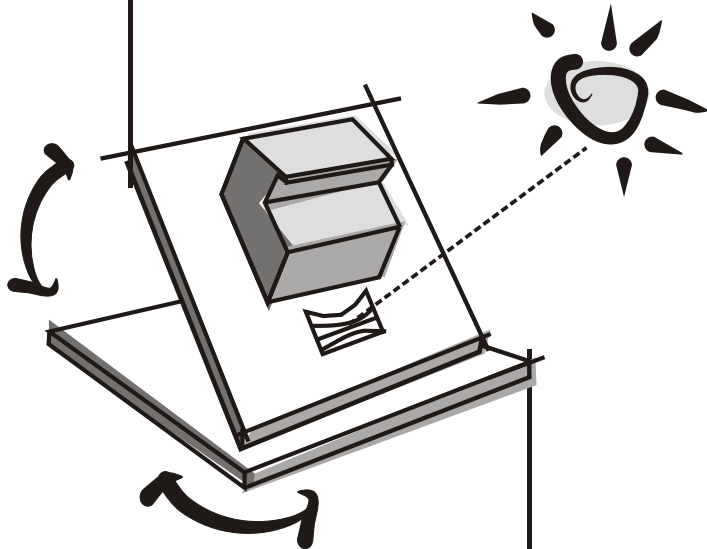




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO



DANIELA CARDOSO LAUDARES PEREIRA

ORIENTADOR:
PROF. DR. PAULO SERGIO SCARAZZATO

MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

SÃO PAULO, 2006

DANIELA CARDOSO LAUDARES PEREIRA

**MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS: UMA FERRAMENTA
PARA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato

São Paulo

2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

ASSINATURA:

E-MAIL: danilaudares@hotmail.com

Pereira, Daniela Cardoso Laudares

P436m Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para a avaliação da iluminação natural / Daniela Cardoso Laudares Pereira. - São Paulo, 2006.
246 p.: il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP

Orientador: Paulo Sérgio Scarazzato

1. Iluminação natural – Modelos físicos reduzidos 2. Iluminação natural – Simulação computacional I. Título

CDU 628.92.001.57

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação aos meus pais
pelo apoio incondicional durante toda
a minha vida e por acreditarem em
meu potencial.

Para o Fábio pela compreensão,
companheirismo e todo o incentivo
durante o desenvolvimento deste
trabalho.

AGRADECIMENTOS

*Às pessoas que entram em nossa vida por acaso,
mas não por acaso permanecem...*

À Deus por todas as oportunidades em minha vida !!

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato pelo aprendizado, sua convivência agradável, dedicação e entusiasmo durante a orientação deste trabalho, que me conduziu em busca deste assunto tão fascinante: a iluminação natural nas edificações.

Meu profundo agradecimento aos meus pais, Jaime e Elinea, e aos meus irmãos, Alessandro, Fabrícia e Paula, que sempre me apoiaram e acreditaram no meu sonho.

Ao Fábio pela paciência, companheirismo e amor. Por tornar os meus dias mais alegres e por estar ao meu lado durante a elaboração deste trabalho, me dando forças para vencer esta etapa em minha vida.

Aos meus queridos familiares e amigos por sempre compartilharem minhas conquistas com alegria. Agradeço também a compreensão por minha ausência, devido aos períodos de imersão nos estudos, e por me darem a garantia que estariam me esperando para comemorarmos juntos as vitórias.

Ao amigo e professor Nelson Solano Vianna pela oportunidade de convivência e aprendizado. Agradeço por sua competência e paixão no exercício das atividades didáticas, tornando-se um exemplo a ser seguido por todos que iniciam nesta seara.

Ao professor Dr. Geraldo Gomes Serra pela orientação no início desta pesquisa e por me fazer compreender todas as dimensões de um trabalho científico.

Aos professores Dr. Fernando Oscar Ruttkay Pereira e Dr^a. Marcia Peinado Alucci por aceitarem o convite para participar da banca deste trabalho e pelas preciosas sugestões apresentadas durante a avaliação.

Ao amigo Marcos Hideki Yamanaka meu profundo agradecimento pela colaboração

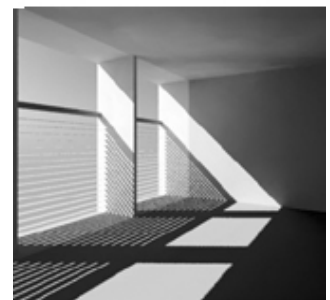
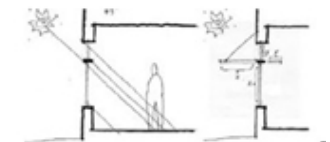
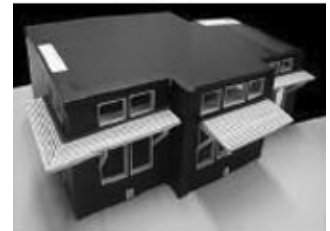
nas medições, sem a sua valiosa ajuda não teria sido possível a realização da parte experimental desta pesquisa. Agradeço também as longas discussões sobre o tema estudado, além dos artigos elaborados em parceria que muito engrandeceram o trabalho.

À amiga do curso de pós-graduação Cecília Mattos Mueller que sempre esteve disposta a me ajudar nos momentos em que mais precisei, com quem dividi as angústias e conquistas ao longo desta trajetória. Agradeço também pela concepção gráfica da capa desta dissertação, elaborada por esta amiga.

Aos amigos que fiz durante o curso de pós graduação, em especial: Andrea Bazarian Vosgueritchian, Dimas Bertolotti, Gisele Saveriano De Benedetto, José Ovídeo, Mônica Marcondes, Norberto Moura, Rita Buoro, Sandra Regina Pinto, Walter Ferreira Galvão.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro necessário.

A todos que colaboraram com discussões, sugestões e incentivos para o sucesso deste trabalho, meus agradecimentos !!!



"A criação do espaço na arquitetura é simplesmente a condensação e purificação do poder da luz."

Tadao Ando

RESUMO

PEREIRA, D. C. L. **Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para a avaliação da iluminação natural**. 2006. 245p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

O presente trabalho se propõe a analisar o método para avaliação da iluminação natural, utilizando os modelos físicos reduzidos como ferramenta, com o intuito de avaliar os aspectos quantitativos e qualitativos da luz. Foi realizado um diagnóstico deste método mostrando suas qualidades e limitações.

O uso de modelos físicos reduzidos é um dos métodos mais antigos de avaliação da iluminação natural. Este é um instrumento preciso, caso o modelo seja executado de forma correta, considerando-se que a propagação da luz segue os mesmos princípios tanto em um modelo físico reduzido, como em um edifício em escala real. Através deste instrumento, torna-se possível testar as diversas soluções em busca da eficiência energética e do conforto visual.

Para verificar o grau de confiabilidade dos resultados através da aplicação deste método foi feita uma comparação entre medições da iluminância em um modelo físico reduzido e medições realizadas em um ambiente real correspondente. Com o objetivo de demonstrar os procedimentos necessários para o uso de modelos físicos reduzidos no estudo da iluminação natural, foram feitas medições em dois modelos com estratégias de iluminação diferenciadas. Um deles possui iluminação natural unilateral, ao passo que, o segundo possui as características da abertura unilateral semelhante ao primeiro, porém, com a inclusão de uma prateleira de luz. Já o ambiente real foi selecionado devido à simplicidade de sua geometria e a facilidade de acesso para a realização das medições.

As conclusões demonstram que para alcançar resultados confiáveis é necessário construir os modelos com precisão, sendo recomendável medir a iluminância dos mesmos sob diversas condições de céu, para que desta forma seja possível avaliar o desempenho médio da iluminação natural por um longo período.

Palavras-chave: Iluminação natural. Modelos físicos reduzidos. Simulação computacional. Ferramentas manuais para a predição da iluminação natural.

ABSTRACT

PEREIRA, D. C. L. **Scale models: a tool for daylighting evaluation.** 2006. 245p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

The present work considers the analysis of scale models for daylighting evaluation, aiming at investigating quantitative and qualitative aspects of light. A diagnosis of scale modeling was carried out, showing its strengths and limitations.

Scale modelling is one of the oldest methods for daylighting evaluation. It is also a precise instrument, when properly constructed, considering that light propagation follows the same principle in a scale model as it does in a full-scale room. Through this method, it is possible to test different solutions towards energy efficiency and visual comfort.

To verify the trustworthiness of scale modeling, a comparison between illuminance measurements in a scale model against a corresponding full-scale room was carried out. Two scale models with different daylighting systems were built to demonstrate the necessary procedures in utilizing scale models for daylighting studies: one of them had embedded a sidelighting system, and the other one, which held similar characteristics, comprised also a lightshelf. Nevertheless, the full-scale room was selected taking into consideration the simplicity of its geometry and the easiness of the access for the measurement procedures.

The conclusions demonstrate that in order to reach trustworthy results, it is necessary to construct scale models in a precise way. Furthermore, it's recommended to measure the illuminance under diverse sky conditions, enabling the evaluation of average daylighting performance within long terms.

Key-words: Daylighting. Scale models. Physical models. Computer simulation. Manual tools for daylighting predicting..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético, com destaque da faixa de radiação solar incidente na Terra e a radiação visível (luz) contidas neste espectro Fonte: Baseado em Marsh (s.d) e Moore (1991)	12
Figura 2 - Variáveis que interferem na iluminação natural Fonte: Material de aula do Prof. Nelson Solano Vianna, baseado em Vianna e Gonçalves, 2004	14
Figura 3 - Reflexão, absorção e transmissão - Fonte: Goulding, Lewis e Steemers (1992).	14
Figura 4 - Comparação entre superfícies: (a) especular; (b) difusa (c) semi-difusa Fonte: Moore (1991)	15
Figura 5 - Detalhe do brise - Soleil do Ministério da Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro - Fonte: Melendo (2004) Foto de Francisco J. Martinez	16
Figura 6 - Exemplos de diferentes tipos de céus- Fonte : Marsh, (s.d) / site : < www.squ1.com > Acesso em: 05 june 2005.....	19
Figura 7 - Tipos de céu padrão CIE- Fonte: Daymedia, londonmet (site)	19
Figura 8 - Céu claro- Fonte: Moore, 1991	20
Figura 9 - Céu encoberto - Fonte : Moore, 1991	21
Figura 10 - Nivel de iluminação (lux) - Fonte : Vianna e Gonçalves, 2001	25
Figura 11 - Eficiência de penetração da luz lateral - Fonte: Egan (1983)	32
Figura 12 - Tipologias de Iluminação natural usualmente utilizadas em projetos - Fonte: Illuminating Engineering Society of North America (1999)	35
Figura 13 - Átrio escalonado - Fonte: Lam (1986)	36
Figura 14 - Ambiente mostrando as curvas isolux e o sistema de iluminação artificial com circuitos independentes - Fonte: Loe (2003)	39
Figura 15 - Zonas de iluminação com características semelhantes do FLD Fonte: Website CLEAR - Comfortable Low Energy Architecture	41
Figura 16 - Iluminância externa e interna - Fonte : Alucci (2002)	50
Figura 17 - Fontes de luz natural que alcançam o edifício - Fonte : ABNT, 2005c	
Figura 18 - (a) Máscara de obstrução para o ponto interno analisado, (b)	

sobreposição da máscara sobre o DCRL, (C) Parcela de céu visível pela abertura de iluminação - Fonte : ABNT (2005c)	53
Figura 19 - (a) Exemplo de projeção de obstrução; (b) Diagrama com fatores de forma - Fonte: ABNT, 2005c)	54
Figura 20 - Projeção das superfícies internas do ambiente em relação ao ponto de análise com exemplo da superposição sobre o diagrama com os fatores de forma - Fonte: ABNT (2005c)	54
Figura 21 - Transferidores para a determinação da componente de céu em casos de janelas envidraçadas verticalmente Fonte: Marsh, (s.d) <site: www. squ1.com>	56
Figura 22 - Nomograma para determinar o valor médio da componente refletida interna (CRI) - Fonte: Baker e Steemers (2002)	60
Figura.23 - Gráfico que determina o fator de correção para piso com refletância superior ao valor 10% - Fonte: Baker e Steemers, 2002.....	60
Figura 24 - Fluxograma do processo de decisão para o uso de programas da simulação da luz natural durante a fase de projeto - Fonte: Reinhart (2005, p.8). Tradução nossa.....	63
Figura 25 - Informação requerida pela ferramenta de simulação computacional sobre o edifício e a condição de céu, para cálculo da distribuição da luminância e iluminância - Fonte: Reinhart (2005)	65
Figura 26 - Exemplos de imagens analíticas em false color (cores falsas) à esquerda. As imagens em cores falsas são resultado das imagens renderizadas, onde uma escala das cores (ou de linhas coloridas) entre azul e o vermelho é atribuído aos valores do luminância ou da iluminância - Fonte: Baker e Steemers (2002)	66
Figura 27 - (A) Divisão das superfícies em uma malha, (B) A geometria de fatores de forma entre dois elementos da superfície - Fonte: Miguet e Groleau (2002)	74
Figura 28 - Ilustração do procedimento ray tracing reverso no Radiance - Fonte: Altmann e Apian-Bennewitz (2001)	77
Figura 29 - Modelo reduzido para análise quantitativa e qualitativa da luz - Fonte: Robbins (1986)	88
Figura 30 - Modelo de massa volumétrica para estudo de sombreamento - Fonte: Robbins.(1986)	94

Figura 31 - Construção do modelo reduzido - Fonte: Egan (1983)	96
Figura 32 - Fotocélula disposta em um suporte para facilitar a entrada no modelo. Deve-se ter cuidado neste tipo de solução para que não entre luz nas aberturas - Fonte: Moore, 1991	97
Figura 33 - Sistema de aquisição de dados da iluminação natural. Conjunto de fotocélulas e datalogger - Fonte: Schiler e Japee (s.d.)	98
Figura 34 - Distribuição dos pontos de medição - Fonte: Robbins (1986)	99
Figura 35 - (A) Colocação imprópria do sensor, pois não coincide com o plano de trabalho (B) Colocação correta do sensor no plano de trabalho - Fonte: Robbins (1986)	99
Figura 36 - Medição com modelo reduzido utilizando o relógio de Sol e a prancha inclinável - Fonte: Schiler. e Japee (sd)	100
Figura 37 - Erros resultantes da inclinação do modelo para simular outras épocas do ano. (1) céu visto pelo edifício real; (2) céu visto pelo modelo, (3) erro de visualização do céu associado ao modelo - Fonte: Moore (1991)	101
Figura 38 - Medição da iluminância difusa (a) com a faixa de sombreamento (b) com o disco de sombreamento - Fonte: Robbins, 1986	103
Figura 39 - Suporte para sombrear a fotocélula externa – Fonte: Magalhães (2000)	103
Figura 40 - Relação angular entre o modelo, edifício real e edifícios adjacentes. O ângulo (A) corresponde ao angulo entre o edifício e o entorno. O ângulo (B) corresponde ao ângulo formado entre o modelo e a obstrução real (incorreto) - Fonte : Robbins, 1986	103
Figura 41 - Céu artificial “caixa de espelho” - Fonte: Moore, 1991.....	105
Figura 42 - (A) Céu artificial hemisférico da Universidade de Berkeley, (B) corte esquemático do céu hemisférico, (C) axonométrica do céu hemisférico. Fonte: (A) Ander(1995);(B) Moore(1991), (C) Baker e Steemers (2002)	106
Figura 43 - Simulador de céu com pontos de luz – Fonte: < www.learn.londonmet.ac.uk >	106
Figura 44 - (A) Configuração do simulador de céu indicando a posição e dimensão dos discos luminosos que constituem a abóbada celeste, (B) Foto do simulador de céu - Fonte: (A) e (B) Baker e Steemers, 2002.....	107
Figura 45 - Fotos da fachada no exterior do modelo em escala real	

Fonte: Lawrence Berkeley National Laboratory (2005)	108
Figura 46 - (A) Simulação de um modelo com o heliodon (B) Foto do heliodon Fonte: (A) Robbins (1986) (B) Pacific Gas and Electric Company (site)	109
Figura 47 - Helioscópio do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de tuiuati no Paraná - Fonte: Yamamoto;Krüger e Dumke (2003)	110
Figura 48 - (A) Abertura no modelo reduzido utilizada para fotografar o interior dos mesmos, (B) Comparação de ângulos de visão de várias lentes e do olho humano utilizados para fotografar modelos reduzidos Fonte: (A) Baker e Steemers (2002), (B) Robbins (1986)	111
Figura 49 - Interior do modelo da Galeria Nacional do Canadá, que utiliza a estratégia de iluminação zenital - Fonte: Lam (1986)	112
Figura 50 - Interior do modelo de um edifício de escritórios, que utiliza a estratégia da iluminação lateral - Fonte: Lam,1986.....	112
Figura 51 - Observador analisando o interior do modelo reduzido. (A) Método incorreto pois a luz poderá entrar pela abertura de visualização (B) Utilização de um pano preto para bloquear a entrada de luz - Fonte: Robbins (1986)	112
Figura 52 - (A) Foto do interior de um modelo reduzido de uma igreja, (B) Ambiente real utilizado para a modelagem Fonte: (A) e (B) Moore (1991)	113
Figura 53 - Localização da sala de reuniões na implantação do edifício do CIETEC - Fonte: Autora da pesquisa.....	115
Figura 54 - Planta da sala de reuniões com a disposição da malha de pontos para medição (à direita). À esquerda, corte longitudinal da sala Fonte: Autora da pesquisa	116
Figura 55 - (A) e (B) Fotos internas da sala de reuniões, (C) Foto externa do edifício - Fonte: Autora da pesquisa	116
Figura 56 - (A) Vista externa da sala de reuniões, (B) Modelo reduzido ao lado do ambiente real, (C) Medição do modelo reduzido - Fonte: Autora da pesquisa	119
Figura 57 - (A) medição no modelo, (B) Aberturas inferiores para inserção do sensor, (C) Sensor no interior do modelo - Fonte: Autora da pesquisa.....	120
Figura 58 - (A) Luxímetro utilizado, (B) Medição no ambiente real,	

(C) e (D) Registro da condição de iluminação e insolação	
Fonte: Autora da pesquisa	120
Figura 59 - (A) Céu claro, (B) Céu parcialmente encoberto, (C) Céu encoberto -	
Fonte: Autora da pesquisa.....	120
Figura 60 - (A) Vista interna do modelo reduzido (B) Vista externa do modelo	
reduzido	
Fonte: Autora da pesquisa	126
Figura 61 - Detalhes construtivos do modelo reduzido. (A) Vista posterior do modelo	
reduzido mostrando a localização dos orifícios para a passagem da	
fotocélula e acesso da câmara fotográfica. (B) e (C) Detalhes do orifício	
para evitar vazamento de luz (D) Detalhe do vinco na base do modelo	
reduzido para o encaixe das paredes - Fonte: Autora da pesquisa.....	126
Figura 62 -.Pontos monitorados - Fonte: Autora da pesquisa	127
Figure 63 -.Monitoramento do modelo reduzido (ambiente real) - Fonte: Autora da	
pesquisa	127
Figura 64 -.Corte do edifício onde está localizada a sala de reuniões.mostrando a	
obstrução frontal da mesma - Fonte: Autora da pesquisa	128
Figura 65 - Transformação do modelo reduzido da sala de reuniões nos modelos	
reduzidos 1 e 2 - Fonte: Autora da pesquisa	140
Figura 66 - Planta e corte do modelo reduzido 1 - Escritório	
Fonte: Autora da pesquisa	141
Figura 67 - Planta e corte do modelo reduzido 2 – Escritório - Fonte: Autora da	
pesquisa	141
Figura 68 - Esquema geral das características de monitoramento da iluminação	
natural “in situ” em função do nível, dos objetivos, das condições de céu e	
do tipo de medições/ avaliações - Fonte: SANTOS, 2002.....	143
Figura 69 - Medição do modelo 1 e 2 sob condição de céu encoberto. (DIA:	
26/03/06)	
Fonte: Autora da pesquisa	149
Figura 70 - Esquema de uso do relógio de sol para ajuste do azimute e altura solar -	
Fonte: Moore (1991)	151
Figura 71 - Foto exterior do modelo 2 com relógio de sol - Fonte : Autora da pesquisa	
.....	151
Figura 72 - Foto do relógio de sol - Fonte : Autora da pesquisa.....	151

Figura 73 - Fluxograma dos procedimentos necessários para a aplicação do método 1 - Fonte: Autora da pesquisa	155
Figura 74 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz) Fonte: Autora da pesquisa	156
Figura 75 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (prateleira de luz) Fonte: Autora da pesquisa	157
Figura 76 - Fluxograma dos procedimentos necessários para a aplicação do método 1 - Fonte: Autora da pesquisa	160
Figura 77 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)	161
Figura 78 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)	162
Figura 79 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)	163
Figura 80 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)	164
Figura 81 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)	165
Figura 82 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)	166
Figura 83 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)	167
Figura 84 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz))	168
Figura 85 - Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 9h.....	170
Figura 86 - Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 9h.....	170
Figura 87- Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 11h.....	170
Figura 88 - Modelo 2. Penetração solar – 22 de junho às 11h.....	170
Figura 89- Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 13h.....	170
Figura 90 - Modelo 2. Penetração solar – 22 de junho às 13h.....	170
Figura 91 - Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 15h.....	170
Figura 92 - Modelo 2. Penetração solar – 22 de junho às 15h.....	170

Figura 93- Modelo 1. Penetração solar – 22 de junho às 17h.....	170
Figura 94- Modelo 2. Penetração solar -22 de junho às 17h.....	170
Figura 95 - Imagem do escaner de céu utilizado para fazer as medições da distribuição da luminância da abóbada celeste e da sala de escritório onde é feita a medição interna simultânea Fonte: Mardaljevic (2002)	209
Figura 96 - Tela de parâmetros avançados. O número de reflexões do ambiente pode ser ajustado para o interior e para os cálculos do mkillum - Fonte: Interface do programa Desktop Radiance	209
Figura 97- Os parâmetros mais importantes para o cálculo do ambiente - Fonte: Altmann , Apian-Bennewitz (2001)	213
Figura 96 - Resultado das imagens devido a escolha de diferentes parâmetros: (A) 1 reflexão indireta (ab = 1, ad = 128), (B) 7 reflexões indireta (ab = 7, ad = 16000)Tempo gasto na renderização: (A) 0,431 h, (B) 24h - Fonte: Altmann, Apian-Bennewitz (2001)	213
Figura 98 - Possibilidades da análise da insolação e iluminação natural no Ecotect - Fonte: Marsh (2003)	215
Figura 99 - Análise do sombreamento durante alguns períodos do ano - Fonte: ecoMOD – University of Virginia School of Architecture	215
Figura 100 - Carta Solar mostrando o sombreamento (mascaramento) de um ponto externo selecionado - Fonte: Marsh, 1997.....	216
Figura 101 - (A) Gráfico tridimensional gerado no Surfer, (B) Gráfico bidimensional gerado no Surfer Fonte: Claro, Pereira e Aguiar (2003)	226
Figura 102 - (A) Visualização distribuição luminosa da abóbada celeste em projeção estereográfica, (B) Carta Solar mostrando o mascaramento de um ponto interno do ambiente - Fonte: Claro, Pereira e Aguiar (2003)	226
Figura 103 - (A) Tela inicial do programa DLN, (B) Gráfico de iluminância calculado para o dia 22/12, na cidade de São Paulo Fonte: Interface do programa	227
Figura 104 - Tela de resultados do programa Lux 1.0 - Fonte: Interface do programa Lux 1.0.....	228
Figura 105 - (A) Tela de resultados da mancha de Sol no ambiente, (B) Distribuição da iluminação natural em curvas isolux.....	229

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Disponibilidade de luz em São Paulo- dia 22/06 Fonte :Software DLN, Scarazzato (1995).....	22
Gráfico 2 - Disponibilidade de luz em São Paulo- dia 22/12 Fonte :Software DLN, Scarazzato (1995)	22
Gráfico 3 - Freqüência de ocorrência dos níveis de iluminância para São Paulo - Fonte: Alucci, 2002	81
Gráfico 4 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 5 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 6 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 7 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 8 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	122
Gráfico 9 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 10 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 11 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 12 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)	122
Gráfico 13 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 14 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 15 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123

Gráfico 16 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 17 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 18 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 19 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 20 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 21 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)	123
Gráfico 22 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 23 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 24 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 25 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 26 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 27 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 28 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 29 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 30 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)	124
Gráfico 31 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)	129
Gráfico 32 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)	129

Gráfico 33 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)	129
Gráfico 34 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)	129
Gráfico 35 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)	129
Gráfico 36 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 9h)	173
Gráfico 37 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 9h)	173
Gráfico 38 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 13 h)	173
Gráfico 39 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 13h)	173
Gráfico 40 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 17h)	173
Gráfico 41 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 17h)	173
Gráfico 42 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (24 de setembro às 9h)	174
Gráfico 43 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (21 de março às 9h)	174
Gráfico 44 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (24 de setembro às 13h)	174
Gráfico 45 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (21 de março às 13h)	174
Gráfico 46 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (24 de setembro às 17h)	174
Gráfico 47 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (21 de março às 17h)	174

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro 1 - Classificação dos componentes para a luz natural Fonte: Baker, Fanchiotti e Steemers (1993)	31
Quadro 2 - Escolha da escala em função do propósito do projeto de iluminação natural - Fonte: (RUCK, et al., 2000) Tradução nossa	93
Quadro 3 - Propriedades das superfícies da sala de reuniões.....	117
Quadro 4 - Propriedades das superfícies do modelo físico reduzido	118
Quadro 5 - Relação de softwares gratuitos para a avaliação da iluminação natural	240

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 12/04/05)	122
Tabela 2 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 13/04/05)	123
Tabela 3 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 24/04/05 e 26/04/05)	124
Tabela 4 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 24/04/05 e 26/04/05)	
Tabela 5 - Nebulosidade para a cidade de São Paulo, novembro de 2005 Fonte: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) - USP, 2005	143
Tabela 7 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no verão - São Paulo (1993 a 2005) - Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG - USP durante os anos de 1993 a 2005.....	231
Tabela 8 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no inverno - São Paulo (1993 a 2005) - Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG - USP durante os anos de 1993 a 2005.....	232
Tabela 9 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no outono - São Paulo (1993 a 2005) - Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG – USP durante os anos de 1993 a 2005.....	233
Tabela 10 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu na primavera - São Paulo (1993 a 2005) - Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG – USP	

durante os anos de 1993 a 2005.....	234
Tabela 11 - Valores de iluminância medidos nos modelos 1 e 2 , sob condição de céu encoberto.....	235
Tabela 12 - Valores de iluminância simulados para o dia 22/12, através do relógio de sol, sob condição de céu claro	236
Tabela 13 - Valores de iluminância simulados para o dia 21/03, através do relógio de sol, sob condição de céu claro	237
Tabela 14 - Valores de iluminância simulados para o dia 22/06, através do relógio de sol, sob condição de céu claro.....	238

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BRS - *Building Research Station*
- CIBSE - *The Chartered Institution of Building Services Engineers*
- CIE - *Commission Internationale d'Éclairage*
- CIETEC - Centro Incubador de Empresas Tecnológicas
- DCRL - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz
- DLN - Disponibilidade de Luz Natural
- ENCAC (Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído)
- ENTAC (Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído)
- FLD - Fator de Luz do Dia
- GRAPHICA - Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho
- IBPSA - Associação Internacional para Simulação de Desempenho de Edifício
- IEA - *International Energy Agency*
- IES - *Illuminating Engineering Society*
- IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America*
- LBNL - *Lawrence Berkeley National Laboratory*
- NBR - Norma Técnica Brasileira
- NUTAU - Núcleo de Pesquisa de Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo
- SIGRADI - Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital

SUMÁRIO

Dedicatória.....	II
Agradecimentos	III
Epígrafe	V
Resumo.....	VI
Abstract	VII
Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Gráficos	XV
Lista de Quadros.....	XVIII
Lista de Tabelas	XIX
Lista de Abreviaturas	XXI

Parte 1 - Introdução

I INTRODUÇÃO.....	2
I.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
I.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	3
I.3 OBJETO DE ESTUDO	5
I.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	5
I.5 ESTRUTURA DA PESQUISA	5
II METODOLOGIA	7
II.1 VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO DOS VALORES MEDIDOS EM UM MODELO REDUZIDO E NO AMBIENTE REAL CORRESPONDENTE.....	7
II.1.1 Primeira Etapa de Medições.....	7
II.1.2 Segunda Etapa de Medições.....	9
II.1 PROCEDIMENTOS PARA O USO DE MODELOS REDUZIDOS NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	10

Parte 2 - Revisão bibliográfica

CAPÍTULO 1 - A PRÁTICA DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	12
---	----

1.1 O QUE É LUZ NATURAL?	12
1.2 VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	13
1.2.1 Elementos de Controle Externos e Internos	16
1.2.2 Tipologia do Entorno e Geometria do Ambiente	17
1.3 O SOL E O CÉU COMO FONTES DE LUZ.....	18
1.3.1 Tipos de Céu	20
1.3.1.1 Céu claro.....	20
1.3.1.2 Céu encoberto.....	21
1.3.1.3 Céu uniforme.....	21
1.3.1.4 Céu parcialmente encoberto	21
1.3.2 Disponibilidade de Luz Natural no Brasil	22
1.4 ASPECTOS QUANTITATIVOS DA LUZ.....	23
1.5 GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS MENSURÁVEIS. DEFINIÇÕES E UNIDADES.....	24
1.6 ASPECTOS QUALITATIVOS DA LUZ NOS ESPAÇOS.....	26
1.7 OFUSCAMENTO	28
1.8 Os PRINCIPAIS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	29
1.8.1 Iluminação Lateral	32
1.8.2 Iluminação Zenital	34
1.8.3 Átrios	36
1.8.4 Sistemas Avançados de Iluminação	36
1.9 ECONOMIA DE ENERGIA ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL À ARTIFICIAL.....	38
1.10 CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
 CAPÍTULO 2 - MÉTODOS MANUAIS PARA O CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	 47
2.1 MÉTODO DOS LUMENS	48
2.2 FATOR DE LUZ DO DIA (FLD)	49
2.3 MÉTODO DO FLUXO DIVIDIDO.....	51
2.4 DIAGRAMA DE CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DA LUZ (DCRL)	52
2.5 TRANSFERIDORES DE ILUMINAÇÃO NATURAL BRS.....	55

2.6	NOMOGRAMA DE ILUMINAÇÃO PARA DETERMINAR A CRI.....	58
2.7	CONSIDERAÇÕES GERAIS	60
CAPÍTULO 3 - MODELOS COMPUTACIONAIS PARA A SIMULAÇÃO DA		
ILUMINAÇÃO NATURAL.....		
3.1	PESQUISAS ENVOLVENDO O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	68
3.2	ALGORITMOS PARA CÁLCULO DA LUZ NATURAL	72
3.2.1	Método da Radiosidade.....	73
3.2.2	Método <i>Ray tracing</i>	75
3.3	SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DA LUZ NATURAL	78
3.4	COMO FAZER UMA ANÁLISE DE LONGO PRAZO DA ILUMINAÇÃO NATURAL COM O ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL?.....	80
3.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	84
CAPÍTULO 4 - MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS PARA AVALIAÇÃO DA		
ILUMINAÇÃO NATURAL.....		
4.1	CONCEITO DE MODELO	86
4.2	MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS PARA O ESTUDO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	87
4.3	PESQUISAS ENVOLVENDO MODELOS REDUZIDOS	89
4.4	TIPOS E ESCALA DO MODELO REDUZIDO	92
4.5	A CONSTRUÇÃO DO MODELO REDUZIDO	94
4.6	MEDIÇÕES	97
4.6.1	Medição sob Céu Real	99
4.6.2	Medição sob Céu Artificial.....	104
4.6.2.1	<i>Céu artificial retilíneo (caixa de espelho)</i>	104
4.6.2.2	<i>Céu artificial hemisférico</i>	105
4.6.2.3	<i>Simulador de céu (Scanning sky simulator)</i>	106
4.7	O USO DE MODELOS EM ESCALA REAL	108
4.8	VERIFICAÇÃO DA INSOLAÇÃO NOS MODELOS.....	109
4.9	DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA.....	110
4.10	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	112

Parte 3 - Processo Experimental e Análise dos Resultados

CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES NO MODELO REDUZIDO E NO AMBIENTE REAL	115
5.1 ESTUDO DE CASO - SALA DE REUNIÕES	115
5.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE REAL	115
5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO REDUZIDO.....	117
5.4 MEDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL - PRIMEIRA ETAPA	118
5.4.1 Resultado das Medições- Primeira Etapa.....	121
5.4.2 Dificuldades do Processo	125
5.5 REFORMULAÇÃO DO MODELO REDUZIDO	125
5.6 MEDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL - SEGUNDA ETAPA.....	127
5.6.1 Resultado das Medições - Segunda Etapa.....	128
5.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS FATORES DE INCORREÇÃO NAS MEDIÇÕES EM MODELOS REDUZIDOS	131
5.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS	134
CAPÍTULO 6 - METODOLOGIA DO USO DE MODELOS REDUZIDOS PARA A ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	136
6.1 PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS	137
6.1.1 Construção do Modelo Reduzido	140
6.1.2 Escolha das Condições de Céu para a Medição do Modelo Reduzido	141
6.1.2.1 Céu encoberto.....	144
6.1.2.2 Céu parcialmente encoberto	145
6.1.2.3 Céu claro.....	147
6.1.3 MEDIÇÕES DOS MODELOS REDUZIDOS.....	147
6.1.3.1 Medições sob condição de céu encoberto.....	149
6.1.3.2 Medições sob condição de céu claro	150
6.1.4 ELABORAÇÃO DA PLANILHA PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	153

6.1.4.1 Método 1 - Monitoramento Nível 1	153
6.1.4.2 Método 2 - Monitoramento Nível 2	158
6.1.5 Fotografia do Interior do Modelo Reduzido - Análise Qualitativa..	169
6.1.6 Análise dos Resultados.....	171
6.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS	174

Parte 4 - Conclusões

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	177
7.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS	177
7.2 PERSPECTIVAS PARA PESQUISAS FUTURAS	179
7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	180
REFERÊNCIAS.....	183
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	193
GLOSSÁRIO	199
APÊNDICES	199
Apêndice A - Softwares utilizados para o estudo da iluminação natural	205
Apêndice B - Frequência de ocorrência para três tipos de céu em São Paulo	230
Apêndice C - Tabela das medições das iluminâncias nos modelos 1 e 2	235
ANEXOS	
Anexo A - Relação de softwares gratuitos para a avaliação da iluminação natural	240
Anexo B - Relógio de Sol utilizado nas medições Latitude 23° 27 Sul.....	242
Anexo C - Tabelas de disponibilidade de luz natural para São Paulo.....	244

- I - INTRODUÇÃO
- II - METODOLOGIA

PARTE 1

INTRODUÇÃO

I.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

Preocupações relacionadas à eficiência energética e qualidades da luz interna nas edificações têm se tornado uma tendência no Brasil, que caminha para uma consolidação futura, à medida que legislações mais rigorosas forem se impondo.

O consumo de energia elétrica em edificações residenciais, comerciais e públicas corresponde a 44% do total nacional, produzidos neste setor¹. Nos prédios públicos e comerciais, os sistemas de iluminação representam 24% do consumo total nos edifícios com ar condicionado e 70% nos edifícios não climatizados (PROCEL, 1993)².

Os dados referidos mostram que é significativo o impacto dos sistemas de iluminação artificial no consumo final das edificações. Neste contexto, a iluminação natural se apresenta como uma poderosa estratégia na busca de uma maior eficiência energética. O correto uso da luz natural em combinação com o sistema de iluminação artificial pode alcançar economias energéticas bastante expressivas, principalmente em edifícios comerciais, industriais e públicos. Em edifícios residenciais, apesar desta economia ser menor, a luz natural tem uma influência positiva na qualidade dos espaços e saúde dos usuários.

A estratégia correta do uso da luz natural, visando o seu melhor aproveitamento, apresenta algumas dificuldades que estão relacionadas ao contexto dinâmico próprio de sua natureza, que varia de acordo com a latitude, ciclos diários e sazonais, influências do sítio e climáticas (TEIXEIRA, 2004).

Diversos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de ajudar na compreensão do comportamento da luz natural e exploração das possibilidades de projeto. Dentre eles podemos citar: os métodos gráficos e matemáticos simplificados, as simulações

¹ MME- Ministério das Minas e Energia – Brasil. Balanço. Consumo setorial de eletricidade – Ano base do dado: 2004.

² Embora os dados sejam antigos, o próprio PROCEL não dispõe de dados mais recentes sobre o consumo desagregado de energia elétrica por usos finais.

com modelos físicos reduzidos e a modelagem matemática através de simulações computacionais.

O uso de modelos físicos reduzidos é uma das formas mais antigas de avaliação da iluminação natural. Na vasta bibliografia consultada os autores afirmam que o modelo físico reduzido é um instrumento bastante preciso para avaliar a iluminação natural, considerando-se que a propagação da luz não distorce devido à diferença de escala. A principal razão deste fato pode ser explicada pelas características físicas da luz com comprimento de ondas extremamente reduzido, na faixa de 380-780nm (ROBBINS, 1986).

Porém, há pesquisadores que compararam valores de iluminação medidos em um modelo reduzido e no ambiente real correspondente, sob as mesmas condições de iluminância, encontrando discrepâncias consideráveis entre estes valores.

Assim, os problemas que esta pesquisa visa responder são: quais os cuidados e procedimentos necessários para que o modelo físico reduzido se apresente como uma ferramenta confiável para a avaliação da iluminação natural nas edificações? Qual o procedimento para a verificação do desempenho da iluminação natural ao longo do ano? O que deve ser medido? Como devem ser feitas estas medições? Qual a forma de avaliar os dados obtidos?

O modelo é uma representação de uma realidade, na qual a representação se faz através da expressão de certas características relevantes da realidade observada. (ECHENIQUE, 1975). Sabe-se que o modelo é reducionista e que para a sua construção devem ser escolhidas características do objeto real que interessam para a obtenção do objetivo final. Assim, o conhecimento das características dos modelos reduzidos e da metodologia para a sua utilização possibilita o entendimento das qualidades e limitações de uso desta ferramenta.

A importância da predição da iluminação natural está na possibilidade da sua integração com a iluminação artificial, resultando em projetos que buscam o conforto luminoso interno e a racionalização da energia.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O que levou a realização da presente pesquisa foi o propósito de avaliar as

qualidades e limitações do uso de modelos físicos reduzidos para o estudo da iluminação natural.

Observa-se que muitos projetos arquitetônicos não aproveitam a luz natural de forma eficiente por desconhecimento de seus princípios, recursos e formas de avaliação. Este fato justifica pesquisas relacionadas ao estudo de métodos preditivos do comportamento da luz natural, devido sua importância na concepção das edificações.

Na história da arquitetura, o correto uso da luz natural sempre esteve ligado à prática de projeto. Porém, com o desenvolvimento da tecnologia que resultou no surgimento dos sistemas artificiais de iluminação e no condicionamento artificial dos ambientes, ocorreu uma contradição na arquitetura que, ao se apropriar dos recursos artificiais, relegou a segundo plano o uso dos recursos naturais. Este fato pode ser demonstrado através de exemplos de edificações que não levam em consideração o clima e que não usam estratégias para o melhor aproveitamento de técnicas passivas.

Na década de 1970, com a crise do petróleo, o grande consumo de energia elétrica passou a ser motivo de preocupação. Assim, a iluminação natural volta a ser valorizada a partir dos anos 80, devido à economia de recursos resultantes da sua adequada utilização.

Além do aspecto da economia de energia, a luz natural possui qualidades que ajudam na saúde e qualidade de vida, pois seu espectro é o mais adequado à natureza humana.

De fato, o uso da luz natural é de difícil avaliação devido à dinâmica própria de sua natureza. Por este motivo, os métodos para avaliação da iluminação natural se apresentam como ferramentas promissoras na previsão da luz interna durante a fase de projeto, auxiliando na concepção de ambientes que visam o aproveitamento deste recurso. As questões apresentadas justificam a importância de avaliação dos métodos preditivos da iluminação natural, levando-se em consideração a facilidade de utilização e a confiabilidade dos dados obtidos.

I.3 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo do presente trabalho é o método que utiliza os modelos físicos reduzidos para a avaliação da iluminação natural em edificações, testados sob condição de céu real.

I.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O objetivo geral da pesquisa é a avaliação das vantagens e limitações do uso dos modelos físicos reduzidos como ferramenta para o estudo dos aspectos quantitativos e qualitativos da luz natural, assim como o potencial de conservação de energia.

Para tanto, será estudado o conjunto de procedimentos necessários para a predição da iluminação natural com esta ferramenta, sendo cumpridos os seguintes objetivos específicos:

1. construção dos modelos físicos reduzidos;
2. comparação entre medições realizadas em um modelo físico e no ambiente real correspondente;
3. procedimento de medição da iluminação natural com os modelos reduzidos; e
4. procedimento de análise dos resultados obtidos.

I.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

Parte 1 - Introdução e Metodologia

Introdução: descreve a delimitação do assunto tratado abordando aspectos relevantes para situar o tema, entre os quais: a colocação do problema, a justificativa da pesquisa, os objetos de estudo e os objetivos da dissertação.

Metodologia: descreve os procedimentos, as técnicas de coleta de dados e o instrumental utilizado na pesquisa.

Parte 2 - Revisão Bibliográfica: aborda a literatura existente e selecionada através

de pesquisas e estudos realizados sobre o tema.

Capítulo 1 - **A Prática da Iluminação Natural:** apresenta conceitos ligados à iluminação natural, desde as fontes primárias de luz até os sistemas de iluminação, que atuam como diferentes estratégias na busca do conforto visual e da eficiência energética. Questões sobre os aspectos quantitativos e qualitativos da luz são exploradas neste capítulo.

Capítulo 2 - **Métodos manuais para o cálculo da iluminação natural:** descreve alguns métodos matemáticos, diagramas e gráficos para estimar a iluminação natural.

Capítulo 3 - **Modelos Físicos reduzidos para Avaliação da Luz Natural:** apresenta os aspectos construtivos dos modelos reduzidos, abordando questões que abrangem desde a escolha da escala até a reprodução correta das superfícies. Trata também sobre os procedimentos necessários para a realização de medições da iluminação natural em modelos físicos reduzidos.

Capítulo 4 - **Modelos Computacionais para a Simulação da Iluminação Natural:** descreve os principais algoritmos utilizados pelos programas da atualidade, o que reflete na capacidade e limitações dos mesmos.

Parte 3 - Processo experimental e análise dos resultados: *aborda a base empírica da pesquisa através de medições.*

Capítulo 5 - **Comparação entre Medições no Modelo Reduzido e no Ambiente real:** realizada para verificar a precisão do uso dos modelos reduzidos para avaliação da iluminação natural

Capítulo 6 - **Metodologia do Uso de Modelos Reduzidos para a Análise da Iluminação Natural:** apresenta métodos de avaliação da iluminação natural com o uso de modelos reduzidos para avaliação quantitativa e qualitativa, estimando inclusive o potencial de economia de energia.

Parte 4 - Conclusões

Capítulo 7 - **As Considerações Finais:** apresentam as deduções tiradas da pesquisa em relação ao uso dos modelos físicos reduzidos para a avaliação da iluminação natural. Além das conclusões, este capítulo apresenta sugestões de temas para pesquisas futuras que visam dar continuidade ao trabalho.

II

METODOLOGIA

Partindo-se do objetivo desta dissertação que é a avaliação dos modelos físicos reduzidos como ferramenta para o estudo da iluminação natural, a metodologia proposta seguiu as seguintes etapas:

- Construção do quadro teórico referencial através da revisão bibliográfica com o intuito de aprofundar os conceitos sobre iluminação natural, métodos para a sua avaliação e o uso de modelos físicos reduzidos.
- Verificação da precisão dos modelos físicos reduzidos como ferramenta para avaliar a iluminação natural, através da comparação entre os valores de iluminância medidos em um modelo físico reduzido e no ambiente real correspondente.
- Procedimentos necessários para o uso dos modelos físicos reduzidos na avaliação da iluminação natural, sob condição de céu real.

II.1 VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO DOS VALORES DE ILUMINÂNCIA MEDIDOS EM UM MODELO REDUZIDO E NO AMBIENTE REAL CORRESPONDENTE

Para verificar a precisão dos resultados obtidos através de modelos reduzidos foram comparadas medições da iluminação natural realizadas em um ambiente real, no caso uma sala de reuniões, àquelas realizadas em um modelo correspondente. Esta sala situa-se no último andar do edifício do Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC), dentro do campus da Universidade de São Paulo, na latitude $23^{\circ}37'(S)$ e longitude $46^{\circ}39'(O)$. Este ambiente foi escolhido devido à simplicidade geométrica do espaço, assim como pela facilidade de acesso para a realização das medições.

Foram realizadas duas etapas de medição para verificar a precisão dos resultados.

II.1.1 Primeira Etapa de Medições

O modelo reduzido da sala de reuniões foi construído na escala (1:12,5), revestido em placa de polipropileno. A dimensão do modelo é compatível com o tamanho do

sensor utilizado na medição, segundo das recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005 d).

Levantou-se a refletância das principais superfícies internas (paredes, teto, piso e mesa). Esta etapa foi realizada com o auxílio de luxímetros portáteis e de uma folha de papel branco, sob uma condição de luminosidade estável. Mediu-se cada superfície mantendo a fotocélula a uma distância aproximada de 10cm. Admitindo que a refletância do papel em branco é em torno de 90%, a refletância da superfície analisada foi encontrada através da seguinte equação (MOORE, 1991) :

$$\rho_{\text{sup}} = 90 \cdot E_{\text{sup}} / E_{\text{pb}} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{sup} = refletância da superfície em (%)

E_{sup} = iluminância refletida pela superfície (lux)

E_{pb} = iluminância refletida pela superfície do papel branco (lux)

As superfícies internas foram revestidas com papéis com refletâncias correspondentes ou aproximadas àquelas medidas no ambiente real, sendo que o valor máximo da diferença foi em torno de 4,5%. Na janela do modelo reduzido não foi colocado o vidro, apenas o caixilho. Assim, no final no processo os valores encontrados foram corrigidos pelos fatores de transmitância e manutenção do vidro.

Após a confecção do modelo, seguiu-se a primeira etapa de medições. As medições da iluminância no modelo físico reduzido foram realizadas simultaneamente àquelas coletadas no ambiente real, durante dois horários no período da manhã e três no período tarde, sob as seguintes condições de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto.

O modelo reduzido foi colocado na cobertura do edifício, ao lado sala de reuniões, Foram necessários dois operadores para o monitoramento de nove pontos internos em ambos os locais. Utilizaram-se 3 luxímetros para a realização das medições, sendo que 1 internamente ao modelo, outro na sala de reuniões e o último para medir as iluminâncias externas, disposto na cobertura do edifício no sentido horizontal.

Na sala de reuniões, o luxímetro foi colocado em cima de um apoio, na altura do plano de trabalho (75cm). O observador posicionou-se a uma distância de 2m do

sensor para evitar interferências na leitura. Os luxímetros utilizados são da marca Homis e modelo 630 Lightmeter, com faixa de leitura variando de 0 a 200.000 lux. Este equipamento possui o sensor destacável do corpo principal do aparelho, o que possibilita a sua utilização para medições em modelos reduzidos.

Verificou-se uma discrepância significativa entre os valores medidos no modelo e no ambiente real e, por este motivo, optou-se por construir um modelo reduzido mais preciso e realizar uma nova fase de medições. A primeira etapa serviu como um pré-teste para ajustar as características do modelo e os procedimentos adotados.

II.1.2 - Segunda Etapa de Medições

Para a segunda etapa de medições foi executado um novo modelo reduzido, na mesma escala do anterior (1:12,5), porém com melhorias no aspecto construtivo do mesmo, para alcançar uma maior precisão nos resultados.

Destaca-se as seguintes modificações:

- vedação do modelo executado em chapa de MDF, material mais denso comparado às placas de polipropileno, evitando desta forma a translucidez;
- maior precisão na reflexão das superfícies internas do modelo, através da pintura das mesmas com as cores utilizadas no ambiente real.

Outra mudança fundamental na metodologia de medição foi a decisão de monitorar o modelo reduzido no interior do ambiente real, disposto em uma das janelas em uma das aberturas do mesmo, diferentemente da primeira etapa de medições em que o modelo foi monitorado na cobertura externa do edifício. Este procedimento objetivou aproximar a influência da componente de reflexão externa para as duas situações.

Foram utilizados 11 luxímetros da marca Homis na medição, sendo que 5 foram dispostos internamente ao modelo, os outros 5 no ambiente real e 1 para medições das iluminâncias externas. As medidas foram anotadas manualmente.

Nesta etapa, as medições foram feitas sob de céu encoberto, devido às condições de maior estabilidade proporcionadas por esta condição. Como os resultados foram bastante satisfatórios e devido às restrições de tempo da pesquisa, não foram realizadas medições para outras condições de céu.

II.2 PROCEDIMENTOS PARA O USO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS NA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Esta etapa da pesquisa objetivou a apresentação dos procedimentos necessários para a avaliação da iluminação natural, através do uso de modelos físicos reduzidos, com medições realizadas a curto prazo, isto é, em um mesmo período do ano.

Para alcançar este objetivo foram testados dois modelos com estratégias de iluminação diferenciadas. Os modelos físicos reduzidos analisados possuem iluminação unilateral, com a dimensão e posição da abertura iguais em ambos os casos, diferenciando-se apenas pela existência do sistema de prateleira de luz acoplado à abertura de um dos modelos.

As medições foram realizadas sob duas condições de céu: claro e encoberto. Sob a condição de céu encoberto, os modelos reduzidos foram monitorados durante três horas. Os pontos internos e externos internos foram medidos simultaneamente e os valores utilizados para o cálculo do Fator de Luz do Dia (FLD).

Sob a condição de céu claro, os modelos foram monitorados com ajuda de um relógio de Sol que simulou a variação diária e sazonal para o solstício de verão, solstício de inverno e equinócio de outono. Os horários simulados foram: 8:00h, 09:00h, 10:00h, 11:00h, 12:00h, 13:00h, 14:00h, 15:00h, 16:00h, 17:00 e 18:00h. Foram utilizados 5 luxímetros internos e 1 externo disposto horizontalmente na cobertura, para medições simultâneas das iluminâncias.

Os valores medidos foram lançados em uma planilha eletrônica, no programa Excel, para que fosse possível estimar o desempenho da iluminação natural no ambiente analisado.

Foram apresentados dois métodos para a análise da iluminação natural em modelos reduzidos. Ambos os métodos calculam a iluminância no período de utilização do ambiente para os dias representativos do ano, fornecendo inclusive o potencial de conservação de energia através do uso da luz natural.

A qualidade da distribuição de luz e a insolação dos modelos foram analisadas por meio de observações visuais e registros fotográficos. Através dos procedimentos realizados foi possível verificar as possibilidades e limitações no uso dos modelos reduzidos para estudos de iluminação natural.

CAPÍTULO 1 - A PRÁTICA DA ILUMINAÇÃO
NATURAL

CAPÍTULO 2 - MÉTODOS MANUAIS PARA O
CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

CAPÍTULO 3 - MODELOS COMPUTACIONAIS
PARA A SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

CAPÍTULO 4 - MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS
PARA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

PARTE 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1

A PRÁTICA DA ILUMINAÇÃO NATURAL

1.1 O QUE É LUZ NATURAL?

Para entender o que é a luz natural, primeiramente deve-se mencionar o Sol, principal fonte de energia na Terra. Esta estrela é uma enorme esfera de gás incandescente, constituída principalmente pelos gases hidrogênio e hélio, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termo-nucleares.

A energia solar é transmitida pelo vácuo na forma de ondas eletromagnéticas, chegando ao topo da atmosfera, cerca de 1367 W/m^2 . Este valor varia aproximadamente 2%, devido às flutuações de emissões desta radiação. Outro fator que contribui para uma variação em torno 3.5% são as diferentes posições do Sol durante as estações do ano (MARSH, s.d).

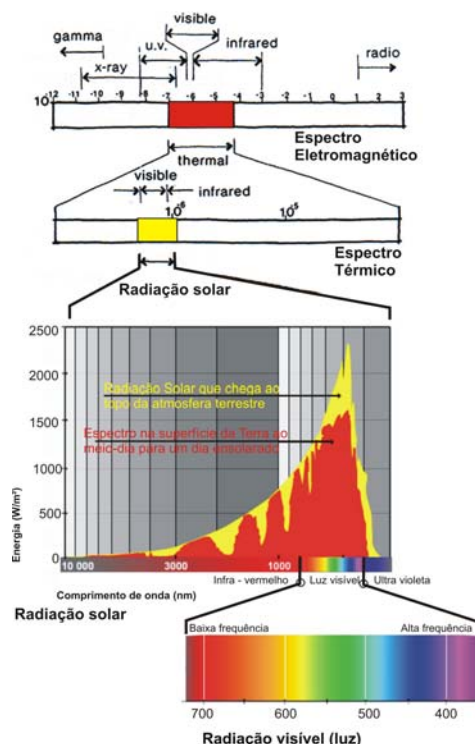


Figura 1 - Espectro eletromagnético, com destaque da faixa de radiação solar incidente na Terra e a radiação visível (luz) contidas neste espectro
Fonte: Baseado em Marsh (s.d) e Moore (1991)

Portanto, insolação é a radiação solar incidente que atinge a Terra e a luz natural é a porção de radiação visível contida no espectro eletromagnético da radiação solar. Este é constituído basicamente por três bandas: radiação ultravioleta, radiação visível e radiação infra-vermelha (Figura 1).

A radiação solar contribui para o aumento da carga térmica nos ambientes, sendo necessário analisar a sua participação sob o ponto de vista térmico e luminoso, com o objetivo de melhorar o desempenho ambiental das edificações.

Estas duas premissas devem ser consideradas com a mesma importância, visando as questões de economia de energia e satisfação dos ocupantes.

1.2 VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NA ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminância em um dado ponto no interior de um edifício é resultado da luz proveniente diretamente do Sol, da luz difusa da abóbada celeste e da luz refletida pelas superfícies externas e internas do edifício. A compreensão deste princípio básico é essencial para a análise de todas as variáveis que interferem na iluminação natural.

As fontes de luz natural podem ser divididas em duas categorias: recurso direto (luz do Sol e da abóbada celeste) e recurso indireto (luz refletida). Portanto, a luz que chega a um dado ponto pode ter recebido a contribuição da radiação direta, difusa ou de ambas, dependendo da situação.

A disponibilidade de luz natural está intimamente ligada ao loco, variando de acordo com os efeitos da sazonalidade, resultado do movimento aparente do Sol. Diversos parâmetros definem esta disponibilidade, entre os quais podemos citar: efeitos atmosféricos, qualidade do ar, latitude do local, hora do dia, época do ano, o clima como agente definidor de tipos de céu, características físicas e geográficas, orientação e a configuração morfológica do entorno construído (VIANNA; GONÇALVES, 2001). A figura 2 apresenta um desenho esquemático que representa as variáveis que interferem na iluminação natural.

Segundo a norma brasileira de iluminação natural, a quantidade e a distribuição interna da luz dependem dos seguintes fatores: disponibilidade de luz natural, obstruções externas, tamanho, orientação, posição e detalhes das aberturas, características óticas dos envidraçados, tamanho e geometria do ambiente, assim como, as refletividades das superfícies internas (ABNT, 2005 b).

Dois importantes fatores que influenciam na quantidade de radiação solar recebida em uma determinada localidade são o efeito de turvamento da atmosfera e a presença de obstruções geométricas do entorno. O turvamento consiste na poluição do local que contribui para a atenuação da radiação solar, sendo parte refletida e parte absorvida.

A orientação de uma edificação é uma variável importante influenciando a quantidade de radiação direta incidente sobre a mesma.

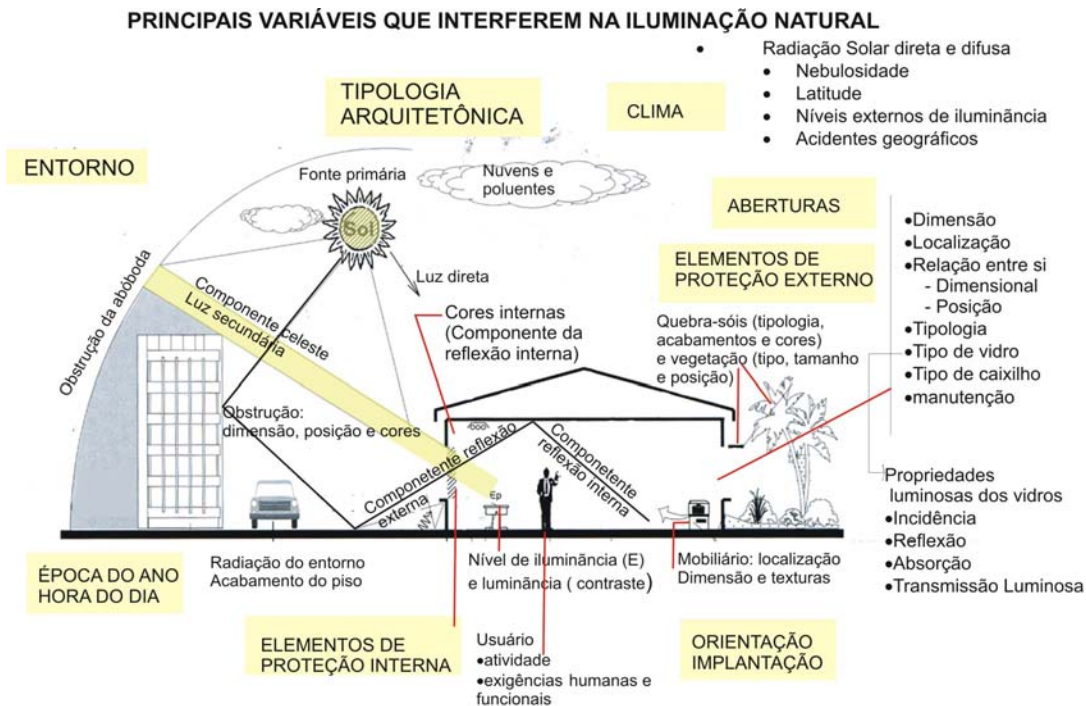


Figura 2 - Variáveis que interferem na iluminação natural

Fonte: Material de aula do Prof. Nelson Solano Vianna, baseado em Vianna e Gonçalves, 2004

Assim, pode-se concluir que desde aspectos ligados à cor e características dos materiais, até aspectos mais amplos como àqueles relacionados ao clima e disponibilidade de luz devem ser considerados preliminarmente para estabelecer estratégias de iluminação natural nas edificações.

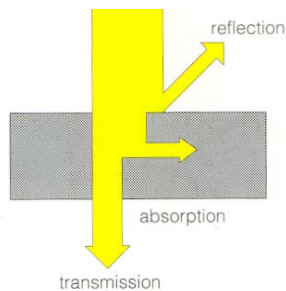


Figura 3 - Reflexão, absorção e transmissão

Fonte: Goulding, Lewis e Steemers (1992).

Quando a luz atinge uma superfície, ela será transmitida, refletida ou absorvida (Figura 3). A reflexão da luz se dá de acordo com características refletoras das superfícies atingidas, como texturas e cores destes materiais. Refletância é a porcentagem do fluxo refletida em relação ao fluxo total incidente. A textura das superfícies interfere na direção desta luz refletida, portanto, o arquiteto deve tirar partido destas características com o objetivo de controlar a qualidade luminosa das edificações.

As superfícies variam desde àquelas consideradas irregulares que funcionam como difusoras da luz em todas as direções até as especulares nas quais a luz é refletida em apenas uma direção, isto é reflexão de espelho (Figura 4).

A absorção é a parcela de luz absorvida por uma superfície, dependendo das características da mesma. A cor das superfícies é resultado da parcela de luz

refletida e absorvida por uma superfície. Define-se absorptância como porcentagem de fluxo absorvido em relação ao fluxo total incidente.

A transmissão ocorre quando a radiação solar atinge as superfícies não opacas, podendo ser transmitida de maneira difusa, colimada ou ambas as formas combinadas. A transmitância é definida como a porcentagem do fluxo total transmitido em relação ao fluxo total incidente.

Devido ao enorme impacto proveniente das superfícies no projeto da iluminação natural dos ambientes é importante considerar os seguintes aspectos (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993):

- O coeficiente difuso de reflexão ou transmissão sob a influência de uma luz difusa (Figura 4b);
- O coeficiente da reflexão difusa sob a influência da luz direta do Sol que será dependente do ângulo de incidência desta luz;
- Reflexão ou transmissão especular que está relacionada com o ângulo de incidência (Figura 4a);
- As características das superfícies: áspera, polida, especular ou complexa;
- A mudança da cor da luz após a reflexão ou transmissão.

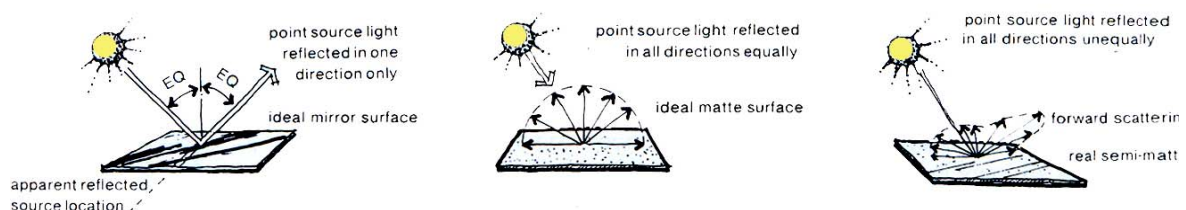


Figura 4 - Comparação entre superfícies: (a) especular; (b) difusa (c) semi-difusa

Fonte: Moore (1991)

O conhecimento das propriedades óticas dos vidros é de grande valia aos projetos de iluminação natural, pois estes possuem propriedades diferenciadas em relação a transmissão da luz e do calor. Diversos tipos de vidro estão disponíveis no mercado e as pesquisas caminham no sentido da busca por vidros com alta transmissão luminosa e baixa transmissão de infra-vermelho e ultra-violeta, responsáveis pelo aquecimento e degradação dos materiais.

Os vidros fotocromáticos, termocromáticos e eletrocromáticos sofrem modificações em suas propriedades de acordo com a resposta da radiação incidente sobre os mesmos, para cada situação.

Os filmes holográficos e os sistemas prismáticos são exemplos de materiais inovadores que melhoram o desempenho da transmissão luminosa.

1.2.1 Elementos de Controle Externos e Internos

A maneira mais eficaz de proteger uma edificação da radiação solar direta é através do sombreamento de suas aberturas.

Muitas vezes, este sombreamento é necessário para evitar a componente direta do sol no plano de trabalho que ocasiona o ofuscamento, evitando, desta forma, o aumento da carga térmica dentro das edificações. Este recurso, porém, deve ser bem dimensionado para que evite a incidência direta do sol, sem impedir a entrada da luz natural.



Figura 05 – Detalhe do brise – Soleil do Ministério da Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro

Fonte: Melendo (2004)

Foto de Francisco J. Martinez

Os elementos de controle externos podem ser utilizados como rebatedores da radiação direta, contribuindo para aumentar os níveis de iluminação em áreas mais profundas do ambiente.

Existem os elementos sombreadores externos como os brises-soleil¹ vertical e horizontal (figura 05), varandas, sacadas, telas especiais, toldos, elementos vazados e os sombreadores internos como as cortinas e persianas (FROTA, 2004).

Pode-se melhorar as condições de iluminação natural nas edificações, através de estratégias adequadas que possibilitam o controle do ofuscamento visual e proporcionam uma maior uniformidade da luz, com a diminuição das altas iluminâncias que ocorrem próximo às aberturas.

