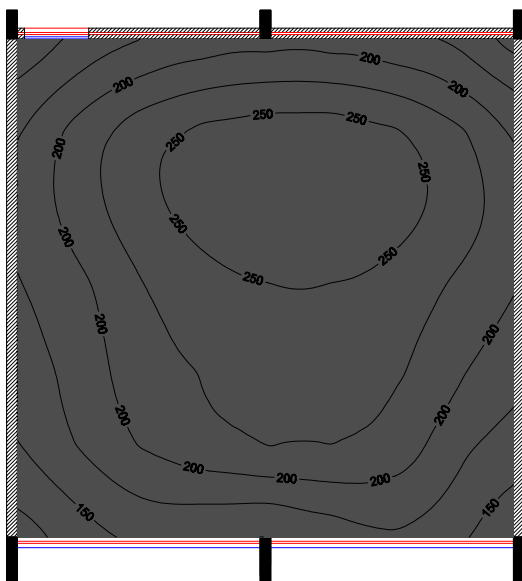
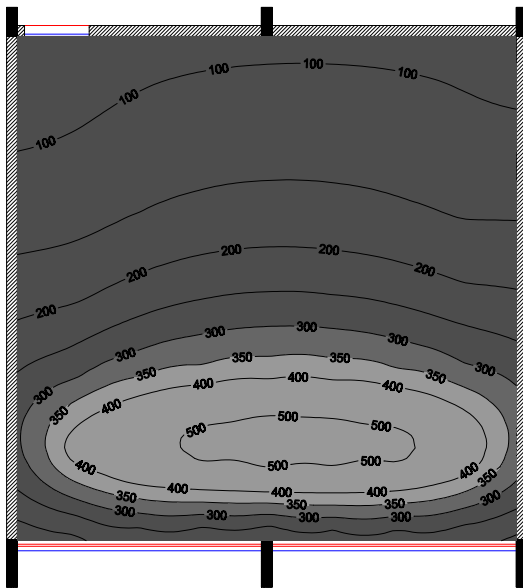


Figura 4-15: Norte-14-claro-verão-horizontal-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 22,45
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 73,47

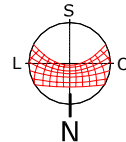
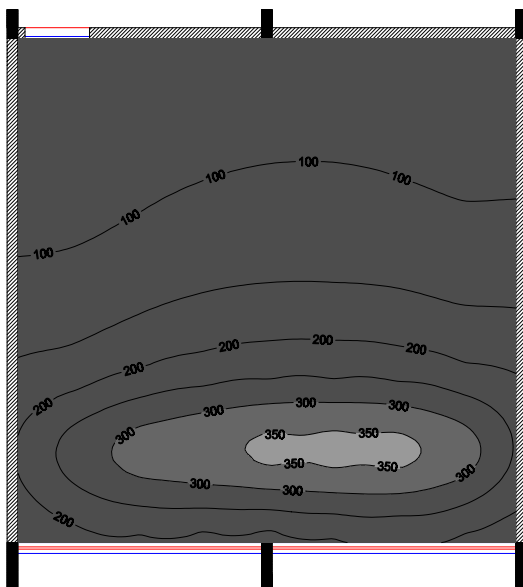


Figura 4-16: Norte-14-claro-verão-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 8,16
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 87,76

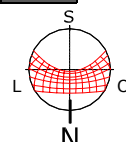
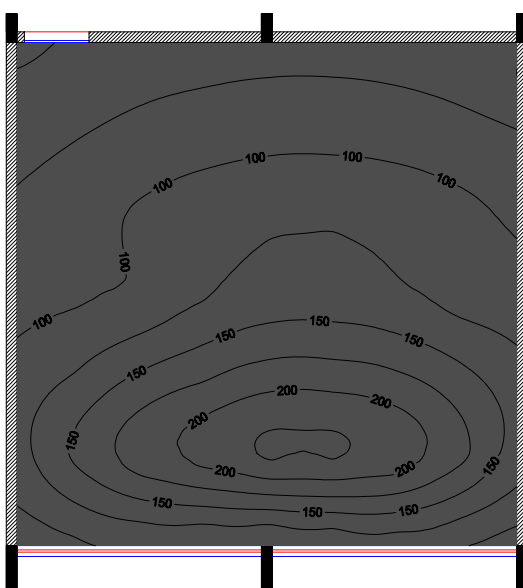


Figura 4-17: Norte-14-claro-verão-light-shelf-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

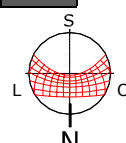


Figura 4-18: Norte-14-claro-verão-horizontal-inferior

Assim como na situação anterior, na situação Norte-14-claro-verão-inferior (Figura 4-16), não tem-se a incidência direta do Sol no ambiente interno. Em razão do sistema de iluminação unilateral desta sala (térreo), a zona de transição inferior é menor que a zona equivalente desta situação no pavimento superior. A maior parte da zona de transição inferior do pavimento superior transformou-se em zona insuficiente no pavimento térreo em razão da diferenciação do sistema de iluminação de ambas.

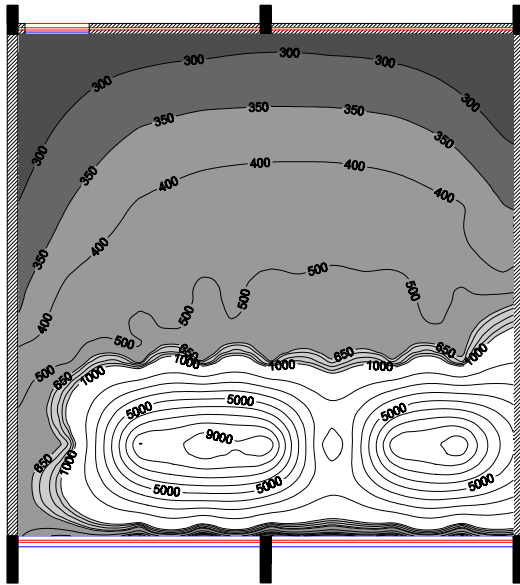
Na situação atual (Figura 4-16), tem-se a maior parte do ambiente situado na zona de iluminação insuficiente (73,47%). Assim como na situação anterior, com a inserção dos elementos de obstrução (Figura 4-17 e 4-18), ampliou-se ainda mais a zona insuficiente. Com o light-shelf a área desta zona passou para 87,76%, enquanto com o elemento de proteção horizontal este índice elevou-se para 100% da área da sala.

A área com iluminância excessiva é proveniente da penetração dos raios solares próximos a abertura principal da sala para a situação Norte-10-claro-inverno-atual-superior (Figura 4-19). Esta incidência direta em regiões próximas à abertura contrasta demasiadamente com regiões opostas à esta abertura fazendo com que se tenha uma enorme variação na distribuição interna de iluminação. Mesmo apresentando esta grande variação, a região com iluminância suficiente prepondera sobre as demais (42,86%). A zona insuficiente aparece em 14,29% da área da sala.

As simulações realizadas com os elementos de obstrução (Figura 4-20 e 4-21), demonstram que eles barram a incidência direta do Sol. Entretanto, a presença destes elementos não é suficiente para aumentar os níveis de iluminação nas regiões mais afastadas da abertura principal. Na situação com light-shelf (Figura 4-20), tem-se 26,53% de zona insuficiente. Com o elemento de proteção horizontal (Figura 4-21), quase metade da área da sala (44,90%) está contida na região com iluminância insuficiente.

A presença do elemento light-shelf não aumentou os níveis de iluminação nas regiões mais afastadas da abertura. A pequena distância entre o beiral e o light-shelf acaba prejudicando o desempenho deste elemento de proteção solar na sua tarefa de levar iluminação para o fundo da sala. Entretanto, mesmo sabendo disto, manteve-se esta configuração espacial do beiral com light-shelf em razão do critério escolhido anteriormente de incorporar os tipos de brises mais comuns na região às características físicas do protótipo escolar, sem qualquer alteração física deste protótipo.

Novamente, percebe-se através das Figuras 4-19, 4-20 e 4-21 que a distribuição dos níveis de iluminação natural interno são maiores próximo à abertura principal, decrescendo proporcionalmente à medida que se afasta da abertura principal. Esta distribuição mostra a restrita contribuição da abertura secundária superior (disposta na fachada oposta) no nível de iluminação interno.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 10,20
651 a 1000 lux	- 28,57
350 a 650 lux	- 42,86
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 14,29

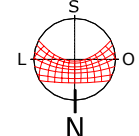
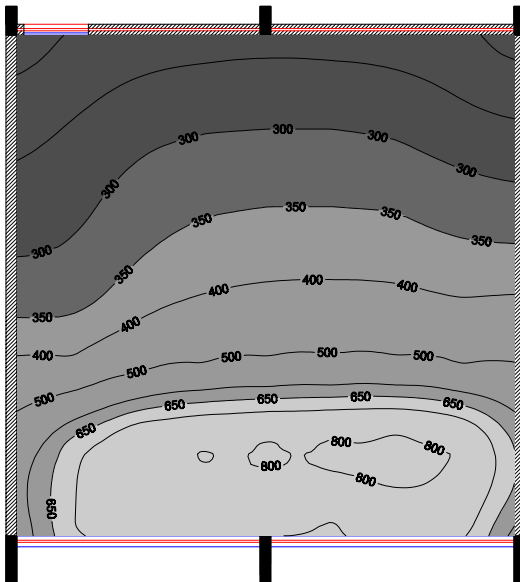


Figura 4-19: Norte-10-claro-inverno-actual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 28,57
350 a 650 lux	- 30,61
300 a 349 lux	- 14,29
< 300 lux	- 26,53

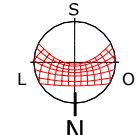
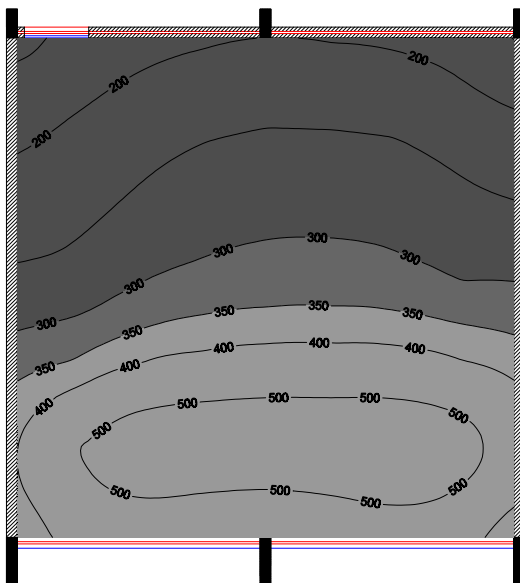


Figura 4-20: Norte-10-claro-inverno-light-shelf-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 42,86
300 a 349 lux	- 12,24
< 300 lux	- 44,90

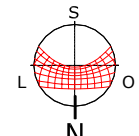


Figura 4-21: Norte-10-claro-inverno-horizontal-superior

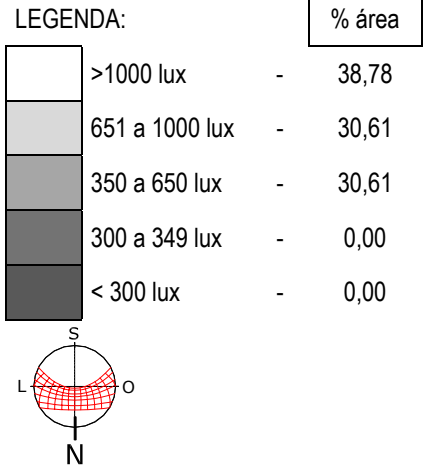
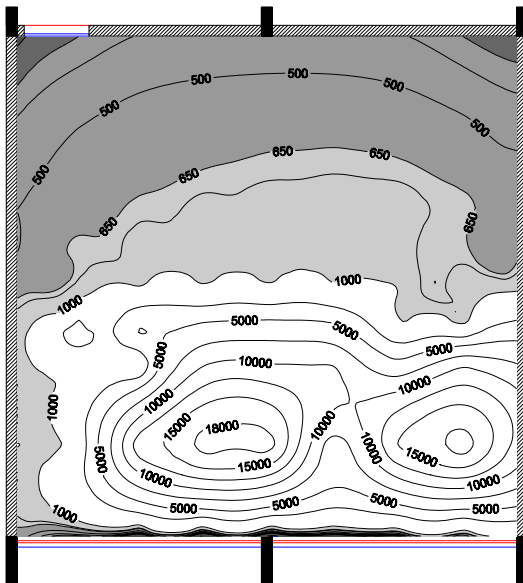


Figura 4-22: Norte-10-claro-inverno-atual-inferior

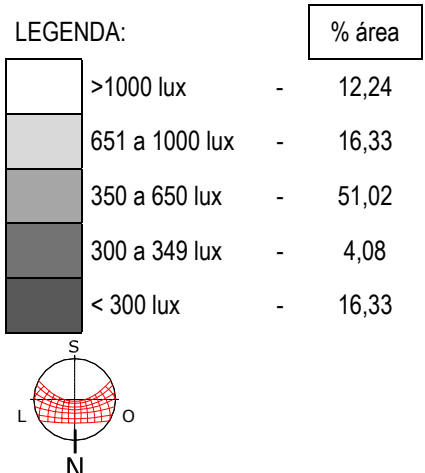
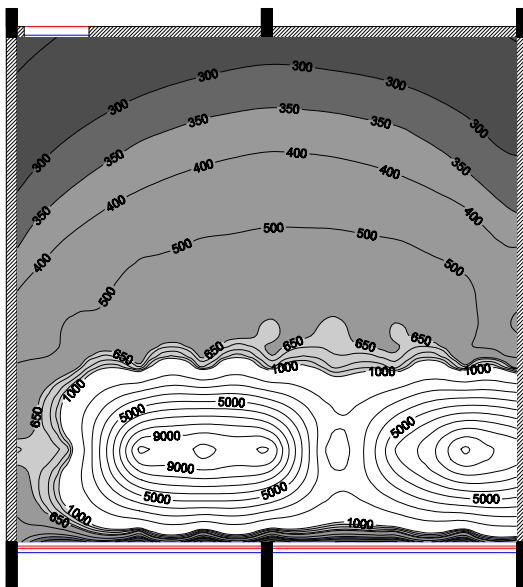


Figura 4-23: Norte-10-claro-inverno-light-shelf-inferior

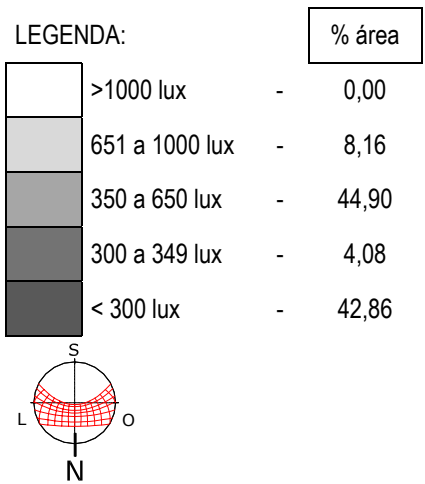
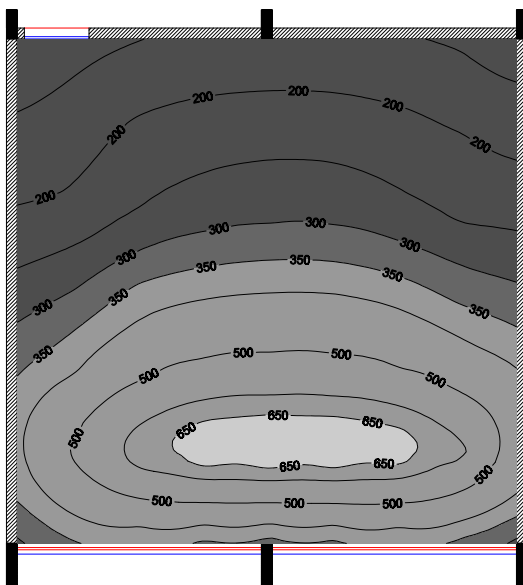


Figura 4-24: Norte-10-claro-inverno-horizontal-inferior

Através da observação da Figura 4-22, percebe-se grandes valores de iluminância no interior do ambiente provenientes da presença de Sol. Como a sala do térreo apresenta janela maior, peitoril mais alto e menor proteção de beiral, a zona excessiva (38,78%) prepondera sobre as demais fazendo com que inexista pontos na região insuficiente. A pequena região com iluminância insuficiente nos cantos superiores deve ser desconsiderada, pois é resultado dos pontos de referência utilizados apenas para auxiliar na construção do gráfico como já explicado anteriormente.

A penetração direta do Sol até o centro da sala acaba por inibir o aparecimento da zona insuficiente. Mas, por outro lado, esta grande penetração é responsável pela excessiva variação na distribuição dos índices de iluminação internos.

Diferentemente da sala do pavimento superior, para esta situação (Norte-10-claro-inverno) mesmo com a inserção do light-shelf (Figura 4-23) a sala do pavimento térreo continua recebendo luz solar direta. Os elementos diferenciados da geometria desta sala em comparação com a sala do pavimento superior justificam esta presença do Sol mesmo com este tipo de proteção.

O light-shelf (Figura 4-23) apenas diminuiu a área com iluminância excessiva (12,24%) próxima ao centro da sala. A presença do light-shelf não aumentou os níveis de iluminação nas regiões mais afastadas da abertura. Isto deve-se em razão da geometria da sala, principalmente pela proximidade do light-shelf com o beiral, como já mencionado anteriormente. Este elemento de proteção acabou diminuindo os níveis de iluminação e, desta forma, aumentando a zona de iluminância insuficiente (16,33%).

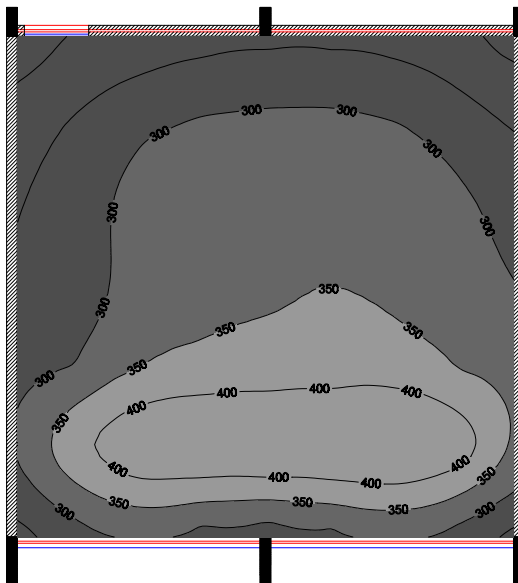
Ao contrário do light-shelf, pela Figura 4-24 pode-se observar que o elemento de proteção horizontal impede a presença do Sol no interior do ambiente. Mas, por outro lado, percebe-se um grande aumento na área com zona insuficiente (42,86%).

Pela distribuição apresentada na Figura 4-25, constata-se que não há presença de Sol no interior do ambiente, sendo que a distribuição fica dividida entre as zonas com iluminância suficiente (24,49%), transição inferior (42,86%) e insuficiente (32,65%), sendo que há o predomínio da zona de transição inferior.

A simulação realizada com a aplicação do elemento light-shelf (Figura 4-26) ampliou a zona insuficiente (57,14%), diminuiu os níveis de iluminação com conseqüente diminuição da área abrangida pela zona suficiente (14,29%) e de transição inferior (28,57%).

Da mesma maneira, a inserção do elemento de proteção horizontal (Figura 4-27) acabou por piorar o desempenho da distribuição da iluminação natural no interior do ambiente. Com este elemento, excluiu-se a presença da zona suficiente, aumentando bastante a zona insuficiente (95,92%).

Através destas 3 figuras (Figuras 4-25, 4-26 e 4-27) pode-se perceber, pelo desenho da curva da zona de transição inferior aproximando-se da parede oposta à abertura principal, a contribuição da abertura superior localizada nesta parede oposta. A Figura 4-27 ilustra muito bem isto, chegando a se formar uma "ilha" com zona de transição inferior circundada por zona insuficiente próximo a parede da abertura principal.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 24,49
300 a 349 lux	- 42,86
< 300 lux	- 32,65

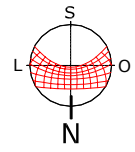
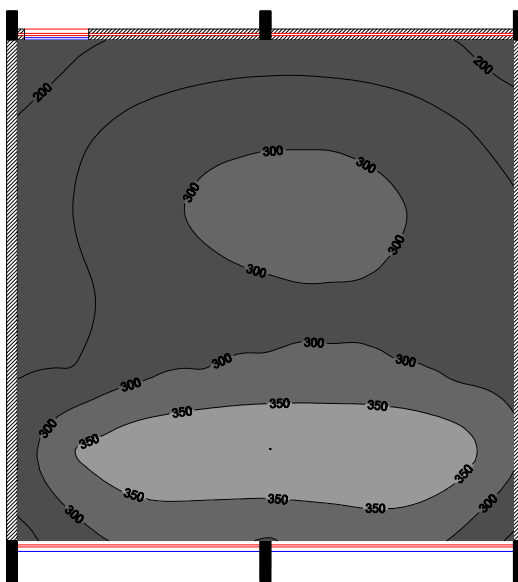


Figura 4-25: Norte-10-claro-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 14,29
300 a 349 lux	- 28,57
< 300 lux	- 57,14

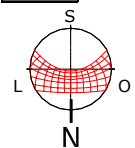
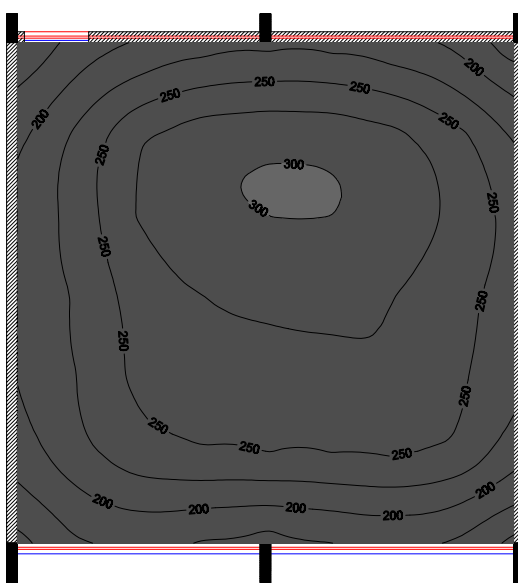


Figura 4-26: Norte-10-claro-verão-light-shelf-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 95,92

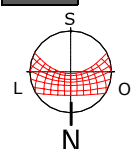
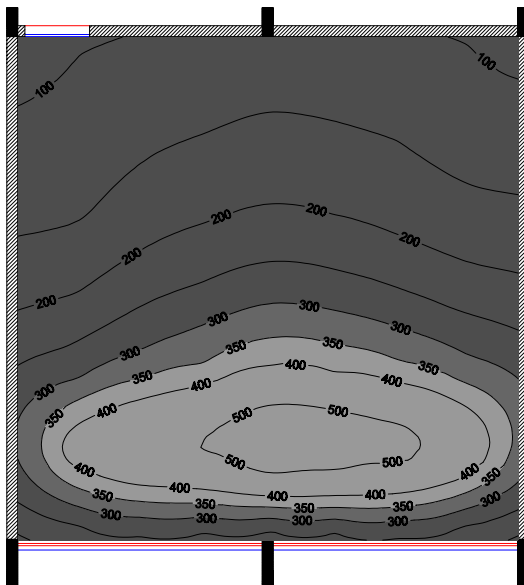


Figura 4-27: Norte-10-claro-verão-horizontal-superior



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 22,45
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 4,08
[Black box]	< 300 lux	- 73,47

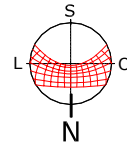
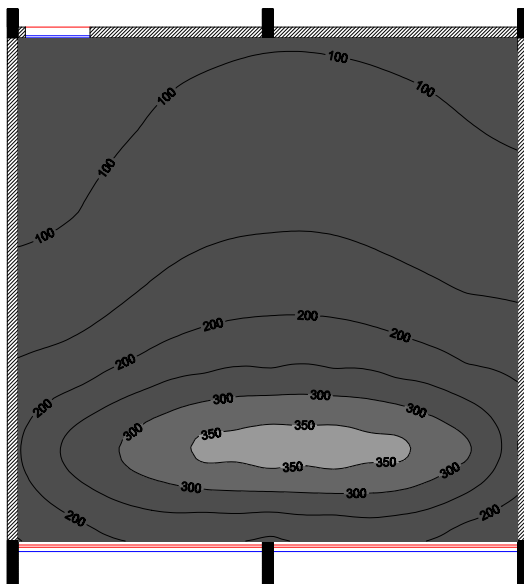


Figura 4-28: Norte-10-claro-verão-atual-inferior



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 8,16
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 4,08
[Black box]	< 300 lux	- 87,76

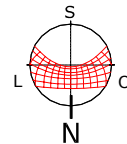
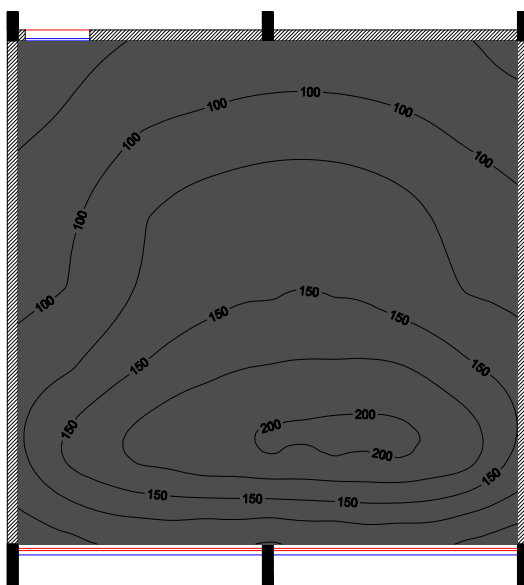


Figura 4-29: Norte-10-claro-verão-light-shelf-inferior



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black box]	< 300 lux	- 100,00

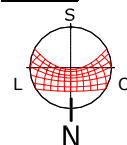


Figura 4-30: Norte-10-claro-verão-horizontal-inferior

Observando-se as Figuras 4-28, 4-29 e 4-30, vê-se uma distribuição muito semelhante a situação Norte-14-claro-verão-inferior (Figuras 4-16, 4-17 e 4-18) onde não há incidência direta do Sol no ambiente interno. Comparando esta situação (Norte-10-claro-verão-atual-inferior), para as 3 condições de análise (atual, proteção light-shelf e proteção horizontal), com a sala do pavimento superior nota-se que, no térreo a zona suficiente e a zona de transição inferior são menores e que a zona insuficiente é maior. Esta performance pior é resultado do sistema unilateral empregado na sala do térreo em contrapartida ao sistema bilateral utilizado na sala do pavimento superior.

A maior parte do ambiente para a situação atual (Figura 4-28) está situado na zona de iluminação insuficiente (73,47%). A inserção dos elementos de obstrução (Figura 4-29 e 4-30), piorou o desempenho quanto a distribuição, aumentando a área com zona insuficiente (87,76% para light-shelf e 100% para o elemento de proteção horizontal).

As próximas simulações (Figuras 4-31 a 4-54) dizem respeito à condição de céu encoberto.

Para a situação Norte-14-encoberto-inverno-atual-superior (Figura 4-31), percebe-se que todos os pontos estão situados na zona com iluminância insuficiente. Nos pontos próximos à abertura principal temos os valores mais altos de iluminância. Estes valores mais altos vão diminuindo gradualmente em direção à parede oposta à abertura principal chegando a ter valores abaixo de 75 lux.

Nas simulações realizadas com os elementos de proteção, os valores de iluminância ficam ainda mais baixos, chegando a ter valores abaixo de 50 lux (Figura 4-32 e 4-33). Na situação com light-shelf tem-se semelhança no comportamento da distribuição da iluminação com a situação atual, ou seja, os valores mais altos estão situados próxima à abertura principal.

Já, em razão da geometria do elemento de proteção horizontal, em que há uma obstrução maior da abóbada celeste se comparada com o light-shelf, nota-se que o brise acaba quase anulando a maior área de abertura da janela principal localizada na orientação Norte. Isto faz com que aumente a contribuição da abertura secundária oposta, o que ocasiona numa distribuição concêntrica das curvas isolux. Os valores mais altos de iluminância apresentam-se no centro da sala, diminuindo gradualmente em direção às paredes.

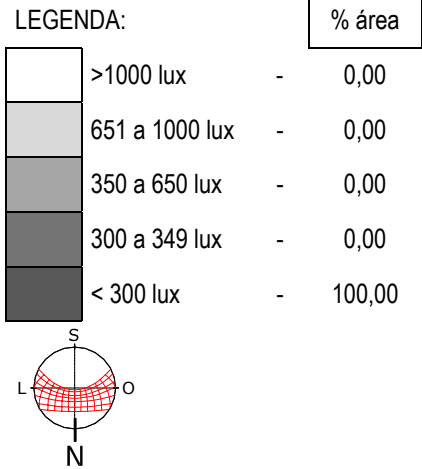
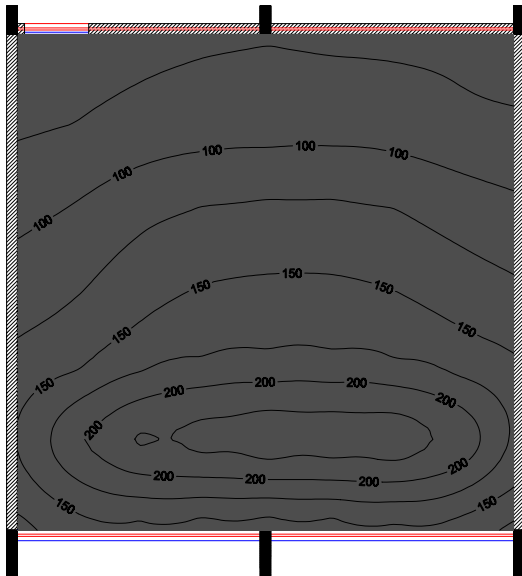


Figura 4-31: Norte-14-encoberto-inverno-atual-superior

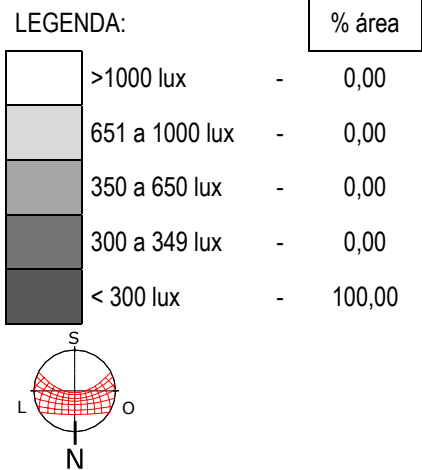
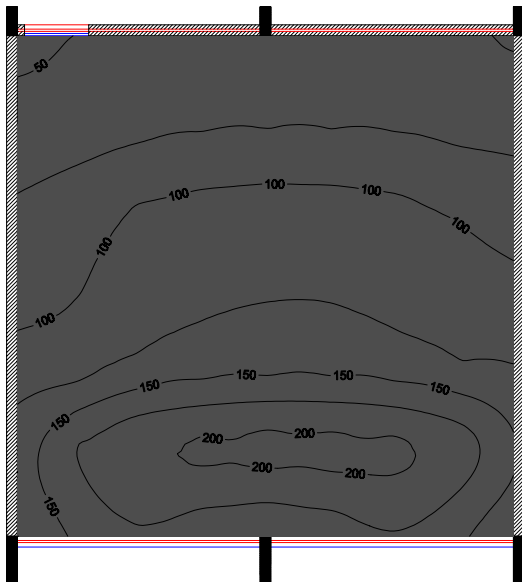


Figura 4-32: Norte-14-encoberto-inverno-light-shelf-superior

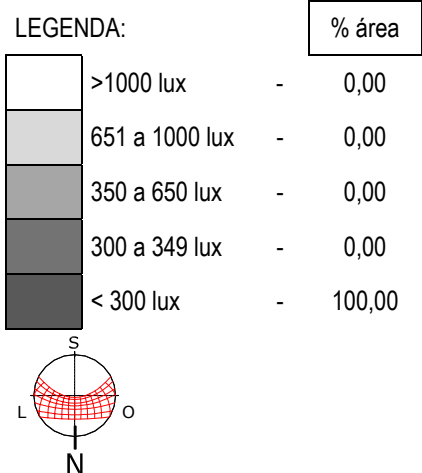
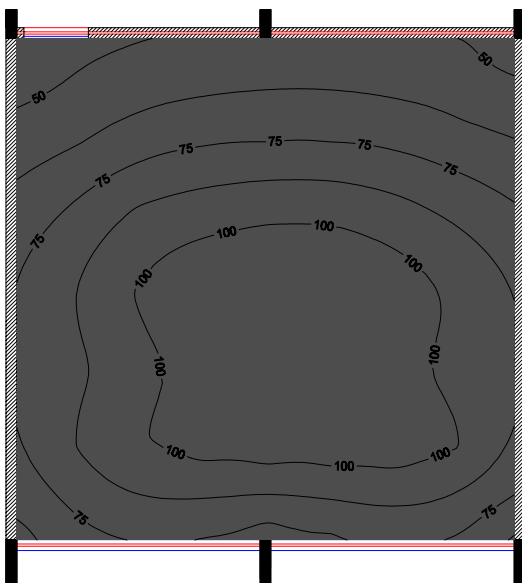
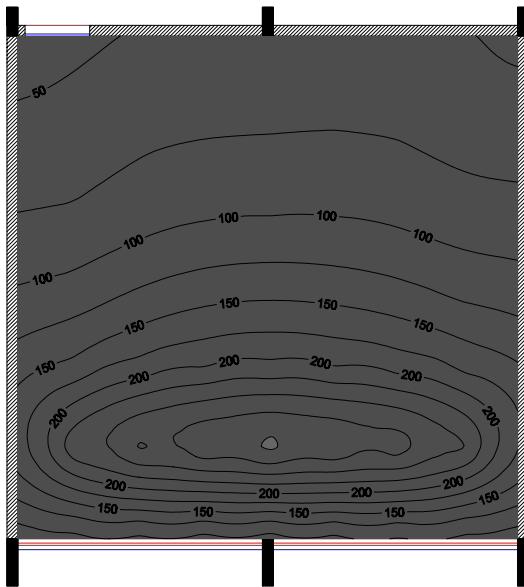


Figura 4-33: Norte-14-encoberto-inverno-horizontal-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 2,04
< 300 lux	- 97,96

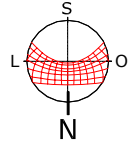
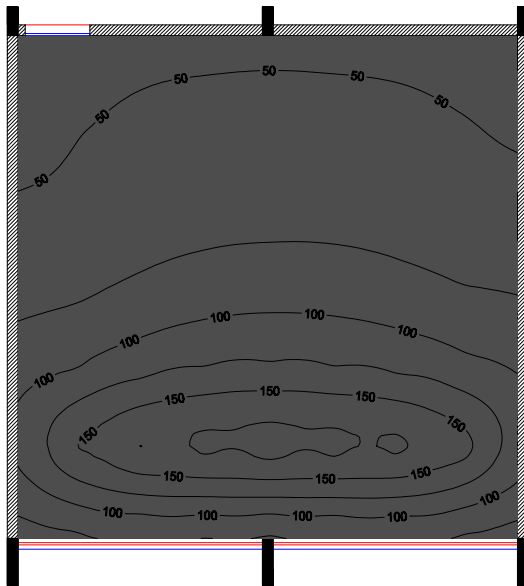


Figura 4-34: Norte-14-encoberto-inverno-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

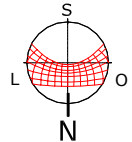
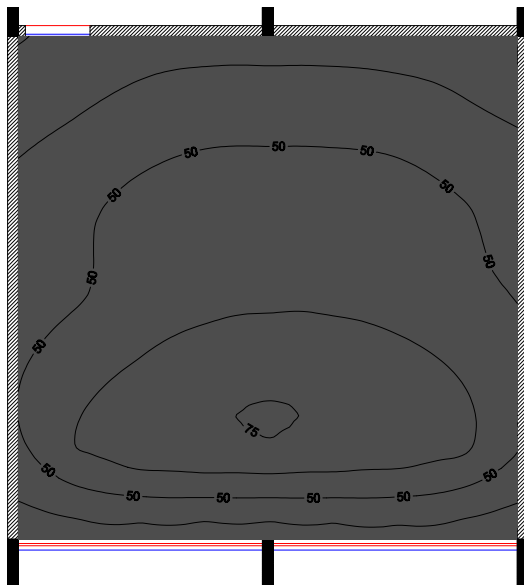


Figura 4-35: Norte-14-encoberto-inverno-light-shelf-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

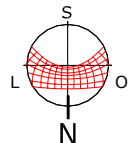


Figura 4-36: Norte-14-encoberto-inverno-horizontal-inferior

Assim como na situação anterior (Norte-14-encoberto-inverno-superior) na situação Norte-14-encoberto-inverno-atual-inferior (Figuras 4-34), percebe-se o predomínio completo da zona insuficiente sobre as demais (97,96%). Somente 1 ponto, dos 49 medidos, apresentou valor superior a 300 lux.

Como esperado, com a inserção dos elementos de obstrução solar (Figuras 4-35 e 4-36), os níveis de iluminação diminuíram ainda mais com 100% da sala situada na região com iluminância insuficiente.

Em razão do sistema unilateral de iluminação da sala do térreo, constata-se uma distribuição mais heterogênea das curvas isolux que na mesma situação da sala do pavimento superior. Para a sala do térreo tem-se uma amplitude e diversidade maiores. Esta maior amplitude se dá em virtude dos valores mais elevados próximos à abertura e valores menores nas regiões mais afastadas desta abertura.

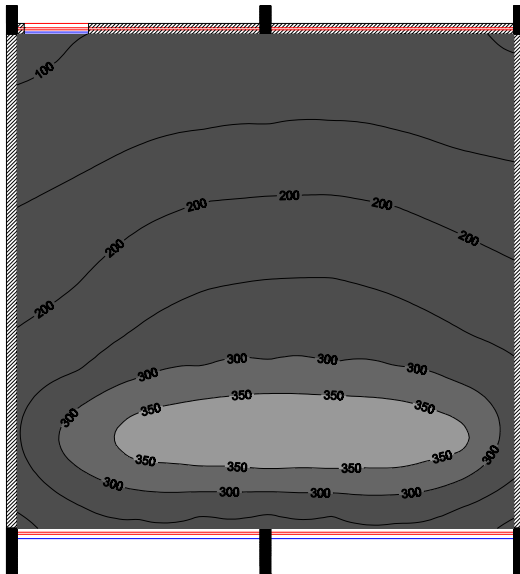
Observando-se a distribuição da iluminação na Figura 4-37, vê-se a existência de zona suficiente (12,24%) e de transição inferior (4,08%). Entretanto, a zona insuficiente predomina no ambiente (83,67%).

Com a presença do elemento light-shelf (Figura 4-38), reduz-se ainda mais o nível de iluminação, sendo que a zona com iluminância suficiente é exterminada, aumentando a presença da zona insuficiente (87,76). Já na situação com elemento de proteção horizontal (Figura 4-39), a distribuição das zonas ficou ainda mais comprometida, com predomínio total da zona insuficiente (100%).

Através das Figuras 4-37, 4-38 e 4-39, pode-se perceber novamente que os valores de iluminância situados do lado direito do observador são mais elevados que o do lado esquerdo em razão do índice de reflexão. Os materiais componentes do lado esquerdo (quadro negro e porta) apresentam índices de reflexão mais baixos que do lado direito (paredes).

Comparando a situação anterior (Norte-14-encoberto-verão-atual-superior) com a situação Norte-14-encoberto-verão-atual-inferior (Figura 4-40) observa-se que tanto a zona suficiente quanto a zona de transição inferior apresentam maior área no pavimento inferior. Isto pode ser explicado pela maior área de janela, maior altura do peitoril e menor proteção de beiral na sala do pavimento inferior.

Grande parte do ambiente para a situação atual (Figura 4-40) está situado na zona de iluminação insuficiente (75,51%). Com a inserção dos brises (Figura 4-41 e 4-42), a performance da distribuição da iluminação piorou, aumentando a área com zona insuficiente. Com a introdução do light-shelf (Figura 4-41), a área com zona insuficiente ampliou-se para 97,96%. Na situação com o elemento de proteção horizontal (Figura 4-42), todo o ambiente está na zona insuficiente de iluminância.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 12,24
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 83,67

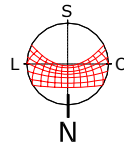
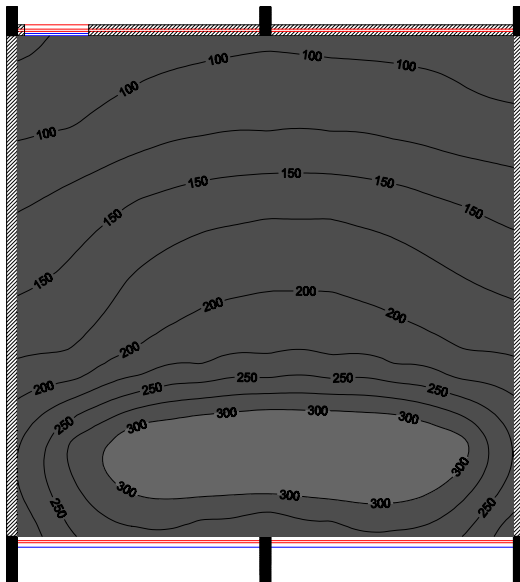


Figura 4-37: Norte-14-encoberto-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 12,24
< 300 lux	- 87,76

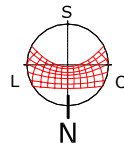
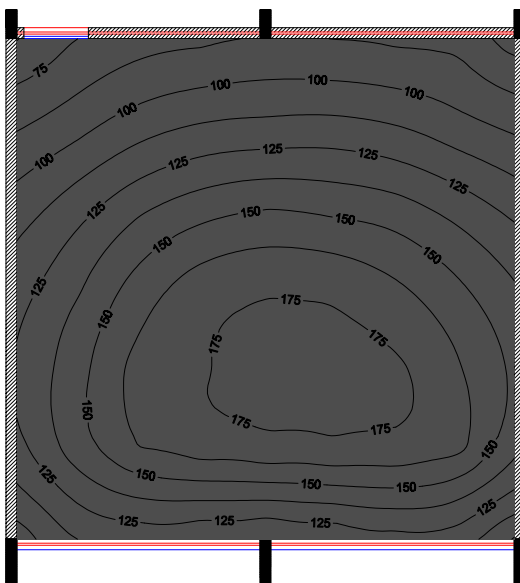


Figura 4-38: Norte-14-encoberto-verão-light-shelf-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

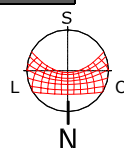
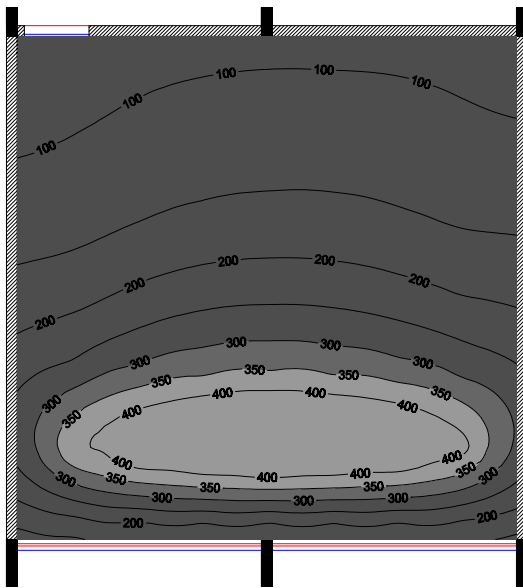


Figura 4-39: Norte-14-encoberto-verão-horizontal-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 14,29
300 a 349 lux	- 10,20
< 300 lux	- 75,51

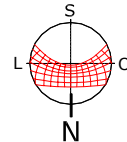
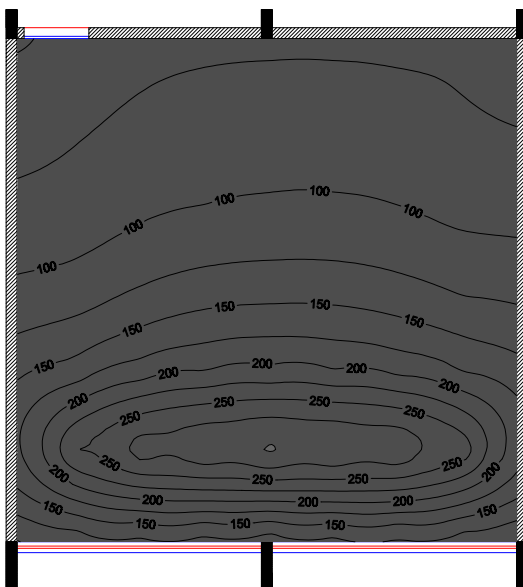


Figura 4-40: Norte-14-encoberto-verão-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 2,04
< 300 lux	- 97,96

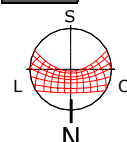
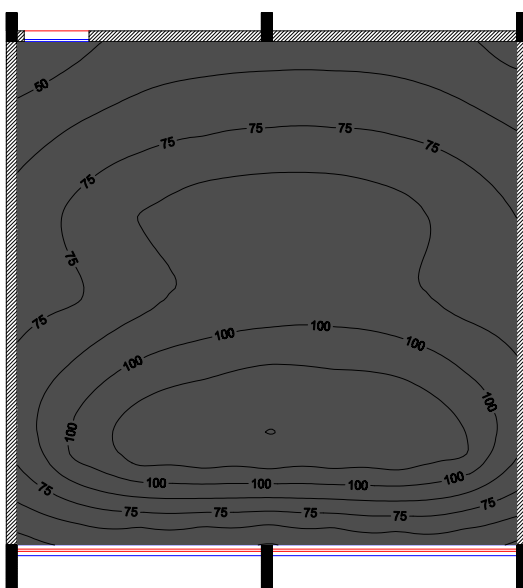


Figura 4-41: Norte-14-encoberto-verão-light-shelf-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

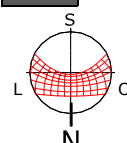


Figura 4-42: Norte-14-encoberto-verão-horizontal-inferior

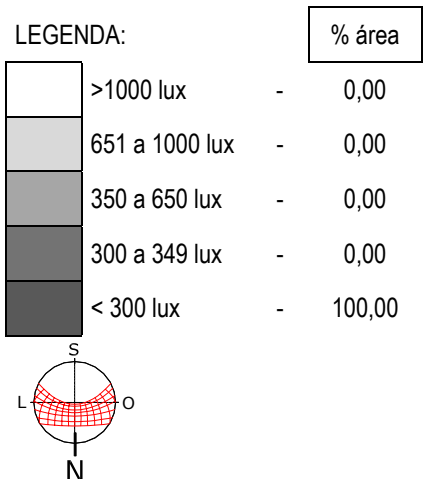
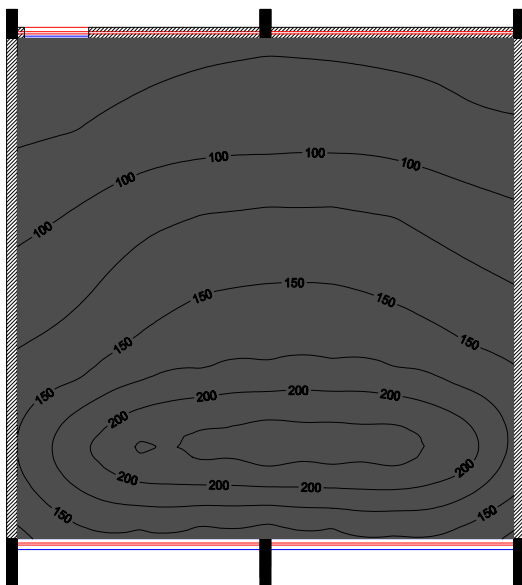


Figura 4-43: Norte-10-encoberto-inverno-actual-superior

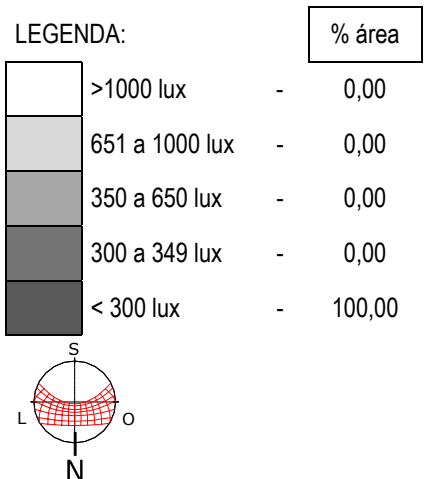
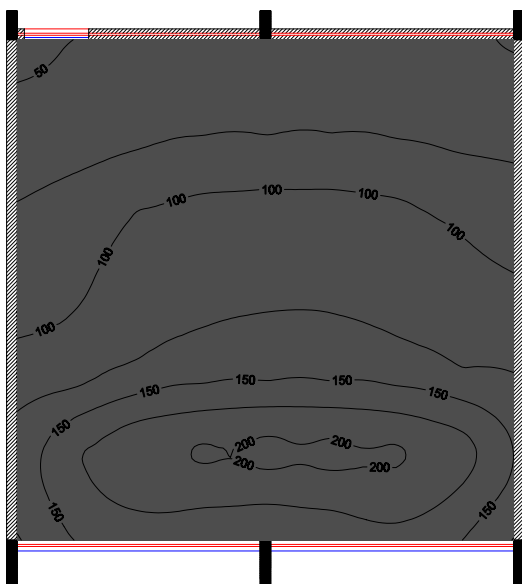


Figura 4-44: Norte-10-encoberto-inverno-light-shelf-superior

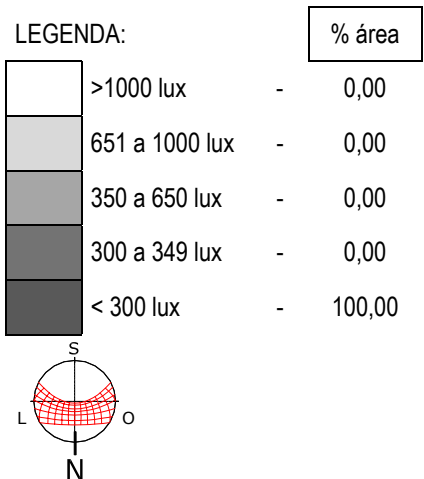
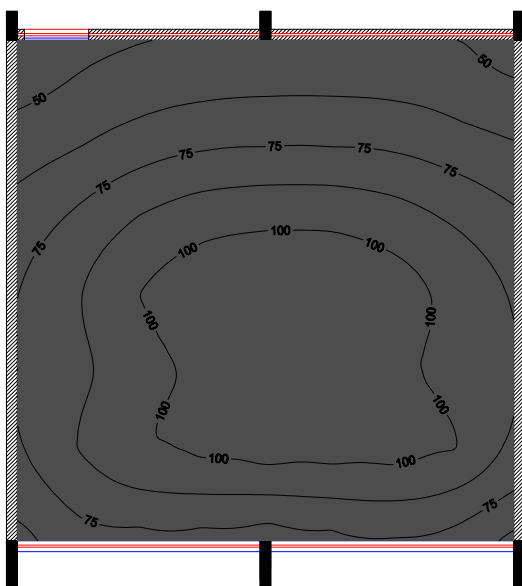


Figura 4-45: Norte-10-encoberto-inverno-horizontal-superior

Analisando a situação da Figura 4-43, nota-se que todos os pontos estão situados na zona com iluminância insuficiente. Os maiores índices de iluminância estão próximos à abertura principal e vão diminuindo à medida que se aumenta a distância dela.

Introduzindo os elementos de proteção, os níveis de iluminação diminuem ainda mais, chegando a ter valores abaixo de 50 lux (Figura 4-44 e 4-45). Na situação com light-shelf tem-se semelhança na sua distribuição em relação a situação atual, ou seja, os valores mais altos estão situados próximos à abertura principal. Entretanto na situação com o brise horizontal, de maior obstrução, os valores mais altos estão próximos ao centro da sala, em razão da contribuição da abertura superior locada na orientação oposta.

Semelhante à situação anterior (Norte-10-encoberto-inverno-superior) na situação da Figura 4-46, percebe-se o domínio completo da zona insuficiente sobre as demais (97,96%). Entretanto, nesta situação tem-se 1 ponto, dos 49 medidos, com valor superior a 300 lux.

Como em todas as situações com céu encoberto, a presença dos elementos de proteção solar (Figuras 4-47 e 4-48) rebaixaram ainda mais os níveis de iluminação, deixando toda a sala na região com iluminância insuficiente.

Através da observação da distribuição da iluminação na Figura 4-49, vê-se a maior parte da sala na zona insuficiente de iluminância (81,63%). Entretanto, constata-se a presença da zona de transição inferior (6,12%) e da zona suficiente (12,24%) na área próxima à abertura principal.

Os níveis de iluminação diminuem com a introdução do elemento light-shelf (Figura 4-50). Desta forma, a zona com iluminância suficiente quase desaparece reduzindo-se para apenas 2,04%, aumentando ainda mais a região de abrangência da zona insuficiente (87,76%). Vale salientar que como somente um ponto esteve na zona com iluminância suficiente (351 lux) e em razão do método de interpolação utilizado pelo software *Surfer v. 5.0*, a zona suficiente não ficou perceptível na Figura 4-50, embora tenha-se um ponto acima de 350 lux. Na situação com elemento de proteção horizontal (Figura 4-51), a distribuição das zonas ficou restrita apenas ao aparecimento da zona insuficiente.

Comparando-se a situação da Figura 4-52 (Norte-10-encoberto-verão-atual-inferior) com a situação Norte-10-encoberto-verão-atual-superior observa-se novamente que tanto a zona suficiente quanto a zona de transição inferior possuem maior área de abrangência no pavimento inferior. As questões de geometria da insolação associadas a geometria da sala do térreo (maior área de janela, maior altura do peitoril e menor proteção de beiral) são as responsáveis por esta distribuição.

A maior parte do ambiente para a situação atual (Figura 4-52) está situado na zona de iluminação insuficiente (75,51%). Com a inserção dos brises (Figura 4-53 e 4-54), o desempenho piorou ainda mais, aumentando a área com zona insuficiente. Na situação com light-shelf (Figura 4-53), apenas um ponto está na zona de transição inferior. Na situação com o brise horizontal (Figura 4-54), todo o ambiente está na zona insuficiente de iluminância.

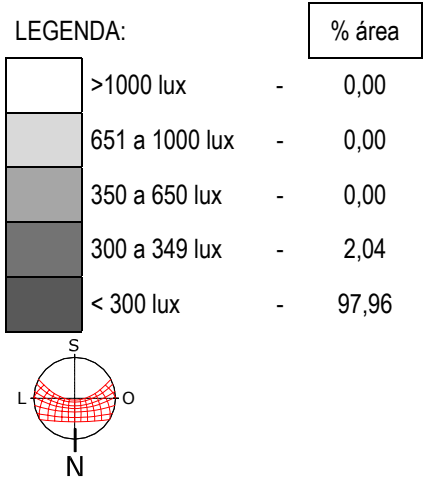
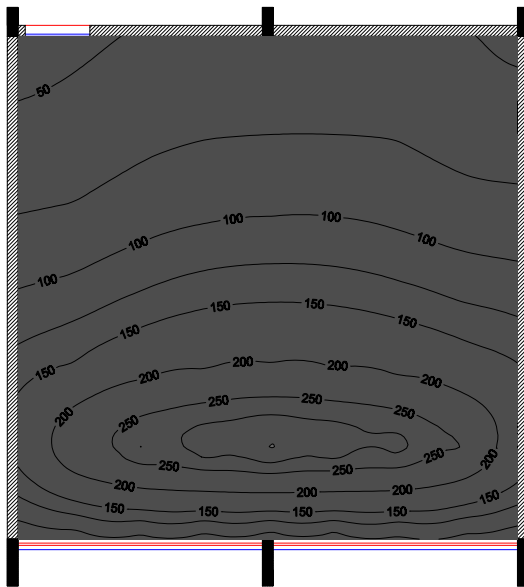


Figura 4-46: Norte-10-encoberto-inverno-atual-inferior

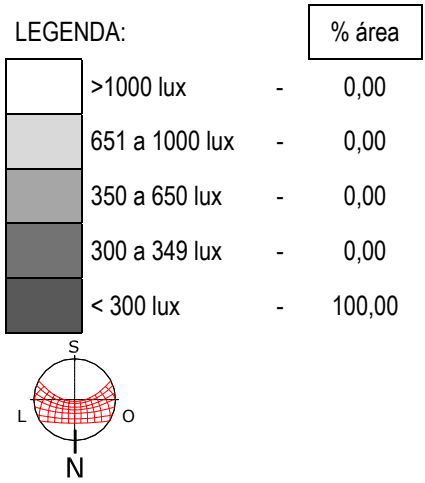
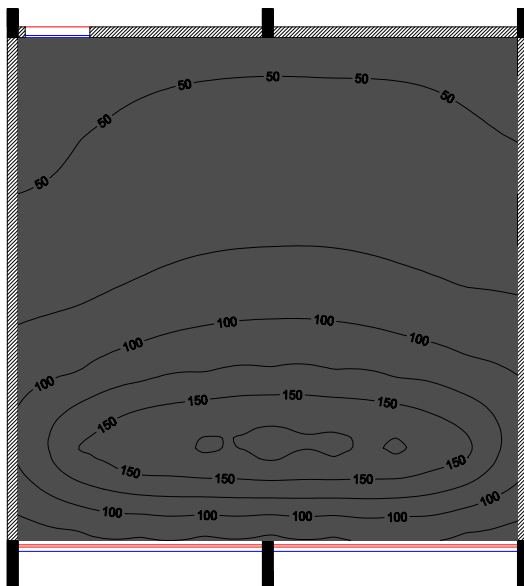


Figura 4-47: Norte-10-encoberto-inverno-light-shelf-inferior

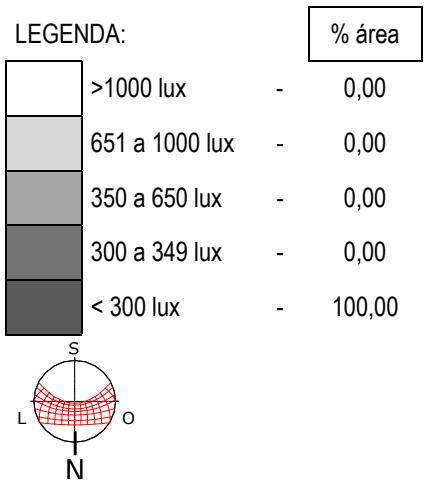
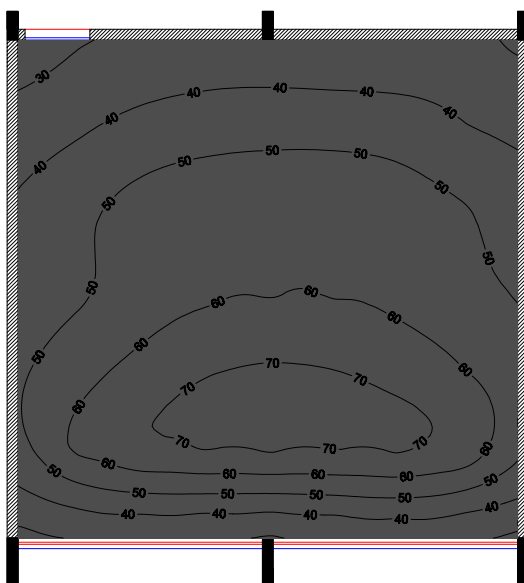
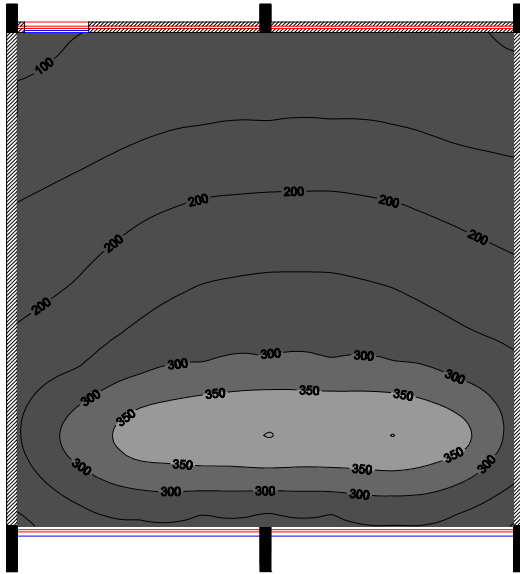


Figura 4-48: Norte-10-encoberto-inverno-horizontal-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 12,24
300 a 349 lux	- 6,12
< 300 lux	- 81,63

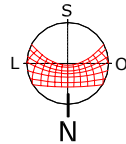
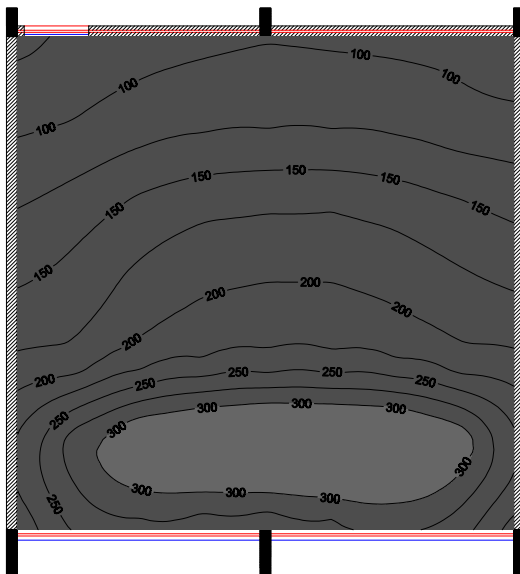


Figura 4-49: Norte-10-encoberto-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 2,04
300 a 349 lux	- 10,20
< 300 lux	- 87,76

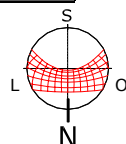
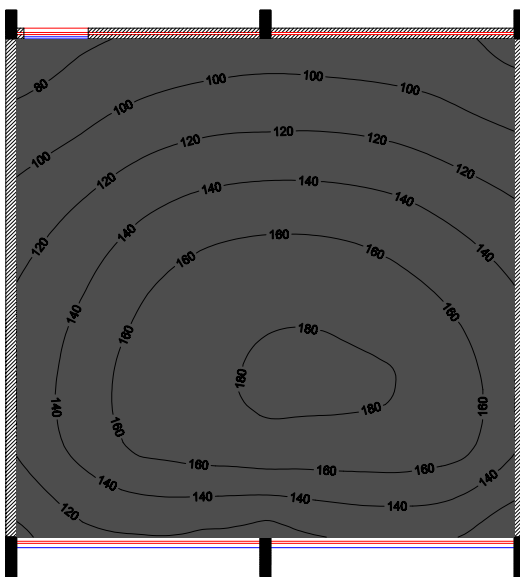


Figura 4-50: Norte-10-encoberto-verão-light-shelf-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

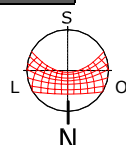
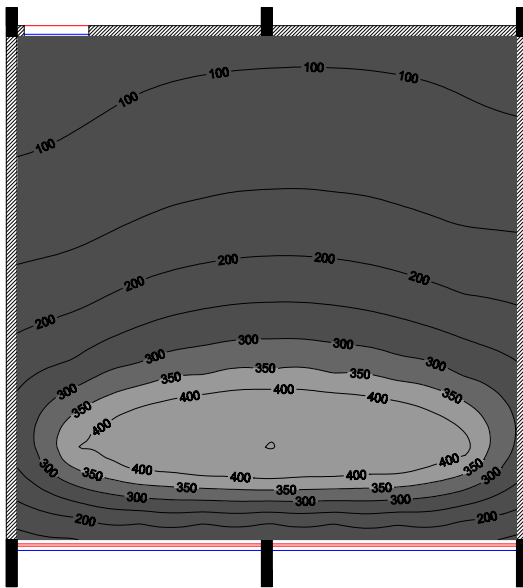


Figura 4-51: Norte-10-encoberto-verão-horizontal-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 12,24
300 a 349 lux	- 10,20
< 300 lux	- 75,51

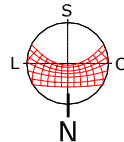
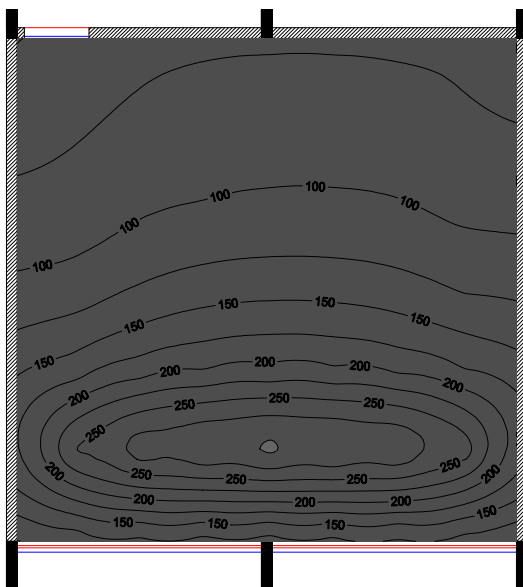


Figura 4-52: Norte-10-encoberto-verão-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 95,92

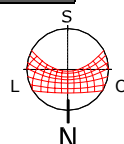
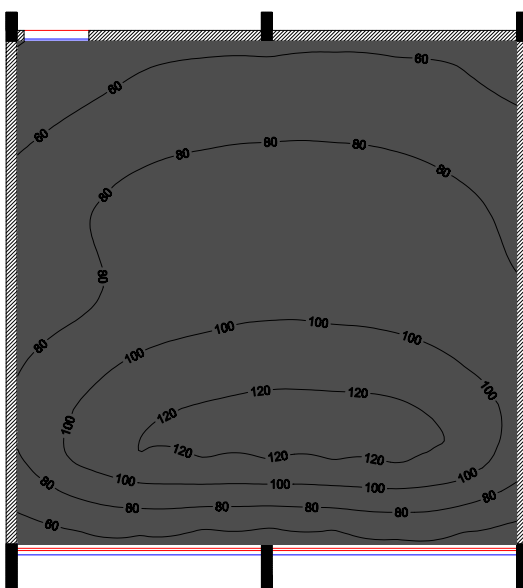


Figura 4-53: Norte-10-encoberto-verão-light-shelf-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

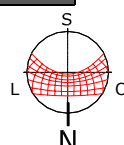


Figura 4-54: Norte-10-encoberto-verão-horizontal-inferior

☑ Áreas por região de iluminância

Os quadros 4-16 a 4-23 são produzidos com o intuito de facilitar a comparação entre as diferentes situações. Nestes, são agrupadas as diferentes situações (atual, com proteção solar 1 e com proteção solar 2) para cada condição (orientação, horário, época do ano, condição de céu e pavimento). As colunas estão divididas em situação e em cada zona de iluminância. As linhas apresentam como variáveis a situação (atual, elemento de proteção 1 e elemento de proteção 2) e o nível do pavimento (superior e inferior).

Vale salientar que, para cada situação, quanto maior for a área de abrangência da zona aceitável (somatório da zona suficiente, transição inferior e transição superior), melhor será o seu desempenho.

Como forma de salientar as inferências realizadas a seguir, trabalhou-se com o símbolo 🚫 para demonstrar pontos negativos e com o símbolo 😊 para demonstrar pontos positivos. Se a inferência apresentar o símbolo 🚫 é porque ela não é necessariamente positiva ou negativa.

Os Quadros 4-16 a 4-23, apresentam quantitativamente a área percentual de abrangência de cada zona para cada situação investigada da orientação Norte.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	16,33	14,29	42,86	16,33	10,20
Atual - Inferior	0,00	4,08	28,57	38,78	28,57
Light-shelf - Superior	36,73	12,24	28,57	22,45	0,00
Light-shelf - Inferior	20,41	12,24	42,86	14,29	10,20
Horizontal - Superior	57,14	2,04	40,82	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	44,90	6,12	40,82	8,16	0,00

Quadro 4-16: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-claro-inverno

Analisando comparativamente as situações atual, com brise light-shelf e horizontal para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-16, após a inserção dos brises tem-se:

- 🚫 Aumento considerável da área de abrangência da zona insuficiente;
- 🚫 Diminuição da área da zona suficiente e de transição inferior;
- 😊 Extinção da zona excessiva.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível (transição inferior + suficiente + transição superior) em 73,48%. Com light shelf este somatório passa para 63,26%, enquanto que com o brise horizontal tem-se 42,86%. Os elementos de proteção extinguíram a zona excessiva. Em contrapartida, ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- 🚫 Aparecimento da área de abrangência da zona insuficiente;

- ☺ Aumento da área da zona suficiente;
- ☺ Diminuição da área da zona excessiva;
- ☹ Diminuição da área de transição superior.

Para o somatório da zona admissível na situação atual tem-se 71,43%. Com light shelf este somatório passa para 69,39%, enquanto que com o elemento horizontal tem-se 55,10%. Os elementos de proteção diminuíram a zona excessiva. Mas, ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se sinteticamente a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- ☺ Menor área da zona insuficiente;
- ☹ Maior área de zona excessiva;
- ☺ Maior área de zona admissível para as situações com os elementos de obstrução;
- ☹ Menor área de zona admissível para a situação atual.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	57,14	30,61	12,24	0,00	0,00
Atual - Inferior	73,47	4,08	22,45	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	83,67	8,16	8,16	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	87,76	4,08	8,16	0,00	0,00
Horizontal - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-17: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-claro-verão

Analisando as situações atual, com brise light-shelf e horizontal para o **andar superior e térreo** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-17, após a inserção dos brises tem-se:

- ☹ Aumento considerável da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹ Diminuição da área da zona suficiente e de transição inferior.

Para o pavimento superior, na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 42,85%. Com light shelf este somatório passa para 16,32%, enquanto que com o brise horizontal não há presença da zona admissível. Para o pavimento inferior, o somatório da zona admissível na situação atual é de 26,53%. Com light shelf passa para 12,24%, enquanto que com o elemento horizontal não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a área da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- ☹ Maior área da zona insuficiente;
- ☹ Menor área de zona suficiente.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	14,29	4,08	42,86	28,57	10,20
Atual - Inferior	0,00	0,00	30,61	30,61	38,78
Light-shelf - Superior	26,53	14,29	30,61	28,57	0,00
Light-shelf - Inferior	16,33	4,08	51,02	16,33	12,24
Horizontal - Superior	44,90	12,24	42,86	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	42,86	4,08	44,90	8,16	0,00

Quadro 4-18: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-claro-inverno

Através da observação do Quadro 4-18, nota-se grande semelhança de comportamento com o Quadro 4-16 em virtude da geometria solar. Analisando comparativamente as situações atual, com brise light-shelf e horizontal para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-18, após a inserção dos elementos de proteção tem-se:

- ☹ Aumento da área de abrangência da zona insuficiente e de transição inferior;
- ☹ Diminuição da área da zona suficiente para a situação com light-shelf;
- 😊 Extinção da zona excessiva.

Na situação atual tem-se o somatório da zonas com iluminação admissível (transição inferior + suficiente + transição superior) em 75,51%. Com light-shelf este somatório passa para 73,47%, enquanto que com o brise horizontal tem-se 55,10%. Os elementos de proteção extinguíram a zona excessiva. Em contrapartida, ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zonas admissível.

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☹ Aparecimento da área de abrangência da zona insuficiente;
- 😊 Aumento da área da zona suficiente;
- 😊 Diminuição da área da zona excessiva;
- ☹ Diminuição da área de transição superior.

Para o somatório da zona admissível na situação atual tem-se 61,22%. Com light shelf este somatório passa para 71,43%, enquanto que com o elemento horizontal tem-se 57,14%. Os elementos de obstrução diminuíram a zona excessiva e ampliaram a zona insuficiente. Com o elemento light-shelf tem-se a ampliação da zona admissível, enquanto que com o brise horizontal ocorre a diminuição da abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Menor área da zona insuficiente;
- ☹ Maior área de zona excessiva;
- ☹ Menor área de zona admissível para a situação atual e com light-shelf;
- 😊 Maior área de zona admissível para a situação com o elemento horizontal.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	32,65	42,86	24,49	0,00	0,00
Atual - Inferior	73,47	4,08	22,45	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	57,14	28,57	14,29	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	87,76	4,08	8,16	0,00	0,00
Horizontal - Superior	95,92	4,08	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-19: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-claro-verão

O Quadro 4-19 apresenta grande semelhança de comportamento com o Quadro 4-17. Analisando comparativamente as situações atual, com brise light-shelf e horizontal para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-19, após a inserção dos brises tem-se:

- ☒ Aumento gritante da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☒ Diminuição da área da zona suficiente e de transição inferior.