Se o propósito do uso destes elementos for o controle térmico da edificação, os

¹ “Brise Soleil ou quebra Sol, representa um dispositivo cuja função é sombrear, com o objetivo de reduzir a incidência do sol sobre uma construção, ou sobre espaços exteriores, de modo a obter-se melhores condições de temperatura e controle de incidência de luz solar...”(FROTA, 2004)

sombreadores externos são mais eficientes que os internos devido ao efeito estufa. Isto ocorre porque o vidro é transparente aos comprimentos de onda curto e opaco aos comprimentos de onda longo. Quando a radiação solar atinge o vidro, ela é transmitida para o interior do ambiente que absorve uma parte da energia e reflete a restante.

A relação entre térmica e iluminação natural pode parecer conflituosa, pois à medida que sombreamos o ambiente, evitando a incidência direta do sol e o aquecimento do mesmo, contribuímos também para diminuição da iluminância interna do mesmo. Assim, é importante equacionar as questões térmicas que contribuem para a diminuição do consumo de refrigeração e questões referentes a iluminação natural que, se bem resolvidas, reduzem o consumo da iluminação artificial.

1.2.2 Tipologia do Entorno e Geometria do Ambiente

Sabe-se que o entorno imediato tem influência direta na disponibilidade luz natural para uma determinada edificação. Elementos como a topografia, a vegetação e os edifícios vizinhos contribuem para uma melhor ou pior iluminação natural. A influência da topografia está relacionada à inclinação do terreno e a relação da implantação do edifício. Caso este edifício seja implantado em uma cota mais baixa do terreno, os pavimentos mais baixos poderão ter uma porção do céu obstruída pela própria configuração do relevo diminuindo a quantidade de luz natural recebida. O mesmo efeito pode ocorrer em relação às vegetações externas, diferenciando-se pelo fato da vegetação poder variar de acordo com as estações, não proporcionando um sombreamento uniforme durante todo o ano.

Outra consideração deve ser feita em relação a configuração urbana do entorno. Os edifícios do entorno prejudicam a iluminação por obstruírem o céu visível que contribui com a luz difusa. Porém, dependendo das cores destas superfícies, pode-se tirar vantagens em relação à iluminação natural através da contribuição das reflexões externas.

1.3 O SOL E O CÉU COMO FONTES DE LUZ

A disponibilidade de luz natural em cada localidade terá suas características quantitativas e qualitativas próprias dependendo da latitude, horário e do clima local. Em Scarazzato (1995), a expressão clima luminoso descreve a variação que ocorre com a luz natural, de acordo com as características geográficas de cada região. Por isto, um dos primeiros passos para estabelecer critérios de projeto que levem em conta a luz natural é a verificação desta disponibilidade durante todo o ano.

O Sol é a origem de toda a luz natural, porém, a radiação solar difundida na atmosfera terrestre, definida como luz do céu ou luz proveniente da abóbada celeste é o recurso mais eficaz no caso da iluminação natural para edificações. Nos cálculos de iluminação natural, a luz direta do Sol é muitas vezes tratada de forma separada da luz difusa do céu e da luz proveniente de reflexões externas. Isto porque apesar da eficiência da luz direta, esta pode causar ofuscamento, sendo em alguns casos, indesejável no interior dos edifícios, principalmente em locais de trabalho. Apesar da exclusão da componente direta, os efeitos gerais da radiação solar devem ser levados em conta.

Em climas quentes, a radiação direta do Sol é, na grande maioria das situações, tida como indesejável devido ao aumento da carga térmica. Em climas temperados, esta radiação direta é bem-vinda, na maioria dos casos, utilizando-se recursos para difundir a luz no caso de ofuscamento ou efeitos térmicos indesejáveis.

Comparando a luz do céu com a luz do Sol que tem um brilho intenso e pontual, esta tem um brilho muito menor, tende a ser mais uniforme e está disponível em todas as orientações. Porém, a luz do céu pode ter sua distribuição variada segundo as orientações, dependendo das condições atmosféricas e da posição do Sol.

A distribuição de luminosidade do céu é constantemente variável, de acordo com a existência ou não de nebulosidade, configurando diferentes tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto (Figura 6).

Em céus com certa nebulosidade, o próprio movimento das nuvens pode variar a cada minuto, mudando a distribuição da luz. Este fato dificulta a escolha de dados a serem utilizados como parâmetros nos projetos que visam a conservação de energia e o conforto luminoso. Por este motivo, o ideal não é projetar para distribuições

específicas, mas sim estabelecer circunstâncias médias de projeto. Com vista a esta problemática, vários modelos matemáticos de tipos de céus foram desenvolvidos por diversos pesquisadores.

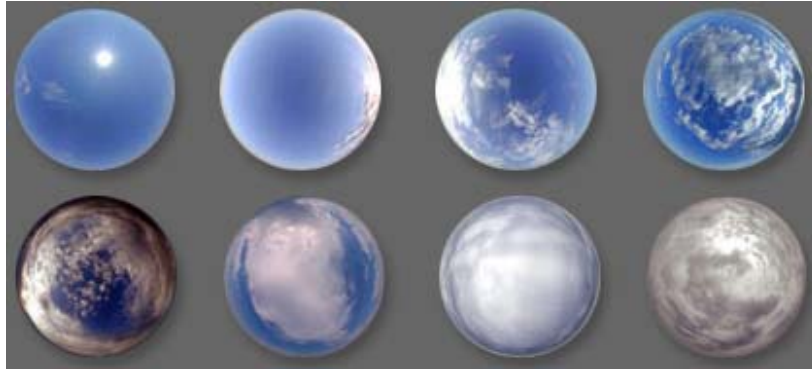


Figura 6 - Exemplos de diferentes tipos de céus

Fonte : Marsh, (s.d) / site :< www.squ1.com.> Acesso em: 05 june 2005

Os modelos de céu são definidos por expressões algébricas, expressas por dados que levam em conta propriedades atmosféricas locais, o tempo e a posição de determinado local na Terra. Estes modelos são apenas aproximações à infinidade de condições reais existentes. A *Commission International de l'Eclairage* (CIE², 2003), apresentou a compilação de uma série de modelos matemáticos com distribuição de iluminância para diferentes tipos de céus. Entre estes podemos citar os modelos isotrópicos³ cuja a distribuição que não varia com o azimute e os modelos anisotrópicos⁴ que consideram a posição do Sol e a sua influência na distribuição da luz.

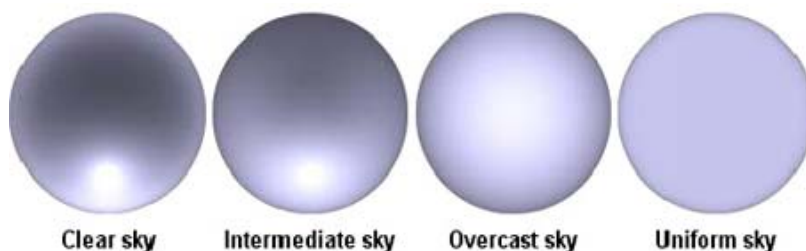


Figura 7 - Tipos de céu padrão CIE

Fonte: Daymedia, londonmet (site)

² Comissão Internacional de Iluminação

³ Segundo o dicionário Michaelis o termo isotrópico ou isótopo “diz-se do corpo que, em todas as direções, apresenta as mesmas propriedades ópticas.”

⁴ Segundo o dicionário Michaelis o termo anisotrópico é definido como não isótopo

Os principais modelos de céu são (figura 7):

- Céu claro (anisotrópico);
- Céu intermediário ou parcialmente encoberto (anisotrópico);
- Céu encoberto (isotrópico);
- Céu uniforme (isotrópico);

1.3.1 Tipos de Céu

Segundo a definição da norma brasileira de iluminação natural, condição de céu “é a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz” (ABNT 2005 b).

Para caracterizar as condições de céu, é utilizado o método desenvolvido pela NOAA (EUA), na qual a classificação para céu claro, parcialmente encoberto ou encoberto é estimado de acordo com o percentual de nuvens existentes no céu (ABNT, 2005b):

- Céu claro: 0% a 35% de nuvens
- Céu parcialmente encoberto: 35% a 75% de nuvens
- Céu encoberto: 75% a 100% de nuvens

1.3.1.1 *Céu claro*

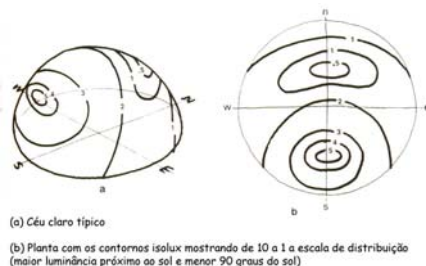


Figura 8 - Céu claro

Fonte: Moore, 1991

O céu claro é caracterizado por uma condição de inexistência de nuvens ou baixa nebulosidade. A abóbada celeste apresenta um maior brilho em torno do Sol e a sua porção mais escura a 90° do mesmo (Figura 8). Este padrão de céu tem uma distribuição de luminância bastante desuniforme (ABNT, 2005b).

1.3.1.2 *Céu encoberto*

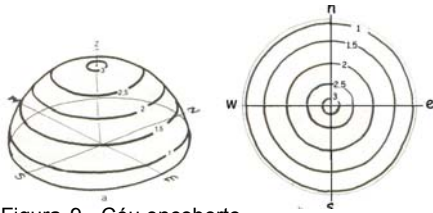


Figura 9 - Céu encoberto

Fonte : Moore, 1991

A norma brasileira de iluminação natural caracteriza o céu encoberto como a condição na qual as nuvens preenchem toda a superfície da abóbada celeste e, portanto, o Sol não é aparente (ABNT, 2005b).

A distribuição da luminância do céu se distingue por ter a porção zenital três vezes mais brilhante que a porção próxima ao horizonte (Figura 9) (ABNT, 2005b).

A abóbada se apresenta na cor cinza claro, como resultado da reflexão e refração da luz direta do céu em partículas suspensas de água.

1.3.1.3 *Céu uniforme*

Este céu é caracterizado por uma luminância uniforme em toda a abóbada celeste que não muda com a altura e o azimute solar, tendo um valor constante em todas as direções. A norma brasileira de iluminação natural, acima referida, não considera este tipo de céu devido a sua inexistência em condições reais.

1.3.1.4 *Céu intermediário ou parcialmente encoberto*

De acordo com a definição da norma brasileira de iluminação natural ABNT (2005b), este céu apresenta-se em uma posição intermediária entre o céu claro e o céu encoberto, na qual a luminância será definida para uma dada posição do Sol e sob uma condição climática. A altura da luminância depende da altura solar assim como no céu claro, porém o Sol e sua auréola ao redor são excluídos desta distribuição de luminância.

Existe uma alternância de luminâncias, variando entre períodos de cobertura mais leve e mais intensa de nuvens. É a condição de céu bastante comum em regiões tropicais e subtropicais.

O conhecimento sobre este tipo de céu é limitado, principalmente no que se refere aos tipos de nuvens, grau de cobertura e a frequência das diversas tipologias.

1.3.2 Disponibilidade de Luz Natural no Brasil

O território brasileiro caracteriza-se por uma alta disponibilidade da luz natural ao longo de todo o ano, podendo, em São Paulo, ultrapassar para condição de céu claro 70.000 lux ao meio dia no inverno e 100.000 lux no mesmo horário no verão, conforme os gráficos 1 e 2 (SCARAZZATO,1995).

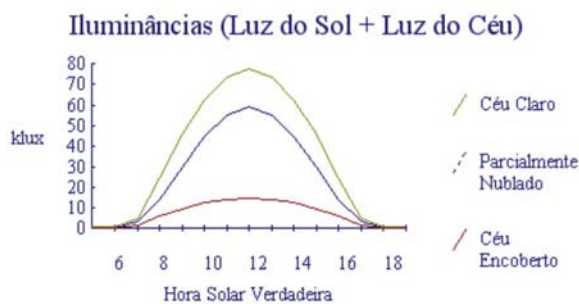


Gráfico 1 - Disponibilidade de luz em São Paulo - dia 22/06
Fonte : Software DLN, Scarazzato (1995)



Gráfico 2 - Disponibilidade de luz em São Paulo - dia 22/12
Fonte :Software DLN, Scarazzato (1995)

Estes dados demonstram o enorme potencial de luz naquela localidade, e que pode ser entendida como válida para outras regiões brasileiras, conforme demonstrado pelo autor referido.

Os valores de iluminância externos podem ser obtidos por meio medições específicas ou através de modelos matemáticos desenvolvidos para esta finalidade.

Devido à falta de dados coletados e sistematizados sobre a disponibilidade de luz natural no país, Scarazzato (1995) apresenta o software DLN, que foi desenvolvido em sua tese de doutorado, a partir de algoritmos propostos pela IESNA. Este software calcula os dados de disponibilidade de luz em planos verticais e horizontais e considera os três tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto. É possível obter dados para qualquer localidade, sendo necessário inserir os dados de latitude e longitude. As capitais brasileiras estão cadastradas no programa. Nesta mesma ocasião, Scarazzato (1995) propõe o conceito de “Dia Luminoso Típico de Projeto”, que é o dia mais representativo de um período relativo às questões de luminosidade.

O programa *International Daylight Measurement Programme* (IDMP), para medição de iluminação natural, foi lançado em 1991 na Europa, sendo implementado no Brasil apenas a partir de dezembro de 2001. A primeira estação foi implantada na

cidade de Florianópolis/SC (EMIM-Floripa). A outra estação de medição da iluminação natural situa-se na cidade de Belo Horizonte/MG (EMIM Belo Horizonte) e está em operação desde 2003. Ambas as estações seguem a norma internacional proposta pela CIE - *Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement*, que é um guia de recomendações para a prática de medição da iluminação natural (SOUZA; PEREIRA, 2004).

As estações meteorológicas existentes no país não possuem dados tão específicos sobre a disponibilidade de luz como aqueles coletados em estações próprias de medição da iluminação natural.

A estação de medição EMIM-Floripa, além da coleta dos dados de iluminância e irradiância nas superfícies horizontais e nas verticais para diversas orientações faz registros fotográficos a cada 15 minutos, registrando os tipos de céu, verificando a ocorrência de chuvas e fatores que possam afetar as medições como ocorrência de granizo, geada, poluição, etc. Com base nestes dados, pode-se estimar a frequência de ocorrência de tipos de céu para cada época do ano (SOUZA; PEREIRA, 2004).

Iniciativas como estas são muito válidas e devem ser incentivadas no restante do país, para que possamos validar os modelos preditivos existentes e fazer um mapeamento da disponibilidade de luz em todo território nacional.

1.4 ASPECTOS QUANTITATIVOS DA LUZ

Nos estudos de iluminação, tanto natural como a artificial, existem dois aspectos distintos para caracterizarmos os espaços: as questões quantitativas e qualitativas.

As questões quantitativas devem ser estipuladas de acordo com a tarefa a ser executada. Os níveis de iluminação necessários, estabelecidos pelas normas existentes de acordo com a tarefa visual realizada, são baseados em experiências empíricas que relacionam o desempenho destas tarefas em função da variação da quantidade de luz no plano de trabalho. Estudos da década de 30 mostram que a acuidade visual depende tanto do nível de iluminação da tarefa quanto da relação entre as luminâncias da tarefa e seu entorno (VIANNA; GONÇALVES, 2001).

Quanto maior o detalhamento e precisão desta tarefa, maior os níveis de iluminação requeridos para a execução da mesma.

Dentre os países que possuem normas específicas de iluminação natural podemos citar a Alemanha (DIN 5034-1985), a Inglaterra (BSI DD 73-1982) e a Argentina (IRAM-AADL J 20-02, 1969), com documentos bastante completos sobre o assunto (ALUCCI, 1992).

Praticamente todos os documentos técnicos produzidos na área de iluminação natural seguem as orientações formuladas pela *Comission International de L'Eclairage* - CIE.

No caso da norma Alemã, os níveis de iluminação requeridos para a luz natural são de no mínimo 60% dos valores estipulados pela norma da iluminação artificial. Este critério é justificado devido às diferenças características do espectro luminoso da luz natural e da artificial.

Como a norma brasileira de iluminação natural (ABNT 2005a, b, c, d) não estabeleceu os níveis de iluminação que devem ser atendidos para ambientes iluminados naturalmente, acaba prevalecendo os valores recomendados pela norma de iluminação artificial (ABNT, 1992). Esta norma estabelece três níveis de iluminação propostos para cada tarefa e define que o nível a ser considerado entre os valores mínimo, médio ou máximo está relacionado com a capacidade visual dos usuários, com a precisão, velocidade e tempo de execução da tarefa.

1.5 GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS MENSURÁVEIS. DEFINIÇÕES E UNIDADES

Para o estudo quantitativo da iluminação natural, é necessária a definição de alguns termos mais comuns entre os quais podemos citar⁵:

Fluxo luminoso: é a radiação total da fonte luminosa emitida no comprimento de onda compreendido entre 380nm e 780nm (radiação visível). Esta quantidade total de luz emitida por uma fonte é medida em lumens (lm). No caso da iluminação natural, o fluxo luminoso é a energia radiante emitida pelo Sol e pelo céu.

Eficácia luminosa: está associado à eficiência energética, ou seja, quantos lumens são gerados por watt absorvido. A eficácia luminosa da luz natural é bastante alta,

⁵ Fonte baseada nas seguintes referências: Manual luminotécnico OSRAM, Goulding, Lewis e Steemers (1992) e Vianna e Gonçalves (2001).

atingindo 100 lumens por Watt ao passo que a luz artificial atinge aproximadamente 15 lumens por Watt.

Iluminância (E): é definida como o fluxo luminoso (lm) recebido por unidade de área (m^2) em uma superfície (Figura 10). Esta grandeza está relacionada à luz que chega a uma dada superfície. A unidade é expressa por lux ou lm/m^2 .

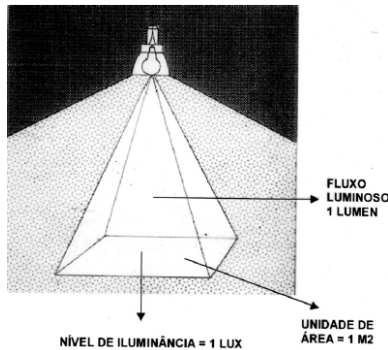


Figura 10 - Nível de iluminação (lux)

Fonte : Vianna e Gonçalves, 2001

A equação que expressa esta grandeza é:

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

(2)

Onde:

E= Iluminância

φ = Fluxo luminoso (Lumens)

A= área (m^2)

Luminância (L): esta grandeza está relacionada à iluminância que chega a uma superfície e que após refletida por esta mesma superfície resulta na sensação de luminosidade sentida pelo olho humano. Portanto, a iluminância é a luz incidente, não visível e a luminância é a luz refletida, visível. Esta grandeza é expressa por cd/m^2 . Então luminância é a intensidade luminosa que emana de uma superfície por sua superfície aparente, definida pela seguinte equação:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos a}$$

(3)

Onde:

L = Luminância, em cd/m^2

I = Intensidade Luminosa, em cd

A = área projetada, em m^2

a = ângulo considerado, em graus

Para uma superfície perfeitamente difusora, as variações de luminância são em função da refletância da superfície e da densidade de luz nesta superfície, podendo ser determinada pela equação:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

(4)

Onde:

ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão

E = Iluminância sobre essa superfície

Uma mesma iluminância incidente em diversos objetos pode gerar diferentes valores de luminância, caso estes objetos tenham diferentes capacidades de reflexão da luz.

Contraste (C): é a diferença relativa de luminância de um objeto e seu entorno. Pode ser expresso em termos de luminância, iluminância e refletividade entre as suas superfícies. Diferenças de luminâncias significam contrastes de cores.

Esta grandeza é expressa pela equação:

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

(5)

Onde:

L_{objeto} = luminância de um objeto

L_{fundo} = luminância do entorno do objeto

1.6 ASPECTOS QUALITATIVOS DA LUZ NOS ESPAÇOS

Uma boa concepção de iluminação natural em edificações não tem apenas a função de proporcionar condições mínimas para realizar certas tarefas, mas também está ligada à criação do espaço arquitetônico. A luz revela a forma, o espaço, a textura e a cor - todos elementos considerados fundamentais na arquitetura.

Diversos efeitos podem ser conseguidos com o jogo de luz e sombra que valoriza certos objetos pelo contraste ou até mesmo o uso de baixos níveis de iluminação, que pode sugerir um caráter místico a certos espaços.

A qualidade luminosa de um espaço está intimamente ligada à função desenvolvida no mesmo. Caso este seja destinado ao trabalho, níveis mínimos de iluminação devem ser atingidos para a adequada execução das tarefas. Inclusive nos casos em

que a questão quantitativa estiver resolvida, aspectos qualitativos devem ser considerados como o ofuscamento e a busca por uma uniformidade da luz, para evitar o cansaço visual durante a execução da tarefa. Os espaços destinados ao lazer e à religiosidade pressupõe requisitos qualitativos e quantitativos distintos dos espaços de trabalho.

Os aspectos qualitativos da luz relacionam-se a questões subjetivas que sugerem impressões, sensações e emoções aos seres humanos. Vários arquitetos trabalham com estes aspectos sensíveis, tirando partido da luz para valorizar a arquitetura e evocar simbolismos.

Le Corbusier (1977, p. 13) defende que “a arquitetura é o jogo correto e magnífico das formas sob a luz. Nossos olhos são feitos para ver formas sob a luz; as sombras e os claros revelam as formas [...]”. É com este pensamento que ele inspirou a sua arquitetura, valorizando os volumes com o jogo de luz e sombra.

A luz sugere significados à arquitetura, reforça os ritmos arquitetônicos, estabelece hierarquias visuais, valoriza as cores, criando, deste modo, uma atmosfera própria para cada espaço.

A luz natural permite uma excelente condição de reprodução de cores, contribuindo para uma melhor percepção do espaço. Apesar desta qualidade de reprodução de cores, devido às qualidades do espectro da luz natural, deve-se atentar para o efeito do ofuscamento que pode ser ocasionado devido às altas iluminâncias e reflexos provenientes da mesma. O ofuscamento é uma resposta subjetiva, pois pode variar de acordo com cada pessoa e está associado a questões qualitativas do ambiente luminoso.

Segundo Vianna e Gonçalves, (2001, p. 36):

Quando estamos nos referindo à iluminação, um aspecto fundamental é aquele relacionado à ordem essencialmente psico-emocional. Antes de tentarmos obter qualidade sob o ponto de vista de sua funcionalidade, teremos que considerar o seu aspecto de elemento criador do espaço, como aquela que nos possibilita, dentro de um significado maior para a arquitetura, uma ambientação agradável e mais humana.

1.7 OFUSCAMENTO

O ofuscamento é a condição da visão na qual existe desconforto ou redução na habilidade de ver detalhes ou objetos, causado por uma inadequada distribuição de luminância, ou extremo contraste (BAKER.; FANCHIOTTI.; STEEMERS,1993).

Robbins (1986) define o ofuscamento como o resultado de uma luz não desejada no campo de visão que é causada usualmente pela presença de uma ou mais fontes excessivamente brilhantes de luz.

Desta forma, o controle do ofuscamento é um dos aspectos mais importantes do conforto visual em um projeto arquitetônico, pois causa a sensação de desconforto visual, dificultando a realização de determinadas tarefas.

Segundo Moore (1991), o ofuscamento pode ser dividido em duas categorias: o desabilitador e o desconfortante.

Ofuscamento desabilitador ou fisiológico é aquele que impede a visão. Ocorre quando no campo de visão aparecem áreas com o brilho tão intenso que ocasionam o “efeito véu,” obscurecendo os objetos situados próximos a esta zona. Este efeito acontece pois a redução do constraste entre os objetos é de tal forma que chega a impedir a distinção entre estes objetos. Na iluminação natural esta situação pode ocorrer devido à visão direta ou refletida da luz intensa da abóbada celeste ou da luz direta do Sol.

Ofuscamento desconfortante pode ser definido como aquele que causa incômodo, desconforto psicológico, porém não impede a visão dos objetos. Ele pode ser resultado de fontes brilhantes no campo da visão em contraste com um entorno mais escuro. Ocasiona uma fadiga visual devido ao excessivo trabalho de acomodação da vista, proveniente de grandes diferenças de luminâncias no campo da visão. As origens desta sensação de desconforto não são totalmente conhecidas, mas, pode-se destacar duas que é o contraste de luminâncias e o efeito de saturação visual.

O ofuscamento pode também ser classificado devido a sua forma de ocorrência: direto e indireto.

O ofuscamento direto é causado pela visão direta da fonte de luz natural ou artificial. Quando a luz direta do Sol, por exemplo, é captada no centro do campo visual em

uma área definida por um cone abrangendo 40° do centro, o ofuscamento pode ocorrer. Isto porque o olho humano não aceita altos níveis de brilho diretamente na zona foveal de visão.

O ofuscamento indireto ocorre devido à reflexão. Ele pode ocasionar reflexos da fonte em uma superfície polida dificultando a visão desta superfície.

Na iluminação natural foi criado um índice de ofuscamento que mede o grau de desconforto causado pela luz diurna. Este é um cálculo complexo, porém as principais variáveis que interferem no mesmo são (MOORE, 1991):

- a luminância do céu visto através de uma abertura. Quanto maior a abertura maior o índice.
- o tamanho aparente da parte visível da abóbada celeste. O índice aumenta com o maior tamanho da área.
- a posição da abóbada visível em relação ao campo de visão. Esta variável considera que quanto mais próximo do centro da visão, maior o índice;
- o nível de iluminação do ambiente em relação à abóbada visível. Quanto mais escuro o ambiente, maior o índice.

Devido a estas questões, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), recomendam que caso sejam previstas janelas grandes para um ambiente, as paredes devem ser brancas, evitando desta forma o contraste entre as superfícies internas e a luminância do céu visto da janela. Caso as superfícies internas sejam escuras, o contraste demasiado poderá causar desconforto por ofuscamento.

1.8 OS PRINCIPAIS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

As estratégias de iluminação mais adequadas para um determinado espaço dependem da função que será desempenhada neste local, assim como das necessidades dos usuários. Espaços destinados às atividades produtivas como escritórios, escolas e indústrias podem ter as estratégias de iluminação distintas dos espaços de recreação, estar e religiosos.

Os principais critérios para uma boa iluminação natural em espaços destinados ao trabalho são:

- Garantir os níveis mínimos de iluminação no plano de trabalho tendo como diretriz a norma da ABNT (1992);
- Uniformidade da luz garantida através de adequada distribuição de iluminâncias em todo o espaço;
- Evitar o ofuscamento que pode ser ocasionado pela incidência direta do sol no campo de trabalho ou na linha de visão;
- Economia de energia através de um correto aproveitamento da luz natural, sem prejudicar os níveis mínimos requeridos para a tarefa visual desempenhada.

Para os espaços de recreação ou religiosos, a luz deve ser vista como um componente de formação do espaço, pelos aspectos ligados às sensações que estes espaços despertam no ser humano.

Os critérios para definição de estratégias de iluminação natural para estes locais podem se pautar nas seguintes questões:

- Baixo nível de iluminação não é um aspecto crucial, desde que não prejudique a atividade desenvolvida no ambiente. Esta estratégia pode ser utilizada com o intuito de criar um determinado clima para os espaços;
- Ausência de uniformidade da iluminação através da distribuição irregular da luz pode ser um recurso interessante, criando diversas ambiências;
- A iluminação bem marcada com os claros e escuros, luz e sombra pode ser um recurso válido, despertando pontos de interesse marcantes no espaço.

Um sistema de iluminação natural é composto pela fonte de luz, direta ou indireta do Sol e do céu, pela abertura no edifício com os seus filtros, refletores e elementos de sombreamento, assim como pelas superfícies interiores de reflexão (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION; ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2003).

A estratégia correta do uso da luz natural requer uma análise detalhada da função de cada espaço, atentando-se aos aspectos quantitativos e qualitativos da luz. Diversos sistemas e componentes podem ser utilizados para o melhor aproveitamento da luz natural. Estes variam desde tecnologias simples, como as proteções solares, prateleiras de luz; até tecnologias sofisticadas (AMORIM, 2002),

como os painéis prismáticos e sistemas holográficos.

Os sistemas avançados de iluminação são formados pelas aberturas laterais e/ou zenitais, projetados para moldar a intensidade de distribuição da iluminação natural em um espaço, de forma a alcançar os níveis requeridos para o ambiente, sem ocasionar ofuscamento. Podem ser fixos ou móveis.

Segundo Garrocho e Amorim (2004) “um sistema avançado para a luz natural é uma adaptação na janela ou na abertura zenital que tem como objetivo melhorar e/ou otimizar a quantidade e a distribuição de luz natural em um espaço.” Estes utilizam a luz de maneira eficiente, guiando-a com maior profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes.

Baker, Fanchiotti e Steemers (1993) apresentam uma classificação para os componentes da luz natural, inseridos no projeto de arquitetura.

<i>Componentes de Condução</i>	<i>Componentes de Passagem</i>	<i>Elementos de Controle</i>
<u>Espaços de Luz Intermediários</u>	<u>Laterais</u>	<u>Superfícies de separação</u>
Galeria	Janela	Separador Convencional (janela)
Pórtico	Sacada	Separador Ótico
Estufa	Parede translúcida	Separador Prismático
<u>Espaços de Luz Internos</u>	Cortina de Vidro	Separador Ativo
Pátio Interno	<u>Zenitais</u>	<u>Proteções Flexíveis</u>
Átrio	Janela de cobertura	Toldo
Poço ou Duto de Luz	Lanternim	Cortina
Duto de Luz Solar Direta	Shed	<u>Proteções Rígidas</u>
	Domo	Beiral ou marquise horizontal
	Cobertura hemisférica	Prateleira de Luz
	Teto Translúcido	Peitoril
	<u>Globais</u>	Brise Vertical
	Membrana	Brise Destacado
		<u>Filtros Solares</u>
		Persiana (interna ou externa)
		Veneziana (fixa ou móvel)
		Elemento vazado
		<u>Obstrução solar</u>
		Fechamento tampão

Quadro 1 - Classificação dos componentes para a luz natural

Fonte: Baker, Fanchiotti e Steemers (1993).

As aberturas para a entrada da luz natural podem ser dispostas na cobertura ou nas paredes das edificações. A localização das aberturas configuram as duas

categorias gerais de sistemas de iluminação natural: os sistemas laterais e os sistemas zenitais. Abaixo estão descritas as principais características destes sistemas.

1.8.1 Iluminação Lateral

As aberturas transparentes ou translúcidas que configuram a iluminação lateral incluem os seguintes sistemas básicos: janelas simples, janelas com brises horizontais, janelas com brises verticais, janelas com persianas, janelas com prateleiras de luz, janelas com grelhas reflexivas, paredes e portas translúcidas ou de vidros, entre outros.

A iluminação unilateral tem como característica mais marcante a não uniformidade de sua distribuição de luz pelo ambiente. Percebe-se que a iluminância próxima às aberturas tem valores muito elevados que decrescem rapidamente de acordo com o distanciamento das mesmas. Segundo as recomendações da *Illuminating Engineering Society* (IES, 1979) no manual RP-5 - *Recommended Practice of Daylighting*, a profundidade de eficiência de penetração da luz difusa no interior do ambiente chega até aproximadamente 2,5 a altura do piso até a verga da abertura.



Figura 11 - Eficiência de penetração da luz lateral

Fonte: Egan (1983)

Esta proporção recomendada deve levar em consideração qual o tipo de função realizada naquele espaço. Caso seja uma circulação ou um quarto, por exemplo, onde não é um pré-requisito a uniformidade, devido à curta permanência, não são necessárias estratégias adicionais para sanar o problema. Porém, no caso de ambientes em que a uniformidade seja pré-requisito, deve-se complementar esta iluminação unilateral através de aberturas em paredes opostas ou adjacentes, ou

através da iluminação zenital, se for possível a aplicação deste sistema. Caso não haja esta possibilidade, deve-se utilizar a iluminação artificial como complemento.

Diversos recursos podem ser utilizados para melhorar a penetração da iluminação em um ambiente como, por exemplo, o aumento da altura da janela ou mesmo através do recurso da reflexão em sistemas conhecidos como prateleiras de luz. Estes sistemas redirecionam a luz direta do Sol para superfícies como o forro e paredes que, por sua vez, através da reflexão, distribuirão a luz pelo ambiente, evitando a incidência direta no plano de trabalho e permitindo uma penetração mais profunda no ambiente. As prateleiras de luz também são utilizadas como quebra-sóis, podendo-se considerar diferentes formas e materiais de acordo com a intenção de redirecionar os raios solares ou bloqueá-los.

A utilização de elementos de sombreamento externos como os brise-soleils, beirais, varandas, entre outros, ajuda a diminuir a desuniformidade da iluminação unilateral através da diminuição da iluminância em áreas próximas às aberturas, mas com eventual agravamento do nível de iluminação em direção à parede oposta.

Sabe-se que existe uma relação direta entre a localização e tipologia das aberturas relacionadas a diferentes distribuições de luz no ambiente. Seguem abaixo algumas observações neste sentido:

- As janelas podem ser contínuas ou descontínuas posicionadas em diferentes alturas na parede. As janelas contínuas proporcionam uma iluminação mais uniforme nas regiões próximas às aberturas do que as descontínuas.
- Janelas posicionadas mais altas nas paredes propiciam uma penetração mais profunda da luz, melhorando a uniformidade e diminuindo o ofuscamento quando não estão situadas na linha de visão. Este é o caso das janelas altas e estreitas. Esta tipologia permite uma maior privacidade.
- Quanto mais baixa a janela estiver situada maior a iluminância próxima da mesma, diminuindo a uniformidade e com maior risco de ocorrência do ofuscamento. Apesar destes inconvenientes, esta tipologia é a mais utilizada pois permite o contato dos ocupantes com o meio externo, proporcionando enormes benefícios para os mesmos.
- Ambientes com duas ou mais janelas possuem uma distribuição da luz mais equilibrada do que aqueles que possuem apenas uma abertura.

- A quantidade de luz admitida em um ambiente tem relação direta com o comprimento e altura da abertura situados acima do plano de trabalho.

1.8.2 Iluminação Zenital

A iluminação zenital é proporcionada por aberturas situadas no forro ou cobertura das edificações, utilizadas principalmente em espaços de grandes profundidades.

As principais características da iluminação zenital são (VIANNA; GONÇALVES, 2001):

- Maior uniformidade de distribuição da luz, visto que as aberturas podem estar uniformemente distribuídas pela cobertura,
- Quanto maior o pé-direito do espaço, maior a tendência de uniformidade da luz;
- Devem ser utilizados preferencialmente para espaços com grandes dimensões, inclusive em relação ao pé-direito;
- Possuem o custo inicial mais alto e necessitam de maiores cuidados de manutenção;
- Deve-se atentar para os problemas térmicos provenientes desta tipologia, principalmente àquelas com superfícies iluminantes horizontais.

A classificação e descrição das tipologias convencionais de iluminação zenital abaixo foram baseadas em Vianna e Gonçalves (2001) e no manual IESNA (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 1999 e 1979).

Destaca-se as seguintes tipologias:

- Lanternim,
- Sheds, ou cobertura dente de serra,
- Iluminação zenital periférica ou janela de cobertura,
- Domos, clarabóias e cúpulas.

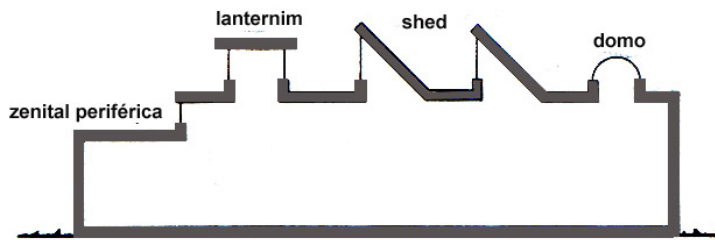


Figura 12 - Tipologias de Iluminação natural usualmente utilizadas em projetos

Fonte : Illuminating Engineering Society of North America (1999)

Lanternim: possui pelo menos duas faces opostas iluminantes. É recomendável que as partes iluminantes sejam orientadas N-S, prevendo elementos de sombreamento externos para tratar da insolação.

Sheds ou cobertura dente de serra: formada por uma “série de superfícies paralelas inclinadas com aberturas verticais ou inclinadas num dos lados que permitem a entrada zenital de luz natural” (ABNT, 2005a). Tipologia bastante comum em espaços industriais. Recomenda-se, para o caso brasileiro, que entre as latitudes de 24° e 32° S sejam orientados para sul para o aproveitamento da luz difusa em quase totalidade do ano, com exceção do mês de dezembro.

Para as latitudes compreendidas entre 0° e 24°, recomenda-se precauções em relação à proteção solar, visto que nestas latitudes, mesmo na orientação sul, não haverá apenas a luz difusa.

Iluminação zenital periférica ou janela de cobertura: esta tipologia é definida como parte do edifício acima da cobertura ou outras partes do edifício, onde a abertura está disposta na parede.

Domo, clarabóia e cúpula: são bastante comuns em edifícios comerciais, galerias, museus, espaços de lazer e cultura.

Estas tipologias que têm como característica principal a superfície iluminante predominante no sentido horizontal, apresentam maiores dificuldades de manutenção e de sombreamento externo. Recomenda-se que estas tipologias não sejam utilizadas no Brasil em áreas superiores a 10% da projeção da cobertura (VIANNA; GONÇALVES, 2001), ou caso contrário, poderão apresentar problemas térmicos se não houver sombreamento externo.

O manual de iluminação IESNA (1979) - *Recommended Practice of Daylighting*, por

outro lado, recomenda no mínimo 5% de abertura para garantia de distribuição uniforme da iluminação (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 1979).

1.8.3 Átrios

O átrio é uma estratégia de iluminação que combina características dos sistemas laterais e zenitais. Configura-se por um espaço central, com iluminação zenital na cobertura que serve para a captação e distribuição da luz em edifícios de múltiplos andares. A geometria e proporção do átrio estabelecem a quantidade de luz direta captada por este sistema.

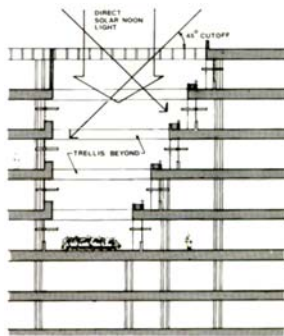


Figura 13 - Átrio escalonado

Fonte: Lam (1986)

Se ele possuir a altura maior do que a largura, a contribuição de luz direta recebida nos pavimentos inferiores será muito pequena e, por isto, as paredes laterais do espaço central devem ter alta refletividade para aumentar a iluminância nas partes mais baixas do edifícios. De acordo com o tratamento da superfície destas paredes laterais, será determinada a contribuição da distribuição da luz por reflexão.

Fechamentos envidraçados reduzem a quantidade de luz refletida, por isto eles devem ser reduzidos de acordo com a necessidade mínima de luz em cada pavimento. As formas escalonadas propiciam uma boa distribuição da luz (Figura 13)

1.8.4 Sistemas Avançados de Iluminação Natural

Alguns sistemas avançados de iluminação natural utilizam reflexões e refrações especulares, semi-especulares ou difusas para redirecionar a luz direta do sol no interior dos edifícios ou para evitar a luz intensa da radiação solar direta. Estes materiais podem estar no plano do vidro, no exterior ou interior das aberturas. A reflexão ou refração pode ser acompanhada por superfícies reflexivas difusas, superfícies metálicas especulares ou semi-especulares, painéis prismáticos, filmes holográficos ou lentes difusoras.

Pereira (1993) apresentou os seguintes sistemas avançados de iluminação:

- Dutos de luz são espaços projetados com materiais de alta reflexão para conduzir a luz direta do sol para ambientes internos que não possuem acesso direto ao exterior (ABNT, 2005 a). Algumas categorias deste sistema:

1. Sistemas de coleta de luz do Sol: fazem o rastreamento da luz do sol por meio de espelhos e lentes montados para tal finalidade. Ex: Heliostato
2. Sistemas de transmissão e distribuição de luz solar: coletam a luz através de estrutura tubular que atravessa os pisos horizontalmente. Ex: dutos metálicos refletivos e espelhados, lentes guia ou de colimão, dutos prismáticos, feixe de fibra ótica.

- Sistemas de deflexão da luz cujo o princípio baseia-se na alteração da direção da luz solar incidente. Algumas categorias deste sistema:

1. Sistemas prismáticos: apresentam seção prismática, consistindo basicamente de uma fileira de prismas triangulares. “A luz incidente é defletida por refração nas superfícies externas e pode ser redirecionada para o fundo dos ambientes.” Ex: blocos de vidro e painéis prismáticos
2. Sistemas de reflexão interna total: caracterizam-se por elementos óticos planos que transmitem e defletem a luz através de uma combinação de refração nas superfícies externas e reflexão total nas superfícies internas. Ex: módulos de canalização da luz (MCL), painel defletor cortado a laser
3. Sistemas espelhados: redirecionam a luz incidente através de superfícies refletoras especulares. Ex: venezianas com reflexão especular que interceptam a luz solar, redirecionando-a para o teto para posterior redistribuição da luz.

Outros elementos avançados para a captação da luz natural apresentados pela IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2000) são:

1. Vidro direcionador da luz zenital: o principal componente deste sistema é uma película polimérica com sistema holográfico, laminado entre duas placas de vidro. O elemento holográfico redireciona a luz do céu para o interior do edifício através da difração e deve ser utilizado apenas em orientações que não recebem sol direto pois causa a dispersão das cores.

2. Sistemas redirecionadores anidólicos para o forro: usam as propriedades óticas de concentradores parabólicos compostos para coletar a luz difusa do céu. O concentrador é acoplado a um duto claro, especular em um plano acima do plano do forro, transportando a luz para a parte posterior do ambiente.

1.9 ECONOMIA DE ENERGIA ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL À ARTIFICIAL

Na história da arquitetura, podemos encontrar exemplos muito ricos do uso da luz natural nas edificações, demonstrando a força que este recurso tem para proporcionar ambientes mais agradáveis, através da integração entre o interior e exterior, que traz uma percepção da temporalidade aos usuários.

Porém, com a criação da lâmpada elétrica em 1879 e o rápido avanço tecnológico alcançado por este sistema, começou a ocorrer certa negligência dos arquitetos em relação ao uso da luz natural. No século XX, principalmente em função da versatilidade da lâmpada fluorescente, entre a década de 1950 até a metade da década de 1980, o sistema de iluminação artificial foi encarado como a solução para todos os problemas, por ser previsível e controlável. O que chamamos de “Renascimento da Iluminação Natural” só ganhou impulso a partir das duas crises do petróleo na década de 1970. Os governos passaram a investir em ações que estimulassem o uso racional de energia, o que resultou na criação do código energético em diversos países e os fabricantes de lâmpadas e equipamentos para iluminação, por sua vez, passaram a investir na busca por produtos energeticamente eficientes.

No Brasil, como consequência desta conscientização, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. O objetivo deste programa é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para eliminar os desperdícios e reduzir os custos e os investimentos setoriais.

O aproveitamento da luz natural aparece como uma ferramenta eficiente na diminuição do consumo energético de uma edificação, porém esta economia só ocorre se o uso da iluminação artificial for reduzido em decorrência do uso da luz natural.

A conservação de energia está intimamente relacionada com a disponibilidade de luz natural, as características do edifício, a tipologia da abertura e o entorno. Além destes fatores, deve-se considerar um sistema de iluminação artificial projetado para complementar a luz natural, com circuitos independentes ou lâmpadas dimerizadas que possam ser acionadas de acordo com mecanismos de controle que respondam aos níveis variáveis de iluminação natural do ambiente.

Segundo Teixeira (2004, p.76) as seguintes estratégias devem ser utilizadas para alcançar uma iluminação energeticamente eficiente:

- Utilização de componentes (lâmpadas, luminárias e acessórios) energeticamente eficientes;
- emprego prioritário da iluminação natural, sendo a iluminação artificial utilizada de forma complementar, onde e quando necessário;
- Iluminâncias adequadas às tarefas.

É muito comum o planejamento da luz artificial desconsiderar completamente o uso da luz natural. Porém, o estudo da distribuição da luz natural em períodos significativos ao longo do ano pode ser usado para sugerir a forma e os sistemas de controle elétrico da iluminação artificial.

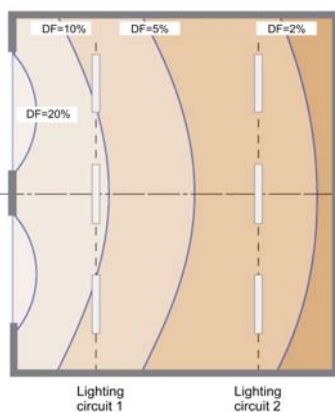


Figura 14 - Ambiente mostrando as curvas isolux e o sistema de iluminação artificial com circuitos independentes

Fonte: Loe (2003).

A melhor forma de integrar os dois sistemas é através da escolha do tipo de controle mais apropriado para cada caso.

Este controle pode ser feito através da dimerização das luminárias que ajusta o nível de iluminação para atingir um nível pré-determinado, levando-se em consideração a luz natural disponível no momento, ou até mesmo o acionamento manual através de circuitos independentes que podem ser ligados ou desligados de acordo com uma maior ou menor proximidade da abertura (Figura14).

Primeiramente, para a análise da economia de energia, o projetista deve estabelecer os níveis de iluminação requeridos no plano de trabalho.

Depois, faz-se a análise do Fator de Luz do Dia (FLD) para compreender o comportamento da luz dentro do ambiente. Com estes valores é possível definir as estratégias de controle da iluminação artificial definidas por zonas.

O cálculo de economia de energia será feito através da determinação do número de horas em que não será necessário o acionamento da iluminação artificial em certas zonas do ambiente, pois a iluminação natural estará suprindo estas necessidades.

Quando se fala em conservação de energia, a questão térmica não pode ser dissociada da questão luminosa. O projetista deve analisar o tamanho das aberturas e a necessidade de sombreamento das mesmas para evitar a radiação direta, levando-se em conta que as aberturas funcionam como uma “ponte” entre as condições internas e as externas. O aumento da dimensão das aberturas, implicará em um aumento da iluminância interna e também em ganhos e perdas de carga térmica dentro da edificação.

Robbins (1986) aponta algumas decisões de projeto que estão relacionadas com a integração entre a luz natural e a artificial:

- Determinação do tipo de controle do sistema elétrico que fará a ligação entre o esquema de disponibilidade de luz natural e o sistema de luz artificial;
- Estabelecimento do *layout* das luminárias de forma que estas possam complementar a luz natural ou atuar quando a mesma não estiver disponível;
- Escolha de um tipo de lâmpada energeticamente eficiente;
- Escolha da luminária apropriada para a estratégia de controle e o tipo de lâmpada escolhido.

Para a determinação da estratégia de controle do sistema de iluminação artificial, o ambiente deve ser dividido em zonas de iluminação. Não existe uma regra única para a divisão destas zonas. As áreas podem ser divididas de acordo com características semelhantes de distribuição da luz, analisadas segundo a proximidade dos valores de FLD ou segundo outros critérios de projeto (Figura 15).

O tamanho de uma zona depende da configuração do ambiente, das condições do céu e da orientação da abertura. Nos países onde predomina o céu encoberto, estas zonas serão estabelecidas de acordo com o FLD, calculado para este tipo de céu. Porém, em países com a predominância do céu claro ou parcialmente encoberto, é

aconselhável fazer uma estimativa para diferentes épocas do ano: solstícios de verão e inverno e equinócios.

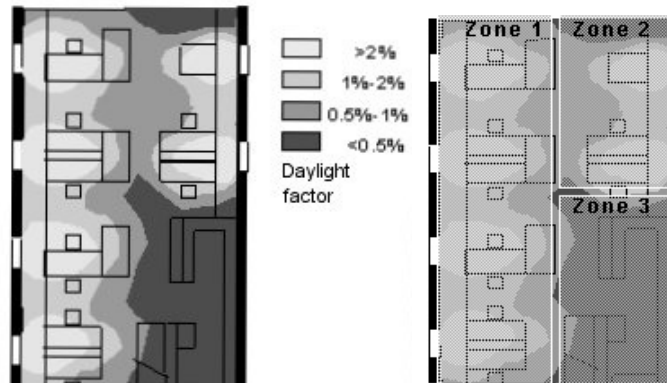


Figura 15 - Zonas de iluminação com características semelhantes do FLD

Fonte: Website CLEAR - Comfortable Low Energy Architecture

Os equinócios de primavera e de outono terão padrões de distribuição parecidos, desta forma, pode-se escolher um deles para a análise.

A disponibilidade de luz em uma zona de iluminação pode variar consideravelmente durante o ano. Deste modo, estas zonas devem ser agrupadas não somente segundo os valores de iluminância disponíveis, mas considerando os padrões de desempenho que as mesmas devam atingir.

Segundo Robbins (1986) dentro de uma mesma zona é aconselhável que o ponto com a iluminância máxima não exceda em intensidade luminosa mais que três vezes em relação ao ponto com a iluminância mínima, para que seja garantido um contraste razoável entre as zonas. Porém, segundo o mesmo autor, esta regra poderá ser estendida para outras proporções dependendo da precisão da tarefa visual executada no ambiente. Robbins recomenda as seguintes proporções de luminância entre a tarefa e a iluminação de fundo (3:1, 6:1, 9:1). Se a proporção de luminância em uma mesma zona for maior que 9:1 entre o ponto máximo e o mínimo é recomendado a divisão desta zona.

Um sistema de controle elétrico apropriado para a iluminação artificial deve considerar dois pontos importantes: um controle integrado para as zonas de iluminação e uma estratégia de controle automático para cada zona. A integração entre as zonas deve levar em conta a iluminação necessária na área de trabalho e a iluminação geral que deve ter uma proporção adequada para evitar o cansaço visual devido a fortes contrastes.

Opções diferentes de controles podem ser utilizadas para cada zona do ambiente. Pode-se estabelecer o acionamento de algumas luminárias intercaladas que ficarão acesas ou apagadas e outras que funcionarão dimerizadas complementando a luz natural disponível.

Alguns índices de avaliação da iluminação natural consideram o desempenho das edificações avaliados em relação a contribuição da luz natural durante o período analisado, indicando o potencial de economia de energia. Entre eles podemos citar: o *daylight autonomy* (REINHART, 2005), o Percentual de Aproveitamento da Luz Natural - PALN (SOUZA et al, 1999), o *Derroche por Factor Ocupacional* - DFO e a Contribuição Energética da Luz Natural - CELN (ASSAF; PEREIRA, 2003).

O índice *daylight autonomy* ou autonomia da luz diurna (ALN) é definido como a porcentagem de horas ocupadas por ano em que o nível mínimo de iluminância requerido para determinada tarefa pode ser suprido totalmente através da luz natural. Considera todas as condições de ocorrência de céu durante o ano. A autonomia de luz diurna caracteriza o potencial de luz natural em um ambiente, mas como este índice é independente da potência do sistema de iluminação artificial e sistemas de controle elétrico instalados não garante que irá ocorrer a economia de energia (REINHART, 2005). Porém se um ambiente possui um alto índice da autonomia de luz diurna integrado a um sistema eficiente energeticamente de iluminação artificial, este será caracterizado por um alto desempenho energético.

Souza et al. (1999) apresentaram a metodologia para o cálculo do Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PANL). Segundo os referidos autores, este índice pode ser utilizado na comparação do desempenho para diversas opções de controle. O PANL possibilita, inclusive, estimar a energia economizada devido ao uso da luz natural. Este índice, ao contrário do *daylight autonomy* considera as diversas opções de controle do sistema elétrico, estabelecendo dentro do horário de utilização do ambiente o período no qual a luz natural poderá substituir ou complementar a luz artificial.

Assaf e Pereira (2003) revisaram alguns índices para a avaliação da iluminação natural. Entre eles, o índice DFO - *Derroche por Factor Ocupacional* que indica a relação da potência de lâmpadas acesas em locais sem ocupantes, pela potência total de iluminação instalada. O índice CELN - Contribuição Energética da Luz

Natural indica a relação da potência de luz desligada, devido ao aproveitamento da luz natural para execução da atividade proposta, pela potência total de iluminação instalada do ambiente. Considera que o ambiente está ocupado e que o sistema de iluminação artificial será integrado ao sistema de iluminação natural.

Robbins (1986) apresenta uma metodologia para a economia de energia, baseada na porcentagem estimada durante o ano de trabalho em que a iluminação artificial não será acionada devido à contribuição da luz natural

O método segue os seguintes passos: (Robbins, 1986)

- Determinação do período de trabalho, no qual é sugerido 12 combinações que variam entre o horário de início (7:00 h, 8:00h e 9:00h) e o fim do expediente (16:00h, 17:00h, 18:00h e 19:00h).
- Segundo passo consiste em estabelecer o tipo de céu predominante no local do projeto, baseado em dados meteorológicos disponíveis.
- Na seqüência, deve-se calcular o Fator de Luz do Dia (FLD) para os pontos internos do ambiente. Após o estudo minucioso da distribuição de iluminâncias, deve-se dividir o ambiente em zonas de iluminação, segundo as características de distribuição da luz e conveniência do tipo de controle do sistema elétrico.
- Posteriormente, deve-se escolher um ponto de FLD dentro de cada zona de iluminação que servirá como parâmetro para o estudo dentro deste espaço. O ideal é que o valor escolhido não esteja nos extremos, isto é, não sejam os valores máximos nem os mínimos, mas sim um valor médio.
- Após a determinação do valor de FLD que irá representar a zona, deve-se estabelecer a estratégia de controle utilizada em cada zona. Este método considera três tipos de controle automatizados: acionamento automático para ligar e desligar, acionamento automático por passos e dimerização automática contínua.
- O próximo passo consiste na determinação do DUF (*Daylight Utilization Fraction*), que serve para analisar o desempenho de diversos sistemas de controle e a possível conservação de energia resultante de cada um. O DUF é a porcentagem do período de trabalho em que a luz natural irá contribuir para a iluminação em uma zona previamente determinada, considerando o sistema de controle elétrico utilizado no ambiente.

- O último passo consiste no cálculo do consumo de energia economizada devido ao uso da luz natural. Para tal, deve-se calcular o consumo de energia considerando as que o espaço foi iluminado com a contribuição da luz natural. Posteriormente calcula-se o consumo de energia, considerando que o espaço não teve a contribuição da luz natural (DUF=0). O produto da diferença entre as duas situações calculadas será o consumo de energia economizado durante o período.

O método de cálculo da economia de energia desenvolvido por Alucci (1992) possui os seguintes procedimentos:

- O primeiro passo consiste em determinar a frequência de ocorrência durante o ano para diferentes níveis de iluminação externa, a partir dos valores de radiação solar de uma localidade. Utiliza-se o conceito de eficiência luminosa para transformar os dados de radiação global em valores de iluminância.
- Posteriormente deve-se estabelecer a distribuição da iluminância no ambiente através da determinação do Fator de Luz do Dia (FLD),
- Conhecido os valores de FLD e após determinado o valor de iluminância interna mínima exigida no ambiente, segundo a ABNT (1992), é possível identificar a iluminância externa (E_e) mínima necessária para que seja cumprida esta exigência.

A equação abaixo demonstra esta relação:

$$E_e = E_p / \text{FLD} \dots\dots\dots (6)$$

Onde:

FLD - Fator de luz do Dia

E_e - Iluminância em um plano externo horizontal desobstruído

E_p - Iluminância em um ponto interno

- Após determinar o valor mínimo da iluminância externa (E_e), suficiente para proporcionar o nível de iluminância interna necessário, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência deste valor durante o ano. No período em que a iluminância interna não atingir o nível pré-determinado deve-se acionar a iluminação artificial.

- O último passo consiste no cálculo do consumo de energia elétrica (CEE) do ano, através da seguinte fórmula:

$$\text{CEE} = \text{área do ambiente} \times \text{potência do sistema} \times \text{número de horas (KWh/ano)} \dots\dots (7)$$

Outros métodos para o cálculo da economia de energia podem ser encontrados na vasta bibliografia sobre o assunto, porém, o presente tópico não objetivou esgotar todos os métodos existentes, mas sim, levantar os principais parâmetros que interferem na eficiência energética através do uso da luz natural.

1.10 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A luz natural é uma fonte abundante de energia, que proporciona inúmeros benefícios aos seres humanos. Ela tem sido associada à satisfação e bem estar dos usuários, influenciando o estado mental, o humor, aspectos psicológicos, psico-emocionais e a saúde geral dos mesmos. Além destes fatores, podemos citar sua influência no aumento da produtividade em ambientes de trabalho, redução do consumo de energia e sua contribuição na busca pela sustentabilidade das construções.

Um bom ambiente luminoso deve ser confortável, prazeroso, não ser poluído visualmente e deve ser apropriado para a função nele desempenhada. Para tanto, os requisitos qualitativos e quantitativos devem ser buscados com o mesmo rigor, visando atender às necessidades de informação visual dos usuários.

A iluminação natural nas edificações tem dois objetivos principais: melhorar o conforto visual dos usuários e reduzir o consumo de energia. Diversas estratégias podem ser utilizadas para melhorar a penetração da iluminação em ambientes.

A luz, nos ambientes, se distribui de maneira peculiar dependendo das características do sistema de iluminação utilizado no projeto. O entendimento dos conceitos gerais de todas as variáveis que interferem na iluminação natural e dos sistemas de iluminação natural, torna-se uma questão fundamental para os projetistas que desejam tirar partido desta fonte de energia gratuita.

As aberturas devem ser projetadas pensando tanto na captação da luz natural, como também, em proporcionar aos usuários o contato com o meio externo, pois é comprovado as consequências benéficas resultantes deste fato⁶. O contato visual com o exterior, além de fornecer um senso de orientação aos ocupantes dos edifícios, permite que os mesmos descansem a visão através do relaxamento dos

⁶ Segundo pesquisas de Boyce et al (2003)

músculos dos olhos quando focam o infinito. Os espaços iluminados naturalmente são responsáveis pelo maior nível de satisfação dos usuários devido à dinamicidade da luz, que varia durante o dia e durante as diversas estações.

Uma vez que a iluminância do ambiente atinge níveis satisfatórios, deve-se estabelecer sistemas de controle para o sombreamento e estratégias para a integração do sistema de iluminação artificial em conjunto com a luz natural. Dependendo das características do projeto serão escolhidos os tipos de controle (manual ou automático) para o acionamento do sistema de iluminação artificial, que levará à conservação de energia e *payback* do investimento.

A pertinência do uso da iluminação natural baseia-se principalmente na necessidade básica do ser humano de uma ligação com o Sol, que é fonte primária, geradora de vida. Devido às suas características próprias, a radiação solar influencia diretamente o bem estar psicológico e fisiológico do homem e de maneira alguma poderá ser substituído apenas por recursos artificiais.

Portanto, devido às qualidades inerentes à luz natural e ao grande potencial de economia de energia proporcionado por seu correto aproveitamento, esta deve ser utilizada como estratégia na busca pela sustentabilidade das edificações.

2

MÉTODOS MANUAIS PARA O CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Durante os últimos 50 anos, diversas ferramentas de projeto foram desenvolvidas para o cálculo da iluminação natural em edificações, entre as quais podemos citar: os métodos manuais, os modelos físicos reduzidos e os programas de simulação computacional.

O termo “ferramenta de projeto” neste trabalho será empregado com a seguinte conotação: método, técnica, procedimento, equipamento que ajuda na avaliação do projeto, na escolha correta de opções para alcançar um objetivo específico.

Baker e Steemers (2002, p.192) apontam diversos objetivos que sugerem o uso das ferramentas de projeto para a avaliação da iluminação natural (tradução nossa):

- “previsão dos níveis de iluminação nos ambientes provenientes da luz difusa do céu”,
- “análise do acesso solar nos ambientes e entorno das edificações,”
- “cálculo do ofuscamento proveniente das fontes de luz natural,”
- “previsão do desempenho de sistemas inovadores de iluminação natural e sistemas de controle da iluminação artificial,”
- “previsão da economia de energia proveniente da iluminação natural,”
- “análise do custo-benefício da iluminação natural e dos sistemas de controle da iluminação artificial,”
- “visualização do projeto de iluminação natural proposto.”

Há diversos métodos manuais para a análise da iluminação natural que variam em relação ao grau de complexidade e objetivos da análise. Inclui-se nesta categoria: os métodos matemáticos e os métodos gráficos. A Commission Internationale de L'Éclairage - CIE (1970) apresentou 63 métodos manuais para a avaliação da iluminação natural. Os métodos matemáticos, em algumas situações, podem ser utilizados em combinação aos métodos gráficos para a determinação dos valores de iluminância internas.

Os programas de simulação computacional utilizam-se de modelos matemáticos para a sua formulação. Esta ferramenta de avaliação, devido à sua especificidade e importância, será tratada em um capítulo específico nesta dissertação.

A iluminação natural no interior das edificações pode exprimir-se, ou em termos absolutos ou como uma porcentagem da iluminação total da luz natural (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975). O Método dos lumens é um exemplo de método que determina valores absolutos, ao passo que o método do Fator de Luz do Dia (FLD) determina valores relativos.

Considerando a diversidade de métodos existentes, esta pesquisa não pretende esgotar o assunto. Abaixo serão abordados alguns métodos manuais para o cálculo da iluminação natural que foram selecionados por serem utilizados por autores respeitados na área, assim como o método recomendado pela norma brasileira de iluminação natural (ABNT, 2005c), Diagramas de Contribuição Relativa da Luz (DCLR). Pretende-se, desta forma, exemplificar, sem um grande detalhamento, algumas ferramentas manuais existentes para o cálculo da iluminação natural e suas diferentes aplicações.

2.1 MÉTODO DOS LUMENS

O método dos Lumens é recomendado pela *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA, 2000), tendo sofrido diversas revisões ao longo do tempo. Baseia-se no princípio de que a iluminância resultante em determinado ponto do ambiente é uma função da quantidade de luz presente em uma abertura. Permite a predição da iluminância interna através de sistemas de fenestração simples que possuem iluminação lateral, com ou sem prateleiras de luz, assim como sistemas de iluminação zenital. Assume que o ambiente está vazio e que o mesmo possui formato retangular.

Este método consiste na execução de quatro procedimentos básicos (IESNA, 2000):

1. Determinar a iluminância exterior na janela ou abertura zenital.
2. Determinar os fatores de redução da luminosidade, que inclui a transmitância do vidro assim como o sombreamento proporcionado por sistemas controle na fenestração.

3. Determinar o coeficiente de utilização do ambiente¹. Deve-se ressaltar que os sistemas de iluminação lateral e zenital possuem procedimentos diferenciados para o cálculo do coeficiente de utilização.
4. Calcular a iluminância interna considerando os fatores determinados nas etapas anteriores.

Determina-se a iluminância para o ponto de referência conforme a equação:

$$E_i = E_x \times NT \times CU \quad (8)$$

Onde:

E_i é a iluminância interior, em lx

E_x é a iluminância exterior, em lux

NT são os fatores de redução da luminosidade

CU é o coeficiente de utilização

2.2 FATOR DE LUZ DO DIA (FLD)

Para analisar a contribuição de iluminação natural recebida no interior de uma edificação, pode-se usar o conceito de Fator de Luz do Dia (FLD).

Este conceito foi criado para contornar o problema da variabilidade da disponibilidade da luz natural, expressando os valores internos através de valores percentuais em relação aos níveis externos, considerando que a quantidade de luz disponível em um ponto interno de uma edificação varia proporcionalmente em relação à luz disponível externamente.

Hopkinson, Petherbridge e Logmore (1975, p.706-707) descrevem este fator como:

O Factor de Luz do Dia é uma medida da iluminação natural em um ponto de um dado plano, expressa como uma relação da iluminação no plano dado e no ponto em causa, com a iluminação exterior simultânea em um plano horizontal proveniente da totalidade de um céu não obstruído com uma distribuição de luminâncias suposta ou conhecida. A luz solar direta exclui-se de ambos os valores de iluminação (interior e exterior).