Na situação atual temos o somatório das zonas com iluminação admissível em 67,35%. Com light-shelf este somatório passa para 42,86%, enquanto que com o brise horizontal tem-se 04,08%. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☒ Ampliação da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☒ Diminuição da área da zona suficiente;
- ☒ Diminuição da área de transição inferior.

Para o somatório da zona admissível na situação atual tem-se 26,53%. Com light shelf este somatório reduz-se para 12,24%, enquanto que com o elemento horizontal não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se sinteticamente a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- ☒ Maior área de zona insuficiente;
- ☒ Menor área de zona admissível.

Observando as condições do Quadro 4-20, percebe-se que para a sala do pavimento superior, não é possível fazer qualquer tipo de comparação, pois nas 3 situações tem-se apenas a presença da zona insuficiente.

Para a sala do pavimento inferior (térreo) que apresenta quase 98% de área na zona insuficiente tem-se apenas que, com a inserção dos brises, a zona insuficiente chegou a totalidade da sala.

Desta forma, percebe-se pequena vantagem no desempenho da sala do térreo na situação atual em comparação com a sala do pavimento superior.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atual - Inferior	97,96	2,04	0,00	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-20: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-encoberto-inverno

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	83,67	4,08	12,24	0,00	0,00
Atual - Inferior	75,51	10,20	14,29	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	87,76	12,24	0,00	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	97,96	2,04	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-21: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-14-encoberto-verão

Analisando as situações atual, com brise light-shelf e horizontal para o **andar superior e térreo** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-21, após a inserção do brises tem-se:

- ☹ Aumento da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹ Desaparecimento da área da zona suficiente.

Para o pavimento superior, na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 16,32%. Com light shelf este somatório reduz-se para 12,24%, enquanto que com o brise horizontal não há presença da zona admissível. Para o pavimento inferior, o somatório da zona admissível na situação atual é de 24,49%. Com light shelf este somatório diminui para 2,04%, enquanto que com o elemento horizontal não há presença da zona admissível. Os brises ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se sinteticamente a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Maior área da zona admissível e menor área da zona insuficiente na situação atual;
- ☹ Menor área da zona admissível e maior área da zona insuficiente na situação com light-shelf.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atual - Inferior	97,96	2,04	0,00	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-22: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-encoberto-inverno

Observando os valores do Quadro 4-22, percebe-se os mesmos valores da situação do Quadro 4-20. Para evitar repetições, observar as inferências realizadas para o Quadro 4-20. Esta similaridade é explicada pela condição de céu encoberto, que para a mesma época do ano, horários simétricos em relação às 12h00min, apresentam resultados muito semelhantes.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	81,63	6,12	12,24	0,00	0,00
Atual - Inferior	75,51	10,20	14,29	0,00	0,00
Light-shelf - Superior	87,76	10,20	2,04	0,00	0,00
Light-shelf - Inferior	95,92	4,08	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-23: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Norte-10-encoberto-verão

Assim como no quadro anterior, o Quadro 23, apresenta valores semelhantes ao do Quadro 21, em razão da condição de céu e geometria solar. Para evitar repetições, observar as inferências realizadas para o Quadro 21.

4.3.1.2 Orientação Leste

As Figuras 4-55 a 4-102, representam os gráficos com as curvas isolux, indicando os níveis de iluminação e a sua distribuição, para as diferentes situações da sala com orientação da abertura principal à Leste. Primeiramente, são mostrados os gráficos referentes as situações com céu claro (Figuras 4-55 a 4-78) e posteriormente, os gráficos com céu encoberto (Figuras 4-79 a 4-102).

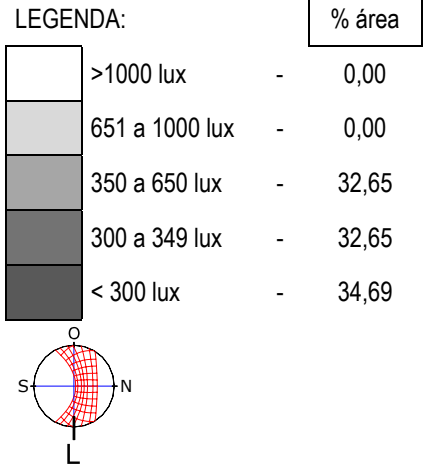
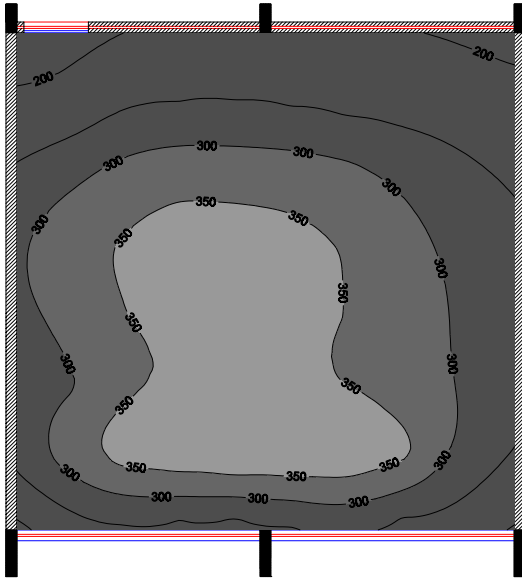


Figura 4-55: Leste-14-claro-inverno-atual-superior

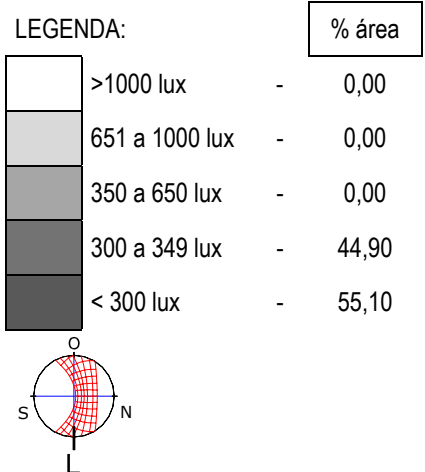
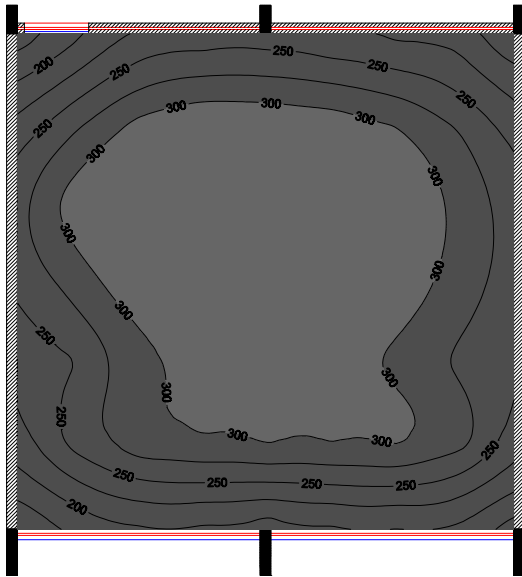


Figura 4-56: Leste-14-claro-inverno-vertical-superior

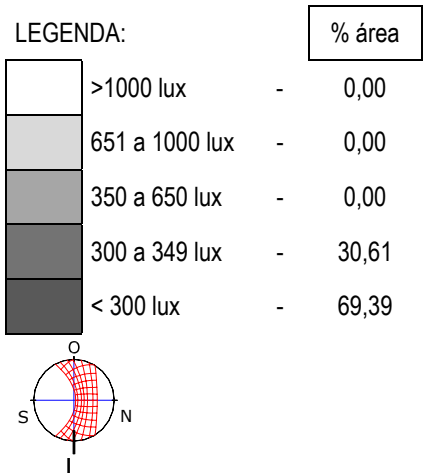
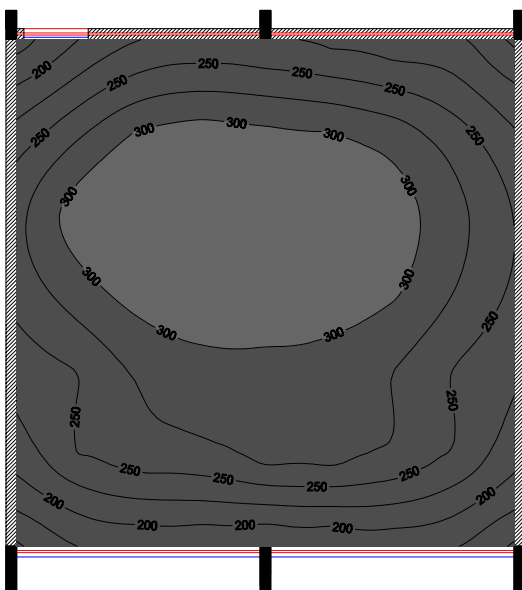


Figura 4-57: Leste-14-claro-inverno-inclinado-superior

Para a situação Leste-14-claro-inverno-superior (Figura 4-55), percebe-se que, em razão da geometria da insolação e da geometria desta sala, os valores mais elevados de iluminância estão situados próximos ao centro da sala. Este comportamento é fruto da contribuição da iluminação proveniente da abertura superior disposta na orientação oposta à abertura. Sendo assim, no horário das 14h00min, a abertura superior na orientação Oeste proporciona grande contribuição para a distribuição interna da iluminação. Sua grande contribuição de iluminação com relação à abertura principal é devido a esta janela “enxergar” a região próxima do Sol. Esta região circunsolar apresenta brilho superior ao do restante da abóbada celeste. Sendo assim, enquanto a abertura superior “vê” a porção mais brilhante da abóbada, a abertura principal “vê” uma parcela da abóbada com menor brilho, ou seja, “menos iluminada”.

Nesta situação (Figura 4-55), a distribuição está dividida em proporções semelhantes entre as zonas suficiente (32,65%), de transição inferior (32,65%) e insuficiente (34,69%). A região suficiente aparece disposta próxima ao centro da sala em razão de estar sendo alimentada por iluminação bilateral. A área próxima às paredes está na zona com iluminância insuficiente. A zona de transição inferior aparece entre estas duas zonas.

Com a inserção dos elementos de proteção (Figura 4-56 e 4-57), a região com iluminância suficiente foi exterminada e a zona de transição inferior acabou sofrendo deslocamento do centro em direção à parede contidora da abertura superior.

A presença do elemento de proteção vertical (Figura 4-56), diminuiu os níveis de iluminação internos proporcionando o desaparecimento da zona com iluminância suficiente, com conseqüente aumento da zona insuficiente (55,10%) e de transição inferior (44,90%).

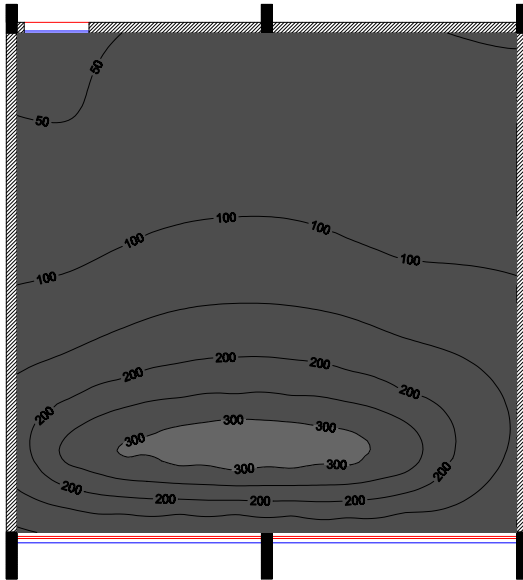
Na Figura 4-57, com o elemento de proteção inclinado, percebe-se mais claramente a diminuição dos níveis de iluminação próximos à abertura onde o mesmo está locado. Esta redução dos valores fez com que aumentasse ainda mais a zona insuficiente (69,39%) e diminuísse a zona de transição inferior (30,61%).

Analisando a situação Leste-14-claro-inverno-inferior (Figura 4-58), nota-se nitidamente a redução dos níveis de iluminação internos se comparado com a sala do pavimento superior. Através deste comportamento, podemos novamente constatar a influência e a contribuição da abertura superior. Como na sala do térreo inexistente esta abertura, todos os valores de iluminância sofreram decréscimo.

Em razão desta sala possuir apenas a abertura principal voltada para Leste e o Sol neste horário estar na orientação oposta (a abertura está enxergando uma parcela da abóbada celeste menos iluminada), a distribuição da iluminação natural para esta situação ficou comprometida. Nenhum ponto ficou na zona de iluminância suficiente. A zona de transição inferior corresponde somente a 10,20% da área, enquanto a zona insuficiente abrange 89,80%.

Observando as Figuras 4-58, 4-59 e 4-60, vê-se uma distribuição diferente da sala do pavimento superior. Para esta sala do térreo tem-se os níveis de iluminação mais elevados próximos à abertura, diminuindo gradualmente em direção à parede oposta à abertura.

Com a colocação dos elementos de proteção vertical (Figura 4-59) e inclinado (Figura 4-60), os níveis de iluminância foram reduzidos e a distribuição da iluminação ficou restrita a zona insuficiente.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 10,20
< 300 lux	- 89,80

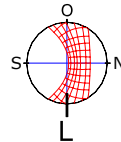
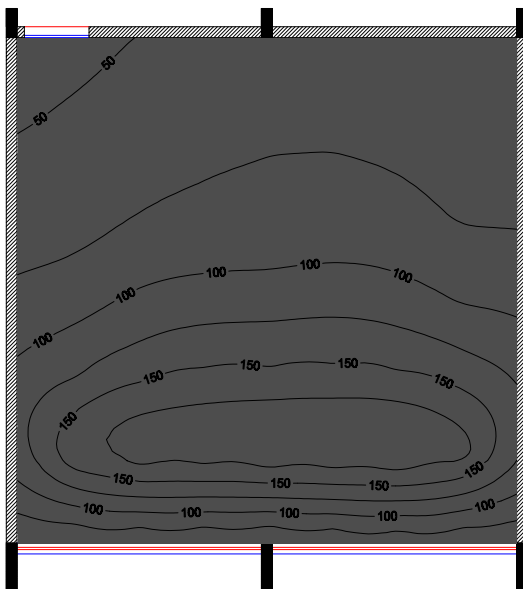


Figura 4-58: Leste-14-claro-inverno-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

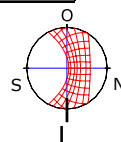
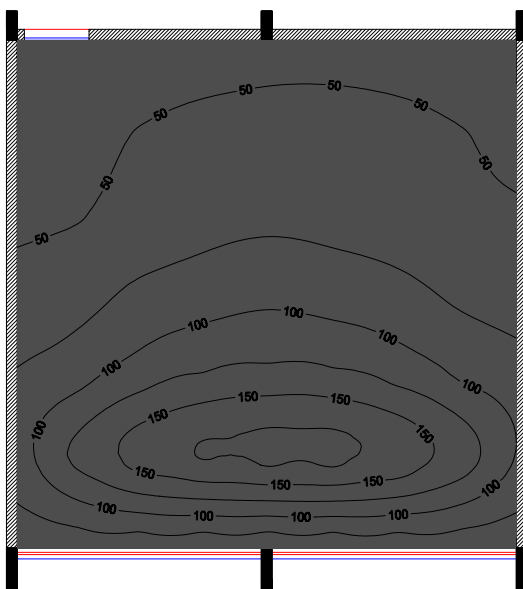


Figura 4-59: Leste-14-claro-inverno-vertical-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

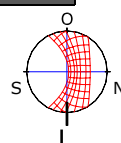
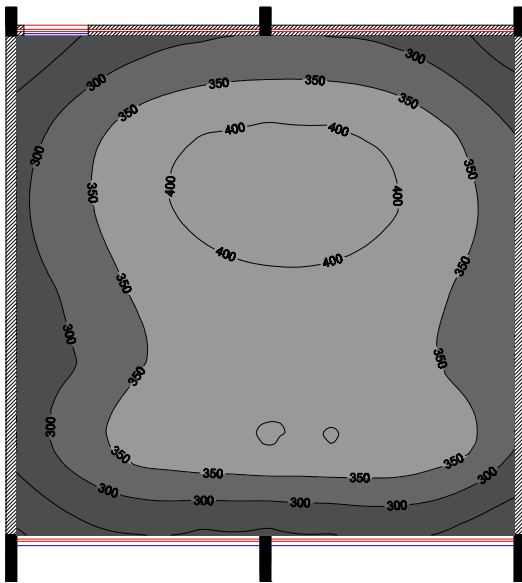


Figura 4-60: Leste-14-claro-inverno-inclinado-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 53,06
300 a 349 lux	- 22,45
< 300 lux	- 24,49

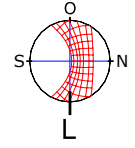
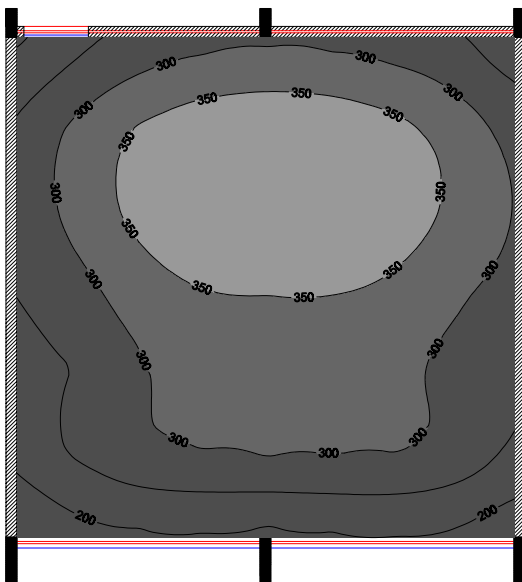


Figura 4-61: Leste-14-claro-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 26,53
300 a 349 lux	- 32,65
< 300 lux	- 40,82

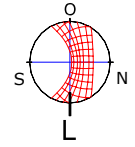
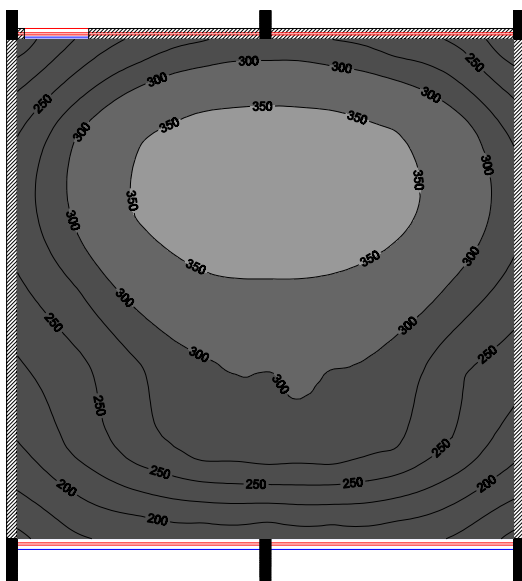


Figura 4-62: Leste-14-claro-verão-vertical-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 18,37
300 a 349 lux	- 18,37
< 300 lux	- 63,27

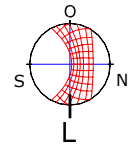


Figura 4-63: Leste-14-claro-verão-inclinado-superior

Para a situação da Figura 4-61, percebe-se mais uma vez a influência da abertura superior na distribuição da iluminação interna. Nesta situação, diferentemente dos gráficos da orientação Norte, os valores mais elevados de iluminância estão situados próximos à parede oposta da abertura principal.

No verão para esta condição, a abertura superior na orientação Oeste proporciona maior iluminação interna que a abertura principal orientada para Leste. A sua maior contribuição de iluminação com relação à abertura principal é devido esta janela estar voltada para a parcela da abóbada celeste mais brilhante.

De acordo com a Figura 4-61, a maior parte da sala encontra-se na região com iluminância suficiente (53,06%), a qual aparece disposta próxima ao centro superior da sala em razão do sistema bilateral. A área próxima às paredes está na zona com iluminância insuficiente (24,49%), sendo que a zona de transição inferior (22,45%) aparece entre estas duas zonas.

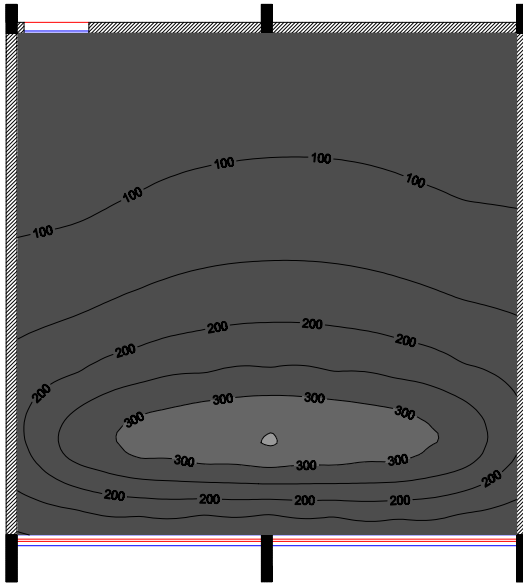
Nas simulações realizadas com os brises (Figura 4-62 e 4-63) a região com maior nível de iluminação acabou sendo deslocada do centro em direção à parede oposta à abertura principal. Isto acontece tanto pela abertura secundária estar “enxergando” a parcela mais brilhante do Sol como pela inexistência de elementos de proteção nesta abertura secundária.

Assim como na situação Leste-14-claro-inverno-superior, a presença do elemento de proteção vertical (Figura 4-62) e inclinado (Figura 4-63), diminuiu os níveis de iluminação internos. Entretanto, a zona de iluminância suficiente continua aparecendo embora estando mais reduzida com relação a situação atual (26,53% com brise vertical e 18,37% com brise inclinado). O decréscimo da zona suficiente se dá principalmente próximo a região da abertura principal, onde foi locado o referido elemento de proteção. Com a diminuição da zona suficiente teve-se um acréscimo na área de abrangência da zona insuficiente (40,82% na situação com o elemento de proteção vertical e 63,27% com o elemento inclinado).

Em razão do sistema de iluminação empregado na sala do térreo, pode-se constatar através das Figuras 4-64, 4-65 e 4-66 a grande redução dos níveis de iluminação internos em relação a sala do pavimento superior.

Para a situação atual (Figura 4-64) em apenas um ponto da sala temos zona com iluminância suficiente (2,04%). A zona de transição inferior aparece em 8,16% da área. A zona insuficiente abrange quase toda a área da sala (89,80%). Os maiores valores de iluminância estão próximos à abertura, diminuindo gradualmente em direção à parede oposta.

Esta distribuição das zonas se torna ainda pior com a introdução dos elementos de obstrução (Figura 4-65 e 4-66). Nas simulações realizadas com as duas proteções, todos os pontos internos estiveram abaixo de 300lux e consequentemente, a região com iluminância insuficiente preponderou sobre toda a área da sala.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 2,04
300 a 349 lux	- 8,16
< 300 lux	- 89,80

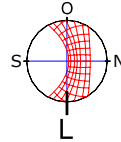
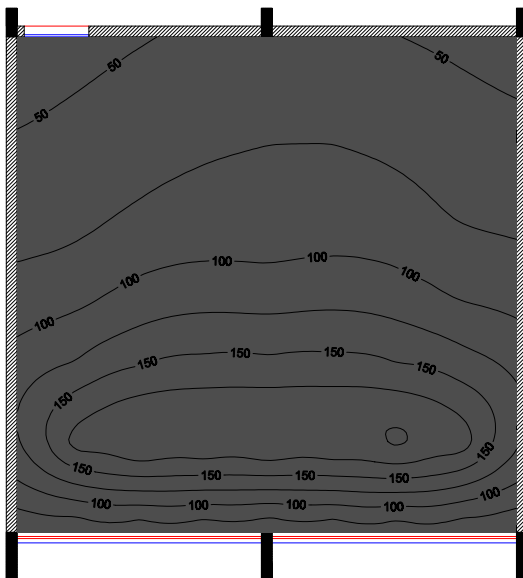


Figura 4-64: Leste-14-claro-verão-actual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

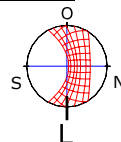
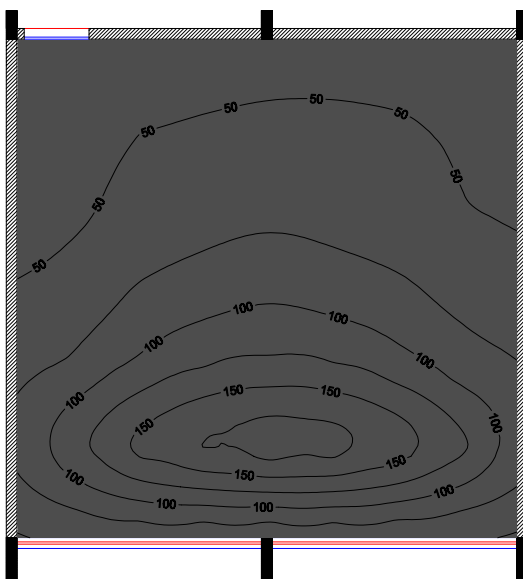


Figura 4-65: Leste-14-claro-verão-vertical-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

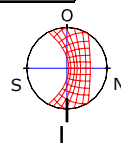


Figura 4-66: Leste-14-claro-verão-inclinado-inferior

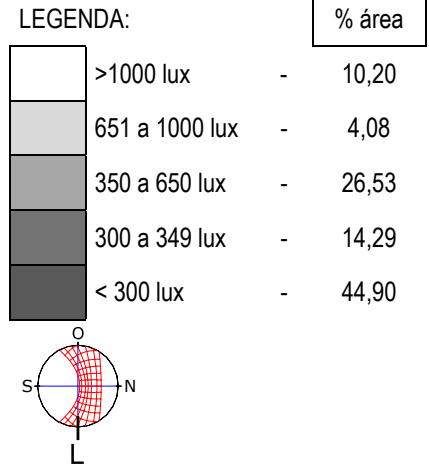
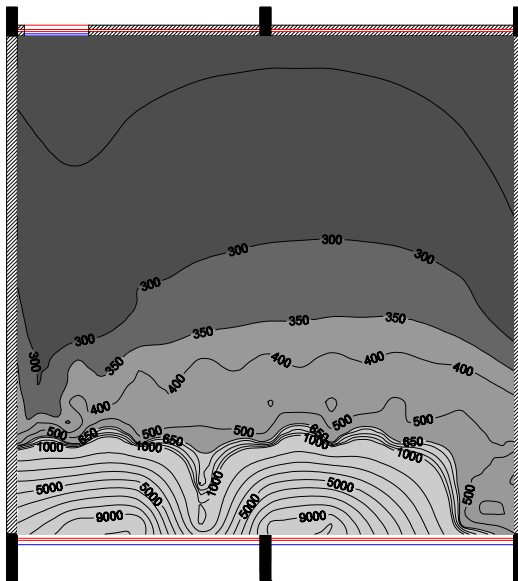


Figura 4-67: Leste-10-claro-inverno-atual-superior

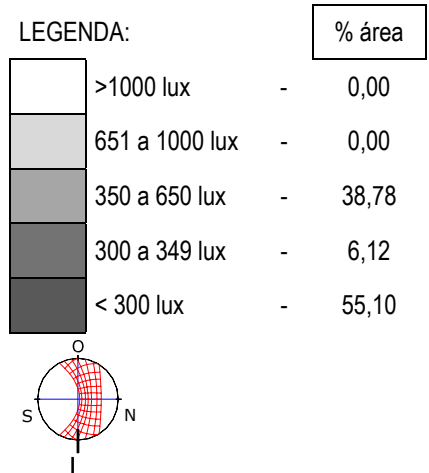
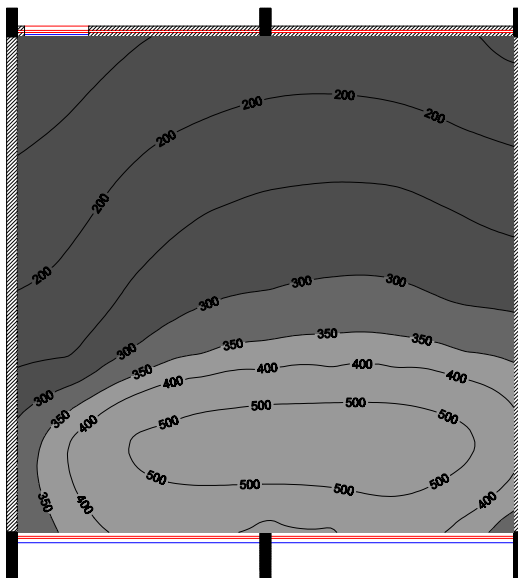


Figura 4-68: Leste-10-claro-inverno-vertical-superior

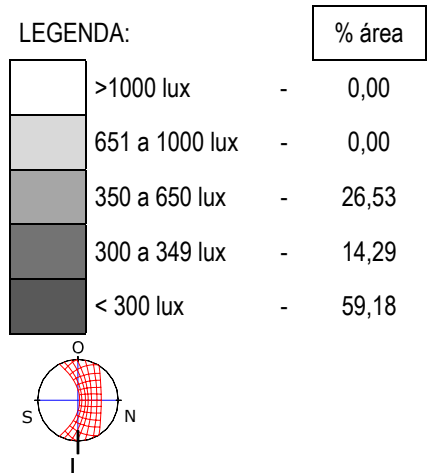
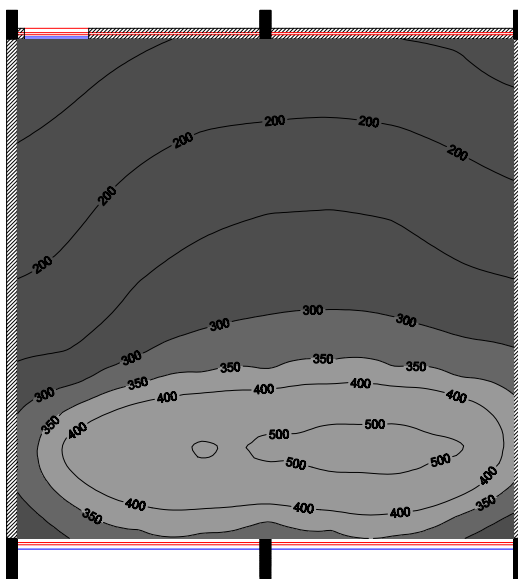


Figura 4-69: Leste-10-claro-inverno-inclinado-superior

Em virtude das condições da situação da Figura 4-67, onde tem-se a abertura principal voltada para Leste em horário matutino (10h00hs) e o Sol com um ângulo de altura baixo (solstício de inverno), nota-se claramente a incidência direta do Sol no interior da sala pelos valores de iluminância que chegam próximos a 10.000 lux perto da abertura principal. Em contrapartida, nas regiões mais afastadas da abertura principal tem-se valores abaixo de 200 lux, caracterizando uma grande variação na distribuição interna da iluminação.

Com a observação das Figuras 4-67, 4-68 e 4-69, nota-se a distribuição dos níveis de iluminação natural interno maiores próximo à abertura principal, diminuindo gradualmente em direção à superfície oposta desta abertura. Este comportamento é semelhante ao do sistema de iluminação com abertura unilateral e não bilateral, como é o caso desta situação. A geometria da abertura (pequena altura), a altura onde a mesma está locada (a 4 metros do piso), a proteção do beiral e a orientação (o Sol neste horário está com pequeno ângulo de altura na orientação Leste enquanto a abertura está voltada para Oeste, fazendo com que a abertura “enxergue” a porção menos brilhante da abóbada celeste) são fatores que podem explicar esta baixa contribuição da abertura secundária superior.

Mesmo tendo valores acima de 10.000 lux em pontos da sala, a região com iluminância insuficiente (abaixo de 300 lux) é a que mais aparece, sendo responsável por quase metade da área da sala (44,90%). A zona suficiente aparece em 26,53% da área, enquanto a zona excessiva é responsável por 10,20%. A gritante variação da distribuição da iluminação também fica evidenciada pelo aparecimento das 5 zonas de classificação nesta situação.

A performance da iluminação interna melhorou consideravelmente com a presença dos elementos de proteção (Figura 4-68 e 4-69). Com a introdução dos mesmos, anulou-se a presença do Sol no interior da sala e extinguiu-se a zona com iluminância excessiva, melhorando o comportamento da distribuição interna. A zona com iluminância suficiente ampliou-se com o brise vertical (38,78%) e permaneceu constante com o brise inclinado (26,53%).

A sala do térreo para a condição da Figura 4-70, apresentou comportamento da distribuição semelhante à sala do pavimento superior. Nesta situação a distribuição é altamente heterogênea com grandes variações nos níveis de iluminação. Na situação atual, presencia-se a incidência direta do Sol, demarcada pela zona de iluminância excessiva (6,12%). A zona suficiente aparece em 40,82% da área. Contudo, comparando esta sala com a do pavimento superior, nota-se que a zona excessiva não chega até a parede da abertura principal. Como a condição é inverno (ângulo de altura solar baixo) este comportamento pode ser explicado pela maior altura do peitoril nesta sala do térreo ($H=1,25m$) do que na sala do pavimento superior ($H=1m$). Este peitoril com altura elevada e o ângulo baixo solar não proporcionam incidência direta do Sol muito próximo à parede da abertura principal.

Novamente, vê-se pelos gráficos das Figuras 4-70, 4-71 e 4-72 a distribuição heterogênea dos níveis de iluminação natural internos. Nas 3 situações estudadas, a zona insuficiente é a que tem maior abrangência, seguida pela zona suficiente. Com a inserção dos elementos de obstrução solar (Figura 4-71 e 4-72), anulou-se a presença direta do Sol no interior da sala e eliminou-se a zona com iluminância excessiva. A distribuição interna melhorou, com pequena diminuição da área com iluminância suficiente para o brise vertical (36,73%) e manutenção da zona suficiente para o brise inclinado (40,82%). A zona de transição superior também ampliou-se nas 2 situações. A zona insuficiente manteve-se praticamente estável.

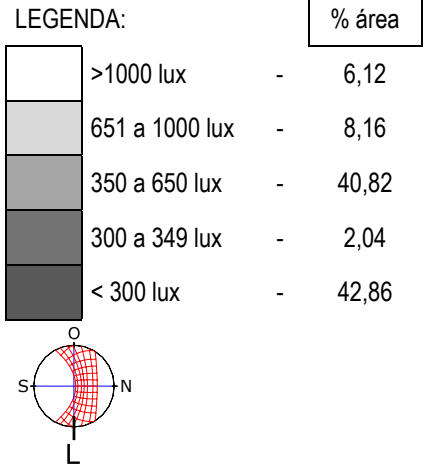
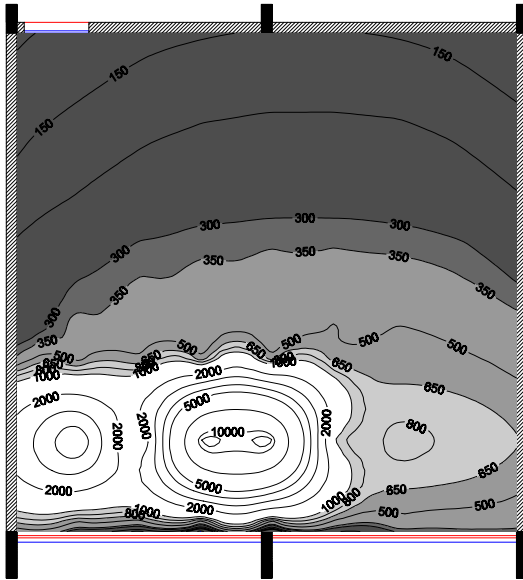


Figura 4-70: Leste-10-claro-inverno-atual-inferior

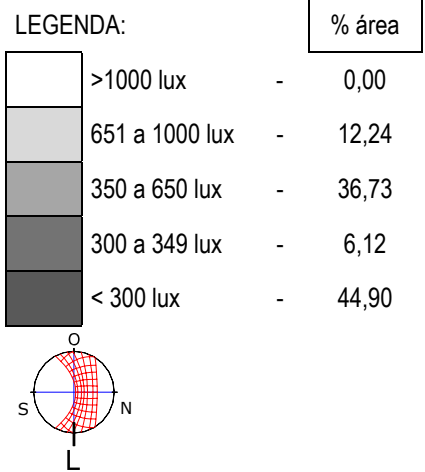
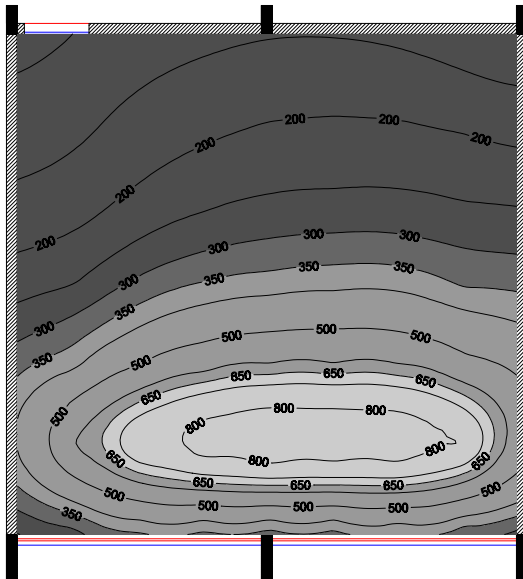


Figura 4-71: Leste-10-claro-inverno-vertical-inferior

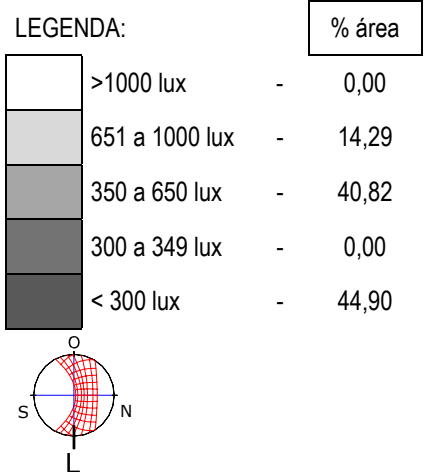
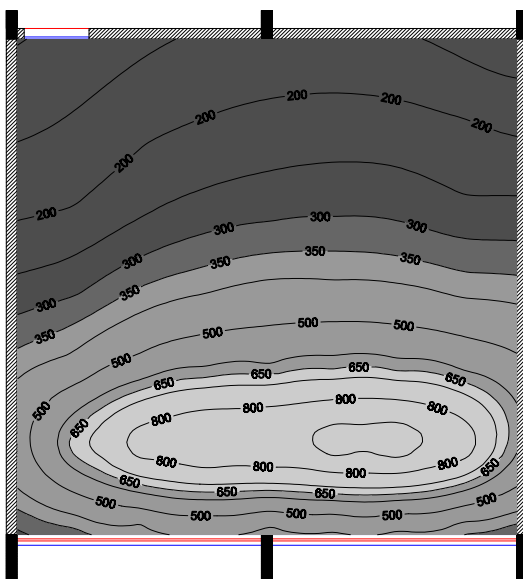
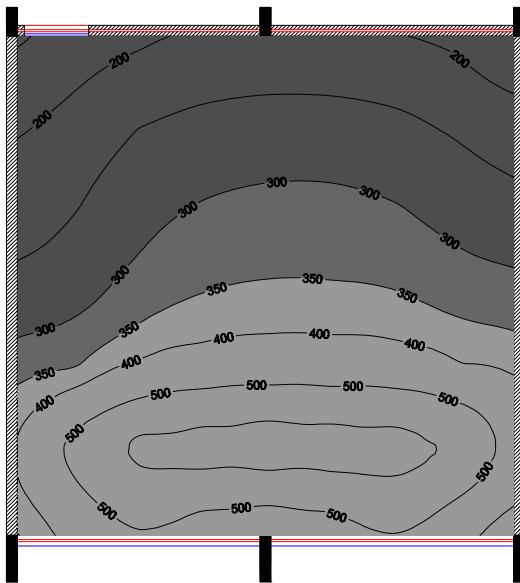


Figura 4-72: Leste-10-claro-inverno-inclinado-inferior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 2,04
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 42,86
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 18,37
[Black]	< 300 lux	- 36,73

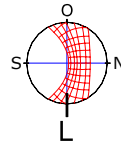
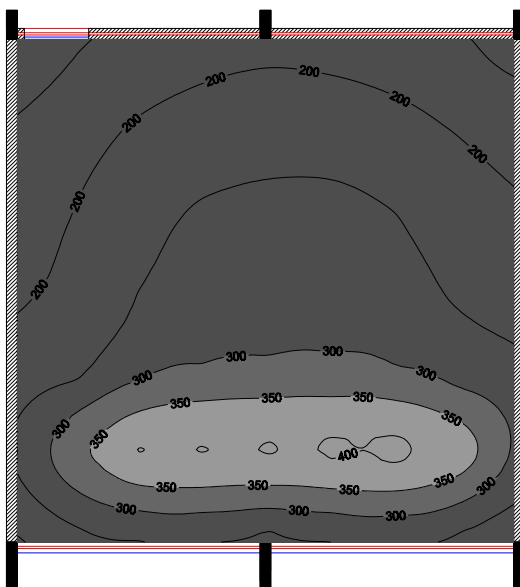


Figura 4-73: Leste-10-claro-verão-atual-superior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 12,24
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 10,20
[Black]	< 300 lux	- 77,55

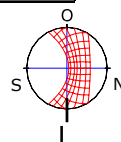
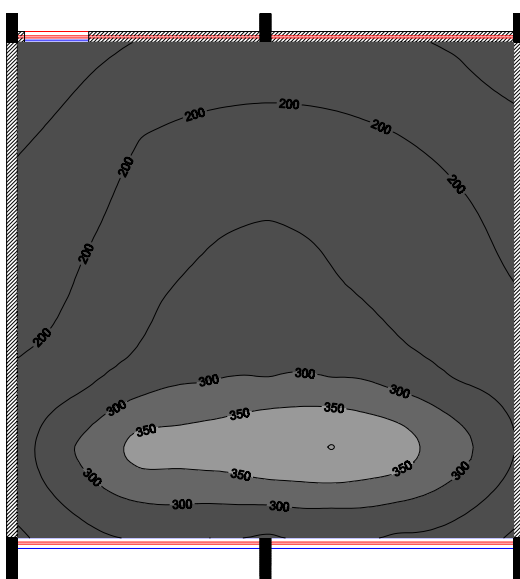


Figura 4-74: Leste-10-claro-verão-vertical-superior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 10,20
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 4,08
[Black]	< 300 lux	- 85,71

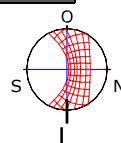


Figura 4-75: Leste-10-claro-verão-inclinado-superior

Observando a Figura 4-73, pode-se perceber que nesta situação não há incidência direta do Sol no interior da sala. Embora no horário das 10h00min o Sol esteja quase perpendicular à abertura principal, o beiral superior obstrui totalmente a incidência direta do Sol. Fato que não aconteceu nesta mesma condição no inverno, em virtude da posição do Sol no inverno estar com um ângulo menor de incidência.

Ainda observando a Figura 4-73, nota-se a presença de apenas 3 zonas de iluminância: suficiente, transição inferior e insuficiente. A zona suficiente abrange quase metade da área da sala (42,86%), indo da parede da abertura principal até aproximadamente o centro da sala. A zona insuficiente (36,73%) aparece próxima à parede da abertura secundária superior, mostrando novamente a pequena contribuição desta abertura para o incremento do nível de iluminação natural. A zona de transição inferior (18,37%) está disposta entre as duas anteriores.

O desempenho desta situação (Figura 4-73) fica extremamente comprometido com a inclusão dos elementos de obstrução solar. Na situação com o brise vertical (Figura 4-74) a zona suficiente diminui para 12,24% da área, enquanto a zona insuficiente amplia-se para 77,55% da área. Com o brise inclinado (Figura 4-75) a zona suficiente reduz-se ainda mais (10,20%) e a zona insuficiente amplia-se para 85,71% da área da sala.

Diferentemente da sala do pavimento superior, a sala inferior para estas condições (Figura 4-76, 4-77 e 4-78) recebe incidência direta dos raios solares próximos à abertura, provocada pela diferenciação física das duas salas. A sala do pavimento superior apresenta menor altura da janela ($H=1.3\text{m}$) e maior dimensão de beiral ($L=0.88\text{m}$), além da ponta do beiral estar no mesmo nível da verga da janela. Já a sala do térreo, apresenta maior altura de janela ($H=1.4\text{m}$), menor dimensão de beiral ($L=0.60\text{m}$) e a ponta do beiral está a 0.35m acima da verga da janela. Estas características físicas fazem com que o ângulo de obstrução da abertura do térreo seja menor que o da sala superior, propiciando maior incidência dos raios solares no interior da sala. Para esta condição (verão às 10h00min) tem-se um ângulo de altura solar próximo de 65° , que consegue penetrar na sala do térreo, mas não penetra na sala do pavimento superior, explicando este comportamento diferenciado da distribuição da iluminação.

Observando a Figura 4-76, percebe-se a má distribuição das iluminâncias internas. Próximo à abertura, a zona excessiva tem valores próximos de 20.000 lux enquanto perto da parede oposta observa-se valores abaixo de 200 lux . Mesmo apresentando valores altíssimos de iluminância, a zona insuficiente aparece em 42,86% da área, evidenciando o funesto sistema de iluminação empregado. A zona suficiente aparece apenas em 24,49% da área.

Na situação com brise vertical (Figura 4-77) persiste o mau comportamento. Este brise não consegue barrar o Sol em razão de suas aletas estarem dispostas paralelamente aos raios solares para este horário e época do ano. A zona insuficiente abrange 57,14% da área da sala. A zona suficiente passa para 26,53% da área.

Com o elemento inclinado (Figura 4-78) tem-se o mesmo comportamento anterior, com incidência direta do Sol e grande heterogeneidade na distribuição interna. Em razão da geometria deste brise (aletas inclinadas para barrar o Sol da tarde), neste horário e época do ano, o Sol consegue penetrar no interior da sala. Mais uma vez tem-se níveis altíssimos de iluminação somente próximos a janela, sendo que a partir do centro da sala em direção à parede oposta, temos apenas zona insuficiente (51,02%), demonstrando a péssima distribuição interna.

Este comportamento péssimo na distribuição interna, mesmo com elementos de proteção com grande obstrução no mascaramento da abertura, demonstra a fragilidade dos brises fixos.

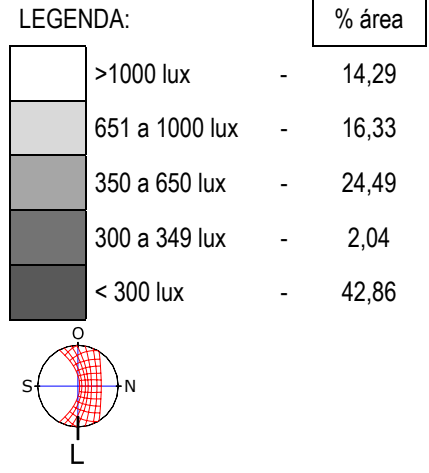
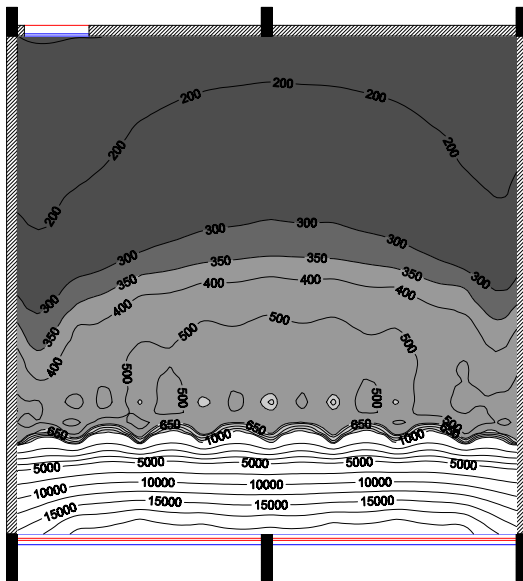


Figura 4-76: Leste-10-claro-verão-atual-inferior

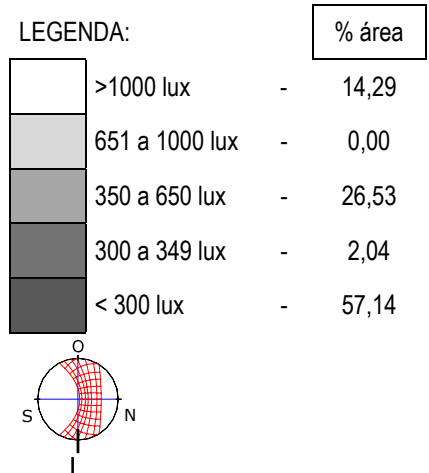
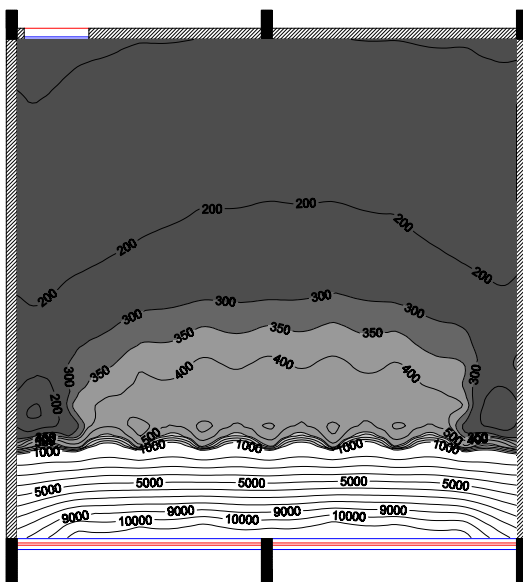


Figura 4-77: Leste-10-claro-verão-vertical-inferior

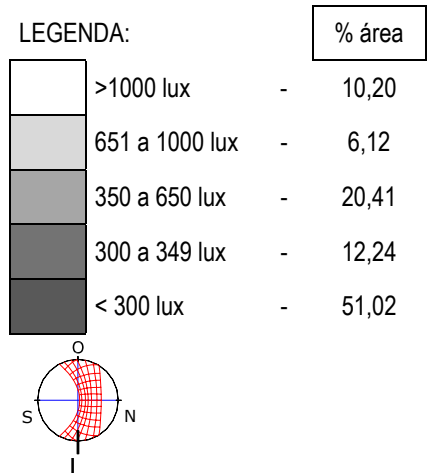
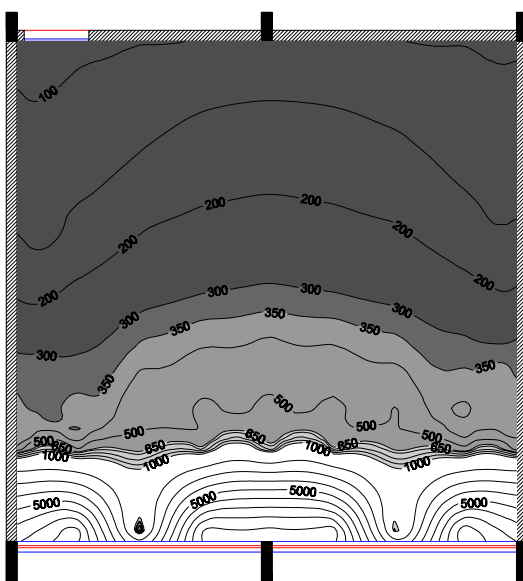


Figura 4-78: Leste-10-claro-verão-inclinado-inferior

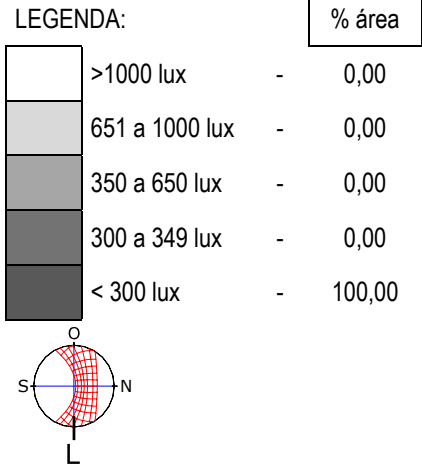
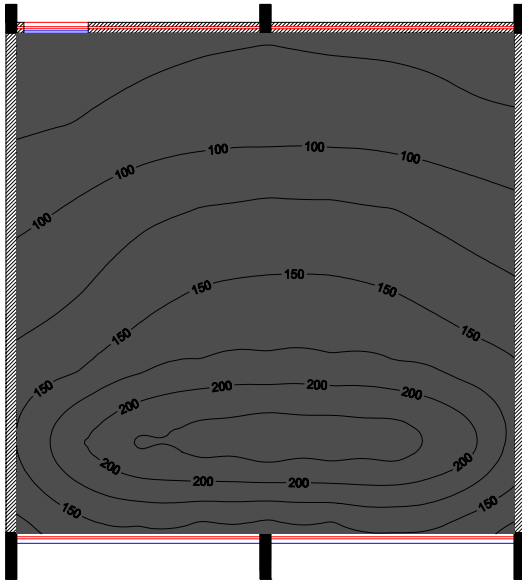


Figura 4-79: Leste-14-encoberto-inverno-atual-superior

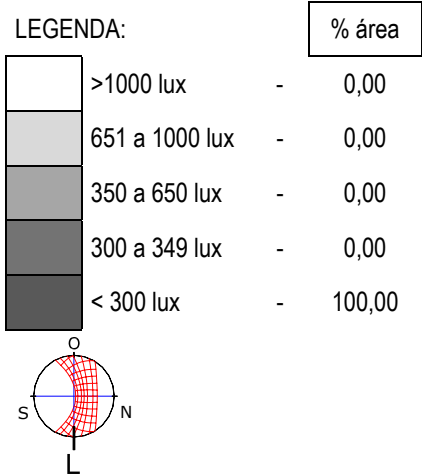
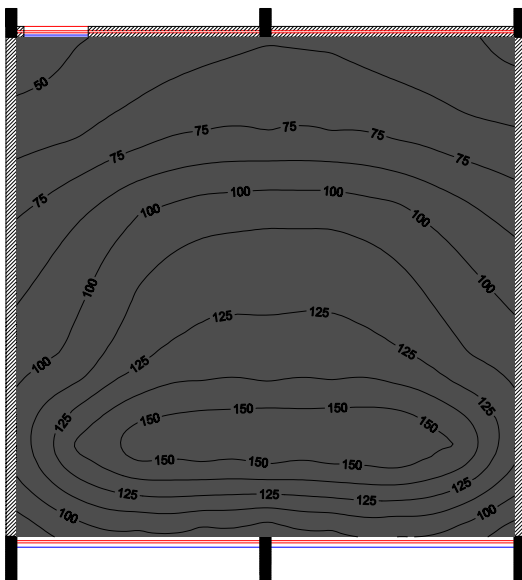


Figura 4-80: Leste-14-encoberto-inverno-vertical-superior

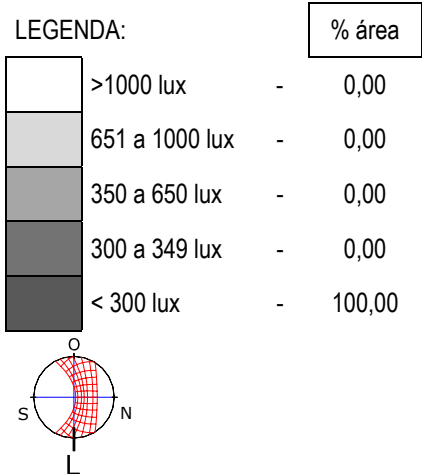
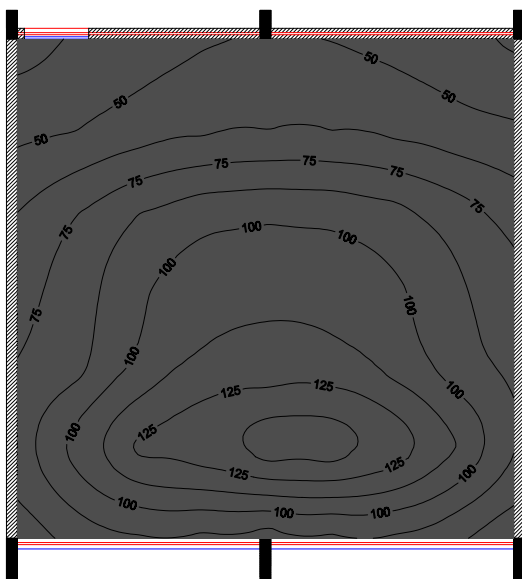


Figura 4-81: Leste-14-encoberto-inverno-inclinado-superior

Para a situação da Figura 4-79, agora com céu encoberto, nota-se que todos os pontos apresentam baixos níveis de iluminação, sendo que toda a área da sala fica classificada na zona de iluminância insuficiente.

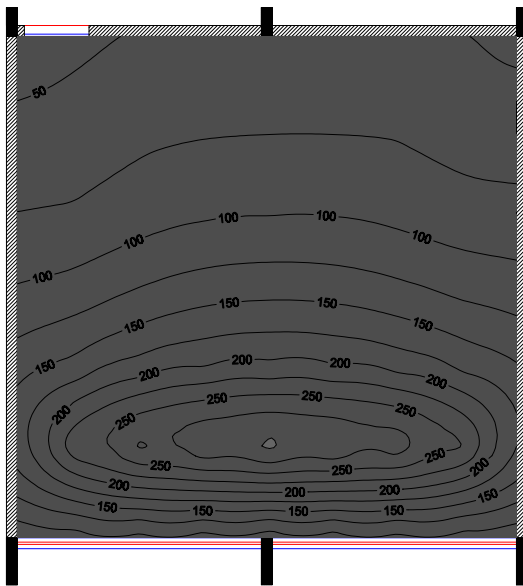
Os níveis mais elevados de iluminância estão próximos à abertura principal e vão diminuindo gradualmente em direção à abertura secundária. Com isso, novamente constata-se a pouca contribuição da abertura secundária superior.

Incorporando os elementos de proteção, tem-se níveis piores de iluminação (Figura 4-80 e 4-81). Entretanto, observa-se uma alteração na distribuição interna. Com a presença dos elementos de obstrução, embora os valores mais altos de iluminância continuem próximos à abertura principal, a região abrangida pelas curvas intermediárias tornam-se maiores em direção à superfície oposta à abertura principal, diminuindo o gradiente de variação dos níveis da sala. Este fenômeno fica mais evidenciado na situação com o elemento de proteção com maior obstrução, ou seja, o elemento inclinado (Figura 4-81). Desta maneira, constata-se que a contribuição da abertura secundária superior aumenta à medida que se diminuem os níveis de iluminação internos.

Comparando-se a situação Leste-14-encoberto-inverno-atual-inferior (Figura 4-82) com a sala superior, percebe-se níveis de iluminação mais altos próximos à abertura principal e níveis mais baixos próximos à parede oposta à abertura principal. Com isso, percebe-se uma distribuição mais heterogênea nesta sala do térreo, provocada pela maior variação dos gradientes de iluminação.

Analisando a Figura 4-82, percebe-se que a zona insuficiente abrange praticamente toda a área da sala (97,96%). Em apenas um ponto dos 49 medidos, o valor de iluminância foi superior a 300 lux, caracterizando a zona de transição inferior (2,04%). A distribuição dos níveis é própria do sistema unilateral, com valores mais elevados próximos à abertura.

Com a inserção dos elementos de proteção (Figura 4-83 e 4-84), continua-se com o mesmo comportamento em relação à distribuição de iluminâncias. Entretanto, os níveis de iluminação que já eram reduzidos ficam ainda mais baixos, piorando o comportamento da iluminação natural interna. O pior desempenho ocorre na situação com o brise inclinado (Figura 4-84) em razão deste apresentar maior grau de obstrução para esta situação.



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 2,04
[Black box]	< 300 lux	- 97,96

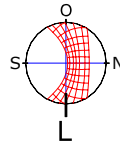
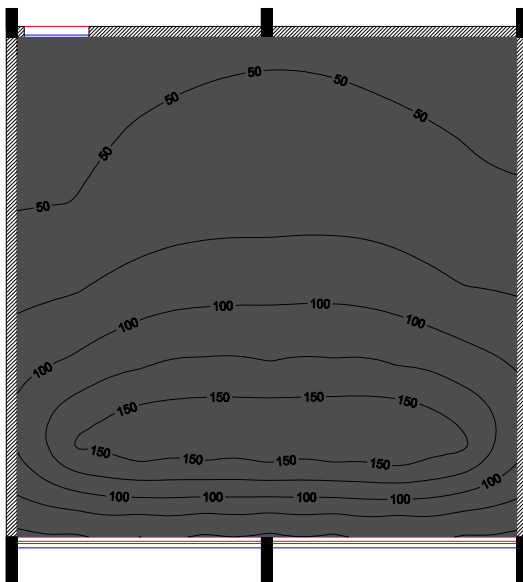


Figura 4-82: Leste-14-encoberto-inverno-atual-inferior



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black box]	< 300 lux	- 100,00

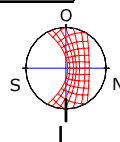
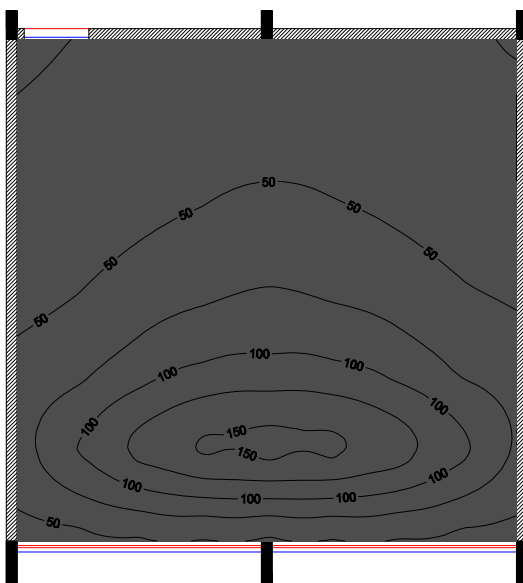


Figura 4-83: Leste-14-encoberto-inverno-vertical-inferior



LEGENDA:

		% área
[White box]	>1000 lux	- 0,00
[Light gray box]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium gray box]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark gray box]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black box]	< 300 lux	- 100,00

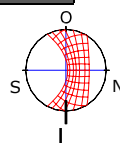
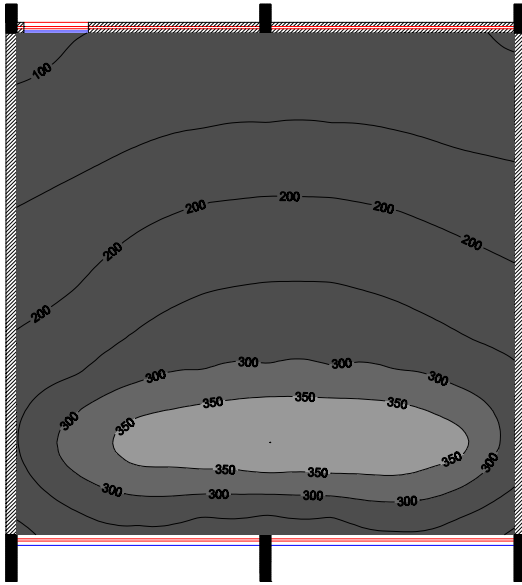


Figura 4-84: Leste-14-encoberto-inverno-inclinado-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 12,24
300 a 349 lux	- 4,08
< 300 lux	- 83,67

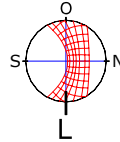
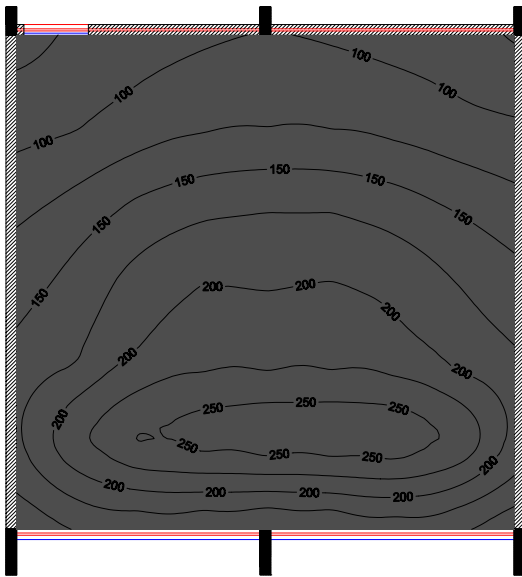


Figura 4-85: Leste-14-encoberto-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

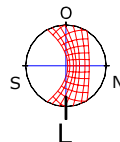
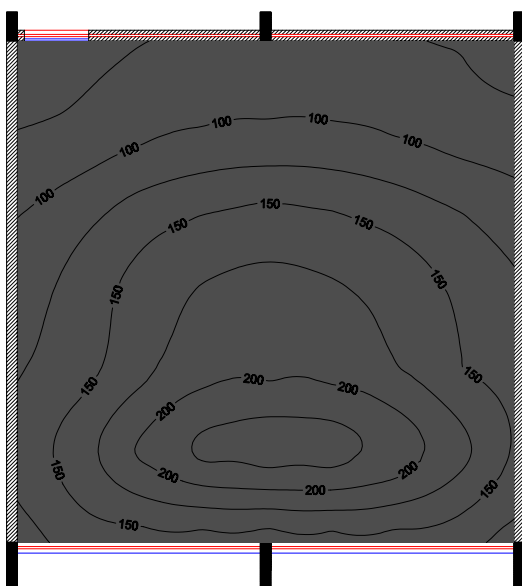


Figura 4-86: Leste-14-encoberto-verão-vertical-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

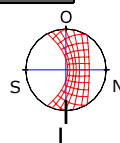


Figura 4-87: Leste-14-encoberto-verão-inclinado-superior

Visualizando-se a Figura 4-85, nota-se a presença de 3 zonas de iluminância: suficiente, transição inferior e insuficiente. No entanto, a zona insuficiente predomina sobre as demais, com abrangência de 83,67%. Os níveis mais elevados de iluminância estão próximos à abertura principal e vão diminuindo gradualmente em direção à abertura secundária. A zona suficiente aparece em 12,24% da área, enquanto a zona de transição inferior abrange 4,08% da área da sala.

Assim como na situação Leste-14-encoberto-inverno-atual-superior, com a presença dos elementos de obstrução solar, tem-se níveis inferiores de iluminação (Figura 4-86 e 4-87), restringindo toda a área da sala a ser classificada como zona insuficiente. Mas, com a incorporação dos brises a distribuição interna se modifica, ampliando a região abrangida pelas curvas intermediárias em direção à superfície oposta à abertura principal. O aumento da região intermediária provoca uma variação menor dos níveis de iluminação com conseqüente melhoria da distribuição interna, mesmo que com níveis de iluminação abaixo do mínimo pré-estabelecido. Novamente, percebe-se que com a diminuição dos níveis internos de iluminação provocado pela obstrução da abertura principal, tem-se um aumento na contribuição proporcionada pela abertura superior secundária.

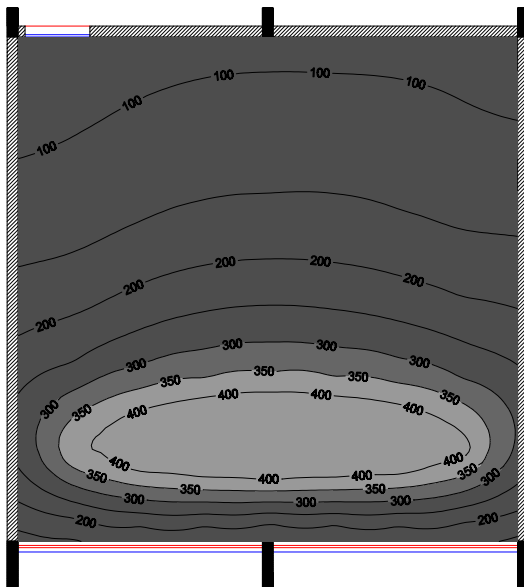
Comparando-se a situação Leste-14-encoberto-verão-atual-inferior (Figura 4-88) com a sala superior percebe-se níveis de iluminação mais altos na sala do térreo provocados pelas características físicas diferenciadas entre as 2 situações. Com isso, a região com zona suficiente ampliou-se em relação à sala do pavimento superior.

Embora tenha-se a presença da zona suficiente (14,29%) e de transição inferior (10,20%) próximas à abertura principal, a região com iluminância insuficiente aparece em 75,51% da sala. Novamente, os níveis mais baixos aparecem na região perto da parede oposta da abertura principal.

Incorporando os elementos de proteção, a zona suficiente e de transição inferior são exterminadas, restando apenas a zona insuficiente. Percebe-se uma distribuição diferenciada entre o elemento vertical (Figura 4-89) e o inclinado (Figura 4-90). Na situação com o elemento vertical (aletas perpendiculares à abertura - menor obstrução) tem-se maior área contornada pelas isolux mais altas. Estas áreas alongam-se paralelamente à extensão da janela. Já na situação com brise inclinado (aletas inclinadas em relação à abertura - maior obstrução), as áreas contornadas pelas curvas com níveis mais altos são menores e ocorrem mais no centro da abertura.

Observando a situação da Figura 4-91, percebe-se que a zona insuficiente abrange toda a área da sala, evidenciando o baixo nível de iluminação interno. Nesta situação, não fica visível a contribuição da abertura superior secundária, uma vez que os níveis mais elevados de iluminância estão próximos à abertura principal e vão diminuindo gradualmente em direção à esta abertura secundária.