¹ Coeficiente de Utilização (CU) é a razão do fluxo luminoso (lumens) de uma fonte (luminária, janela, etc) recebida no plano de trabalho para o fluxo emitido por uma fonte de luz

Segundo a norma brasileira de iluminação natural (ABNT, 2005c, p.2) que utiliza definição da CIE² para conceituar o FLD, este é descrito como:

[...] a razão entre a iluminância E_p , num ponto localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida e a iluminância simultânea E_e num plano externo horizontal devido à uma abóbada celeste desobstruída[...]

Este conceito pode ser expresso pela seguinte fórmula (ABNT, 2005c, p.2):

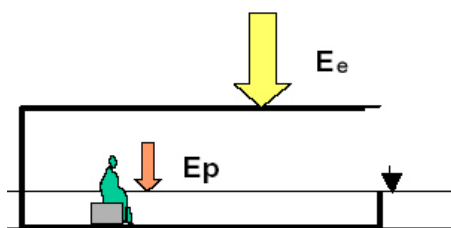


Figura 16 - Iluminância externa e interna

Fonte : Alucci (2002)

$$FLD = E_p / E_e \times 100 (\%) \quad (9)$$

onde:

E_p - Iluminância em um ponto interno

E_e - Iluminância em um plano externo horizontal desobstruído

O conceito de Fator de Luz do Dia, proposto pela CIE, foi desenvolvido para cálculo sob condição de céu totalmente encoberto. Nesta condição, o FLD apresenta-se como um valor constante durante todo o ano, independente da orientação das aberturas. Por este motivo, o FLD que é geralmente expresso em porcentagem, demonstrando a quantidade de luz disponível internamente em relação à luz externa, pode ser utilizado como critério de comparação para analisar o desempenho entre diferentes alternativas de projeto.

Estes valores do FLD podem ser multiplicados pelas disponibilidades de luz estimadas para diversas épocas, sob condição de céu encoberto, e deste modo obter os valores de iluminância internos.

Alguns estudos realizados nos Estados Unidos propõem uma metodologia de cálculo do FLD sob condição de céu claro (ROBBINS, 1986). Nesta condição, o FLD irá variar de acordo com a hora do dia, a época do ano e a orientação da abertura. Em nenhum dos dois casos, céu encoberto e céu claro, a contribuição da luz direta do Sol é considerada nos cálculos.

Existem vários métodos (gráficos e matemáticos). para o cálculo da iluminância em um ponto interno de uma edificação (E_p), com o objetivo de obter o FLD. Entre estes

² Commission Internationale de l'Éclairage

destaca-se o Método do Fluxo Dividido recomendado pela ABNT (2005c).

2.3 MÉTODO DO FLUXO DIVIDIDO

O método do fluxo dividido considera os vários caminhos que a luz faz para alcançar um ponto interno na edificação. Pode-se destacar três componentes que contribuem para a iluminação de um ponto interno, resultantes da divisão do fluxo luminoso: (ABNT 2005c)

- Componente celeste (C.C): contribuição da luz proveniente da abóbada celeste (Figura 17 a);
- Componente de reflexão externa (C.R.E.): contribuição da luz proveniente das obstruções externas do entorno após sofrerem reflexões (Figura 17 b);
- Componente de reflexão interna (C.R.I.): contribuição da luz proveniente de reflexões das superfícies internas do ambiente: piso, paredes, teto e mobiliário (Figura 17 c).

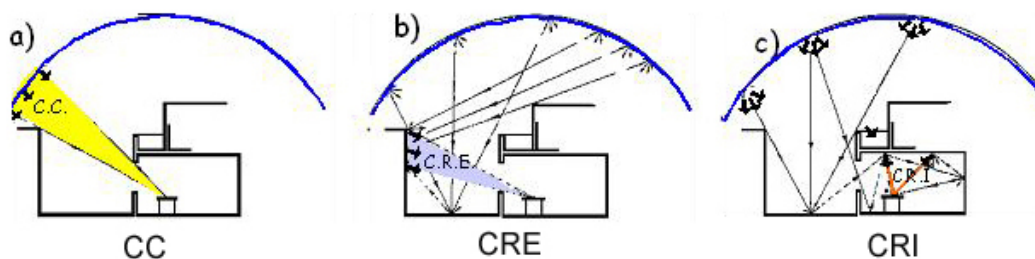


Figura 17 : Fontes de luz natural que alcançam o edifício

Fonte : ABNT, 2005c

Deve-se observar que a relação de contribuição interna da luz varia dentro do espaço interno, uma vez que cada ponto irá visualizar uma maior ou menor porção da abóbada celeste assim como as obstruções externas.

A iluminância em um ponto interno do ambiente (E_p) é resultado da soma da três componentes, corrigidas por fatores de redução da luminosidade, tais como, a transmissividade do vidro (K_T), o fator de manutenção (K_m) e fator de caixilho (K_c), conforme a expressão:

$$E_p = (CC + CRE + CRI) \times K_T \times K_m \times K_c \quad (10)$$

Substituindo E_p da equação 9 na equação 10, temos a seguinte equação para o

FLD:

$$\text{FLD} = [(\text{CC} + \text{CRE} + \text{CRI}) \times K_T \times K_m \times K_c / E_e] \times 100 (\%) \quad (11)$$

2.4 DIAGRAMAS DE CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DA LUZ (DCRL)

Este método é recomendado pela norma brasileira de iluminação natural (ABNT, 2005c) para apoiar os projetistas na tomada de decisões iniciais do projeto, em relação ao nível de iluminação, em planos horizontais, que se obtém por determinada abertura.

Os Diagramas de Contribuição Relativa da Luz (DCLR) representam a abóboda celeste em projeção estereográfica, subdivididas em 244 zonas. Estes diagramas, elaborados para altitudes solares de 15°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90°, representam a distribuição de luminâncias do céu. O método permite o cálculo de iluminâncias internas para as condições de céu claro e céu encoberto. Cada zona apresenta numericamente a sua contribuição relativa para a iluminância no plano horizontal desobstruído, em função da altitude solar (SOUZA; PEREIRA, 1997).

Determina-se a iluminância em um ponto interno no ambiente através da somatória dos valores obtidos para a componente celeste (CC), a componente refletida externa (CRE), e a componente refletida interna (CRI), corrigidas por fatores relativos aos efeitos redutores na abertura, conforme a expressão 10, apresentada anteriormente.

Para obter a contribuição proporcionada pela componente celeste (CC), deve-se elaborar a máscara de sombra para um determinado ponto interno e sobrepô-la ao DCRL mais adequado, de acordo com a altitude solar e condição de céu que se deseja estudar.

Posteriormente, deve-se somar os valores internos da parcela de céu visível, determinando, desta forma, a iluminância proveniente da componente celeste (CC), conforme a Figura 18.

Para o cálculo da componente refletida externa (CRE), deve-se observar se a obstrução é iluminada diretamente pelo Sol ou não.

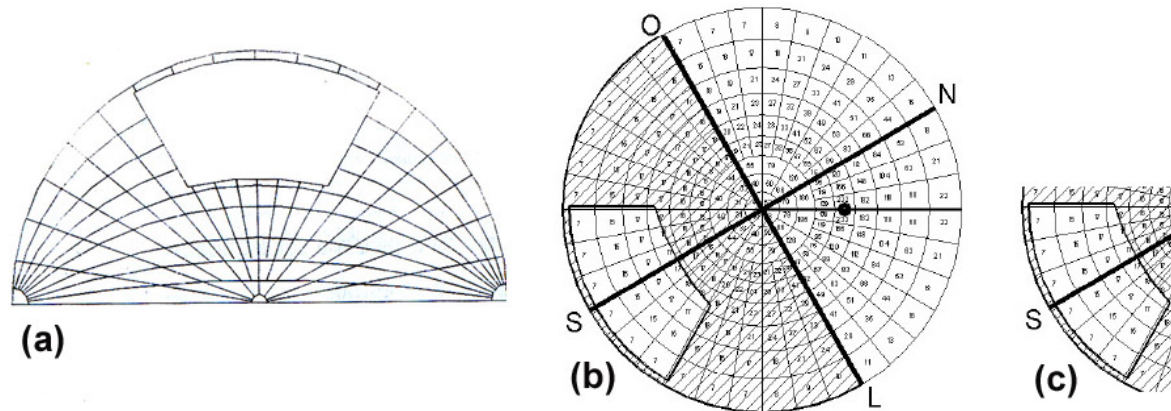


Figura 18 - (a) Máscara de obstrução para o ponto interno analisado, (b) sobreposição da máscara sobre o DCRL, (c) Parcela de céu visível pela abertura de iluminação.

Fonte : ABNT, 2005c

Quando a obstrução externa não for iluminada diretamente pelo sol ela é tratada como uma porção de céu, cuja luminância é inferior à porção do céu desobstruído. Calcula-se a componente celeste da área obstruída ($CC_{\text{céu obstruído}}$) e converte-se o resultado, multiplicando-o pelo coeficiente de reflexão da obstrução (ρ), conforme a equação:

$$CRE = CC_{\text{céu obstruído}} \times \rho_{\text{obstrução}} \quad (12)$$

Para obstruções iluminadas pelo sol direto considera-se que a obstrução visível estará mais clara que a porção de céu que ela obstrui. Assim é necessário conhecer o valor da iluminância resultante da radiação direta do sol no plano vertical da obstrução. Pode-se determinar a CRE pela multiplicação da iluminância na superfície oposta à abertura pelo fator de forma correspondente à superfície da abóboda obstruída pela edificação (FF_{oe}) e pelo coeficiente de reflexão da superfície externa, conforme a equação:

$$CRE_{\text{abs}} = E_{sv} \times FF_{oe} \times \rho_{\text{obst.}} / \pi \quad (13)$$

Onde:

CRE_{abs} é igual ao valor absoluto da CRE, em lux

E_{sv} é a iluminância devido ao sol no plano de obstrução (lux)

FF_{oe} é igual ao fator de forma das obstruções externas relativo ao ponto de observação

ρ_{obs} é o coeficiente de reflexão da superfície externa

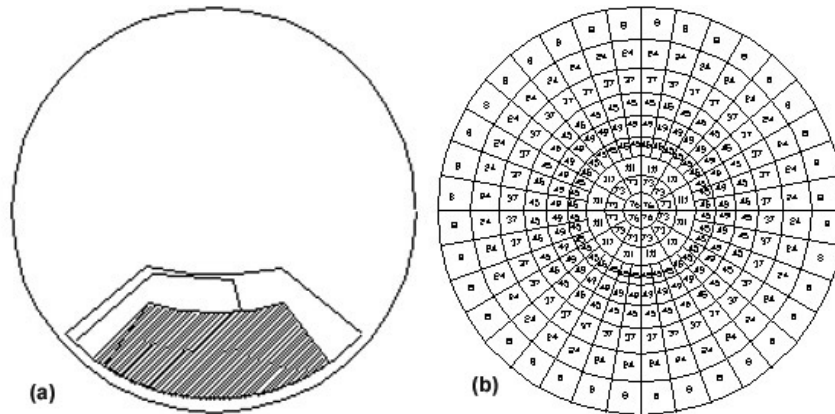


Figura 19 - (a) Exemplo de projeção de obstrução; (b) Diagrama com fatores de forma

Fonte: ABNT, 2005c

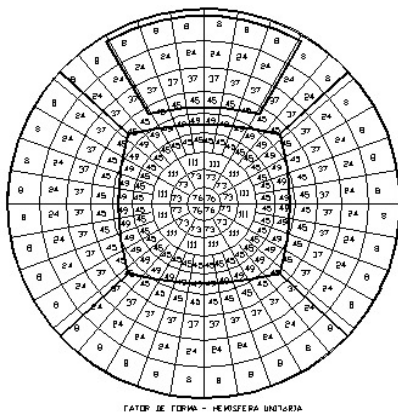


Figura 20 - Projeção das superfícies internas do ambiente em relação ao ponto de análise com exemplo da superposição sobre o diagrama com os fatores de forma

Fonte: ABNT (2005c)

Para calcular a CRI, deve-se fazer a projeção estereográfica das superfícies internas do ambiente em relação ao ponto de análise. O próximo passo consiste em sobrepor a projeção ao diagrama com os fatores de forma, obtendo-se, deste modo, o valor da área projetada das superfícies internas do ambiente (Figura 20).

Para o cálculo da CRI admite-se, com o objetivo de simplificar o modelo, que toda a luz que penetra na abertura (CC+CRE) é uniformemente distribuída e refletida internamente acima do plano onde está localizado o ponto em estudo.

Aplica-se o fator de correção K_p , determinado empiricamente, com o objetivo de compensar as múltiplas reflexões que ocorrem no ambiente real.

Calcula-se o CRI conforme a equação:

$$CRI = \left\{ \sum_{i=1}^n (FF_{si} * \rho_{mi}) \right\} * (CC + CRE) * k_p \quad (14)$$

Onde:

n é igual ao número de superfícies

FF_{si} é igual ao fator de forma de cada uma das superfícies internas em relação ao ponto P (obtido através da figura 20)

ρ_{mi} é igual à refletância média de cada superfície interna

k_p é um fator empírico de correção em função da posição do ponto

Posição do ponto	Valor de k_p
próximo à abertura	0,9
posição intermediária	1,15
afastado da abertura	1,6

2.5 TRANSFERIDORES DE ILUMINAÇÃO NATURAL BRS

Segundo Hopkinson, Petherbridge e Logmore (1975), os transferidores da *Building Research Station* (BRS) permitem uma rápida avaliação da luz natural através de plantas e cortes em escala, baseando-se no princípio do ângulo sólido projetado. São utilizados para determinar a componente direta do céu (CC) e a componente externa refletida (CRE), da área de obstrução visível para o ponto de referência no interior do ambiente. Através deste método não é possível calcular a componente interna refletida, sendo necessário utilizar outro método complementar para tal finalidade.

Os transferidores de iluminação da BRS (*Building Research Station*) podem ser utilizados para a análise de céu uniforme e céu encoberto padrão CIE. Para a análise de céu claro, é possível utilizar um conjunto de transferidores desenvolvidos por Bryan e Carlsberg³ (1982 apud MOORE, 1991), baseados no céu claro padrão CIE, em formato similar aos transferidores da BRS.

Cada conjunto de transferidores da BRS é formado por cinco pares, entre os quais (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LOGMORE, 1975):

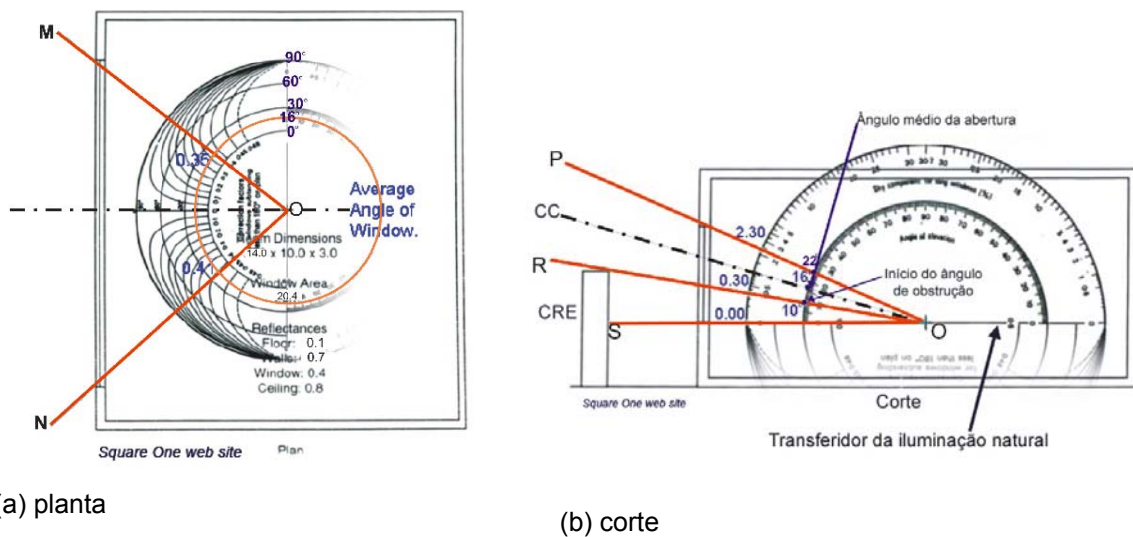
- Transferidores para envidraçados verticais.
- Transferidores para envidraçados horizontais – aberturas zenitais.
- Transferidores para aberturas envidraçadas inclinadas 30° em relação à horizontal.
- Transferidores para aberturas envidraçadas inclinadas 60° em relação à horizontal.

³ BRYAN, H.; CARLSBERG, D. Daylight protractors: for calculating the effects of clear skies. In: PROGRESS IN PASSIVE SOLAR ENERGY SYSTEMS. Boulder, CO, USA: American Solar Energy Society, 1982.p.399-404.

- Transferidores para aberturas não envidraçadas.

Cada transferidor é composto por duas partes: o transferidor principal e o auxiliar. O transferidor principal, também conhecido como componente de céu para janelas de comprimento infinito é usado no desenho do corte. Utiliza-se o transferidor auxiliar na planta, para estabelecer o fator de correção para a largura da janela.

A seguinte sequência descreve um exemplo de aplicação dos transferidores de iluminação BRS para aberturas com vidros verticais e presença de obstrução externa, segundo recomendações de Baker e Steemers (2002):



(a) planta

(b) corte

Figura 21 - Transferidores para a determinação da componente de céu em casos de janelas envidraçadas verticalmente

Fonte: Marsh, (s.d) / site: <www.squ1.com>

1- Marcar no desenho em corte do ambiente o ponto de referência no plano de trabalho, onde será feita a análise da iluminação natural.

2- Desenhar linhas de visão de céu, partindo-se do ponto de referência (O) em direção às extremidades superiores da janela e a extremidade inferior da porção visível de céu (início da obstrução). Conforme as linhas PO e RO da figura 21 (b)

3- Colocar o transferidor principal com o seu centro no ponto (O) e a base estendida no plano de trabalho.

4- Fazer a leitura dos valores onde as linhas PO e RO intersectarem a escala graduada. A diferença entre os duas leituras é a componente de céu inicial (CC_i), que revela a luz natural direta. Para o exemplo (Figura 21 b) as leituras são 2,3% e 0,3%. A diferença entre as duas leituras é 2%, que corresponde ao valor da (CC_i).

Este valor revela a luz natural direta em um ponto de referência, para uma janela envidraçada verticalmente que se estende em uma direção infinita para ambos os lados da seção a ser estudada.

5- Nesta etapa, obtém-se a correção que se deve aplicar às janelas de comprimento finito. Deve-se determinar o ângulo médio de altura do céu visível, acima do plano de referência. Este ângulo pode ser obtido com um transferidor angular normal. Na figura 21b, os valores para as linhas de visão superiores e inferiores foram 22° e 10° . Determina-se o ângulo médio de altura através da média entre os dois valores, neste caso 16° .

6- Marcar no desenho em planta do ambiente a posição do ponto de referência considerado (O).

7- Desenhar linhas de visão de céu partindo-se do ponto de referência (O) em direção aos limites da janela. Conforme as linhas MO e NO (figura 21 a).

8- Colocar o transferidor auxiliar, para envidraçados verticais, com o seu centro no ponto de referência (O) e a sua base paralela ao plano da janela estudada.

9- Marcar 4 semi-círculos concêntricos no transferidor de 0° , 30° , 60° e 90° . Como o ângulo médio de altura calculado na etapa 5 foi 16° , deve-se marcar outro semi-círculo concêntrico entre as escalas de 30° e 0° , correspondente ao ângulo de 16° .

10- No ponto em que as linhas MO e NO interseptarem o semi-círculo que corresponde ao ângulo de 16° deve-se fazer a leitura dos valores. No exemplo apresentado os valores foram 0,35 e 0,41.

11- Para o caso em que os valores estão em cada um dos lados da linha normal à janela, como no diagrama apresentado, a soma das duas leituras apresentadas na etapa anterior configura-se o fator de correção (CF) que deve ser aplicado ao valor de componente de céu inicial. Assim temos:

$$CF = 0,35 + 0,41 = 0,76 \quad (15)$$

Para os casos em que os valores estão no mesmo lado em relação a linha normal à janela, deve-se subtrair o menor valor do maior para se obter o valor de correção.

12- Para se obter o valor da componente de céu corrigida, multiplica-se a componente de céu inicial (CC_i) pelo fator de correção (CF). Assim temos:

$$CC = 2 \times 0,76 = 1,52 (\%) \quad (16)$$

13- Calcular a contribuição da iluminação proporcionada pela componente refletida externa (CRE), considerando que a luz refletida na obstrução em frente a janela contribuirá para a iluminação no ponto de referência. Para isto, deve-se determinar a CRE para a porção de céu coberto pela obstrução através do desenho em corte do ambiente. Desenhar linhas de visão da obstrução partindo-se do ponto de referência (O) em direção ao início da obstrução e a parte inferior da janela. Conforme as linhas RO e SO (figura 21b). Na sequência, deve-se fazer a leitura dos valores de intersecção entre o transferidor e as linhas traçadas. No exemplo apresentado os valores foram 0,30 e 0,0. A diferença entre as duas leituras, é 0,30 que corresponde ao valor de CC_{obs} .

14- Multiplicar este valor pela luminância da superfície relativa ao céu que é calculado da seguinte forma: (refletância da superfície) x 0,5. Se a refletância da superfície é desconhecida considera-se que este valor é 0,2. Assim:

$$CRE = (3,0 - 0,0) \times 0,20 = 0,06 \quad (17)$$

Aplicando-se os valores de correção:

$$CRE = 0,06 \times 0,76 = 0,0456 (\%) \quad (18)$$

2.6 NOMOGRAMA DE ILUMINAÇÃO PARA DETERMINAR A CRI

O nomograma é um método gráfico que representa as relações que existem entre diversas variáveis da equação matemática. A vantagem deste método, comparado às fórmulas matemáticas, é que este permite a visualização simultânea do impacto de vários parâmetros, no contexto geral. Existem nomogramas específicos para diversos tipos de análise. É possível avaliar a economia de energia em fases preliminares de projeto através de nomogramas, desenvolvidos por *Lawrence Berkeley Laboratory* (MOORE, 1991).

Segundo Hopkinson, Petherbridge e Logmore (1975), “os nomogramas baseiam-se em certas hipóteses que, embora não gerais, se empregam na grande maioria dos cálculos de iluminação e deste modo poupam muito trabalho.”

O método a seguir descreve os procedimentos para determinar a componente de

reflexão interna (CRI) média, para sala com iluminação unilateral, através do uso do nomograma.

Para exemplificar este método será utilizado o ambiente anteriormente exposto, no método dos transferidores BRE. Os desenhos em planta e em corte do ambiente aparecem na figura 21. O ambiente possui as seguintes características:

Dimensões do ambiente: 14m x 10m x 3m

Área da janela= 20,4 m²

Refletância das superfícies: piso (0,1%), paredes (0,7%), janela (0,4%) e teto (0,8%).

Segundo Baker e Steemers (2002), deve-se seguir os seguintes passos:

1- Calcular a área total da janela e a superfície total do ambiente (piso, teto, paredes, inclusive a área da janela). Com os valores encontrados calcular a relação da área da janela em relação a área da superfície total do ambiente. Localizar este valor na escala A do nomograma (figura 22).

$$A_{jan} / A_{sup.total} = 20,4 \text{ m}^2 / 424 \text{ m}^2 = 0,048 \quad (19)$$

2- Calcular a refletância média ponderada de acordo com o pesos da áreas de todas as superfícies do ambiente, usando a seguinte equação:

$$\text{refletância média} = (\text{área do piso} \times \text{refletância do piso}) + (\text{área da parede} \times \text{refletância da parede}) + (\text{área do teto} \times \text{refletância do teto}) + (\text{área da janela} \times \text{refletância da janela}) / (\text{área da superfície total do ambiente}) \quad (20)$$

$$\text{refletância média} = (140 \times 0,1) + (123,6 \times 0,7) + (140 \times 0,8) + (20,4 \times 0,4) / 424 = 220,68 / 424 = 0,52$$

3- Localizar o valor médio de refletância na escala B e ligar, com uma régua, este ponto ao ponto já determinado na escala A (Figura 22).

4- No local onde a linha traçada intersectar a escala C, o valor obtido será o coeficiente de reflexão interno médio (CRI), se não houver obstrução externa (Figura 22).

5- No caso da existência de obstrução externa localizar, no corte do ambiente, o ângulo de obstrução do centro da janela na escala D (Figura 22). Para o exemplo analisado este ângulo é 10° (Figura 21b).

6- Fazer um traço ligando este ponto da escala D até o ponto já localizado na escala

C. A intersecção com a escala E resultará na CRI corrigida, considerando-se a obstrução (figura 22). $CRI_{\text{corrig}} = 1,5\%$.

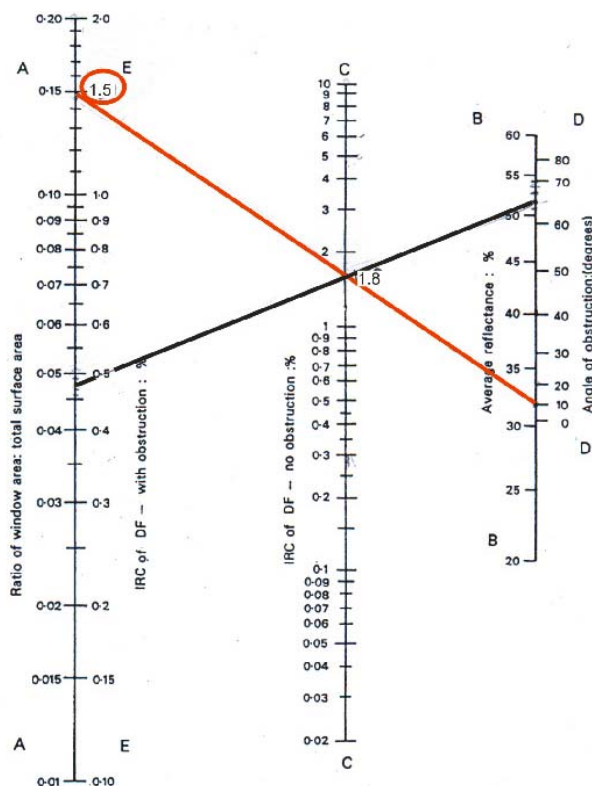


Figura 22 - Nomograma para determinar o valor médio da componente refletida interna (CRI)

Fonte: Baker e Steemers (2002)

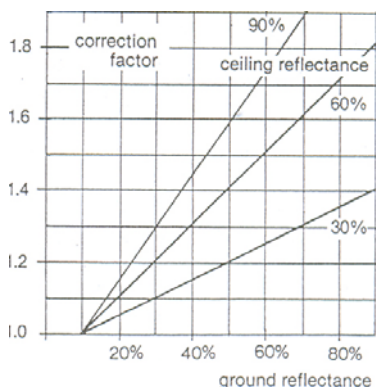


Figura.23 - Gráfico que determina o fator de correção para piso com refletância superior ao valor 10% Fonte: Baker e Steemers, 2002

O nomograma para a avaliação da CRI assume o valor de 0,1 para a refletância do piso. Para valores superiores de refletância do piso, o valor da CRI deve ser corrigido de acordo com o gráfico da figura 23. O fator de correção depende da refletância do piso e do teto, considerando-se que a luz será refletida por estas superfícies.

Este fator deve ser multiplicado pelo valor do CRI, obtido através do nomograma (Figura 22).

2.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Foram apresentadas algumas ferramentas manuais que permitem avaliar a iluminação natural através de diferentes procedimentos, sem a pretensão de esgotar

o assunto. Os métodos manuais são indicados para as fases iniciais do projeto, quando ainda não foram definidas com precisão todas as variáveis que interferem na iluminação natural.

Pode-se fazer as seguintes considerações relevantes em relação aos métodos analisados:

- O método dos lumens, proposto pela IES, possui limitações na medida em que pré-determina poucas alternativas de projeto: o ambiente deve ser retangular, considera-se o tamanho da janela igual ao tamanho do ambiente e estendendo-se da altura do plano de trabalho ao teto, não são consideradas obstruções externas adjacentes, sendo possível calcular apenas o sombreamento devido aos brises horizontais.

- O Fator de Luz do Dia (FLD), determinado através do método do fluxo dividido, não considera a orientação do ambiente pois exclui do cálculo os efeitos da luz direta do sol.

- O método dos Diagramas de Contribuição Relativa da Luz (DCRL) é bastante trabalhoso devido à necessidade de desenhar as superfícies do ambiente em projeção estereográfica, para depois somar os valores delineados. A vantagem deste método deve-se ao fato do mesmo ter sido desenvolvido no Brasil, apresentando valores mais próximos da nossa realidade.

- Os transferidores da BRS são ferramentas de fácil aplicação. Permitem a avaliação da iluminação natural apenas para condição de céu encoberto e céu uniforme. Através deste método é possível calcular os valores de CC (componente celeste) e CRE (componente refletida externa). O cálculo da CRI (componente de reflexão interna) deve ser realizado através de outro método.

- O nomograma para determinar a componente de reflexão interna (CRI) necessita da complementação de outros métodos para o cálculo da CC e CRE. É um método de fácil aplicação, tendo como ponto negativo as possibilidades de erros da leitura dos valores no nomograma que podem ocorrer devido à imprecisão do traçado.

Decisões projetuais relativas, consideradas em fases preliminares de projeto, têm um grande impacto no desempenho final das edificações. Por este motivo, as ferramentas manuais para avaliação da iluminação natural são bastante úteis durante esta etapa. Estas oferecem parâmetros iniciais de projeto, mas não são adequadas para a avaliação de sistemas avançados de iluminação natural.

3

MODELOS COMPUTACIONAIS PARA A SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Segundo Reinhart (2005), para uma análise rigorosa da iluminação natural deve-se seguir os seguintes passos:

- estimar a disponibilidade de luz na edificação através de simulações ou outros métodos,
- converter os resultados em medidas de desempenho da luz natural,
- interpretar o resultado do desempenho para tomar decisões de projeto.

Os programas de simulação da luz natural são ferramentas poderosas de estudo, colaborando nos dois primeiros passos abordados acima. Reinhart (2005, p.7) tem a seguinte definição para os programas de simulação da luz natural:

A daylight simulation is a computer-based calculation which aims to predict the amount of daylight available in a building either under selected sky conditions (static simulation) or during the course of the whole year (dynamic simulation). Daylight simulations calculate physical quantities such as illuminances or luminances due to daylight at selected locations in a building.

É importante que a simulação da iluminação esteja integrada ao desenvolvimento do projeto, servindo como subsídio no processo de tomada de decisões, inerentes ao ato de projetar. As decisões resultantes deste processo têm um impacto fundamental no desempenho ambiental das edificações. A simulação da luz natural deve ser inserida paralelamente às etapas de definição do partido adotado. Nesta fase já é possível entrar com dados como geometria da edificação, propriedades dos materiais e dados geográficos. Após o processamento das informações, deve-se analisar as soluções adotadas, e caso necessário, realiza-se novas simulações. Este procedimento deve ser executado até que o objetivo estabelecido seja alcançado e de acordo com o maior grau de detalhamento e definições em fases mais avançadas do projeto (CHRISTAKOU, 2004).

Reinhart (2005, p.8) sugere um fluxograma para a inserção dos programas de simulação durante a fase de projeto:

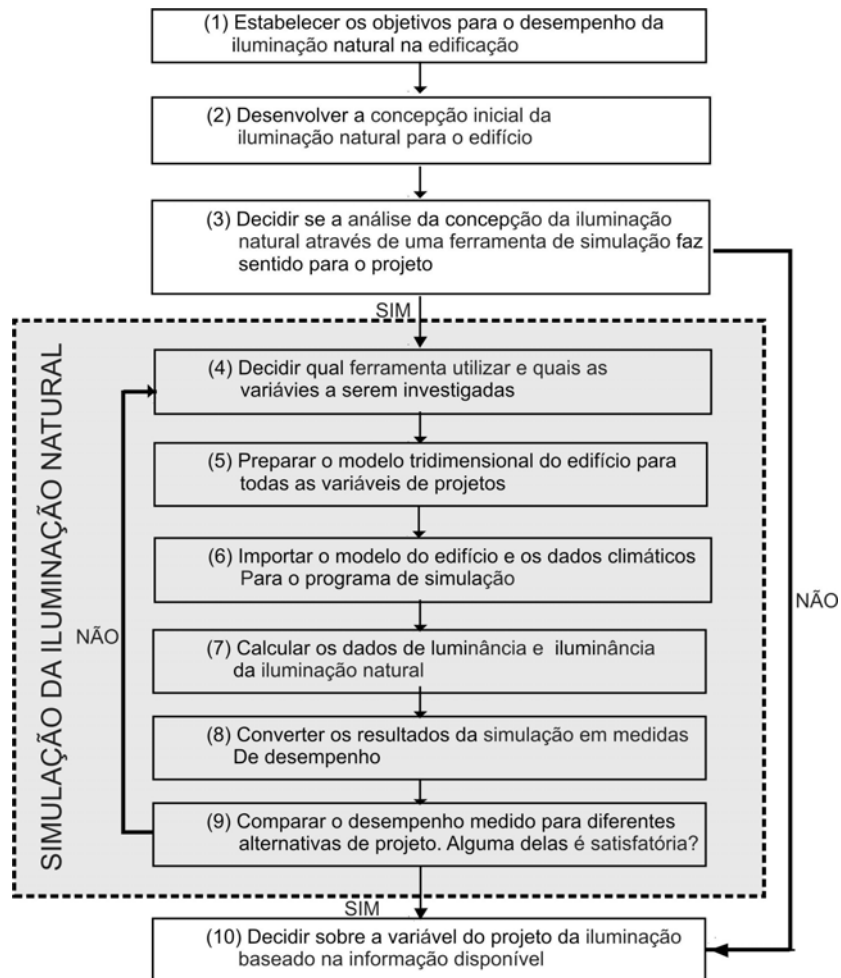


Figura 24 - Fluxograma do processo de decisão para o uso de programas de simulação da luz natural durante a fase de projeto

Fonte: Reinhart (2005, p.8). Tradução nossa.

Segundo Lima (2003), pode-se apontar as seguintes vantagens do uso da simulação computacional no estudo da luz natural:

- condições controladas para análise do desempenho de sistemas,
- possibilidade de visualização e comparação entre alternativas de projetos, e
- devido às condições experimentais controladas, pode-se estudar os sistemas por um período mais longo.

Para a obtenção de uma simulação com efeitos fotorealísticos, é necessário que os objetos do mundo real sejam representados segundo suas propriedades físicas. Esta deve considerar as interações entre todas as superfícies para gerar uma cena que considere aspectos como refletâncias, transparências, cores, texturas e sombras.

Alguns softwares existentes no mercado geram imagens que não são precisas do ponto de vista matemático, assim “[...] mesmo que esta imagem sintetizada se pareça com uma fotografia é uma imagem sem precisão pois não foi gerada de acordo com os conceitos físicos da luz, isto é, a luz não interagiu no cálculo como faz na natureza” (CHRISTAKOU, 2004, p.38). Esta imagem, portanto, não representará a realidade do espaço arquitetônico.

As imagens fisicamente fundamentadas, simuladas segundo o modelo de iluminação global, calculam a interação da luz com as superfícies e têm como objetivo prever a real aparência do espaço simulado. Ward (1994) descreve a fundamentação teórica de imagens fisicamente fundamentadas:

Physically-based rendering, on the other hand, follows the physical behavior of light as closely as possible in an effort to predict what the final appearance of a design might be. This is not an artist's conception any more, it is a numerical simulation. The light sources start in the calculation by emitting with a specific distribution, and the simulation computes the reflections between surfaces until the solution converges.

Ferramentas de simulação, que não são fisicamente fundamentadas, necessitam de luz ambiente, isto é, de fonte invisível para iluminar áreas onde esperava-se que fossem iluminadas. Estas fontes de luz são irreais e, por isto, a imagem gerada terá pouca semelhança com o espaço arquitetônico real (WARD, 1994 apud CHRISTAKOU, 2004).

O processo de simulação computacional, para estudos da luz natural, utiliza-se dos modelos matemáticos com duas finalidades (LIMA, 2003):

- para representar o espaço arquitetônico, através de modelos geométricos tridimensionais, tendo como domínio o universo da matemática e;
- para representar os fenômenos da luz, através de algoritmos que processam os dados de entrada da simulação, tendo como domínio o universo da física.

A tarefa de um algoritmo para a simulação da luz natural deve ser a predição das condições de luminância e iluminância em um ponto do ambiente, baseado no modelo tridimensional e na condição de céu, para um determinado momento (Reinhart, 2005).

Segundo Christakou (2004), para a avaliação de um espaço através da simulação da luz natural deve-se seguir as seguintes etapas:

- elaboração de um modelo 3D, que descreve as características do ambiente, representando a geometria do espaço através de coordenadas cartesianas nos eixos X, Y e Z,
- informações sobre as propriedades ópticas das superfícies do modelo,
- definição sobre as fontes de iluminação da cena, que no caso da simulação da iluminação natural está vinculada às informações sobre o sítio do projeto. Deve-se definir os seguintes dados: latitude, longitude, dia, mês e hora da simulação, assim como a escolha do modelo de céu a ser utilizado para o cálculo da disponibilidade de luz natural, e
- detalhamento sobre as obstruções existentes no entorno.

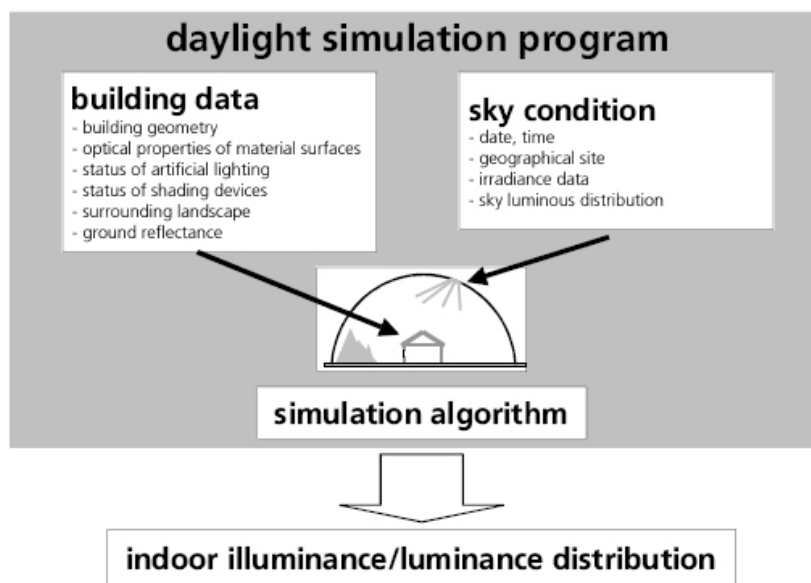


Figura 25 - Informação requerida pela ferramenta de simulação computacional sobre o edifício e a condição de céu, para cálculo da distribuição da luminância e iluminação

Fonte: Reinhart (2005).

Há programas de simulação que não possuem recursos de modelagem geométrica e, por isto, necessitam de ferramentas complementares para suprir esta deficiência. Assim, pode-se utilizar modeladores tridimensionais, como por exemplo, as ferramentas CAD, observando os formatos de arquivos que possam ser importados pelo programa de simulação.

Caso haja necessidade de importação do modelo tridimensional, deve-se modelar a

geometria de acordo com as necessidades do programa de simulação da iluminação utilizado. É importante observar, no momento da construção do modelo tridimensional, como a normal das superfícies deverá ser orientada em relação à incidência da luz, segundo os padrões exigidos pelo software de simulação. A qualidade do modelo tridimensional construído irá interferir na precisão da informação resultante da simulação.

Os dados de saída (*output*) são as informações resultantes da simulação computacional disponibilizadas ao usuário. Estes podem ser obtidos através de: (CHRISTAKOU, 2004)

- Imagens sintetizadas disponíveis em diversos formatos de arquivo (JPG, TIFF ou PICC)
- Imagens analíticas com contornos de isolux e coloridos em *false color* (cores falsas),
- Informações numéricas com os valores de iluminância e luminância através de gráficos, tabelas e pontos distribuídos em uma malha,
- Previsão do conforto visual através de imagens em VCP (Visual Comfort Probability), que possibilitam a análise do ofuscamento.

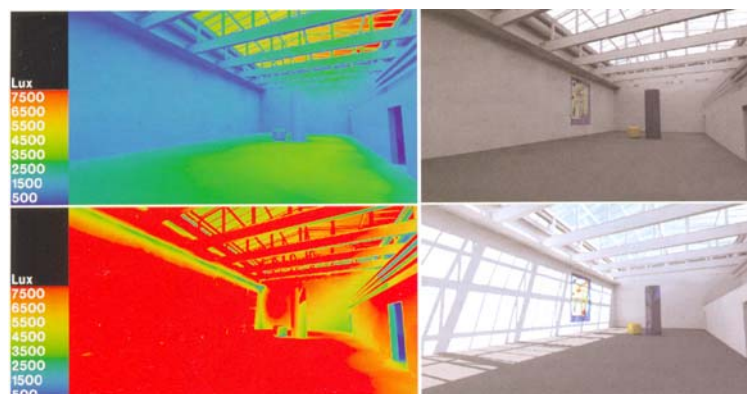


Figura 26 - Exemplos de imagens analíticas em false color (cores falsas) à esquerda. As imagens em cores falsas são resultado das imagens renderizadas, onde uma escala das cores (ou de linhas coloridas) entre azul e o vermelho é atribuído aos valores do luminância ou da iluminância

Fonte: Baker e Steemers (2002).

Lima (2003) aponta que os modelos computacionais, através de técnicas e algoritmos matemáticos, auxiliam o projetista a compreender o comportamento do ambiente de estudo. Porém, deve-se atentar às limitações destes modelos, que

podem influenciar nos resultados obtidos.

Os dois principais algoritmos de cálculo da iluminação global são: a radiosidade e o *ray tracing*, que serão discutidos posteriormente com maiores detalhes. Estes algoritmos constituem um aspecto fundamental para o resultado visual final das imagens. O processo das simulações fisicamente fundamentadas pode ser dividido em três partes: transporte da luz, reflexão da luz e resultado visual final.

A modelagem das propriedades das superfícies tem grande influência em aspectos qualitativos e quantitativos do espaço nas simulações. Existem diversos modelos que descrevem o comportamento físico dos materiais em relação à cor, reflexão e transmissão. Quanto mais simples o modelo, menor o tempo de processamento e a exatidão física no resultado final (INANICI, 2001).

Segundo Lima (2003), os programas de simulação podem ser classificados de duas formas, do ponto de vista do seu funcionamento:

- *Stand alone*, que são os programas que funcionam de forma independente, necessitando apenas do sistema operacional para ser executado,
- *Plug in*, que são módulos de trabalhos usados para otimizar ou estender recursos de um programa, tendo a desvantagem de necessitar de um determinado aplicativo para funcionar, além do sistema operacional.

Observa-se uma grande tendência da ampliação do uso de ferramentas de simulação computacional da luz natural, principalmente em países onde a criação de uma legislação energética para edificações foi responsável pela busca de um melhor desempenho ambiental das mesmas.

Uma pesquisa realizada na Europa, verificou que até 1992 apenas 15% dos arquitetos se preocupavam com questões relacionadas à luz natural (IEA, 2000 apud CRISTAKOU, 2004). Esta situação se modificou na década seguinte, principalmente em países mais desenvolvidos, segundo informações do *Institute for Research in Construction* (NRC-IRC).

Uma pesquisa on line realizada nos anos de 2004 e 2005 em 27 países com 185 entrevistados, registrou que 91% tinha preocupações com a iluminação natural em seus projetos. Nesta pesquisa 20% dos entrevistados trabalhavam no Canadá, 20% nos USA e 12% na Alemanha. Constatou-se que a simulação computacional era

utilizada por 79% dos entrevistados (REINHART, FITZ, 2006).

No Brasil a aceitação do uso da simulação em questões que envolvem a iluminação natural ainda é muito baixa, principalmente devido à falta de legislação específica sobre eficiência energética em edificações e pela falta de confiança nos softwares existentes, quando aplicados à realidade brasileira (LAMBERTS et al., 2001).

3.1 PESQUISAS ENVOLVENDO O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ESTUDO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Dentre as pesquisas envolvendo o uso da simulação computacional para estudo da luz natural, pode-se destacar aquelas relacionados à entidades na área de conservação energética como a IEA (*International Energy Agency*) e a LBNL (*Lawrence Berkeley National Laboratory*).

Destacam-se também artigos elaborados para congressos e seminários entre os quais podemos citar: ENTAC (Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), ENCAC (Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído), NUTAU (Núcleo de Pesquisa de Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo), GRAPHICA (Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho), SIGRADI (Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital), IBPSA (Associação Internacional para Simulação de Desempenho de Edifício).

Grande parte das pesquisas realizaram estudos comparando o desempenho entre softwares e abordaram questões relacionadas à facilidade de aprendizagem e uso dos mesmos.

Khodulev e Kopylov (1996), pesquisaram a capacidade dos softwares: Radiance, Lightscape e Specter através da simulação de um cubo com uma simples fonte de luz, comparando os resultados obtidos a resultados teóricos. Segundo a conclusão destes pesquisadores, o Radiance, entre os três programas avaliados, apresenta a maior precisão dos resultados. O Lightscape apresenta problemas de imprecisão, porém, foi considerado o programa com a melhor interface devido a sua interatividade com o usuário. O programa Specter teve como ponto forte a qualidade das imagens geradas.

Jarvis e Donn (1997) compararam medições da iluminação natural realizadas em um

ambiente real, em um modelo reduzido e simulações computacionais no programa Radiance. Estas simulações foram realizadas modificando parâmetros de renderização do programa. Concluíram que parâmetros como o nível de qualidade desejada (alta, média, baixa), assim como a quantidade de reflexões influenciam sobremaneira na precisão dos resultados. Quanto maior a qualidade e número de reflexões, maior o tempo de renderização e a precisão alcançada. Segundo estes pesquisadores, a influência dos parâmetros é menor para condição de céu encoberto do que para céu claro.

Claro (1998) propõe uma nova abordagem à solução de análise da iluminação natural, através de um método que permite um tratamento simultâneo e unificado da abordagem dos algoritmos radiossidade e *ray tracing*.

Mardaljevic (1999) validou o programa Radiance através de medições sob condição de céu real utilizando dados coletados por um *scanner* de céu e medições *in loco* de uma sala, ambas realizadas simultaneamente. O pesquisador modelou as condições luminosas do céu real, utilizando modelo de céu de Perez (*Perez all weather*). Esta pesquisa merece destaque devido à metodologia utilizada.

Ubbelohde e Humman (1998) realizaram um estudo comparativo entre os softwares, Lumen Micro, Superlite, Radiance e Lightscape, examinando aspectos como: tempo e dificuldades para a aprendizagem destes softwares, a capacidade dos mesmos em modelar geometrias complexas, integração com programas CAD, precisão dos resultados em relação ao tempo de simulação. Foram realizadas comparações entre medições em um ambiente real, simulações e medições em um modelo físico reduzido. Apesar de apontar o Radiance como o programa maior precisão, a dificuldade em aprender o software, bem como uma interface não amigável desfavorece o seu uso por arquitetos e projetistas. O Lightscape se apresentou como um software que possui facilidades para um uso integrado ao projeto de arquitetura devido à sua interface, assim como capacidade de renderização com maior velocidade.

Galasio e Atif (1998) pesquisaram a precisão e as limitações do software de iluminação Adeline 1,0 em simular a distribuição da luz natural e a economia de energia elétrica do átrio de um edifício existente. A finalidade do estudo era comparar os resultados computacionais do Superlite, do Superlink e do Radiance em relação aos dados de iluminância coletadas no edifício real. A comparação entre as

medições e os dados simulados no Radiance mostrou que a distribuição das iluminâncias internas medidas estavam próximas àquelas simuladas sob a luz natural difusa, para um dia de céu claro, no verão e inverno. Entretanto, a iluminância instantânea simulada diferiu por volta de 100% dos valores medidos sob a radiação direta. Sob condição de céu encoberto, a simulação teve um ótimo desempenho, uma discrepância instantânea entre os valores medidos e simulados abaixo de 20%. Os pesquisadores concluíram que as simulações sob a condição de luz difusa foram mais precisas do que quando realizadas com a componente direta do Sol. Acreditam que a grande discrepância entre medição e simulação sob radiação direta poderia ser minimizada caso houvesse um maior investimento de tempo para apurar o modelo geométrico do sistema de fenestração do átrio.

No caso do programa Superlite, os dados mostram que as predições da iluminância externa foram mais próximas para céu claro do que para céu encoberto. Os perfis da distribuição das iluminâncias simuladas seguiram com proximidade os perfis da iluminâncias medidas, sob ambas as condições de céu. A variação entre valores medidos e simulados teve uma maior discrepância, principalmente para céu encoberto, com iluminância externa subestimada na simulação em torno de 60%. A diferença entre os valores externos medidos e simulados refletiu na predição de valores internos que foram subestimados em torno de 50%, sob céu claro no inverno e céu encoberto. Os valores medidos para céu claro no verão tiveram a curva de distribuição das iluminâncias bastante próximas, apesar de valores instantâneos diferirem de 3 a 10 vezes dos valores medidos.

Altmann e Apian-Bennewitz (2001) analisaram os softwares Lightscape e Radiance através de simulações com um modelo tridimensional do Museu Campbell, projeto do arquiteto Louis Kahn. Concluíram que ambos os softwares apresentam grandes possibilidades para o uso profissional. Destacam que o algoritmo do Radiance é superior ao do Lightscape. Porém, destacam que a interface do Lightscape é mais amigável, sendo mais propícia aos usuários.

Bittencourt e Ferreira (2000) analisaram o desempenho do programa Lumen Micro, para avaliar ambientes sob condição de céu parcialmente nublado, na região equatorial. Como metodologia utilizaram simulações comparadas às medições realizadas em uma câmara de teste em escala real, na cidade de Maceió, Alagoas. Para a análise foram consideradas duas situações distintas: horários em que

somente a luz difusa penetrava no ambiente e horários com penetração direta da radiação solar. A avaliação mostrou que o programa apresentou uma boa correlação com os valores medidos, principalmente quando não ocorre a incidência da radiação direta.

Bryan e Autif (2002) compararam o desempenho dos softwares Lightscape 3.2; Desktop Radiance 1.02, Lumen Micro 2000, FormZ RadioZity 3.80, de acordo com a capacidade dos mesmos em analisar aspectos da iluminação natural. Concluíram que o Lightscape tem capacidade de renderizar de forma mais realista, o Desktop Radiance apresenta resultados mais precisos (não demonstraram o método utilizado) e o Lumen Micro é o programa mais simplificado. Em relação à deficiências de cada programa, apontaram que o Lightscape apresenta problemas de imprecisão em relação ao modelo de céu claro, o Desktop Radiance apresenta problemas de instabilidade e o Lumen Micro apresenta limitações para a modelagem de ambientes mais complexos. O programa FormZ RadioZity 3.80 não foi considerado apropriado para estudos da iluminação natural devido ao algoritmo utilizado.

Souza et al. (2002) analisaram o desempenho do programa Lightscape frente a diferentes características de céu e especularidade de superfícies. Concluíram que o programa é bastante sensível para testes realizados sob diversas condições de céu. Porém, apontam a deficiência do programa por não considerar superfícies refletivas na distribuição da luz natural. Este fato, limita o seu uso em uma área de grande importância em termos de estratégia de projeto, que são os sistemas de redirecionamento da luz solar direta.

Lima (2003) em sua dissertação, “Uso da simulação computacional em projetos de iluminação interna”, analisou o uso da simulação computacional no desenvolvimento de projetos de iluminação, apresentando como resultado um conjunto de procedimentos para a aplicação dos softwares no ensino das disciplinas de conforto ambiental. Foram analisados os programas: Lightscape, Lumen Micro e Desktop Radiance.

Christakou (2004) em sua dissertação, “A simulação computacional no projeto de arquitetura”, analisou softwares de iluminação natural segundo quesitos como: interface com o usuário, geometria, *output*, parâmetros da luz natural, descrição ótica dos materiais, processamento, validação e suporte ao usuário. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a interação da interface dos programas de simulação

com o usuário, pois segundo o autor, esta é a melhor forma de superar as barreiras naturais para a inserção dos processos digitais na projeção arquitetônica. Foi realizado um estudo comparativo entre os softwares: Desktop Radiance, Lightscape, Rayfront e Relux Vision.

JR., Schreppler e Newsom (2004) compararam medições realizadas em três escolas com simulações realizadas no programa Radiance. Na primeira medição a sala com iluminação lateral voltada para norte com incidência da radiação difusa. A segunda medição foi realizada em uma sala onde penetrava a luz direta e difusa com o sistema de fenestração lateral voltado para o sul. A última sala com iluminação zenital e duas aberturas voltadas para o sul com incidência de luz direta e difusa. Todas as medições foram feitas em dia de céu totalmente claro. Os pesquisadores concluíram que é possível alcançar precisão no resultados utilizando céus representativos. Segundo os mesmos, a exatidão da simulação é suficiente para permitir um projeto do sistema de iluminação artificial, baseado em dispositivos de controle, para estimar o consumo de energia.

Cabe salientarmos que pesquisas que se prezam à validação de softwares devem ser consideradas com bastante precaução, visto que em muitos casos estas refletem mais a capacidade dos pesquisadores em utilizar corretamente o programa de simulação computacional do que a capacidade do algoritmo em calcular as interações da luz.

3.2 ALGORITMOS PARA O CÁLCULO DA LUZ NATURAL

Segundo Ward (1994), a maioria dos projetistas que utilizam softwares de renderização estão preocupados apenas com uma forma ilustrativa de apresentação da geometria e estilo do projeto, não se preocupando com a predição da iluminação e sua real aparência. Estes modelos baseiam-se na iluminação local e não são fisicamente fundamentados.

Os softwares de simulação para a predição da luz natural baseiam-se em modelos de iluminação local e global. Os modelos de iluminação local consideram apenas a contribuição de luz provenientes diretamente da fonte primária, não computando a luz resultante da inter-reflexão das superfícies. Os modelos de iluminação global

consideram as contribuições resultantes de fontes diretas e indiretas de luz. A luz indireta é gerada através da reflexão de outras superfícies (CHRISTAKOU, 2004)

Claro (1998) afirma que atualmente existem duas principais abordagens para o tratamento de iluminação global que são fisicamente fundamentados em simulações computacionais: o método da radiosidade (*radiosity*) e o método da perseguição do raio, também conhecido por *ray tracing*.

Segundo Claro (1998, p.6), os métodos mencionados podem ser definidos da seguinte forma:

O método da radiosidade analisa as trocas de energia luminosa entre superfícies consideradas perfeitamente difusas (que distribuem a luz refletida igualmente em todas as direções) e geralmente é tratada por métodos de elementos finitos; o *ray-tracing*, por outro lado, analisa o percurso de uma partícula luminosa, seja de sua emissão até a sua absorção, seja vice-versa, sendo aplicado com particular êxito na análise dos fenômenos especulares das trocas luminosas.

Sabe-se que o método radiosidade lida bem com as superfícies difusoras, ao passo que o *ray tracing* com a transmissão e reflexão especular. Como as superfícies reais apresentam graus diferenciados de especularidade e dispersão, o ideal seria um método que pudesse incorporar os dois tipos de tratamento.

Assim, a partir destas duas vertentes originais surgem os modelos híbridos que associam as características de natureza difusa, inerentes do método da radiosidade, e de natureza especular, inerentes do método *ray tracing*.

Os conceitos mais atuais de iluminação global utilizam o algoritmo da radiosidade na abordagem inicial, complementando posteriormente com o algoritmo *ray tracing* para definir as contribuições especulares (CLARO, 1998). Porém para o caso da iluminação natural este modelo não está bem resolvido, visto que foi desenvolvido inicialmente para tratar fontes fixas e pouco numerosas.

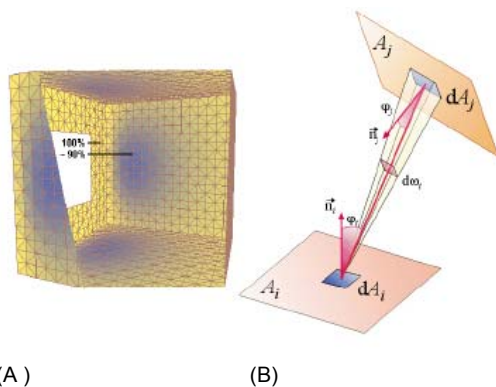
3.2.1 Método da Radiosidade

O método da radiosidade foi desenvolvido inicialmente para solucionar questões de transferência térmica de calor, calculada através dos fatores de forma. Este método

tem sido aplicado em computação gráfica desde a década de 80, para cálculos de iluminação natural e artificial (REINHART, 2005).

Baseia-se no cálculo da troca de energia entre superfícies planas elementares. Vários fatores influenciam nesta troca de energia entre os quais podemos citar: quantidade de luz que incide sobre as superfícies, características direcionais e refletoras destas superfícies, distância entre as mesmas, orientação relativa e das áreas (LIMA, 2003).

Há duas etapas bem definidas no processamento do cálculo que utiliza o algoritmo da radiosidade. A primeira consiste na divisão das superfícies originais do modelos em uma malha de pequenas superfícies a serem analisadas.



(A)

(B)

Figura 27 - (A) Divisão das superfícies em uma malha, (B) A geometria de fatores de forma entre dois elementos da superfície

Fonte: Miguet e Groleau (2002)

Na segunda etapa, inicia-se o processamento da simulação onde a quantidade de luz refletida em cada segmento da malha para outro é calculada de forma a balancear a luz que emana da fonte.

Cada par de elemento terá o seu fator de forma. Os fatores de forma definem a quantidade de energia que deixa uma superfície e atinge uma segunda superfície diretamente (REINHART, 2005).

Este processo é iterativo e procede até que todo fluxo refletido tenha sido finalmente absorvido (TSANGRASSOULIS; SANTAMORIS, 1997).

Assim, a simulação é realizada “...calculando-se a luz que cada elemento emite ou reflete e multiplicando a ela o fator de forma correspondente ao respectivo par, o que resulta no valor da luz incidente sobre o elemento adjacente.” (LIMA, 2003, p. 91).

O valor final da radiosidade é obtido para cada segmento e seu fator de forma, tornando possível obter a renderização de diversos pontos de vista, apenas com o cálculo inicial da radiosidade. Esta é a grande vantagem do método, que trata as características geométricas como um todo, independentemente do observador da cena. A desvantagem decorre da necessidade de se estudar a relação de visibilidade entre todas as superfícies luminosas em estudo, o que demanda tempo e memória de processamento (CLARO, 1998).

Pelo fato do método ser "*view independent*", isto é, não depende do observador da cena para o cálculo, após o processamento inicial pode-se conseguir imagens de vários pontos de vista do ambiente. Assim, um "*walk-through*" da cena é realizado de forma mais rápida com o método da radiosidade do que com o *ray tracing*, pois este requer novos processamentos computacionais a cada visualização requerida.

Para simplificar a complexidade do cálculo, as superfícies são consideradas perfeitamente difusas (Lambertianas), isto é, não possuem reflexão especular.

Segundo Tsangrassoulis e Santamouris (1997), esta é uma limitação do método da radiosidade que deve ser considerada. Assim, através deste método, abordado de forma singular, não é possível analisar o consumo de energia devido à influência de dispositivos como: venezianas, prateleiras de luz e espelhos redirecionadores do sol.

A precisão do resultado depende da divisão da malha, do tamanho da mesma e da sua adequação ao reproduzir os gradientes de sombreamento segundo a realidade. Quanto maior a divisão dos segmentos da malha, maior a precisão e esforços de processamento, aumentando consideravelmente o tempo para a renderização (LIMA, 2003).

O usuário pode determinar como será a divisão da malha, através da modificação de parâmetros de controle do algoritmo.

Inicialmente, o algoritmo do radiosity, foi formulado de tal maneira, que a distribuição da luz entre todos os elementos da malha deveria ser completamente calculada antes que todos os resultados fossem indicados na tela. Com isto, seria necessário um tempo considerável para processamento das informações. Esta técnica foi reformulada em 1988, dando origem ao refinamento progressivo da radiosidade, que permite a obtenção de resultados visuais imediatos que melhoram progressivamente em termos de precisão e qualidade visual.

3.2.2 Método *Ray Tracing*

O método *ray tracing*, segundo Claro (1998, p.8) "pode ser resumido como a perseguição ao traçado (ou pista) deixado por um determinado raio luminoso."

Este algoritmo permitiu sintetizar cenas de alta qualidade com inter-reflexões

múltiplas, transparências, refração e sombras, produzindo imagens altamente realísticas (SANTOS, 1998).

Baseia-se no conceito de que, para que o ponto de uma cena seja visível ao observador, o raio de luz transmitido, refletido ou emitido pelo ponto deve atingir o observador (LIMA, 2003).

Este algoritmo foi introduzido no final da década de 60 pela “Appel Co.” e usado inicialmente na determinação do ocultamento de superfícies em sistemas gerais de reconstituição de imagens tridimensionais. Nesta primeira abordagem, o método parava após a interseção do raio com a primeira superfície. Em 1979, o *ray tracing* passa a ser utilizado além da interseção do raio com a superfície inicial, através da incorporação da reflexão, refração e sombras (CLARO, 1998).

Segundo Santos (1998), devido à infinidade de raios de luz, partindo de cada fonte de luz, seria inviável computacionalmente a simulação de todos estes raios. Levando-se em conta que somente uma parcela destes contribui para a formação da imagem vista por um observador, através do *ray tracing* serão simulados apenas os raios que refletidos por objetos atingem o “olho” do observador.

A partir do conceito inicial do *ray tracing* em que os raios emanam da fonte e chegam ao olho do observador, visando a síntese computacional de imagens, surgiu o *ray tracing* reverso (*backward ray tracing*). Nesta abordagem a simulação dos raios é realizada no sentido inverso, partido do observador em direção a cena. De acordo com as leis da ótica, a reversão do recurso não influencia no resultado, ao passo que este conceito resulta na economia de processamento da imagem (SANTOS, 1998).

Assim, os raios são traçados na direção inversa nas quais ele geralmente segue. O processo inicia no olho do observador (*viewpoint*) onde o raio é traçado, levando-se em consideração todas as interações físicas (reflexão e refração) com as superfícies dos objetos em cena (COMPAGNON, 1997).

Santos, E.T. (1998) afirma que devido ao processo de inversão ter se tornado comum, raramente é utilizado o adjetivo reverso ao nome deste algoritmo. Assim, o nome *ray tracing* passa a designar *ray tracing* reverso (*backward raytracing*). A designação *ray tracing* direto (*forward ray tracing*) passa a ser aplicada quando se faz referência ao algoritmo que traça raios no sentido físico.

Segundo Lima (2003), uma importante característica do *ray tracing* deve-se ao fato do mesmo ser um algoritmo dito de vista dependente, isto é, necessita que seja estabelecida a posição do observador para a determinação dos pontos de aplicação da equação de iluminação. Por isto, os fenômenos especulares, altamente dependentes do ponto de vista, são tratados com eficiência. Porém, é necessário um maior processamento para o cálculo dos fenômenos difusos.