Com a inclusão dos brises (Figura 4-92 e 4-93), os níveis de iluminação pioram ainda mais. Todavia, há uma modificação na distribuição onde o desenho das curvas isolux com níveis intermediários de iluminação alongam-se na direção do centro da sala, mostrando a contribuição da abertura secundária superior nestas situações.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 14,29
300 a 349 lux	- 10,20
< 300 lux	- 75,51

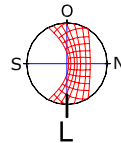
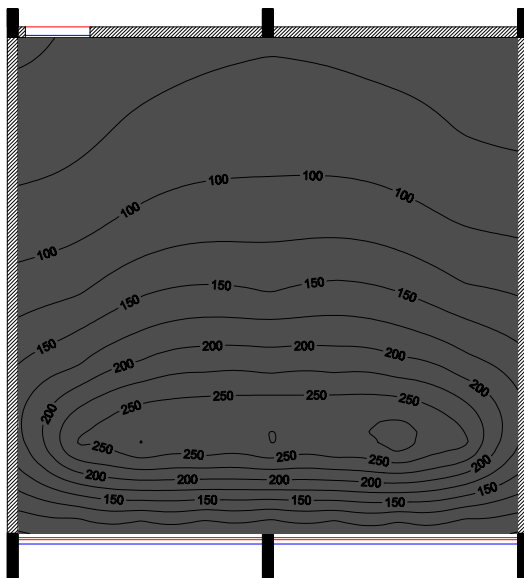


Figura 4-88: Leste-14-encoberto-verão-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

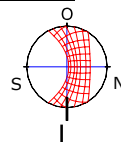
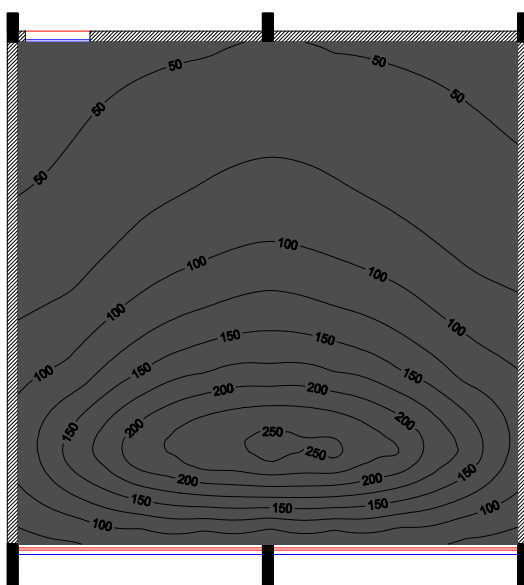


Figura 4-89: Leste-14-encoberto-verão-vertical-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

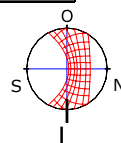
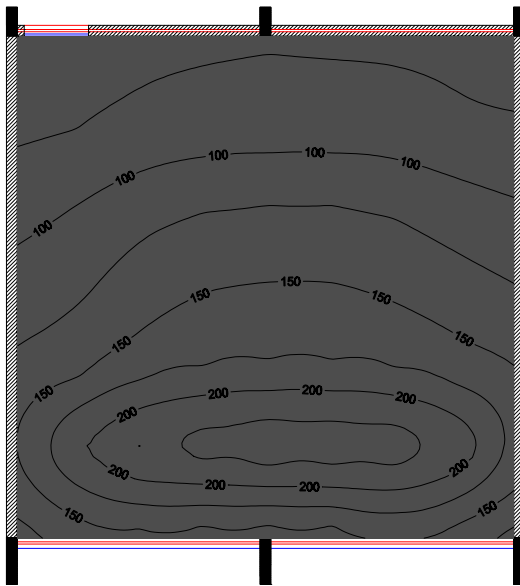


Figura 4-90: Leste-14-encoberto-verão-inclinado-inferior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black]	< 300 lux	- 100,00

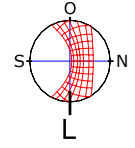
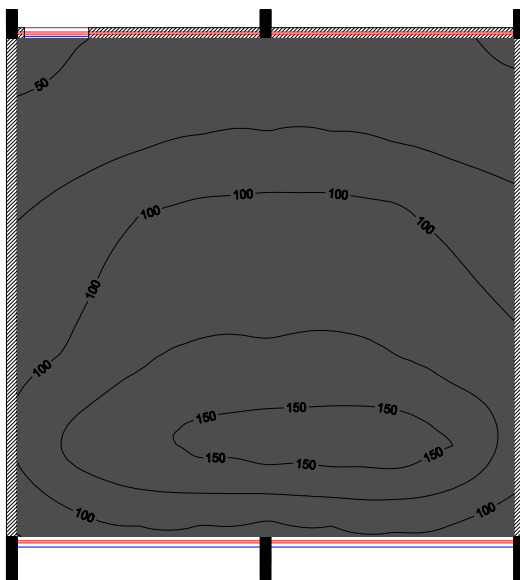


Figura 4-91: Leste-10-encoberto-inverno-atual-superior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black]	< 300 lux	- 100,00

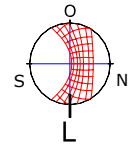
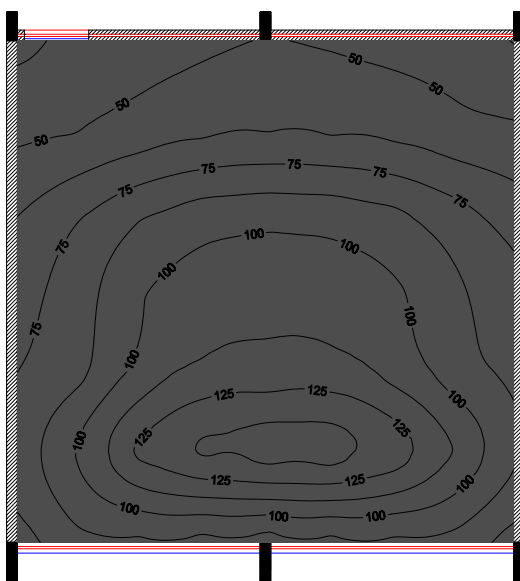


Figura 4-92: Leste-10-encoberto-inverno-vertical-superior



LEGENDA:

		% área
[White]	>1000 lux	- 0,00
[Light Gray]	651 a 1000 lux	- 0,00
[Medium Gray]	350 a 650 lux	- 0,00
[Dark Gray]	300 a 349 lux	- 0,00
[Black]	< 300 lux	- 100,00

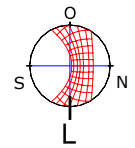
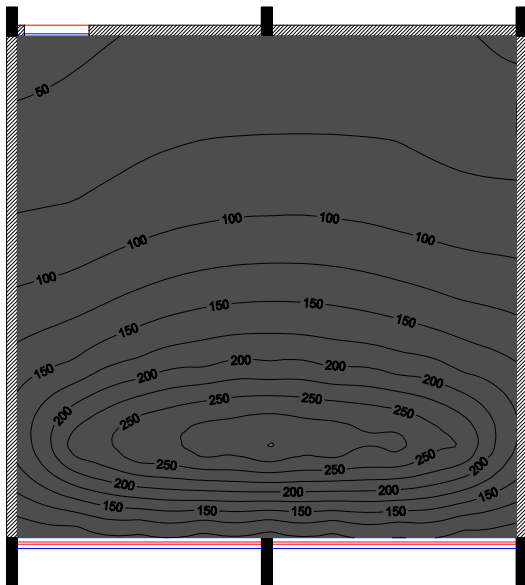


Figura 4-93: Leste-10-encoberto-inverno-inclinado-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 2,04
< 300 lux	- 97,96

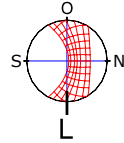
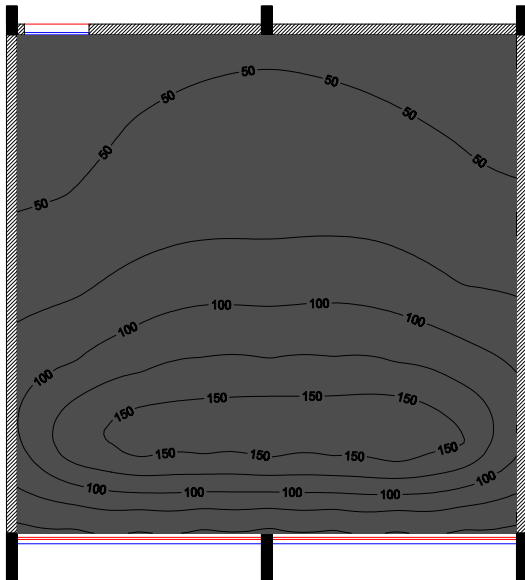


Figura 4-94: Leste-10-encoberto-inverno-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

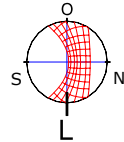
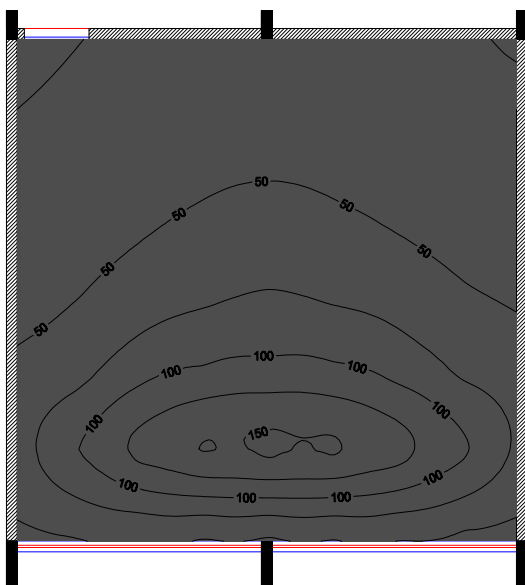


Figura 4-95: Leste-10-encoberto-inverno-vertical-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

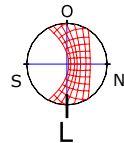


Figura 4-96: Leste-10-encoberto-inverno-inclinado-inferior

Pela Figura 4-94, repara-se que, em praticamente toda a sala (97,96%), tem-se zona insuficiente. A zona de transição inferior é imperceptível, pois aparece numa região ínfima (2,04%). A distribuição da iluminação é heterogênea com níveis mais elevados na região próxima à abertura principal.

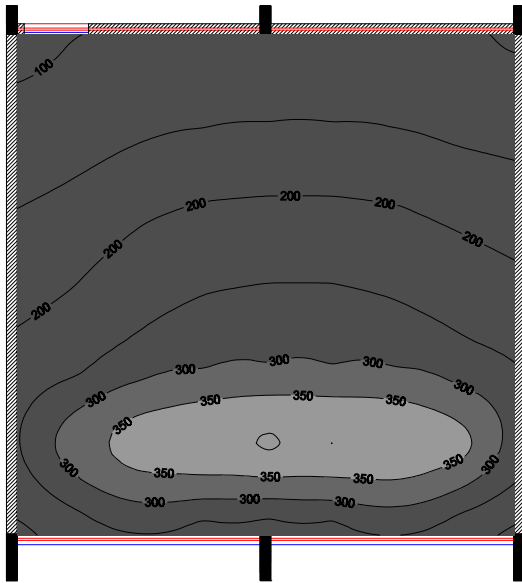
Através da observação das Figuras 4-95 e 4-96, verifica-se que nas simulações com os elementos de obstrução, os níveis de iluminação ficam ainda mais reduzidos tendo-se apenas a ocorrência da zona com iluminância insuficiente.

Observando-se a Figura 4-97, nota-se grande semelhança com a situação Leste-10-encoberto-verão-atual-superior, onde tem-se a presença da zona suficiente, de transição inferior e insuficiente. Entretanto, a zona suficiente (12,24%) e de transição inferior (6,12%) somadas não chegam a 20% da área da sala. Os níveis mais elevados de iluminância estão próximos à abertura principal e vão diminuindo gradualmente em direção à abertura secundária.

A presença dos elementos de controle, provoca a diminuição dos níveis de iluminação (Figura 4-98 e 4-99), acarretando no predomínio total da zona insuficiente em toda a área da sala. Contudo, a presença dos brises na abertura principal faz com que amplie-se a contribuição da abertura secundária superior, aumentando a região abrangida pelas curvas isolux intermediárias e melhorando a distribuição interna.

Através da observação da Figura 4-100, pode-se perceber a presença da zona suficiente (12,24%) e da zona de transição superior (6,12%) próximas à abertura principal. No entanto, há o predomínio da zona de iluminância insuficiente, respondendo por 75,51% da área do ambiente. Mesmo, com a zona insuficiente sobressaindo sobre as demais, nota-se que a área de abrangência da zona suficiente e da transição inferior aumenta aproximadamente 10% em relação a sala do pavimento superior para estas mesmas condições.

A introdução dos elementos de proteção, provoca o desaparecimento da zona suficiente e de transição inferior. Tem-se uma diminuição nos níveis de iluminação e novamente percebe-se uma distribuição diferenciada entre o elemento vertical (Figura 4-101) e o inclinado (Figura 4-102). Na situação com o elemento vertical, nota-se maior área contornada pelas isolux mais altas em razão da disposição geométrica do brise. Na situação com o brise inclinado (maior obstrução), a região de abrangência destas curvas isolux intermediárias é menor com conseqüente diminuição dos níveis de iluminação internos.



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 12,24
300 a 349 lux	- 6,12
< 300 lux	- 81,63

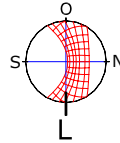
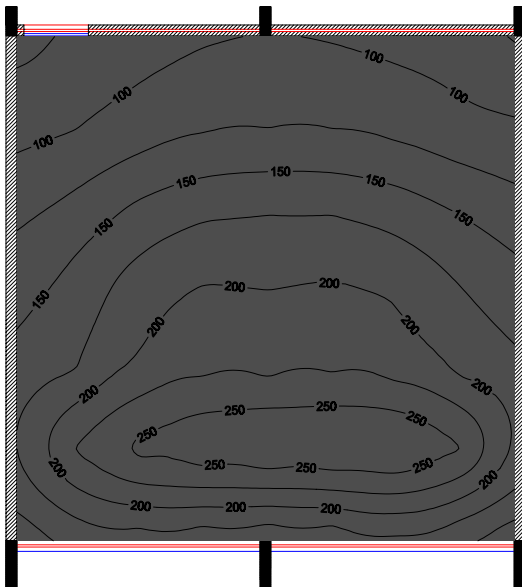


Figura 4-97: Leste-10-encoberto-verão-atual-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

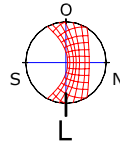
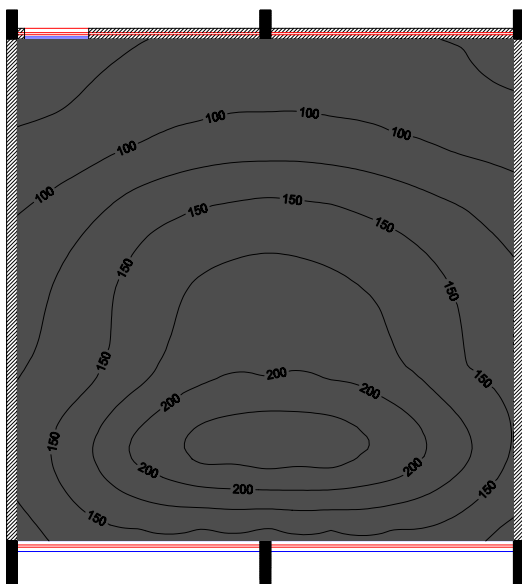


Figura 4-98: Leste-10-encoberto-verão-vertical-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

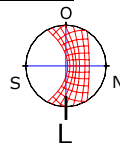
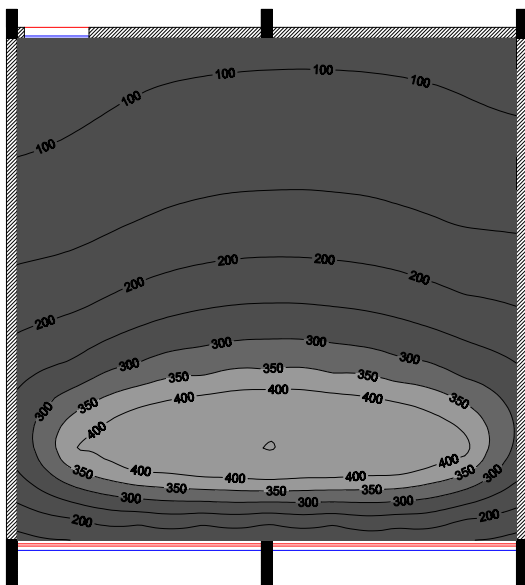


Figura 4-99: Leste-10-encoberto-verão-inclinado-superior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 16,33
300 a 349 lux	- 8,16
< 300 lux	- 75,51

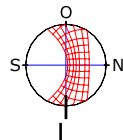
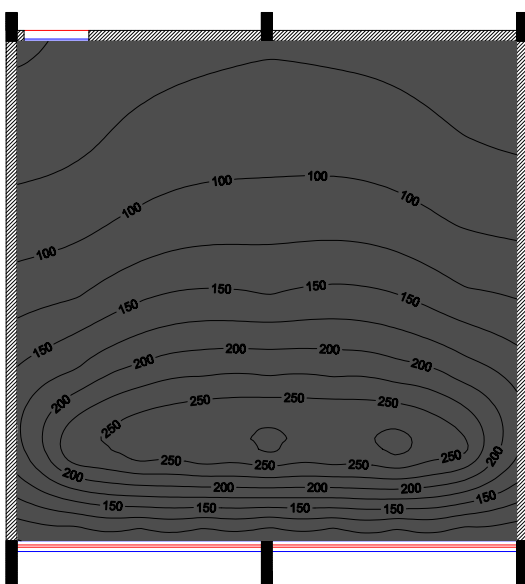


Figura 4-100: Leste-10-encoberto-verão-atual-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

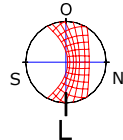
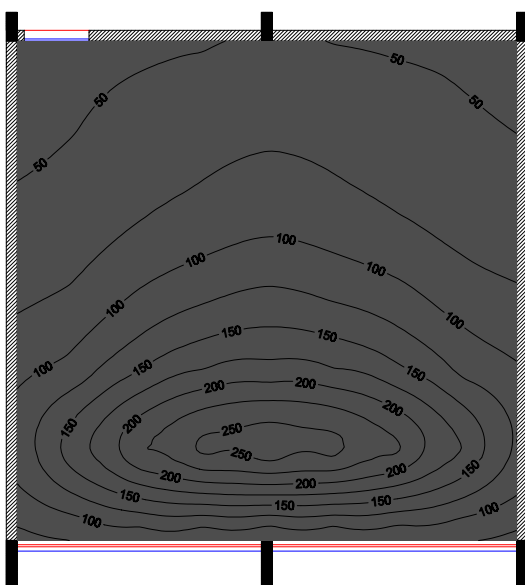


Figura 4-101: Leste-10-encoberto-verão-vertical-inferior



LEGENDA:

	% área
>1000 lux	- 0,00
651 a 1000 lux	- 0,00
350 a 650 lux	- 0,00
300 a 349 lux	- 0,00
< 300 lux	- 100,00

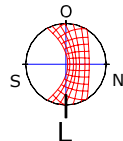


Figura 4-102: Leste-10-encoberto-verão-inclinado-inferior

☑ Áreas por região de iluminância

Os quadros 4-24 a 4-31 concentram os valores das áreas de abrangência das zonas de iluminação das situações simuladas para a orientação Leste. Nestes, são agrupadas as diferentes situações (atual, com proteção solar 1 e 2) para cada condição (orientação, horário, época do ano, condição de céu e pavimento).

Como forma de salientar as inferências realizadas a seguir, trabalhou-se com o símbolo ☹ para demonstrar pontos negativos e com o símbolo 😊 para demonstrar pontos positivos. Se a inferência apresentar o símbolo 😐 é porque ela não é necessariamente positiva ou negativa.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	34,69	32,65	32,65	0,00	0,00
Atual - Inferior	89,80	10,20	0,00	0,00	0,00
Vertical - Superior	55,10	44,90	0,00	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	69,39	30,61	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-24: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-claro-inverno

Analisando comparativamente as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-24, após a inserção dos brises tem-se:

- ☹ Aumento considerável da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹ Extermínio da área da zona suficiente.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível (transição inferior + suficiente + transição superior) em 65,30%. Com o elemento vertical este somatório passa para 44,90%, enquanto que com o brise inclinado não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☹ Ampliação da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹ Extermínio da área da zona de transição inferior.

Para o somatório da zona admissível na situação atual tem-se 10,20%. Com o elemento vertical e inclinado não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e extinguíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se sinteticamente a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- ☹ Maior área de zona insuficiente;
- ☹ Menor área de zona admissível.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	24,49	22,45	53,06	0,00	0,00
Atual - Inferior	89,80	8,16	2,04	0,00	0,00
Vertical - Superior	40,82	32,65	26,53	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	63,27	18,37	18,37	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-25: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-claro-verão

Analisando comparativamente as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-25, após a inserção dos brises tem-se:

- ☹️ Aumento considerável da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Diminuição acentuada da área da zona suficiente.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível (transição inferior + suficiente + transição superior) em 75,51%. Com o elemento vertical este somatório reduz-se para 59,18%, enquanto que com o brise inclinado tem-se 36,74% de zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☹️ Ampliação da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Extermínio da área da zona suficiente e de transição inferior;

Para o somatório da zona admissível na situação atual tem-se 10,20%. Com o elemento vertical e inclinado não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e extinguíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- ☹️ Maior área de zona insuficiente;
- ☹️ Menor área de zona admissível.

Analisando comparativamente as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior** de acordo com as condições do Quadro 4-26, após a inserção dos brises tem-se:

- ☹️ Aumento da área de abrangência da zona insuficiente;
- 😊 Manutenção (brise inclinado) ou aumento (brise vertical) da área da zona suficiente;
- 😊 Eliminação da zona excessiva;
- 😊 Eliminação da área de transição inferior.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 44,90%. Com o elemento vertical este somatório amplia-se para 51,02%, enquanto que com o brise inclinado reduz-se a área para 40,82%. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente. Na situação com elemento vertical existe um aumento da zona admissível, mas em compensação com elemento inclinado, há uma diminuição da zona admissível.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	44,90	14,29	26,53	4,08	10,20
Atual - Inferior	42,86	2,04	40,82	8,16	6,12
Vertical - Superior	55,10	6,12	38,78	0,00	0,00
Vertical - Inferior	44,90	6,12	36,73	12,24	0,00
Inclinado - Superior	59,18	14,29	26,53	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	44,90	0,00	40,82	14,29	0,00

Quadro 4-26: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-claro-inverno

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☹️ Ampliação da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Manutenção (brise inclinado) ou diminuição (brise vertical) da área da zona suficiente;
- 😊 Eliminação da zona excessiva;
- 😊 Ampliação da zona de transição superior;

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível (transição inferior + suficiente + transição superior) em 51,02%. Com o elemento vertical este valor amplia-se para 55,09%, enquanto que com o brise inclinado tem-se 55,11%. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente, mas aumentaram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a do andar superior nas 3 situações pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Menor área de zona insuficiente;
- 😊 Maior área de zona admissível.

Analisando comparativamente as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-27, após a inserção do brises tem-se:

- ☹️ Aumento substancial da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Diminuição representativa da zona suficiente;
- 😊 Manutenção (brise inclinado) ou aumento (brise vertical) da área da zona suficiente;
- 😞 Diminuição da área de transição inferior;
- 😞 Eliminação da área de transição superior.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação suficiente em 63,27%. Com o elemento vertical este somatório diminui para 22,44%, enquanto que com o brise inclinado reduz-se para 14,28%. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a zona admissível.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	36,73	18,37	42,86	2,04	0,00
Atual - Inferior	42,86	2,04	24,49	16,33	14,29
Vertical - Superior	77,55	10,20	12,24	0,00	0,00
Vertical - Inferior	57,14	2,04	26,53	0,00	14,29
Inclinado - Superior	85,71	4,08	10,20	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	51,02	12,24	20,41	6,12	10,20

Quadro 4-27: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-claro-verão

Para o **andar inferior** (térreo) após a colocação dos elementos de proteção tem-se:

- ☹️ Ampliação da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Diminuição, na situação com brise inclinado, da área da zona suficiente;
- 😊 Ampliação, na situação com brise vertical, da área da zona suficiente;
- ☹️ Diminuição da área de transição superior;
- 😊 Eliminação da zona excessiva.

Na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 42,86%. Com o elemento vertical este somatório passa para 28,57%, enquanto que com o brise inclinado reduz-se para 38,77%. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e diminuíram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Maior área de zona admissível nas situações com os elementos de proteção;
- ☹️ Menor área de zona admissível na situação atual.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atual - Inferior	97,96	2,04	0,00	0,00	0,00
Vertical - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-28: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-encoberto-inverno

Em razão do tipo de céu e do mesmo horário, observando o Quadro 4-28, percebe-se os mesmos valores da situação do Quadro 4-20 (Norte-14-encoberto-inverno). Para a sala do pavimento superior, não é possível fazer qualquer tipo de comparação, pois nas 3 situações tem-se apenas a presença da zona insuficiente.

Para a sala do pavimento inferior (térreo) que apresenta quase 98% de área na zona insuficiente tem-se que, com a inserção dos brises, a zona insuficiente chegou a totalidade da sala. Desta forma, percebe-se pequena vantagem no desempenho da sala do térreo na situação atual em comparação com a sala do pavimento superior.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	83,67	4,08	12,24	0,00	0,00
Atual - Inferior	75,51	10,20	14,29	0,00	0,00
Vertical - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-29: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-14-encoberto-verão

Analisando as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior e térreo** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-29, após a inserção dos brises tem-se:

- ☹ Aumento da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹ Desaparecimento da área da zona suficiente e de transição inferior.

Para o pavimento superior, na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 16,32%. Com os brises não há presença da zona admissível. Para o pavimento inferior, o somatório da zona admissível na situação atual é de 24,49%. Com a introdução dos brises não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e eliminaram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Maior área da zona admissível e menor área da zona insuficiente na situação atual.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atual - Inferior	97,96	2,04	0,00	0,00	0,00
Vertical - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-30: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-encoberto-inverno

Observando o Quadro 4-30, percebe-se os mesmos valores da situação do Quadro 4-28 (Leste-14-encoberto-inverno). Para evitar repetições, observar as inferências realizadas para o Quadro 4-28. Esta similaridade é explicada pela condição de céu encoberto, que para a mesma época do ano, horários simétricos em relação às 12h00min, apresentam resultados muito semelhantes.

Situação	ZONAS				
	INSUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO INFERIOR (%)	SUFICIENTE (%)	TRANSIÇÃO SUPERIOR (%)	EXCESSIVA (%)
Atual - Superior	81,63	6,12	12,24	0,00	0,00
Atual - Inferior	75,51	8,16	16,33	0,00	0,00
Vertical - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertical - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Superior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inclinado - Inferior	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4-31: Composição das áreas por zonas de iluminância para a situação Leste-10-encoberto-verão

Analisando as situações atual, com brise vertical e inclinado para o **andar superior e térreo** de acordo com as condições e valores do Quadro 4-31, após a inserção do brises tem-se:

- ☹️ Aumento da área de abrangência da zona insuficiente;
- ☹️ Desaparecimento da área da zona suficiente e de transição inferior.

Para o pavimento superior, na situação atual tem-se o somatório da zona com iluminação admissível em 18,36%. Com os brises não há presença da zona admissível. Para o pavimento inferior, o somatório da zona admissível na situação atual é de 24,49%. Com brise vertical e inclinado não há presença da zona admissível. Os elementos de proteção ampliaram a zona insuficiente e eliminaram a abrangência da zona admissível.

Comparando-se a sala do térreo com a sala do andar superior pode-se dizer que na sala do térreo tem-se:

- 😊 Maior área da zona admissível e menor área da zona insuficiente na situação atual.

4.3.2 Resultados do método analítico

O estudo do comportamento lumínico realizado por este trabalho com a simulação de 96 condições diferentes tem o objetivo de embasar e respaldar teoricamente os resultados visando contemplar o maior número de situações possíveis.

Entretanto, para cada uma destas simulações foram retirados 53 valores de iluminância que multiplicados pelo número de simulações totalizam mais de 5000 dados. O método analítico empregado surge como ferramenta de auxílio no processamento desta grande quantidade de dados. Sendo assim, o resultado analítico expressa o compilamento das informações em alguns números, apresentando valores representativos de uma população.

Estes valores sintetizam e demonstram o comportamento de determinada variável em uma determinada condição frente à parâmetros pré-estabelecidos. Desta forma, pode-se analisar o resultado classificando-o em

categorias de acordo com valores de referência que representam determinados conceitos com relação à performance deste resultado. As Tabelas 4-8 a 4-12 apresentam estas classificações. Para cada parâmetro de análise, juntamente com as categorias de classificação, aparecem vinculadas figuras que facilitam a identificação visual e a compreensão instantânea dos resultados.

Tabela 4-8: Critério de avaliação da iluminância média interna






ILUMINÂNCIA MÉDIA INTERNA		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	RUIM (baixo)	De 0 a 299 lux
	REGULAR (baixo)	De 300 a 349 lux
	BOM	De 350 a 650 lux
	REGULAR (alto)	De 651 a 1000 lux
	RUIM (alto)	Acima de 1000 lux

Tabela 4-9: Critério de avaliação da distribuição das zonas




DISTRIBUIÇÃO DAS ZONAS		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Acima de 70,1%
	REGULAR	De 50,1% a 70%
	RUIM	Abaixo de 50%

Tabela 4-10: Critério de avaliação do coeficiente de variação




COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Abaixo de 20%
	REGULAR	De 20,1% a 50%
	RUIM	Acima de 50,1%

Tabela 4-11: Critério de avaliação da uniformidade







UNIFORMIDADE		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Acima de 0,60
	REGULAR	De 0,40 a 0,59
	RUIM	Abaixo de 0,39

Tabela 4-12: Critério de avaliação da diversidade

DIVERSIDADE		
Simbologia	Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
	BOM	Abaixo de 3
	REGULAR	De 3,1 a 5
	RUIM	Acima de 5

Os parâmetros de análise dos resultados são tanto quantitativos como qualitativos. A iluminância média é um parâmetro exclusivamente quantitativo. Já, a distribuição por zonas é um parâmetro tanto quantitativo como qualitativo, pois leva em consideração os valores de iluminância e área de distribuição dos mesmos. O restante dos parâmetros de análise (uniformidade, diversidade e coeficiente de variação), apesar de levar em consideração valores quantitativos, são utilizados para analisar a distribuição dos níveis de iluminação relacionados diretamente com a qualidade da iluminação.

Como o trabalho preocupa-se tanto com quantidade de luz como com distribuição interna da luz natural, um parâmetro analisado isoladamente pode não contemplar estas duas preocupações. No entanto, aponta-se a distribuição das zonas como critério principal de análise em função deste parâmetro associar quantidade com distribuição de iluminação.

4.3.2.1 Orientação Norte

Com o intuito de analisar a influência dos elementos de proteção no comportamento interno da iluminação, tanto por questões quantitativas como qualitativas, são mostradas os Quadros 4-32 a 4-47, referentes as simulações realizadas para a orientação Norte.

Os Quadros apresentam individualmente a avaliação realizada com as mesmas variáveis referentes a situação, nível do pavimento e condição de céu. Para cada quadro destes, as variáveis que aparecem nas linhas dizem respeito às diferentes horas do dia e épocas do ano avaliadas.

Os Quadros a seguir são apresentados para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise e facilitar na comparação entre as 3 situações (atual, com elemento de proteção solar 1 e com elemento de proteção solar 2). Para facilitar nesta comparação entre as diferentes situações (atual, light-shelf e horizontal), sintetiza-se as variáveis (hora do dia e época do ano) através de um valor médio e uma figura que represente os 4 resultados (arranjo entre os dois horários e duas datas analisadas) frente ao parâmetro analisado. Desta maneira, este quadro resumo consegue sintetizar em um valor e um conceito (figura) cada condição, facilitando a comparação entre a situação atual com light-shelf e com elemento horizontal (Quadros 4-35, 4-39, 4-43 e 4-47).

Vale salientar que a figura que aparece nos quadros resumos (Quadros 4-35, 4-39, 4-43 e 4-47) é resultado da classificação média entre as figuras dos 4 resultados (arranjo entre os dois horários e duas datas analisadas) e pode não representar a classificação dada em função do valor analítico médio da síntese conforme a classificação realizada no tópico 3.2.8.2 Metodologia.

Os resultados do método analítico serão avaliados para cada parâmetro (iluminância média, distribuição das zonas, uniformidade, diversidade e coeficiente de variação) em função do critério de faixas de classificação presentes nas Tabelas 4-8 a 4-12.

Atual Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	73,47 😊	1443,78 😞	0,14 😞	48,63 😞	203,10 😞
Norte-14-verão	42,86 😞	292,33 😞	0,61 😊	2,39 😊	20,04 😊
Norte-10- inverno	75,51 😊	1443,20 😞	0,19 😞	37,62 😞	194,81 😞
Norte-10- verão	67,35 😞	325,51 😞	0,65 😊	2,18 😊	19,02 😊

Quadro 4-32: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-claro

Light-shelf Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	63,27 😞	420,92 😊	0,41 😞	4,54 😞	46,87 😞
Norte-14-verão	16,33 😞	259,90 😞	0,41 😞	3,54 😞	20,77 😞
Norte-10- inverno	73,47 😊	462,69 😊	0,46 😞	3,92 😞	44,06 😞
Norte-10- verão	42,86 😞	293,63 😞	0,67 😊	2,06 😊	17,13 😊

Quadro 4-33: Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-superior-claro

Horizontal Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	42,86 😞	317,24 😞	0,45 😞	3,85 😞	38,64 😞
Norte-14-verão	0,00 😞	212,73 😞	0,66 😊	1,91 😊	16,48 😊
Norte-10- inverno	55,10 😞	347,33 😞	0,49 😞	3,40 😞	35,32 😞
Norte-10- verão	4,08 😞	244,33 😞	0,71 😊	1,73 😊	15,42 😊

Quadro 4-34: Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-superior-claro

Norte - Superior – Claro	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	64,80 😞😊	876,21 😊	0,40 😞	22,71 😞	109,24 😞
Light-shelf	48,98 😞	359,29 😞	0,49 😞	3,52 😞	32,21 😞
Horizontal	25,51 😞	280,41 😞😊	0,58 😞😊	2,72 😞😊	26,47 😞😊

Quadro 4-35: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-superior-claro

O Quadro sintetizado 4-35, construído em função dos Quadros 4-32, 4-33 e 4-34, demonstra uma diminuição representativa da área de abrangência da zona aceitável, fazendo com que o conceito “regular bom” da situação atual passe para “regular” na situação com o elemento de proteção light-shelf e para “ruim” na situação com brise horizontal. A área de abrangência na zona aceitável na situação atual corresponde a quase 65% da área da sala. Com a introdução do elemento light-shelf tem-se uma redução relativa de aproximadamente 25% na área da zona aceitável, sendo que esta última abrange menos de 50% da área da sala nesta situação. Na situação com o brise horizontal, a área da zona aceitável restringi-se para apenas 25% da área da sala, diminuindo 60% em termos relativos, se comparada com a situação atual.

Com relação a iluminância média pode-se perceber pelos valores do Quadro 4-32 que na situação atual tem-se presença de Sol nas 2 situações do inverno, onde o valor da iluminância média é superior a 1440 lux. Já na situação com light-shelf (Quadro 4-33) e elemento horizontal (Quadro 4-34) percebe-se pela grande redução dos valores da iluminância que o Sol foi barrado. Entretanto, esta obstrução do Sol acaba por reduzir o índice médio de 876 lux na situação atual para 369 lux na situação com light-shelf e para 280 lux com o elemento horizontal. O conceito sintetizado no Quadro 4-35, que representa o conceito médio das figuras de cada situação (atual, light-shelf e horizontal), passa de “bom” na situação atual para “ruim/regular inferior” na situação com light-shelf e para “ruim” na situação com elemento horizontal. Vale salientar, que como a figura sintetizada é o resultado da média das figuras de cada situação, a situação atual apresenta 876 lux com o conceito “bom”. Entretanto, analisando o Quadro 4-32, percebe-se que das 4 situações analisadas para a situação atual tem-se 2 situações com iluminância excessiva (inverno) e as outras 2 com iluminância na zona de transição inferior e na zona insuficiente, fazendo com que a média fique próxima do conceito bom.

Situações como essa evidenciam a importância de não analisar os parâmetros, sejam quantitativos ou qualitativos, somente em função de valores médios. Este exemplo demonstra a fragilidade de valores médios para se avaliar o comportamento da iluminação natural. Os valores médios devem ser utilizados com restrição tendo sua aplicabilidade vinculada a constatação prévia de que os mesmos representam fielmente o fenômeno analisado. Neste caso particular da iluminância média, constata-se que os valores médios não devem servir como referência para analisar este parâmetro.

Analisando-se os parâmetros da uniformidade, diversidade e coeficiente de variação percebe-se conceitos de desempenho iguais frente às inúmeras situações de análise. Os valores destes parâmetros demonstram na situação atual (Quadro 4-32) a presença de Sol no inverno. Nestas 2 situações do inverno, tem-se um baixo valor de uniformidade, alto valor de diversidade e do coeficiente de variação, apresentando conceito “ruim” para estes 3 parâmetros nestas 2 situações. Já nas situações do verão, percebe-se uma “boa” distribuição da iluminação natural decorrente da não penetração do Sol no interior do ambiente. Como tem-se conceito “ruim” para as 2 situações do inverno e conceito “bom” para as 2 situações do verão, o conceito médio é o “regular” para estes 3 parâmetros (Quadro 4-35) para a situação atual. Novamente, também para estes parâmetros, não pode-se analisar apenas o quadro resumo, que acaba não representando corretamente a síntese dos valores e dos conceitos. Na situação com light-shelf não constata-se a presença de Sol em nenhuma das 4 situações. Percebe-se assim, uma melhora na distribuição da iluminação, sendo que na síntese desta situação (Quadro 4-35) a uniformidade aumenta em mais de 22%, a diversidade diminui em quase 85% e o coeficiente de variação diminui em mais de 70% se comparada com a situação atual. Contudo, mantém-se a média do conceito dos 3 parâmetros em “regular”. Já com o elemento horizontal (Quadro 4-34), nota-se que a uniformidade, a diversidade e o coeficiente de variação apresentam conceito “bom” nas situações do verão e “regular” nas do inverno, evidenciando uma melhor distribuição que as outras, sendo sintetizada pelo conceito “regular/bom”. Com o elemento horizontal, a uniformidade aumenta em mais de 45%, a diversidade diminui em quase 90% e o coeficiente de variação diminui em mais de 76% se comparada com a situação atual.

Sendo assim, para estas 3 situações pode-se perceber que:

☞ A zona aceitável diminui consideravelmente sua área de abrangência da situação atual para a situação com light-shelf (redução de 23%) e com elemento horizontal (redução de 50%);

☞ Na situação atual percebe-se a incidência direta do Sol no inverno no interior da sala elevando o índice médio da iluminação nestas situações. A introdução dos brises, apresenta o aspecto positivo de barrar o Sol, entretanto o nível de iluminação médio reduz-se significativamente em todas as situações, principalmente no verão e com o elemento horizontal;

☞ O incremento dos brises melhora substancialmente os parâmetros de distribuição interna da iluminação com aumento da uniformidade e redução da diversidade e do coeficiente de variação.

Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento inferior com céu claro aparecem os Quadros 4-36 a 4-39, que apresentam, consecutivamente, a situação atual, com elemento de proteção light-shelf, com elemento horizontal e o quadro resumo.

Atual Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	71,43	3742,90	0,09	61,16	164,59
Norte-14-verão	26,53	238,67	0,31	7,50	57,89
Norte-10- inverno	61,22	3477,71	0,10	54,90	161,40
Norte-10- verão	26,53	256,14	0,38	5,98	51,77



















Quadro 4-36: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-claro

Light-shelf Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	69,39	1371,86	0,14	58,35	204,62
Norte-14-verão	12,24	167,67	0,36	6,15	54,37
Norte-10- inverno	71,43	1461,08	0,15	48,60	196,75
Norte-10- verão	12,24	180,55	0,42	5,05	46,72

Quadro 4-37: Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-inferior-claro

Horizontal Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	55,10	340,14	0,32	6,28	49,07
Norte-14-verão	0,00	122,98	0,45	4,22	37,71
Norte-10- inverno	57,14	358,67	0,38	5,09	45,32
Norte-10- verão	0,00	129,98	0,53	2,97	29,01

Quadro 4-38: Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-inferior-claro

Norte - Inferior – Claro	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	46,43 	1928,86 	0,22 	32,39 	108,91 
Light-shelf	41,33 	795,29 	0,27 	29,54 	125,62 
Horizontal	28,06  	237,94 	0,42  	4,64 	40,28  

Quadro 4-39: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-inferior-claro

Analisando os Quadros 4-36 a 4-38, percebe-se uma diferenciação de comportamento no inverno e no verão entre todos os parâmetros analisados. Como no inverno o Sol está com ângulo de altura mais baixo, temos uma maior contribuição de iluminação que no verão. O parâmetro da zona aceitável evidencia esta performance completamente oposta nas 3 situações, onde tem-se a área de abrangência da zona aceitável extremamente maior no inverno que no verão.

Atráves do quadro resumo (Quadro 4-39), representando a síntese da zona aceitável para as situações estudadas, observa-se uma pequena redução na área da zona aceitável da situação atual para a situação com o elemento light-shelf (redução de 11%). Esta pequena redução não altera o conceito médio dado pela figura, sendo que nas 2 situações tem-se a classificação “regular”. Já com o brise horizontal esta redução é significativa, girando em torno de 40% e agravando o conceito para “ruim/regular”.

Assim como na sala do pavimento superior, o valor médio (Quadro 4-39) das 4 situações para o parâmetro da iluminância média não pode ser utilizado como critério de análise, uma vez que nas situações do inverno tem-se iluminância excessiva e nas do verão, insuficiente, caracterizando o conceito do valor médio das figuras como “bom”. Conceito este que não caracteriza nenhuma das condições estudadas na situação atual e com light-shelf.

Pelos Quadros 4-36 a 4-38, pode-se notar que há incidência direta dos raios solares somente no inverno para a situação atual e com light-shelf, ao contrário da sala do pavimento superior, em que tinha-se penetração do Sol apenas na situação atual. Como a sala do térreo apresenta maior vão de abertura, maior peitoril e menor obstrução que a sala do pavimento superior, no térreo houve incidência direta dos raios solares no inverno (menor ângulo de altura do Sol) mesmo com a presença do elemento light-shelf.

Embora a situação com light-shelf apresente valores de iluminância média quase 3 vezes inferior a situação atual, nas 2 situações tem-se excesso de iluminância média no inverno e insuficiência no verão. Já a situação com elemento horizontal apresenta iluminância média quase 10 vezes menor que a situação atual no inverno. Esta redução extrema é resultado da não penetração do Sol em nenhuma das 4 situações com elemento de proteção horizontal. Analisando somente o período do verão, pelos Quadros 4-36 a 4-38, vê-se uma redução média de 30% da situação atual para a com light-shelf e de quase 50% da situação atual para a com brise horizontal.

A diferenciação entre o inverno e o verão também é sentida nos demais parâmetros de análise quanto à distribuição. No inverno, onde tem-se maior valor de iluminância e de zona aceitável, tem-se piores índices relativos a uniformidade, diversidade e coeficiente de variação (Quadros 4-36 a 4-38). Examinando o quadro síntese (Quadro 4-39) constata-se que há uma melhora na uniformidade em aproximadamente 23% com a inserção do light-shelf e de 91% com o brise horizontal. Utilizando o parâmetro da diversidade, constata-se uma melhora em torno de 9% com

light-shelf e 86% com o elemento horizontal, em relação a situação atual. Já o critério do coeficiente de variação apresenta comportamento diferenciado dos outros dois em relação a situação com light-shelf. Enquanto que, nos outros dois critérios para a situação com light-shelf houve melhoria na distribuição da iluminação com o aumento da uniformidade e retração da diversidade, neste há um agravamento da distribuição causado pela ampliação em 15% do coeficiente de variação. Este comportamento é resultado da diferenciação na base de cálculo de cada parâmetro. Com a presença do brise horizontal tem-se uma redução de 63% no coeficiente de variação em relação a situação atual, evidenciando uma distribuição extremamente melhor na situação com o elemento de proteção horizontal.

A classificação através das figuras presentes no Quadro 4-39, evidencia que o conceito médio para a uniformidade, diversidade e coeficiente de variação não sofre variação entre a situação atual e com light-shelf, mantendo-se “ruim”. Já com a inserção do elemento horizontal, para o parâmetro da uniformidade e do coeficiente de variação tem-se uma melhora de conceito em relação a situação atual passando para “ruim/regular”. Esta melhora é mais significativa no parâmetro da diversidade que passa a ter conceito médio “regular”.

Destas 3 situações da sala do térreo pode-se constatar:

☞ Com a presença do brise light-shelf tem-se uma pequena redução na área de abrangência da zona aceitável em relação a situação atual (redução de 11%). Já, para a situação com elemento horizontal de proteção esta redução amplia-se para 40%;





















☞ Na situação atual percebe-se a incidência direta do Sol no inverno. Mesmo com a inserção do elemento de obstrução light-shelf continua havendo esta penetração do Sol, diferentemente da sala do pavimento superior. Este comportamento diferenciado é resultado das diferenças físicas (vão de abertura, altura do peitoril e grau de obstrução) entre a sala superior e inferior. A penetração solar acaba por elevar o índice médio da iluminação nestas 2 situações. Com a presença do elemento horizontal exclui-se o Sol do interior da sala, mas o nível de iluminação médio reduz-se significativamente em todas as situações, principalmente no verão;

☞ A situação atual e com light-shelf apresentam comportamentos semelhantes quanto aos parâmetros de distribuição interna da iluminação com conceito médio “ruim” nos 3 parâmetros de análise (uniformidade, diversidade e coeficiente de variação). Já a situação com o elemento horizontal, é a que apresenta melhor distribuição interna da iluminação com maior uniformidade, menor diversidade e menor coeficiente de variação.





















Agora para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento superior com céu encoberto aparecem os Quadros 4-40 a 4-43, que apresentam, consecutivamente, a situação atual, com elemento de proteção light-shelf, com elemento horizontal e o quadro resumo.

Atual Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	0,00	138,20	0,46	3,86	36,76
Norte-14-verão	16,33	226,71	0,45	3,96	37,19
Norte-10- inverno	0,00	137,27	0,45	3,90	36,84
Norte-10- verão	18,37	229,24	0,44	3,97	37,26
















Quadro 4-40: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-encoberto

Light-shelf Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	0,00 	120,69 	0,43 	4,06 	39,36 
Norte-14-verão	12,24 	195,45 	0,43 	4,13 	40,04 
Norte-10- inverno	0,00 	119,31 	0,44 	4,02 	39,05 
Norte-10- verão	12,24 	197,76 	0,42 	4,18 	40,17 

Quadro 4-41: Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-superior-encoberto

Horizontal Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	0,00 	84,00 	0,56 	2,34 	22,39 
Norte-14-verão	0,00 	136,06 	0,57 	2,31 	22,41 
Norte-10- inverno	0,00 	83,12 	0,57 	2,32 	22,46 
Norte-10- verão	0,00 	137,59 	0,57 	2,32 	22,43 

Quadro 4-42: Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-superior-encoberto

Norte – Superior - Encoberto	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	8,68 	182,86 	0,45 	3,92 	37,01 
Light-shelf	6,12 	158,30 	0,43 	4,10 	39,66 
Horizontal	0,00 	110,19 	0,57 	2,32 	22,42 

Quadro 4-43: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-superior-encoberto

Observando os Quadros 4-40 a 4-43 agora com céu encoberto, nota-se comportamento diferenciado do inverno e verão se comparados com a situação com céu claro. Nestas condições com céu encoberto ocorre o inverso do céu claro, onde os maiores valores de iluminância média e maior área de abrangência da zona aceitável aparecem no verão. Em virtude dos baixos índices de iluminação, os parâmetros de análise da distribuição apresentam-se muito semelhantes entre o inverno e o verão, ao contrário do que aconteceu nas situações com céu claro.

Analisando os Quadros 4-40, 4-41 e 4-42 e principalmente o Quadro 4-43 que sintetiza as 4 condições para cada situação, percebe-se a pequena área de abrangência da zona aceitável nas 3 situações, sendo que na totalidade das 12 situações simuladas tem-se conceito “ruim”. Na situação atual tem-se menos de 9% de área da zona aceitável. Este índice torna-se pior ainda com a presença dos elementos de proteção. Com a inserção do light-shelf tem-se redução de 30% neste índice ficando somente 6% da área da sala na zona aceitável. Já com o elemento horizontal a área da zona aceitável é exterminada (redução de 100%).

Os valores da iluminância média também demonstram a péssima contribuição da iluminação natural frente às condições impostas. Novamente temos conceito “ruim” para as 12 situações analisadas. Como neste caso não há presença de valores extremados ocasionados pela presença de Sol, pode-se utilizar a média dos valores de iluminância média presentes no Quadro 4-43 como parâmetro de comparação. A síntese da iluminância média é de apenas 183 lux na situação atual. O nível médio agrava-se ainda mais com a presença dos elementos de proteção.

Com light-shelf ocorre uma redução de 13% no nível médio de iluminância, passando para 158 lux. Já na situação com o elemento horizontal, esta redução é de 40%, ficando o nível médio com apenas 110 lux.

Utilizando os critérios da uniformidade, diversidade e coeficiente de variação, percebe-se semelhança na situação atual e com light-shelf. Já os valores com o elemento horizontal (Quadro 4-42), apresentam sensível melhora no comportamento da sua distribuição se comparados com as 2 situações anteriores (Quadro 4-40 e 4-41).

A uniformidade apresentou conceito médio “regular” nas 3 situações (Quadro 4-43), tendo pequena piora de performance com a inserção da light-shelf. Com o elemento horizontal, há uma melhora significativa, aproximando-se muito do conceito “bom”. Analisando o critério da diversidade, nota-se pelo Quadro 4-43, que a situação atual e com light-shelf apresentam-se com conceito “regular”. Já a situação com brise horizontal, tem desempenho considerado “bom”. O critério do coeficiente de variação apresenta comportamento semelhante ao critério da diversidade. Pela síntese percebe-se pequeno agravamento no coeficiente de variação da situação atual para a situação com light-shelf. Com a presença do elemento horizontal, tem-se menor índice do coeficiente de variação, quase alcançando a classificação “bom”.





















Resumindo esta situação tem-se:

☞ Pequena área de abrangência da zona aceitável nas 3 situações. Na situação atual apenas 9% da área é zona aceitável, reduzindo-se para 6% com o elemento light-shelf (redução de 30%). Na situação com elemento horizontal, a zona aceitável desaparece. Nas 3 situações aparece o conceito “ruim”.

☞ Todas situações apresentam conceito “ruim” para o índice médio da iluminação. O índice médio de iluminação que já era baixo na situação atual (183 lux) apresenta redução de 13% com a presença do light-shelf (158 lux) e redução de 40% com o elemento horizontal (110 lux). Nesta condição de céu encoberto, os brises prejudicam em muito o comportamento quanto a área da zona aceitável e o nível médio da iluminação.

☞ A aplicação do elemento light-shelf apresentou pequeno agravamento do índice da uniformidade, da diversidade e do coeficiente de variação. Entretanto, todos tiveram conceito médio “regular”. Já o elemento horizontal, melhorou o comportamento da distribuição interna mantendo o conceito médio “regular” para a uniformidade e para o coeficiente de variação, melhorando para “bom” o conceito referente a diversidade.

Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento inferior com céu encoberto aparecem os Quadros 4-44 a 4-47, que apresentam, consecutivamente, a situação atual, com elemento de proteção light-shelf, com elemento horizontal e o quadro resumo.

Atual Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	2,04 	131,31 	0,35 	6,67 	56,74 
Norte-14-verão	24,49 	215,35 	0,33 	7,00 	57,18 
Norte-10- inverno	2,04 	130,10 	0,35 	6,61 	56,65 
Norte-10- verão	24,49 	217,61 	0,34 	6,86 	57,10 

Quadro 4-44: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-encoberto

Light-shelf Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	0,00	88,18	0,43	4,92	48,13
Norte-14-verão	2,04	141,12	0,42	5,17	50,07
Norte-10- inverno	0,00	87,35	0,42	5,03	48,13
Norte-10- verão	4,08	142,37	0,43	5,03	49,92

Quadro 4-45: Parâmetros de desempenho para a situação Light-shelf-inferior-encoberto

Horizontal Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Norte-14-inverno	0,00	51,27	0,59	2,47	26,86
Norte-14-verão	0,00	83,84	0,57	2,56	27,39
Norte-10- inverno	0,00	50,88	0,59	2,40	26,92
Norte-10- verão	0,00	85,06	0,56	2,63	27,11

Quadro 4-46: Parâmetros de desempenho para a situação Horizontal-inferior-encoberto

Norte - Inferior – Encoberto	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	13,27	173,59	0,34	6,79	56,92
Light-shelf	1,53	114,76	0,43	5,04	49,06
Horizontal	0,00	67,76	0,58	2,52	27,07

Quadro 4-47: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Norte-inferior-encoberto

Através dos Quadros 4-44, 4-45 e a 4-46, percebe-se que o maior valor de iluminância média e a maior área de abrangência da zona aceitável estão no período do verão. No inverno e no verão, os valores dos parâmetros de análise da distribuição apresentam-se análogos. Entretanto, comparando os dados desta sala do pavimento inferior com a do superior, percebe-se nesta um pior comportamento frente aos parâmetros da uniformidade, da diversidade e do coeficiente de variação em relação àquela.

Os Quadros 4-44, 4-45 e a 4-46 demonstram que em todas as situações analisadas tem-se pequena área de abrangência da zona aceitável, sendo que em todas estas aparece a classificação “ruim” para este parâmetro de análise. Pela síntese do Quadro 4-47, percebe-se que na situação atual tem-se 13% de área da zona aceitável. Com a presença do elemento light-shelf, há uma redução de quase 90% neste índice, ficando menos de 2% da área da sala na zona aceitável. Introduzindo o elemento horizontal tem-se o desaparecimento da área de zona aceitável.

O parâmetro da iluminância média também apresenta conceito “ruim” para todas as situações analisadas (Quadros 4-44, 4-45 e a 4-46). Observando Quadro 4-47, pode-se perceber que a média dos valores da iluminância são ainda mais baixos que na sala do andar superior. Para a situação atual tem-se a média do nível de iluminância médio em 174 lux. Este nível diminui em 34% com a presença do elemento light-shelf, ficando com 115 lux. Esta redução é ainda maior (61%) com a presença do elemento de proteção horizontal, reduzindo para 68 lux a média do nível de iluminação.

Empregando o critério da uniformidade, nota-se uma melhora significativa da situação atual para as situações com os brises (Quadro 4-47). A situação atual apresenta conceito médio da figura “ruim”, enquanto a situação com light-shelf e com o brise horizontal, apresentam conceito médio “regular”.

Analisando o parâmetro da diversidade (Quadro 4-47), percebe-se pouca melhora do índice com a presença do light-shelf em relação à situação atual. Nestas 2 situações aparece o conceito médio “ruim”. Já na situação com o elemento horizontal, há uma redução substancial do valor médio da diversidade, melhorando representativamente este índice que alcança o conceito “bom”.

Para o coeficiente de variação, o comportamento é semelhante ao da diversidade. O conceito médio “ruim” aparece na situação atual e com light-shelf, enquanto que com o brise horizontal prevalece o conceito médio “regular”.

Destas 3 situações da sala do térreo pode-se constatar:

☞ Pequena área de abrangência da zona aceitável. Na situação atual ela aparece em 13% da área. Com o elemento light-shelf há uma redução para menos de 2% da área da sala (redução relativa de 90%), enquanto que com o brise horizontal, a zona aceitável desaparece. O conceito “ruim” predomina nas 3 situações.

☞ O índice médio de iluminação reduz-se de 174 lux para 115 lux (redução de 34%) na situação com light-shelf e para 68 lux (redução de 61%) com o elemento horizontal. Estes valores baixíssimos de iluminação se refletem na presença do conceito “ruim” para as 3 situações.

☞ A aplicação do elemento light-shelf melhorou apenas o conceito médio da uniformidade em relação à situação atual, passando de “ruim” para regular. Já a situação com o elemento de proteção horizontal comparada com a situação atual, fez com que o conceito da uniformidade e do coeficiente de variação passasse de “ruim” para “regular”. Com relação à diversidade, o conceito “ruim” da situação atual dá lugar ao conceito “bom” com a presença do elemento horizontal.





















4.3.2.2 Orientação Leste

Na continuidade da análise são apresentados os Quadros 4-48 a 4-63 com os respectivos valores dos parâmetros de avaliação para as diferentes situações referentes agora à orientação Leste.





















Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento superior com céu claro aparecem os Quadros 4-48 a 4-51, que apresentam consecutivamente a situação atual, com elemento de proteção vertical, com elemento inclinado e o quadro resumo.

Atual Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	65,31	316,73	0,69	1,81	15,90
Leste-14-verão	75,51	344,06	0,70	1,74	15,76
Leste-10- inverno	44,90	1196,10	0,12	67,30	221,37
Leste-10- verão	63,27	369,02	0,49	3,63	36,62
















Quadro 4-48: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-claro

Vertical Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	44,90 	279,20 	0,68 	1,81 	16,41 
Leste-14-verão	59,18 	303,80 	0,62 	2,10 	18,90 
Leste-10- inverno	44,90 	313,22 	0,41 	4,57 	41,12 
Leste-10- verão	22,45 	260,96 	0,57 	2,80 	26,12 

Quadro 4-49: Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-superior-claro

Inclinado Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	30,61 	266,06 	0,68 	1,84 	17,23 
Leste-14-verão	36,73 	288,80 	0,62 	2,16 	20,20 
Leste-10- inverno	40,82 	289,69 	0,46 	4,14 	39,12 
Leste-10- verão	14,29 	243,18 	0,56 	2,95 	26,26 

Quadro 4-50: Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-superior-claro

Leste - Superior – Claro	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	62,25 	556,48 	0,5 	18,62 	72,41 
Vertical	42,86 	289,30 	0,57 	2,82 	25,64 
Inclinado	30,61 	271,93 	0,58 	2,77 	25,70 

Quadro 4-51: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-superior-claro

Observando a síntese das 4 condições estudadas para as 3 situações (Quadro 4-51), constata-se uma diminuição representativa da área de abrangência da zona aceitável, fazendo com que o conceito “regular” da situação atual regrida para “ruim” nas situações com o elemento de proteção vertical e com o elemento inclinado. A área de abrangência da zona aceitável na situação atual passa de 62% da área da sala para 43% com o elemento vertical (redução relativa de 31%). Com o brise inclinado, a zona aceitável reduz-se para 31% (diminuição de 51% em relação a situação atual).

Examinando o parâmetro da iluminância média pode-se notar através dos Quadros 4-48 a 4-50, a presença do Sol somente na situação atual no horário das 10h00min no inverno. Esta situação foi a única em que teve-se excesso de iluminância média, sendo classificada pelo conceito da figura “ruim”. O excesso da iluminância média nesta situação, conjugada com a presença da zona de transição inferior das situações das 14h00min no inverno e no verão juntamente com a classificação adequada da situação das 10h00min no verão, fez com que a situação atual apresentasse conceito médio “bom” na situação atual.

Para a situação com o elemento vertical observa-se uma diminuição do nível de iluminância média nas 4 condições analisadas. Desta forma, o conceito médio para iluminância média definido para esta situação é “ruim/regular inferior”. Para as 4 situações analisadas com o elemento inclinado, nota-se valores com iluminância insuficiente, tendo como média o conceito “ruim”.

Quanto à distribuição da iluminação pode-se perceber pelo Quadro 4-51 somente a presença de figuras com conceito “regular” ou “bom” demonstrando um comportamento satisfatório da distribuição nestas condições de análise, principalmente após a inclusão dos brises. É interessante observar pelos Quadros 4-48 a 4-50, o comportamento diferenciado em relação aos parâmetros de distribuição entre as situações com horário das 14h00min e das 10h00min. Vale salientar que por tratar-se da orientação Leste, somente no horário das 10h00min terá Sol no plano da fachada da abertura principal. Entretanto, das 6 situações para o horário das 14h00min tem-se 17 classificações “bom”, das 18 possíveis, envolvendo os parâmetros uniformidade, diversidade e coeficiente de variação. Já para o horário das 10h00min tem-se apenas a ocorrência de 2 classificações “bom”. Esta melhor distribuição no horário das 14h00min é resultado da contribuição da iluminação natural por parte da abertura superior secundária na fachada oposta à abertura principal (fachada Oeste). Apesar desta abertura secundária apresentar área bem inferior à abertura principal, o fato dela estar voltada para a parcela da abóbada mais brilhante do céu no horário das 14h00min garante importante papel no comportamento interno da distribuição da iluminação, caracterizando a performance de um sistema bilateral de iluminação.

Através da síntese do Quadro 4-51 observa-se que o parâmetro da uniformidade melhora seu comportamento com a inserção dos brises, passando do conceito “regular” da situação atual para “regular/bom” nas situações com elemento vertical e inclinado. Quanto à diversidade observa-se uma melhora significativa deste parâmetro com a presença dos elementos de proteção. A situação atual caracteriza-se pelo conceito “regular” enquanto a situação com elemento vertical e inclinado apresenta conceito “bom”. O coeficiente de variação também apresenta melhora na sua performance após a presença dos brises. Mas, em razão do critério adotado das figuras levar em consideração a média dos conceitos, passou-se do conceito “regular” da situação atual para o conceito “regular/bom” na situação com elemento vertical e manteve-se o conceito “regular” na situação com brise inclinado.

Sendo assim, para estas 3 situações pode-se perceber que:

☞ A zona aceitável diminui consideravelmente sua área de abrangência da situação atual para a situação com elemento de obstrução vertical (redução de 31%) e com elemento inclinado (redução de 51%). O conceito “regular” da situação atual transforma-se em “ruim” para as 2 situações com elementos de obstrução;

☞ Na situação atual percebe-se a incidência direta do Sol no inverno às 10h00min elevando o índice médio da iluminação nestas situações. A introdução dos brises, apresenta o aspecto positivo de barrar o Sol, entretanto o nível de iluminação médio reduz-se significativamente em todas as situações, principalmente com o brise inclinado;

☞ É nítida a melhor performance da distribuição no horário das 14h00min comparado com às 10h00min. Os aspectos da geometria solar conjugados com os aspectos físicos da sala acabam ampliando a contribuição da abertura secundária superior. Isto acarreta na melhoria da distribuição da iluminação interna em razão do funcionamento efetivo do sistema bilateral de iluminação.

☞ O incremento dos brises melhora substancialmente os parâmetros de distribuição interna da iluminação com aumento da uniformidade e redução da diversidade e do coeficiente de variação. A diversidade é o parâmetro que melhora mais com a introdução dos brises, passando do conceito médio “regular” na situação atual para “bom” nas situações com os brises.

Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento inferior com céu claro aparecem os Quadros 4-52 a 4-55.

Atual inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	10,20	149,02	0,30	7,60	55,48
Leste-14-verão	10,20	155,20	0,36	6,39	55,59
Leste-10- inverno	51,02	923,10	0,13	95,96	245,09
Leste-10- verão	42,86	3241,12	0,04	166,54	216,08

Quadro 4-52: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-claro

Vertical inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00	100,41	0,44	4,50	46,35
Leste-14-verão	0,00	101,65	0,42	4,77	48,13
Leste-10- inverno	55,10	376,86	0,28	8,66	59,95
Leste-10- verão	28,57	1837,71	0,05	129,23	209,87

Quadro 4-53: Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-inferior-claro

Inclinado inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00	83,76	0,45	4,92	50,14
Leste-14-verão	0,00	80,55	0,40	5,94	51,94
Leste-10- inverno	55,10	409,10	0,30	7,96	58,32
Leste-10- verão	38,78	1194,88	0,08	102,05	225,67

Quadro 4-54: Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-inferior-claro

Leste - Inferior – Claro	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	28,57	1117,11	0,21	69,12	143,06
Vertical	20,92	604,16	0,30	36,79	91,08
Inclinado	23,47	442,07	0,31	30,22	96,52

Quadro 4-55: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-inferior-claro

Comparando os valores dos parâmetros desta sala com a do estudo anterior (pavimento superior) percebe-se nesta um comportamento pior da penetração da iluminação natural, principalmente com relação à distribuição. Este comportamento inferior é fruto das configurações físicas desta sala do térreo para esta orientação, sobretudo em razão da sala do térreo apresentar somente abertura em uma lateral.

Analisando os Quadros 4-52, 4-53 e 4-54 com relação à área de abrangência da zona aceitável percebe-se que das 12 situações, apenas 3 não estão classificadas como “ruim”. Estas 3 situações classificadas como “regular”

referem-se ao horário das 10h00min no inverno para a situação atual, com brise vertical e com brise inclinado. Em razão desta sala não apresentar abertura secundária superior, constata-se o baixo índice percentual da zona aceitável para as situações do horário das 14h00min.

Observando a síntese do Quadro 4-55, nota-se o baixo percentual médio da zona aceitável nas 3 situações sendo todas classificadas pelo conceito médio “ruim”. Para a condição atual tem-se menos de 29% de área de abrangência da zona aceitável, diminuindo para 21% para a situação com elemento vertical (redução de 27%) e para 23% com elemento inclinado (redução de 18%).

Com relação ao parâmetro da iluminância média, vê-se nos Quadros 4-52, 4-53 e 4-54 um índice bastante variável. Em algumas situações, principalmente no horário das 10h00min no verão, depara-se com a incidência direta do Sol no interior da sala, elevando substancialmente o índice. Entretanto, nas outras situações onde não acontece a penetração do Sol no interior da sala, este índice é extremamente reduzido. Como o índice médio faz a média destas situações, a classificação que aparece está relacionada com o conceito “bom”, o que de fato não acontece. Sendo assim, os valores e conceitos do Quadro 4-55 para a iluminância média não deve ser considerado em sua totalidade. Analisando, cada situação individualmente, nota-se que na situação atual tem-se 2 condições (às 10h00min no inverno e no verão) em que ocorre a penetração direta do Sol, provocando índices altos de iluminância média. Nas outras 2 condições restantes tem-se valores baixos de iluminância média. Já na situação com elemento vertical e inclinado, esta incidência direta do Sol só ocorre às 10h00min no verão, ficando 3 situações com baixíssimos valores de iluminância média.

Analisando os parâmetros da distribuição constata-se a má distribuição da iluminação interna provocada pelo sistema de iluminação empregado em conjunto com a penetração do Sol em alguns trechos da sala. A situação atual apresenta os piores valores com relação aos parâmetros da uniformidade, diversidade e coeficiente de variação. Pelos Quadros 4-52, 4-53 e 4-54 observa-se que para as 4 condições da situação atual relacionadas com estes 3 parâmetros, obteve-se conceito “ruim” em todos os arranjos. O coeficiente de variação chega a superar 245% às 10h00min no inverno para a situação atual. O quadro síntese (Quadro 4-55) mostra o conceito médio “ruim” para os 3 parâmetros.

Na situação com o brise vertical esta distribuição tem relativa melhora, principalmente nos parâmetros da uniformidade e da diversidade. O conceito médio “ruim” da situação atual, para estes 2 parâmetros, passa para “ruim/regular”. Ainda relacionado com estes 2 parâmetros, na situação com elemento inclinado, o conceito médio da uniformidade também passa para “ruim/regular”, enquanto que o conceito médio da diversidade mantém-se “ruim” como na situação atual. Em relação ao coeficiente de variação, tanto na situação com brise vertical como na com brise inclinado, tem-se somente conceito “ruim”.





















Destas 3 situações da sala do térreo pode-se constatar:

☞ Pequena área de abrangência da zona aceitável não chegando a 30% em nenhuma das 3 situações, tendo conceito médio “ruim” em todas elas. Com o incremento do brise inclinado tem-se uma redução da zona aceitável em relação à situação atual (redução relativa de 18%). Já, para a situação com elemento vertical de proteção esta redução amplia-se para 27%;





















☞ Nas 3 situações percebe-se a incidência direta do Sol às 10h00min no verão, elevando bastante o índice de iluminância médio. Entretanto, nas situações onde não ocorre a presença do Sol (horário das 14h00min), o nível de médio é baixíssimo. Sendo assim, tem-se valores muito altos e muito baixos de iluminância média, dependendo da condição analisada.

☞ A configuração física da sala do térreo, com sistema unilateral de iluminação, apresenta distribuição pior que a sala do pavimento superior para as mesmas condições de análise. Na situação atual tem-se conceito médio “ruim” para a uniformidade, diversidade e coeficiente de variação. Com a inserção dos brises, a distribuição apresenta ligeira melhora. Com o elemento inclinado o conceito médio da uniformidade passa para “ruim/regular” mantendo-se “ruim” para a diversidade. Já na situação com brise vertical o conceito melhora para “ruim/regular” tanto na uniformidade quanto na diversidade. O coeficiente de variação apresentou conceito “ruim” nas 3 situações.





















Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento superior com céu encoberto aparecem os Quadros 4-56 a 4-58, que apresentam consecutivamente a situação atual, com elemento de proteção vertical e com elemento inclinado.

Atual Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00 	138,04 	0,46 	3,86 	36,67 
Leste-14-verão	16,33 	226,45 	0,45 	3,99 	37,34 
Leste-10- inverno	0,00 	138,04 	0,46 	3,86 	36,67 
Leste-10- verão	18,37 	229,55 	0,44 	4,02 	37,50 
















Quadro 4-56: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-superior-encoberto

Vertical Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00 	103,08 	0,49 	3,26 	30,63 
Leste-14-verão	0,00 	168,41 	0,48 	3,32 	30,96 
Leste-10- inverno	0,00 	101,94 	0,49 	3,28 	30,64 
Leste-10- verão	0,00 	171,00 	0,48 	3,33 	30,94 

Quadro 4-57: Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-superior-encoberto

Inclinado Superior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00 	87,76 	0,46 	3,63 	31,27 
Leste-14-verão	0,00 	144,04 	0,47 	3,51 	31,55 
Leste-10- inverno	0,00 	87,57 	0,48 	3,45 	31,39 
Leste-10- verão	0,00 	145,47 	0,47 	3,51 	31,68 

Quadro 4-58: Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-superior-encoberto

Leste - Superior – Encoberto	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	17,35 	183,02 	0,45 	3,93 	37,05 
Vertical	0,00 	136,11 	0,49 	3,30 	30,79 
Inclinado	0,00 	116,21 	0,47 	3,53 	31,47 

Quadro 4-59: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-superior-encoberto

Observando os Quadros 4-56, 4-57 e 4-58, agora com céu encoberto, observa-se comportamento diferenciado entre o inverno e o verão. Nestas condições com céu encoberto tem-se maiores valores de iluminância média e maior área de abrangência da zona aceitável no verão. Em virtude dos baixos índices de iluminação, os parâmetros de análise da distribuição apresentam-se muito semelhantes entre todas as situações analisadas.

Examinando os Quadros 4-56, 4-57 e 4-58, percebe-se que somente na situação atual e no verão existe a presença da zona aceitável. Através da síntese do Quadro 4-59, constata-se que a média da área de abrangência da zona aceitável não chega a 9% da área da sala na situação atual, recebendo conceito “ruim” para este parâmetro. Com a presença dos elementos de obstrução vertical e inclinado, esta ínfima área de zona aceitável é exterminada.

Os valores da iluminância média também demonstram a péssima contribuição da iluminação natural frente às condições impostas. O conceito “ruim” aparece nas 12 situações analisadas. A síntese da iluminância média é de apenas 183 lux na situação atual. O nível médio agrava-se ainda mais com a presença dos elementos de proteção. Com o brise vertical ocorre uma redução de 26% no nível médio de iluminância passando para 136 lux. Já na situação com o elemento inclinado esta redução é de 37%, ficando a média da iluminância média com apenas 116 lux.

Utilizando os critérios da uniformidade, diversidade e coeficiente de variação, percebe-se semelhança de comportamento entre as 3 situações. Entretanto, a amplitude dos valores é muito menor nas 2 situações com brises (Quadros 4-56, 4-57 e 4-58).

Tanto a uniformidade quanto a diversidade e o coeficiente de variação apresentaram conceito “regular” em todas as situações. Analisando a síntese realizada no Quadro 4-59, constata-se uma pequena melhora na distribuição após a inserção dos elementos de proteção. A situação com o elemento vertical foi a que apresentou melhor performance, tendo maior índice de uniformidade, menor diversidade e menor coeficiente de variação. Entretanto, em todas as situações (atual, vertical e inclinado) prevalece o conceito médio “regular” para uniformidade, diversidade e coeficiente de variação.

Resumindo esta situação tem-se:

- ☞ Ínfima área de abrangência da zona aceitável na situação atual (apenas 9% da área da sala). O desempenho agrava-se ainda mais com a presença dos brises, onde a área da zona aceitável é exterminada. Conceito “ruim” para as 3 situações com relação ao parâmetro zona aceitável.

- ☞ Todas situações apresentam conceito “ruim” para a iluminância média. O índice médio de iluminação que já era baixo na situação atual (183 lux) apresenta redução de 26% com a presença do elemento vertical (136 lux) e redução de 37% com o brise inclinado (116 lux).

Embora as situações com o elemento inclinado e, sobretudo, com o vertical, apresentaram melhora de desempenho em relação à situação atual, em todas as situações prevaleceu o conceito “regular” para avaliação da uniformidade, da diversidade e do coeficiente de variação.

Para avaliar o comportamento frente aos parâmetros de análise para a condição do pavimento inferior com céu encoberto aparecem os Quadros 4-60 a 4-63.

Atual Inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	2,04 ☹️	130,94 ☹️	0,35 ☹️	6,65 ☹️	57,00 ☹️
Leste-14-verão	24,49 ☹️	215,84 ☹️	0,34 ☹️	6,90 ☹️	57,10 ☹️
Leste-10- inverno	2,04 ☹️	130,16 ☹️	0,35 ☹️	6,61 ☹️	56,59 ☹️
Leste-10- verão	24,49 ☹️	218,27 ☹️	0,34 ☹️	6,88 ☹️	56,99 ☹️

Quadro 4-60: Parâmetros de desempenho para a situação Atual-inferior-encoberto

Vertical inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00 ☹️	83,82 ☹️	0,42 😊	4,94 😊	49,91 ☹️
Leste-14-verão	0,00 ☹️	137,04 ☹️	0,40 😊	5,27 ☹️	51,48 ☹️
Leste-10- inverno	0,00 ☹️	82,51 ☹️	0,41 😊	5,09 ☹️	49,85 ☹️
Leste-10- verão	0,00 ☹️	138,04 ☹️	0,41 😊	5,09 ☹️	50,97 ☹️

Quadro 4-61: Parâmetros de desempenho para a situação Vertical-inferior-encoberto

Inclinado inferior	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Leste-14-inverno	0,00 ☹️	65,61 ☹️	0,40 😊	6,12 ☹️	55,05 ☹️
Leste-14-verão	0,00 ☹️	107,47 ☹️	0,38 ☹️	6,41 ☹️	56,29 ☹️
Leste-10- inverno	0,00 ☹️	65,27 ☹️	0,38 ☹️	6,28 ☹️	54,63 ☹️
Leste-10- verão	0,00 ☹️	108,76 ☹️	0,40 😊	6,23 ☹️	56,34 ☹️

Quadro 4-62: Parâmetros de desempenho para a situação Inclinado-inferior-encoberto

Leste - Inferior – Encoberto	ZONA ACEITÁVEL (%)	ILUMINÂNCIA MÉDIA (lux)	UNIFORMIDADE	DIVERSIDADE	COEFICIENTE VARIAÇÃO
Atual	13,27 ☹️	173,80 ☹️	0,35 ☹️	6,76 ☹️	56,92 ☹️
Vertical	0,00 ☹️	110,35 ☹️	0,41 😊	5,10 ☹️	50,55 ☹️
Inclinado	0,00 ☹️	86,78 ☹️	0,39 😊	6,26 ☹️	55,58 ☹️

Quadro 4-63: Quadro resumo dos parâmetros para as 3 situações na condição Leste-inferior-encoberto

Através dos Quadros 4-60, 4-61 e 4-62, constata-se comportamento semelhante às mesmas condições para a orientação Norte. Nesta sala do térreo, também percebe-se que o maior valor de iluminância média e a maior área de abrangência da zona aceitável estão no período do verão. Quanto aos critérios para analisar a distribuição, não há comportamento diferenciado entre o inverno e o verão. Entretanto, comparando os dados desta sala do pavimento inferior com a do superior, percebe-se nesta uma variação maior da uniformidade, da diversidade e do coeficiente de variação em relação àquela.