No *ray tracing* reverso, os raios são emitidos do ponto de interesse (olho do observador ou câmara sintética) e seguidos de modo reverso, até alcançarem uma fonte de luz ou outro objeto (Figura 28). Quando o raio atinge um objeto, com exceção das fontes luminosas, a luminância do objeto será calculada pelos raios secundários que são emitidos. A distribuição angular, na qual os raios são dispersos, depende das propriedades ópticas da superfície atingida. Conceitualmente, este algoritmo permite o cálculo de superfícies complexas como espelhos, superfícies Lambertianas, vidros e a mistura destas características básicas das superfícies. Cada partícula carrega um “peso” proporcional à intensidade do raio. Este é reduzido a cada reflexão e pode ser considerado eliminado da cena quando atinge um certo número de reflexões ou quando o “peso” da partícula cai abaixo de um valor arbitrário pequeno, sendo considerada absorvida (REINHART, 2005).

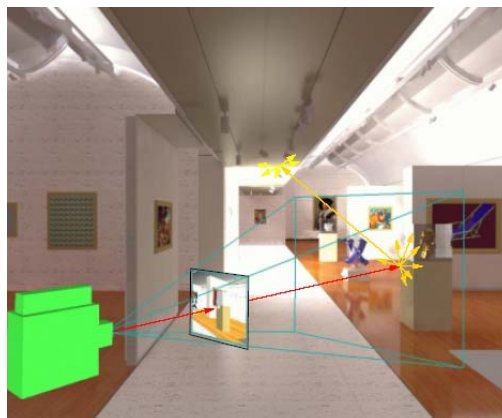


Figura 28 - Ilustração do procedimento ray tracing reverso no Radiance

Fonte: Altmann e Apian-Bennewitz (2001)

Segundo Claro (1998), [...] “o *ray tracing* tem a grande desvantagem de depender de um ponto de observação, fazendo com que cada nova visualização exija uma nova determinação dos percursos dos raios luminosos.” Outra questão levantada por este pesquisador é o fato do método subestimar ou mesmo desconsiderar, raios

luminosos que não são visualizados, mas que tenham influência considerável no resultado final das interações luminosas.

Reinhart (2005, p.22) destaca que:

A decisive advantage of raytracing over radiosity is that only the former approach is able to simulate specular and partly specular materials. This aspect is less crucial if only visual impressions of a given scene are desired, but **if physically correct results are needed only raytracing based methods can succeed as most real surfaces exhibit specular components.** Some daylighting elements including blinds, light-shelves or prisms exhibit extremely non-diffuse surface properties and their correct modeling is crucial as all incoming daylight passes through them.

3.3 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DA LUZ NATURAL

Segundo Bryan e Autif (2002), o início da utilização de simulações, mais detalhadas, da iluminação ocorreu em 1970, com o desenvolvimento do programa Lumen II, porém, somente na década de 80 foram introduzidos recursos para a simulação da luz natural.

Em meados de 1980, surge o programa Superlite considerado uma poderosa ferramenta de simulação, pois possibilitava a análise de espaços mais complexos. Inicialmente para acessar o programa era necessário um ambiente de operação de grande capacidade, o que restringia bastante o seu uso. Posteriormente foi lançada a versão em DOS, mas devido à falta de suporte aos usuários foi sendo substituído por novos programas baseados na plataforma Windows. No fim da década de 80 surge o Radiance, que produzia imagens renderizadas de alta qualidade, mas teve o seu uso limitado a um pequeno grupo de usuários por requerer uma estação de trabalho com o custo bastante elevado (BRYAN; AUTIF, 2002).

Portanto, a década de 80 pode ser caracterizada como um período no qual surgiram poderosas ferramentas de simulação, mas que tinham o seu uso restringido principalmente a pesquisadores e consultores especializados, com a finalidade de pesquisas, desenvolvimento de códigos e leis e projetos de grande porte. Isto ocorreu porque estas ferramentas eram disponíveis somente para computadores de estação de trabalho e *mainframe*.

Na década de 90 ocorreram duas frentes de desenvolvimento. Por um lado houve uma grande evolução dos motores de simulação em relação às suas potencialidades e precisão das predições; de outro lado estas ferramentas se tornaram mais acessíveis aos usuários e se expandiram em larga escala. Ao contrário da década de 80, onde os usuários das ferramentas de simulação eram basicamente pesquisadores, na década seguinte, o seu uso foi estendido a arquitetos e coordenadores de escritórios de arquitetura (PAPAMICHAEL, 2002).

Atualmente, existem diversas ferramentas disponíveis para o cálculo da iluminação, desde programas com procedimentos simplificados, que podem reduzir a exatidão dos resultados; e programas mais avançados que requerem uma preparação de dados de entrada mais detalhada, necessitam um maior tempo de simulação e que permitem a obtenção de dados mais precisos. Muitos destes programas podem ser obtidos gratuitamente pela internet (Anexo A).

Uma pesquisa sobre ferramentas de simulação da iluminação natural realizada entre arquitetos, engenheiros e pesquisadores, mostrou a confiabilidade dos usuários no sistema Radiance para cálculos da iluminação global. O total dos participantes utilizavam 43 tipos de programas diferentes, sendo que 50% dos programas selecionados utilizavam o Radiance SIS como motor de cálculo. A maior parte dos entrevistados trabalhavam no Canadá, Estados Unidos e Alemanha (REINHART; FITZ, 2006).

O programa Radiance SIS, desenvolvido em *Lawrence Berkeley National Laboratories*, na Califórnia e na *École Polytechnique Federale de Lausanne*, na Suíça, é considerado um dos melhores programas de iluminação natural da atualidade. Apesar de ser um programa bastante respeitado pela comunidade científica, devido às numerosas possibilidades de aplicação e precisão dos dados, deve-se considerar que é necessário um longo período de treinamento para dominar o seu uso, além de requisitar familiaridade com a plataforma UNIX. O programa Desktop Radiance 2.0 é uma versão do Radiance SIS, para plataforma MS Windows, porém, não possui todos os recursos do programa original. O programa Radiance não possui uma interface amigável aos usuários. Uma alternativa para contornar este fato é a possibilidade de utilizar outros programas que possuem este requisito e que utilizam o Radiance como motor de cálculo. Pode-se citar alguns programas que permitem a exportação do modelo eletrônico para utilizar o algoritmo

de cálculo do Radiance entre os quais: o Ecotect, o Adeline, o Delight e o Daysim.

No apêndice (A) foram relacionados alguns programas computacionais desenvolvidos para o estudo da iluminação natural: Radiance SIS, Desktop Radiance, Ecotect, Adeline, Daysim, Relux professional 2005, Delight, Lightscape, Autodesk Viz 2006, Apolux 1.0, Disponibilidade de Luz Natural (DLN), Lux 1.0, Luz do Sol.

O critério para a escolha dos softwares relacionados deve-se ao menos a um dos motivos citados:

- softwares que utilizam o conceito de iluminação global e portanto são fisicamente fundamentados;
- softwares amplamente utilizados no âmbito internacional;
- softwares nacionais, amplamente utilizados no Brasil.

O presente capítulo não teve como objetivo apontar todos os softwares existentes na atualidade para o estudo da iluminação natural, mas sim abordar de uma forma geral as potencialidades do uso das ferramentas computacionais.

3.4 COMO FAZER UMA ANÁLISE DE LONGO PRAZO DO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL?

Uma técnica simples e bem difundida para a avaliação da disponibilidade de luz natural em longo prazo pode ser realizada com o conhecimento do Fator de Luz do Dia (FLD), calculado para céu encoberto padrão CIE em pontos internos da edificação. A explicação da técnica que se segue está baseada em informações segundo Alucci (2002) e Mardaljevic (1998)

Primeiramente, deve-se obter o FLD do ponto a ser analisado. Este pode ser calculado através de vários métodos: simulações computacionais, medições em modelos reduzidos ou através de métodos gráficos e matemáticos. A técnica para análise da iluminação natural em longo prazo é baseada em dados de disponibilidade da luz natural difusa durante as horas de trabalho, para o período de um ano. Os dados necessários podem ser obtidos através de medições compiladas em dados locais do Ano Climático de Referência - TRY ou através de dados de radiação global, disponíveis em estações meteorológicas e transformados em

valores de iluminância.

Para o objetivo pretendido, são necessários apenas os dados horários de radiação solar horizontal global, no período de um ano e horário de trabalho local.

Os dados de radiação global deverão ser convertidos em iluminância horizontal, através de um modelo de eficácia luminosa. Pode-se utilizar o valor de 107 lm/W para a conversão dos valores de radiação solar global incidente em uma superfície horizontal (W/m^2), que segundo os pesquisadores Milne et al.¹ (1998 apud ALUCCI, 2002) aplica-se à diversas regiões com uma diferença não superior a 15%.

Os resultados obtidos deverão ser plotados em um gráfico, que demonstra a probabilidade de ocorrência de certo valor de iluminância durante o período de trabalho. Através deste gráfico e com o FLD de um ponto interno ao ambiente é possível estimar a porcentagem do ano durante o período de trabalho na qual um determinado nível de iluminação é alcançado.

Exemplificando a utilização do gráfico: qual a probabilidade de ocorrência de um nível de 500 lux durante o ano para um ponto no ambiente com o FLD de 5%?

$$FLD = E_{int} / E_{ext}$$

$$E_{ext} = 500 / 0,05 = 10.000 \text{ lux}$$

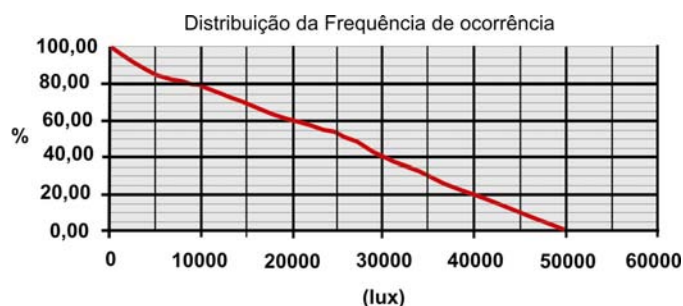


Gráfico 3 - Frequência de ocorrência dos níveis de iluminância para São Paulo

Fonte: Aluccl, 2002

A iluminância externa deve atingir 10.000 lux e a probabilidade de ocorrência durante o ano é de 80%, de acordo com o gráfico 3.

Através da aplicação deste método de análise, assume-se que a distribuição de luz no ambiente de acordo com o modelo de céu encoberto, padrão CIE. Apesar das

¹ MILNE, M. et al. Daylight Prediction Techniques in Energy Design Tools. In: *Anais... Daylighting 98*. Canada, 1998, p.89-95

simplificações do método para facilitar uma análise de longo prazo, através deste, é possível uma aproximação razoável da disponibilidade interna da luz natural.

Porém, deve-se compreender que este método não considera a luz direta do Sol na distribuição de luz no ambiente, pois o FLD foi calculado para céu encoberto, subestimando a capacidade total de disponibilidade de luz interna. Isto ocorre principalmente para edifícios que utilizam o redirecionamento da luz direta como principal fonte de contribuição dos níveis de iluminação. Este é o caso, por exemplo, de projetos que usam o recurso das prateleiras de luz e átrios.

Portanto, para uma análise anual do desempenho de um edifício, considerando tanto a contribuição da luz difusa do céu e a luz direta do sol na distribuição de luz interna, é necessário o uso de modelos computacionais adequados para tal finalidade.

Ao analisar o desempenho de uma edificação através de simulações computacionais, uma das questões que deve ser considerada é: qual o tipo de simulação deve ser feito de forma a possibilitar uma análise de longo prazo para predição da iluminação natural?

Uma das principais técnicas utilizadas para o estudo da iluminação natural é através do cálculo do FLD, mencionada acima. Os estudos de penetração e acesso solar nas edificações são analisados principalmente através de uma série de imagens, que demonstram a incidência direta do sol para determinadas épocas do ano e horas do dia. Para a previsão da luz natural, é comum o procedimento no qual projetistas simulam as condições de iluminação para um dia representativo de inverno, verão e equinócio. A partir da análise destes dados, concluem-se questões sobre o desempenho do espaço analisado.

Levando-se em consideração esta metodologia, devemos refletir sobre a seguinte questão: será que simulações pontuais, isto é, realizadas para algumas datas específicas são representativas para a avaliação das condições de iluminação natural durante todo o ano?

Sabe-se que este tipo de análise é limitada em relação às características de iluminação e insolação se o objetivo for analisar o desempenho anual do projeto. Principalmente quando se pretende integrar a iluminação artificial à natural, para edifícios que utilizam a luz direta refletida como estratégia de iluminação natural.

Portanto, é fundamental que seja escolhida a ferramenta de simulação adequada de

acordo com o objetivo pretendido.

Existem alguns softwares que realizam a simulação de uma forma estática, pois são mais favoráveis para serem utilizados em análises pontuais, isto é, a curto prazo. Permitem que poucos modelos de céu sejam escolhidos, geralmente os modelos padrões da CIE. Os modelos estáticos não são apropriados para simulações onde é necessário investigar o desempenho do edifício para períodos mais longos.

Embora seja possível realizar simulações hora a hora, para a análise anual, através de modelos estáticos, este procedimento não é recomendável devido ao tempo que deve ser empregado para a execução de tal tarefa, tornando-a praticamente inviável.

Neste caso, deve-se utilizar modelos dinâmicos de simulação. Para isto, é necessário que a ferramenta de simulação seja capaz de modelar todas as condições de céu para este local determinado durante todo o ano. Geralmente é utilizado o modelo de céu de Perez para calcular a distribuição para as radiações diretas e difusas. Os dados locais de radiação são adquiridos através de arquivos climáticos anuais.

Entre os modelos de simulação dinâmica para análise anual do desempenho de edificações que consideram tanto a radiação direta quanto difusa podemos citar os softwares DAYSIM (REINHART, 2005), TROPLUX (CABÚS, 2005), *Dynamic Lighting System - DLS* (CROPPER, 2001), DeLight (VARTIAINEN, 2000) e o Adeline (ERHORN; BOER; DIRKSMOELLER, 1997).

Estes programas são baseados no coeficiente da luz natural (Daylight Coefficient²) desenvolvido por Tregenza (1983) e consideram os aspectos dinâmicos das condições do céu e do sol para longos períodos, integrados ao sistema de iluminação artificial. Eles utilizam o modelo de céu de Perez, possibilitando a inserção de dados meteorológicos locais hora a hora.

Esta é uma nova abordagem na simulação da iluminação natural, visto que o

²² Coeficiente de luz natural – Segundo Reinhart (2005, p. 29), “a daylight coefficient is not to be confused with a daylight factor. The concept of daylight coefficient was originally proposed by Tregenza as a method to calculate indoor illuminance levels due to daylight under arbitrary sky conditions. The underlying idea is theoretically divide the celestial hemisphere into disjoint sky patches. Afterwards the contribution to the total illuminance at a point in a building is calculated for each patch individually. [...]”

The key idea of using a daylight coefficient approach is that once the daylight coefficients for all segments of the sky have been calculated within seconds for any possible sky condition by combining the daylight coefficients with luminous distribution of the sky. The luminance of individual sky patches for a given sky condition can be calculated by using Perez sky model [...]”

procedimento de cálculo permite o processamento de uma análise de longo prazo de forma viável, de acordo com o tempo requerido para simulação.

3.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para a utilização de ferramentas computacionais em projetos que envolvam a luz natural é fundamental o conhecimento de parâmetros que interferem na questão, através do estudo teórico de modelos matemáticos e analíticos. Somente através da compreensão de todas as complexidades inerentes ao projeto da luz natural, os usuários poderão utilizar as ferramentas computacionais de forma crítica. O grande problema do uso destas ferramentas é, principalmente, quando as mesmas se tornam uma “caixa preta” para usuário, isto é, não são transparentes quanto ao modelo matemático usado e em relação às limitações inerentes ao modelo. Esta questão deve ficar bem clara ao usuário, visto que todo modelo é um processo de simplificação e, portanto, sempre haverá limitações no seu uso.

O conhecimento dos algoritmos utilizados nos softwares é fundamental para que o projetista consiga entender se as potencialidades e limitações do programa estão de acordo com o tipo de análise que se deseja realizar. Dependendo das estratégias de projeto para o melhor aproveitamento da luz natural (utilização da luz direta refletida ou apenas luz difusa), deve-se escolher as ferramentas de simulação computacional adequadas.

Não existe um programa ideal que supra todas as necessidades requisitadas pelo usuário como: precisão, facilidade de aprendizagem e simplicidade de uso, capacidade para renderização fotorealística e rapidez de processamento de dados. Em geral, a qualidade em algum dos aspectos dos programas está vinculada a deficiência do mesmo em outro aspecto. Pode-se exemplificar este fato, através de softwares que possuem um algoritmo bastante avançado, permitindo um maior grau de precisão, porém, necessitam de um maior tempo de processamento e aprendizagem da ferramenta. Portanto, a escolha do software deve ser feita de acordo com as prioridades e objetivos do usuário. Deve-se determinar quais as variáveis do projeto a serem investigadas, considerando desta forma as possibilidades e limitações dos programas computacionais, assim como o tempo necessário para o processamento das simulações.

Cada projeto possui sua peculiaridade, assim o projetista deve analisar as estratégias que irão interferir no comportamento da luz natural para avaliar se a ferramenta computacional será adequada em relação aos objetivos de análise. Diversas questões devem ser levantadas, como por exemplo:

- É necessária uma análise anual do desempenho do edifício em termos da luz natural, incluindo aspectos de conservação de energia?
- As estratégias do edifício incluem algum sistema de controle automático da luz ou sombreamento?
- Existe algum sistema inovador para o projeto de luz natural?
- Quais os materiais que terão maior impacto nos aspectos da luz natural? Deve-se verificar a contribuição de materiais como: vidros especiais, vidros translúcidos, materiais polidos com reflexão especular, materiais difusos.

Somente através de um levantamento detalhado sobre o que se deseja investigar é possível saber se uma ferramenta computacional mais simples pode responder aos objetivos a serem alcançados ou se a análise requerida necessita de uma ferramenta mais específica.

Através desta pesquisa foi possível verificar que o programa Radiance tem grande confiabilidade na comunidade científica. Sabe-se que sua interface não é amigável, mas este problema tem sido superado com o surgimento de programas que possuem uma plataforma favorável aos projetistas e que utilizam o Radiance como motor de cálculo. O programa Ecotect mostrou-se bastante propício neste sentido, visto que possui uma interface amigável, facilidades para construção do modelo 3D, além da possibilidade de exportação para programas que realizam uma análise mais apurada da iluminação natural e conservação de energia.

Os programas de simulação da iluminação natural são poderosas ferramentas que podem auxiliar os arquitetos e profissionais da área na tomada de decisões, frente às diversas possibilidades de soluções para um mesmo projeto, contribuindo desta forma para um melhor desempenho ambiental das edificações.

4

MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS PARA A AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

4.1 CONCEITO DE MODELO

A palavra modelo pode remeter a diversos conceitos e, por isto, é importante distinguir a conotação na qual o termo será empregado. Segundo Bunge (1974):

Nas ciências teóricas da natureza e do homem parece haver dois sentidos principais: o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização. O primeiro é um conceito do quais certos traços podem às vezes ser representados graficamente, ao passo que o segundo é um sistema hipotético-dedutivo particular e, portanto, impossível de figurar, salvo como árvore dedutiva.

Echenique, 1975 define modelo como:

[...] uma representação de uma realidade, na qual a representação se faz através da expressão de certas características relevantes da realidade observada e onde a realidade consiste em objetos ou sistemas que existem, existiu ou poderão existir.

A palavra modelo pode significar uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma idéia estrutural, uma equação, uma síntese de dados ou utilizada como substantivo significa representação; como adjetivo, grau de perfeição; como verbo, demonstrar (ECHENIQUE, 1975).

Nesta dissertação, a palavra modelo será empregada no sentido de representação de uma realidade, com o objetivo de analisar certas características consideradas importantes em relação ao objeto investigado.

Todo modelo é aproximativo, isto é, possui limitações visto que apreende apenas uma parcela das particularidades do objeto representado (BUNGE, 1974).

O principal objetivo dos modelos é representar objetos, fenômenos e conceitos de forma a facilitar a compreensão dos mesmos, sendo possível, desta forma, simular

características do objeto de estudo, com o intuito de entender e melhorar a realidade.

A escolha das características consideradas relevantes para a modelagem de um objeto é um processo subjetivo, uma vez que depende das intenções do construtor do modelo e das observações feitas da realidade na qual o observador utiliza os seus próprios sentidos. Outras questões que interferem neste aspecto é a disponibilidade de recursos e de tempo, bem como a capacidade intelectual do construtor deste modelo.

As condições para a construção de um modelo são as seguintes:

- Existência de um objeto ou sistema a ser investigado,
- Processo de observação e abstração,
- Processo de experimentações, análises e conclusões (Echenique, 1975).

O modelo deve ser construído de forma que seja fácil a sua compreensão. Contudo, deve-se manter uma complexidade tal que reflita as características consideradas importantes dos sistemas do mundo real com o intuito de atingir o objetivo almejado. Assim, todo modelo é reducionista, pois se possuísse toda a característica do objeto representado ele seria o próprio objeto.

Os modelos na arquitetura podem ser executados para realização de investigações tais como: o estudo do sistema urbano, a visualização espacial do projeto, técnicas construtivas, comportamento de estruturas, desempenho térmico, acústico e luminoso das edificações (COWAN et al., 1968).

4.2 MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS PARA O ESTUDO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Os modelos físicos em escala reduzida têm sido amplamente utilizados para o estudo da iluminação natural, em análises quantitativas e qualitativas, sendo considerado um instrumento bastante preciso. A principal razão deste fato pode ser explicada pelas características físicas da luz, com comprimento de ondas extremamente reduzido (380-780nm), não distorcendo, desta forma, devido à diferença de escala (Robbins, 1986).

Nesta dissertação, o termo modelo reduzido será empregado para designar o

modelo físico em escala reduzida utilizado na avaliação da iluminação natural.

Os modelos reduzidos permitem a investigação de sistemas de fenestração e possuem algumas vantagens comparadas a outros métodos, entre as quais podemos citar:

- é um método de simples aplicação pelos arquitetos, que costumam usar modelos arquitetônicos (volumétricos ou detalhados) para o estudo e a representação dos projetos desenvolvidos. Portanto, a sua execução não é nenhuma novidade para os profissionais da área;
- se construído de maneira apropriada, os modelos reduzidos apresentam uma boa correlação com o ambiente real. Isto acontece caso seja possível reproduzir com exatidão as características do ambiente real;
- os ambientes com geometria complexa podem ser facilmente avaliados através de modelos reduzidos.

O uso de modelos reduzidos permite uma série de análises da concepção do projeto: escolha da implantação, forma do edifício, avaliação dos dispositivos de sombreamento, medições internas, localização de elementos paisagísticos, entre outros.

Uma vantagem da utilização de modelos reduzidos é que estes propiciam registros visuais, através de fotografias e vídeos, da incidência direta do sol no ambiente interno e o sombreamento resultante do edifício e seu entorno, mostrando situações que não podem ser vistas através de análises de matemáticas manuais.

Os modelos reduzidos podem ser utilizados para a análise qualitativa, através de vistas internas do comportamento da luz, e análise quantitativa, através de equipamentos especializados para medição.



Figura 29 - Modelo reduzido para análise quantitativa e qualitativa da luz.

Fonte: Robbins (1986).

Diversos testes podem ser realizados com o uso dos modelos reduzidos (ANDER,1995):

- Observações visuais do modelo e análise estética.
- Comparações entre as modificações de projeto.
- Testes comparativos entre diversas tipologias de janelas e revestimento das paredes para a avaliação do impacto destes elementos na iluminação natural.
- Os resultados dos níveis de iluminação medidos podem ser utilizados para o projeto de conservação de energia.

4.3 PESQUISAS ENVOLVENDO MODELOS REDUZIDOS

Os modelos reduzidos têm sido uma ferramenta amplamente utilizada por pesquisadores renomados da área de iluminação natural, no âmbito internacional.

Os pesquisadores W.C. Randall e A.J. Martin, em 1927, demonstraram a validade do uso de modelos sob céu artificial para estudos da iluminação (VEZEY,1955).

Nos anos posteriores, Pleijel¹ (1947 apud MAGALHÃES, 1995a), realizou experiências sob céu natural e sob um céu artificial construído com 6,5m de diâmetro.

No Texas Engineering Experiment Station, em 1950, os estudos com modelos reduzidos foram feitos com a construção de um céu artificial hemisférico (VEZEY,1955).

Longmore (1962), realiza experimentos na Building Research Station, com modelo reduzido sob céu artificial e ressalta a importância do método para estudos de iluminação.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) apresentam modelos reduzidos com a utilização de pré-fabricados. Estes modelos permitiam a variação do tamanho e da forma do modelo, possibilitando o estudo da influência destas variáveis na iluminação natural.

¹ PLEIJEL, G. Reflected Daylight e Model Studies. In: BUILDING RESEARCH CONGRESS Proceedings, 1951.

Egan (1983), em seu livro *“Concepts in Architectural lighting”* apresenta três estudos de caso de espaços empresariais, onde o modelo reduzido foi utilizado como subsídio de projeto e concepção arquitetônica.

Nos Estados Unidos, Lam (1986), consultor de iluminação para arquitetura, propõe o uso de modelos físicos em escala reduzida, testados sob condições de céu real. Em seu livro *“Sunlighting as Formgiver for Architecture”*, descreve diversas consultorias realizadas por sua equipe, nas quais fazem o uso do modelo reduzido e até mesmo de modelos em escala real, para a análise da iluminação natural. Este livro apresenta estudos de casos que abrangem os diversos temas: implantação de edifícios na escala urbana, escritórios, escolas, museus, hotéis, universidades. Em medições com modelos reduzidos, Lam testa sob condição de céu real o desempenho de elementos sombreadores externos que redirecionam a luz natural direta, visando o seu melhor aproveitamento. Este autor sugere que, dependendo da complexidade do projeto, um protótipo em escala real pode ser justificado, apesar de ser um instrumento oneroso.

Robbins (1986), em seu livro *“Daylighting - Design and Analysis”*, descreve a metodologia usada para fazer avaliações quantitativas e qualitativas em modelos reduzidos. Os procedimentos descritos em seu livro são baseados em sua experiência pessoal, através de estudos que realizou para o *“Solar Energy Research Institute.”*

Na *University of Southern Califórnia*, o Prof. Marc Schiler publica, em 1987, o livro *“Daylighting with Architectural Models”*, descrevendo diversas experiências com o uso de modelos reduzidos.

Baker, Fanchiotti e Steemers (1993), através do livro *“Daylighting in Architecture - A European Reference Book”*, apresentam estudos realizados em modelos reduzidos, com o objetivo de analisar as características dos elementos ópticos holográficos na iluminação natural. Neste mesmo volume, são demonstrados testes realizados com modelos reduzidos em três configurações de átrios (quadrado, triangular e retangular), utilizados para verificar características deste sistema que influenciam na admissão e distribuição da luz.

Cannon-Brookes (1997) comparou medições feitas em um museu à medições realizadas em um modelo reduzido na escala 1:20. O resultado das medições neste

experimento apontou a tendência do modelo reduzido em superestimar o desempenho luminoso de ambientes reais.

Thanachareonkit, Andersen e Scartezzini (2003) também compararam medições realizadas em um modelo reduzido e do ambiente real correspondente. Para este estudo foi escolhido um ambiente bastante simples que foi comparado com um modelo na escala 1:10. Também neste caso, as medições do modelo foram superiores às do ambiente real.

Em ambos os estudos, com a comparação do ambiente real e o modelo reduzido, conclui-se que para atingir um melhor resultado, deve-se empreender um maior esforço para apurar as características do modelo.

Um artigo publicado na revista americana *Metropolis*, em maio de 2004, mostra a experiência de um protótipo em escala real que está sendo usado para analisar as condições de iluminação natural para a nova sede do *New York Times*, em construção, projetado pelo arquiteto Renzo Piano (PEDERSEN, 2004).

Este protótipo reproduz uma seção do edifício localizado na face sudoeste. O intuito deste experimento é analisar o comportamento da iluminação natural durante o ano, inclusive levando-se em consideração as refletâncias resultantes do mobiliário interno. Serão previstos sistemas de dimerização reguláveis automaticamente de acordo com a disponibilidade de luz natural interna. Este é um exemplo da aplicação do conhecimento da iluminação natural visando a conservação de energia e conforto visual.

No Brasil, podemos citar o engenheiro Paulo Sá como um dos pioneiros de trabalhos experimentais com modelos. Ele construiu, na década de 50, dois modelos de salas de aula, na escala 1:1, para estudar a influência da orientação e refletâncias na distribuição da luz natural. Estes experimentos foram realizados por ocasião da construção da Cidade Universitária, no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (SÁ, 1951).

Magalhães (1995a), em sua tese de doutorado, demonstra a influência das refletâncias internas e da tipologia das aberturas na distribuição interna da luz natural, através de medições realizadas em um modelo reduzido sob condição de céu real.

Souza e Valadares (1995) fizeram diversos experimentos com modelos reduzidos de

salas de aula. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a distribuição de iluminâncias internas de acordo com diferentes orientações e técnicas de captação de luz natural. As medições foram feitas com o uso do relógio de Sol para a simulação de diversos períodos no ano.

Jota e Bracarense (2001), através de experimentos com um modelo reduzido, estabeleceram a influência de três componentes arquitetônicas (área da abertura, localização da abertura na parede e brise horizontal) na avaliação quantitativa de luz natural que penetra o interior dos edifícios. Para determinar os efeitos de cada um dos fatores separadamente, as pesquisadoras utilizaram um método estatístico.

Rocha (2002) apresenta uma proposta de metodologia de projeto para avaliar os sistemas de iluminação natural em espaços de exposição de obras de arte, baseada na observação visual em modelos reduzidos. Os espaços destinados à exposição de obras de arte devem ser rigorosamente avaliados sob o ponto de vista da iluminação natural, devido ao controle do meio luminoso exigido por estes espaços.

Franco (2003) utilizou o modelo reduzido para avaliar o desempenho de um brise-soleil tipo prateleira de luz. Estes experimentos compararam o desempenho térmico e luminoso para prateleiras de luz fixa, de posicionamento manual e automático com diferentes ângulos de inclinação.

Ciampini, Neves e Scarazzato (2005), compararam o desempenho luminoso proporcionado por painéis defletores de luz através de experimentos com um modelo reduzido dividido em quatro compartimentos, todos com a mesma orientação.

Cabe enfatizar que grande parte das publicações sobre o tema iluminação natural, incluindo os autores que são referência internacional, assim como entidades específicas (IESNA, CIBSE, CIE, etc), abordam a metodologia para o uso de modelos reduzidos. Porém, o objetivo deste levantamento foi apresentar os autores que descreveram suas experiências pessoais na avaliação da iluminação natural com o uso dos modelos reduzidos.

4.4 TIPOS E ESCALA DO MODELO REDUZIDO

A escala ideal para a execução do modelo físico reduzido depende do objetivo final a ser atingido. É necessário determinar as variáveis que se deseja investigar. O

objetivo pode variar desde o estudo volumétrico do edifício e seu entorno para a análise do sombreamento, até o interesse em questões quantitativas e qualitativas da luz no interior do modelo. Entre estes dois extremos existem diversas escalas que podem ser executadas. As escalas mais comuns de construção seguem a série: 1:10, 1:20, 1:50, 1:100. O projetista deve decidir os elementos importantes para a modelagem da edificação de acordo com o tipo de investigação a ser feita sobre a iluminação natural (Quadro 2).

Escala	Objetivos
1:200 – 1:500	<ul style="list-style-type: none"> • Para projeto preliminar e desenvolvimento do conceito • Para fornecer o aspecto volumétrico do projeto • Para estudar a sombra criada pelo futuro edifício ou pelos edifícios do entorno
1:200 – 1:50	<ul style="list-style-type: none"> • Para estudar a penetração da luz direta do Sol nos edifícios (ex: eficiência da proteção Solar) • Para estudar a luz difusa em um grande espaço (ex: em um átrio)
1:100 – 1:10	<ul style="list-style-type: none"> • Para considerar o refinamento de detalhes em componentes do espaço • Para obter vistas do interior bastante detalhada (uso de vídeo ou fotos) • Para o estudo preciso da luz e a penetração da luz direta
1:10 – 1:1	<ul style="list-style-type: none"> • Para integrar componentes industriais críticos • Para considerar dispositivos usados para o projeto de iluminação natural que não podem ser reduzidos em escala • Para fazer a avaliação de um sistema avançado de iluminação natural através do monitoramento e avaliação do usuário

Quadro 2 - Escolha da escala em função do propósito do projeto de iluminação natural.

Fonte: (RUCK et al., 2000) Tradução nossa.

Segundo Robins (1986), três tipos característicos de modelagem podem ser usados na avaliação do desempenho das edificações:

- modelos de massa volumétrica para o estudo do exterior do edifício e seu entorno;
- modelo para o estudo do desempenho do edifício, incluindo a penetração e distribuição da iluminação natural, níveis de iluminação, brilho e contraste;
- modelo de aberturas isoladas, incluindo o tipo de vidro, dispositivos de sombreamento e outras características da abertura.

Os modelos de massa volumétrica são geralmente construídos em escalas menores que os modelos para a avaliação da iluminância interna.

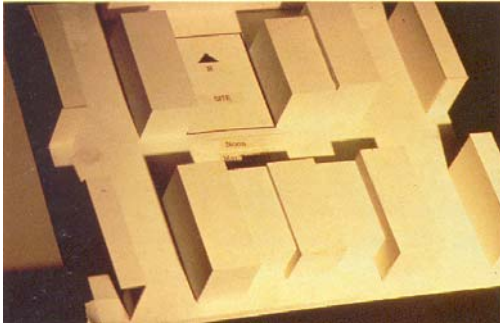


Figura 30 - Modelo de massa volumétrica para estudo de sombreamento

Fonte: Robbins.(1986)

Eles são usados para analisar a iluminação direta ou indireta provenientes do Sol e do céu que atingem as fachadas do edifício.

Estes modelos também servem para estudar a contribuição de luz refletida proporcionada pela reflexão dos edifícios adjacentes e o sombreamento proporcionado pelo edifício e seu entorno.

Os modelos utilizados para o estudo da penetração e distribuição da luz devem ser executados em uma escala maior.

A escala de 1:10, para espaços pequenos, e 1:20, para espaços maiores, proporciona facilidade de transporte destes modelos, a possibilidade de modelar dispositivos de controle, tais como os brises e venezianas e também facilitam o acesso para câmeras e sensores.

4.5 A CONSTRUÇÃO DO MODELO REDUZIDO

Para a construção do modelo, é necessário que a geometria do edifício e seu entorno sejam reproduzidos, assim como as propriedades de reflexão e transmissão das superfícies dos mesmos. O projetista deve definir quais os aspectos importantes a serem modelados, de acordo com o objetivo do estudo. Esta é uma decisão particular, que vai se alterar a cada caso. Para a construção de um modelo volumétrico, utilizado para determinar a sombra resultante do edifício e seu entorno, não será necessário modelar nenhuma característica de refletância das superfícies dos edifícios, apenas a volumetria do conjunto. Caso o objetivo seja analisar a capacidade real dos edifícios em refletir a luz, torna-se necessário modelar a fachada dos mesmos com um material que tenha condições de reflexão e textura, o mais próximo possível daquelas encontradas nos edifícios reais.

Os elementos no exterior do edifício deverão ser modelados, se forem considerados aspectos críticos para a iluminação. No caso de uma iluminação lateral, por exemplo, o piso próximo a esta janela terá influência na reflexão da luz. Para o mesmo edifício, se a abertura for zenital, a cobertura torna-se um elemento

essencial na modelagem. Concluindo, todas as superfícies externas que interferem na reflexão da luz para o interior do edifício deverão ser consideradas no modelo.

Os materiais que irão compor a superfície do modelo devem ser escolhidos em termos de transparência ou opacidade (luz transmitida ou bloqueada), fator de reflexão (porção de luz refletida e absorvida) e textura que interfere no grau de especularidade e difusão das superfícies (ANDER, 1995).

Segundo Robbins (1986), no local das janelas ao invés de modelar o vidro pode-se deixar a abertura livre. Após as medições, os dados obtidos devem ser multiplicados pelo fator de transmissão e pelo fator de manutenção do vidro do edifício real. Porém se o vidro não for transparente, ele deve ser incluído no modelo. Da mesma forma, se a luz penetrar no ambiente com um ângulo incidente superior a 60° , o vidro deve ser considerado no modelo porque a reflexão da luz torna-se significativa, alterando os resultados.

Os modelos físicos para a análise da iluminação não necessitam de acabamento no seu exterior, pois a aparência do edifício tem pouco ou nenhum impacto na qualidade da iluminação interna, com exceção, nos casos onde a superfície externa do edifício faz parte da estratégia de iluminação. Ao contrário do exterior, a parte interna deve ser representada com precisão.

Em modelos mais elaborados, o mobiliário em escala deve ser incluído, pois possibilita a avaliação dos seus efeitos na iluminação e no controle do ofuscamento. Móveis realísticos colaboram para dar a noção de escala e contribuem para qualidade do espaço representado nos registros fotográficos.

Baker e Steemers (2002) descrevem as principais regras que devem ser observadas na construção do modelo reduzido:

- O material utilizado nas paredes deve ser totalmente opaco e as junções das superfícies externas devem ser vedadas de forma que não ocorra vazamento de luz.
- Quando apropriado, algumas partes do modelo devem ser móveis, pois permite modificações internas e externas de alguns elementos do modelo, tornando possível a comparação entre alternativas de projeto.
- O coeficiente de reflexão interno e externo deve ser o mais próximo possível

das superfícies do edifício real.

- A geometria do edifício deve ser precisa. Deve-se tomar cuidado especial na modelagem das aberturas, caixilhos e vidros.
- O mobiliário deve ser incluído, principalmente se estiver acima do plano de trabalho.
- As obstruções externas devem ser consideradas no modelo. Elas podem ser consideradas como superfícies planas.
- Caso os vidros não sejam colocados no modelo, o fator de manutenção deve ser considerado posteriormente.
- As dimensões e o peso do modelo devem ser considerados para a facilidade de transporte e de seu uso.
- No caso de ser utilizado o céu artificial, a dimensão do modelo deve ser pequena em relação a distância da fonte de luz (ex: 0,6 m de altura para 5m de diâmetro da cúpula do céu artificial).
- Deve-se prever aberturas para a entrada de sensores de iluminação e câmeras.

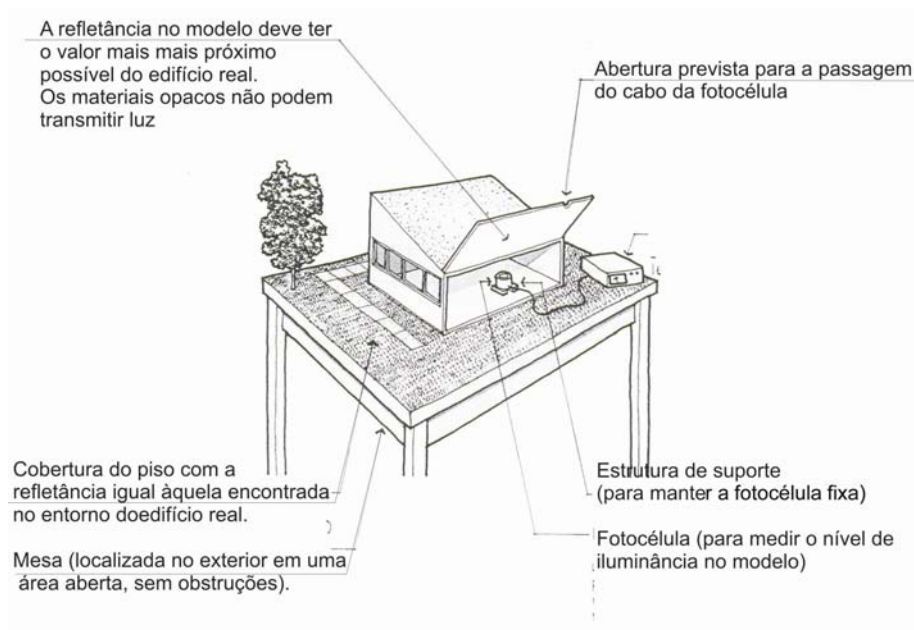


Figura 31 - Construção do modelo reduzido

Fonte: Egan (1983)

4.6 MEDIÇÕES

As medições em modelos reduzidos podem ser realizadas sob condição de céu artificial ou sob condição de céu real. Medição sob céu real é a forma mais econômica de realizar os experimentos, porém, consome mais tempo, devido à imprevisibilidade das condições do meteorológicas. O céu artificial possibilita a reprodução de um ambiente luminoso controlável, que pode ser mantido constante, possibilitando a comparação entre diversas soluções de projeto.

Não há, até o presente momento, procedimentos normalizados para a realização de medições em modelos reduzidos (PEREIRA, 1995), sendo recomendado verificar as sugestões e recomendações dos autores da área: Robbins (1986), Lam (1986), Schiler (1987), Moore (1991), e Baker e Steemers (1993).

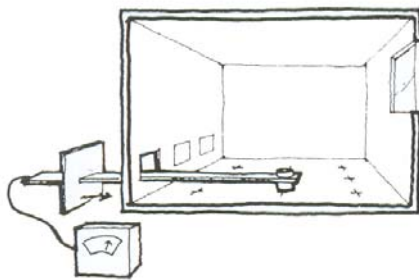


Figura 32 - Fotocélula disposta em um suporte para facilitar a entrada no modelo. Deve-se ter cuidado neste tipo de solução para que não entre luz nas aberturas

Fonte: Moore, 1991

Um aspecto importante a ser observado nas medições dos modelos reduzidos é o tamanho dos sensores em relação à escala do modelo. Estes devem possuir as menores dimensões possíveis, para que sejam caracterizadas condições pontuais de iluminação. “Recomenda-se que não sejam utilizados sensores maiores que 0,03 m² na escala do modelo. Para sensores circulares, o seu diâmetro não deve ser superior a 20cm na escala do modelo” (ABNT, 2005d).

As medições em modelos reduzidos são realizadas com sensores que possuem correção de efeito cosseno² e resposta espectral³ semelhantes à curva de sensibilidade do olho humano (MOORE, 1991).

São necessários pelo menos dois sensores, um para o exterior e o outro para o interior, para a realização de medições em modelos reduzidos.

² Correção de cosseno é uma correção que fotocélulas utilizadas para medição da iluminação devem apresentar para a lei do efeito cosseno. “A lei do cosseno estabelece que a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual a razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência”(LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA; 2004). Desta forma, a iluminância (E) fornecida por uma fonte incidente que forma um ângulo Θ com a normal n da fotocélula deve ser dada pela expressão $E = E_n \cdot \cos\Theta$ (ABNT, 2005d).

³ Resposta espectral determina a sensibilidade de um sensor à luz em um determinado comprimento de onda.

Para medições de iluminação natural, o sensor externo deve ter capacidade de leitura em uma faixa que varia de 0 a 120.000 lux. A faixa de leitura dos sensores internos pode variar dependendo do recurso de luz que será estudado. Para iluminação difusa, o sensor deve ser capaz de ler as medidas em uma faixa de 0 a 40.000lux, porém para luz direta do sol a faixa de leitura deve abranger de 0 a 120.000lux (ROBBINS,1986).

Segundo Moore (1991), os luxímetros que incorporam o sensor e o display no mesmo corpo do equipamento não são adequados para medições em modelos reduzidos devido ao tamanho dos mesmos e à dificuldade em observar a leitura sem obstruir a abertura.

Portanto, é desejável que o corpo do sensor, que será colocado no interior do modelo, seja destacado do display, facilitando a leitura das medidas.

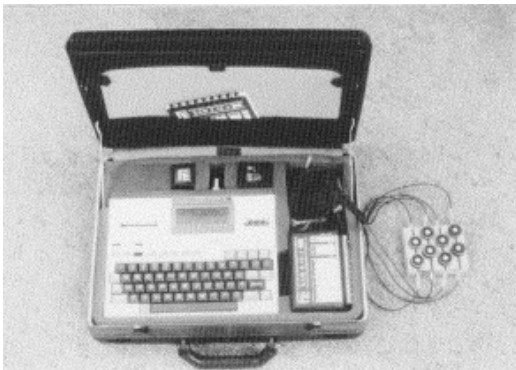


Figura 33 - Sistema de aquisição de dados da iluminação natural. Conjunto de fotocélulas e datalogger.

Fonte: Schiler e Japee (s.d.)

Há equipamentos específicos para a medições em modelos reduzidos compostos por múltiplos sensores (*multisensor photometer*).

Este conjunto de sensores pode ser acoplado a um datalogger que permite a leitura simultânea dos pontos, economizando tempo e evitando erros de leitura devido às variações das condições de céu. O datalogger pode ser programado tanto para armazenar medidas

instantâneas, como também a média dos valores medidos durante um intervalo de tempo. Para a avaliação da iluminação, pensando na economia de energia, é importante a obtenção dos dados durante um período de tempo representativo, possível através do datalogger.

A sofisticação dos instrumentos para as medições depende do orçamento disponível e da precisão requerida nos testes.

Scarazzato et al. (2006) apresentam um projeto para montagem, calibração e utilização de foto-sensores de baixo custo para a avaliação da iluminação natural em modelos reduzidos. Este sistema é capaz de garantir boa margem de confiabilidade, compatível com as exigências de projeto e a sensibilidade humana, apresentando como diferencial o seu custo bastante reduzido. Possibilita, desta forma, a utilização

de maior número de sensores, e a conseqüente montagem de uma malha de medições que permite um maior detalhamento nas avaliações.

A forma mais comum para avaliar quantitativamente a iluminância no interior dos modelos consiste em (ROBBINS, 1986):

- Estabelecer um ponto interno representativo dentro do espaço;
- Estabelecer uma linha de pontos para medições. Geralmente, esta linha é localizada no centro do ambiente, perpendicular à abertura;
- Estabelecer uma malha de pontos, igualmente distanciados, formando colunas e linhas. Embora seja mais trabalhoso para medir, esta configuração fornece uma informação mais detalhada sobre a distribuição da luz no ambiente.

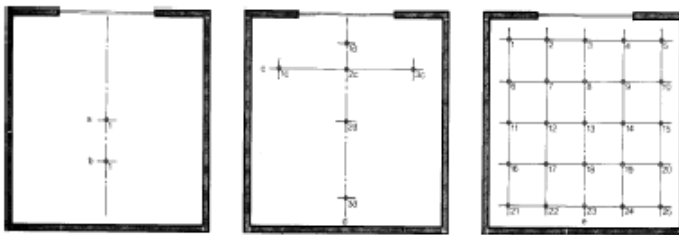


Figura 34 - Distribuição dos pontos de medição

Fonte: Robbins (1986)

As fotocélulas devem ser colocadas na altura do plano estudado. No caso de uma sala de aula, o plano de interesse corresponde à altura das mesas, na superfície horizontal. Em uma biblioteca, os pontos de interesse deverão ser dispostos em várias alturas do piso, posicionadas no plano vertical dos livros. Para um espaço de circulação, os sensores deverão estar posicionados na altura do piso (ROBBINS, 1986).



Figura 35 - (A) Colocação imprópria do sensor, pois não coincide com o plano de trabalho

(B) Colocação correta do sensor no plano de trabalho

Fonte: Robbins (1986)

4.6.1 Medição sob Céu Real

Caso as medições sejam realizadas no exterior sob condição de céu real, é aconselhável que a avaliação do modelo ocorra sob condição de céu claro e encoberto, para testar o desempenho em duas situações extremas (ROBBINS,

1986). Estas medições devem ser realizadas simultaneamente no interior e exterior do modelo, para se calcular o FLD, que é uma relação proporcional entre a iluminância interna e externa. O FLD, por ser uma medida relativa, é um parâmetro mais indicado para a verificação do desempenho real da iluminação natural do que através de medidas absolutas, devido às constantes variações do céu. Serve como base de comparação entre diversas alternativas de projeto. Para dia de céu encoberto padrão CIE, o FLD é constante, independente da orientação, horário e dia do ano. É importante ressaltar que as medidas relativas (FLD) não variam sob condição de céu encoberto, porém, as medidas absolutas podem variar substancialmente (MOORE, 1991).

Para os projetos que utilizam a luz direta ou refletida do sol como principal recurso, as medições sob céu claro são de extrema importância. Para esta condição de céu, as medições devem ser feitas durante vários horários do dia e em épocas distintas do ano, devido à geometria da insolação.

Se não houver disponibilidade em fazer medições durante todo o ano, pode-se utilizar o relógio do Sol e uma prancha inclinável para corrigir o azimute e a altura solar. Este dispositivo serve para simular diversas épocas do ano e diferentes horários durante um mesmo dia de medição.

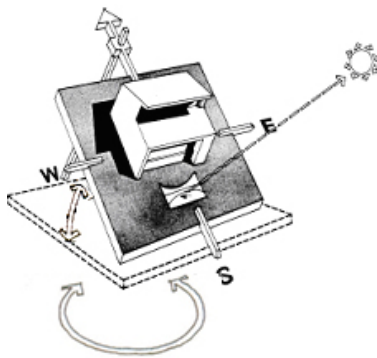


Figura 36 - Medição com modelo reduzido utilizando o relógio de Sol e a prancha inclinável

Fonte: Schiler. e Japee (sd).

Segundo Robbins (1986), com a ajuda do relógio do Sol é possível simular condições do ano inteiro através dos seguintes ajustes: rotação do modelo em torno do eixo vertical ou rotação e inclinação do modelo, de forma a indicar a nova condição de estudo.

O tipo de ajuste mais simples consiste na rotação do modelo para simular diferentes ângulos solares, correspondentes aos diferentes horários do ano.

Porém, este procedimento funciona somente quando a altitude solar máxima do dia em que o modelo está sendo testado for maior que a do dia em que está sendo simulado.

Nos casos em que o dia de teste tiver a altura solar inferior ao dia da simulação, o modelo deverá ser inclinado e rotacionado para alcançar a altitude solar desejada.

Assim não é aconselhável fazer as medições em um dia de inverno, para obter uma altura angular de um dia de verão, porque o modelo deverá ser inclinado, faceando o chão (Figura 37a). A melhor época para simulações em modelos, com o uso do relógio de Sol, é no período do verão.

Devido à necessidade de rotacionar o modelo em diversas orientações, para o ajuste das simulações, é necessário que as medições sejam realizadas em um local relativamente desobstruído (SCHILLER; JAPEE, s.d.).

O principal problema na inclinação do modelo em direção ao chão ocorre porque as aberturas apresentam uma menor visão do céu do que aconteceria com o edifício real. Se os pontos internos tiverem uma larga visão do plano do chão, os valores medidos podem ser distorcidos, comprometendo a avaliação quantitativa do espaço (SCHILLER; JAPEE, s.d.).

Este fato terá um maior impacto principalmente se a reflexão do piso apresentar uma diferença significativa daquela apresentada pelo céu, o que geralmente acontece.

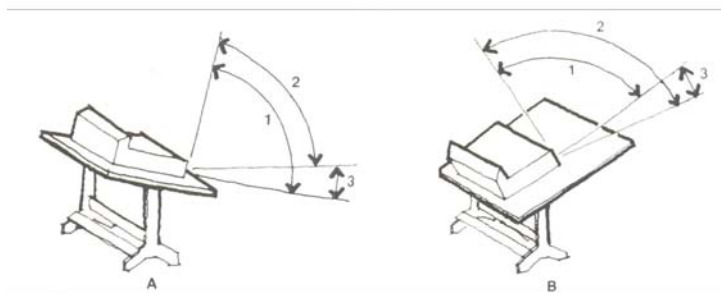


Figura 37 - Erros resultantes da inclinação do modelo para simular outras épocas do ano. (1) céu visto pelo edifício real; (2) céu visto pelo modelo, (3) erro de visualização do céu associado ao modelo

Fonte: Moore (1991)

A influência nos valores de iluminância devido a erros provenientes da inclinação do modelo pode ser considerada insignificante se a principal estratégia de iluminação utilizar recursos provenientes da reflexão da luz solar direta, pelos componentes do sistema de fenestração. Isto ocorre quando a contribuição destes elementos é muito maior comparada à luz da abóbada celeste. Neste caso, podem ser desconsiderados os erros provenientes da visão do chão devido à inclinação do modelo (O' LAUGHLIN; PORTER, 1983).

Segundo Robbins (1986), outro problema associado à inclinação do modelo para simulações é que a intensidade solar em um dia de céu claro varia de acordo com inclinação do Sol, específica para cada horário e época do ano. Portanto, para simular 12:00h de junho em um dia de maio, deve-se aplicar um fator de correção que leve em consideração a diferença óptica da massa de ar que a luz atravessa.

Para achar o fator de correção desta diferença (RE), divide-se a iluminância externa estimada ($E_{ext,est}$) para a data que foi feita a simulação, pela iluminância medida no dia da simulação ($E_{ext,med}$):

$$RE = E_{ext, est} / E_{ext, med} \quad (21)$$

Este fator de correção (RE) deve ser multiplicado pela iluminância medida no modelo com o objetivo de obter o valor estimado de iluminância para o edifício, na data de simulação.

Portanto:

$$E_{int\ corrigida} = E_{int, medida} \times RE \text{ (lux)} \quad (22)$$

Onde:

$E_{int\ corrigida}$ - Iluminância interna estimada para um ponto interno do edifício na data da simulação com o relógio de Sol

$E_{int, medida}$ - Iluminância medida no modelo reduzido

RE - Fator de correção

A iluminância estimada em um ponto do edifício pode ser obtida através de tabelas existentes sobre a disponibilidade da luz natural para as localidades, nas quais se encontram valores específicos para cada horário e dias do ano. No Brasil, estes valores foram tabulados por Scarazzato (1995).

Para estimar o valor de iluminância em um dia de céu encoberto, primeiro deve-se obter o valor do FLD. O próximo passo é a multiplicação deste dado pelos valores de iluminância externa utilizando a tabela de disponibilidade de luz natural para um determinado local.

Exemplificando para o caso de São Paulo, se o FLD em um dia de céu encoberto for 2% para um determinado ponto do ambiente, qual será o valor de iluminância às 12:00h nos dias 22/06 (solstício de inverno), 21/03 (equinócio de outono) e 22/12 (solstício de verão)?

$E_{int} = E_{ext,est} \times (FLD/100)$, onde: E_{int} (iluminância estimada interna); $E_{ext,est}$ (iluminância estimada externa); FLD (Fator de Luz do Dia)

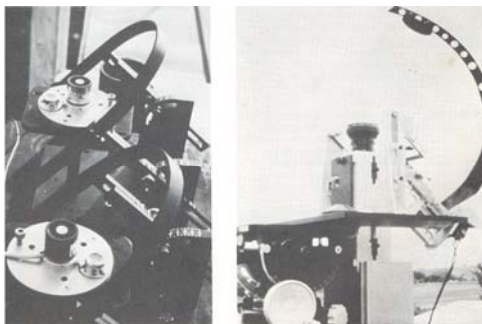
$$E_{int\ (21/03)} = 19.800 \times 2/100 = 396 \text{ lux}$$

$$E_{int\ (22/12)} = 21.300 \times 2/100 = 426 \text{ lux}$$

$$E_{int} (22/06) = 14.900 \times 2/100 = 298 \text{ lux}$$

Robbins (1986) sugere que para a condição de céu claro, deve-se medir o valor da iluminância externa total (luz direta e luz difusa) e a iluminância difusa, sob uma superfície horizontal desobstruída.

O valor da iluminância difusa será utilizado para encontrar a relação $E_{int.}/E_{ext}$ (iluminância em um ponto interno/ iluminância em um ponto externo desobstruído) que determina o FLD. Para medir a iluminância difusa, em dias de céu claro, é necessário que a fotocélula externa esteja sombreada em relação a incidência direta do Sol para medir a luz difusa da abóbada celeste.



(a) (b)
Figura 38 - Medição da iluminância difusa (a) com a faixa de sombreadamento (b) com o disco de sombreadamento. Fonte: Robbins, 1986

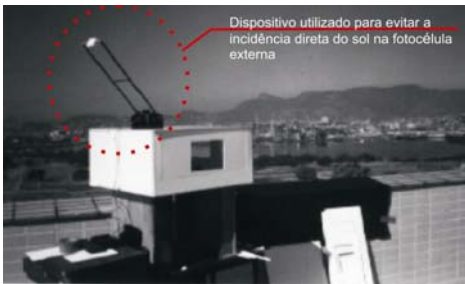


Figura 39 - Suporte para sombreadar a fotocélula externa
Fonte: Magalhães (2000)

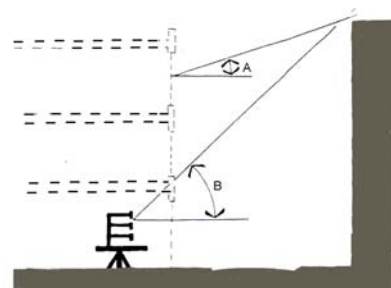


Figura 40 - Relação angular entre o modelo, edifício real e edifícios adjacentes. O ângulo (A) corresponde ao ângulo entre o edifício e o entorno. O ângulo (B) corresponde ao ângulo formado entre o modelo e a obstrução real (incorreto) Fonte : Robbins, 1986

Como o tamanho do elemento de sombreadamento afeta a leitura da iluminância, recomenda-se que seja utilizado um pequeno disco (ROBBINS, 1986) (Figura 38).

Magalhães (2000) construiu um suporte em balsa pintada de preto, com duas hastes de 50cm de comprimento e possibilidade de variação da inclinação da máscara de obstrução, para sombreadar a fotocélula.

Os testes no exterior funcionam melhor em um terreno desobstruído. Não é possível utilizar o terreno real do edifício para fazer as medições caso exista obstruções no entorno. Isto ocorre porque as relações geométricas entre o modelo reduzido não são proporcionais às obstruções reais em escala 1:1. Se for necessário analisar a influência do entorno, o mesmo deverá ser modelado. Somente desta forma será possível estabelecer as relações angulares corretas entre os edifícios e determinar a porcentagem de céu visível e a luz refletida.

4.6.2 Medição sob Céu Artificial

Devido à imprevisibilidade das condições de céu, alguns pesquisadores preferem utilizar os céus artificiais, também conhecidos com simuladores de céus, para as medições dos modelos reduzidos.

A vantagem de utilizar o de céu artificial para fazer medições em modelos reduzidos é que estes proporcionam um ambiente controlável, estável e reprodutível, permitindo que várias alternativas de projeto sejam testadas sob as mesmas condições. Apesar de serem bastante úteis “os céus artificiais são geralmente de grande dimensão, caros e exigem calibração e manutenção apropriadas” (PEREIRA, 1995, p.39).

Segundo a definição da ABNT (2005 a, p.3), o céu artificial é “uma envolvente que simula a distribuição de um céu real.”

Segundo Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), os requisitos para a obtenção de um céu artificial são: uma superfície luminosa com uma distribuição de luminâncias conhecidas e controladas que representa o céu; uma superfície de refletância conhecida que representa o solo e um horizonte colocado corretamente em relação aos modelos a serem usados com o céu artificial.

Geralmente, o céu artificial é usado para simular a luz difusa do céu, podendo também ser simulado um Sol artificial.

Devido ao fato da iluminância do céu artificial não ser igual àquela fornecida pelo Sol, medidas absolutas de iluminância não são possíveis. Deve-se medir os valores externos e internos para estabelecer o FLD de cada ponto interno do modelo (SCHILER; JAPEE, s.d.).

Existem dois tipos básicos de céu artificial: o hemisférico (domo) e o retilíneo (caixa de espelho).

4.6.2.1 Céu artificial retilíneo (caixa de espelho)

A ABNT (2005a, p.3) apresenta a seguinte definição para este céu: “envolvente retangular que apresenta um teto luminoso e paredes laterais espelhadas para criar

um céu com horizonte infinito, como resultado das múltiplas reflexões.” Esta configuração se aproxima à distribuição de luminância de um céu encoberto que tende a ser mais brilhante no zênite do que no horizonte. Este é o tipo mais comum, pois é o simulador de céu mais econômico.

O teto luminoso é formado por lâmpadas fluorescentes sob uma cobertura difusora translúcida. Segundo Moore (1991), as caixas espelhadas podem também ser modificadas para a simulação de céu claro, sem a incidência direta do Sol (Figura 41).

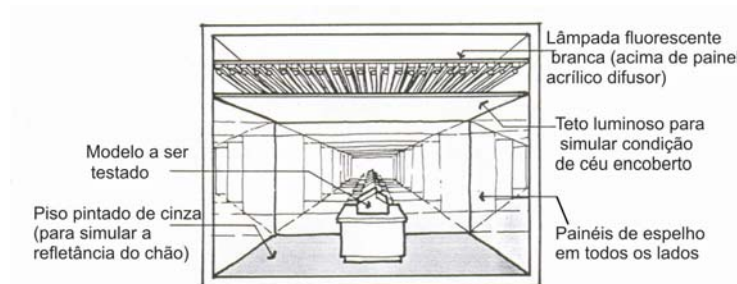


Figura 41 - Céu artificial "caixa de espelho".

Fonte: Moore, 1991

As vantagens deste sistema é que ele tem um custo moderado e os erros do horizonte são minimizados. A desvantagem é que as inter-reflexões são prejudicadas pelo modelo reduzido. Para minimizar este problema, deve-se revestir as paredes externas do modelo reduzido com espelho ou pintá-las de branco.

4.6.2.2 Céu artificial hemisférico

Existem duas formas básicas para simular as iluminâncias através do céu hemisférico: através de uma superfície refletora de luz projetada pelas lâmpadas posicionadas aos redor da base ou através de um conjunto de lâmpadas controláveis espalhadas pelo domo (PEREIRA, 1995).

O sistema que funciona com a superfície refletora tem o formato de uma cúpula com o interior opaco pintado de branco (Figura 42). Pelo fato da cúpula ter um tamanho finito, o horizonte do céu hemisférico não representa a realidade, que tem um horizonte infinitamente distante. Este erro pode ser minimizado se a cúpula tiver um tamanho muito maior quando comparada ao tamanho do modelo reduzido.

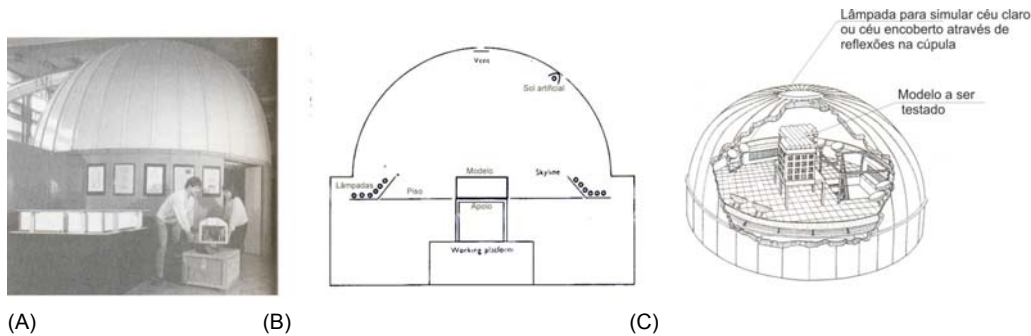


Figura 42 - (A) Céu artificial hemisférico da Universidade de Berkeley, (B) corte esquemático do céu hemisférico, (C) axonométrica do céu hemisférico. Fonte: (A) Ander(1995).;(B) Moore,(1991), (C) Baker e Steemers (2002).

O diâmetro utilizado para a construção deste tipo de céu varia entre 3 e 9m. É possível a reprodução de diferentes tipos de céu: uniforme, encoberto e claro padrão CIE. Outro ponto positivo é a facilidade de acesso do modelo para a simulação. Entre as desvantagens podemos citar a dificuldade de calibração, assim como o alto consumo de eletricidade e frequentes problemas de manutenção (BAKER & STEEMERS, 2002).



Figura 43 - Simulador de céu com pontos de luz
Fonte: www.learn.londonmet.ac.uk

O céu hemisférico formado por um conjunto de lâmpadas permite a incorporação da luz direta do sol, de acordo com a posição deste, através do controle individualizado da intensidade das lâmpadas.