Os Quadros 4-60, 4-61 e 4-62 demonstram que em todas as situações analisadas temos pequena área de abrangência da zona aceitável, sendo que em todas as 12 situações analisadas tem-se classificação “ruim” para o critério da zona aceitável. Pela síntese do Quadro 4-63, percebe-se que na situação atual tem-se apenas 13% de área da zona aceitável. Com a presença do elemento vertical e do elemento inclinado, ocorre um agravamento da performance com o desaparecimento desta zona.

O parâmetro da iluminância média também apresenta conceito “ruim” para as 12 situações analisadas (Quadro 4-60, 4-61 e 4-62). Pela observação do Quadro 4-63, que sintetiza as informações, pode-se perceber que a média dos valores da iluminância são ainda mais baixos do que na sala do andar superior. Para a situação atual tem-se a média do nível de iluminância médio em 174 lux. Este nível diminui em 37% com a presença do elemento vertical, ficando com 110 lux. Esta redução é ainda maior (50%) com a presença do elemento de proteção inclinado, reduzindo para 87 lux a média da iluminância média.

Empregando o critério da uniformidade, nota-se uma pequena melhora nas situações com os brises (Quadro 4-60, 4-61, 4-62 e 4-63). A situação atual apresenta conceito médio da figura “ruim”. Com a inserção do brise vertical, o índice da uniformidade eleva-se alcançando o conceito médio “regular”. Na situação com brise inclinado, a melhora não é tão significativa embora tenha-se alcançado o conceito médio “ruim/regular”.

Quanto ao critério da diversidade e do coeficiente de variação também percebe-se melhor desempenho com a introdução dos elementos de proteção em relação à situação atual, sobretudo com o brise vertical. Entretanto, esta melhor performance não é capaz de superar o conceito médio “ruim” da situação atual, ficando assim, as 3 situações com conceito médio “ruim” para o parâmetro da diversidade e do coeficiente de variação.

Resumindo esta situação tem-se:

- ☞ Pequena área de abrangência da zona aceitável na situação atual (apenas 13%) Na situação com elemento vertical e com elemento inclinado, a zona aceitável desaparece. Sendo assim, para as 3 situações aparece o conceito “ruim” para o parâmetro da zona aceitável.

- ☞ Com relação ao parâmetro da iluminância média também observa-se o conceito “ruim” para as 3 situações. O índice médio de iluminância média na situação atual é de 174 lux, apresentando decréscimo de 37% com a introdução do elemento vertical, passando para 110 lux de iluminância média. Esta redução amplia-se para 50% quando da inserção do brise inclinado. Nesta situação tem-se ínfimos 87 lux de iluminância média.

- ☞ A aplicação dos brises apresenta melhora na distribuição interna da iluminação, principalmente com o elemento vertical. Para a uniformidade, tem-se a passagem do conceito “ruim” da situação atual para “regular” na situação com elemento vertical e para “ruim/regular” na situação com elemento inclinado. Quanto à diversidade e ao

coeficiente de variação, embora tenha melhor performance após o incremento dos brises, este ganho não é suficiente para subir de classificação, ficando as 3 situações com conceito “ruim”.

4.3.3 Índice de refletância

Embora o índice de refletância das superfícies seja propriedade física da maior importância no comportamento da iluminação natural (FONTOYNONT, 1999), ela ainda não tem o destaque merecido nas normas brasileiras. Os resultados apresentados a seguir tem justamente a finalidade de despertar a consciência da importância do índice de refletância no comportamento interno da iluminação para que, futuramente, esta variável seja levada em consideração nos planos que regem a aplicação das questões ambientais nas edificações brasileiras.

Como já mencionado no tópico 3.2.9 da Metodologia, serão avaliados comparativamente 3 categorias de índice de refletância para o teto, piso e parede. Estas categorias estão classificadas de acordo com a Tabela 3-8 onde tem-se 3 categorias: índice de refletância alto, médio e nulo.

O modelo utilizado para este estudo específico é o mesmo do estudo principal, ou seja, a sala de aula protótipo da Secretaria Municipal de Educação de Florianópolis. Este estudo específico também segue a mesma metodologia das simulações anteriores, utilizando o software *Lightscape v. 3.2* e a mesma forma de apresentação através dos gráficos fornecidos pelo programa *Surfer v. 5.0*.

As simulações (Figuras 4-103 a 4-108) foram realizadas para as 3 categorias de classificação do referido índice, limitando-se o estudo para apenas uma orientação (Norte), um horário (14h00min), uma época do ano (solstício de inverno - 21 de junho), uma condição de céu (céu encoberto), um nível (pavimento superior) e duas situações (atual e com elemento de proteção horizontal).

Em razão da condição de céu empregada (céu encoberto), pode-se observar pelos gráficos das Figuras 4-103, 4-104 e 4-105, que os níveis de iluminação encontrados são relativamente baixos, não alcançando em nenhum ponto dos 3 gráficos, valores acima de 300 lux. Entretanto, comparando-se visualmente as 3 figuras, é possível identificar claramente grandes diferenças nos níveis de iluminação entre as mesmas.

Na Figura 4-103 com índice de refletância alto, percebe-se nitidamente pela graduação de cores da legenda, maior presença das zonas com iluminância maior. Praticamente metade da sala (próxima à abertura principal) possui abrangência das curvas isolux superiores a 200 lux. As regiões mais escuras, com um nível menor de iluminância, estão situadas perto da abertura secundária superior com valores próximos a 125 lux.

Observando a Figura 4-104 com índice de refletância médio, nota-se uma diminuição nos níveis de iluminação das curvas isolux. A tonalidade das curvas é mais escura se comparada com a Figura 4-103, evidenciando a diminuição no gradiente interno de iluminação. A área de abrangência das curvas de 200 lux diminui consideravelmente e, na região menos iluminada, já aparece níveis de iluminação inferiores a 75 lux.

Já na Figura 4-105, com índice de refletância nulo, percebe-se níveis ainda mais baixos de iluminação com grande incidência de zonas escuras de iluminância. Mais de metade da sala, possui nível de iluminância abaixo de 75 lux. A região de abrangência das curvas acima de 100 lux é pequena.

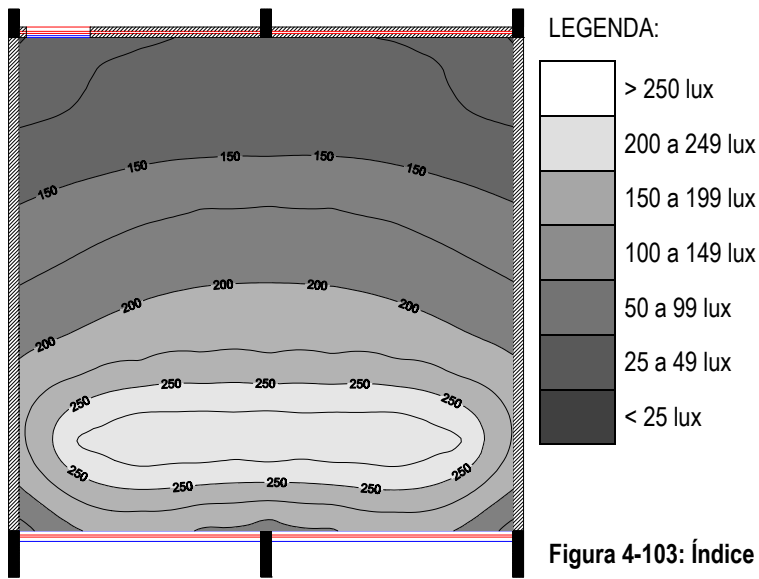


Figura 4-103: Índice de refletância alto – situação atual

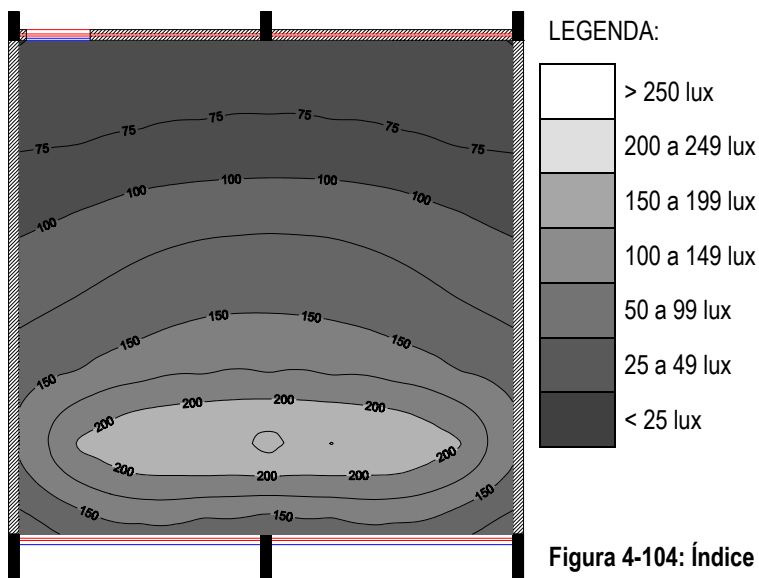


Figura 4-104: Índice de refletância médio – situação atual

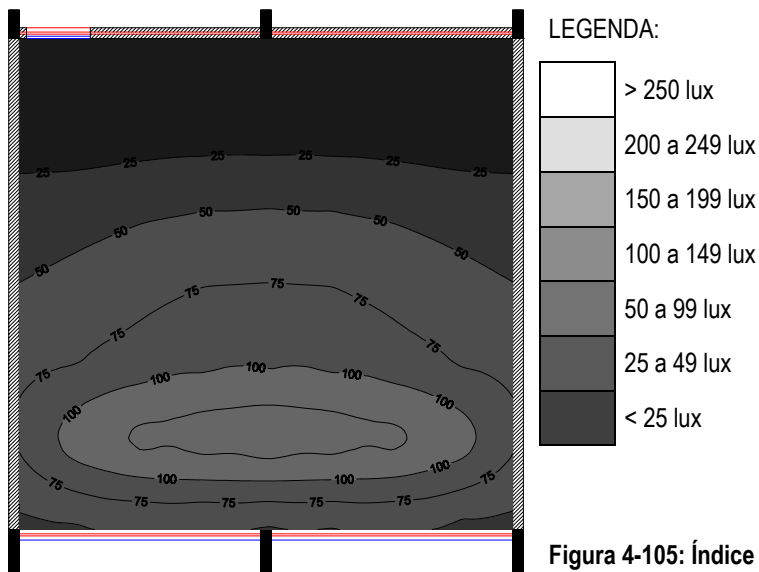


Figura 4-105: Índice de refletância nulo – situação atual

Analisando quantitativamente as simulações realizadas com as 3 categorias de índice de refletância para a situação atual, tem-se uma variação significativa tanto no nível médio de iluminação interno quanto no coeficiente de variação, como pode-se perceber pelo Quadro 4-64.

Categorias índice de refletância	Iluminância média (lux)	Coeficiente de variação (%)
Alto	192,35	27,39
Médio	129,37	38,67
Nulo	57,80	68,44

Quadro 4-64: Valores de iluminância média e coeficiente de variação para a situação atual

Como era esperado, o índice de refletância alto proporcionou o maior nível de iluminação interno e o menor coeficiente de variação. O índice de refletância alto das superfícies faz com que aumente a contribuição da componente refletida interna. Este aumento proporciona um maior iluminamento das regiões mais afastadas da abertura principal, pois estas regiões são as mais beneficiadas pela contribuição da componente refletida interna. Como os níveis de iluminação elevam-se principalmente no fundo da sala, conseqüentemente, tem-se um gradiente (amplitude) menor entre este nível e o nível de iluminação próximo à abertura, ocasionando numa menor variação interna dos índices de iluminação.

Para a condição analisada, comparando-se a categoria de índice alto de refletância com a de índice médio, percebe-se uma redução próxima a 33% (de 192,35 lux para 129,37 lux) no nível de iluminação médio (Quadro 4-64). Da mesma forma, observa-se uma redução maior que 55% (de 129,37 lux para 57,80 lux) entre a categoria com índice médio e a com índice nulo. Já, cotejando os índices extremos, tem-se uma redução de quase 70% (de 192,35 lux para 57,80 lux) no nível de iluminância médio do índice alto de refletância para o nulo, comprovando a grande influência do índice de refletância no nível de iluminação interno.

Através da observação das Figuras 4-106, 4-107 e 4-108, percebe-se níveis de iluminação ainda mais baixos que na situação anterior, provocados pela inserção de elemento de proteção horizontal com geometria de acordo com a Figura 3-14a e 3-14b. Vale salientar, que a condição é a mesma (Norte, 14h00min, solstício de inverno, céu encoberto e pavimento superior), a única alteração foi a presença do brise.

Analisando-se as 3 figuras conjuntamente (Figuras 4-106, 4-107 e 4-108), percebe-se que os níveis de iluminação encontrados são todos inferiores a 150 lux, mostrando o baixo nível de iluminação interno. Embora, os níveis de iluminação sejam baixos nas 3 situações, é nítido o comportamento diferenciado tanto quantitativamente como qualitativamente entre as figuras.

Observando a Figura 4-106, com índice alto de reflexão, percebe-se uma distribuição muito uniforme, sendo que quase a totalidade da sala apresenta nível de iluminância superior a 100 lux. De acordo com a Figura 4-107 (índice de refletância médio), nota-se uma diminuição nos níveis de iluminação das curvas isolux e uma distribuição mais heterogênea. A área de abrangência das curvas de 100 lux diminui consideravelmente e, na região menos iluminada, já aparece níveis de iluminação inferiores a 50 lux.

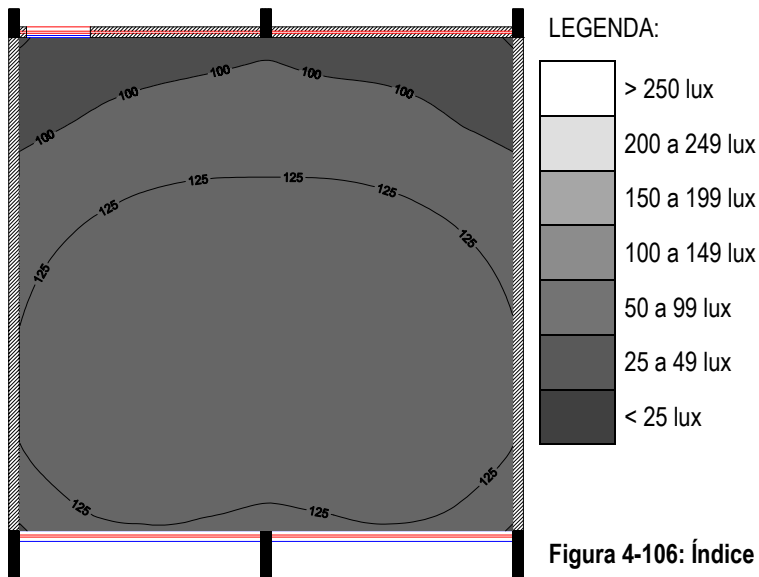


Figura 4-106: Índice de refletância alto - situação brise horizontal

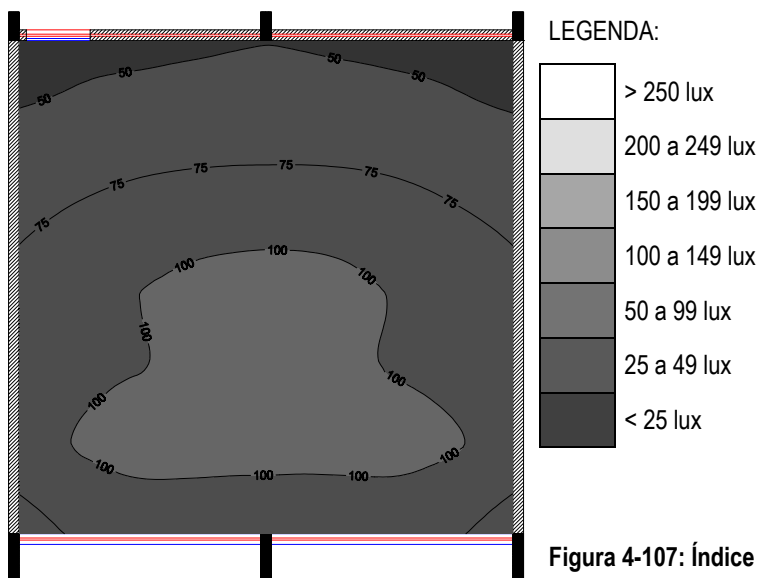


Figura 4-107: Índice de refletância médio – situação brise horizontal

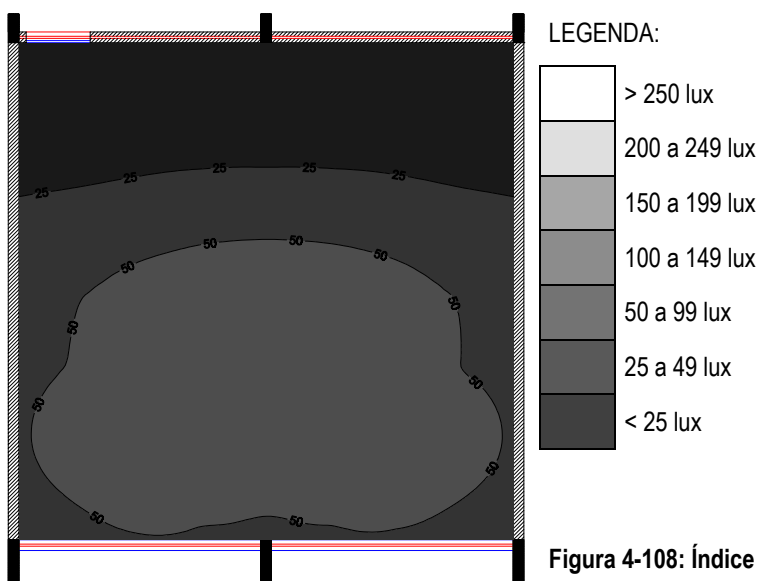


Figura 4-108: Índice de refletância nulo - situação brise horizontal

Na Figura 4-108 com índice de refletância nulo, percebe-se níveis ainda mais baixos de iluminação com grande incidência de zonas escuras de iluminância. Praticamente metade da sala, possui nível de iluminância abaixo de 50 lux.

Assim como nas 3 situações da condição anterior (Norte, 14h00min, solstício de inverno, céu encoberto, pavimento superior, situação atual) nesta, com a inserção do brise horizontal, também percebe-se uma grande variação no nível de iluminação interno e no coeficiente de variação (Quadro 4-65).

Categorias índice de refletância	Iluminância média (lux)	Coeficiente de variação (%)
Alto	125,98	15,03
Médio	83,02	24,76
Nulo	41,31	52,95

Quadro 4-65: Valores de iluminância média e coeficiente de variação para a situação elemento horizontal

Igualmente a condição anterior, nesta também o índice de refletância alto proporcionou o maior nível de iluminação interno e o menor coeficiente de variação. Como já mencionado, o índice de refletância alto proporciona maior contribuição da componente refletida interna, o que faz aumentar os níveis de iluminação, principalmente, no fundo da sala. Isto faz com que se tenha menor amplitude no nível interno e menor coeficiente de variação.

Nesta condição, comparando-se a categoria de índice alto de refletância com a de índice médio, percebe-se uma redução acima de 34% (de 125,98 lux para 83,02 lux) no nível de iluminação médio (Quadro 4-65). Comparando a categoria de índice médio com a de índice nulo, nota-se uma redução próxima a 50% (de 83,02 lux para 41,31 lux). Da mesma forma, comparando os índices extremos (alto e nulo), tem-se uma redução acima de 67% (de 125,98 lux para 41,31 lux) no nível de iluminância médio.

Diante dos resultados destas simulações feitas para as 3 situações com as 2 condições analisadas, pode-se afirmar que quanto maior for o índice de refletância das superfícies maior será o nível de iluminância e menor será o coeficiente de variação interno.

Na média para as 2 condições, tem-se uma redução de aproximadamente 33% no nível de iluminação quando se compara a categoria com índice alto de refletância para a categoria com índice médio. Esta redução média é de 53% quando passa-se da categoria de índice médio para o nulo e de quase 69% do índice alto de refletância para o índice nulo.

5. CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da iluminação natural relacionando seus efeitos físicos, fisiológicos e psicológicos sobre o homem datam de longo tempo. Entretanto, sua importância aumentou consideravelmente ao longo do século XX. Os países mais desenvolvidos tecnologicamente foram os pioneiros no estudo da iluminação natural, em virtude de os mesmos apresentarem condições climáticas adversas e escassez das fontes de energia. Já no Brasil, embora se tenham estudos relacionados com a iluminação natural em edificações escolares a partir da década de 30, através de Paulo Sá (FREIRE, 1996), o interesse pela iluminação natural ganhou força somente após a crise energética da década de 70.

A necessidade de economizar energia e a alta porcentagem da iluminação elétrica na composição do uso final de energia, impulsionaram o estudo da iluminação natural no Brasil. Embora este impulso tenha sido dado por questões econômicas, o estudo da iluminação natural vem ganhando prestígio por trazer benefícios físicos e psicológicos aos usuários. No entanto, o conhecimento das vantagens da iluminação natural, da aplicação do seu uso, das questões de quantidade versus qualidade e tantas outras, ainda está limitado a um pequeno universo de pessoas. Com este intuito, a pesquisa se dispõe a estudar um dos muitos tópicos que ainda não foram explorados cientificamente, visando acrescentar e difundir informações a respeito da iluminação natural.

Sendo assim, o trabalho visa contribuir, principalmente, com informações a respeito da influência de elementos de proteção solar no nível de iluminação interno em escolas da rede municipal de Florianópolis.

Inicialmente, foram colhidas informações a respeito do projeto padrão implantado pela Prefeitura de Florianópolis para todas as escolas do Município. Em seguida, uma escola padrão foi visitada sendo realizadas medições referentes a iluminância, luminância e índice de reflexão das superfícies. Após este estudo de campo, foi realizada uma série de simulações computacionais utilizando o software *Lightscape v. 3.2* para investigar o comportamento da iluminação natural na situação atual da escola para, posteriormente, serem realizadas simulações com a presença de elementos de proteção solar.

Este capítulo conclusivo está dividido em sete partes. A primeira diz respeito as considerações realizadas sobre o protótipo escolar implantado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis para as novas escolas do Município. A segunda trata das conclusões sobre as medições de campo. A terceira, versa sobre as inferências realizadas sobre as simulações computacionais. As limitações do trabalho, correspondem a quarta parte. A quinta parte é constituída pelas recomendações de projeto, enquanto a sexta expõe as últimas considerações. O capítulo é finalizado pela sétima parte que aborda sugestões para trabalhos futuros.

5.2 PROTÓTIPO ESCOLAR

A análise do novo modelo arquitetônico escolar que está sendo implantado pela Secretaria de Educação e Secretaria de Transportes e Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis para todas as novas escolas do Município apresenta uma evolução significativa em relação aos modelos anteriores.

No novo protótipo escolar existe uma maior preocupação quanto às condicionantes ambientais, se comparada com as escolas anteriores à implantação deste novo modelo. Neste novo modelo escolar tem-se, principalmente, salas com abertura superior oposta à abertura principal da sala. Esta abertura superior ocorre graças a inclinação da laje de cobertura, proporcionando iluminação, ventilação cruzada e saída superior para o ar quente. Esta morfologia proporciona um sistema bilateral de iluminação, o qual é responsável pela melhor distribuição interna da iluminação natural, uma vez que a fonte de luz não está concentrada em uma única superfície. Outras preocupações também são identificadas como a cobertura translúcida do pátio de acesso à todas as salas de aula, com importante papel de fazer a transição entre o nível de iluminância elevado no exterior para níveis mais baixos no interior. Aspectos positivos da iluminação artificial também são identificados como a iluminância de tarefa (específica para o quadro negro) e os circuitos de iluminação artificial paralelos à abertura.

Entretanto, apesar do incremento destes benefícios no projeto do novo protótipo escolar, depara-se com o descaso frente a aspectos importantíssimos, como a orientação das aberturas e a inexistência de elementos de controle. A implantação da escola é determinada pela forma e área do terreno, ignorando-se a orientação das aberturas e das salas. A orientação das aberturas fica renegada à sorte de se escolher um terreno que permita uma implantação coerente. Este fato é agravado pela inexistência de elementos de proteção internos ou externos, que poderiam amenizar os malefícios de uma orientação incorreta.

Disto pode-se concluir que, embora haja uma incorporação das preocupações relacionadas às condicionantes ambientais, aspectos importantes e definidores do comportamento térmico e lumínico ainda são renegados ou desconsiderados. Apesar de ter ocorrido uma evolução neste novo protótipo escolar municipal, ainda há muito a ser percorrido para melhorar o comportamento das salas de aula frente às condicionantes ambientais.

5.3 MEDIÇÕES DE CAMPO

As medições de iluminância e luminância permitiram verificar o comportamento da iluminação natural na prática, identificando pontos que foram importantes para a realização dos ensaios simulacionais. Com relação ao nível de iluminação, as medições de campo não foram realizadas com a intenção de determinar com exatidão estes índices nem a sua distribuição interna. Seu principal objetivo foi de familiarizar-se com o comportamento da iluminação natural no universo de estudo da pesquisa, ou seja, nas salas de aula do protótipo escolar. Já com relação a medição da luminância e da determinação do índice de refletância, a medição *in loco* proporcionou resultados conclusivos de extrema importância.

A grande amplitude entre os valores coletados nas medições de iluminância na sala do térreo e do andar superior serviram como fator conclusivo e determinante para trabalhar distintamente estas salas nas simulações computacionais, a fim de analisar o comportamento individual de cada uma delas. Estas medições de iluminância também constataram a vulnerabilidade das salas frente à incidência e penetração dos raios solares no interior do ambiente, bem como a displicência quanto a presença de elementos de proteção solar para diminuir os malefícios provocados pela penetração direta do Sol.

As medições de luminância foram realizadas para avaliar o conforto visual dos usuários da sala perante o contraste e o ofuscamento. Através da avaliação da proporção das taxas de luminâncias pode-se concluir que, de maneira geral, o contraste verificado por esta proporção não esteve adequado na maior parte das situações estudadas. Também foi constatada a presença de ofuscamento por saturação no momento da medição na sala voltada para a orientação Oeste, onde a luminância da abertura ultrapassou 40 mil cd/m^2 . A retirada da penetração direta do Sol, melhoraria consideravelmente as proporções de contrastes internos. Sendo assim, provavelmente, a presença de elementos de proteção solar ajudariam as taxas de contrastes medidos ser aproximar das taxas recomendadas. Isto permite concluir que, nas condições analisadas (tipo de céu, data e horário de medição), as salas não estão garantindo conforto visual aos seus usuários em razão das suas aberturas não estarem orientadas corretamente, de inexistirem elementos de proteção que barrem a incidência direta dos raios solares em grande parte do ambiente interno e do tipo de sistema de iluminação empregado.

Quanto aos valores do índice de refletância calculados em função da relação entre a luminância e a iluminância da superfície em questão, pode-se inferir que os valores foram de suma importância para a simulação, em razão do índice de reflexão ser uma das propriedades físicas com maior influência no comportamento da iluminação natural. Com a determinação in loco desta variável física, pode-se afirmar que os resultados das simulações computacionais estão mais próximos da realidade, procurando retratar fielmente os parâmetros físicos nos ensaios, diminuindo a porcentagem de erro e validando ainda mais os resultados das simulações computacionais.

5.4 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Esta seção está relacionada com todas as conclusões referentes aos processos da metodologia e dos resultados que utilizaram a simulação computacional como ferramenta de análise do comportamento da iluminação natural.

Apesar das limitações do software *Lightscape v.3.2* relacionadas, principalmente, com a impossibilidade de estudos com superfícies especulares refletoras e a inexistência de interface com outros softwares de tratamento de dados, o mesmo apresentou-se como uma ferramenta altamente válida para desenvolvimento deste estudo paramétrico baseado na análise dos níveis e na distribuição da iluminação interna.

Tanto o método gráfico quanto o método analítico apresentaram-se eficazes dentro da metodologia proposta pelo trabalho para análise dos resultados. O método gráfico, através do mapeamento das iluminâncias, permite fácil

entendimento e leitura, além de possibilitar ao projetista o seu emprego como uma ferramenta válida para analisar a distribuição de iluminâncias em um ambiente sem necessidade da promoção de qualquer tipo de cálculo. O método analítico baseado em ferramentas estatísticas, apesar de necessitar alguns procedimentos de cálculo, é o que apresenta maior validade e confiabilidade. A forma como esta pesquisa trabalhou o método analítico, associando-o a faixas de classificação e a conceitos (figuras), permite, além de fácil entendimento dos resultados, respaldo necessário para análises aprofundadas.

Os resultados das simulações mostraram também o cuidado que deve-se ter com relação aos parâmetros de avaliação do comportamento. Análises que levem em consideração somente uma variável relacionada com o comportamento médio devem ter cuidado redobrado, principalmente se esta variável não apresentar comportamento linear como é o caso da iluminância média. Em situações específicas pode-se ter iluminância excessiva em determinados pontos da sala e iluminância insuficiente em outros, sendo que o resultado da média poderá ser iluminância suficiente. Exemplos como esse evidenciam a importância de não analisar os parâmetros, sejam quantitativos ou qualitativos, somente em função de valores médios. O exemplo demonstra a fragilidade de valores médios para se avaliar o comportamento da iluminação natural. Os valores médios devem ser utilizados com restrição tendo sua aplicabilidade vinculada a constatação prévia de que os mesmos representam fielmente o fenômeno analisado ou então devem estar vinculados a outros parâmetros de análise.

O coeficiente de variação, a uniformidade e a diversidade podem ser considerados parâmetros eficientes na avaliação da distribuição da iluminação natural. Embora o coeficiente de variação apresente maior confiabilidade, respaldo e garantia em função de sua coerência estatística, a uniformidade e a diversidade apresentam a grande vantagem de não necessitarem de procedimentos de cálculo mais aprofundados, facilitando e tornando mais rápida a determinação do seu índice. Em razão das variáveis de cálculo de cada um dos 3 parâmetros, pode-se inferir que a uniformidade não se deixa influenciar por um valor exagerado de iluminância, enquanto que o coeficiente de variação e a diversidade são mais sensíveis a presença de valores de iluminância mais elevados.

A análise das simulações mostra a importância e o cuidado que se deve ter com relação a elementos que normalmente são dimensionados por questões práticas e usuais como o tamanho do beiral e do peitoril. As dimensões distintas destes dois elementos na sala do pavimento térreo e do pavimento superior foram, em conjunto com outros elementos, os responsáveis pela performance lumínica diferenciada das duas salas. O beiral deve ser projetado em função das dimensões da abertura e da orientação da mesma. Um beiral dimensionado corretamente pode barrar a incidência do Sol nas aberturas, não necessitando de um outro elemento específico para esta função. A altura do peitoril também pode influenciar no comportamento interno da iluminação. Um peitoril mais alto pode deslocar a iluminação mais para o centro da sala, mas também pode diminuir o nível próximo à abertura.

As conclusões sobre a análise do comportamento da iluminação interna nos ensaios computacionais estão divididas em quatro tópicos para facilitar a compreensão, sejam eles:

- ① Sistema unilateral (pavimento inferior) versus sistema bilateral (pavimento superior);
- ② Situação atual versus situações com proteções solares;
- ③ Orientação Norte versus Leste;

- ④ Índice de refletância das superfícies.

5.4.1 Sistema unilateral (pavimento inferior) versus sistema bilateral (pavimento superior)

Este tópico está separado dos demais para analisar especificamente a comparação entre o comportamento do sistema de iluminação unilateral (sala do pavimento inferior) e do sistema de iluminação bilateral (sala do pavimento superior).

De forma geral, baseado no método gráfico e principalmente no método analítico, pode-se concluir para as situações estudadas que, o sistema bilateral utilizado nas salas do pavimento superior apresentou melhor desempenho da iluminação natural do que o sistema unilateral presente na sala do pavimento inferior. Este desempenho foi melhor tanto em relação ao nível de iluminação como, principalmente, em relação a distribuição interna da luz.

Comparando-se os diferentes parâmetros de avaliação, infere-se que na sala do pavimento superior a área da zona aceitável e a uniformidade foram maiores, enquanto que a diversidade e o coeficiente de variação foram menores. Com relação a iluminância média percebe-se que, quando há incidência de Sol no interior das salas, a iluminância média da sala do pavimento inferior é maior que a iluminância média do pavimento superior. No restante das situações que não se tenha a penetração do Sol no interior da sala, a iluminância média da sala do andar superior é maior que a iluminância da sala inferior. Disto pode-se concluir que os aspectos relacionados com a geometria diferenciada das salas faz com que o comportamento da iluminância média se modifique com a presença do Sol. Como a sala do térreo apresenta maior altura de janela, maior peitoril e menor obstrução, ela está mais exposta a penetração da radiação solar. Este fenômeno provoca na sala inferior uma maior elevação dos níveis de iluminação internos quando expostos à radiação solar, bem como uma pior distribuição interna quando comparada com a sala do pavimento superior.

A presença da abertura secundária elevada na sala do pavimento superior apresentou comportamento distinto dependendo da situação analisada. Como regra geral, pode-se concluir que esta abertura teve maior influência no desempenho interno da iluminação em condições onde os níveis de iluminação eram menores. Nas situações onde a abertura principal recebe muito mais luz que a abertura secundária, há um gradiente muito grande da luz recebida pela abertura principal em relação à abertura secundária. Este gradiente é ampliado em virtude da abertura principal apresentar maiores dimensões e estar mais próxima do plano de trabalho que a abertura secundária. Nestes casos, a luz admitida pela abertura principal corresponde a uma parcela relativa muito grande da admissão de luz total do ambiente. Já, em condições onde a luz recebida pela abertura principal é menor, ocorre uma diminuição do gradiente entre as 2 aberturas fazendo com que a abertura secundária apresente uma maior parcela de contribuição relativa, alterando o comportamento da distribuição interna da iluminação.

Este fenômeno explica que, para as orientações estudadas, tanto na condição de céu claro como encoberto, há maior contribuição de iluminação da abertura superior oposta nas situações onde tem-se a presença dos elementos de proteção solar do que na situação atual (sem brise).

Para a orientação Norte, em que a abertura secundária oposta fica voltada para Sul, com céu claro, tem-se maior contribuição no verão do que no inverno. Como o Sol no verão apresenta-se com um ângulo de altura maior, a abertura principal não “enxerga” a região próxima do Sol fazendo com que a penetração de luz pela abertura principal seja menor. Consequentemente, a contribuição da abertura secundária será maior.

Já para a orientação Leste (abertura superior à Oeste) o que realmente influencia é a hora do dia. No horário vespertino das 14h00min a abertura secundária oposta apresenta grande parcela relativa de influência no comportamento da iluminação interna, aumentando não só os níveis de iluminação, mas como melhorando a distribuição interna.

5.4.2 Situação atual versus situações com proteções solares

Diante de todas as simulações realizadas para as diferentes situações e condições pode-se concluir que a inserção dos elementos de proteção solar apresentam bons resultados do ponto de vista da insolação e mau desempenho com relação ao comportamento dos níveis de iluminação internos.

A presença dos elementos de sombreamento provocaram, na maioria das situações, os seguintes benefícios: diminuição da zona excessiva de iluminância e melhora da distribuição interna da iluminação, evidenciada pelos parâmetros da uniformidade, da diversidade e do coeficiente de variação. Em contrapartida, a presença dos brises provocou uma diminuição no nível de iluminação interno, uma diminuição da zona aceitável de iluminância e um aumento na zona de iluminância insuficiente.

Praticamente em todas as situações atuais do modelo (sem brise) os níveis de iluminação na sala de aula mostraram-se insuficientes. Como era esperado, após a introdução dos elementos de proteção solar, os níveis apresentaram uma piora significativa, diminuindo ainda mais os níveis internos de iluminação. Este comportamento permite afirmar que os elementos de proteção são altamente prejudiciais ao comportamento do nível de iluminação interna sob a condição de céu encoberto. Esta conclusão mesmo sendo óbvia é necessária e oportuna uma vez que o céu encoberto pode ser considerado, de acordo com AMARAL (1999), como o tipo de céu com maior ocorrência em Florianópolis. Isto permite concluir que na maior parte do dia e do ano, os elementos de obstrução solar de Florianópolis podem ser considerados inoperantes e prejudiciais sob o ponto de vista do nível de iluminação. Inoperantes porque com céu encoberto, não tem-se insolação direta e os brises perdem a função de evitar o ganho de calor das aberturas e a penetração do Sol no interior do ambiente. Prejudiciais porque sua presença além de piorar o nível interno da iluminação ainda diminui o contato visual com o exterior. Entretanto, é preciso ter em mente que o nível de iluminação é apenas um dos vários parâmetros de avaliação do conforto visual.

Sob a condição de céu claro, os elementos de proteção solar tem sua eficácia comprovada na função de barrar a insolação, melhorar a distribuição interna e evitar ganhos térmicos pelas aberturas. Entretanto, de acordo com AMARAL (1999), o céu claro tem apenas a terceira maior ocorrência de céu em Florianópolis. Sendo assim, pode-se inferir que o ideal é que os brises sejam móveis podendo sofrer regulagens em função da condição de céu, hora do dia ou época do ano. Como brises móveis, principalmente externos, exigem grande manutenção, fato que não é comum em escolas públicas, o ideal para esta situação de estudo seria um brise semi-fixo que tivesse no mínimo duas regulagens: uma para céu claro (presença de Sol) e outra para céu encoberto (sem a presença de Sol).

Na orientação Norte, em razão da grande diferença de geometria entre o elemento de proteção light-shelf (menor obstrução) e o elemento horizontal (maior obstrução), verifica-se uma nítida distinção de comportamentos. Este comportamento distinto é resultado direto do nível de mascaramento da abertura provocado pelos dois elementos de proteção. Na situação com maior obstrução no mascaramento (brise horizontal) constatou-se menor área da zona excessiva de iluminância, melhor distribuição interna (uniformidade, diversidade e coeficiente de variação), menor nível médio de iluminância, menor área da zona aceitável e maior área da zona de iluminância insuficiente. Já para a orientação Leste, a similaridade entre a geometria dos dois brises (vertical e inclinado) fez com que o mascaramento da abertura não apresentasse grandes diferenças, ocasionando em um comportamento lumínico interno semelhante para os dois elementos de proteção.

Dos 4 brises mencionados, deve-se chamar a atenção para a light-shelf. A light-shelf com o tipo de material empregado nas simulações (elemento de concreto rebocado pintado de branco) além de diminuir os valores dos níveis de iluminação próximos à abertura, também reduziu os níveis de iluminação das regiões mais afastadas da abertura. Com a introdução da light-shelf, estas regiões mais afastadas, que em geral já apresentavam níveis abaixo do índice aceitável, ficaram com valores de iluminância ainda mais baixos. Com isto, pode-se inferir que este elemento de proteção diminuiu o nível de iluminação em todas as porções da sala. Como o software utilizado (*Lightscape v. 3.2*) não permite a simulação com superfícies especulares refletoras (utilizadas neste tipo de elemento de proteção), julga-se que a performance da light-shelf tenha ficado comprometida. Acredita-se que o emprego de superfícies especulares refletoras melhorariam substancialmente o desempenho da light-shelf. Outro fator que prejudicou o comportamento lumínico da light-shelf foram as características físicas do modelo escolar a qual este elemento de proteção foi introduzido. A sua proximidade com o beiral foi fator decisivo no comprometimento de sua performance. Entretanto, isto aconteceu em função do critério escolhido de incorporar os tipos de brises mais comuns na região às características físicas do protótipo escolar, sem qualquer alteração física deste protótipo.

Através da análise dos parâmetros de avaliação, principalmente pelos critérios da zona de iluminância aceitável e da iluminância média, pode-se perceber que, para a sala do pavimento superior, a inserção dos brises na condição de céu claro provoca uma piora mais significativa no índice de iluminação se comparada com a sala do pavimento inferior. Este processo é inverso na condição de céu encoberto, onde as salas do pavimento superior não presenciam uma diminuição relativa tão grande com a presença dos brises como nas salas do pavimento inferior. Este fenômeno pode ser resultado da conjunção dos aspectos relacionados com a configuração diferenciada dos sistemas de abertura entre as duas salas e da geometria solar. Na sala do pavimento superior a contribuição da abertura secundária somente apresenta significativa importância em situações com baixo nível de iluminação, ou

seja, nas situações com céu claro a abertura principal apresenta parcela majoritária na contribuição da iluminação interna enquanto que a abertura secundária quase não promove incremento de iluminação. Com a colocação dos brises nesta condição de céu claro, a abertura principal deixa de contribuir como anteriormente, diminuindo os níveis de iluminação internos. Já na condição de céu encoberto, a abertura secundária apresenta grande importância no nível de iluminação interno para as salas do pavimento superior. Sendo assim, mesmo com o sombreamento da abertura principal provocado pelos brises, a parcela de contribuição da abertura secundária cresce, não permitindo uma baixa tão significativa nos níveis de iluminação como na sala do pavimento inferior, que não apresenta a abertura secundária.

Diante destas inferências pode-se concluir que no projeto do sistema de iluminação, em específico do elemento de proteção, não pode-se pensar somente em barrar o Sol para evitar o ganho calor. O projeto do brise deve levar em consideração o quanto a presença do elemento de obstrução vai reduzir do nível de iluminação interno. Se esta redução for muito acentuada, o nível de iluminação ficará comprometido tendo-se que acionar o sistema de iluminação artificial para complementar os níveis de iluminação mínimos requeridos. A introdução de equipamentos artificiais (lâmpadas) poderá acarretar no aumento da carga térmica interna proporcionado pelo ganho de calor proveniente do equipamento de iluminação artificial. Desta forma, os elementos de proteção solar perdem o sentido de sua existência, pois o ganho de calor continua ocorrendo. Mas, agora este ganho de calor artificial produz gastos com equipamentos (lâmpadas, fios, reatores, etc.) e com energia elétrica.

Embora estas conclusões não mostrem a eficiência esperada dos elementos de proteção é bom esclarecer que isto refere-se especificamente a este estudo, ou seja, com estas características físicas do modelo escolar e dos elementos de proteção. Sendo assim, não deve-se generalizar este comportamento para todos os elementos de proteção. Estudos com outras configurações físicas seja do modelo, da geometria do elemento de proteção, do tipo de material empregado ou do sítio a ser estudado, apresentarão resultados diferentes dos encontrados neste trabalho.

Os resultados encontrados nesta pesquisa também demonstram a importância dos elementos de proteção no controle solar. Como foi visto, a simples aplicação de um brise sem um estudo aprofundado das características físicas da edificação, da geometria do elemento de sombreamento e da geometria da insolação, não é capaz de garantir melhora no comportamento interno da luz natural. Admitir luz natural para o ambiente interno é fácil, difícil é saber controlar e manipular a quantidade e a distribuição desta luz a ser admitida para o interior do ambiente. O sucesso do projeto da abertura será alcançado quando o arquiteto (projetista) conseguir atingir esta proeza de manipular adequadamente a luz natural interna para o tipo de atividade requerida.

5.4.3 Orientação Norte versus Orientação Leste

Como síntese dos resultados baseados no método gráfico e no método analítico, pode-se concluir para as situações analisadas que o nível de iluminação e a distribuição dos mesmos apresentaram ligeira vantagem de performance na orientação Norte. Constata-se que na orientação Norte o índice de iluminância média foi mais elevado, assim como ocorreu uma maior área de distribuição da zona com iluminância aceitável.

Vale salientar que como os elementos de proteção apresentam geometrias distintas para cada orientação, esta análise limita-se a relacionar somente a situação atual, onde não tem-se a presença de elementos de obstrução. A comparação entre as condições de céu encoberto também não entraram nestas conclusões em razão do céu nesta condição apresentar distribuição de luminâncias uniforme em todas as direções, independentemente a orientação da abertura.

Acredita-se que a razão da pequena vantagem no melhor comportamento da orientação Norte, deve-se a limitação dos dois horários de análise (10h00min e 14h00min). Nestes horários o Sol apresenta-se com ângulos de altura maiores, não prejudicando tanto o comportamento da orientação Leste. Julga-se que horários mais distantes das 12h00min, por questões pertinentes à geometria da insolação, apresentariam pior comportamento na orientação Leste-Oeste do que na Norte-Sul, ampliando a vantagem na melhora de performance da orientação Norte-Sul.

Embora a abertura superior secundária do pavimento superior tenha apresentado maior contribuição na orientação Leste-Oeste, ela chegou a propiciar a penetração dos raios solares para o interior da sala. Contudo, eles não chegaram a incidir diretamente no plano de trabalho. Em outros horários, certamente a abertura secundária nesta orientação iria proporcionar zonas com iluminância excessiva provenientes da incidência direta do Sol. Na orientação Norte-Sul, isto não aconteceria. Na orientação Leste-Oeste a insolação direta poderá ocorrer nas aberturas das duas fachadas enquanto que na Norte-Sul, esta preocupação restringe-se a apenas uma fachada (Norte). Sendo assim, um sistema de iluminação bilateral com orientação Leste-Oeste necessita de maiores cuidados que na orientação Norte-Sul, evidenciando esta última como sendo a orientação mais adequada.

Outro aspecto a se destacar é a maior facilidade de sombreamento das aberturas orientadas à Norte-Sul do que à Leste-Oeste, justamente por estas questões referentes à geometria da insolação. As aberturas voltadas para Leste-Oeste necessitam, geralmente, de elementos maiores e verticais para a promoção do sombreamento. Isto pode prejudicar não só o comportamento interno da iluminação, mas também pode extinguir o contato visual com o exterior.

5.4.4 Índice de refletância das superfícies

A importância do índice de reflexão das superfícies se fez sentir não só nas simulações com este fim específico, mas também nas simulações para avaliar a influência do incremento dos brises no comportamento interno da iluminação. Nestas, através dos resultados do método gráfico pode-se constatar que os valores de iluminância

situados próximos ao quadro negro e a porta de entrada da sala (aqui chamado de lado esquerdo da sala) são menores que os valores do fundo da sala (parede oposta à parede do quadro negro, aqui chamado de lado direito). Isto é fruto da diferenciação interna dos índices de reflexão. Do lado esquerdo da sala tem-se a porta de entrada e o quadro negro que apresentam baixos índices de reflexão. Já do lado direito tem-se apenas paredes (índice de reflexão maior que o da porta e do quadro negro). Consequentemente os valores de iluminância deste lado esquerdo são inferiores aos do lado direito, demonstrando a importância do índice de reflexão para o comportamento da iluminação interna.

Índices de refletância mais altos proporcionam maior contribuição da componente refletida interna, o que faz aumentar os níveis de iluminação principalmente no fundo da sala. Com isto tem-se menor amplitude no nível interno de iluminação e desta forma, tem-se um coeficiente de variação menor, o que melhora a distribuição interna.

A comparação sintética dos resultados das categorias demonstrou que os níveis de iluminação reduziram-se, na média, aproximadamente 70% quando passou-se da categoria de índice alto de refletância para a categoria de índice nulo. Já o coeficiente de variação, para esta mesma mudança de categoria, teve seu índice multiplicado por três, demonstrando uma grande redução do nível de iluminação e um elevado aumento da variação interna com o índice nulo de refletância das superfícies.

Entretanto, quanto maior for o índice de refletância das superfícies maior será a probabilidade de ocorrência de um brilho excessivo que pode gerar ofuscamento ou desconforto visual aos usuários. A IESNA (REA, 1995) recomenda valores de índice de refletância para todas as superfícies da sala de aula justamente para evitar este tipo de problema, otimizando os níveis e a distribuição interna da iluminação. Nestas recomendações, o teto merece destaque pois deve apresentar o maior índice de reflexão em virtude de ser a superfície de maior influência e de não estar no campo visual dos usuários.

Os resultados das simulações confirmam a grande influência do índice de refletância no nível de iluminação interno e reforçam a importância de se levar em consideração este índice físico nos planos reguladores das edificações.

5.5 LIMITAÇÕES

Embora já tenham sido descritas algumas limitações relacionadas com a forma metodológica de aquisição dos dados, baseadas principalmente em restrições do programa computacional utilizado (*Lightscape v.3.2*), existem outras limitações de ordem funcional e temporal.

Estas limitações dizem respeito principalmente ao desenvolvimento do estudo estar baseado em sínteses de condições, ou seja, por questões práticas e de tempo ficou inviabilizado a promoção dos estudos que contemplassem maior número de variáveis que as utilizadas (orientação, horário, época do ano, condição de céu, sistema de iluminação (pavimento). Outra limitação importante, talvez a mais importante delas, é o limitado número de elementos de obstrução estudados. Foram analisados somente 2 tipos de proteção solar para cada orientação,

totalizando apenas 4 tipos de elementos. Desta forma, este estudo paramétrico para ser viabilizado não foi exposto a todas as possibilidades de orientações, horários, datas, tipos de céu e tipos de elemento de obstrução.

Como os parâmetros utilizados para análise das simulações envolviam apenas a avaliação da iluminância, não foram coletados valores de luminância nas simulações. Contudo, nas medições de campo houveram coletas de valores de luminância para analisar as taxas de proporção de luminâncias e para detectar a presença de ofuscamento.

Apesar da conscientização de que os aspectos da iluminação natural estão estritamente ligados aos aspectos da contribuição térmica, a pesquisa limitou-se apenas à análise do comportamento da iluminação. A integração da iluminação natural com a artificial também não foi contemplada pelo trabalho.

Embora tenha-se concluído que o sistema de iluminação por componentes laterais utilizados pela rede pública municipal de ensino não seja o mais aconselhável, sendo recomendado a utilização de sistemas de iluminação zenitais integrados com sistemas laterais, não foi possível, por questões relativas a prazo, promover a realização de estudos simulando a presença destes componentes.

5.6 RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS

Em virtude do baixo aproveitamento da iluminação natural presente no sistema de aberturas laterais do protótipo escolar em estudo, sugere-se o seu uso combinado com aberturas zenitais para melhorar, principalmente, a distribuição e a penetração da luz natural em regiões mais afastadas da abertura principal.

O sistema de iluminação zenital conjugado com elementos de controle apresenta-se mais indicado para a atividade escolar em razão da luz natural necessitar de apenas uma reflexão para penetrar no interior do ambiente e o fato da superfície brilhante de controle da insolação (que proporciona a reflexão) não estar no campo visual do observador, evitando possíveis brilhos excessivos, ofuscamentos ou desconforto visual. Outro fator que beneficia o uso do sistema zenital é o fato do projeto do protótipo escolar restringir-se a edifícios térreos ou no máximo com dois pavimentos. Este fato anula a principal limitação do sistema zenital, ou seja, sua aplicabilidade fica restrita a edifícios com poucos andares.

Desta maneira, cabe ao projetista usar sua criatividade na aplicação de soluções arquitetônicas que empreguem este tipo de sistema de iluminação. O mais indicado é que eles apareçam integrados com sistemas laterais de iluminação para não haver perda de contato visual entre o exterior e o interior.

Além de um possível ganho plástico da arquitetura com a introdução dos dois componentes integrados, o comportamento da iluminação interna tende a melhorar com aumento da contribuição da iluminação natural, melhor distribuição, maior uniformidade, permissão de contato visual com o exterior e ainda melhorando a ventilação natural se as duas aberturas (lateral e zenital) forem móveis.

Entretanto, a simples presença combinada destes dois sistemas não é capaz de garantir estes benefícios. O cuidado com a escolha e geometria da abertura, assim como seus elementos de controle são de fundamental

importância para o desempenho ambiental esperado. Entretanto, a escolha da forma dos sistemas de abertura também envolvem decisões sobre a arquitetura do edifício, passando pelo partido adotado e por questões funcionais. As necessidades ambientais (iluminação, ventilação, acústica e térmica) devem dialogar com as necessidades psicológicas como a privacidade e a relação com o meio exterior. Cabe ao projetista, organizar estas variáveis ambientais-arquitetônicas, incorporando-as na sua concepção, para desta forma propor projetos de edificações que busquem ser eficientes energeticamente e interessantes esteticamente.

Para o alcance destas melhorias, cabe ao arquiteto ou engenheiro projetar o edifício, em particular a escola, de acordo com as condicionantes físico-ambientais. Entretanto, se por fins construtivos ou limitações econômicas não for possível a implantação do sistema de iluminação integrado (lateral + zenital) e desta forma, existir somente a possibilidade do sistema tradicional de iluminação por componentes de passagem laterais, algumas recomendações também podem ser dadas.

Em se tratando de iluminação lateral, numa escola onde a linha de orientação da visão é conhecida (da carteira para o quadro negro), um dos requisitos primordiais é que as janelas devem ser localizadas de forma a evitar que os usuários enxerguem grande porção da abóbada celeste enquanto estão desenvolvendo sua tarefa. Se isto não for evitado, as pessoas sofrerão desconforto enquanto realizam suas atividades. De acordo com HOPKINSON (1966) isto não quer dizer que deva-se excluir toda a vista do céu, muito pelo contrário, o que deve-se fazer é posicionar as janelas de maneira que o olhar o céu seja um ato de vontade consciente.

Outro sistema preferível é o bilateral, empregado sem grandes cuidados na escola em questão. Entretanto, este sistema pode proporcionar um ambiente mais agradável, com melhores níveis de iluminação, melhor uniformidade e distribuição. Estes resultados podem ser otimizados com a determinação das formas da abertura, principalmente se uma janela é maior que a outra e se combinar inteligentemente uma fonte dominante e secundária com luz difusa inter-refletida. Aberturas em diferentes orientações também servem para gerar um fluxo de ar no interior da edificação (ventilação cruzada). Com objetivo térmico também podem ser exploradas aberturas mais elevadas (junto à cobertura) que também podem permitir a saída do ar quente.

A orientação das aberturas merece cuidado redobrado, pois estas juntamente com outros fatores (dimensão, forma e posicionamento das aberturas) irão determinar a quantidade e a qualidade da luz natural interna. Não existe uma regra geral para a determinação das melhores ou piores orientações de janelas. A orientação apropriada é função das condicionantes físicas do sítio em questão (latitude, longitude, grau de obstrução do entorno, refletância do entorno e ventos predominantes) e funcionais (tipo e horário de desenvolvimento da atividade). Quanto menor for o impacto da radiação solar direta incidente na fachada do edifício, melhor será a captação de luz difusa. Entretanto, talvez isto não garanta os níveis mínimos de iluminação exigidos. Sendo assim, a orientação que receba radiação solar direta, mas que tenha a facilidade de proteger sua abertura desta incidência direta do Sol pode ser a orientação mais adequada. Para Florianópolis em particular, as orientações mais favoráveis para as aberturas seriam a Norte-Sul em razão dos elementos de proteção do Norte terem geometria mais simples e necessitarem de dimensões mais reduzidas que os da orientação Leste-Oeste.

Se por questões geométricas e físicas do sítio em questão, não for possível a implantação de todas as salas na orientação mais adequada, é recomendável o emprego de soluções diferentes para situações diferentes de

orientação. Os elementos utilizados principalmente para proteção solar, sejam eles beiral, laje ou marquise devem sempre ser pensados para cada orientação individualmente.

Outra questão que deve merecer atenção especial é a presença de elementos de obstrução. Como visto no trabalho, os elementos podem mostrar grande eficiência para combate da insolação, mas pouca eficácia para melhoria do nível interno da iluminação. A geometria da proteção solar conjugada com os aspectos relativos à abertura irão determinar o quanto o brise será eficiente ou ineficiente em termos térmicos e lumínicos. Em virtude destes aspectos, o projeto do brise deve ser estudado profundamente, visto que sua geometria também influenciará no contato visual entre interior e exterior.

Dentre os aspectos relacionados com a parte interna da edificação, deve-se destacar o índice de refletância das superfícies internas. Como visto no trabalho, o índice de reflexão apresenta fundamental importância na distribuição da iluminação interna relacionada diretamente com a componente refletida interna. Valores mais altos de refletância podem proporcionar maiores níveis e melhor distribuição interna. Entretanto, valores muito altos podem causar desconforto visual pelo grande brilho que suas superfícies podem ter com a incidência da luz. Recomenda-se a utilização de valores propostos pela IESNA (REA, 1995) para todas as superfícies constituintes da sala. Destas superfícies, o teto deve merecer atenção especial. Para ele são recomendados valores altos de refletância, uma vez que esta é a superfície com maior influência interna e também porque o teto geralmente não está no campo de visão dos usuários, evitando assim, qualquer problema de brilho excessivo.

A preocupação em utilizar os princípios bioclimáticos não deve restringir a solução arquitetônica empregada, mas sim valorizá-la ainda mais. O propósito do arquiteto deve ser a busca de soluções bioclimáticas sem esquecer das questões arquitetônicas. Deve-se valorizar o conjunto arquitetônico da escola.

Acredita-se que um projeto não se justifica apenas por questões bioclimáticas ou ambientais, esquecendo das demais questões que envolvem a arquitetura. Desta forma, os novos projetos devem buscar soluções simultâneas que combinem as questões bioclimáticas sem esquecer do seu conteúdo arquitetônico. Entende-se que o projeto arquitetônico, deve ser sempre valorizado juntamente com os aspectos bioclimáticos, para que esta junção possa ser o diferencial e o ponto principal para aplicação prática dos conceitos bioclimáticos na arquitetura.

5.7 ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES

Embora o objetivo primordial do trabalho seja o de avaliar a influência de elementos de proteção solar na performance da iluminação natural no interior da sala de aula, o trabalho deixa importante legado no que concerne a forma metodológica de avaliação, assim como a maneira de revelar os resultados relacionados com o comportamento da iluminação.

A presente pesquisa incorpora diferentes parâmetros de avaliação já conhecidos e aplicados por outros autores em passado recente. Entretanto, o formato, o critério de classificação e de apresentação são reavaliados sofrendo incrementos e aperfeiçoamentos que visam retratar fielmente os conceitos pertinentes sem esquecer de facilitar o entendimento rápido das informações.

Começando por CABÚS em 1997, no estudo da distribuição de iluminâncias através da proposição de classificação de iluminâncias por região de mapeamento e da aplicação do coeficiente de variação como parâmetro de avaliação de desempenho da distribuição. Passando por ZEILMANN (1999), que utilizou a região de mapeamento proposta por CABÚS (1997) e avaliou a distribuição através dos conceitos da CIBSE (1994) referentes a uniformidade e a diversidade. MACÊDO (2002) em trabalho recente, utilizando critérios de avaliação da iluminação média interna e da diversidade para avaliar quantitativamente e qualitativamente a penetração da luz natural, atribuiu conceitos e símbolos através de intervalos de classificação como forma de avaliação de cada parâmetro.

Diante deste contexto anterior, o trabalho incorpora os diferentes parâmetros utilizados por estes autores com algumas modificações, restrições e aperfeiçoamentos. Da pesquisa realizada por CABÚS (1997), embora utilize-se a classificação de iluminância por região de mapeamento proposta pelo autor, algumas implementações foram realizadas. A classificação que era de 3 zonas de região de mapeamento, agora torna-se mais flexível e menos radical passando a ter 5 zonas. A definição dos limites do intervalo de classificação das iluminâncias que antes era variável de situação para situação, pois era função da iluminância média, nesta pesquisa passa a ter limites fixos dos intervalos em função da iluminância recomendada para o tipo de atividade. Já o parâmetro do coeficiente de variação está empregado fielmente, sendo apenas implementada zonas de classificação do mesmo através de conceitos e figuras. Isto também acontece na incorporação dos parâmetros da uniformidade e da diversidade utilizado por ZEILMANN (1999), que nesta pesquisa ganham zonas de classificação através de conceitos e figuras. Estes conceitos e figuras são baseados no trabalho de MACÊDO (2002). Embora também tenha-se incorporada a idéia de trabalhar com zonas de classificação e com os respectivos conceitos que a cercam, a presente pesquisa utiliza limites e classificações diferentes para as faixas de classificação. Neste, os intervalos não são tão austeros e rigorosos, são sim mais flexíveis e maleáveis, buscando sempre evitar o cansaço e o marasmo visual provocado pela pequena variação da iluminação (grande uniformidade, pequena diversidade e pouco contraste). Os símbolos também empregados por MACÊDO (2002) são transformados em figuras que facilitam o entendimento e compreensão dos resultados de forma mais rápida e interativa.

Entretanto, o ineditismo do trabalho relacionado principalmente com a determinação dos limites dos intervalos para avaliar as zonas de iluminância e a determinação de intervalos de classificação para os parâmetros do

coeficiente de variação, da uniformidade e da diversidade ainda não apresentam total confiabilidade e respaldo. É através da aplicação e continuidade deste estudo, seja com o seguimento fiel dos critérios ou com a promoção de melhorias no modelo utilizado, que se poderão tirar conclusões e informações seguras, precisas e confiáveis, a respeito dos critérios propostos pelo método.

A importância do estudo é de colocar a disposição diferentes parâmetros de avaliação com suas respectivas faixas de classificação. Embora tenha-se utilizado estes parâmetros nesta pesquisa, somente com a aplicação posterior destas ferramentas de avaliação em outros trabalhos, poderão ser atestados e validados os limites sugeridos. Também, com interpretações futuras poderão ser aperfeiçoados e reavaliados estes limites, sofrendo alterações ou incrementos que agreguem melhorias bem como aumentem a confiabilidade e a validade do método proposto.

Sendo assim, o trabalho cumpre com sua missão científica de contribuir com informações inéditas para o estudo da iluminação natural e com seu papel social de difundir a importância da iluminação natural, nunca contentando-se com os resultados atuais, mas sempre almejando o aperfeiçoamento e a melhoria nos trabalhos futuros.

5.8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como descrito anteriormente, a pesquisa científica deve ser sempre mutável e aperfeiçoável, neste sentido o trabalho lista algumas sugestões para trabalhos futuros que complementem ou que se relacionem com o tema proposto pelo trabalho:

- ① Medições in loco mais detalhadas e minuciosas em diversas condições e situações para analisar principalmente o conforto visual na escola protótipo da Prefeitura Municipal de Florianópolis;
- ② Avaliar subjetivamente as condições atuais da sala de aula protótipo através de entrevistas e questionamentos a fim de colher informações sobre a satisfação visual dos usuários;
- ③ Promoção de estudos que empreguem maior diversidade geométrica de elementos de proteção solar para avaliar a sua influência no comportamento interno da iluminação;
- ④ Implementação de estudos paralelos para avaliar a performance dos efeitos térmicos provocados pela inserção de elementos de proteção solar;
- ⑤ Desenvolvimento de softwares que permitam a promoção de estudos que utilizem elementos de controle mais sofisticados como a light-shelf com reflexão especular, painéis cortados a laser ou vidros com seleção angular;
- ⑥ Geração de estudos que analisem profundamente a influência do índice de refletância das superfícies internas no comportamento interno da iluminação natural, avaliando individualmente o tipo de superfície nas mais diversas situações;
- ⑦ Desenvolvimento de estudo apurado que questione e proponha soluções para o análise do dimensionamento mínimo de vãos de abertura empregado pelo atual Código de Obras e Edificações;

⑧ Realização de ensaios com novas proposições de sistema de iluminação para as escolas, visando avaliar uma nova configuração espacial para o protótipo escolar que contemple sistemas de iluminação zenital e lateral integrados;

⑨ Promoção de estudos para testar, validar ou modificar os critérios e limites propostos por este trabalho para os parâmetros das zonas de iluminância, uniformidade, diversidade e coeficiente de variação.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 📖 ABNT (1991): *Iluminância de interiores, NBR 5413*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1991.
- 📖 ABNT (1999): *Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição*. Projeto de norma 02:135.02-004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1999.
- 📖 AMARAL, M. G. V. (1999). Iluminação natural: revisão da legislação construtiva de Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1999.
- 📖 ANALYSIS v. 2.2 (2000): Programa Analysis para Avaliação Bioclimática e Conforto Térmico. LMPT/EMC e NPC/ECV, UFSC, Florianópolis/SC.
- 📖 ANDRADE, S. F. (1996): Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1996.
- 📖 Handboud da BATSFORD - *Energy in architecture* (1995). Batsford for the Commission of the European Communities. B. T. Batsford: Dublin, 1995.
- 📖 BOGO, A. J. (1996). Análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 1996.
- 📖 CABÚS, R. C. (1997). Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1997.
- 📖 CIBSE (1994) - The Chartered Institution of Building Services Engineers. Code for interior lighting. London, 1994.
- 📖 COHEN, M. F.; GREENBERG, D. P. (1985). The hemi-cube: a radiosity solution for complex environments. ACM – Computer Graphics, v.19, n° 3, 1985, pp 31-40.
- 📖 CLARO, A. (1998). Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural. Tese de Doutorado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis/SC, 1998.
- 📖 CORREA, S. M. (1999): *Visual task requirements in classrooms: a comparative analysis of a real case and a model*. In: Passive and low energy architecture (PLEA), Vol. 2, pp. 559-564, 1999.
- 📖 DAYLIGHTING IN ARCHITECTURE: a European reference book (1998). Commission of the European Communities. James & James: London, 1998.
- 📖 DOBRIN, M. (1998): *Daylighting in over-glazed educational buildings: a case study of a school in Slovenia* In: Passive and low energy architecture (PLEA), pp. 437-440, 1998.

- 📖 DUTRA, L. (1994). Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1994.
- 📖 ENERGY CONSCIOUS DESIGN: a primer for architects (1993). Batsford for the Commission of the European Communities. B. T. Batsford: Dublin, 1993.
- 📖 FLORIANÓPOLIS (1996). Lei Municipal n. 1246/74. Código de obras e edificações. Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Florianópolis, 1996.
- 📖 FLORIANÓPOLIS (2001). Relatório interno. Secretaria Municipal de Educação e Secretaria de Transportes e Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Florianópolis, 2001.
- 📖 FONTOYNOT, M. (1999). Daylight performance of buildings. James & James: Lyon, 1999.
- 📖 FREIRE, M. R. (1996). Iluminação natural em salas de aula: o caso das escolas FAEC em Salvador. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 1996
- 📖 GALLO, C. (1983). Bioclimatic architecture. ENEA – Italian National Agency for New Technology, Energy and Environment. IN/ARCH – Italian National Institute of Architecture, 1983.
- 📖 GELLER, H. (1994). O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, ACEEE, 1994.
- 📖 GHISI, E. (1997). Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1997.
- 📖 GÖSSEL, P.; LEUTHAUSEN, G. (1996): A arquitetura no século XX. Köln: Benedikt Taschen, 1996.
- 📖 GOULART, S. V. G. (1993). Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1993.
- 📖 GUZOWSKI, M. (2000): Daylighting for sustainable design. New York: McGraw-Hill, 2000.
- 📖 HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. (1966): Iluminação Natural. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1966.
- 📖 HOUSER, K. W.; TILLER, D. K.; PASINI, I. C. (1999): *Toward the accuracy of lighting simulations in physically based computer graphics software*. Journal of the Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 28, n.1, Winter 99, pp. 117-129.
- 📖 KITTLER, R.; PEREZ, R.; DARULA, S. (1997): *Sky classification respecting energy-efficient lighting, glare and control needs*. Journal of the Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 26, n.1, Winter 97, pp. 57-68.

- 📖 KREMER, A. (2000): *Projeto de uma escola bioclimática para Lages*. Trabalho final da disciplina projeto bioclimático. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 2000.
- 📖 LAM, W. M. C. (1986). Sunlighting: as formgiver for architecture. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- 📖 LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997.
- 📖 Lighting Design + Application - LD+A (1997): 1987 IESNA software survey. Vol. 27, n. 07, julho 1997.
- 📖 Lighting Design + Application - LD+A (1998): 1988 IESNA software survey. Vol. 28, n. 10, outubro 1998.
- 📖 LIGHTSCAPE (1996). User's Guide - Lightscape Visualition System Version 3.
- 📖 LITTLEFAIR, Paul (2001). *Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment*. Solar Energy, Vol. 70, n. 3, p.177-185.
- 📖 LYNES, J. A. (1968). Principles of natural lighting. London: Elsevier Publishing Company, 1968.
- 📖 MACEDO, C. C. (2002). Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 2002.
- 📖 MCHUGH, J.; BURNS, P. J.; HITTLE, D. C. (1998). *The energy impact of daylighting*. ASHRAE Journal, Vol. 40, n. 5, pp. 31-35.
- 📖 MILLET, M. S. (1996) Light revealing architecture. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996.
- 📖 MILLS, E.; BORG, N. (1999): *Trends in recommended illuminance levels: an international comparison*. Journal of the Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 28, n.1, Winter 99, pp. 155-163.
- 📖 MITCHELL, J.; ROSA, C.; ESTEVES, A.; Et ali (____). *Escuela Marcelino Blanco. Un edificio energeticamente eficiente en el este de Mendoza*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV – INCIHUSA), Mendoza, Argentina.
- 📖 MOECK, M. (1998): *On daylight quality and quantity and its application to advanced daylight systems*. Journal of the Illuminating Engineering Society (IES), Vol. 27, n.1, Winter 98, pp. 3-21.
- 📖 MOORE, F. (1991). Concepts and practice of architecture daylighting. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- 📖 *PASSIVE SOLAR SCHOOLS: a design guide* (1994). Department for Education - Architects and Building Division, 1994.
- 📖 PEREIRA, F. O. R. (1994). Iluminação. Apostila do curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho. Florianópolis.

- 📖 PEREIRA, F. O. R. (1995). Iluminação natural no ambiente construído. Apostila do curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, 1995.
- 📖 PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. (2000). Iluminação. Apostila do curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho, disciplina Higiene do Trabalho II. Florianópolis, 2000.
- 📖 PEREIRA, R. C. (2001). Estudo da iluminação espacial e do brilho das superfícies. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 2001.
- 📖 PROJETO DESIGN (2001). Revista projeto design, n. 257, julho 2001, pp 55-69.
- 📖 PROJETO DESIGN (2002-a). Revista projeto design, n. 267, maio 2002, pp 40-46.
- 📖 PROJETO DESIGN (2002-b). Revista projeto design, n. 272, outubro 2002, pp 44-55.
- 📖 REA, M. S. (1995). Lighting handbook – Reference e Aplicacion Illuminating Engineering Society of North America – IESNA. 8ª edição. New York, 1995.
- 📖 RIVERO, R. (1985): Arquitetura e Clima. São Paulo: D. C. Luzzatto Editores Ltda, 1985.
- 📖 ROBBINS, C. L. (1986). Daylighting: design and analysis. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- 📖 ROSA, C.; BASSO, M.; FERNÁNDEZ, J. C.; Et ali (1999). Energy efficient school buildings in central-western Argentina an assesment of alternative typologies for the classroom tier. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV – INCIHUSA), Mendoza, Argentina.
- 📖 SOUZA, R. V. G. (1997). Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias internas - desenvolvimento de ferramenta simplificada. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 1997.
- 📖 SOUZA, R. V. G.; KREMER, A.; MACEDO, C.; CLARO, A (2001-a). *Daylighting simulation: pros and cons*. In: The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture – PLEA 2001, ANAIS. Florianópolis – Brasil, 2001.
- 📖 SOUZA, R. V. G.; KREMER, A.; MACEDO, C.; CLARO (2001-b), A. *Simulação de iluminação natural utilizando o lightscape: uma análise do desempenho frente a diferentes características de superfícies*. In: IV Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ANAIS. São Pedro/SP – Brasil, 2001.
- 📖 TAVARES LEITE, M. D. R. (2001). Análise do desempenho luminoso de aberturas e bases para a construção de um ambiente hipermédia de aprendizagem. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis/SC, 2001.
- 📖 WALLACE, J. R.; COHEN, M. F.; GREENBERG, D. P. (1987). A two-pass solution to the rendering equation: a synthesis of ray tracing and radiosity methods. ACM – Computer Graphics, v.21, n° 4, 1987, pp 311-320.

- 📖 YANNAS, S. (editor) (1994-a). *Design of educational buildings - examples*. Environment and Energy Studies Programme. London: E. G. Bond, 1994.
- 📖 YANNAS, S. (editor) (1994-b). *Design of educational buildings - primer*. Environment and Energy Studies Programme. London: E. G. Bond, 1994.
- 📖 ZEILMANN, S. M. (1999). Iluminação natural por aberturas zenitais com elementos de controle. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis/SC, 1999.