A calibração e manutenção deste tipo de sistema são complicadas devido aos padrões diferenciados de desgaste de determinadas partes.

Outro ponto negativo é que este sistema resulta em uma descontinuidade de luminância e provoca sombras múltiplas (BAKER; STEEMERS, 2002).

4.6.2.3 Simulador de céu (*Scanning sky simulator*)

Segundo Baker e Steemers (2002), este simulador de céu é formado por apenas 1/6 do hemisfério, construído por um conjunto de 25 lâmpadas. O equipamento utiliza o processo de giro para reconstruir o restante do hemisfério. Isto é possível devido à simetria da configuração que permite a reconstrução de todo o hemisfério após seis

rotações sucessivas do modelo sob o simulador, em um ângulo de 60° a cada etapa. A vantagem deste sistema é a sua proximidade à luminância medida no céu real e a diminuição de problemas com manutenção e calibração, pois apenas parte da hemisfério é construída. Existe a possibilidade de reproduzir todos os padrões e modelos estatísticos de céu, com um baixo custo de construção e operação. Como desvantagem os autores apontam a impossibilidade de visualização e medição instantânea dentro do modelo, visto que as imagens devem ser reconstruídas.

Este simulador é composto por três partes distintas: a abóbada luminosa, um suporte para rotacionar o modelo e uma unidade para controle, monitoramento e visualização através de um computador (Figura 44).

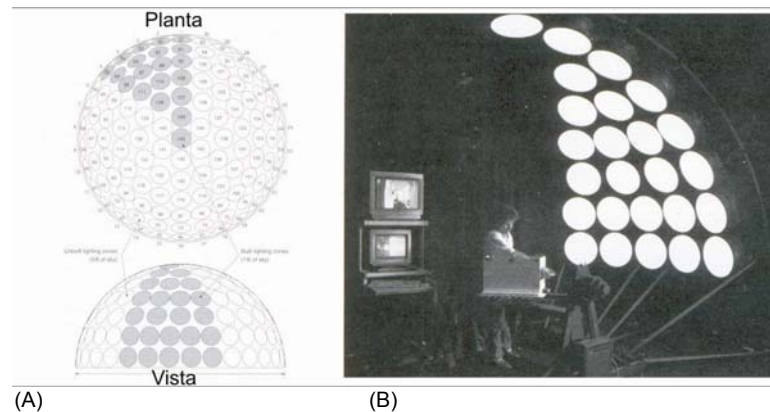


Figura 44 - (A) Configuração do simulador de céu indicando a posição e dimensão dos discos luminosos que constituem a abóbada celeste, (B) Foto do simulador de céu

Fonte: (A) e (B) Baker e Steemers, 2002

Os pontos de luminosidade da abóbada celeste utilizam os dados de medição de céu real, segundo os padrões IDMP - International Daylighting Measurement Programme.

A avaliação do desempenho luminoso do modelo pode ser feita através de estudos quantitativos com a medição do FLD e estudos qualitativos com o uso de um sistema de vídeo para visualizar as qualidades subjetivas do espaço.

Este simulador não permite uma visão direta ou medição instantânea. O resultado é obtido após o término da seguinte sequência (BAKER; STEEMERS, 2002) :

- Rotações sucessivas do modelo em torno da porção da abóbada celeste que faz parte do simulador. A cada rotação, 1/6 da abóbada irá simular a distribuição luminosa correspondente a uma porção da hemisfera total. Os

valores serão medidos e filmados a cada etapa.

- A obtenção do FLD e a visualização da imagem final é o resultado do processamento dos dados parciais das seis etapas de rotação do modelo, através do uso de um computador.

4.7 O USO DE MODELOS EM ESCALA REAL

Modelos em escala real são utilizados para um maior detalhamento do espaço, permitindo avaliações que não são possíveis de realizar em modelos reduzidos, devido à impossibilidade de modelar alguns objetos do ambiente. Estes modelos são utilizados principalmente para avaliar a integração do sistema de iluminação natural ao sistema artificial e prever a economia de energia resultante.

Um exemplo recente pode ser demonstrado com a construção de um modelo em escala real que reproduz uma seção da face sudoeste do edifício que será construído para abrigar a nova sede do New York Times em Manhattan, no centro de Nova York (PEDERSEN, 2004).

Este edifício foi projetado por Renzo Piano e a consultoria de eficiência energética tem como responsável a equipe do Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).



Figura 45 – Fotos da fachada no exterior do modelo em escala real

Fonte: Lawrence Berkeley National Laboratory (2005)

O desempenho do modelo em escala real foi monitorado durante seis meses (21 de dezembro de 2004 a 21 de junho de 2005), com 1 medição por minuto. Diversos sistemas de sobreamento automático para fachadas, tipos de controle interno para dimerização da iluminação artificial e o impacto do mobiliário na iluminação foram avaliados para a especificação dos componentes que seriam utilizados no edifício.

Foram medidos a iluminância no plano de trabalho, as operações de controle do sistema de sombreamento e outros parâmetros relacionados ao conforto visual.

Um dos objetivos, além do detalhamento do sistemas de iluminação e redução de energia, foi criar um mercado mais competitivo para a fabricação de sistemas de iluminação natural, resultado da integração entre o cliente e os fabricantes.

4.8 VERIFICAÇÃO DA INSOLAÇÃO NOS MODELOS

Os estudos de insolação para a avaliação da penetração solar direta no modelo e projeção de sombras nos edifícios ou no recinto urbano podem ser realizadas sob condições reais de luminosidade, com o apoio do relógio do Sol ou através equipamentos simuladores da trajetória solar como os heliodons e helioscópios.

O heliodon é composto essencialmente por duas partes: uma prancheta que pode ser rotacionada nos eixos horizontal e vertical, permitindo a simulação da incidência solar para diversas épocas e horários do ano em qualquer latitude e uma fonte de luz, que faz o papel de um Sol artificial.

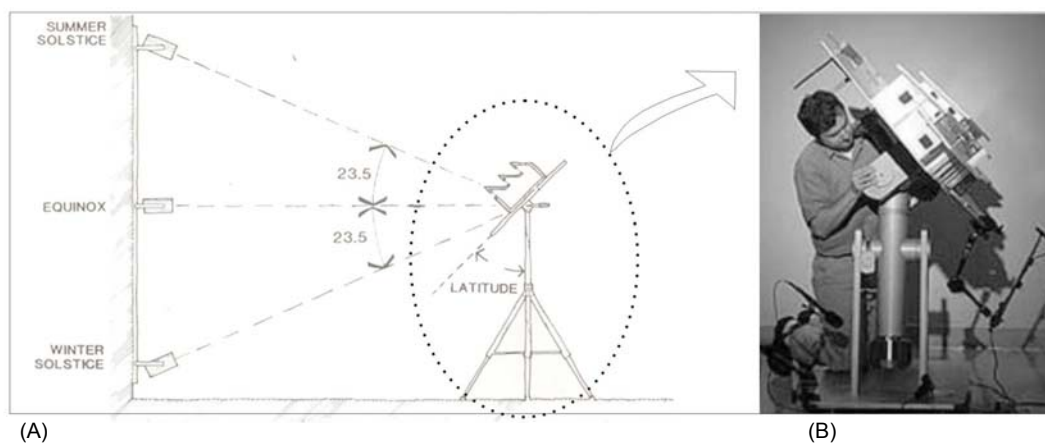


Figura 46 - (A) Simulação de um modelo com o heliodon (B) Foto do heliodon

Fonte: (A) Robbins (1986) (B) Pacific Gas and Electric Company (site)

O modelo deve ser fixado na prancheta e antes de realizar a simulação deve-se ajustar três variáveis entre as quais:

- a latitude geográfica do local é ajustada com a inclinação da prancheta, rotacionando-a no seu eixo horizontal;
- o período do dia, que é ajustado através da rotação do eixo vertical;

- o período do ano (verão, outono, inverno, primavera) que é ajustado movendo a fonte de luz para cima ou para baixo em seu eixo vertical.

Câmeras fotográficas e vídeos podem ser utilizados para registrar as simulações feitas para diferentes estações do ano, ajudando, desta forma, na compreensão do comportamento da luz natural.

O helioscópio consiste em três grandes arcos de alumínio fixados a um suporte giratório onde se acoplam lâmpadas que representam a posição do Sol para cada hora do dia. Os arcos simulam a posição do Sol nos Solstícios de verão, inverno e equinócios.

O modelo deve ser colocado em uma mesa fixa que representa a superfície terrestre no centro dos três arcos. Para ajustar a latitude para uma determinada posição geográfica deve-se girar o conjunto de arcos e lâmpadas em torno da prancheta fixa.



Figura 47 - Helioscópio do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de tuiuti no Paraná
Fonte: Yamamoto;Krüger e Dumke (2003)

A simulação da posição do Sol é feita acendendo a lâmpada correspondente à hora do dia e o arco que representa a época do ano pré-definida (solstícios ou equinócios). Este equipamento permite uma rápida visualização da incidência do Sol durante o ano, possibilitando o entendimento da trajetória solar aparente (YAMAMOTO; KRÜGER; DUMKE, 2003).

4.9 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

As análises visuais realizadas em modelos necessitam ser documentadas para referências posteriores sobre a qualidade da luz e comparações com outras alternativas de projeto. Para isto, pode-se fazer uma documentação fotográfica.

A limitação deste método deve-se ao fato do olho humano ser muito mais sensível que a maioria dos filmes fotográficos existentes no mercado. Para contornar este problema é recomendável que várias fotografias sejam tiradas de cada alternativa e horário de medição, para que posteriormente seja escolhida a opção mais próxima da

observação realizada (BAKER.; FANCHIOTTI.; STEEMERS, 1993).

Segundo Moore (1991), a escolha da lente adequada para a fotografia é importante para a obtenção de um resultado satisfatório. Este autor recomenda que sejam usadas lentes de 15 a 28mm para uma maior cobertura da área e pelo fato da grande profundidade do foco característico deste tipo de lente.

Robbins (1986) recomenda as lentes com ângulo abertos entre 21mm a 28mm, pois são as mais próximas do campo de visão humano. Segundo este autor, as lentes entre 28mm e 75mm também são excelentes para fotografias de luz natural.

Lam (1986), também recomenda o uso de lentes com o ângulo aberto, como por exemplo, a de 20°. Este autor sugere que seja colocado no interior do modelo uma etiqueta com o horário da simulação, período do ano e condição de céu para que fique documentado na fotografia as condições em que esta foi realizada. Através desta descrição é possível a comparação entre várias alternativas de projeto.

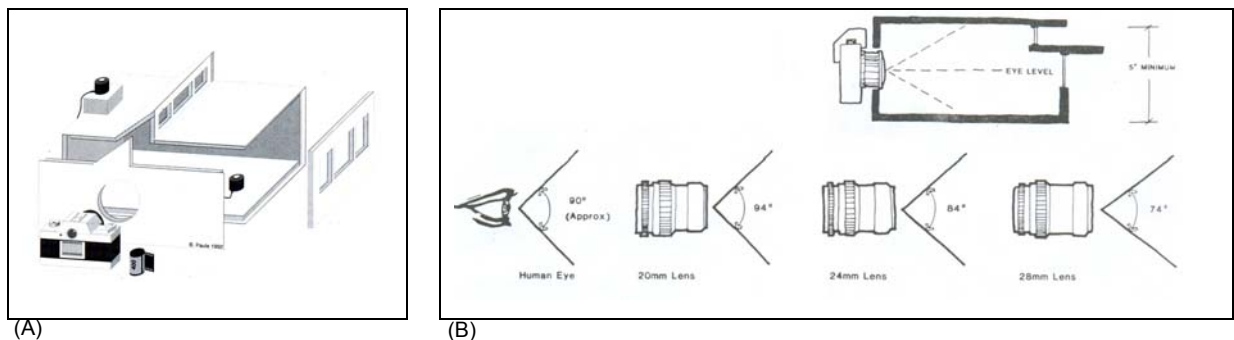


Figura 48 - (A) Abertura no modelo reduzido utilizada para fotografar o interior dos mesmos, (B) Comparação de ângulos de visão de várias lentes e do olho humano utilizados para fotografar modelos reduzidos

Fonte: (A) Baker e Steemers (2002), (B) Robbins (1986).

A escolha do material que será utilizado na construção do modelo deve ser feita de acordo com o tipo de fotografia que se pretende obter. Se a intenção for utilizar o filme preto e branco, não é necessário que a cor da superfície do modelo seja a mesma do edifício real, apenas a capacidade de refletância da mesma (Figura 49). Se as fotografias forem coloridas, tanto a cor do material como também a refletância deverão ser equivalentes às encontradas no objeto real (Figura 50).

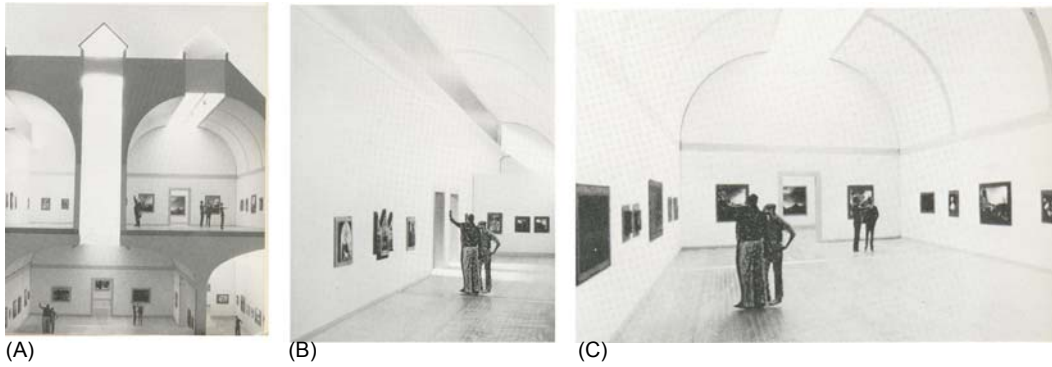


Figura 49 - (A), (B) E (C) Interior do modelo da Galeria Nacional do Canadá, que utiliza a estratégia de iluminação zenital
 Fonte: Lam (1986)

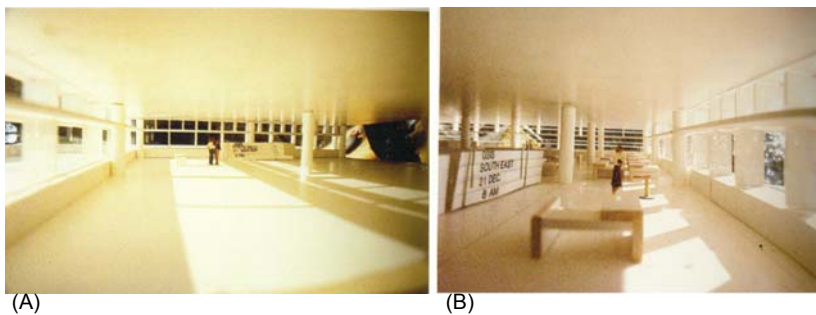


Figura 50 - (A) e (B) Interior do modelo de um edifício de escritórios, que utiliza a estratégia da iluminação lateral
 Fonte: Lam, 1986

4.10 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação dos aspectos qualitativos é realizada com a observação visual do modelo. Através desta análise pode-se avaliar questões como: ofuscamento, contraste e conforto visual, assim como a distribuição luminosa dentro do modelo.

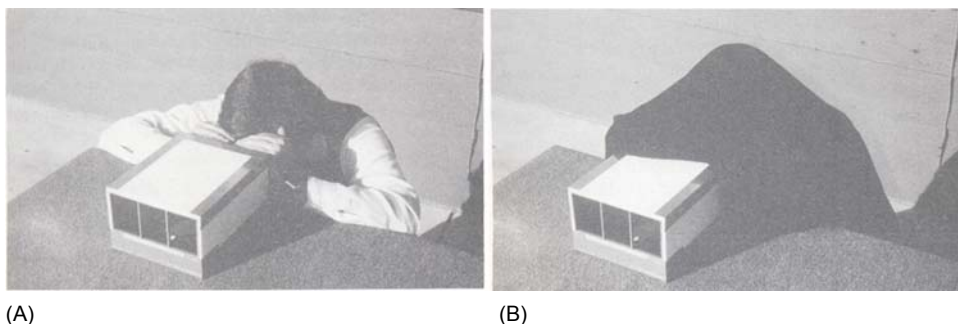


Figura 51 - Observador analisando o interior do modelo reduzido. (A) Método incorreto pois a luz poderá entrar pela abertura de visualização (B) Utilização de um pano preto para bloquear a entrada de luz

Fonte: Robbins (1986).

Para a observação interna dos modelos utiliza-se uma ou várias aberturas nas paredes do mesmo. Diversas aberturas proporcionam diferentes pontos de vista

para a análise. A observação deve ser feita com o uso de um pano preto sobreposto, para evitar desta forma o vazamento de luz, que resulta em uma maior iluminância interna (Figura 51).

A observação visual é uma poderosa ferramenta de projeto, devido à facilidade e rapidez de análise. Um bom projeto terá o seu desempenho quantitativo e qualitativo cuidadosamente balanceado para atingir um desempenho visual adequado, assim como características e efeitos da distribuição interna da luz desejados.

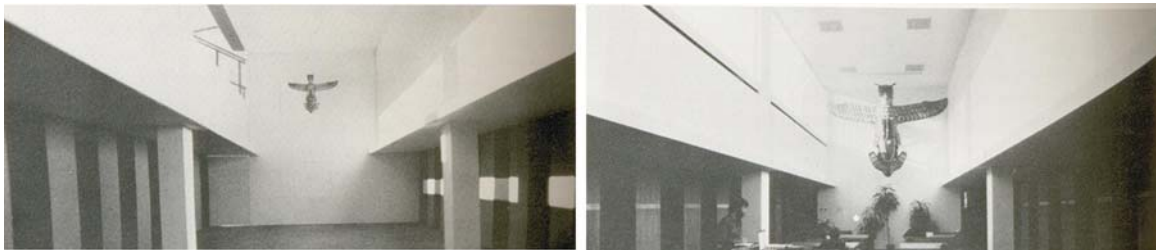


Figura 52 - (A) Foto do interior de um modelo reduzido de uma igreja, (B) Ambiente real utilizado para a modelagem.

Fonte: (A) e (B) Moore (1991)

Os resultados da análise visual poderão ser apresentados através de documentações fotográficas ou vídeo (Figura 52).

Em relação à análise quantitativa é importante que os dados sejam apresentados em formato de gráficos para facilitar a análise (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993). A apresentação gráfica pode ser feita de duas maneiras:

- Curvas isolux do FLD em planta;
- Gráficos do FLD em corte, que mostram a distribuição da luz em relação à distância da abertura.

As curvas isolux representam graficamente linhas com mesmos valores de FLD, distribuídos na planta do ambiente analisado. Este gráfico permite entender a distribuição de iluminância interna e indicar as zonas que possuem diferentes níveis.

O critério mais importante para os valores de FLD plotados em corte está relacionado com a forma da curva. Quanto mais suave a curva, maior a uniformidade da iluminação no interior do ambiente.

**CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES NO MODELO
REDUZIDO E NO AMBIENTE REAL**

**CAPÍTULO 6 - METODOLOGIA DO USO DE MODELOS
REDUZIDOS PARA A ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL**

PARTE 3

**PROCESSO EXPERIMENTAL
E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

5

COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES NO
MODELO REDUZIDO E NO AMBIENTE REAL

5.1 ESTUDO DE CASO – SALA DE REUNIÕES

Para atingir um dos objetivos da pesquisa, que compreende a análise comparativa entre medições no modelo reduzido e no ambiente real correspondente, foi escolhida uma sala de reuniões como objeto concreto do experimento. O critério para a escolha desta sala foi a facilidade de acesso à mesma, a simplicidade da geometria do ambiente e a existência de uma cobertura de fácil acesso nesta edificação, utilizada para as medições do modelo reduzido.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE REAL

A sala de reuniões está localizada no edifício do CIETEC (Centro Incubador de Empresas tecnológicas), dentro do Campus da Universidade de São Paulo, na latitude $23^{\circ}30'$ Sul e longitude $46^{\circ}37'$ Oeste.

A fachada principal está orientada para a face nordeste com duas aberturas de $2,0 \times 2,5\text{m}$ nas extremidades da parede (Figura 54). Situa-se no último pavimento de um edifício de 4 andares. O edifício possui um formato em “U”, sendo que a sala escolhida para o estudo está implantada em uma das extremidades (Figura 53).

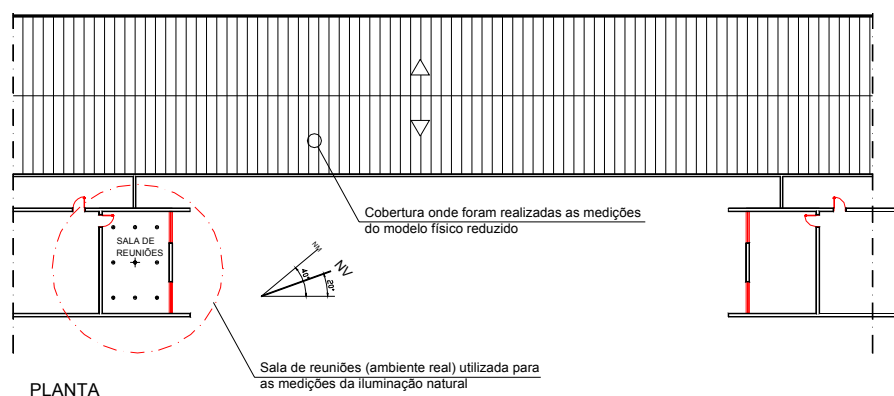


Figura 53 - Localização da sala de reuniões na implantação do edifício do Cietec

Fonte: Autora da pesquisa

A única obstrução existente na fachada nordeste da sala é um bloco do edifício com as mesmas dimensões e altura da sala de reuniões adotada para o estudo. Este bloco do edifício está situado a 37,80 m de distância da sala de reuniões.

As dimensões internas desta sala são: 4,16m x 6,43m x 2,78m. As paredes 1, 3 e 4, assim como o forro são de concreto, pintadas na mesma cor (Figuras 54 e 55). A parede 2 do lado oposto da abertura é rebocada, pintada na cor amarelo claro. O mobiliário existente internamente consiste em uma mesa retangular com dimensões 1,10m x 2,75m por 0,74m de altura, na cor cinza claro e oito cadeiras azuis dispostas ao redor da mesa. Dentro da sala foi estabelecida uma malha com 9 pontos para a medição da iluminação natural. A figura abaixo demonstra o percurso realizado para a medição dos pontos internos.

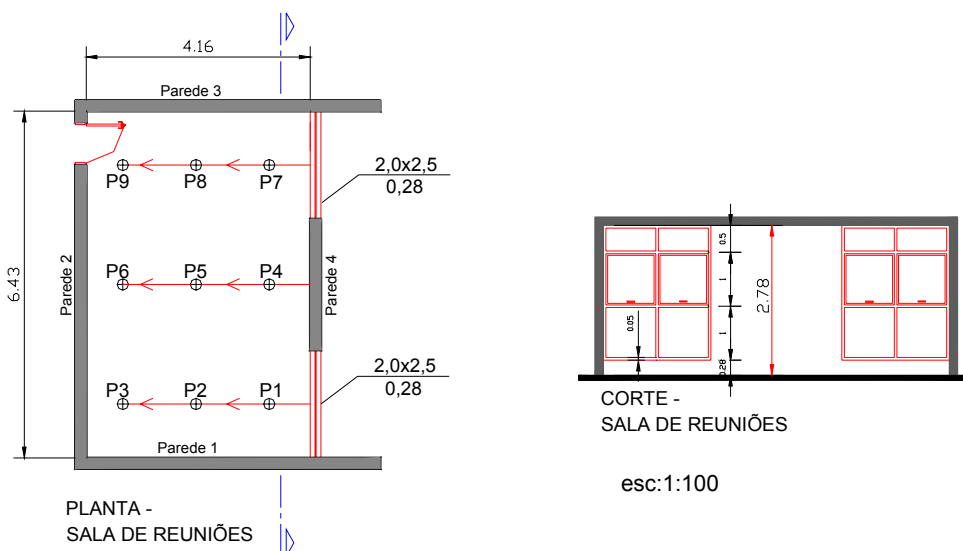


Figura 54 - Planta da sala de reuniões com a disposição da malha de pontos para medição (à direita). À esquerda, corte longitudinal da sala

Fonte: Autora da pesquisa.

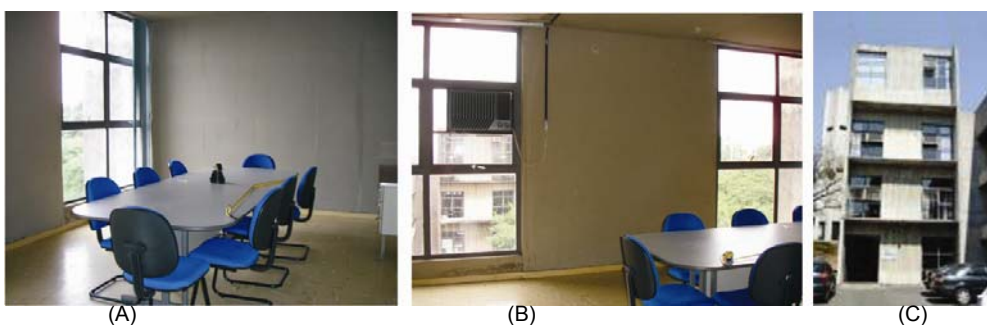


Figura 55 – (A) e (B) Fotos internas da sala de reuniões, (C) Foto externa do edifício

Fonte: Autora da pesquisa.

Para determinar a reflexão das superfícies internas da sala, mediu-se com um

luxímetro a iluminância destas superfícies e de uma folha branca. Através de uma relação proporcional, considerando-se que a reflexão da folha branca é de 90%, foi possível determinar a refletância de todas as superfícies conforme o quadro 3.

Superfície	Material	Refletância
Parede 1	Concreto pintado	56,6%
Parede 2	Reboco pintado de amarelo	82,5%
Parede 3	Concreto pintado	56,6%
Parede 4	Concreto pintado	56,6%
Piso	Vinílico bege	63%
Forro	Concreto pintado	56,6%
Mesa	Fórmica cinza	58,14%
Porta marrom	Madeira pintada	57,27%

Quadro 3 - Propriedades das superfícies da sala de reuniões

5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO REDUZIDO

A diferença entre um modelo reduzido para estudo da iluminação e uma maquete é que o modelo deve reproduzir características do ambiente real que interferem na distribuição da luz como: a geometria do ambiente, características fotométricas das superfícies, características do sistema de fenestração. A maquete é um instrumento de representação do ambiente em escala, que não reproduz necessariamente todas as características do ambiente real que tem impacto na iluminação natural.

O modelo reduzido para o estudo da iluminação natural deve ser construído com a maior exatidão possível, por isto, é importante a escolha de uma escala que permita a modelagem de detalhes. Assim, o modelo foi construído na escala (1:12,5), levando-se em consideração tanto a facilidade para a execução de detalhes como também o tamanho do sensor que seria utilizado na medição. A relação entre o tamanho do modelo e a escala do sensor é uma aspecto que interfere na escolha da escala.

O modelo deste experimento foi construído com placas de polipropileno revestidas com papel liso, segundo as recomendações de Magalhães (2001). Além do revestimento que já vem na placa, foi aplicado papel cartão colorido nas superfícies internas do modelo, com as refletâncias correspondentes às superfícies do ambiente real.

A vantagem em utilizar as placas de polipropileno é que o modelo fica leve, fácil de

ser transportado para locais de difícil acesso, como é o caso da cobertura onde foram feitas as medições.

O quadro 4 demonstra as cores e refletâncias do revestimento interno do modelo:

Superfície	Material	Refletância
Parede 1	Papel revestido com gesso pintado na cor de concreto	56,18%
Parede 2	Papel amarelo	78%
Parede 3	Papel revestido com gesso pintado na cor de concreto	56,18%
Parede 4	Papel revestido com gesso pintado na cor de concreto	56,18%
Piso	Papel bege	57,85%
Forro	Papel revestido com gesso pintado na cor de concreto	56,18%
mesa	Papel cinza	60%
Porta marrom	Papel marrom	60,7%

Quadro 4 - Propriedades das superfícies do modelo físico reduzido

Comparando o quadro 4 ao quadro 3, constata-se que a maior diferença entre a refletância das superfícies do ambiente real e do modelo é de 4,5%.

Todas as junções entre as paredes foram vedadas com camadas de fita isolante preta, evitando a existência de frestas por onde poderia ocorrer o vazamento da luz.

O forro do modelo foi executado de forma a ser removível (como a tampa de uma caixa) facilitando o acesso à parte interna do mesmo.

A fachada, que possui as aberturas, teve a espessura do material de vedação aumentada com a sobreposição de duas placas, para que, desta forma, correspondesse à espessura da parede, na escala do modelo.

Foi modelado o caixilho das aberturas, porém não foi colocado o vidro. Posteriormente, aplicou-se um fator de correção do vidro.

A mesa de reuniões foi acrescentada ao modelo por ter uma área significativa, porém, as cadeiras não foram reproduzidas.

5.4 MEDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL – PRIMEIRA ETAPA

As medições foram realizadas no mês de abril, durante quatro dias, em dois horários no período da manhã e e três horários no período da tarde (Tabelas 1, 2 e 3). As

condições de céu, os dias e horários monitorados foram:

- céu claro (dia 12/04 às 9h, 11h, 15 e 17h e dia 13/04 às 17h)
- céu parcialmente encoberto (12/04 às 14:30 e 13/04 às 9h, 11h, 13:40h, 15h)
- céu encoberto (24/04 às 8:40h e 26/04 às 10:20h, 12:30, 15h e 16:10h)

Foram utilizados três luxímetros, da marca Homis e modelo 630 lightmeter, que possuem a fotocélula destacável do corpo principal do aparelho e o sensor com o tamanho de 1,6 cm. Um luxímetro foi disposto dentro do modelo, outro no ambiente real e outro externamente para obtenção da disponibilidade luz natural.

A medição de cada ponto do modelo reduzido foi realizada simultaneamente à medição do ponto correspondente no ambiente real e no ponto externo, seguindo um percurso de acordo com a ordem crescente destes pontos (Figura 54).

Para tal foram necessários dois operadores que monitoraram os nove pontos internos no modelo reduzido e no ambiente real. O modelo reduzido foi disposto em uma cobertura ao lado do ambiente real monitorado (Figura 56). A simultaneidade da medições foi possível através da comunicação dos operadores por meio do aparelho celular para indicar o momento da medição.

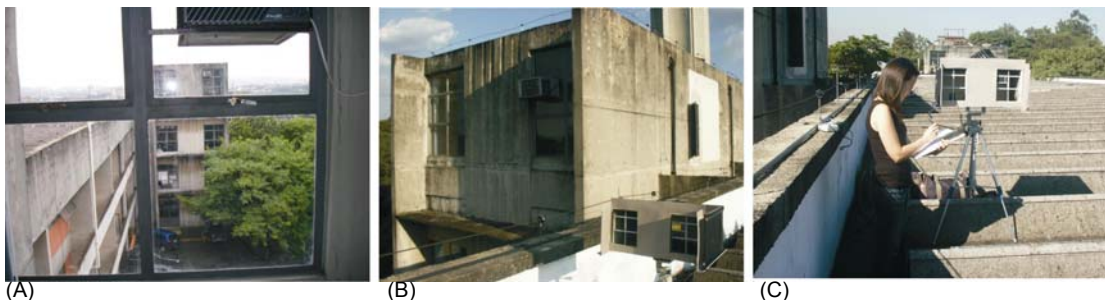


Figura 56 - (A) Vista externa da sala de reuniões, (B) Modelo reduzido ao lado do ambiente real, (C) Medição do modelo reduzido

Fonte: Autora da pesquisa.

Para inserir o sensor do luxímetro no interior do modelo foram feitas aberturas na parte inferior do mesmo (Figura 57). Devido às dificuldades em tirar a abertura correspondente a cada ponto no interior do modelo e de vedar todas as frestas antes de cada medição, optou-se posteriormente por inserir o sensor do luxímetro pela janela do modelo. O display do luxímetro por ser destacável do sensor, ficava no lado externo do modelo facilitando desta forma a leitura dos valores. O sensor foi acoplado a uma base para que o mesmo ficasse na altura do plano de trabalho

(0,75m) na escala do modelo (Figura 58b). A figura 57 demonstra a inserção do sensor pela base inferior do modelo, utilizado nas primeiras medições e abandonado nas medições posteriores por não ser prático o processo.



Figura 57 - (A) medição no modelo, (B) Aberturas inferiores para inserção do sensor, (C) Sensor no interior do modelo
Fonte: Autora da pesquisa.

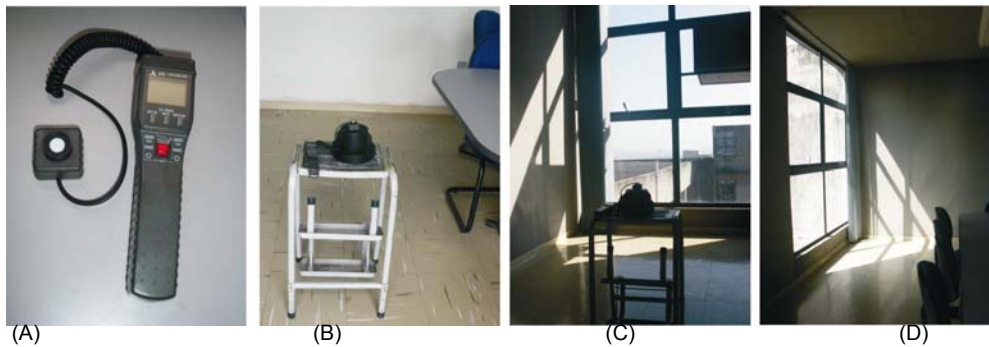


Figura 58 - (A) Luxímetro utilizado, (B) Medição no ambiente real, (C) e (D) Registro da condição de iluminação e insolação
Fonte: Autora da pesquisa.

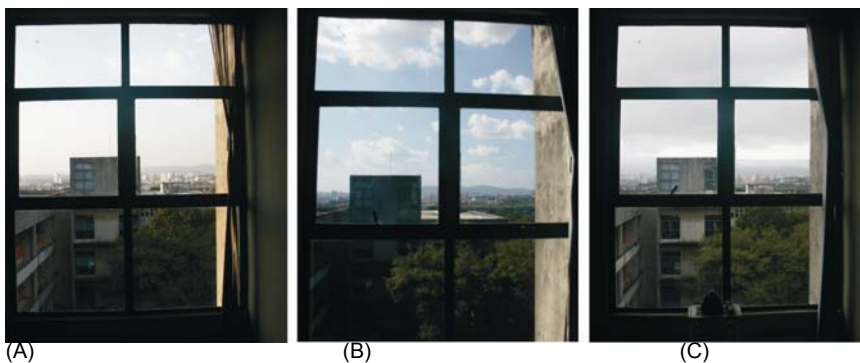


Figura 59 - (A) Céu claro, (B) Céu parcialmente encoberto, (C) Céu encoberto
Fonte: Autora da pesquisa.

A medição no ambiente real foi realizada com o auxílio de uma escada e um suporte que serviam como apoio para a fotocélula e nivelavam a altura da mesma na altura do plano de trabalho (Figura 58).

Em todos os horários das medições, foram fotografadas as condições de céu e do

interior da sala para documentar as condições de distribuição da luz e penetração solar no momento das medições (Figura 59).

5.4.1 Resultado das Medições - Primeira Etapa

Os resultados medidos no modelo foram multiplicados pela transmitância do vidro (0,86) e pelo fator de manutenção do vidro (0,90). Mesmo com esta correção, os valores medidos no modelo são superiores àqueles medidos no ambiente real. Para condição de céu claro a diferença máxima foi de 70% e a média da diferença foi de 29% (Tabelas 1 e 2). No caso da medição sob a condição de céu parcialmente encoberto, esta diferença chegou a 61% e a média da diferença foi 27% (Tabelas 1 e 2). Para céu encoberto a diferença máxima foi de 73% e a média da diferença foi 27% (Tabela 3). A porcentagem da diferença com valores muito discrepantes como -274,5% e -818% foram descartadas, pois provavelmente o sensor mediu a incidência da luz direta do Sol em uma das situações e a luz difusa na outra (modelo e ambiente real) por uma questão variação da disposição do sensor.

Através dos gráficos e tabelas que comparam a iluminância de cada ponto no modelo e no ambiente real, percebe-se que as curvas resultantes possuem um comportamento semelhante, apesar dos valores medidos no modelo reduzido apresentarem valores superiores.

Esperava-se que as iluminâncias medidas nos modelos reduzidos apresentassem valores mais próximos àqueles medidos no ambiente real. De acordo com a maioria dos autores consultados, os valores de iluminação medidos em modelos físicos possuem uma boa correlação àqueles encontrados em um ambiente real correspondente. Como o resultado foi diferente do esperado, realizou-se uma nova etapa de medições com o objetivo de melhorar possíveis falhas no modelo reduzido, assim como no procedimento de medição.

Tabela 1 - Valores da medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 12/04/05)

Data: 12/04/05	Modelo Reduzido			Ambiente real	% de diferença
Céu Claro (estável)					
Horário	9hs às 9:15h		9hs às 9:15h	(Em corrigido - Ea)	
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	48.000	3.700	2.864	1780	38%
Ponto 2	48.000	1.300	1.006	900	11%
Ponto 3	48.000	1.000	774	610	21%
Ponto 4	48.000	1.400	1.084	800	26%
Ponto 5	48.000	1.600	1.238	830	33%
Ponto 6	48.000	1.800	1.393	660	53%
Ponto 7	48.000	5.100	3.947	2310	41%
Ponto 8	48.000	1.700	1.316	940	29%
Ponto 9	48.000	1.240	960	630	34%
Céu Claro (estável)					
Horário	11hs às 11:15h		11hs às 11:15h	(Em corrigido - Ea)	
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	84.000	7.400	5.728	6.850	-20%
Ponto 2	84.000	1.700	1.316	1.490	-13%
Ponto 3	84.000	1.230	952	940	1%
Ponto 4	84.000	1.020	789	750	5%
Ponto 5	84.000	1.300	1.006	900	11%
Ponto 6	84.000	1.470	1.138	740	36%
Ponto 7	84.000	3.890	3.011	3.230	-7%
Ponto 8	84.000	1.910	1.478	1250	15%
Ponto 9	84.000	1.490	1.153	820	29%
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário	14:30 às 14:45		14:30 às 14:45	(Em corrigido - Ea)	
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	58.000	6.480	5.016	4490	10%
Ponto 2	24.000	2.500	1.935	1350	30%
Ponto 3	36.000	1.040	805	740	8%
Ponto 4	66.000	1.870	1.447	5000	-245%
Ponto 5	68.000	1.370	1.060	660	38%
Ponto 6	66.000	1.550	1.200	470	61%
Ponto 7	68.000	4.800	3.715	2590	30%
Ponto 8	66.000	1.860	1.440	1310	9%
Ponto 9	64.000	1.440	1.115	620	44%
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário	15 às 15:15		15 às 15:15	(Em corrigido - Ea)	
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	19.000	3.380	2.616	2670	-2%
Ponto 2	18.400	1.250	968	1020	-5%
Ponto 3	18.000	800	619	610	1%
Ponto 4	18.000	650	503	290	42%
Ponto 5	18.000	860	666	570	14%
Ponto 6	17.800	760	588	280	52%
Ponto 7	17.800	3170	2.454	1590	35%
Ponto 8	17.400	1280	991	710	28%
Ponto 9	16.600	820	635	430	32%
Céu Claro (estável)					
Horário	17 às 17:15		17 às 17:15	(Em corrigido - Ea)	
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	12.000	2110	1.633	1340	18%
Ponto 2	11.000	790	611	470	23%
Ponto 3	11.000	550	426	280	34%
Ponto 4	11.400	570	441	150	66%
Ponto 5	11.000	770	596	180	70%
Ponto 6	11.000	700	542	190	65%
Ponto 7	11.000	1270	983	590	40%
Ponto 8	11.000	900	697	270	61%
Ponto 9	10.600	780	604	180	70%

Obs.:

- 1) **Eext** – Iluminância externa em lux
- 2) **Em** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux.
- 3) **Em corrigido** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux corrigido devido à transmitância do vidro (0,86) e ao fator de manutenção do vidro (0,9)



Gráfico 4 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

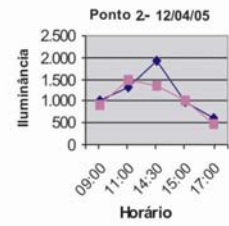


Gráfico 5 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

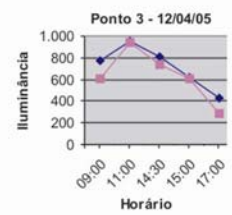


Gráfico 6 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

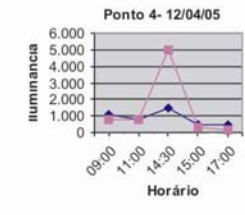


Gráfico 7 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

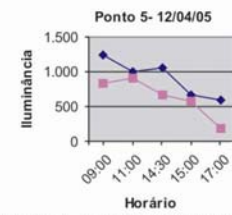


Gráfico 8 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

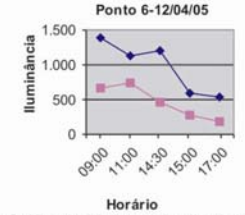


Gráfico 9 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

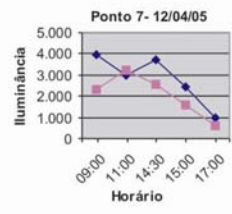


Gráfico 10 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

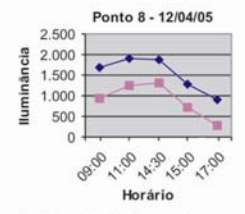


Gráfico 11 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)

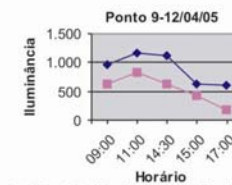
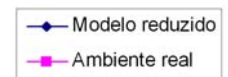


Gráfico 12 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (12/04/05)



- 4) **Ea** - Iluminância do ambiente real em lux
- 5) **% de diferença** - Porcentagem da diferença entre a iluminância corrigida medida no modelo reduzido e no ambiente real

Tabela 2 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 13/04/05)

Data: 13/04/05	Modelo Reduzido			Ambiente real	% de diferença
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário		9hs às 9:15h		9hs às 9:15h	(Em corrigido - Ea)
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	37.400	6.030	4.667	4.070	13%
Ponto 2	34.600	1.960	1.517	1.500	1%
Ponto 3	31.400	1.320	1.022	900	12%
Ponto 4	30.900	1.090	844	550	35%
Ponto 5	61.500	2.120	1.641	1.100	33%
Ponto 6	50.800	1.650	1.277	800	37%
Ponto 7	37.300	7.270	5.627	2860	49%
Ponto 8	36.000	2.490	1.927	1.120	42%
Ponto 9	30.300	1.420	1.099	640	42%
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário		11hs às 11:15h		11hs às 11:15h	(Em corrigido - Ea)
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	84.300	7.100	5.495	5.240	5%
Ponto 2	29.000	3.020	2.337	2.160	8%
Ponto 3	37.400	1.640	1.269	1.240	2%
Ponto 4	60.400	1.030	797	500	37%
Ponto 5	25.700	1.040	805	680	16%
Ponto 6	26.000	1.060	820	470	43%
Ponto 7	28.900	8.010	6.200	3.820	38%
Ponto 8	23.700	2.220	1.718	1.300	24%
Ponto 9	23.100	1.550	1.200	780	35%
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário		13:40 às 14:00		13:40 às 14:05	(Em corrigido - Ea)
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	23.400	7.980	6.177	5.470	11%
Ponto 2	23.000	2.680	2.074	1.448	30%
Ponto 3	23.200	1.300	1.006	660	34%
Ponto 4	23.500	910	704	310	56%
Ponto 5	24.000	1.070	828	670	19%
Ponto 6	73.200	1.640	1.269	920	28%
Ponto 7	75.300	9.300	7.198	4210	42%
Ponto 8	72.800	2.680	2.074	1270	39%
Ponto 9	73.310	2.170	1.680	840	50%
Céu Parcialmente encoberto (instável)					
Horário		15 às 15:15		15 às 15:15	(Em corrigido - Ea)
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	55.900	9610	7.438	5.700	23%
Ponto 2	53.400	2700	2.090	1.700	19%
Ponto 3	55.700	1640	1.269	1.040	18%
Ponto 4	48.000	1400	1.084	910	16%
Ponto 5	45.500	1800	1.393	690	50%
Ponto 6	33.700	1370	1.060	630	41%
Ponto 7	24.600	4820	3.731	2.760	26%
Ponto 8	28.000	980	759	950	-25%
Ponto 9	36.800	1580	1.223	570	53%
Céu Claro (estável)					
Horário		17 às 17:15		17 às 17:15	(Em corrigido - Ea)
	Eext (Lx)	Em (Lx)	Em corrigido (Lx)	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	10.500	2.000	1.548	1.060	32%
Ponto 2	10.000	668	517	380	27%
Ponto 3	10.100	419	324	200	38%
Ponto 4	10.800	313	242	170	30%
Ponto 5	10.700	473	366	190	48%
Ponto 6	10.200	392	303	190	37%
Ponto 7	10.800	1165	902	620	31%
Ponto 8	11.000	532	412	290	30%
Ponto 9	10.700	385	298	170	43%

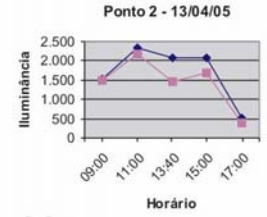
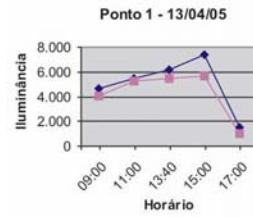


Gráfico 13 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

Gráfico 14 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

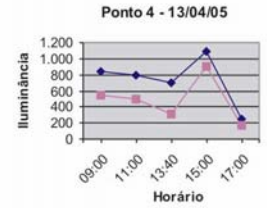
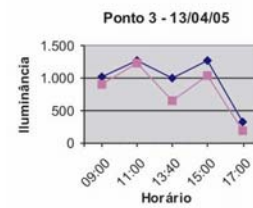


Gráfico 15 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

Gráfico 16 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

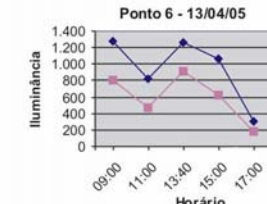
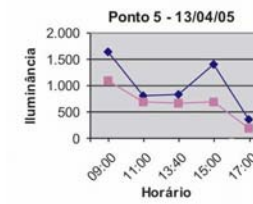


Gráfico 17 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

Gráfico 18 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

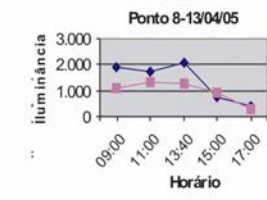
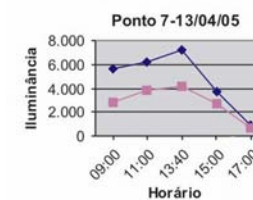


Gráfico 19 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

Gráfico 20 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

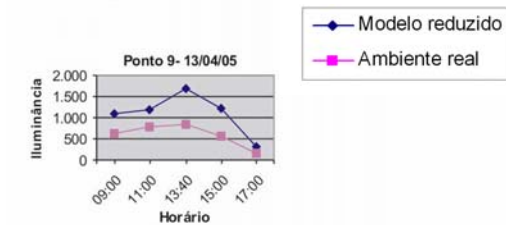


Gráfico 21 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (13/04/05)

Obs.:

- 1) **Eext** – Iluminância externa em lux
- 2) **Em** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux.
- 3) **Em corrigido** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux corrigido devido à transmitância do vidro (0,86) e ao fator de manutenção do vidro (0,9)

- 4) **Ea** - Iluminância do ambiente real em lux
- 5) **% de diferença** - Porcentagem da diferença entre a iluminância corrigida medida no modelo reduzido e no ambiente real

Tabela 3 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 24/04/05 e 26/04/05)

DATA:		Modelo Reduzido	Ambiente real	% de diferença	
24/4/2005	26/4/2005				
Céu encoberto (estável) - 24/04/05					
Horário		8:40hs às 8:45h		8:40hs às 8:45h	(Em corrigido - Ea)
	Eext	Em	Em corrigido	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	16.300	2330	1.803	1870	-4%
Ponto 2	16.300	1.000	774	580	25%
Ponto 3	16.400	810	627	380	39%
Ponto 4	16.900	210	163	180	-11%
Ponto 5	17.300	610	472	430	9%
Ponto 6	17.800	580	449	380	15%
Ponto 7	17.800	2.720	2.105	1.370	35%
Ponto 8	17.900	1.080	836	530	37%
Ponto 9	18.300	800	619	360	42%
Céu encoberto (estável) - 26/04/05					
Horário		10:20hs às 10:25h		10:20hs às 10:25h	(Em corrigido - Ea)
	Eext	Em	Em corrigido	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	34.800	7.120	5.511	4.130	25%
Ponto 2	33.600	2.320	1.796	1.570	13%
Ponto 3	37.600	1.410	1.091	770	29%
Ponto 4	44.600	500	387	370	4%
Ponto 5	46.300	1.030	797	720	10%
Ponto 6	49.400	1.080	836	660	21%
Ponto 7	54.800	9.100	7.043	4.220	40%
Ponto 8	58.200	2.990	2.314	1.710	26%
Ponto 9	48.800	1.430	1.107	760	31%
Céu encoberto (estável) - 26/04/05					
Horário		12:30 às 12:35		12:30 às 12:35	(Em corrigido - Ea)
	Eext	Em	Em corrigido	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	35.400	7.120	5.511	5.540	-1%
Ponto 2	33.300	2.310	1.788	1.580	13%
Ponto 3	32.300	1.200	929	690	35%
Ponto 4	31.000	390	302	320	-6%
Ponto 5	29.700	760	588	520	13%
Ponto 6	26.800	660	511	330	55%
Ponto 7	22.300	4740	3.669	2.370	55%
Ponto 8	17.700	1620	1.254	890	41%
Ponto 9	15.200	810	627	370	69%
Céu encoberto (estável) - 26/04/05					
Horário		15 às 15:05		15 às 15:05	(Em corrigido - Ea)
	Eext	Em	Em corrigido	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	26.600	2.860	2.214	2.700	-22%
Ponto 2	28.600	1.130	875	730	17%
Ponto 3	29.600	660	511	350	31%
Ponto 4	31.300	500	387	220	43%
Ponto 5	32.300	580	449	360	20%
Ponto 6	34.900	510	395	290	27%
Ponto 7	32.800	2.960	2.291	1.680	27%
Ponto 8	33.500	1.140	882	550	38%
Ponto 9	34.300	730	565	270	52%
Céu encoberto (estável) - 26/04/05					
Horário		16:10 às 16:15		16:10 às 16:15	(Em corrigido - Ea)
	Eext	Em	Em corrigido	Ea (Lx)	Em corrigido
Ponto 1	15.300	2.400	1.858	1.800	3%
Ponto 2	14.900	900	697	410	41%
Ponto 3	14.500	660	511	210	59%
Ponto 4	14.100	220	170	130	24%
Ponto 5	13.300	320	248	200	19%
Ponto 6	12.300	250	194	120	38%
Ponto 7	11.200	1580	1.223	770	37%
Ponto 8	10.700	760	588	310	47%
Ponto 9	10.400	580	449	120	73%

Obs.:

- 1) **Eext** – Iluminância externa em lux
- 2) **Em** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux.
- 3) **Em corrigido** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux corrigido devido à transmitância do vidro (0,86) e ao fator de manutenção do vidro (0,9)

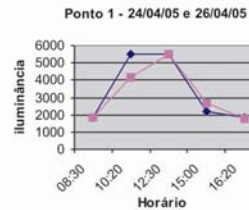


Gráfico 22 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

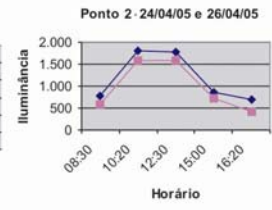


Gráfico 23 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

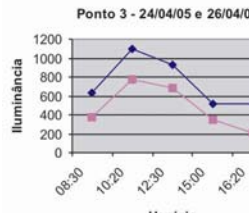


Gráfico 24 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

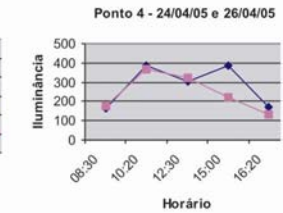


Gráfico 25 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

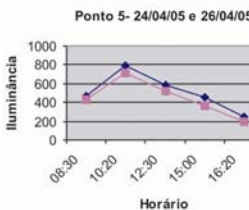


Gráfico 26 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

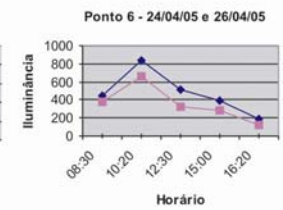


Gráfico 27 - Variação das iluminâncias no ponto 6 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

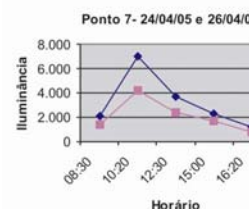


Gráfico 28 - Variação das iluminâncias no ponto 7 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

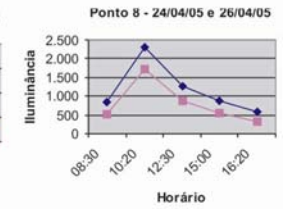


Gráfico 29 - Variação das iluminâncias no ponto 8 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)

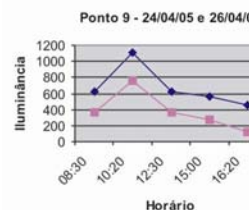
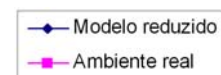


Gráfico 30 - Variação das iluminâncias no ponto 9 do modelo reduzido e do ambiente real (24/04/05 e 26/04/05)



- 4) **Ea** - Iluminância do ambiente real em lux
- 5) **% de diferença** - Porcentagem da diferença entre a iluminância corrigida medida no modelo reduzido e no ambiente real

5.4.2 Dificuldades do Processo

A utilização de modelos reduzidos para a medição da iluminação natural sob condições de céu real apresenta algumas dificuldades entre as quais:

- Dificuldades em reproduzir fielmente as características das superfícies. No caso deste experimento, a refletância das superfícies foram reproduzidas de forma bem próxima às do ambiente real, não ultrapassando 5% de diferença. Porém, as texturas de alguns materiais não foram reproduzidos em escala. Este é o caso da textura da parede de concreto e da superfície do piso. O piso vinílico possui uma certa especularidade, porém foi representado por uma superfície difusa (papel) no modelo reduzido.

- Dificuldades na correção exata dos valores de transmitância do vidro. Foi aplicado um valor de 0,86 para corrigir os valores de transmitância do vidro transparente, visto que o modelo foi medido com as aberturas livres. Este valor refere-se à incidência normal em um vidro transparente. Porém, sabe-se que este parâmetro não é constante, sendo dependente da inclinação da radiação solar incidente sobre a superfície. Cada tipo de vidro possui um desempenho de transmissão que pode ser verificado através da curva de transmissão luminosa em função do ângulo de incidência. O vidro transparente tradicional alcança o seu valor máximo para incidência normal, mantém este valor praticamente constante até 30° de incidência, a partir deste valor começa a decrescer. Após a incidência de 60°, reduz drasticamente o valor, que se torna zero para uma incidência de 90°.

Considerando o fato de que os valores da transmitância são variáveis de acordo com o ângulo de incidência podemos concluir que este fator pode contribuir para aumentar as diferenças entre os valores medidos entre os modelos e ambientes reais.

5.5 REFORMULAÇÃO DO MODELO REDUZIDO

Um novo modelo reduzido foi executado, na escala (1:12,5), para a segunda etapa de medições. Objetivou-se melhorar os aspectos construtivos do modelo, para a obtenção de uma maior precisão no resultado.



Figura 60 - (A) Vista interna do modelo reduzido (B) Vista externa do modelo reduzido

Fonte: Autora da pesquisa.

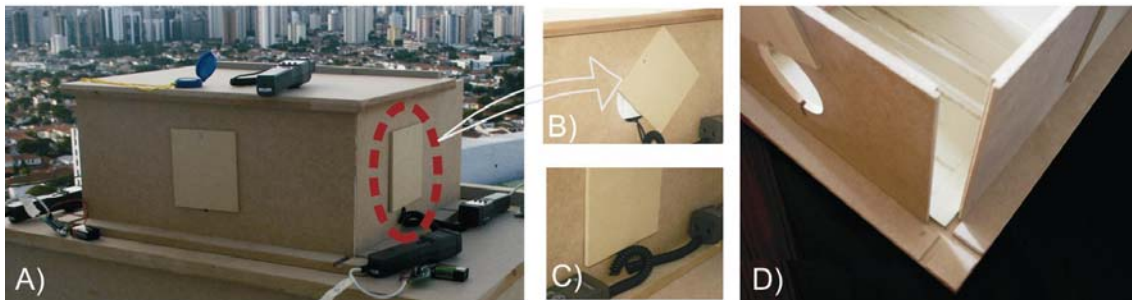


Figura 61 - Detalhes construtivos do modelo reduzido. (A) Vista posterior do modelo reduzido mostrando a localização dos orifícios para a passagem da fotocélula e acesso da câmara fotográfica. (B) e (C) Detalhes do orifício para evitar vazamento de luz (D) Detalhe do vinco na base do modelo reduzido para o encaixe das paredes

Fonte: Autora da pesquisa.

Este modelo teve as seguintes mudanças das características construtivas em relação ao primeiro:

- executado em placas de MDF¹ (Medium Density Fiberboard), para garantir que não houvesse vazamento de luz devido à transparência do material de vedação;
- paredes e cobertura do modelo desmontáveis para facilitar o transporte do mesmo;
- maior precisão na refletância das superfícies. As paredes e teto foram pintados com a mesma cor de tinta das paredes do ambiente real, ao passo que no piso foi colocado o mesmo revestimento da sala de reuniões.

Na base do modelo reduzido foram executados vincos que serviram para o encaixe das paredes. Outro detalhe para impedir a passagem de luz é a junção entre as paredes com o encaixe em “L”. Em todas as paredes foram deixados orifícios, com o

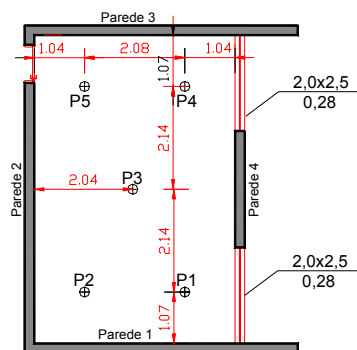
¹ MDF (Medium Density Fiberboard)- é uma chapa fabricada a partir da aglutinação de fibras de madeiras com resinas sintéticas e ação conjunta de temperatura e pressão. Este material possui consistência e algumas características mecânicas que se aproxima às das madeiras maciças

diâmetro de 8cm, para acesso da câmara fotográfica e para a passagem do sensor do luxímetro (Figura 61). Estes orifícios foram vedados externamente por uma placa de madeira e internamente por um papel pintado da cor da parede.

O teto do modelo é removível com abas laterais, que evitam a entrada de luz além de conferir uma maior estabilidade para o modelo, servindo como uma trava para as peças encaixadas.

5.6 MEDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO NATURAL – SEGUNDA ETAPA

Diferentemente da primeira etapa de medições em que o modelo reduzido foi disposto no exterior do edifício para o monitoramento, na segunda etapa optou-se por monitorá-lo dentro do ambiente real, disposto em uma das janelas do mesmo. Esta mudança de procedimento em relação à primeira etapa de medição teve a intenção de aproximar ao máximo possível as condições de reflexão do entorno para as duas situações (Figura 63).



PLANTA -
SALA DE REUNIÕES

Figura 62 -.Pontos monitorados

Fonte: Autora da pesquisa

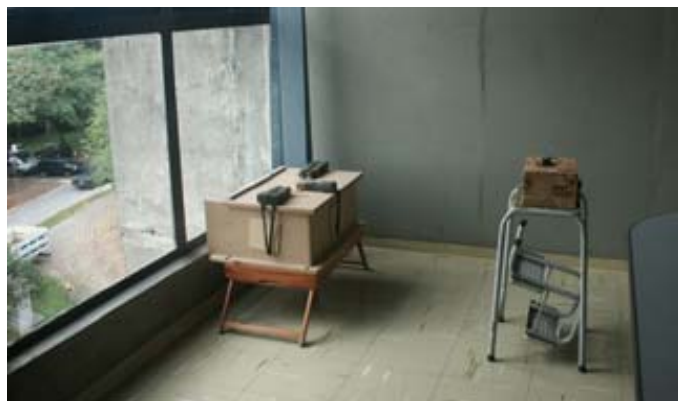


Figure 63 -.Monitoramento do modelo reduzido (ambiente real)

Fonte: Autora da pesquisa

A área da janela obstruída no ambiente real pelo modelo reduzido foi vedada de forma correspondente no interior do modelo. Na abertura do modelo, o vão foi deixado livre, sem o vidro. Porém como o modelo foi disposto de forma a facear o vidro do ambiente real, não foi necessário aplicar os fatores de correção do vidro para os valores de iluminância medidos do modelo reduzido.

Apesar do vidro do ambiente real não possuir a espessura correta na escala do modelo, o desvio proveniente deste fato foi insignificante, visto que as medições do

modelo e do ambiente real tiveram seus valores bem próximos.

Foram utilizados 11 luxímetros para a medição, sendo 5 internamente ao modelo reduzido, 5 internamente ao ambiente real (Figura 62).e 1 para as medições das iluminâncias externas disposto horizontalmente na cobertura do edifício.

Nesta etapa, as medições foram realizadas , sob céu encoberto no dia 27 de março, devido às condições de maior estabilidade proporcionadas por esta situação. O modelo e o ambiente real foram monitorados durante 1 hora com medições realizadas no intervalo de 15 minutos. Como os resultados foram bastante satisfatórios e devido às restrições de tempo da pesquisa, não foram realizadas medições para outras condições de céu.

5.6.1 Resultado das Medições - Segunda Etapa

Os valores medidos no ambiente real e no modelo reduzido, sob condição de céu encoberto, foram muito próximos, com uma média da diferença de 11%. A diferença máxima entre os valores medidos no modelo reduzido em relação ao ambiente real foi em torno de 20% (Gráficos 31 a 35 eTabela 4).

As iluminâncias medidas no ambiente real foram superiores àquelas medidas no modelo reduzido. Este fato era esperado visto que a obstrução em escala real (bloco do edifício localizado na frente da sala de reuniões) não está na proporção do modelo reduzido. O ângulo formado entre o modelo reduzido e a obstrução frontal é 4° , ao passo que o ângulo formado entre a sala de reuniões e a obstrução frontal é um pouco menor, 3° .

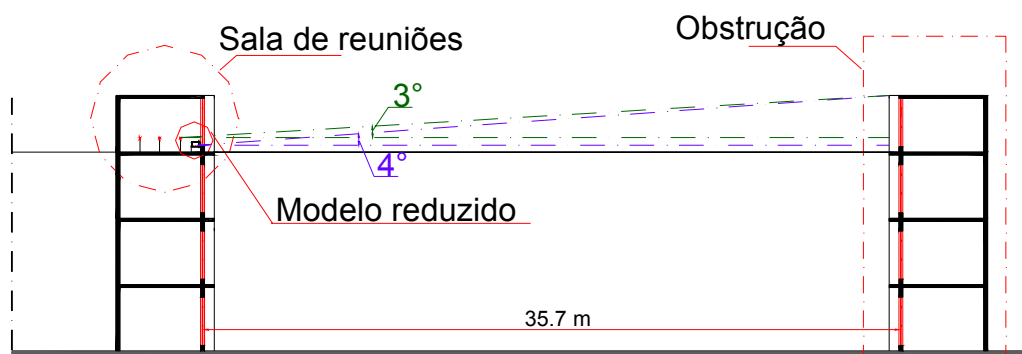


Figura 64 - Corte do edifício onde está localizada a sala de reuniões.mostrando a obstrução frontal da mesma
Fonte: Autora da pesquisa.

Isto significa que a obstrução tem uma maior influência no Fator de Céu do modelo reduzido, explicando o fato das iluminâncias medidas no ambiente real apresentarem valores superiores às aquelas medidas no modelo. Mesmo havendo esta interferência, o procedimento de medição foi considerado adequado visto que é muito pequena a diferença entre os ângulos de obstrução para as duas situações. Assim este fato não influenciou de forma significativa no resultado final.

O resultado obtido foi considerado bastante satisfatório, visto que a própria norma de iluminação artificial (ABNT, 1991) permite uma variação em torno de 30% a 50% entre o nível de iluminância médio e o nível mínimo ou máximo recomendados para uma determinada tarefa, dependendo das atividades a serem realizadas no interior da edificação e das características dos usuários.

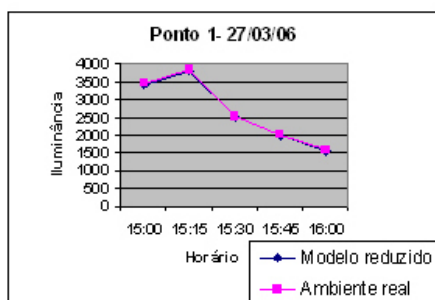


Gráfico 31 - Variação das iluminâncias no ponto 1 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)

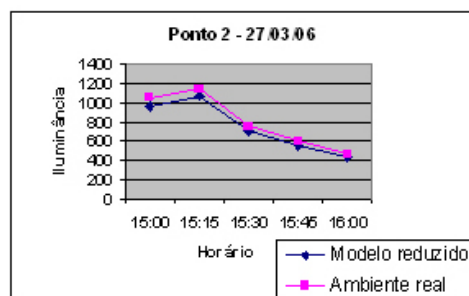


Gráfico 32 - Variação das iluminâncias no ponto 2 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)

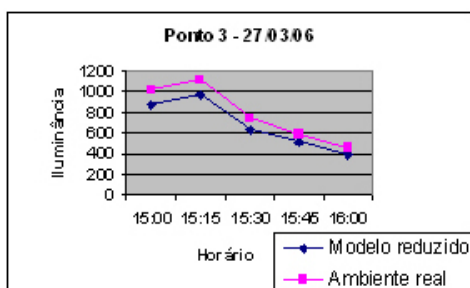


Gráfico 33 - Variação das iluminâncias no ponto 3 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)

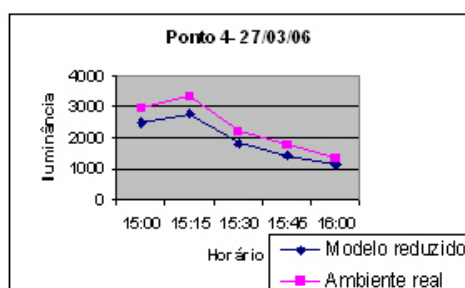


Gráfico 34 - Variação das iluminâncias no ponto 4 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)

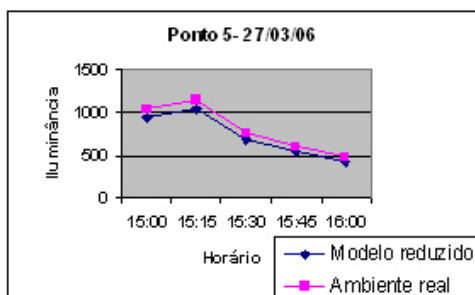


Gráfico 35 - Variação das iluminâncias no ponto 5 do modelo reduzido e do ambiente real (27/03/06)

Tabela 4 - Valores de medição da iluminação natural no modelo reduzido e no ambiente real (datas: 27/03/06)

Data: 27/03/06		Modelo esc:1:12,5	Ambiente real	% de diferença
Céu encoberto				
Horário		15:00h		$(E_1 - E_2) \times 100$
	E _{ext} (Lx)	E _m (Lx)	E _a (Lx)	E ₁
Ponto 1	31.300	3420	3470	-1%
Ponto 2	31.300	960	1060	-10%
Ponto 3	31.300	870	1020	-17%
Ponto 4	31.300	2500	2960	-18%
Ponto 5	31.300	930	1040	-12%
Céu encoberto				
Horário		15:15h		$(E_1 - E_2) \times 100$
	E _{ext} (Lx)	E _m (Lx)	E _a (Lx)	E ₁
Ponto 1	35.000	3815	3850	-1%
Ponto 2	35.000	1070	1150	-7%
Ponto 3	35.000	970	1120	-15%
Ponto 4	35.000	2760	3320	-20%
Ponto 5	35.000	1040	1150	-11%
Céu encoberto				
Horário		15:30h		$(E_1 - E_2) \times 100$
	E _{ext} (Lx)	E _m (Lx)	E _a (Lx)	E ₁
Ponto 1	23.000	2510	2530	-1%
Ponto 2	23.000	700	760	-9%
Ponto 3	23.000	630	740	-17%
Ponto 4	23.000	1820	2190	-20%
Ponto 5	23.000	680	760	-12%
Céu encoberto				
Horário		15:45h		$(E_1 - E_2) \times 100$
	E _{ext} (Lx)	E _m (Lx)	E _a (Lx)	E ₁
Ponto 1	18.300	1990	2010	-1%
Ponto 2	18.300	560	600	-7%
Ponto 3	18.300	510	580	-14%
Ponto 4	18.300	1450	1750	-21%
Ponto 5	18.300	540	600	-11%
Céu encoberto				
Horário		16:00h		$(E_1 - E_2) \times 100$
	E _{ext} (Lx)	E _m (Lx)	E _a (Lx)	E ₁
Ponto 1	14.200	1550	1580	-2%
Ponto 2	14.200	430	470	-9%
Ponto 3	14.200	390	450	-15%
Ponto 4	14.200	1120	1340	-20%
Ponto 5	14.200	420	470	-12%

Obs.:

- 1) **E_{ext}** – Iluminância externa em lux
- 2) **E_m** - Iluminância do Modelo Reduzido em lux.
- 3) **E_a** - Iluminância do ambiente real em lux

- 4) **% de diferença** - Porcentagem da diferença entre a iluminância corrigida medida no modelo reduzido e no ambiente real

5.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS FATORES DE INCORREÇÃO NAS MEDIÇÕES EM MODELOS REDUZIDOS

Cannon-Brookes (1997); Thanachareonkit, Andersen e Scartezzini (2003, 2005) fizeram experimentos semelhantes através de comparações de medições no modelo reduzido e em ambientes reais. Estes pesquisadores constataram que as medidas feitas no modelo reduzido tendem a superestimar os valores medidos no ambiente real. Este fato pode ser explicado por diversas razões.

Estudos realizados por Cannon-Brookes (1997) revelaram que a imprecisão na construção de modelos reduzidos pode levar a uma margem grande de erros nas medições de iluminação natural. Foram realizadas medições simultâneas em um museu e no modelo reduzido correspondente, sob diversas condições de céu. O modelo reduzido foi executado de acordo com a precisão recomendada para a realização de estudos de iluminação.

As medições realizadas na primeira etapa apresentaram uma grande diferença entre o ambiente real e o modelo reduzido. Para céu encoberto, o modelo reduzido apresentou em média valores de iluminância superiores entre 80% a 100%, comparados aos valores medidos no ambiente real. Sob condição de céu claro esta diferença variou entre 100 a 250% acima dos valores medidos no ambiente real.

Cannon-Brookes (1997) aponta as principais causas das divergências apresentadas entre as medições:

- Erros na modelagem da fenestração do modelo. Testes posteriores após a correção deste fator mostraram que o mesmo foi responsável por uma diferença de 10% a 40% entre os valores medidos nas duas situações.
- Dificuldades na precisão da modelagem dimensional do modelo reduzido. A medida que a escala do modelo diminui, aumentam-se as chances de imprecisão na modelagem, resultando no acúmulo de erros que distorcem os resultados.
- Dificuldades de simulação das propriedades fotométricas das superfícies. A pesquisa conduzida por Cannon-Brookes (1997) demonstrou que pequenos erros na reprodução da refletância de superfícies internas do modelo reduzido

contribuem de forma significativa para divergências das medidas realizadas em ambientes reais

- Imprecisão na caracterização das propriedades do vidro (refletância e transmitância).
- Fator de manutenção do ambiente. O ambiente real apresenta-se com a refletância reduzida devido às questões de manutenção do ambiente. Para resolver esta questão, recomenda-se que seja aplicado um fator de manutenção de 0,9 para as superfícies do modelo, além do fator de redução devido à transmitância do vidro.

Após identificar as principais causas de erros nas medições em modelos reduzidos, Cannon-Brookes (1997) modificou o modelo reduzido, aprimorando os aspectos construtivos do mesmo e realizou nova etapa de medições. O resultado final da pesquisa apontou para uma divergência de 20% com o desempenho superior no modelo em relação ao ambiente real. Foi concluído que a principal causa de valores superestimados para medições em modelos deve-se à dificuldade de simulação das propriedades fotométricas das superfícies. A pesquisa de Cannon-Brookes apontou a tendência dos modelos reduzidos em superestimar os níveis de iluminação. Segundo este pesquisador, uma divergência em torno de 20% das medidas realizadas em modelos é muito comum, inclusive nos experimentos em que são tomados os cuidados recomendados para os estudos de iluminação natural.

O quadro 5 é um resumo, feito por Cannon-Brookes (1997), de estudos comparativos realizados por vários pesquisadores entre medições em modelos reduzidos comparadas àquelas realizadas em ambientes reais correspondentes.

Condição do céu	% de divergência entre o modelo reduzido e o ambiente real (medições realizadas nas superfícies verticais e horizontais como indicadas (V e H)					
	Reed e Nowak	Kim et al	Love e Navvab		McDowell et al	Cannon-Brookes
			CC	CRI		
Encoberto	10-30%(H)	30%(H)	15% (V e H)	30-50% (V e H)	22% (V) 55% (H)	10-25% (V)
Claro			10-30,40% (V e H)	30-50% (V e H)		

Quadro 5 - Resultado de pesquisas que compararam medições em modelos reduzidos e ambientes reais correspondentes.

Fonte: Cannon-Brookes, 1997 (tradução nossa)

Thanachareonkit, Andersen e Scartezzini (2003), pesquisadores da École Fédérale de Lausanne, compararam as medições em uma sala de escritório e no modelo reduzido correspondente construído na escala 1:10, sob condição de céu claro e céu encoberto. O modelo reduzido apresentou valores em média de 60% a 105%. superiores àqueles encontrados no ambiente real.

Para determinar os principais fatores de incorreção das medições em modelos reduzidos, Thanachareonkit Andersen e Scartezzini (2005) realizaram testes com o objetivo de investigar a influência dos seguintes fatores:

- o impacto da refletância das superfícies,
- o impacto da localização do modelo reduzido,
- o impacto do fator de céu e da reflexão do piso externo,
- o impacto dos sensores utilizados na medição.

Os resultados da pesquisa demonstraram que a imprecisão da refletância das superfícies e os sensores utilizados para as medições foram as principais causas na divergência dos resultados. A pesquisa comprovou que uma pequena diferença na reprodução da refletância da superfície apresenta um grande impacto no resultado final da medição.

As considerações a seguir baseiam-se no manual da IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America* (1998, p. 8-21) e referem-se aos principais fatores que contribuem para erros decorrentes de medições em modelos reduzidos:

- 1) Calibração dos sensores. Quando utilizar mais que um sensor é importante averiguar se estes estão calibrados entre si, através de medições com diferentes níveis de iluminância. Uma diferença de 10% não é incomum.
- 2) Fidelidade de modelagem. Fidelidade de reprodução da superfície de refletância, sistema de fenestração e geometria do ambiente em relação ao edifício modelado;
- 3) Nivelamento do sensor. Pequenos erros no nivelamento dos sensores produzem grandes erros na leitura da iluminância. Por exemplo, para um ângulo incidente de 85°, o desalinhamento do sensor, em um ângulo de apenas 2°, causa um erro na ordem de 40% para a componente de céu.
- 4) Tamanho do sensor. Um determinado sensor, tem uma visão diferente do céu no

modelo reduzido e no ambiente real. Isto porque para um sensor com um determinado tamanho, a leitura dele em um ambiente real será mais pontual do que no modelo reduzido, devido às questões de proporção da área de leitura.

5) Localização do sensor. Pequenos erros de localização do sensor dentro do modelo reduzido poderão causar enormes erros na medição, principalmente se existe um contraste intenso entre o ponto medido e o que deveria ser medido.

6) Efeitos de elementos no espaço. Elementos internos ao modelo, como por exemplo, o corpo de luxímetros manuais, podem aumentar a reflexão interna e levar a valores superestimados. Neste caso, estes elementos devem ser pintados de preto, exceto quando as cores correspondam às aquelas existentes no ambiente real modelado.

5.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As medições realizadas constataram divergências entre os valores medidos no modelo e no ambiente real. Na primeira etapa de medições, as divergências foram mais expressivas, sendo a média da diferença 29% e máxima 61% sob condição de céu claro; média 27% e máxima 61% sob condição de céu parcialmente encoberto e média 27% e máxima 73%, sob condição de céu encoberto. Os valores de iluminância apresentaram-se superiores no modelo comparados ao ambiente real.

Na segunda etapa de medições na qual o modelo reduzido e o processo de monitoramento foram aprimorados, a diferença entre os valores medidos para as duas situações não foi significativa, com uma média de diferença em torno de 11% e máxima de 20%, sob condição de céu encoberto.

Sabe-se que o modelo reduzido para estudo da iluminação não requer compensação em função da escala, pois devido às características físicas da luz, esta não sofre distorções, comportando-se da mesma forma no modelo e no espaço real. Isto ocorre quando todas as superfícies que interagem com a luz são corretamente modeladas.

Os testes experimentais realizados demonstraram que é comum que medições em modelos reduzidos apresentem divergências em relação ao ambiente real correspondente, principalmente devido às dificuldades em modelar certas

características da realidade. Entre as principais causas de imprecisão podemos citar:

- Erros na reprodução da geometria interna;
- Erros na reprodução das condições do entorno;
- Nem sempre é possível modelar todos os objetos e mobiliários reais;
- O modelo não considera o fator de manutenção do ambiente. Pode-se aplicar um fator de correção posteriormente, mas nem sempre ele corresponderá exatamente às condições da realidade;
- Erros na reprodução das propriedades opacas e transparentes das superfícies;
- Imprecisão dos instrumentos fotométricos e sistema de aquisição dos dados.

Verificou-se que à medida em que o modelo reduzido e o procedimento de medição foram aprimorados as diferenças entre as iluminâncias nas duas situações se aproximaram. A diferença máxima, em torno de 20%, encontrada para a condição medida na segunda etapa, apresenta-se como um valor aceitável, não invalidando de forma alguma o uso dos modelos reduzidos para a investigação da iluminação natural. Principalmente se considerarmos que disponibilidade de luz é extremamente variável durante o ano o que permite uma flexibilidade na predição dos valores de iluminância internos.

Sugere-se que pesquisas futuras realizem medições comparativas entre modelos reduzidos e ambientes reais correspondentes para diversas situações. Pode-se verificar modelos reduzidos com geometrias mais complexas, além de comparar as medições entre modelos e ambientes reais, para diferentes condições de orientação e configuração do entorno.

Desta forma, será possível afirmar se a média de 20% de divergência entre as medições ocorre com frequência nas diversas situações, propondo, inclusive, um fator de correção. Deve-se esclarecer que este possível fator de correção a ser aplicado não tem o objetivo de corrigir distorções devido à escala, mas sim de compensar erros sistematicos que ocorrem devido à impossibilidade de modelar certas características da realidade, como, por exemplo, a textura de alguns materiais.

Para reduzir os fatores de incorreção, no uso dos modelos reduzidos, deve-se cuidar para que seja obtida grande precisão na construção do modelo, além de evitar erros nos procedimentos de medição.

6

METODOLOGIA DE USO DOS MODELOS REDUZIDOS PARA A ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Este capítulo da dissertação objetivou apresentar os procedimentos necessários para a avaliação da iluminação natural através de modelos reduzidos, que é um dos objetivos a serem alcançados nesta dissertação.

Os procedimentos experimentais apresentados demonstraram o uso dos modelos reduzidos para estimar o desempenho médio da iluminação natural para um período a longo prazo (anual), porém, com o monitoramento realizado a curto prazo, isto é, em um mesmo período do ano. Pretende-se responder as seguintes questões: quais os procedimentos para a verificação do desempenho da iluminação natural ao longo do ano? O que deve ser medido? Como devem ser feitas estas medições? Qual a forma de avaliar os dados obtidos?

A pesquisa limitou-se ao estudo do uso dos modelos reduzidos medidos sob condição de céu real, por este motivo não foram abordadas medições sob condição de céu artificial.

Foram apresentados dois métodos distintos para a verificação quantitativa estimando, inclusive, o potencial de economia de energia. Os procedimentos para a avaliação qualitativa, através da visualização e fotografias do modelo reduzido também foram abordados.

Não há informações normalizadas para medições em modelos reduzidos. Por isto os métodos apresentados são baseados em sugestões de diversos autores da área.

O método 1 apresenta uma planilha proposta por Mansy (2004), para a avaliação da pior condição de projeto, isto é, condição de céu encoberto.

O método 2 foi proposto pela autora desta pesquisa. Baseia-se na planilha proposta por Mansy (2004), porém considera a frequência de ocorrência para três tipos de céu da localidade estudada: claro, parcialmente encoberto e encoberto. Este método propõe que seja feita uma média ponderada para as três condições de céu, em que são atribuídos pesos para cada tipo de céu, de acordo com a frequência de ocorrência dos mesmos. Estes valores são multiplicados pela iluminância medida

nos pontos internos do modelo reduzido, para os solstícios e equinócios.

Foram utilizados dois modelos reduzidos que possuem estratégias de iluminação diferenciadas para a aplicação dos métodos. Ambos apresentam iluminação unilateral, com a dimensão e posição da abertura iguais, diferenciando-se apenas pela existência do sistema de prateleira de luz acoplada à abertura de um dos modelos. Os experimentos foram orientados para a face norte e realizados na cidade de São Paulo, latitude 23°30' Sul e longitude 46°37'Oeste.

6.1 PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS

Para a análise da iluminação natural através de modelos reduzidos deve-se seguir as seguintes etapas:

1) Construção do modelo reduzido

A escala do modelo para estudos da iluminação natural deve ser definida de acordo com as variáveis a serem investigadas. Deve-se considerar o tamanho do sensor que será utilizado, assim como prever o acesso de câmera fotográfica para registro do seu interior. Os sensores não podem ser maiores que 0,03m² na escala do modelo. Para sensores circulares, o seu diâmetro não deve ser superior a 20cm na escala do modelo. Portanto, para um modelo construído na escala 1:10, o diâmetro máximo aceitável, segundo a norma será de 2cm ($d=20/10$) (ABNT, 2005d). As escalas 1:10 e 1:20 são muito utilizadas em estudos quantitativos nos modelos reduzidos, considerando o tamanho das fotocélulas existentes no mercado.

É necessário que a geometria do edifício, seja reproduzida com a maior precisão possível, assim como as propriedades das superfícies que interagem com a luz. Aquelas superfícies com maior influência são: a refletância das paredes, teto e piso do interior, o piso exterior; as obstruções externas e a transmitância das superfícies transparentes e translúcidas.

Caso não seja possível modelar o vidro em aberturas do modelo reduzido, os valores finais devem ser corrigidos de acordo com a transmitância do vidro e o fator de manutenção.

Os materiais de vedação do modelo devem ser opacos à luz. Deve-se também cuidar para que não ocorra o vazamento de luz na junção das superfícies, caso

contrário as análises quantitativa e qualitativa serão prejudicadas.

2) Escolha das condições de céu para a medição do modelo reduzido

É fundamental que o desempenho da iluminação natural seja analisado para o céu com maior frequência de ocorrência de uma determinada localidade, assim como para a pior situação de projeto, isto é, sob condição de céu encoberto, quando a luminância média do céu atinge o seu nível mais baixo (STEEMERS, 1994).

Em países onde o céu encoberto é predominante (países de clima temperado), apenas a análise da pior situação de projeto já é suficiente para a caracterização das condições de iluminação natural. O raciocínio para estes casos considera que se o projeto admite luz natural suficiente sob condição de céu encoberto, qualquer outra situação proporcionará um nível de iluminação superior, sendo considerado “lucro” em termos de luz para o ambiente.

Nos locais onde não predomina este tipo de céu, a análise apenas para a pior situação de projeto pode levar a um diagnóstico incompleto do desempenho luminoso, sendo importante considerar também a análise para céu claro.

Este é o caso de países situados na zona tropical e subtropical, onde o problema não é a baixa disponibilidade de luz, mas sim o excesso de luminosidade. O raciocínio é o inverso do realizado para países de clima temperado, pois não importa apenas se a iluminação atinge um nível mínimo, mas também se o excesso de luz é prejudicial às atividades desenvolvidas no ambiente.

Segundo Amorim (2002), a disponibilidade de luz natural nas regiões tropicais é grande e, por isto, esta deve ser usada de forma criteriosa. Assim, é importante equilibrar sabiamente o ingresso de luz difusa, bloqueando o calor gerado pela luz solar direta, que cria problemas de conforto térmico e luminoso.

Uma forma de verificar a frequência de ocorrência de tipos de céu em um determinado local é através de planilhas de nebulosidade, disponíveis em estações meteorológicas.

3) Medições do modelo reduzido

Para uma análise a longo prazo do desempenho do ambiente modelado, recomenda-se que as medições sejam realizadas pelo menos para duas situações extremas: céu totalmente encoberto e céu claro (ROBBINS, 1986).

É necessário verificar as condições para os dias representativos nas quatro estações do ano que, no caso deste método, serão considerados os solstícios e equinócios¹. Como no equinócio de outono e equinócio de primavera o desempenho luminoso é similar, pode-se escolher uma das duas datas para a realização das medições ou simulações com o relógio do sol.

4) Preenchimento da planilha - verificação quantitativa

A planilha proposta para a tabulação dos dados deve ser preenchida para os dias que representarão o restante do ano: solstícios e equinócios.

Dependendo do nível de aprofundamento da avaliação, deve-se optar pelo método 1 que considera apenas a condição de céu encoberto ou método 2, que inclui, além desta condição, a análise para céu claro e céu parcialmente encoberto. Estes métodos são descritos com detalhes nos subitens 6.1.4.1 e 6.1.4.2

Outra forma de fazer a avaliação quantitativa é estimar a porcentagem de tempo onde determinado ponto do ambiente atinge o nível mínimo de iluminação natural recomendado para o projeto. Esta estimativa é possível através do gráfico de frequência de ocorrência dos níveis de iluminação natural para a região, a partir dos valores de radiação solar (ALUCCI, 1992). Para utilizar este procedimento é necessário calcular o FLD dos pontos internos do ambiente, sendo possível desta forma, determinar a porcentagem de tempo durante o ano que determinado ponto do ambiente atinge o nível de iluminação estipulado para o projeto.

5) Fotografia do interior do modelo reduzido – verificação qualitativa

Recomenda-se fotografar o interior do modelo em um dia de céu claro, com o uso do relógio de Sol para simular diversas épocas do ano, em diferentes horários. Com base nestas observações, é possível verificar a existência do ofuscamento em pontos estratégicos no ambiente e conforto visual proporcionado pela iluminação

¹ Scarazzato (1995) propõe o conceito de Dia Luminoso Típico (DLT) de projeto. Este dia corresponde ao que melhor representa, em termos de disponibilidade de luz natural, um determinado período ano. É possível encontrar este dia representativo através do software DLN, elaborado pelo mesmo autor. Nem sempre o Dia Luminoso Típico irá corresponder aos dias de solstícios e equinócios. Apesar deste fato, o método proposto irá considerar os solstícios e equinócios como os dias que irão representar os períodos de verão, outono, inverno, e primavera. Isto porque o método propõe que seja utilizado o relógio de Sol para a simulação de diversos períodos no ano. Este instrumento possui os dias de solstícios e equinócios representados na carta solar. Se fossem considerados outros dias, que não estão representados nesta carta, dificultaria a simulação de diversas épocas do ano através da aplicação deste instrumento.

natural.

Para evitar que se perca a informação sobre o horário e o dia simulado dos registros fotográficos, deve-se incluir uma etiqueta no interior do mesmo contendo estas informações.

6) Análise dos dados

6.1.1 Construção do Modelo Reduzido

Os modelos reduzidos utilizados neste experimento surgiram através de modificações do modelo reduzido da sala de reuniões, descrito no capítulo 5. Aproveitando o fato das paredes deste modelo serem desmontáveis, substituiu-se a parede que possuía a abertura no modelo anterior por uma parede opaca, ao passo que foi incorporada uma nova abertura na parede adjacente. As modificações realizadas proporcionaram a transformação do modelo reduzido da sala de reuniões nos modelos reduzidos 1 e 2, representados na figura 65. O modelo 2 diferencia-se em relação ao modelo 1 devido à inclusão de uma prateleira de luz.

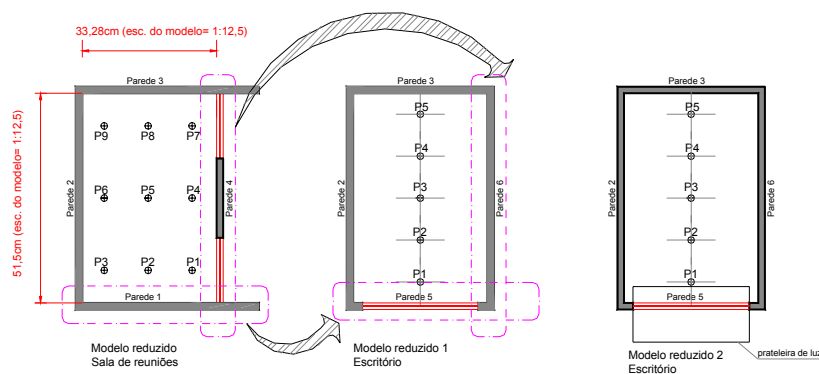


Figura 65 - Transformação do modelo reduzido da sala de reuniões nos modelos reduzidos 1 e 2

Fonte: Autora da pesquisa

Os modelos reduzidos medem internamente 51,5cm x 33,28cm x 22,24cm e representam uma sala de escritório com dimensões de 6,43m x 4,16m x 2,78m, na escala 1:12,5.

As paredes e forro dos modelos reduzidos foram revestidas com papel branco e possuem 90% de refletância. O piso é vinílico na cor bege com 63% de refletância. A prateleira de luz possui superfície especular com refletância de 85%.

As aberturas dos modelos foram deixadas livres, sem o vidro. Assim os valores das

medições foram posteriormente corrigidos de acordo com o fator de manutenção (0,9) e transmissividade (0,85) do vidro.

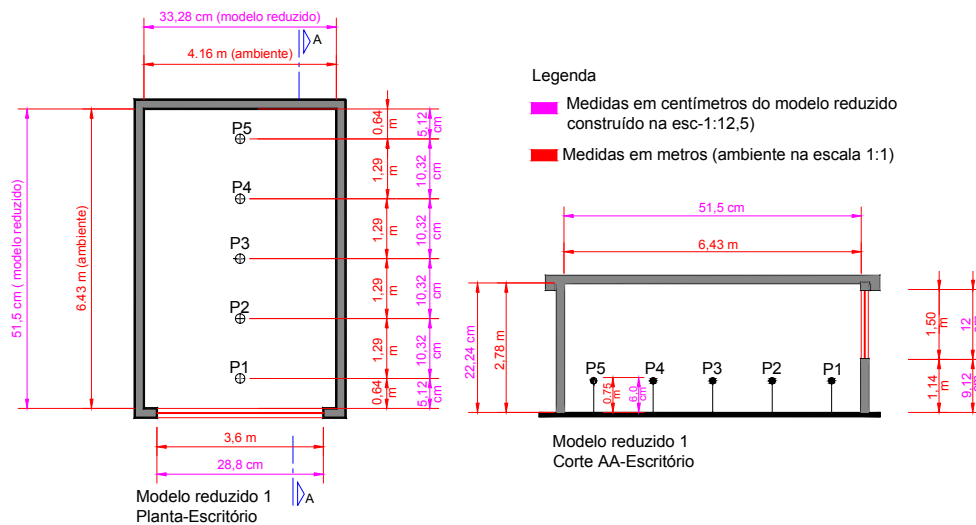


Figura 66 - Planta e corte do modelo reduzido 1 - Escritório

Fonte: Autora da pesquisa

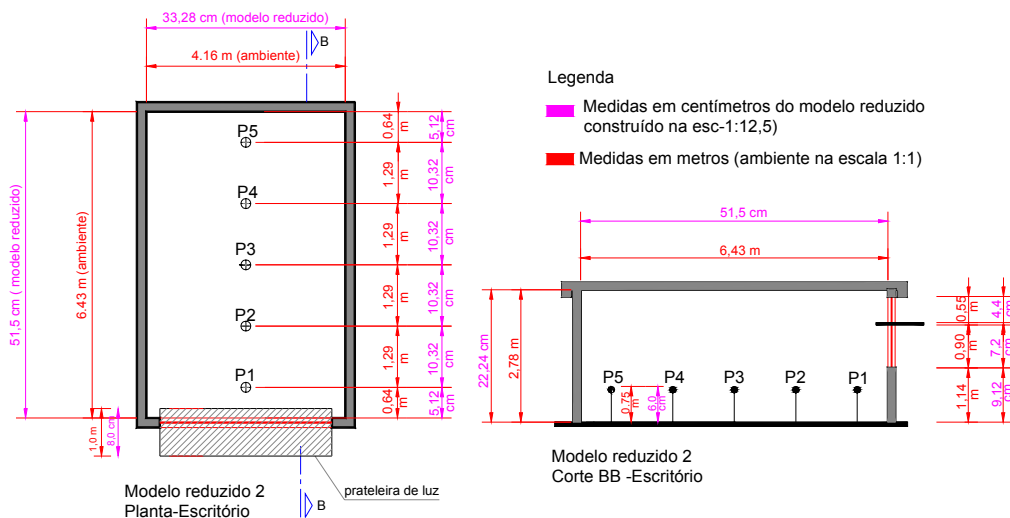


Figura 67 - Planta e corte do modelo reduzido 2 - Escritório

Fonte: Autora da pesquisa

6.1.2 Escolha das Condições de Céu para a Medição do Modelo Reduzido

Sabe-se que a iluminação natural no interior das edificações depende da luz natural disponível no exterior. Esta “oferta de luz natural” varia de acordo com o período do dia e do ano, com as condições de nebulosidade do céu e a turbidez da atmosfera. Todos estes fatores influenciam a distribuição luminosa do céu, dado essencial para

a predição da luz natural.

A CIE propôs quinze tipos de céu padrão que devem ser considerados em cálculos da luz natural. Estes modelos de céu representam uma gama de ocorrência que varia desde o céu totalmente encoberto até situações com pouca cobertura de nuvem. Alguns destes modelos incluem a luz direta do sol (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, 2003).

Considerando estas questões, surge o seguinte questionamento em relação ao monitoramento de modelos reduzidos: sob quais condições de céu medir?

A metodologia de monitoramento da iluminação natural "in situ" para edificações, proposta por Santos (2002), baseia-se em três níveis de condições que traduzem o grau de profundidade da avaliação e de sua adequação em função dos objetivos pretendidos (Figura 68).

O nível 1 de avaliação é adequado para a caracterização das condições mínimas de iluminação natural em edificações, com medições realizadas sob céu encoberto e baseada no cálculo do FLD em planos de referência (SANTOS, 2002).

O monitoramento de nível 2 permite a extrapolação dos dados para uma análise do desempenho anual médio da iluminação natural. As medições devem ser realizadas para céu claro (em períodos próximos aos solstícios e equinócios) e para céu encoberto. O nível 2 avalia os aspectos qualitativos e quantitativos e deve ser considerado como nível-padrão para caracterizar condições médias anuais de iluminação natural para regiões onde não predomina o céu encoberto (SANTOS, 2002).

O nível 3 de monitoramento baseia-se na avaliação contínua de diversos parâmetros, com medições realizadas durante todo o ano. A aplicação deste nível de monitoramento é recomendada para a avaliação rigorosa de sistemas de controle, com o objetivo de avaliar o impacto de soluções de iluminação natural no desempenho energético das edificações (SANTOS, 2002).

Como o objetivo desta pesquisa é apresentar procedimentos do uso de modelos reduzidos com medições realizadas a curto prazo, serão considerados os monitoramentos do nível 1 e nível 2, propostos por Santos (2002).

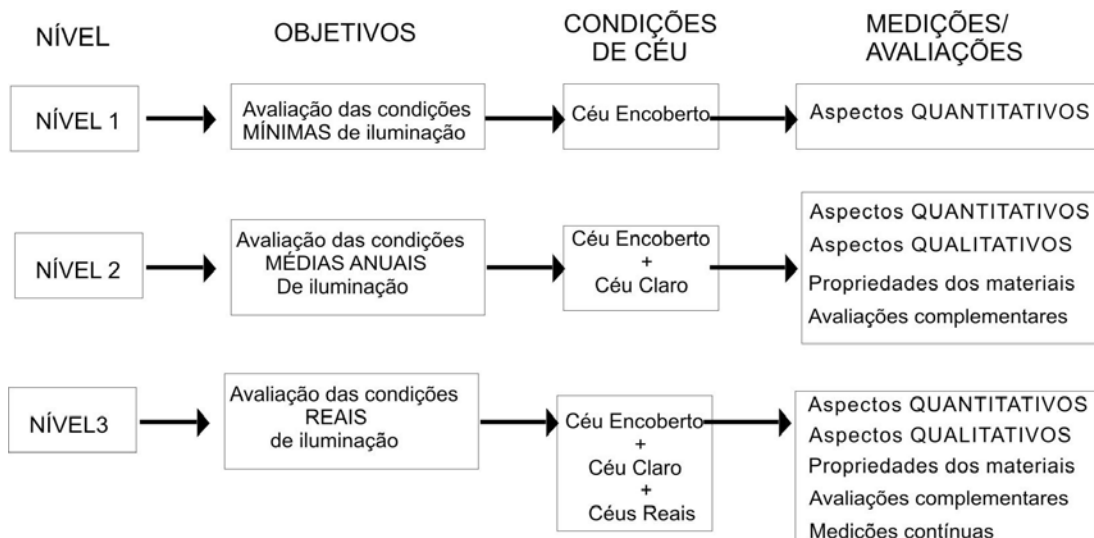


Figura 68 - Esquema geral das características de monitoramento da iluminação natural "in situ" em função do nível, dos objetivos, das condições de céu e do tipo de medições/ avaliações.

Fonte: SANTOS, 2002

Outra forma de selecionar sob qual condição de céu medir, pelo critério da maior freqüência de ocorrência, é através da análise de dados de nebulosidade para a localidade em estudo. Através de planilhas de nebulosidade é possível tabular o tipo de céu mais frequente para uma dada região e utilizar esta informação como parâmetro de projeto.

A nebulosidade do céu é avaliada através de décimos de cobertura, método que verifica a proporção de céu encoberto por nuvens, representados por números de 0 a 10. Considera-se céu claro a variação de 0 a 3,5 décimos de cobertura, céu parcialmente encoberto de 4 a 7,5, céu encoberto de 8 a 10. A tabela 5 refere-se a nebulosidade da cidade de São Paulo, para o mês de novembro de 2005.

Tabela 5 - Nebulosidade para a cidade de São Paulo, novembro de 2005.

Fonte: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) - USP, 2005

NOVEMBRO DE 2005																														
H/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
7	10	10	10	10	8	9	5	10	10	10	10	10	3	4	7	0	10	10	8	10	6	10	9	10	10	10	7	1	4	10
8	10	10	10	10	3	10	7	10	10	10	10	10	1	2	8	0	10	10	8	10	4	10	6	10	10	10	4	3	1	10
9	10	10	10	9	1	10	9	10	10	10	10	10	0	1	6	1	10	10	7	10	8	10	1	10	10	10	1	4	4	10
10	10	10	10	10	3	10	10	10	10	10	9	10	1	1	2	1	10	10	9	10	3	10	7	9	10	10	0	2	9	10
11	10	10	10	9	8	8	7	10	10	10	8	10	10	7	5	6	10	9	10	10	6	10	10	8	10	10	0	1	10	10
12	10	10	8	8	8	5	10	10	10	3	10	10	6	6	9	10	6	10	9	9	10	10	9	10	10	10	0	3	10	10
13	10	10	8	10	9	1	5	10	10	10	7	10	9	6	6	9	10	10	10	2	5	10	10	6	10	10	1	2	10	10
14	10	10	6	10	9	5	10	10	10	10	7	9	1	4	7	9	10	10	10	3	10	10	10	10	10	0	2	9	10	10
15	10	10	5	10	8	3	10	10	10	9	10	7	10	10	7	10	10	9	10	4	2	10	8	10	10	10	0	5	9	10
16	10	10	9	10	9	2	10	10	10	8	10	6	10	10	7	10	10	10	9	3	3	10	9	10	10	10	2	8	10	11
17	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	8	10	4	10	10	10	10	4	3	10	10	10	10	10	3	6	10	9
18	10	10	10	10	7	10	10	10	10	8	10	9	2	2	4	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	10	2	10	10	10
19	10	10	10	10	6	10	10	10	10	5	10	3	1	5	6	9	10	10	6	10	10	10	10	10	10	7	2	10	10	10
20	10	10	10	10	3	10	10	10	10	9	10	10	1	4	6	6	10	8	6	7	10	10	8	10	10	9	1	10	9	10
21	10	10	10	10	0	10	10	10	10	3	10	10	0	4	8	4	10	4	10	8	10	6	7	10	10	4	1	2	5	8
22	10	10	10	8	0	10	10	10	10	4	9	10	0	1	4	5	10	3	10	9	10	0	1	10	10	10	0	4	7	10
23	10	10	9	9	0	10	10	10	10	1	10	1	3	0	3	4	10	9	10	2	5	10	0	8	10	10	0	10	9	9
24	10	10	7	10	0	10	10	10	10	1	10	6	1	0	0	2	10	10	10	5	4	0	0	8	10	10	0	1	9	7

As colunas de 1 a 30 correspondem aos dias do mês, ao passo que as linhas de 7 a 24 correspondem aos horários para os quais são fornecidos os dados de nebulosidade.

Com o objetivo de verificar a frequência de ocorrência para os três tipos de céu, na cidade de São Paulo, foram utilizadas as planilhas de nebulosidade fornecidas pela Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo². Os dados utilizados referiam-se ao período de janeiro a dezembro dos anos de 1993 até 2005. Através destas planilhas, digitalizadas no programa Excel, foi possível aplicar uma fórmula para que o programa selecionasse os valores menores que 4 (0 a 3,5), que correspondem à condição de céu claro, os valores maiores que 7 (7,5 a 10) para céu encoberto e os valores restantes (3,5 a 7,5) para céu parcialmente encoberto. Com base nos dados mensais selecionados para cada tipo de céu e considerando o número de horas de dados coletados por mês, encontrou-se a porcentagem média da frequência de ocorrência para os três tipos de céu. Posteriormente, os dados mensais foram agrupados por estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), e calculada a média para um período de 13 anos, conforme demonstram as tabelas 7 a 10 do apêndice B. Os dados tabulados foram utilizados na média ponderada proposta no método 2, que considera a frequência de ocorrência dos três tipos de céu para cada época do ano.

6.1.2.1 Céu encoberto

O céu encoberto padrão CIE permite encontrar o Fator de Luz do Dia (FLD), que é o parâmetro mais generalizado na caracterização da iluminação natural em edificações. Porém, a sua representatividade limita-se às condições de 100% de nebulosidade (padrão da CIE), cuja a distribuição teórica das luminâncias apenas traduz com rigor as condições de céu completamente encobertos por nuvens espessas e escuras. (SANTOS, 2002).

A distribuição do brilho do céu encoberto não é uniforme, sendo caracterizado pelo zênite com a luminância três vezes superior ao horizonte. A posição do sol não afeta

² Os dados da estação meteorológica do IAG podem ser requisitados para fins acadêmicos através do site:

http://www.iag.usp.br/meteo/meteo_servi.htm

a distribuição de luminância para este tipo de céu (ABNT, 2005a).

Através do FLD medido sob condição de céu encoberto, é possível calcular os valores absolutos da iluminância para todas as épocas do ano, sob condição de céu encoberto, através de tabelas de disponibilidade de luz natural.

A vantagem deste método deve-se à simplicidade de aplicação pois, uma vez encontrada a relação entre a iluminância interna e a externa para cada ponto analisado, pode-se extrapolar estes dados para outras épocas do ano sob a mesma condição. Para tanto, basta multiplicar os dados de disponibilidade de luz estimados para o dia desejado pelo FLD do ponto interno da edificação. O FLD também serve como parâmetro de comparação entre alternativas de projeto, pois mesmo se a iluminância externa variar consideravelmente durante as medições, este fator proporciona condição de igualdade para a comparação.

Devido a esta facilidade tornou-se um método bastante difundido, porém, a maior limitação do mesmo deve-se ao fato da orientação e a localização (latitude) do edifício investigado, não serem considerados, visto que não há interferência da altura e do azimute solar. Outra questão do uso do FLD é o fato do mesmo subestimar iluminâncias na linha do horizonte, prejudicando a análise do desempenho de projetos que utilizam estratégias de iluminação lateral (REINHART, 2005).

Este fator não considera estratégias de redirecionamento da radiação direta refletida, que resulta em uma configuração diferenciada da distribuição interna da luz se comparada com a distribuição resultante para condição de céu encoberto.

Em regiões onde não há a predominância de céu encoberto, apesar do FLD poder ser utilizado para caracterizar as condições mínimas da distribuição luminosa, este fator revela-se insuficiente para caracterizar as condições de distribuição das iluminâncias médias anuais, principalmente para estratégias de iluminação que utilizam dispositivos de redirecionamento da radiação solar direta.

6.1.2.2 Céu parcialmente encoberto

O céu parcialmente encoberto produz uma quantidade apreciável de radiação difusa, podendo variar a sua intensidade de luminância, com momentos de luz solar direta e

outros onde o Sol pode estar encoberto por nuvens (BITTENCOURT; FERREIRA, 2000). A variabilidade de condições deste céu, influenciada por diferentes formações de nuvens, resulta em um tipo de céu instável. Por este motivo, não é possível encontrar uma relação entre o interior e exterior que seja constante durante o ano ou para um determinado período do dia e do ano. Surge a dificuldade em extrapolar os dados para outras épocas do ano, sendo possível afirmar, apenas, que os níveis de iluminação medidos sob esta condição poderão ser superiores ou inferiores dependendo das condições externas.

Nos casos em que o modelo reduzido for medido sob condição de céu parcialmente encoberto, é possível verificar os valores absolutos da iluminância para uma situação específica. Esta medição fornece uma informação pontual. A condição da iluminação interna para um dia de céu parcialmente encoberto dependerá das condições da nebulosidade no momento da medição e da possibilidade do Sol estar obstruído ou não. Esta situação peculiar pode não ser repetida com as mesmas características, o que impede o cálculo de uma fator que seja uma constante, como é o caso do FLD.

Com o objetivo de simplificar as complexidades e dificuldades de predição das condições para céu parcialmente encoberto, que seria possível apenas com um monitoramento a longo prazo, propõe-se que os valores para este tipo de céu sejam considerados como intermediários entre os valores medidos para céu claro e para céu encoberto. Assim, no monitoramento nível 2, além das medições para céu claro e céu encoberto, serão considerados valores inferidos para céu parcialmente encoberto, resultado da média entre os valores medidos para as duas situações extremas.

Sabe-se que há situações em que a luminância do céu parcialmente encoberto, devido às nuvens espessas e claras, apresentam os níveis de iluminação no interior dos ambientes superiores em relação aos valores medidos sob condição de céu claro. Isto ocorre quando o brilho do céu parcialmente encoberto é superior ao brilho do céu claro, resultado das características das nuvens e das reflexões da luz. O método 2, porém, não considera a situação descrita. Optou-se por esta simplificação para que fosse possível incluir os três tipos de céu no monitoramento nível 2, medindo-se apenas sob condição de céu claro e encoberto.

6.1.2.3 Céu claro

A vantagem de introduzir a análise para dia de céu claro deve-se ao fato de se considerar o desempenho da orientação da fachada, o que não acontece quando apenas o FLD, medido para céu encoberto, é analisado. Sob esta condição é possível caracterizar o efeito da luz do Sol e dos sistemas de proteção solar.

Medições sob condição de céu claro são extremamente importantes para verificar o desempenho energético do edifício, possibilitando a análise da penetração solar, que interfere na iluminação, assim como estratégias de redirecionamento da radiação solar.

O conceito de FLD aplica-se à condição de céu encoberto, segundo a definição da CIE. Alguns autores estendem este conceito para a condição de céu claro, considerando que nestas condições o FLD será constante apenas para o período do dia e do ano para o qual foi calculado (BRYAN,1980; KROCHMANN,1965; ROBBINS, 1986).

6.1.3 Medições dos Modelos Reduzidos

O monitoramento dos modelos 1 e 2 foram realizados na cidade de São Paulo, latitude 23°30'Sul e longitude 46°37'Oeste.

Os luxímetros utilizados para as medições nos modelos reduzidos são da marca Homis, modelo 630 Lightmeter, com faixa de leitura variando de 0 a 200.000 lux. Este equipamento possui a fotocélula destacável do corpo principal do aparelho, sendo possível sua utilização para medições em modelos reduzidos. No mercado, existem equipamentos próprios para medições em modelos reduzidos, que consistem em fotocélulas acopladas a um datalogger, responsável pelo armazenamento dos dados obtidos. Porém, devido à dificuldade de acesso a este tipo de equipamento optou-se pela utilização de luxímetros.

As fotocélulas dos luxímetros foram posicionadas em cinco pontos internos dispostos na altura de 0,75m que na escala do modelo corresponde a 6cm. Os luxímetros utilizados foram comparados a um luxímetro calibrado onde verificou-se uma diferença de até 5% entre os equipamentos, para vários níveis de iluminação.

Esta variação foi considerada aceitável de forma a não comprometer os resultados, visto que, a própria norma brasileira de iluminação (ABNT, 2005d), permite uma variação da precisão do sensor em até 10%.

Para evitar que variações de leituras entre os luxímetros interferissem nos resultados, estes foram comparados entre si, sob condição controlada (luz artificial do laboratório), e os fatores de normalização obtidos foram multiplicados pelo valor das medições.

Utilizou-se o método proposto por Schiler e Japee (s.d.) para normalizar a leitura entre os luxímetros. O objetivo desta calibração é que todos os luxímetros sejam corrigidos para fazer a mesma leitura sob as mesmas condições. Assim, estes foram dispostos sob o mesmo nível de iluminância e valores medidos por cada equipamento foram anotados. Com base nesta informação aplicou-se a seguinte fórmula:

$$C_p = E_{ave} / E_x \quad (23)$$

Onde:

C_p = fator para normalização (deve ser multiplicado pela iluminância do luxímetro utilizado)

E_{ave} = média da leitura das iluminância de todos os luxímetros

E_x = valor da leitura da iluminância do luxímetro utilizado

Esta fórmula assume uma diferença linear entre os equipamentos, o que nem sempre ocorre. Porém, esta é a melhor opção de calibração manual, caso não seja possível calibrar todos os equipamentos em laboratório especializado.

Tabela 06 - Fatores para normalização das medições

n° do luxímetro	Leitura da Iluminância sob mesma condição (E_x)	Fator para normalização $C_p = E_{av} / E_x$	
Luxímetro 1	1.920	1,048	C1
Luxímetro 2	1.980	1,016	C2
Luxímetro 3	2.000	1,006	C3
Luxímetro 4	2.040	0,986	C4
Luxímetro 5	2100	0,958	C5
Luxímetro 6	2030	0,991	C6
E_{av} = Média da iluminância	2012		

6.1.3.1 Medições sob condição de céu encoberto

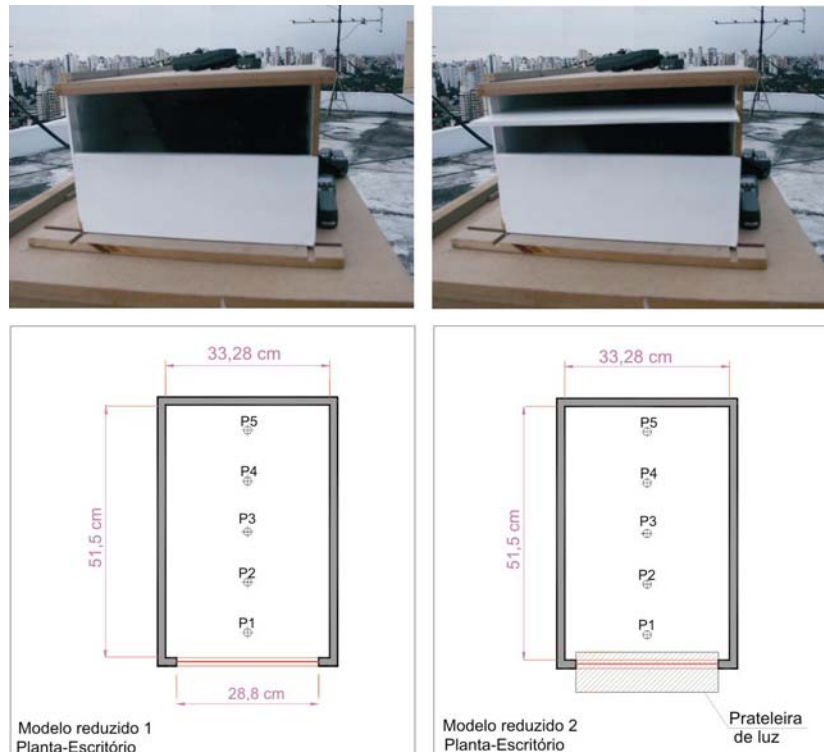


Figura 69 - Medição do modelo 1 e 2 sob condição de céu encoberto. (DIA: 26/03/06)

Fonte: Autora da pesquisa

As medições sob condição de céu encoberto podem ser feitas em qualquer época do ano, visto que não se considera a altura e o azimute solar. Para o céu encoberto com a distribuição ideal de luminância, segundo o padrão CIE, apenas uma medida entre os pontos no interior e no exterior é necessária. Porém como esta distribuição ideal ocorre raramente em algumas zonas climáticas, recomenda-se realizar as medições durante um período mais prolongado para, desta forma, verificar a estabilidade do céu em relação a distribuição da luminância padrão CIE.

As condições de céu encoberto devem ser continuamente verificadas durante as medições de iluminâncias, assegurando que elas são próximas de um céu encoberto padrão, de modo que as medições sejam reproduzíveis.

Aplica-se o seguinte critério de aceitação das medidas para variações da luminância do céu encoberto: a razão (*foc*) entre a luminância vertical do céu e da luminância horizontal global para um local desobstruído deve estar no intervalo $0,36 < foc < 0,44$. O valor real da *foc* para o céu nublado, segundo a CIE, é 0,396 (VELDS; CHRISTOFFERSEN, 2001).

Seguindo estas recomendações, os modelos 1 e 2 foram medidos durante 3 horas, no período das 13:00h às 16:00h, do dia 26/03/06.

Foram utilizados 5 luxímetros internos e 1 luxímetro externo (disposto no plano horizontal), com medições simultâneas para encontrar o Fator de Luz do Dia (FLD).

Os dados coletados sob condição de céu encoberto foram utilizados para o preenchimento da planilha do método 1 e método 2.

O apêndice C apresenta a tabela 11 com os valores medidos no modelo reduzido 1 (sem prateleira de luz) e modelo reduzido 2 (com prateleira de luz) e os respectivos fatores de correção, segundo a equação 24:

$$E_{int\ corrigido} = E_{int} \times C_p \times K \times T \quad (24)$$

Sendo que:

$E_{int\ corrigido}$ = Iluminância interna corrigida

E_{int} = iluminância interna medida

C_p = Fator de normalização dos luxímetros internos e o externo. Cada luxímetro possui um valor de correção distinto, de acordo com a tabela 6.

K = Coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = Transmissividade do vidro (0,85)

Calcula-se o FLD segundo a equação 25:

$$FLD = E_{int\ corrigido} / E_{ext} \quad (25)$$

E_{ext} = Iluminância externa medida corrigida de acordo com o fator de normalização do luxímetro, apresentado na tabela 6

6.1.3.2 Medições sob condição de céu claro

Para medições sob condição de céu claro, Atif, Love e Littlefair (1997), no protocolo de monitoramento produzido pela IEA (*International Energy Agency*), recomenda que as medições sejam realizadas para um dia representativo de verão, de inverno e de primavera ou outono. Apesar de ser feito em alguns dias representativos no ano, esta metodologia requer o período de 6 meses para o término das medições. Como a proposta deste trabalho é o monitoramento a curto prazo, optou-se pela utilização

do relógio de Sol para simular os dias representativos do ano, com medições sob condição de céu claro realizadas no mesmo dia (Figura 72).

Através deste recurso é possível corrigir o azimute e altura solar, ajustando a rotação e inclinação da prancheta onde é fixado o modelo reduzido, com o objetivo de simular as variações diárias e sazonal da luz natural.

As medições nos modelos 1 e 2 ocorreram no dia 30/04 das 10:00h às 14:00h, sendo utilizado o relógio de Sol para simular as iluminâncias e penetração solar para os solstícios e equinócios (Tabelas 12 a 14, Apêndice C). Os horários simulados sob condição de céu claro foram: das 8:00h às 18:00h, de 1h em 1h, nos dias de solstício de inverno (22/06), solstício de verão (22/12) e equinócio de outono (21/03).

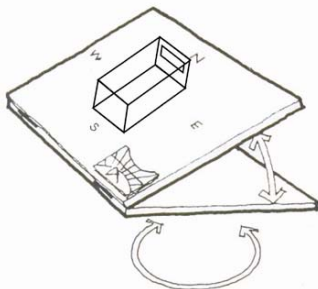


Figura 70 - Esquema de uso do relógio de sol para ajuste do azimute e altura solar

Fonte: Moore (1991)



Figura 71 - Foto exterior do modelo 2 com relógio de sol

Fonte : Autora da pesquisa



Figura 72 - Foto do relógio de sol

Fonte : Autora da pesquisa

Foram utilizados 5 luxímetros no interior do modelo e 1 luxímetro externo (disposto horizontalmente), com medições simultâneas.

O uso do relógio do sol para testes quantitativos funciona de forma mais efetiva se a altitude solar máxima do dia da medição do modelo for maior do que nos dias da simulação. Portanto, o período do verão é a melhor época para realizar simulações de outras épocas do ano visto que os ângulos para o período do inverno, primavera e outono podem ser modelados inclinando o modelo para cima. O inverno é a pior época para medições com o uso do relógio do sol devido às dificuldades em obter, neste período, os ângulos mais elevados do verão, primavera e outono. Isto ocorre devido aos erros provenientes da inclinação do modelo de forma a facear o chão para a correção da altura angular. As medições dos modelos reduzidos foram conduzidas no mês de abril. Portanto, as simulações para o inverno não foram

prejudicadas, ao passo que as simulações para o verão sofreram uma certa interferência no Fator de Céu dos pontos internos dos modelos.

O ideal seria ter realizado todas as medições no mês de dezembro, porém, como não foi possível, considerou-se válidos os experimentos realizados visto que o objetivo principal era demonstrar os procedimentos necessários para o uso de modelos reduzidos como ferramenta para a avaliação da iluminação natural.

O apêndice (C) apresenta as tabelas 12 a 14 com os dados das medições do modelo reduzido 1 (sem prateleira de luz) e o modelo reduzido 2 (com prateleira de luz) com os respectivos fatores de correção, segundo a equação 26:

$$E_{\text{int corrigido}} = E_{\text{int}} \times C_p \times K \times T \times R_E \quad (26)$$

Sendo que:

$E_{\text{int corrigido}}$ = Iluminância interna corrigida

E_{int} = Iluminância interna medida

C_p = Fator de normalização para os luxímetros internos e o externo. Cada luxímetro possui um valor de correção distinto, de acordo com a tabela 06.

K = Coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = Transmissividade do vidro (0,85)

R_E = Fator de correção da intensidade solar para o valor da iluminância medida ($E_{\text{ext., med}}$) em relação à iluminância estimada ($E_{\text{ext., est.}}$) para o dia da simulação

Sendo que:

$$R_E = E_{\text{ext., est.}} / E_{\text{ext., med}} \quad (27)$$

$E_{\text{ext., est}}$ = Iluminância externa estimada

$E_{\text{ext., med}}$ = Iluminância externa medida de acordo com o fator de normalização do luxímetro, apresentado na tabela 6

Os dados coletados sob condição de céu claro foram aplicados no método 2.

6.1.4 Elaboração da Planilha para Análise Quantitativa da Iluminação Natural

Após a coleta dos dados e o cálculo do FLD, deve-se preencher uma planilha para a avaliação do potencial de conservação energética, considerando o aproveitamento da luz natural. Recomenda-se que as informações sejam digitalizadas no programa Excel, para a otimização do tempo de cálculo que é possível através da implementação de fórmulas simplificadas.

Dependendo do nível de aprofundamento da análise a ser realizada, pode-se seguir os procedimentos propostos pelo método 1 ou 2 que possuem planilhas distintas.

A planilha utilizada no método 1, proposta por Mansy (2004), possui 6 tabelas a serem preenchidas para a avaliação da pior condição de projeto (Figura 74 e Figura 75 que mostra a avaliação dos modelo reduzido 1 e modelo reduzido 2 respectivamente).

A planilha utilizada no método 2, proposta por esta pesquisa, possui 24 tabelas a serem preenchidas, para a avaliação da condição média de projeto ao longo do ano (Figuras 77 a 80 - modelo 1 e Figuras 80 a 83 - modelo 2).

Para os dois métodos, os valores de iluminância externos, utilizados nas tabelas de estimativa para céu encoberto, foram obtidos através do programa DLN - Disponibilidade de Luz Natural, calculados através de algoritmos matemáticos (SCARAZZATO, 1995). O anexo C apresenta os valores de disponibilidade de luz natural sob condição de céu claro, céu encoberto e parcialmente encoberto nos Solstícios e Equinócios, para a cidade de São Paulo. Outra forma de obter esta “oferta de luz natural” é através de dados de radiação global medidos em estações meteorológicas e transformados em valores de iluminância, aplicando-se o método da eficácia luminosa proposto por Milne et al.³ (1998 apud ALUCCI, 2002).

6.1.4.1 Método 1 - monitoramento nível 1

O Método 1 possui um procedimento bastante simplificado, pois exige medições

³ MILNE, M. et al. Daylight Prediction Techniques in Energy Design Tools. In: *Anais... Daylighting 98*. Canada, 1998, p.89-95

apenas sob condição de céu encoberto. Através deste procedimento é possível estimar o potencial anual de economia de energia, considerando a pior situação de projeto. A planilha apresentada neste método foi proposta por Mansy (2004).

Procedimentos para a aplicação do método 1:

1) Fazer medições no modelo reduzido sob condição de céu encoberto em um dia qualquer do ano (apêndice C - tabela 11).

2) Calcular o FLD dos pontos internos do modelo reduzido (apêndice C - tabela 11).

3) Elaboração das tabelas 1, 3 e 5 (Figuras 74 e 75) para estimar os valores de iluminância internos (E_{int}) sob condição de céu encoberto. Para isto, deve-se multiplicar o FLD pelos valores de disponibilidade de luz externa (E_{ext}), nos solstícios e equinócios durante o período de ocupação do ambiente, conforme a equação:

$$E_{int} = E_{ext} \times FLD \quad (28)$$

4) Elaboração das tabelas 2, 4 e 6 (Figuras 74 e 75). que demonstram o potencial de economia de energia (P_{EE}) horário, nos pontos internos do modelo reduzido. Os valores de iluminâncias das tabelas 1, 3 e 5 (Figuras 74 e 75) são comparados ao nível de iluminância recomendado para o projeto, neste caso 500 lx. Se o valor de iluminância interno for igual ou superior a 500lux, o potencial de economia de energia (P_E) será 100% (potencial máximo), representado pelo valor 1,0 (Figura 74 e 75, tabelas 2, 4 e 6). Determina-se o potencial de economia de energia (P_{EE}) dos pontos internos conforme a equação:

$$P_{EE} = \text{iluminância prevista} / \text{iluminância recomendada para projeto} \quad (29)$$

Assim:

$P_{EE} = \text{potencial de economia em determinado ponto do ambiente devido ao uso da luz natural} \leq 100\%$

5) Cálculo do potencial de economia de energia para cada estação do ano

$P_{EE \text{ sazonal}} = \text{média aritmética simples do } P_{EE} \text{ para todos os pontos internos durante os horários de ocupação do ambiente para o dia representativo da estação} \quad (30)$

6) Cálculo do potencial anual médio de economia de energia

$P_{EE \text{ anual}} = \text{média aritmética simples do } P_{EE} \text{ para as quatro estações do ano}$

Assim:

$$P_{EE \text{ anual}} = P_{EE \text{ verão}} + P_{EE \text{ inverno}} + P_{EE \text{ outono}} + P_{EE \text{ primavera}} / 4 \quad (31)$$

O fluxograma da figura 73 representa os passos a serem seguidos para a aplicação do método 1.

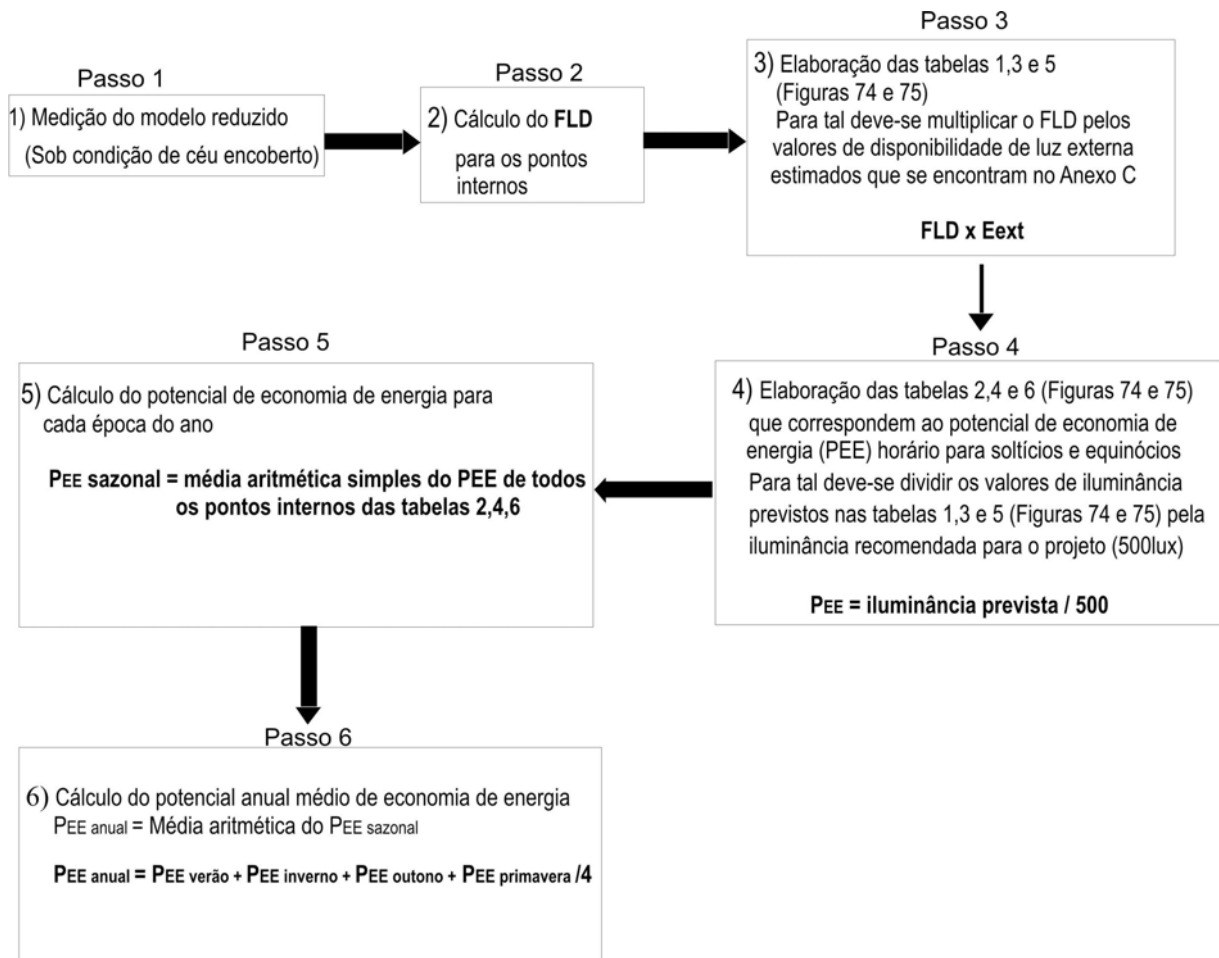


Figura 73 - Fluxograma dos procedimentos necessários para a aplicação do método 1

Fonte: Autora da pesquisa

Este procedimento foi utilizado para avaliar o potencial de economia de energia do modelo reduzido 1, sem prateleira de luz, demonstrado pela planilha da figura 74.

A avaliação do modelo reduzido 2, com prateleira de luz, pode ser verificado através da planilha da figura 75.

Planilha Modelo Reduzido 1(sem prateleira de luz) - Céu encoberto (método 1)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 1 (sem prateleira de luz)										
Ambiente: Sala de escritório										
Iluminância recomendada: 500 lux (NBR 5413)										
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância							
		0,85	Fator de depreciação							
N° de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela							
Estimativa das condições mínimas de iluminância e Potencial de Conservação de Energia										
Cálculo para condição de céu encoberto										
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição					Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5					
1 Estimativa para verão - 22/12										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
12.400	08:00	1488	905	459	285	211				
16.100	09:00	1932	1175	596	370	274				
18.900	10:00	2268	1380	699	435	321				
20.700	11:00	2484	1511	766	476	352				
21.300	12:00	2556	1555	788	490	362				
20700	13:00	2484	1511	766	476	352				
18.900	14:00	2268	1380	699	435	321				
16.100	15:00	1932	1175	596	370	274				
12.400	16:00	1488	905	459	285	211				
8100	17:00	972	591	300	186	138				
3.500	18:00	420	256	130	81	60				
2 Potencial de economia de energia (%) =										
ilum. prevista/ iluminância requerida										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1	1	0,92	0,57	0,42				
	09:00	1	1	1	0,74	0,55				
	10:00	1	1	1	0,87	0,64				
	11:00	1	1	1	0,95	0,70				
	12:00	1	1	1	0,98	0,72				
	13:00	1	1	1	0,95	0,70				
	14:00	1	1	1	0,87	0,64				
	15:00	1	1	1	0,74	0,55				
	16:00	1	1	0,92	0,57	0,42				
	17:00	1	1	0,60	0,37	0,28				
	18:00	0,84	0,51	0,26	0,16	0,12				
Solstício de verão PEE sazonal Potencial de economia 81,0%										
3 Estimativa para equinócios - 21/03 e 24/09										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
10.100	08:00	1212	737	374	232	172				
14.100	09:00	1692	1029	522	324	240				
17.200	10:00	2064	1256	636	396	292				
19.100	11:00	2292	1394	707	439	325				
19.800	12:00	2376	1445	733	455	337				
19.100	13:00	2292	1394	707	439	325				
17.200	14:00	2064	1256	636	396	292				
14.100	15:00	1692	1029	522	324	240				
10.100	16:00	1212	737	374	232	172				
5.400	17:00	648	394	200	124	92				
400	18:00	48	29	15	9	7				
4 Potencial de economia de energia (%) =										
ilum. prevista/ iluminância requerida										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1	1	0,75	0,46	0,34				
	09:00	1	1	1	0,65	0,48				
	10:00	1	1	1	0,79	0,58				
	11:00	1	1	1	0,88	0,65				
	12:00	1	1	1	0,91	0,67				
	13:00	1	1	1	0,88	0,65				
	14:00	1	1	1	0,79	0,58				
	15:00	1	1	1	0,65	0,48				
	16:00	1	1	0,75	0,46	0,34				
	17:00	1	0,79	0,40	0,25	0,18				
	18:00	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01				
Equinócios PEE sazonal Potencial de economia 73,8%										
5 Estimativa para inverno - 22/06										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
6.000	08:00	720	438	222	138	102				
9.700	09:00	1164	708	359	223	165				
12.500	10:00	1500	913	463	288	213				
14.300	11:00	1716	1044	529	329	243				
14.900	12:00	1788	1088	551	343	253				
14.300	13:00	1716	1044	529	329	243				
12.500	14:00	1500	913	463	288	213				
9.700	15:00	1164	708	359	223	165				
6.000	16:00	720	438	222	138	102				
1.700	17:00	204	124	63	39	29				
300	18:00	36	22	11	7	5				
6 Potencial de economia de energia (%) =										
ilum. prevista/ iluminância requerida										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1	0,88	0,44	0,26	0,20				
	09:00	1	1	0,72	0,45	0,33				
	10:00	1	1	0,93	0,58	0,43				
	11:00	1	1	1	0,66	0,49				
	12:00	1	1	1	0,69	0,51				
	13:00	1	1	1	0,66	0,49				
	14:00	1	1	0,93	0,58	0,43				
	15:00	1	1	0,72	0,45	0,33				
	16:00	1	0,88	0,44	0,26	0,20				
	17:00	0,41	0,25	0,13	0,08	0,06				
	18:00	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01				
Solstício de Inverno PEE sazonal Potencial de economia 61,8%										
ANUAL PEE anual										
Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural										
72,6%										
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural, desenvolvido por SCARAZZATO (1995)										

Figura 74 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)

Fonte: Autora da pesquisa

Planilha Modelo Reduzido 2 (com prateleira de luz) - Céu encoberto (método 1)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 2 (prateleira de luz)											
Ambiente: Sala de escritório											
Iluminância recomendada: 500 lux (NBR 5413)											
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância								
		0,85	Fator de depreciação								
Nº de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela								
Estimativa das condições mínimas de iluminância e Potencial de Conservação de Energia											
Cálculo para condição de céu encoberto											
Distância da janela à parede oposta (m)						Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8						0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição						Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5						P1 P2 P3 P4 P5					
1 Estimativa para verão - 22/12											
Iluminância estimada para o ambiente											
Iluminância externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%					
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
12.400	08:00	335	446	273	186	149					
16.100	09:00	435	580	354	242	193					
18.900	10:00	510	680	416	284	227					
20.700	11:00	559	745	455	311	248					
21.300	12:00	575	767	469	320	256					
20700	13:00	559	745	455	311	248					
18.900	14:00	510	680	416	284	227					
16.100	15:00	435	580	354	242	193					
12.400	16:00	335	446	273	186	149					
8100	17:00	219	292	178	122	97					
3.500	18:00	95	126	77	53	42					
							Solstício de verão PEE sazonal Potencial de economia 63,4%				
2 Potencial de economia de energia (%) =											
ilum. prevista/ iluminância requerida											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00		0,67	0,89	0,55	0,37	0,30					
09:00		0,87	1	0,71	0,48	0,39					
10:00		1	1	0,83	0,57	0,45					
11:00		1	1	0,91	0,62	0,50					
12:00		1	1	0,94	0,64	0,51					
13:00		1	1	0,91	0,62	0,50					
14:00		1	1	0,83	0,57	0,45					
15:00		0,87	1	0,71	0,48	0,39					
16:00		0,67	0,89	0,55	0,37	0,30					
17:00		0,44	0,58	0,36	0,24	0,19					
18:00		0,19	0,25	0,15	0,11	0,08					
3 Estimativa para equinócios - 21/03 e 24/09											
Iluminância estimada para o ambiente											
Iluminância externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%					
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
10.100	08:00	273	364	222	152	121					
14.100	09:00	381	508	310	212	169					
17.200	10:00	464	619	378	258	206					
19.100	11:00	516	688	420	287	229					
19.800	12:00	535	713	436	297	238					
19.100	13:00	516	688	420	287	229					
17.200	14:00	464	619	378	258	206					
14.100	15:00	381	508	310	212	169					
10.100	16:00	273	364	222	152	121					
5.400	17:00	146	194	119	81	65					
400	18:00	11	14	9	6	5					
							Equinócios PEE sazonal Potencial de economia 56,4%				
4 Potencial de economia de energia (%) =											
ilum. prevista/ iluminância requerida											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00		0,55	0,73	0,44	0,30	0,24					
09:00		0,76	1	0,62	0,42	0,34					
10:00		0,93	1	0,76	0,52	0,41					
11:00		1	1	0,84	0,57	0,46					
12:00		1	1	0,87	0,59	0,48					
13:00		1	1	0,84	0,57	0,46					
14:00		0,93	1	0,76	0,52	0,41					
15:00		0,76	1	0,62	0,42	0,34					
16:00		0,55	0,73	0,44	0,30	0,24					
17:00		0,29	0,39	0,24	0,16	0,13					
18:00		0,02	0,03	0,02	0,01	0,01					
5 Estimativa para inverno - 22/06											
Iluminância estimada para o ambiente											
Iluminância externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%					
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
6.000	08:00	162	216	132	90	72					
9.700	09:00	262	349	213	146	116					
12.500	10:00	338	450	275	188	150					
14.300	11:00	386	515	315	215	172					
14.900	12:00	402	536	328	224	179					
14.300	13:00	386	515	315	215	172					
12.500	14:00	338	450	275	188	150					
9.700	15:00	262	349	213	146	116					
6.000	16:00	162	216	132	90	72					
1.700	17:00	46	61	37	26	20					
300	18:00	8	11	7	5	4					
							Solstício de Inverno PEE sazonal Potencial de economia 41,3%				
6 Potencial de economia de energia (%) =											
ilum. prevista/ iluminância requerida											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00		0,32	0,43	0,26	0,18	0,14					
09:00		0,52	0,70	0,43	0,29	0,23					
10:00		0,68	0,90	0,55	0,38	0,30					
11:00		0,77	1	0,63	0,43	0,34					
12:00		0,80	1	0,66	0,45	0,36					
13:00		0,77	1	0,63	0,43	0,34					
14:00		0,68	0,90	0,55	0,38	0,30					
15:00		0,52	0,70	0,43	0,29	0,23					
16:00		0,32	0,43	0,26	0,18	0,14					
17:00		0,09	0,12	0,07	0,05	0,04					
18:00		0,02	0,02	0,01	0,01	0,01					
ANUAL		PEE anual									
Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural		54,4%									
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)											

Figura 75 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (prateleira de luz)

Fonte: Autora da pesquisa

6.1.4.2 Método 2 – monitoramento nível 2

O método 2 considera uma média aritmética ponderada, segundo a frequência de ocorrência para os três tipos de céu. Baseia-se na planilha de Mansy (2004) para condição de céu encoberto, porém, com a inclusão de dados medidos sob condição de céu claro e dados inferidos para céu parcialmente encoberto, procedimentos propostos por esta pesquisa. Este método tem o objetivo de avaliar o desempenho médio anual da iluminação natural e o potencial de economia de energia, considerando tanto a luz difusa como a luz direta e refletida provenientes da incidência solar. Para atingir este objetivo, deve-se verificar as condições da iluminação natural nos solstícios e equinócios, durante os horários de ocupação do ambiente.

Procedimentos para a aplicação do método 2:

- 1) Fazer medições no modelo reduzido sob duas condições de céu: totalmente encoberto e claro. Através destas duas avaliações é possível verificar duas situações extremas de desempenho da iluminação natural (Apêndice C, Tabelas 11 a 14).
- 2) Calcular o FLD dos pontos internos do modelo reduzido (Apêndice C, Tabela 11).
- 3) Elaboração das tabelas 1, 7, 13 e 19 (Figuras 77 a 84) para estimar os valores de iluminância internos sob condição de céu encoberto. Para isto, deve-se multiplicar o FLD pelos valores de disponibilidade de luz externa nos solstícios e equinócios, conforme a equação:

$$E_{int} = E_{ext} \times FLD \quad (32)$$

- 4) Elaboração das tabelas 2, 8, 14 e 20 (Figuras 77 a 84) com os valores das medições sob condição de céu claro. Nos horários em que ocorrer a incidência direta do sol nos pontos analisados propõem-se reduzir os valores da iluminância interna em 60%, considerando que os usuários acionarão um sistema interno com Fator de Sombreamento (FS) de 0,6. A penetração do sol ocorreu na avaliação do modelo 1, durante o solstício de inverno e equinócios, no período das 10h às 14h. Assim, os valores das tabelas 8, 14 e 20 (Figuras 76 e 77) foram substituídos pelos valores das tabelas 9, 15 e 21 (Figuras 76 e 77). No solstício de verão não ocorreu penetração solar, por este motivo não foi necessário preencher a tabela 3.

5) Elaboração das tabelas 4, 10, 16 e 22 (Figuras 77 a 84) com valores inferidos para condição de céu parcialmente encoberto. Estes valores serão considerados intermediários em relação aos valores medidos para céu claro e céu encoberto através de uma média aritmética simples.

6) Elaboração das tabelas 5, 11, 17 e 23 (Figuras 77 a 84) que sintetizam os valores de iluminância para cada estação. Os valores são obtidos através de uma média aritmética ponderada. No cálculo da média ponderada, multiplica-se cada valor do conjunto por seu "peso", isto é, sua importância relativa. O "peso" das iluminâncias para as três condições de céu é determinado pela frequência de ocorrência para cada tipo de céu. Multiplica-se os pesos pelos valores medidos e inferidos sob cada condição de céu, nos solstícios e equinócios, conforme a equação :

$$E_{\text{média}} = (E_{CC} \times P1) + (E_{PE} \times P2) + (E_E \times P3) / P1+P2+P3 \quad (33)$$

Sendo que:

$E_{\text{média}}$ = iluminância interna média

E_{CC} = iluminância sob condição de céu claro

$P1$ = Frequência de ocorrência para céu claro (Peso 1)

E_{PE} = iluminância sob condição de céu parcialmente encoberto

$P2$ = Frequência de ocorrência para céu parcialmente encoberto (Peso 2)

E_E = iluminância sob condição de céu encoberto

$P3$ = Frequência de ocorrência para céu encoberto (Peso 3)

7) Elaboração das tabelas 6, 12, 18 e 24 (Figuras 77 a 84) que demonstram o potencial de economia de energia (P_{EE}) nos pontos internos do modelo reduzido. Os valores médios da iluminância (Tabelas 5, 11, 17 e 23 das Figuras 77 a 84) são comparados ao nível de iluminância recomendado para o projeto, neste caso 500lx. Se o valor de iluminância interno for igual ou superior a 500 lux, o potencial de economia de energia (P_E) será 100% (potencial máximo) representado pelo valor 1,0 (Figura 77 a 74, tabelas 6, 12, 18, 24).

Determina-se o (P_{EE}) conforme as equações:

$$P_{EE} = \text{iluminância prevista} / \text{iluminância recomendada} \quad (34)$$

Assim, P_{EE} = potencial de economia em determinado ponto do ambiente devido ao

uso da luz natural $\leq 100\%$

8) Cálculo do potencial de economia de energia para cada estação do ano

PEE sazonal = média aritmética simples do (PEE) de todos os pontos internos, durante os horários de ocupação do ambiente, para o dia representativo da estação (35)

9) Cálculo do potencial anual médio de economia de energia

PEE anual = média aritmética simples do (PEE) para as quatro estações do ano

Assim:

$$PEE_{\text{anual}} = PEE_{\text{verão}} + PEE_{\text{inverno}} + PEE_{\text{outono}} + PEE_{\text{primavera}} / 4 \quad (36)$$

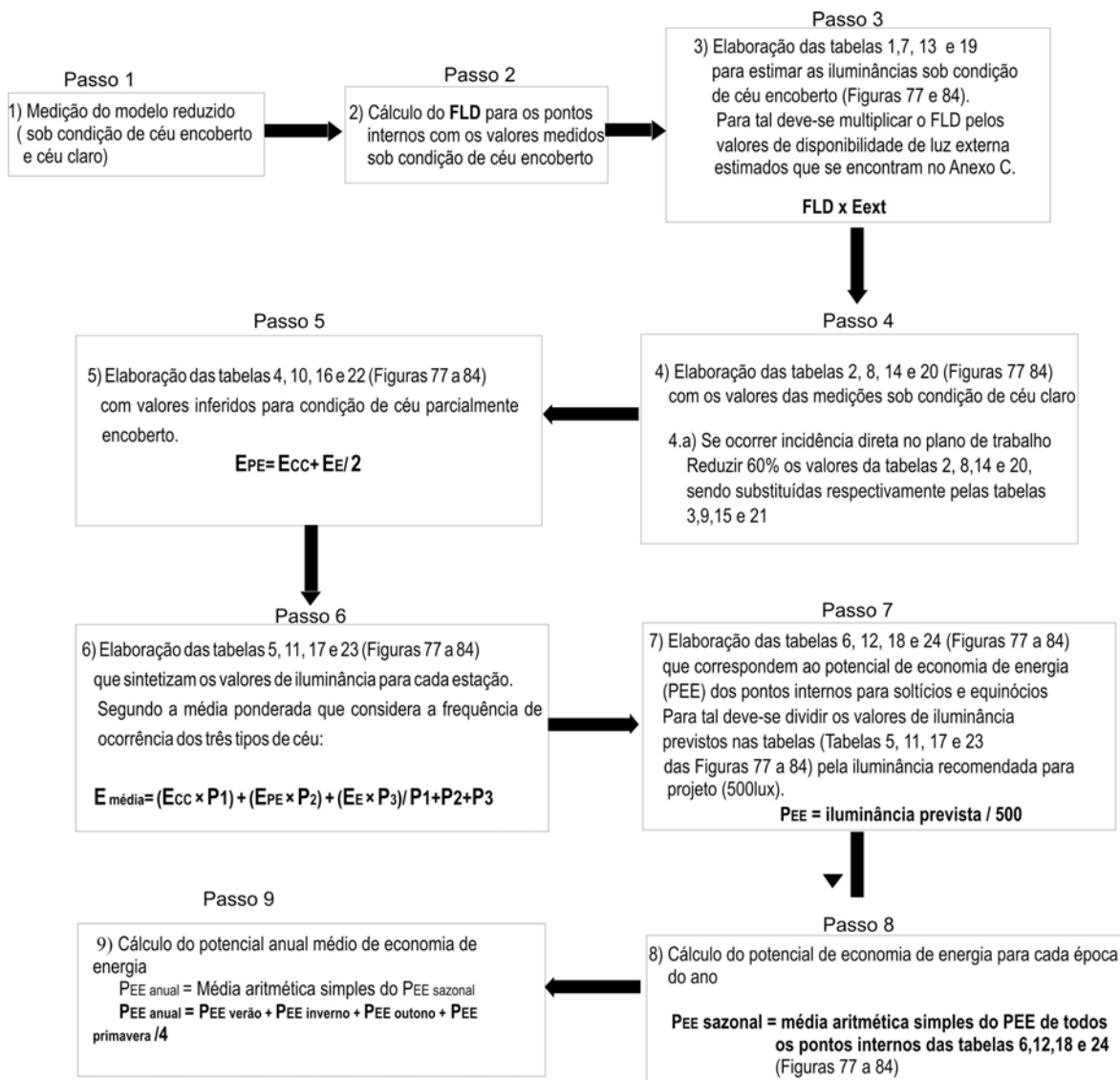


Figura 76 - Fluxograma dos procedimentos necessários para a aplicação do método 1

Fonte: Autora da pesquisa

Este procedimento foi utilizado para avaliar o potencial de economia de energia do

modelo reduzido 1 (Figuras 77 a 80) e do modelo 2 (Figuras 81 a 84).

Planilha Modelo Reduzido 1 (Figuras 77 a 80)

Céu encoberto, parcialmente encoberto e claro (método 2)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 1 (sem prateleira de luz)									
Ambiente: Sala de escritório									
Iluminância recomendada: 500 lux (NBR 5413)									
Propriedades do vidro:									
		0,9		Transmitância					
		0,85		Fator de depreciação					
N° de pontos medidos: 5 Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela									
Mês da avaliação: Dezembro									
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:									
						céu claro		12%	
						céu parcialmente encoberto		20%	
						céu encoberto		68%	
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Verão									
Cálculo para o dia típico de verão - 22 de dezembro									
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)				
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8				
Pontos de medição					Pontos de medição				
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5				
1 Estimativa para céu encoberto					2 Estimativa para céu claro				
Iluminância estimada para o ambiente									
FLD (%) 12,0% 7,3% 3,7% 2,3% 1,7%									
Iluminância externa									
HORA P1 P2 P3 P4 P5									
12.400 08:00 1488 905 459 285 211									
16.100 09:00 1932 1175 596 370 274									
18.900 10:00 2268 1380 699 435 321									
20.700 11:00 2484 1511 766 476 352									
21.300 12:00 2556 1555 788 490 362									
20700 13:00 2484 1511 766 476 352									
18.900 14:00 2268 1380 699 435 321									
16.100 15:00 1932 1175 596 370 274									
12.400 16:00 1488 905 459 285 211									
8100 17:00 972 591 300 186 138									
3.500 18:00 420 256 130 81 60									
3 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana					4 Estimativa para céu parcialmente encoberto				
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA P1 P2 P3 P4 P5									
08:00									
09:00									
10:00									
11:00									
12:00									
13:00									
14:00									
15:00									
16:00									
17:00									
18:00									
5 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu					6 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida				
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA P1 P2 P3 P4 P5									
08:00 1515 972 527 343 257									
09:00 1954 1187 641 419 312									
10:00 2275 1395 732 480 358									
11:00 2536 1544 817 525 393									
12:00 2651 1615 877 552 412									
13:00 2554 1548 824 528 395									
14:00 2286 1406 730 482 358									
15:00 1954 1187 641 419 312									
16:00 1524 977 532 348 257									
17:00 994 655 359 233 178									
18:00 499 351 202 133 101									
Solstício de verão									
Dezembro PEE sazonal									
Média do potencial de economia									
85,8%									
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)									

Figura 77 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 1 (sem prateleira de luz)										
Ambiente: Sala de escritório										Folha 2/4
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)										
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância							
		0,85	Fator de depreciação							
Nº de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela							
Mês da avaliação: Dezembro										
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:										
céu claro 26,75%										
céu parcialmente encoberto 19,75%										
céu encoberto 53,5%										
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Outono										
Cálculo para um dia típico de equinócio - 21 de março										
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição					Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5					
7 Estimativa para céu encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
10.100	08:00	1212	737	374	232	172				
14.100	09:00	1692	1029	522	324	240				
17.200	10:00	2064	1256	636	396	292				
19.100	11:00	2292	1394	707	439	325				
19.800	12:00	2376	1445	733	455	337				
19.100	13:00	2292	1394	707	439	325				
17.200	14:00	2064	1256	636	396	292				
14.100	15:00	1692	1029	522	324	240				
10.100	16:00	1212	737	374	232	172				
5.400	17:00	648	394	200	124	92				
400	18:00	48	29	15	9	7				
8 Estimativa para céu claro										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	2360	1880	1290	1000	850				
	09:00	3590	2700	1900	1490	1320				
	10:00	55600	3220	2360	1860	1660				
	11:00	64180	3760	2690	2130	1880				
	12:00	67130	5700	3900	3000	2780				
	13:00	65050	3900	2750	2150	1910				
	14:00	56810	3350	2500	1890	1730				
	15:00	3630	2770	1960	1550	1350				
	16:00	2320	1830	1260	970	800				
	17:00	1020	840	560	440	400				
	18:00	360	310	210	170	150				
9 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	2360	1880	1290	1000	850				
	09:00	3590	2700	1900	1490	1320				
	10:00	33300	1932	1416	1116	996				
	11:00	38508	2256	1614	1278	1128				
	12:00	40278	3420	2340	1800	1668				
	13:00	39030	2340	1650	1290	1146				
	14:00	34086	2010	1500	1134	1038				
	15:00	3630	2770	1960	1550	1350				
	16:00	2320	1830	1260	970	800				
	17:00	1020	840	560	440	400				
	18:00	360	310	210	170	150				
10 Estimativa para céu parcialmente encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1786	1309	832	616	511				
	09:00	2641	1865	1211	907	780				
	10:00	17682	1594	1026	756	644				
	11:00	20400	1825	1160	869	726				
	12:00	21327	2433	1536	1128	1002				
	13:00	20661	1867	1178	865	735				
	14:00	18075	1633	1068	765	665				
	15:00	2661	1900	1241	937	795				
	16:00	1766	1284	817	601	486				
	17:00	834	617	380	282	246				
	18:00	204	170	112	90	78				
11 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1632	1156	709	514	420				
	09:00	2387	1641	1027	751	635				
	10:00	13504	1503	922	659	550				
	11:00	15556	1710	1039	746	619				
	12:00	16258	2169	1321	948	824				
	13:00	15747	1741	1052	751	626				
	14:00	13792	1532	953	666	565				
	15:00	2402	1667	1048	773	646				
	16:00	1618	1138	698	502	402				
	17:00	784	557	332	240	205				
	18:00	162	132	86	68	59				
12 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/iluminância requerida										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	1	1	1	1	0,84				
	09:00	1	1	1	1	1				
	10:00	1	1	1	1	1				
	11:00	1	1	1	1	1				
	12:00	1	1	1	1	1				
	13:00	1	1	1	1	1				
	14:00	1	1	1	1	1				
	15:00	1	1	1	1	1				
	16:00	1	1	1	1	0,80				
	17:00	1	1	0,66	0,48	0,41				
	18:00	0,32	0,26	0,17	0,14	0,12				
Equinócio										
Março		PEE sazonal								
Média do potencial de economia		89,5%								
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)										

Figura 78 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 1 (sem prateleira de luz)											
Ambiente: Sala de escritório											
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)											
Propriedades do vidro:		0,9		Transmitância		Folha 3/4					
		0,85		Fator de depreciação							
Nº de pontos medidos:		5		Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela							
Mês da avaliação: Dezembro											
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:											
										céu claro	37%
										céu parcialmente encoberto	12%
										céu encoberto	51%
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Inverno											
Cálculo para um dia típico de equinócio - 22 de junho											
Distância da janela à parede oposta (m)						Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8						0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição						Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5						P1 P2 P3 P4 P5					
13 Estimativa para céu encoberto											
Iluminância estimada para o ambiente											
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%					
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
6.000	08:00	720	438	222	138	102					
9.700	09:00	1164	708	359	223	165					
12.500	10:00	1500	913	463	288	213					
14.300	11:00	1716	1044	529	329	243					
14.900	12:00	1788	1088	551	343	253					
14.300	13:00	1716	1044	529	329	243					
12.500	14:00	1500	913	463	288	213					
9.700	15:00	1164	708	359	223	165					
6.000	16:00	720	438	222	138	102					
1.700	17:00	204	124	63	39	29					
300	18:00	36	22	11	7	5					
14 Estimativa para céu claro											
Iluminância estimada para o ambiente											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
	08:00	970	910	690	440	370					
	09:00	3140	3120	2290	1690	1430					
	10:00	5290	24130	4110	3310	2910					
	11:00	6310	35990	5280	4350	3640					
	12:00	6590	43170	5830	4800	4200					
	13:00	6330	36750	5450	4390	3900					
	14:00	5310	26440	4140	3320	2980					
	15:00	3180	3200	2330	1740	1400					
	16:00	970	940	640	460	390					
	17:00	360	340	230	170	140					
	18:00	80	58	30	20	10					
15 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana											
Iluminância estimada para o ambiente											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
	08:00	2360	1860	1290	1000	850					
	09:00	3590	2700	1900	1490	1320					
	10:00	3174	14478	2466	1986	1746					
	11:00	3786	21594	3168	2610	2304					
	12:00	3954	25902	3498	2880	2520					
	13:00	3798	22050	3270	2634	2340					
	14:00	3186	15864	2484	1992	1788					
	15:00	3630	2770	1960	1550	1350					
	16:00	2320	1830	1260	970	800					
	17:00	1020	840	560	440	400					
	18:00	360	310	210	170	150					
16 Estimativa para céu parcialmente encoberto											
Iluminância estimada para o ambiente											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
	08:00	1540	1159	756	569	476					
	09:00	2377	1704	1129	857	742					
	10:00	2337	7895	1464	1137	979					
	11:00	2751	11319	1849	1469	1274					
	12:00	2871	13495	2025	1611	1387					
	13:00	2757	11547	1900	1481	1292					
	14:00	2343	8388	1473	1140	1000					
	15:00	2397	1739	1159	887	757					
	16:00	1520	1134	741	554	451					
	17:00	612	482	311	240	214					
	18:00	198	166	111	88	78					
17 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu											
Iluminância estimada para o ambiente											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
	08:00	1425	1058	681	509	424					
	09:00	2207	1565	1022	768	662					
	10:00	2220	6746	1324	1018	872					
	11:00	2606	9880	1664	1310	1129					
	12:00	2719	11758	1818	1434	1228					
	13:00	2611	10077	1708	1320	1145					
	14:00	2225	7342	1332	1020	890					
	15:00	2224	1595	1047	794	674					
	16:00	1408	1037	668	496	402					
	17:00	555	432	277	211	188					
	18:00	175	146	97	77	67					
18 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida											
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
	08:00	1	1	1	1	0,85					
	09:00	1	1	1	1	1					
	10:00	1	1	1	1	1					
	11:00	1	1	1	1	1					
	12:00	1	1	1	1	1					
	13:00	1	1	1	1	1					
	14:00	1	1	1	1	1					
	15:00	1	1	1	1	1					
	16:00	1	1	1	0,99	0,80					
	17:00	1	0,86	0,55	0,42	0,38					
	18:00	0,35	0,29	0,19	0,15	0,13					
Solstício de inverno											
Junho		PEE sazonal									
Média do potencial de economia		89,1%									
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural, desenvolvido por SCARAZZATO (1995)											

Figura 79 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia – Modelo 1 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 1 (sem prateleira de luz)												
Ambiente: Sala de escritório												
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)												
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância			Folha 4/4						
		0,85	Fator de depreciação									
Nº de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela									
Mês da avaliação: Dezembro												
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:												
								céu claro	16,5%			
								céu parcialmente encoberto	14,5%			
								céu encoberto	69%			
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Primavera												
Cálculo para um dia típico de equinócio - 24 de setembro												
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)							
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8							
Pontos de medição					Pontos de medição							
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5							
19 Estimativa para céu encoberto					20 Estimativa para céu claro							
Iluminância estimada para o ambiente												
Iluminação externa	FLD (%)	12,0%	7,3%	3,7%	2,3%	1,7%						
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	
10.100	08:00	1212	737	374	232	172	2360	1880	1290	1000	850	
14.100	09:00	1692	1029	522	324	240	3590	2700	1900	1490	1320	
17.200	10:00	2064	1256	636	396	292	55500	3220	2360	1860	1660	
19.100	11:00	2292	1394	707	439	325	64180	3760	2690	2130	1880	
19.800	12:00	2376	1445	733	455	337	67130	5700	3900	3000	2780	
19.100	13:00	2292	1394	707	439	325	65050	3900	2750	2150	1910	
17.200	14:00	2064	1256	636	396	292	56810	3350	2500	1890	1730	
14.100	15:00	1692	1029	522	324	240	3630	2770	1960	1550	1350	
10.100	16:00	1212	737	374	232	172	2320	1830	1260	970	800	
5.400	17:00	648	394	200	124	92	1020	840	560	440	400	
400	18:00	48	29	15	9	7	360	310	210	170	150	
21 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana					22 Estimativa para céu parcialmente encoberto							
Iluminância estimada para o ambiente												
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
	08:00	2360	1880	1290	1000	850	08:00	1786	1309	832	616	511
	09:00	3590	2700	1900	1490	1320	09:00	2641	1865	1211	907	780
	10:00	33300	1932	1416	1116	996	10:00	17682	1594	1026	756	644
	11:00	38508	2256	1614	1278	1128	11:00	20400	1825	1160	859	726
	12:00	40278	3420	2340	1800	1668	12:00	21327	2433	1536	1128	1002
	13:00	39030	2340	1650	1290	1146	13:00	20661	1867	1178	865	735
	14:00	34086	2010	1500	1134	1038	14:00	18075	1633	1068	765	665
	15:00	3630	2770	1960	1550	1350	15:00	2661	1900	1241	937	795
	16:00	2320	1830	1260	970	800	16:00	1766	1284	817	601	486
	17:00	1020	840	560	440	400	17:00	834	617	380	282	246
	18:00	360	310	210	170	150	18:00	204	170	112	90	78
23 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu					24 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida							
Iluminância estimada para o ambiente												
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
	08:00	1485	1009	591	415	333	08:00	1	1	1	0,83	0,67
	09:00	2143	1426	849	601	496	09:00	1	1	1	1	0,99
	10:00	9483	1416	822	567	460	10:00	1	1	1	1	0,92
	11:00	10893	1599	922	638	515	11:00	1	1	1	1	1
	12:00	11378	1914	1114	775	653	12:00	1	1	1	1	1
	13:00	11017	1619	931	641	520	13:00	1	1	1	1	1,04
	14:00	9669	1435	842	571	469	14:00	1	1	1	1	0,94
	15:00	2152	1443	863	615	503	15:00	1	1	1	1	1
	16:00	1475	997	584	408	321	16:00	1	1	1	0,82	0,64
	17:00	736	500	285	199	165	17:00	1	1	0,57	0,40	0,33
	18:00	122	96	61	47	41	18:00	0,24	0,19	0,12	0,09	0,08
Equinócio					ANUAL							
Setembro					PEE sazonal							
Média do potencial de economia					Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural							
87,0%					87,9%							
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural, desenvolvido por SCARAZZATO (1995)												

Figura 80 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 1 (sem prateleira de luz)

Planilha Modelo Reduzido 2 (Figuras 81 a 84)

Céu encoberto, parcialmente encoberto e claro (método 2)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 2 (prateleira de luz)										
Ambiente: Sala de escritório										Folha 1/4
Iluminância recomendada: 500 lux (NBR 5413)										
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância							
		0,85	Fator de depreciação							
Nº de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela							
Mês da avaliação: Dezembro										
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:										
céu claro 12%										
céu parcialmente encoberto 20%										
céu encoberto 68%										
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Verão										
Cálculo para o dia típico de verão - 22 de dezembro										
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição					Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5					
1 Estimativa para céu encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
12.400	08:00	335	446	273	186	149				
16.100	09:00	435	580	354	242	193				
18.900	10:00	510	680	416	284	227				
20.700	11:00	559	745	455	311	248				
21.300	12:00	575	767	469	320	256				
20700	13:00	559	745	455	311	248				
18.900	14:00	510	680	416	284	227				
16.100	15:00	435	580	354	242	193				
12.400	16:00	335	446	273	186	149				
8100	17:00	219	292	178	122	97				
3.500	18:00	95	126	77	53	42				
2 Estimativa para céu claro										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	970	980	590	370	260				
	09:00	1570	1180	650	340	230				
	10:00	1780	1540	800	390	270				
	11:00	2080	1790	920	470	280				
	12:00	2290	1970	1020	520	370				
	13:00	2180	1830	1010	490	330				
	14:00	1820	1570	820	450	290				
	15:00	1370	1230	740	370	260				
	16:00	980	1020	600	380	270				
	17:00	440	570	380	270	210				
	18:00	310	430	270	220	170				
3 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00									
	09:00									
	10:00									
	11:00									
	12:00									
	13:00									
	14:00									
	15:00									
	16:00									
	17:00									
	18:00									
4 Estimativa para céu parcialmente encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	652	713	431	278	204				
	09:00	1002	880	502	291	212				
	10:00	1145	1110	608	337	248				
	11:00	1319	1268	688	390	264				
	12:00	1433	1368	744	420	313				
	13:00	1369	1288	733	400	289				
	14:00	1165	1125	618	367	258				
	15:00	902	905	547	306	227				
	16:00	657	733	436	283	209				
	17:00	329	431	279	196	154				
	18:00	202	278	174	136	106				
5 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu										
Iluminância estimada para o ambiente										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	475	564	343	226	173				
	09:00	684	712	419	263	201				
	10:00	790	870	500	307	236				
	11:00	894	975	558	346	255				
	12:00	952	1032	590	364	281				
	13:00	916	984	577	350	266				
	14:00	798	876	505	320	241				
	15:00	640	723	439	270	208				
	16:00	477	573	345	229	175				
	17:00	267	353	223	154	122				
	18:00	142	193	119	89	70				
6 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida										
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
	08:00	0,95	1	0,69	0,45	0,36				
	09:00	1	1	0,84	0,53	0,40				
	10:00	1	1	1	0,61	0,47				
	11:00	1	1	1	0,69	0,51				
	12:00	1	1	1	0,73	0,56				
	13:00	1	1	1	0,70	0,53				
	14:00	1	1	1	0,64	0,48				
	15:00	1	1	0,88	0,54	0,42				
	16:00	0,95	1	0,69	0,46	0,36				
	17:00	0,53	0,71	0,45	0,31	0,24				
	18:00	0,28	0,39	0,24	0,18	0,14				
Solstício de verão										
Dezembro PEE sazonal										
Média do potencial de economia										
70,7%										
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)										

Figura 81 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia – Modelo 2 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 2 (prateleira de luz)									
Ambiente: Sala de escritório									
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)									
Propriedades do vidro:									
		0,9		Transmitância					
		0,85		Fator de depreciação					
Nº de pontos medidos: 5 Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela									
Mês da avaliação: Dezembro									
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:									
						céu claro		26,75%	
						céu parcialmente encoberto		19,75%	
						céu encoberto		53,5%	
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia – Outono									
Cálculo para um dia típico de equinócio - 21 de março									
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)				
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8				
Pontos de medição					Pontos de medição				
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5				
7 Estimativa para céu encoberto					8 Estimativa para céu claro				
Iluminância estimada para o ambiente									
Iluminação externa									
FLD (%)									
HORA									
2,7% 3,6% 2,2% 1,5% 1,2%									
P1 P2 P3 P4 P5									
10.100 08:00 273 364 222 152 121									
14.100 09:00 381 508 310 212 169									
17.200 10:00 464 619 378 258 206									
19.100 11:00 516 688 420 287 229									
19.800 12:00 535 713 436 297 238									
19.100 13:00 516 688 420 287 229									
17.200 14:00 464 619 378 258 206									
14.100 15:00 381 508 310 212 169									
10.100 16:00 273 364 222 152 121									
5.400 17:00 146 194 119 81 65									
400 18:00 11 14 9 6 5									
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA									
P1 P2 P3 P4 P5									
08:00 1170 1200 620 360 240									
09:00 1610 1700 780 390 250									
10:00 1880 1920 870 440 260									
11:00 2010 2030 930 460 290									
12:00 2100 2150 980 490 300									
13:00 1980 2090 940 490 260									
14:00 1890 2040 860 400 320									
15:00 1460 1760 790 410 280									
16:00 1210 1240 650 390 290									
17:00 540 550 330 210 140									
18:00 150 190 130 100 70									
9 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana					10 Estimativa para céu parcialmente encoberto				
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA									
P1 P2 P3 P4 P5									
08:00									
09:00									
10:00									
11:00									
12:00									
13:00									
14:00									
15:00									
16:00									
17:00									
18:00									
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA									
P1 P2 P3 P4 P5									
08:00 721 782 421 256 181									
09:00 995 1104 545 301 210									
10:00 1172 1270 624 349 233									
11:00 1263 1359 675 373 260									
12:00 1317 1431 708 394 269									
13:00 1248 1389 680 388 245									
14:00 1177 1330 619 329 263									
15:00 920 1134 550 311 225									
16:00 741 802 436 271 206									
17:00 343 372 224 146 102									
18:00 80 102 69 53 37									
11 Média ponderada de acordo com a freqüência de ocorrência do tipo de céu					12 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida				
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA									
P1 P2 P3 P4 P5									
08:00 601 670 368 228 165									
09:00 831 944 482 277 199									
10:00 983 1096 558 325 226									
11:00 1063 1179 607 350 251									
12:00 1108 1239 635 368 260									
13:00 1052 1201 611 361 240									
14:00 987 1140 555 310 248									
15:00 776 966 486 284 210									
16:00 616 685 379 239 183									
17:00 290 325 196 128 92									
18:00 62 79 53 40 29									
Iluminância estimada para o ambiente									
HORA									
P1 P2 P3 P4 P5									
08:00 1 1 0,74 0,46 0,33									
09:00 1 1 0,96 0,55 0,40									
10:00 1 1 1 0,65 0,45									
11:00 1 1 1 0,70 0,50									
12:00 1 1 1 0,74 0,52									
13:00 1 1 1 0,72 0,48									
14:00 1 1 1 0,62 0,50									
15:00 1 1 0,97 0,57 0,42									
16:00 1 1 0,76 0,48 0,37									
17:00 0,58 0,65 0,39 0,26 0,18									
18:00 0,12 0,16 0,11 0,08 0,06									
Equinócio									
Março PEE sazonal									
Média do potencial de economia									
69,9%									
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)									

Figura 82 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 2 (prateleira de luz)												
Ambiente: Sala de escritório										Folha 3/4		
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)												
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância									
		0,85	Fator de depreciação									
N° de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela									
Mês da avaliação: Dezembro												
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:												
céu claro 37%												
céu parcialmente encoberto 12%												
céu encoberto 51%												
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Inverno												
Cálculo para um dia típico de equinócio - 22 de junho												
Distância da janela à parede oposta (m)												
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8												
Pontos de medição												
P1 P2 P3 P4 P5												
Distância da janela à parede oposta (m)												
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8												
Pontos de medição												
P1 P2 P3 P4 P5												
13 Estimativa para céu encoberto						14 Estimativa para céu claro						
Iluminância estimada para o ambiente						Iluminância estimada para o ambiente						
Iluminação externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%	HORA	P1	P2	P3	P4	P5
6.000	08:00	162	216	132	90	72	08:00	770	730	490	320	230
9.700	09:00	262	349	213	146	116	09:00	2090	2060	1450	970	700
12.500	10:00	338	450	275	188	150	10:00	2870	2940	2150	1490	1090
14.300	11:00	386	515	315	215	172	11:00	3050	3320	2370	1590	1140
14.900	12:00	402	536	328	224	179	12:00	3190	3480	2480	1670	1200
14.300	13:00	386	515	315	215	172	13:00	2900	3100	2150	1410	1110
12.500	14:00	338	450	275	188	150	14:00	2620	2860	2020	1360	980
9.700	15:00	262	349	213	146	116	15:00	2380	2550	1800	1210	880
6.000	16:00	162	216	132	90	72	16:00	840	800	560	330	260
1.700	17:00	46	61	37	26	20	17:00	310	300	210	130	110
300	18:00	8	11	7	5	4	18:00	70	51	30	15	10
15 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana						16 Estimativa para céu parcialmente encoberto						
Iluminância estimada para o ambiente						Iluminância estimada para o ambiente						
HORA	P1	P2	P3	P4	P5	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	
08:00						08:00	466	473	311	206	151	
09:00						09:00	1176	1205	832	558	408	
10:00						10:00	1604	1695	1213	839	620	
11:00						11:00	1718	1917	1342	902	656	
12:00						12:00	1796	2008	1404	947	689	
13:00						13:00	1643	1807	1232	812	641	
14:00						14:00	1479	1655	1148	774	565	
15:00						15:00	1321	1450	1007	678	498	
16:00						16:00	501	508	346	210	166	
17:00						17:00	178	181	124	78	65	
18:00						18:00	39	31	18	10	7	
17 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu						18 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida						
Iluminância estimada para o ambiente						Iluminância estimada para o ambiente						
HORA	P1	P2	P3	P4	P5	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	
08:00	423	437	286	189	140	08:00	0,85	0,87	0,57	0,38	0,28	
09:00	1048	1085	745	500	367	09:00	1	1	1	1	0,73	
10:00	1426	1521	1081	748	554	10:00	1	1	1	1	1	
11:00	1532	1721	1198	806	588	11:00	1	1	1	1	1	
12:00	1601	1802	1253	845	618	12:00	1	1	1	1	1	
13:00	1467	1626	1104	729	575	13:00	1	1	1	1	1	
14:00	1319	1486	1025	692	507	14:00	1	1	1	1	1	
15:00	1173	1296	896	603	445	15:00	1	1	1	1	0,89	
16:00	454	467	316	193	153	16:00	0,91	0,93	0,63	0,39	0,31	
17:00	159	164	112	70	59	17:00	0,32	0,33	0,22	0,14	0,12	
18:00	35	28	17	9	6	18:00	0,07	0,06	0,03	0,02	0,01	
Solstício de inverno												
Junho						PEE sazonal						
Média do potencial de economia												
76,5%												
Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)												

Figura 83 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL- MODELO 2 (prateleira de luz)										
Ambiente: Sala de escritório										Folha 4/4
Iluminância recomendada: 300 lux (NBR 5413)										
Propriedades do vidro:		0,9	Transmitância							
		0,85	Fator de depreciação							
N° de pontos medidos:		5	Pontos dispostos em um linha central no eixo da janela							
Mês da avaliação: Dezembro										
Frequência de ocorrência dos tipos de céu para o período de verão:										
céu claro 16,5%										
céu parcialmente encoberto 14,5%										
céu encoberto 69%										
Estimativa da iluminância e Potencial de Conservação de Energia - Primavera										
Cálculo para um dia típico de equinócio - 24 de setembro										
Distância da janela à parede oposta (m)					Distância da janela à parede oposta (m)					
0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					0,64 1,93 3,22 4,51 5,8					
Pontos de medição					Pontos de medição					
P1 P2 P3 P4 P5					P1 P2 P3 P4 P5					
19 Estimativa para céu encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
Iluminação externa	FLD (%)	2,7%	3,6%	2,2%	1,5%	1,2%				
	HORA	P1	P2	P3	P4	P5				
10.100	08:00	273	364	222	152	121				
14.100	09:00	381	508	310	212	169				
17.200	10:00	464	619	378	258	206				
19.100	11:00	516	688	420	287	229				
19.800	12:00	535	713	436	297	238				
19.100	13:00	516	688	420	287	229				
17.200	14:00	464	619	378	258	206				
14.100	15:00	381	508	310	212	169				
10.100	16:00	273	364	222	152	121				
5.400	17:00	146	194	119	81	65				
400	18:00	11	14	9	6	5				
20 Estimativa para céu claro										
Iluminância estimada para o ambiente										
HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00	1170	1200	620	360	240					
09:00	1610	1700	780	390	250					
10:00	1880	1920	870	440	260					
11:00	2010	2030	930	460	290					
12:00	2100	2150	980	490	300					
13:00	1980	2090	940	490	260					
14:00	1890	2040	860	400	320					
15:00	1460	1760	790	410	280					
16:00	1210	1240	650	390	290					
17:00	540	550	330	210	140					
18:00	150	190	130	100	70					
21 Estimativa para céu claro. Redução de 60% da iluminância devido ao uso de persiana										
Iluminância estimada para o ambiente										
HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00										
09:00										
10:00										
11:00										
12:00										
13:00										
14:00										
15:00										
16:00										
17:00										
18:00										
22 Estimativa para céu parcialmente encoberto										
Iluminância estimada para o ambiente										
HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00	721	782	421	256	181					
09:00	995	1104	545	301	210					
10:00	1172	1270	624	349	233					
11:00	1263	1359	675	373	260					
12:00	1317	1431	708	394	269					
13:00	1248	1389	680	388	245					
14:00	1177	1330	619	329	263					
15:00	920	1134	550	311	225					
16:00	741	802	436	271	206					
17:00	343	372	224	146	102					
18:00	80	102	69	53	37					
23 Média ponderada de acordo com a frequência de ocorrência do tipo de céu										
Iluminância estimada para o ambiente										
HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00	486	562	317	201	149					
09:00	673	791	422	254	188					
10:00	801	928	495	301	219					
11:00	871	1006	541	328	244					
12:00	906	1054	565	343	252					
13:00	863	1021	544	335	237					
14:00	803	957	493	292	233					
15:00	637	805	424	259	196					
16:00	495	572	324	208	161					
17:00	239	279	169	112	83					
18:00	44	56	38	28	20					
24 Potencial de economia de energia (%) = ilum. prevista/ iluminância requerida										
HORA	P1	P2	P3	P4	P5					
08:00	0,97	1	0,63	0,40	0,30					
09:00	1	1	0,84	0,51	0,38					
10:00	1	1	0,99	0,60	0,44					
11:00	1	1	1	0,66	0,49					
12:00	1	1	1	0,69	0,50					
13:00	1	1	1	0,67	0,47					
14:00	1	1	0,99	0,58	0,47					
15:00	1	1	0,85	0,52	0,39					
16:00	0,99	1	0,65	0,42	0,32					
17:00	0,48	0,56	0,34	0,22	0,17					
18:00	0,09	0,11	0,08	0,06	0,04					
Equinócio										
Setembro		PEE sazonal								
Média do Potencial de economia		67,0%								
ANUAL		PEE anual								
Média do potencial de economia devido ao uso da luz natural		71,0%								

Obs: Os valores da iluminação externa foram retirados do programa DLN (Disponibilidade de Luz Natural), desenvolvido por SCARAZZATO (1995)

Figura 84 - Planilha de estimativa de iluminância e potencial de economia de energia - Modelo 2 (sem prateleira de luz)

6.1.5 Fotografia do Interior do Modelo Reduzido - Análise Qualitativa

O conforto visual não está relacionado apenas com a obtenção do nível mínimo de iluminação necessário para determinada tarefa. Relaciona-se também ao controle do ofuscamento e ao contraste apropriado entre os elementos no campo visual.

O modelo reduzido é uma ferramenta adequada para este tipo de análise, uma vez que é possível verificar as condições da iluminação e insolação através da observação visual ou registros fotográficos. As fotografias são úteis, pois permitem comparar, para diversas situações, se há ocorrência do ofuscamento direto e indireto, devido à penetração do sol ou áreas com valores elevados de iluminância.

Recomenda-se que esta avaliação seja realizada em pelo menos três estações do ano (solstício de verão, solstício de inverno e equinócio), com o objetivo de verificar a influência das diferentes altitudes solares, próprias de cada período.

As figuras 83 a 92 exemplificam os aspectos qualitativos no interior dos modelos 1 e 2, simulados para o solstício de inverno com o auxílio do relógio do sol. Através da sequência de imagens é possível comparar as estratégias de iluminação nos dois casos. No modelo 1, que não possui proteção solar, ocorre a penetração direta do sol no plano de trabalho, provocando ofuscamento e uma desuniformidade da distribuição das iluminâncias, devido a um forte contraste entre a área próxima à janela e o fundo do ambiente. O modelo 2 possui uma iluminação mais uniforme, pois a prateleira de luz funciona como proteção solar, diminuindo sensivelmente os altos níveis de iluminação próximos à abertura. Como o ambiente analisado é um escritório, a penetração do sol no plano de trabalho provoca o ofuscamento. Para evitar esta incidência em horários inoportunos, os usuários provavelmente utilizarão elementos de controle interno como, por exemplo, persianas. Estes elementos ocasionam o escurecimento de todo o ambiente, além impedir a integração do usuário com o exterior.

Caso o modelo 1 fosse a representação de um dormitório, a insolação no período de inverno seria uma estratégia interessante de projeto, pois proporcionaria temperaturas mais confortáveis nesta época do ano para o ambiente localizado na cidade de São Paulo.



Figura 85 - Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 9h



Figura 86 - Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 9h

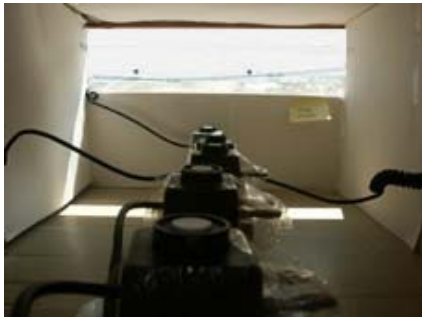


Figura 87- Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 11h



Figura 88 - Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 11h



Figura 89- Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 13h



Figura 90 - Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 13h



Figura 91 - Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 15h



Figura 92 - Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 15h



Figura 93- Modelo 1. Penetração solar - 22 de junho às 17h



Figura 94- Modelo 2. Penetração solar - 22 de junho às 17h

6.1.6 Análise dos Resultados

Através de uma comparação entre os dois sistemas testados observa-se que o modelo reduzido 1, sem prateleira de luz, teve os níveis de iluminação bem superiores àqueles observados no modelo reduzido com este dispositivo.

O método 1 apresentou como resultado do potencial de economia energética para o modelo 1 (sem prateleira de luz) o valor de 73% e para o modelo 2 (com prateleira de luz) 54%. Este resultado deve ser entendido como o desempenho mínimo dos modelos visto que o método 1 considera apenas a pior condição de projeto.

Os valores apresentados segundo o método 2 foram: 88% para o modelo 1 e 71% para o modelo 2. Este método caracteriza um desempenho médio da iluminação natural e possuiu uma avaliação mais detalhada, visto que considera as três condições de céu.

O fato do modelo 1 (sem prateleira de luz) ter apresentado resultados superiores ao modelo 2 (com prateleira de luz) não significa que esta é a melhor opção de projeto. O desempenho luminoso dos modelos deve ser avaliado sob diversos aspectos, considerando-se as questões quantitativas e qualitativas. Deve-se ressaltar que o resultado do desempenho energético apresentado pelos métodos considera, apenas a economia proveniente do aproveitamento da iluminação natural. Outras variáveis, que também interferem nos aspectos energéticos, como as questões térmicas, não são consideradas pelos métodos 1 e 2.

A observação visual dos modelos reduzidos e os registros fotográficos serviram como informações complementares à análise quantitativa. Verificou-se que o modelo 1 (sem prateleira de luz) permite a penetração da luz direta, no solstício de inverno (Figuras 85,87,89, 91 e 93) e equinócios ao passo que o modelo 2 (com prateleira de luz) impede esta incidência. Assim, podemos concluir que nos casos em que houver incidência direta o sistema de prateleira de luz serviu como um brise de proteção para a abertura voltada à face norte, evitando, desta forma, o ofuscamento no interior do modelo. O modelo 1, que não possui nenhum sistema de sombreamento, permite a penetração solar em locais e horários indesejáveis. Este fato resulta no acionamento de sistemas de proteção internos pelos usuários. Os pontos negativos destes sistemas são que estes diminuem a iluminância em todo o

ambiente, impedem o contato visual dos usuários com o exterior, além de não impedir o aumento da carga térmica.

Sob o aspecto luminoso, observou-se que o sistema de prateleira de luz não apresentou um ganho significativo de iluminação nas áreas de maior profundidade do ambiente como era esperado (Gráficos 8 a 19). Este sistema apresentou, para a condição testada, uma baixa eficácia no desempenho luminoso, principalmente sob condição de céu encoberto, pois o redirecionamento da luz difusa que atinge a superfície da prateleira não tem o mesmo vigor que o proveniente da luz direta do Sol.

Considerando que durante 60%⁴ do tempo em São Paulo prevalece a ocorrência de céu encoberto, com porcentagem de cobertura entre 75% a 100% (Apêndice B), pode-se concluir que o sistema de prateleira de luz analisado proporciona uma baixa eficiência luminosa ao longo do ano, não contribuindo de forma efetiva para o aumento dos níveis de iluminação. As vantagens proporcionadas por este sistema são mais evidentes sob condição de céu claro: Entre elas podemos citar: maior uniformidade na distribuição da luz, sombreamento solar e proteção contra ofuscamento (Figuras 86, 88, 90, 92 e 94).

Os gráficos 8 a 19 apresentados a seguir, representam os níveis médios de iluminação, segundo a frequência de ocorrência do céu, para os modelos reduzidos 1 e 2. O modelo reduzido 2 apresenta maior uniformidade da iluminação que pode ser observada através das curvas mais suaves, em comparação àquelas apresentadas pelo modelo reduzido 1.

Considerando-se todos os requisitos necessários para um ambiente de trabalho, pode-se concluir que a estratégia de iluminação do modelo 2 atinge de forma mais propícia aos objetivos pretendidos. Apesar do potencial de economia de energia do modelo 2 (71%) ser inferior ao do modelo 1 (88%), o resultado foi considerado satisfatório. Estes valores são resultados dos procedimentos propostos pelo método

⁴ Este dado foi obtido através da tabulação realizada pela autora desta pesquisa, considerando os dados de nebulosidade durante o período de 1993 a 2005, fornecidos pelo IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP) (Apêndice B). O valor apresentado refere-se a média da frequência de ocorrência para céu encoberto nas quatro estações do ano, durante o período de 13 anos. Cabe salientar que esta caracterização de céu encoberto engloba a nebulosidade que varia de 75% a 100%. Portanto não refere-se apenas ao céu totalmente encoberto (100%), padrão CIE. Outra observação a este respeito é que a nebulosidade média anual em São Paulo é 6,4 (parcialmente encoberto), segundo Mascaró (1985).

2, que proporciona uma análise mais completa em relação ao método 1. Outras questões consideradas para a escolha do sistema de iluminação mais propício foram: uniformidade e proteção contra a incidência direta da radiação solar no plano de trabalho.

É possível melhorar o desempenho luminoso do modelo 2, com o objetivo de aumentar a iluminação nos pontos mais profundos do ambiente. Para isto, recomenda-se testar a prateleira de luz em relação à inclinação deste sistema e aprimorar a superfície de reflexão da mesma.

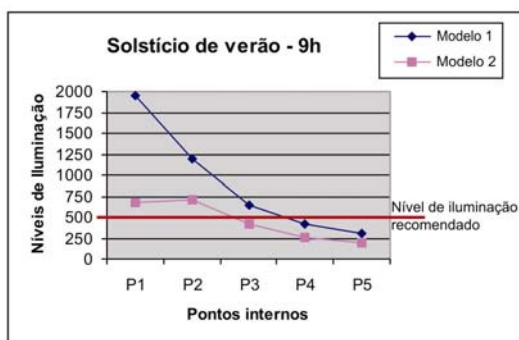


Gráfico 36 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 9h)

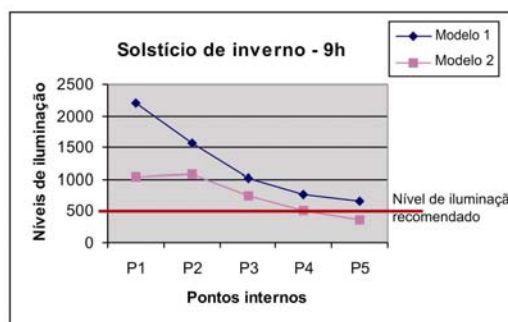


Gráfico 37 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 9h)

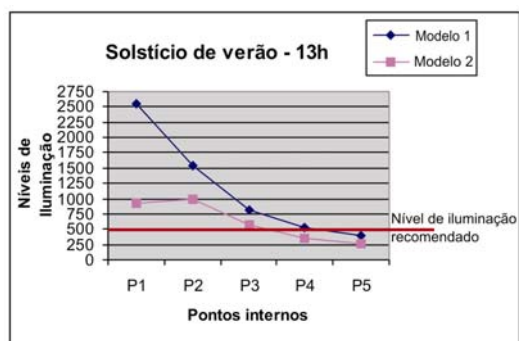


Gráfico 38 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 13h)

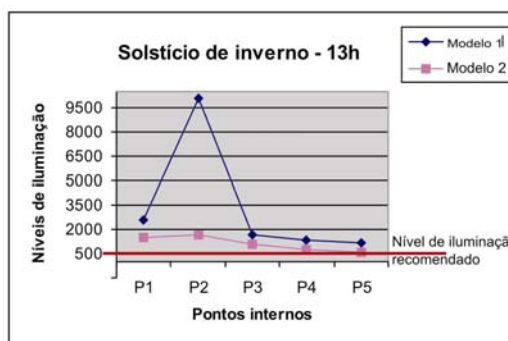


Gráfico 39 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 13h)

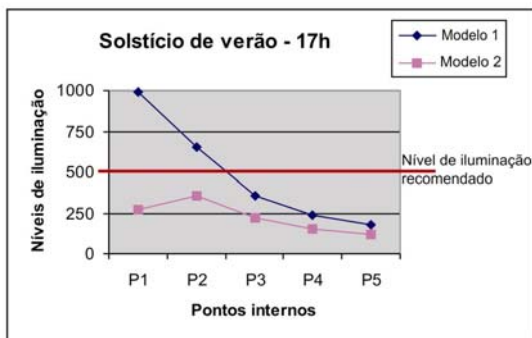


Gráfico 40 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de dezembro às 17h)

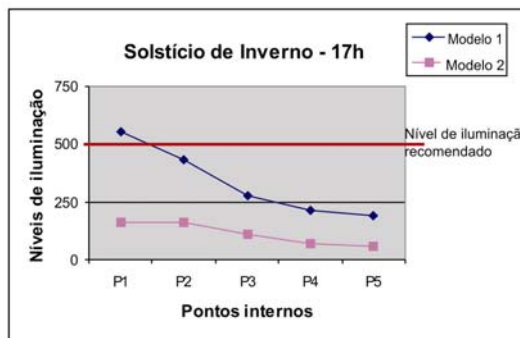


Gráfico 41 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2 (22 de junho às 17h)

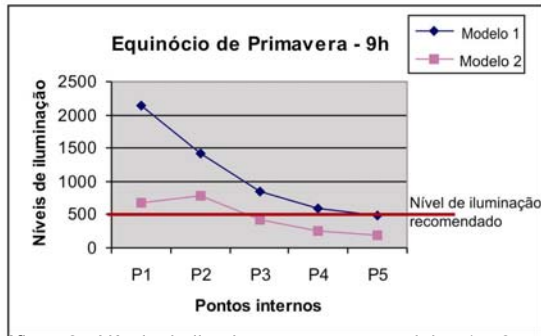


Gráfico 42 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(24 de setembro às 9h)

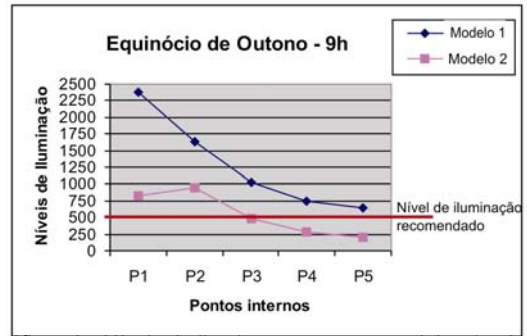


Gráfico 43 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(21 de março às 9h)

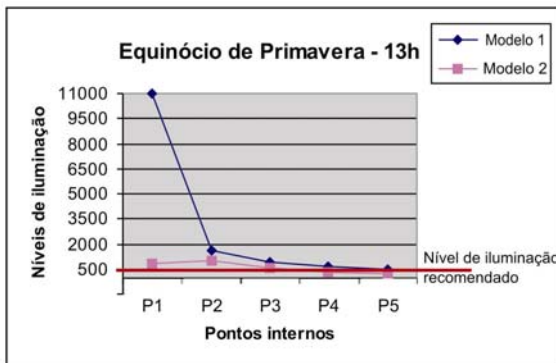


Gráfico 44 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(24 de setembro às 13h)

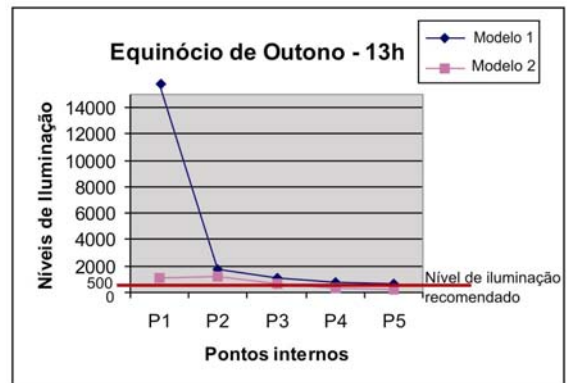


Gráfico 45 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(21 de março às 13h)

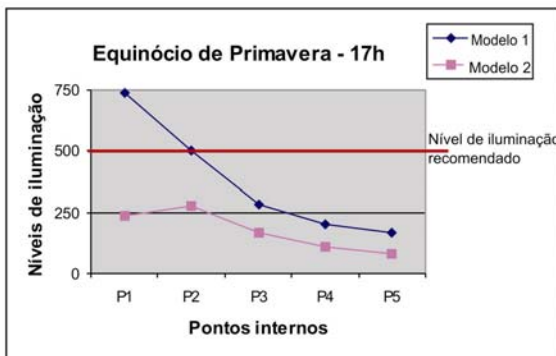


Gráfico 46 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(24 de setembro às 17h)

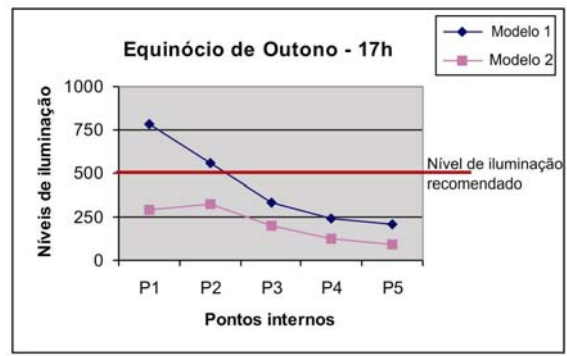


Gráfico 47 - Níveis de iluminação para os modelos 1 e 2
(21 de março às 17h)

6.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um bom desempenho do sistema de iluminação ocorre quando ambos os aspectos da iluminação nos ambientes, quantitativo e qualitativo, apresentam-se de forma equilibrada. O uso dos modelos reduzidos possibilita esta análise pois permite a avaliação visual e fotométrica simultânea.

Experimentos sob condição de céu real exigem dedicação e paciência do

pesquisador devido à imprevisibilidade das condições do céu. O pesquisador torna-se dependente das condições meteorológicas, sendo difícil programar com exatidão o dia das medições e algumas vezes tendo que interrompê-las, devido às alterações climáticas que possam ocorrer durante a realização das mesmas. Estes contratempos atrasam o processo experimental e exigem disponibilidade de tempo para a pesquisa.

Outra questão a ser considerada é que medições em modelos reduzidos, sob condição de céu real, devem ser conduzidas em locais desobstruídos para evitar a interferência de objetos e edificações em escala real, que prejudicam os resultados. No espaço urbano é difícil encontrar locais com tal característica e uma solução para o problema é a realização das medições nas coberturas das edificações. Algumas coberturas apresentam dificuldades de acesso, assim deve-se planejar a construção do modelo reduzido de forma que este seja transportado facilmente, além de ser robusto o suficiente para suportar as intempéries.

Ambos os métodos apresentados demonstram o potencial máximo de economia de energia, para a pior condição de projeto, no caso do método 1, e para condição média de projeto, no caso do método 2. Isto significa que haverá o aproveitamento da luz natural disponível, através do sistema de dimerização das lâmpadas. Este mecanismo ajusta o nível de iluminação artificial para atingir um nível pré-determinado, levando em consideração a luz natural disponível no ambiente. Porém, caso seja utilizado um sistema de controle da iluminação artificial menos eficiente, o potencial de economia de energia será inferior aos valores calculados pelos métodos 1 e 2.

A escolha do método mais apropriado para a avaliação em modelos reduzidos depende das seguintes questões: da profundidade da análise requerida, do tempo disponível para a verificação e das características do projeto que devem ser estudadas. Nos casos em que houver sistemas de redirecionamento da luz direta recomenda-se a inclusão da análise para dias de céu claro que é contemplada pelo método 2.

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

PARTE 4

CONCLUSÕES

7.1 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Diferentes tipos de ferramentas para a avaliação da iluminação natural foram apresentadas nesta dissertação, entre as quais podemos citar:

- ferramentas de cálculo manuais, que são indicadas para fases iniciais de projeto, proporcionando, desta forma, parâmetros preliminares dos aspectos que interferem na iluminação natural;
- os programas de simulação computacional, que possibilitam a análise de sistemas avançados de fenestração e cálculos detalhados de eficiência energética ;
- os modelos reduzidos que se apresentam como uma ferramenta de simples aplicação entre arquitetos e profissionais da área, pois a execução dos mesmos constitui-se uma prática consagrada no ensino da arquitetura.

Entre estes métodos apresentados, os modelos reduzidos e os programas de simulação computacional apresentam um maior potencial de análise, se comparados aos métodos de cálculo manuais, pois possibilitam a avaliação qualitativa através da visualização do espaço projetado.

Os métodos manuais permitem que a análise seja feita para uma situação por vez, isto é, para cada ponto individual do ambiente, sendo necessários diversos cálculos se a intenção for caracterizar a distribuição de luz no ambiente. As ferramentas manuais para avaliação da iluminação natural são bastante úteis durante as etapas iniciais do projeto, fornecendo os parâmetros preliminares. Se objetivo for avaliar estratégias detalhadas e sistemas avançados de iluminação natural, recomenda-se recorrer a outras ferramentas de análise.

Simulação computacional é uma prática recente no ensino da arquitetura. Os programas mais avançados exigem tempo para a aprendizagem. Porém, uma vez que o usuário possua o domínio sobre a sua utilização, esta ferramenta apresenta diversas vantagens. Entre elas pode-se citar a flexibilidade para se fazer

modificações rapidamente no modelo eletrônico, possibilitando a avaliação de diversas propostas.

Dependendo do sistema de iluminação que será avaliado, deve-se escolher o modelo computacional apropriado para tal finalidade. Assim, torna-se imprescindível desvendar a “caixa preta” por trás dos algoritmos dos programas, verificando, desta forma, se as potencialidades e limitações dos mesmos permitem alcançar os objetivos pretendidos na análise.

Os programas de simulação computacional apresentam-se como a ferramenta de avaliação com maior potencial de evolução para o futuro, mas a precisão dos resultados está intimamente ligada à capacidade dos usuários em utilizar corretamente esta ferramenta.

A grande vantagem no uso dos modelos reduzidos é o fato de ser um método de fácil aplicação para arquitetos e profissionais da área. Permite a modelagem de ambientes com geometrias complexas e apresentam um boa correlação dos valores de iluminância em ambientes reais correspondentes, quando construídos de maneira apropriada.

O modelos reduzido consome tempo para a execução, porém já é uma técnica conhecida, não sendo nenhum problema para os arquitetos, principalmente para aqueles que possuem facilidades em atividades manuais. Algumas desvantagens do método são:

- Exigência de uma boa instrumentação fotométrica para análises quantitativas,
- No caso de medições realizadas sob céu real é necessário esperar pela condição ideal do céu (encoberto e claro) para a realização das medições,
- Alguns materiais e detalhes arquitetônicos não são fáceis de serem reproduzidos em escala, o que pode resultar em distorções nas análises.

Todos os modelos empregados para a análise da iluminação natural, sejam eles, manuais, computacionais ou modelos reduzidos são reducionistas, por sua própria natureza e, por isto, incapazes de reproduzir fielmente a realidade.

As ferramentas apresentadas têm um papel importante na caracterização dos sistemas de iluminação natural das edificações, ajudando os projetistas nas tomadas de decisões durante o projeto. A escolha da ferramenta adequada deve ser feita de

acordo com as qualidades e limitações do modelo empregado e a fase de detalhamento em que se encontra o projeto.

7.2 PERSPECTIVAS PARA PESQUISAS FUTURAS

Sugere-se, para trabalhos posteriores, as seguintes linhas de pesquisa:

- Estudos que comparem medições em modelos reduzidos àquelas realizadas no ambiente real correspondente para diversas situações: modelos com as aberturas voltadas para diferentes orientações e configurações do entorno, assim como comparações com modelos reduzidos que possuem geometrias complexas.
- Estudos que abordem de forma mais aprofundada os aspectos da percepção visual em modelos reduzidos, descrevendo procedimentos que permitam verificar e quantificar a proporção de contraste luminoso no interior dos mesmos, através de registros fotográficos e vídeos. Para tal, pode-se fazer um levantamento de softwares existentes que possibilitam a interpretação de imagens através da intensidade luminosa dos pixels nas mesmas.
- Estudos comparativos do desempenho da iluminação natural para diferentes estratégias de projeto,
- Estudos comparativos entre medições em modelos reduzidos e programas de simulação computacional,
- Estudos que abordem medições em modelos reduzidos sob condição de céu artificial.
- Estudos que desenvolvam metodologias para o tratamento de dados meteorológicos, para diversas localidades brasileiras, relacionados à disponibilidade de luz natural. Estas pesquisas poderão verificar a frequência de ocorrência para diversos tipos de céu. Recomenda-se, inclusive, relacionar os dados de radiação e nebulosidade para entender a influências das diversas configurações de nuvens aos dados de disponibilidade de luz natural.

7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A associação entre eficiência energética, sustentabilidade e conforto dos edifícios vem crescendo nos últimos anos. Em decorrência desta postura, tem crescido igualmente a busca por novos métodos de análise dos projetos e o aperfeiçoamento dos já consagrados.

Esta dissertação demonstrou que a utilização de modelos reduzidos pode auxiliar sobremaneira o desenvolvimento do projeto da iluminação natural, desde suas fases iniciais até os ajustes finos do projeto executivo, por meio da observação dos aspectos qualitativos e da avaliação quantitativa.

Através da revisão bibliográfica e comparações de iluminância realizadas entre um ambiente real e um modelo reduzido correspondente, pode-se afirmar que é comum ocorrer uma diferença em torno de 20% dos valores medidos para as duas situações, devido às dificuldades de modelar certas características da realidade. Este fato não invalida de forma alguma o uso dos modelos reduzidos para a análise da iluminação natural, principalmente, ao considerarmos os seguintes argumentos:

- A manipulação dos dados climáticos, utilizados para avaliar o desempenho das edificações, dá-se de uma forma relativa e aproximada. A disponibilidade de luz externa caracteriza-se pela variabilidade, devido ao movimento aparente do Sol, além de sofrer interferência direta das condições climáticas. Portanto é perfeitamente aceitável uma diferença em torno de 20% dos valores de iluminância previstos através dos modelos reduzidos e valores medidos em ambientes reais, considerando-se que os dados climáticos são variáveis incontroláveis e por isto as avaliações que incluem estes dados não são passíveis de uma rigidez da análise;
- A própria norma de iluminação artificial (ABNT, 1992) que estabelece os níveis de iluminância para os ambientes, permite uma variação em torno de 30% a 50% entre o nível de iluminância médio e o nível mínimo ou máximo, recomendados para uma determinada tarefa, dependendo das atividades a serem realizadas no interior da edificação e das características dos usuários.

A pesquisa realizada demonstrou procedimentos para a avaliação qualitativa e quantitativa da iluminação natural em modelos reduzidos. Foram apresentados dois

métodos que possibilitam determinar o potencial de economia de energia devido ao aproveitamento da iluminação natural. Através do método 1 é possível verificar as condições mínimas de iluminância interna nos modelos, sob condição de céu encoberto. O método 2 possibilita uma avaliação mais completa, pois inclui na avaliação diferentes tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto.

Ambos os métodos consideram que os Soltícios e Equinócios representam as quatro estações do ano. Este procedimento é uma forma de simplificar a questão, com o objetivo de facilitar a avaliação energética. Sabe-se, porém, que a conservação de energia está ligada intimamente ao sistema de iluminação artificial que deve ser projetado para complementar a luz natural, quando esta não for suficiente para suprir as necessidades do ambiente, além das questões térmicas que também interferem neste aspecto. A análise energética apresentada pelos métodos 1 e 2 relaciona-se apenas ao potencial de conservação de energia devido à utilização da iluminação natural, sem considerar o aumento da carga térmica devido à radiação solar. Para uma análise energética mais completa desta questão, os programas computacionais apresentam-se como uma ferramenta mais apropriada, pois possibilitam uma avaliação integrada através do balanço entre a iluminação natural e os ganhos térmicos, considerando inclusive o comportamento dos usuários em relação ao acionamento de sistemas de sombreamento internos. Estes programas permitem avaliações mais detalhadas através de simulações diárias no intervalo de 1h em 1h, durante todo o período analisado.

Verificou-se que a grande vantagem dos modelos reduzidos é que a sua construção já é um procedimento conhecido entre arquitetos e profissionais da área, possibilitando análises bastante próximas da realidade quando construídos de forma apropriada.

Uma desvantagem em utilizar esta ferramenta para análises quantitativas é a exigência de boa instrumentação fotométrica, indispensável para a realização das medições. Nem sempre todas as pessoas interessadas na aplicação deste método conseguem acessar os equipamentos necessários para tal finalidade. Este fato acaba por restringir a verificação quantitativa em modelos reduzidos, principalmente, aos pesquisadores e estudantes dos centros de ensino onde há instrumentação adequada disponível.

Por outro lado, a verificação qualitativa através de modelos reduzidos tem maiores

possibilidades de aplicação prática, não apenas nas universidades como também por profissionais da área. Este fato deve-se à simplicidade do procedimento que permite verificar os aspectos qualitativos da distribuição da luz nos ambientes através da observação visual do modelo ou de imagens registradas por vídeos e fotografias.

Outras limitações no uso dos modelos reduzidos consistem no elevado custo de execução dos mesmos e no tempo gasto em sua confecção. Deve-se considerar também as dificuldades enfrentadas por pesquisadores que realizam os testes sob condições reais, devido à imprevisibilidade das condições meteorológicas. Apesar desta desvantagem, os testes sob condição de céu real são mais econômicos do que aqueles realizados em céu artificial, além de não limitar a escala de construção dos modelos.

De acordo com as considerações expostas, pode-se afirmar que os modelos reduzidos têm um grande potencial de utilização para a avaliação da iluminação natural, principalmente, como ferramentas de ensino em faculdades de Arquitetura e Urbanismo. Isto porque o seu uso permite verificações simultâneas de questões qualitativas e quantitativas, despertando a sensibilidade e a análise crítica dos estudantes em relação aos aspectos ligados ao conforto visual e eficiência energética nas edificações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5413*: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *NBR 15215 -1*: Iluminação Natural - Parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. *NBR 15215-2*: Iluminação Natural - Parte 2: procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. *NBR 15215-3*: Iluminação Natural - Parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005c .

_____. *NBR 15215-4*: Parte 4 - verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição. Rio de Janeiro, 2005d.

ALTMANN, K.; APIAN-BENNEWITZ, P. Report on an investigation of the application and limits of currently available programme types for photorealistic rendering of light and lighting in architecture. The Kimbell Art Museum as a case study for Lightscape, Radiance and 3D-Studio MAX. 2001. Disponível em: < http://www.optic-simulation.com/radiance/render_vergleich/report.en.pdf>. Acesso em: 22 Sept. 2005.

ALUCCI, M. P. *Conforto Térmico, Conforto Lumínico e Conservação de Energia Elétrica*: procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificações. 1992. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

_____. Eficiência da iluminação natural: procedimento de cálculo/ software LUX1.0. NUTAU'2002 - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, 2002. São Paulo. Anais... São Paulo: NUTAU/FUPAM, 2002. p. 626-633. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em 05 jul. 2005.

AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética - Parte I. Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. Cadernos Eletrônicos da Pós - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2002. Disponível em : <<http://www.unb.br/fau/pesquisa/sustentabilidade/iluminacao/etc/parte1.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2006.

ANDER, G. D. *Daylighting*. Performance and design. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

ASSAF, L. O.; PEREIRA, F. O. R. Perspectivas de la eficiencia energética en la iluminación: desafíos para el desarrollo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. Anais do ENTAC & COTEDI - 2003, 2003. v. 1. p. 26-42. Disponível em: < www.infohab.org.br>. Acesso: 3 abr. 2006

ATIF, M. R.; LOVE, J.A; LITTLEFAIR, P. *Daylighting monitoring protocols & procedures for buildings*. Relatório produzido pela IEA (International Energy Agency) - Task 21/ Anex 29: Daylight in Buildings, Paris, 1997. 14 p. Disponível em: <http://www.iea-shc.org/task21/A_monitoring_protocol/nrcc41369.pdf> Acesso em: 14 Oct. 2005.

BAKER, N.; STEEMERS, K. *Daylighting design of buildings*. London: James & James, 2002.

BAKER, N.V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.A (editors). *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*. Publicado pela Commission of European Communities. James & James: London, 1993

BITTENCOURT, L. S.; FERREIRA, D. B. Simulação da iluminação natural no ambiente construído sob condições de céus parcialmente nublados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. Anais do ENTAC'2000... Salvador: EDUFBA, 2000. v.2, p.1400-1406. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 5 out. 2005.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. *The benefits of daylight through windows*. Lighting Research Center, 2003. Disponível em :< <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylightdividends/pdf/DaylightBenefits.pdf>> Acesso em: 08 Aug. 2005.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. DD73: 1982. Basic data for the design of buidings: daylight. London, 1982

BRYAN, H.; AUTIF, S. M. *Lighting daylighting analysis: a comparison*. School of Architecture Arizona State University, 2002. Disponível em: <<http://www.sbse.org/awards/docs/Autif.pdf>>. Acesso em 14 Sept. 2005.

BRYAN H. J. A simplified procedure for calculating the effects of daylight from clear skies. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, v.9, n.3, p. 142–151,1980.

BUNGE, M. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva.,1974

CABÚS, R. C. Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 4., e ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,8., 2005. Maceió. *Anais...* Maceió :ANTAC, 2005.p. 240-249.

CALIFORNIA ENERGY COMISSION, ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Advanced Lighting Guidelines*. New Building Institute, 2003. Disponível em: < <http://www.newbuildings.org/lighting.htm>>. Acesso em: 10 maio 2006.

CANNON-BROOKES, S. W. A. Simple scale models for daylighting design: analysis of sources of error in illumination prediction. *Lighting Research Technology*, v. 29, n. 3, p.135-142,1997.

CIAMPINI, F.; NEVES, A. A. R.; SCARAZZATO P. S. Simulação e Otimização de Painéis Defletores de Luz em Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE

CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2005, Maceió. Anais...Maceió: ANTAC, 2005. V1, p. 462-471.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE). *Daylight*. Publicação C.I.E. Nº 16 (E-3.2). Paris, CIE Central Bureau, 1970.

_____. S 011/E-2003. *Spatial distribution of daylight* - CIE standard general sky. Vienna, CIE Central Bureau, 2003.

CHRISTAKOU, E. D. *A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura*. 2004. 134p. Dissertação (Mestrado) - Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

CHVATAI, K. M.; PRATA, A.; ALFONSI, A.; CHEBEL, L. L.; KOWALTOWSKI, D.C. CORNELIE D.C. K.; RUSCHEI, R. C. Levantamento de ferramentas computacionais de auxílio ao projeto visando o conforto ambiental e sua aplicação no processo projetual. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU2000 - Tecnologia e Desenvolvimento, 2000, São Paulo. Anais...São Paulo: NUTAU2000, 2000

CLARO, A. *Modelo vetorial esférico para radiação aplicado à iluminação natural*. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado) Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

_____.; PEREIRA, F. O. R.; AGUIAR, G. P. Desenvolvimento do Protótipo do Software LuzSolar para Análise e Projeto de Iluminação Natural em Arquitetura e Urbanismo. In: FÓRUM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA CELESC, 1., 2003, Florianópolis. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5656/download/Relatorio_Final_CEEESC_PROJ_027-01.doc>. Acesso em: 14 set. 2005.

CLEAR website - Comfortable Low Energy Architecture. Disponível em: <<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/buildings/integration/zones.html>>. Acesso em 04 June 2005.

COMPAGNON, R. Radiance: a simulation tool for daylighting systems. In: Daylighting course on Radiance. [S.L.: s.n.] 1997. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/rc97tut.pdf>>. Acesso: 01/09/05.

COWAN, H. J.; GERO, J. S.; DING, G. D.; MUNCEY, R. W. *Models in architecture*. England: Elsevier, 1968.

CROPPER, P. *Predicting time-varying illuminance in complex spaces with lighting control systems*. Thesis (Doctor) - Institute of Energy and Sustainable Development of Montfort University, Leicester, Uk, 2001. Disponível em: <<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~pcc/phd/thesis.pdf>> Acesso em: 1Sept. 2005.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 5034-2: daylight in interiors: principles, Berlin, 1985. (Part 2).

ECHENIQUE, M. *La estructura del espacio urbano*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1975.

ECOMOD - UNIVERSITY OF VIRGINIA SCHOOL OF ARCHITECTURE. Disponível em: <<http://www.ecomod.virginia.edu/outin/index.html>>. Acesso em: 01 Sept. 2005.

EGAN, M. J. *Concepts in architectural lighting*. New York: McGraw-Hill, 1983.

ERHORN, H.; BOER J., DIRKSMOELLER, M. 1997. ADELIN - An Integrated Approach to Lighting Simulation. In: BUILDING SIMULATION '97. *Proceedings...* v. 1, p. 79-85. Disponível em: <<http://www.ibpsa.org/proceedings/bs97/papers/P301.PDF>> Acesso:20/09/05

FRANCO, I. M. *Desempenho de um brise - Soleil automático tipo prateleira de luz em função da luminosidade e temperatura*. 2003. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FROTA, A. B. *Geometria da Insolação*. São Paulo: GEROS, 2004.

GALASIO, A. D.; ATIF, M. R. *Applicability of daylighting computer modeling in real case studies: comparison between measured and simulated daylight availability and lighting consumption*. A Report of IEA SHC Task 21 / IEA ECBCS, Annex 29 Daylight in Buildings, 1998. Disponível em: <<http://www.ieashc.org/outputs/task21/nrcc42862.pdf>>. Acesso em: 27 Sept. 2005

GARROCHO, J. S.; AMORIM, C. N. D. Luz Natural e Projeto de Arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. *Anais* São Paulo : CLACS ENTAC 04, 2004. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 30 maio 2006.

GEEBELEN, B.; NEUCKERMANS, H. Optimizing daylight simulation for speed and accuracy. BUILDING SIMULATION '03, , *Proceedings...* International IBPSA Conference, 8., 2003. v.1, p. 379-386. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/PDFs/BS03%20Papers/BS03_0379_386.pdf> Acesso: 22/09/05

GOULDING J., LEWIS, J. O. e STEEMERS T. C. (editores). *Energy conscious design – a primer for architects*. Commission of the European Communities – London: B.t.Batsford, 1992.

GRAZIANO JUNIOR, S. F. C. G. *Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo lightshelf*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em:<<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/1391.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2005.

HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P. and LONGMORE, J. *Iluminação Natural*. Lisboa: Fundação Kalouste Gulbenkian, 1975.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES. IRAM AADL J20-02, 1969

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Daylight in buildings - A source book on daylighting systems and components*. Relatório produzido pela IEA - Task 21/ Annex

29: Daylight in Buildings. Julho, 2000. Disponível em :
<<http://gaia.lbl.gov/iea21/ieadownload.htm>> Acesso em: 20 June 2005

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IESNA). *IES Lighting Handbook. Reference and application.* " 8th ed. New York: IESNA, 1998.

_____. *RP-5: Recommended practice of daylighting.* New York: IES, 1979.

_____. *RP-5-99: Recommended practice of daylighting -* Daylighting Committee. New York: The Society, 1999.

JARVIS, D.; Donn, M. 1997. *Comparison of computer and model simulations of a daylight interior with reality.* In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION '97, 1997, Prague. *Proceedings...* IBPSA: v. 3, p. 9-16. Disponível em <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1997/BS97_P086.pdf> Acesso em:14/ Sept. 2005.

JOTA, P. R. da S.; BRACARENSE, M. S. S. Analyses of daylight inside buildings using multi-level factorial design. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHTECTURE, 18., 2001, Florianópolis. *Anais...*Florianópolis, 2001. p.217-218.

INANICI , M. N. Application of the state-of-the-art computer simulation and visualization in architectural lighting research. 2001. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION'01, 7., 2001, Rio de Janeiro. *Proceedings...* IBPSA, 2001, p. 1175-1182. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01_1175_1182.pdf >. Acesso em: 25 Sept. 2005.

JR, J. M. E.; SCHREPPLER, S.; NEWSOM, T. Daylighting Prediction Software: Comparative Analysis and Application. In: IMPROVING BUILDING SYSTEMS IN HOT AND HUMID CLIMATES, 4., 2004, Estes, USA. Disponível em: <<http://www.estesmclure.com/research/Daylighting.pdf>>. Acesso em 28 Sept. 2005.

KODULEV, A.; KOPYLOV, E. *Physically accurate lighting simulation in computer graphics software.* In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND VISUALIZATION, 6., 1996, St. Petersburg,. Disponível em : <http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/pals/introduction.htm>. Acesso em: 29 Sept. 2005.

KROCHMANN J. The calculation of daylight factor for clear sky components. In: THE CIE INTERSESSIONAL CONFERENCE, SUNLIGHT IN BUILDINGS; 1965, Paris. *Proceedings...* p. 287–301.

LARSON, G. W. *The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System.* Computer Graphics. In: SIGGRAPH CONFERENCE, 94., 1994, [S.L.]. *Proceedings:* p. 459-72, julho de 1994. Disponível em: <<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/raytrace/radiance/intro.html#Begin>> Acesso em: 17 Sept. 2005.

LAM, W. M.C. *Sunlighting as Formgivers for Architecture.* New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. 2. ed. São Paulo: PRO Livros, 2004. v. 1. 188 p.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. Daylighting the new york times headquarters building. 2005. Disponível em: <http://windows.lbl.gov/comm_perf/nyt_arch-approach.html>. Acesso em: 5 Oct. 2005.
- LE CORBUSIER. *Por uma arquitetura*. 2ª ed. São Paulo: Perspectiva, 1977.
- LIMA, T. B. S. Uso da Simulação Computacional em projetos de iluminação interna. Salvador, 2003. Dissertação (Mestrado) - Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.
- LOE, D. *Energy efficiency in lighting – an overview*. Disponível em <<http://www.cibse.org/pdfs/energylight.pdf>>. Acesso em: 10 July 2005.
- LONGMORE, J. The Role of Models and Artificial Skies in Daylighting Design. ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY, v.27, n.3, p.121-138, 1962.
- MAGALHÃES, M. A. A. A Luz Natural e a Pesquisa Experimental. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO;6., ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, São Pedro. *Anais...ENCAC 2001*, 2001. v. único. p. 142-144.
- _____; MEDINA, T. M. C. . Projeto de iluminação natural. In: NUTAU'2000 - TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 2000, São Paulo: *Anais...São Paulo: NUTAU/FUPAM*, 2000. p. 1078-1083.
- _____. *O projeto de iluminação natural: estudo comparativo de métodos de medição e de simulação*.1995a. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995a.
- MANSY, K. A user-friendly procedure to visualize the hourly quantitative performance of daylighting systems. *Solar Energy*, v. 77, p. 373-380. Elsevier: London, 2004.
- OSRAM DO BRASIL. Manual Luminotécnico Prático. Osram. Osasco, s.d. Disponível em: < <http://www.osram.com.br/luminotec/manual/index.html>>. Acesso em: 22 jun. 2006.
- MARDALJEVIC, J. A 'gold standard' dataset for the validation of illuminance predictions. IEA Task 31 and CIE Division 3 Mini-conference 2 October 2002, Ottawa, Canada. 2002. Disponível em: <http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/pdfs/BRE_IDMP.pdf> Acesso dia 23/08/05
- _____. *Daylight Simulation: validation, sky models and daylight coefficients*. Tese (Doutorado) – Institute of Energy and Sustainable Development of Montfort University, Leicester, Uk, 1999. Disponível em: <<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisA.pdf>> <<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisB.pdf>> <<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisC.pdf>> <<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisD.pdf>>

<<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisE.pdf>>

<<http://www.iesd.dmu.ac.uk/~jm/zxcv-thesis/thesisF.pdf>>. Acesso em: 29 Sept. 2004.

_____. Daylighting Applications. In _____ *Rendering with RADIANCE: a practical tool for global illumination*. Orlando: ACM SIGGRAPH'98, 1998. cap. C, 18p. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/s98c33.pdf>>. Acesso em: 16 Sept. 2005.

_____. Verification of Program Accuracy for Illuminance Modelling: assumptions, methodology and an examination of conflicting findings. *Lighting Research Technology*, v. 36, n. 3, p. 217-242. 2004.

MARSH, A. J. *Performance Analysis and Conceptual Design*. Tese (Doutorado) - University of Western Australia School of Architecture and Fine Arts, 1997.

Disponível em:

<<http://www.squ1.com/index.php?http://www.squ1.com/ecotect/ecotect-home.html>>

Acesso em: 29 Sept. 2005.

MARSH, A. J. *ECOTECH e Energy Plus*. Building Energy Simulation User News, v. 24, n. 6, 2003. Disponível em: <http://gundog.lbl.gov/EP/un_ecotect.pdf>. Acesso em: 29 Sept. 05.

_____. Square One Research. Welsh School of Architecture, Cardiff University. Disponível em <www.squ1.com>. Acesso em June 2005.

MASCARÓ, L. E.A. R. *Energia na edificação - Estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto, 1985.

MIGUET F.; GROLEAU, D. Daylight simulation tool including transmitted direct and diffuse light. Application to the evaluation of daylighting inside glazed intermediate spaces. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION '01, 2001. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/bs01/BS01_0907_914.pdf> Acesso em: 25 Sept. 2005.

MELENDO, J. M. A. Da janela horizontal ao brise - soleil de Le Corbusier: análise ambiental da solução proposta para o Ministério da Educação do Rio de Janeiro. *Vitruvis*, periódico mensal de textos de arquitetura. Ago. 2004. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq051/arq051_02.asp>. Acesso em: 20 jul. 2005.

MENDES N.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. da C. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION 01, 7., 2001, Rio de Janeiro.

Proceedings...IBPSA, 2001. v. 1. p. 3-14. Disponível em:

<http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01_0003_14.pdf>

Acesso em : 5 nov. 2005.

MME- Ministério das Minas e Energia - Brasil. Balanço. Consumo setorial de eletricidade – Ano base do dado: 2004. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pa geld=4060> Acesso em : 1 nov. 2005.

MOORE, F. *Concepts and practice of architectural daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

O' LAUGHLIN P.; PORTER, R. Relative contributions of beam, sky, and ground components to diffusely reflected sunlight illuminance in physical models. In *Progress in Passive Solar Energy Systems*. Ed. Hayes e Andrejko, p.143-146. Boulder CO: American Solar Energy Society, 1983

PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY. The PEC heliodon. Disponível em: <http://www.pge.com/003_save_energy/003c_edu_train/pec/toolbox/arch/heliodon/heliodon.shtml>. Acesso em: 30 jun. 2005.

PAPAMICHAEL, K. Barriers in Developing and Using Simulation-Based Decision-Support Software. In: *ACEEE 2002 SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS*. PACIFIC, Groove, CA, USA, 2002. Disponível em: <<http://btech.lbl.gov/papers/50515.pdf>>. Acesso: 25 Sept. 2005.

_____. "Desktop radiance a new tool for computer-aided daylighting design." Disponível em <<http://cumincad.scix.net/data/works/att/8b5e.content.pdf>> Acesso 29/09/05.

PEDERSEN, Martin C. "A Day In The Light". *Metropolis magazine*, maio 2004. Disponível em <http://www.metropolismag.com/html/content_0504/nyt/index.html>. Acesso: 20/06/2004.

PEREIRA, F. O. R. Curso de Iluminação Natural no Ambiente Construído. ENCONTRO NACIONAL, 3., ENCONTRO LATINO AMERICANO. DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado. Apostila do curso. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/20.pdf>>. Acesso: 2 jul. 2006

_____. Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação. In: *ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2.*, 1993, Florianópolis. *Comunicação técnica...* p.257-267.

PROCEL. *Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais*. PROCEL- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1993. 3. ed. [S.I.].

REINHART, C. F. Tutorial on the Use of Daysim/ Radiance Simulations for Sustainable Design. Canada, Ottawa: Institute for Research in Construction-National Research Council, Canada, 2005. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/daysim/docs/DaysimTutorial.pdf>>. Acesso em: 19 Sept. 2005.

_____; FITZ, A. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and Buildings*, v. 38, no. 7, July 2006, p. 824-835. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc47702/nrcc47702.pdf>>. Acesso em: 25 July 2006.

ROBBINS, C. *Daylighting, design and analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

ROCHA, E. B. Uma metodologia de avaliação da iluminação natural em museus de arte com modelos físicos em escala reduzida. Rio de Janeiro: Carderno Proarq/ Fau UFRJ, 2002. Disponível em :

<<http://www.fau.ufrj.br/proarq/doc/cadernosproarq09.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2006.

RUCK ,N. C.; ASCHEHOUG, Ø; AYDINLI,S.; CHRISTOFFERSEN, J.; COURRET G., EDMONDS, I.; JAKOBIAK, R.; KISCHKOWEIT-LOPIN, M., KLINGER, M. ; LEE, E; MICHEL, L.;SCARTEZZINI, J-L.; SELKOWITZ, S. Daylight in Buildings - A source book in daylighting buildings and components. Berkeley: The Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000. Disponível em:

<<http://gaia.lbl.gov/iea21/ieadownload.htm>>. Acesso em: 1 Feb. 2006.

SÁ, P. *Estudos de iluminação natural para a cidade universitária da universidade do Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia; 1951. Pub. n.123.

SANTOS, A. J. Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação in situ. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA "O SABER DO PASSADO E O DESAFIO DO FUTURO", Lisboa: ISEL, 2002. Disponível em:

<<http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/>>. Acesso em: 4 abr. 2006.

SANTOS, E. T. *Extensões ao algoritmo de ray tracing parametrizado*. 1998. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1998 . Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-13022004-114755/publico/tese-rev.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2005.

SCARAZZATO, P. S. *O conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural*. Dados referenciais para localidades brasileiras. 1995. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. 2v.

_____. Software DLN. Ferramenta de avaliação da disponibilidade de luz natural para o desenvolvimento de projetos de arquitetura. Revista Lume Arquitetura, 2004.

_____; YAMANAKA, M.H.; PEREIRA, D.C.L. Use of low cost photosensitive sensor in scale models for daylighting studies. In: INTERNATIONAL BUILDING PHYSICS, 3.,2006, Montreal. *Anais...*Montreal: Taylor & Francis Group, 2006.

SCHILER, M. E.; JAPEE, S. A. *Interior illuminance, daylight controls e occupant response*. Los Angeles: Vital Signs, University of Southern California, s/d. Disponível em :< <http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns/res/downloads/rp/daylight/dayl-big.pdf>>. Acesso em: 10 Jun. 2005.

SOUZA, R. V. G.; VALADARES, V. M. *Ensaio de iluminação natural em modelo reduzido: aplicação no projeto de arquitetura*. In: ENCONTRO NACIONAL,3., ENCONTRO LATINO - AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 1., 1995, Porto Alegre. *Anais...*: Porto Alegre: ANTAC, 1995.

_____; KREMER, A.; MACÊDO, C. C.; CLARO, A. Simulação de iluminação natural: uma análise do desempenho frente a diferentes características de céu e especularidade de superfícies. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA

NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 357-364. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 10/06/05

_____; PEREIRA, F. O. R. Iluminação natural em edificações : cálculo de iluminâncias internas: desenvolvimento de ferramenta simplificada. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: ENCAC, 1997. p.309-314. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em 20 maio 2006.

_____; _____. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. ANTAC AMBIENTE CONSTRUÍDO: jul./set. 2004. Disponível em: <http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/scripts/Resumo.asp?CD_EDICAO=17&CD_ARTIGO=119> Acesso em: 07 jun. 2005.

SOUZA, M. B.; LEITE, M. T.; LINO, L.; PEREIRA, F. O. R. Metodologia de avaliação de sistemas de iluminação natural e artificial integrados. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ANTAC, 1999.

STEEMERS, K. Daylighting design: enhancing energy efficiency and visual quality. *Renewable energy*. v.5, parte II, p. 950-958, ago.1994. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 05 fevereiro 2006.

SZABO, L. P. *Em busca de uma luz paulistana: a concepção de luz natural no projeto de arquitetos da cidade de São Paulo*. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TREGENZA, P. R., WATERS I. M. Daylight coefficients. *LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY*, v.15, n. 2, p.65-71, 1983.

TSANGRASSOULIS, A., SANTAMOURIS, M. Daylight Modelling With Passport-Light. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE - BUILDING SIMULATION '97, 1997, Prague. *Proceedings ... IBPSA*, 1997. v. 1: p. 73-78. Disponível em:< <http://www.ibpsa.org/proceedings/bs97/papers/P150.PDF>>Acesso: 20/09/05.

THANACHAREONKIT, A.; ANDERSEN, M.; SCARTEZZINI, J. L. Comparing daylighting performances assessment of buildings within scale models and test modules. In: CISBAT 2003, Lausanne. *Proceedings...* Lausanne: EPFL, 2003. p. 289-294.

_____. Comparing daylighting performances assessment of buildings in scale models and test modules. *SOLAR ENERGY*, v. 79 , n. 2, p. 168-182, 2005.

TEIXEIRA, W. *Softwares para iluminação. Passaporte de entrada para novos mercados profissionais*. REVISTA LUME ARQUITETURA, p.76-85, 2004.

UBBELOHDE, M. S.; HUMANN, C. COMPARATIVE EVALUATION OF FOUR DAYLIGHTING SOFTWARE PROGRAMS. Bearkley, CA: 1998. Disponível em:

<<http://www.coolshadow.com/downloads/ACEE%20daylighting.pdf>>. Acesso em: 04 Sept. 2005.

VARTIAINEN, E. Daylight modelling with the simulation tool DeLight. Relatório produzido para Helsinki University of technology, Hut, Finlândia, 2000. Disponível em: <<http://lib.tkk.fi/Diss/2001/isbn9512253372/article1.pdf>>. Acesso em: 4 Oct. 2005.

VELDS, M.; CHRISTOFFERSEN, J. *Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings*. Relatório produzido pela IEA (International Energy Agency) Task 21 / ECBCS Annex 29. Paris, 2001. Disponível em: <<http://gaia.lbl.gov/iea21/documents/cdrom/Appendix8.05/8.5.1.pdf>>. Acesso: 02 apr. 2005.

VEZEY, E.E. The study of Natural Illumination by means of models under artificial skies. College Station, Tx. Texas Engineering Experiment Station. In *Illuminating Engineering*, v. 1, n.8, aug. p.367-374, 1955.

VIZ DEPOT & ARCHDIGM. Viz Render Overview. Disponível em: <http://www.archidigm.com/lounge/3d_studio/VIZ3/Viz%20Render%20eGuide.pdf> Acesso em: 29 Sept. 2005.

VIANNA, N. S. , GONÇALVES, J. C. S. Iluminação e arquitetura. São Paulo: Virtus, 2001.

WARD, G. J. *The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System*. Computer Graphics. In: 94 SIGGRAPH CONFERENCE, 1994. *Proceedings...* p. 459- 472,. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/papers/sg94.1/paper.html>>. Acesso em: 29 Sept. 2005.

WARD, G; SHAKSPEARE, R. *Rendering with Radiance – The art and science of loghting visualization*. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann, 1998. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/book/#ch1>>. Acesso em: 08 Ago. 2005.

YAMAMOTO, I. ; KRÜGER, E. ; DUMKE, E. Avaliação do potencial de prateleiras de luz na redução do consumo de energia elétrica em ambientes escolares. In: SEMANA DA TECNOLOGIA – TECNOLOGIA PARA QUEM E PARA QUÊ? UM OLHAR INTERDISCIPLINAR, 2003,. Curitiba. Disponível em: <http://www.utp.br/documentos/prateleiras_de_luz.doc>. Acesso em: 5 out. 2005.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. *Manual de economia de energia em condomínios residenciais*. São Paulo: CESP/ CPFL/ ELETROPAULO/ COM GÁS, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5382 : verificação da iluminância de interiores*. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5481: iluminação – terminologia*. Rio de Janeiro, 1982.

AMORIM, C.N.D. *Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II: Sistemas Inovadores para a Luz Natural*. Arquitetura e Urbanismo Paranoá, v.4, 2002. Disponível em: <http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm>. Acesso em: 10 jan. 2006.

ANDER, G. D. *Daylighting. Performance and Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

BITTENCOURT, L. S.. *Uso das cartas solares em Arquitetura: Diretrizes para Arquitetos*. 4 ed. Maceió: EDUFAL, 2004. 109p.

BRANDÃO, R. S. *Acesso ao Sol e à luz: avaliação do impacto de novas edificações no desempenho térmico, luminoso e energético do seu entorno*. 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

_____. *Disponibilidade de luz natural: avaliação de métodos para cálculo das iluminâncias externas*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003. *Anais...* Curitiba: ENCAC, 2003. p. 575-582. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2005.

BRYAN, H.; LOHR, A.; MATHIS, R.; ROSEN, J. "The use of physical scale models for daylighting analysis. In: Proc. PASSIVE SOLAR CONFERENCE ASES, 6., 1981, Portland, USA. *Proceedings...* p. 865-869, 1981. Disponível em :< <http://btech.lbl.gov/papers/13305.pdf>>. Acesso 05/05/06

BORMAN, O. R. *Iluminação Natural em Salas de Aulas e Escritórios com Uso de Prateleiras de Luz*. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em : <<http://www.ppgte.cefetpr.br/dissertacoes/2003/oto.pdf>>. Acesso em 05 jul. 2005

DAYMEDIA, LONDONMET. Disponível em < http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/daymedia/axel/sky/sky_stand.html> Acesso em: 6 Jul. 2005.

CARAM, R. M. *Caracterização óptica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações*. 1998. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

_____. *Vidros e o Conforto Ambiental: indicativos para o emprego na construção civil*. 1998. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARLO, J. C.; PEREIRA, F. O. R. ; LAMBERTS, R. *Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife*. In: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. ,CONFERÊNCIA

LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, São Paulo. *Anais...ClaCS'04 e ENTAC'04*, 2004. v. 1., p. 29-43. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/publicacoes/16.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2006.

COMMISSION INTERNACIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE) - *Guide on daylighting of building interiors*. Paris: CIE, 1990.

_____. *Spatial distribution of daylight ; luminance distribution of various reference skies*. Vienne: CIE, 1994.

_____. *Spatial distribution of daylight ; CIE Standard overcast Sky and Clear Sky*. Vienne: CIE, 1994.

_____. *Standardisation of luminance distribution on clear skies*. Paris: CIE, 1973.

DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG, *DIN 5043* -. Daylight in interiors. Germany, 1983.

ESPERANÇA, C.; CAVALCANTI, P. R. Introdução à computação gráfica-Radiosidade. Slides em power point. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. Disponível em <orion.lcg.ufjf.br/cg/downloads/LCG_Iluminacao.ppt> Acesso em: 25 set. 2005.

FONTOYNOT, Mark (Ed.). *Daylighting Performance of Buildings*. London: James & James, 1999.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. 2. ed. São Paulo: Nobel - 1995.

GHISI, E. *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso da Universidade Federal de Santa Catarina*. 1997. 246 f Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

_____.; LAMBERTS, R. Avaliação das condições de iluminação natural nas salas de aula da Universidade de Santa Catarina. In: ENECS 97 - ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. Anais... Canela: ANTAC, 1997

_____.; LAMBERTS, R. Avaliação do Potencial de Conservação de Energia Elétrica através de Estudo de Retrofit no Sistema de Iluminação da UFSC. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. Anais, 1997. p. 387-392

GOULDING, J. R.; LEWIS, J.O., STEEMERS, T. C. (Ed.). *Energy in Architecture*. - The European passive solar handbook. London : B.T. Batsford for the Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development, 1992.

GRAÇA, V. A.C.; SCARAZZATO P.; KOWALTOWSKI D. C.C.K. Método simplificado para a avaliação de iluminação natural em anteprojetos de escolas de ensino

estadual de São Paulo. In: ENCAC2001- ENCONTRO NACIONAL, 6., ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3, São Pedro, 2001. Anais... ANTAC, p.1-8, 2001. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~doris/pt/artigos/con_html/pdf/ENCAC2001_iluminacao_escolas.pdf> Acesso em: 05 jun. 2005.

GRAZIANO JUNIOR, S. F. C. G.. Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo "lightshelf".2000. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2000.

GUZOWSKI, M. *Daylighting for sustainable design*. New York: McGraw-Hill, 1999.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Survey simple design tools*. Task 21 / ECBCS Annex 29. Paris, 1998. Disponível em: <<http://gaia.lbl.gov/iea21/documents/cdrom/Appendix8.09/8.9.2.pdf>> Acesso em:20 maio 2006.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IESNA). IES Lighting Handbook, reference and application. 9th ed. New York: IESNA, 2000.

KIM, K. S.; BOYER, L.; DUGELMAN, L. Daylighting analysis through scale model, full scale measurements and computer analysis for a Texas A&M University Campus Building. In: IMPROVING BUILDING ENERGY EFFICIENCY IN HOT AND HUMID CLIMATE, 2., Texas, USA. *Proceedings...* 1985, p.16-21.

LAM, W. M.C. *Perception and lighting as formgivers for architecture*. New York: McGraw-Hill, 1977.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência energética em edificações: estado da arte*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1996.

LI, D.H.W.; LAU, C.C.S., LAM, J.C. A simplified procedure using daylight coefficient concept for sky component prediction. *Architectural Science Review*, v.47, n.3, p. 287-294, 2004.

LITTLEFAIR P.J. Daylight coefficients for practical computation of internal illuminances. *Lighting Research and Technology*, v.24, n.3, p.127-235, 1992.

MAGALHÃES, M. A. A. A. . A Utilização do Modelo Reduzido na Simulação de iluminação Natural no Interior de Edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, 1995. p. 149-159.

MAGALHÃES, M. A. A. A. As fachadas de vidro e a iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo. *Anais...* São Paulo : ENTAC 93., 1993. v. 2. p. 893-901.

MAGALHÃES, M. A. A. A. Medidas de Luz natural através de aberturas laterais. Variações Decorrentes do Uso do Vidro. In: ENCONTRO NACIONAL, 3., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,1., 1995b, Gramado. *Anais...* II Encontro Nacional e I Encontro

Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído: Gramado, 1995b. v. 1. p. 535-540.

MAGALHÃES, M. A. A. A. O Projeto de iluminação natural: um método experimental. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,6., 1995c, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: VI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995c. p. 809-809.

MAGALHÃES, M. A. A. A. O Uso do Modelo reduzido no projeto de iluminação natural da arquitetura. Interferência do vidro. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 46.,1994, Vitória. *Anais...* Vitória: 46ª Reunião Anual da SBPC, 1994.

MARDALJEVIC J. (2001). The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. *Lighting Research and Technology*, v. 33,n.2, p. 117-136.

MASCARÓ, L. E.A. R *Luz, clima e arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1989.

MASCARÓ, L. E.A. R. Iluminação Natural nos Edifícios. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975. Apostila didática.

MICHEL, L. *Light: The shape of space*. New York: John Wiley & Sons, 1995

MILLET, M. S. *Lighting revealing architecture*. New York, John Wiley, 1997

O' CONNOR, J. et all. Tips for Daylighting With Windows. The Integrated Approach. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory,1997. Disponível em : <<http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/designguide.html>> Acesso em: 30 ago. 2005.

PRADO, L. C. *Iluminação*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo 1961.

PROCEL. Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais. 3. ed.[S. I.]: PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1993.

ROMÉRO, M. de A. *Arquitetura, Comportamento e Energia*. Tese (Livre-Docência) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

RORIZ, M. Luz do Sol : calor e iluminação natural nas edificações.. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, São Paulo, 1995. *Anais...* São Paulo: 1995. p. 367-373.

ROY, G. G. *A comparative study of lighting simulation packages suitable for use in architectural design*. Sydney, 2000. Relatório final apresentado a Universidade Murdoch.

ROY, G. G.; RUCK, N.C.;REID, G.; WINKELMANN,F.C.; JULIAN, W. *The Development of Modelling Strategies for Whole sky spectrums under real conditions for international use*. Sydney, 1995. Relatório final apresentado à Universidade

Murdoch. Disponível em: <http://gundog.lbl.gov/dirpubs/skymap_report.pdf > Acesso em: 4 may 2006.

SALES, P; CORDEIRO, S.; NASCIMENTO, W. Iluminação Natural e Economia de Energia. CREA-RJ, n. 44 ago. 2004. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://creaapp.crearj.org.br/pls/portal/docs/PAGE/PORTAL_CREA_RJ/ARQUIVOS/PDF/Revista44.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2005.

SANTOS, E. T. *Avaliação do algoritmo de ray tracing em multicomputadores*. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-31032004-123720/publico/dissert-toledo.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2005.

SCARAZZATO, P. S. ; ASSIS, E. S. ; SOUZA, R. V. G. ; ROMÉRO, M. A. . The dynamic of daylight in tropical humid climates and its influence on indoor environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE,7., 1996, Nagoya. Proceedings...7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 1996. v. 1. p. 925-930.

SCARAZZATO, P. S.. *A luz natural na tecnologia da arquitetura e do urbanismo em regiões tropicais e subtropicais úmidas*. Cadernos Técnicos - AUT, p.23-25, 1996.

SCHILER, Marc (Ed.). *Simulating daylight with architectural models*. California, USA: U.S. Department of Energy, Daylighting Network of North America, University of Southern, 1987

SOUZA, M. B.; PEREIRA, F. O. R.. Potencialidade de economia de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural com a Utilização de Sistemas Automáticos de Controle. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,9., IX ENTAC - COOPERAÇÃO & RESPONSABILIDADE SOCIAL , Foz do Iguaçu., 2002. *Anais...*v. 1. p. 1-8

SOUZA, R.V. et al. *Avaliação de ambiente existente para comparação entre métodos de cálculo de iluminação natural*. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza.

TREGENZA, P. R. Daylight measurement in models: New type of equipment. *Lighting Research & Technology*, v.21, n.4, p. 193-194, 1989.

WALKENHORST, O.; LUTHER, J.; REINHART, C.; TIMMER, J. Dynamic annual daylight simulations based on one-hour and one-minute means of irradiance data *Solar Energy*, v. 72, n. 5, p. 385-395, 2002. Disponível em: <http://phym1.physik.uni-freiburg.de/~jeti/papers/Solar_energy.pdf >. Acesso em: 19 Sept. 2005.

WARD, G.L. A ray tracing solution for diffuse interreflection. In: SIGGRAPH '88, Atlanta, 1988. *Computer Graphics*, v.22, n.4, ago.1988. Disponível em <<http://radsite.lbl.gov/radiance/papers/sg88/paper.html>>. Acesso em: 8 Oct. 2005.

GLOSSÁRIO

Absorção - Transformação da energia radiante numa forma diferente de energia, por intervenção de matéria (HOPKINSON ; LONGMORE; PETERBRIDGE, 1975, p. 704).

Acuidade visual - 1) Qualitativamente: capacidade de ver distintamente objetos muito próximos uns dos outros. 2) Quantitativamente: o inverso do valor, em minutos, do mínimo ângulo de separação entre dois objetos (pontos ou linhas) vizinhos que o olho consegue ver como separados (HOPKINSON; LONGMORE; PETERBRIDGE, 1975, p. 716).

Ambiente luminoso - Iluminação considerada sob o aspecto de seus efeitos fisiológicos e psicológicos (NBR-5461/ 1980, p.38 apud Szabo, 2002 p.462)

Algoritmo - Conjunto de regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam a solução de um problema em um número finito de etapas (CHRISTAKOU 2004, p. 102).

Átrio - Espaço luminoso interno envolvido lateralmente pelas paredes da edificação e coberto com materiais transparentes ou translúcidos que admitem luz a ambientes internos da edificação ligados ao átrio por componentes de passagem (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Beiral - Elemento de controle o qual é parte integrante da edificação, projetando-se horizontalmente a partir da fachada acima de um componente de passagem, protegendo os ambientes internos obstruindo parcial ou totalmente da radiação solar direta (NBR 15215-1/ 2005, p.4).

Brilho (de uma superfície) - Aspecto pelo qual são percebidos reflexos luminosos de objetos, como se estivessem superpostos à superfície, devido às propriedades direcionais seletivas dessa superfície (NBR 5461 / 1980, p.23 apud Szabo, 2002 p.463).

Câmera sintética - Parâmetro de visualização que decide qual fragmento do modelo renderizado aparecerá na imagem (CHRISTAKOU 2004, p. 102).

Candela - Unidade de intensidade luminosa. O padrão de medida da candela é o

seguinte: a luminância do radiador integral, à temperatura de solidificação da platina ($2042^{\circ}\text{K} = 1769^{\circ}\text{C}$), é de 60 candelas por centímetro quadrado (HOPKINSON et al, 1975, p. 705-706).

Céu artificial - Uma envolvente que simula a distribuição de luminâncias de um céu real (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Clarabóia - Abertura situada numa cobertura plana ou inclinada que permite a entrada zenital de luz natural e pode permitir também ventilação (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Cobertura dente de serra - Série de superfícies paralelas inclinadas com aberturas verticais ou inclinadas num dos lados que permite entrada zenital de luz natural proporcionando uma iluminação potencialmente mais difusa e uniforme (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Cobertura translúcida - Fechamento horizontal parcialmente constituído de materiais translúcidos que separa ambientes externos e internos ou dois ambientes internos superpostos, permitindo a entrada zenital de luz natural (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Coeficiente de reflexão direta (refletância direta) - Relação entre o fluxo luminoso, refletido de acordo com as leis da reflexão normal e o fluxo incidente total.

Componente do céu (CC) - Iluminação produzida num ponto de referência interno devido à luz proveniente diretamente do céu (NBR-15215-1/ 2005, p.2).

Componente refletida externa (CRE) - Iluminação produzida num ponto de referência interno devido à luz natural refletida em superfícies externas (NBR-15215-1/ 2005, p.2).

Componente refletida interna (CRE) - Iluminação produzida num ponto de referência interno devido à luz natural refletida nas superfícies internas do ambiente (NBR-15215-1/ 2005, p.2).

Comprimento de onda - Distância, medida na direção de propagação de uma onda periódica, entre dois pontos sucessivos nos quais a fase é a mesma. Unidade: metro (m) (NBR 5461 / 1980, p.3).

Contraste - É a diferença relativa de luminâncias observadas simultaneamente ou consecutivamente (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 351).

Cortina - Elemento de controle feito de material flexível opaco ou difusor colocado internamente a um componente de passagem para proteger o ambiente interno do sol direto, luz natural e vista (NBR-15215-1/ 2005, p.4).

Cúpula - Cobertura hemisférica vazada ou construída com materiais translúcidos permitindo iluminação zenital e cobrindo toda ou a maior parte do espaço abaixo (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Curva isolux - É o lugar geométrico dos pontos do plano de trabalho que possuem igual iluminamento ou nível de iluminação (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 352).

Difusão - Alteração da distribuição espacial dum raio de luz: após reflexão numa superfície ou passagem através dum meio, transmite-se em vários sentidos (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 704).

Duto de sol - Espaço luminoso interno não habitável especialmente projetado para conduzir a luz direta do sol para ambientes internos sem acesso direto ao exterior, sendo suas superfícies feitas de materiais com elevada reflexão (NBR-15215-1/ 2005, p.3).

Fator de céu (em um dado ponto dentro de um edifício) - Relação da iluminação em um ponto de um plano horizontal, devida à luz recebida diretamente do céu, com a iluminação devida a hemisfério não obstruído do céu de luminância uniforme e igual à do céu visível (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 707).

Fator de luz do dia ou fator de luz diurna (FLD) - Razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma porcentagem.

Nota: a luz solar direta é excluída de ambos os valores de iluminação. Em condições de céu encoberto (ver NBR 5461) este fator permanece constante para um ponto, independente do valor absoluto da iluminação externa. Caso seja empregada em outras condições de céu, esta deve ser especificada (NBR15215-1/ 2005, p. 2-3).

Fator de uniformidade e iluminação - É razão entre a iluminação mínima sobre uma superfície e a iluminação média sobre a mesma superfície (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 356).

Fator de manutenção – Razão entre o iluminamento médio no plano de trabalho, após um certo tempo de utilização de uma instalação de iluminação, e o iluminamento médio obtido nas mesmas condições para uma instalação nova (CIE apud Szabo, 2002 p.475)

Fotometria - É a medição das grandezas relativas à radiação na zona visível do espectro através de comparações (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.351).

Fluxo luminoso - É a quantidade total de luz que irradia, por segundo, uma fonte de luz. É portanto uma grandeza derivada de um fluxo radiante ao avaliarmos a sua capacidade de produzir sensação luminosa (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.352).

Iluminação ou nível de iluminação (em um ponto sobre uma superfície) - É o quociente entre o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície elementar que o ponto considerado e esta superfície (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.352).

Iluminação lateral - Porção da luz natural, produzida pela luz que entra lateralmente nos espaços internos (NBR 15215-3/ 2005, p.3).

Iluminação solar direta - Porção da luz natural proveniente diretamente do sol que incide num determinado local (NBR 15215-3/ 2005, p.3).

Iluminação zenital - Porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos (NBR 15215-3/ 2005, p.3).

Intensidade luminosa - Quociente do fluxo luminoso, emitido por uma fonte ou por um elemento de fonte num cone infinitamente pequeno contendo o sentido referido, pelo ângulo sólido deste cone (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 705).

Janela - Abertura num fechamento vertical cujo limite inferior está acima do nível do piso, permitindo a penetração lateral da luz e/ ou radiação solar, visão ao exterior e ventilação natural (NBR-15215-1/ 2005, p.4).

Lanternim - Elevação coberta da porção mais elevada da cobertura apresentando aberturas laterais nas faces opostas permitindo iluminação zenital e ventilação (NBR-15215-1/2005, p.4)..

Lumen - Fluxo luminoso emitido por uma fonte pontual com intensidade luminosa uniforme de 1 candela sob um ângulo sólido unitário (1 steradiano) (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 705).

Luminância em uma direção - é o quociente entre intensidade luminosa, em uma dada direção de um elemento de superfície, dividido pela área aparente deste elemento, nessa direção (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.353).

Lux - É a iluminação produzida pelo fluxo luminoso de um lumen, uniformemente distribuída sobre um metro quadrado de superfície (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.352).

Nota: Dependendo do posicionamento das lâminas, a radiação solar direta incidente pode ser obstruída e/ou refletida e/ou redirecionada para o interior (NBR15215-1/ 2005, p. 5).

Ofuscamento - Condição de visão na qual há desconforto ou uma redução da capacidade de distinguir objetos, ou ambos, devido à uma distribuição desfavorável das luminâncias ou a luminâncias elevadas, ou a contrastes sucessivos no espaço ou no tempo (NBR-5461/ 1980, p.29).

Output - número ou valor resultante de um processo (CHRISTAKOU 2004, p. 106).

Persiana - Elemento de controle interno ou externo composto de lâminas - fixas ou móveis, ajustáveis conforme o ângulo de incidência solar e exigências de sombreamento - dispostas em espaçamentos regulares cobrindo toda a abertura, podendo ser recolhido para os lados ou para cima (NBR15215-1/ 2005, p. 4).

Plug in - módulo adicionado ao software principal que adiciona capacidades a este (CHRISTAKOU 2004, p. 107).

Plano de trabalho - É o plano sobre qual interessa conhecer a iluminação pelas tarefas que sobre ele se realizam; geralmente é o plano horizontal a 80cm sobre o nível do piso. Em casos especiais pode ser outros planos quaisquer: horizontal, vertical ou inclinado (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p.356).

Poço de luz - Espaço luminoso interno que conduz a luz natural para porções internas da edificação (NBR15215-1/ 2005, p. 4).

Prateleira de luz - Elemento de controle colocado horizontalmente num componente de passagem vertical, acima do nível de visão, definindo uma porção superior e inferior, protegendo o ambiente interno contra a radiação solar direta e redirecionando a luz para o teto (NBR 15215-1/ 2005, p.4).

Radiação - Energia sob a forma de ondas ou partículas eletromagnéticas

(HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 703).

Radiação visível ou energia radiante - Qualquer radiação capaz de produzir diretamente uma sensação visual. Os comprimentos de onda de tal radiação estão compreendidos entre 380 e 780 nm (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 703).

Reflexão - Retorno da radiação por uma superfície, sem modificação na frequência de ocorrência das componentes monocromáticas (componentes com um determinado comprimento de onda) que constituem a radiação (HOPKINSON et al, 1975, p. 704).

Sacada - Abertura em fechamento vertical com limite inferior ao nível do piso, permitindo o acesso de pessoas ao exterior, permitindo penetração lateral de luz e/ou radiação solar, visão ao exterior e ventilação natural (NBR15215-1/ 2005, p. 4).

Sistema de iluminação natural - Componentes ou série de componentes agrupados numa edificação para a admissão da luz natural (NBR15215-1/ 2005, p. 3).

Toldo: Elemento de controle feito de material flexível opaco ou difusor disposto externamente a um componente de passagem para protegê-lo contra a insolação direta (NBR15215-1/ 2005, p. 5).

Transmissão - Passagem da radiação através dum meio, sem modificação na frequência de ocorrência das componentes monocromáticas (componentes com um determinado comprimento de onda) que constitem a radiação (HOPKINSON ; LONGMORE; PETHERBRIDGE, 1975, p. 704).

Veneziana - Elemento de controle constituído por uma série de lâminas - fixas ou móveis - externamente dispostas as quais cobrem totalmente o lado externo de uma abertura.

Walk through - Termo que designa a ação de caminhar dentro ou através de um espaço arquitetônico, utilizando animação computacional e uma câmera sintética animada que se movimenta ao longo da cena (CHRISTAKOU 2004, p. 108).

Zênite: Ponto situado na porção mais elevada do hemisfério celeste; caracterizado pelo ângulo de altura máximo de 90° ser obstruída e/ou refletida e/ou redirecionada para o interior (NBR15215-1/ 2005, p. 3).

APÊNDICE A – SOFTWARES PARA O ESTUDO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

RADIANCE SIS

O programa Radiance SIS (Synthetic Image System) é um sistema de renderização que foi desenvolvido em *Lawrence Berkeley National Laboratories*, na Califórnia e na *École Polytechnique Federale de Lausanne*, na Suíça. É um software gratuito, considerado um dos melhores programas de iluminação natural da atualidade, tendo diversos estudos de validação do mesmo realizados por pesquisadores.

Permite a simulação da iluminância e luminância interna para geometrias e inter-reflexões complexas.

Utiliza o algoritmo *ray tracing* reverso híbrido determinístico/estocástico, para simular reflexões especulares, difusas, difusa direcionável e transmissão em qualquer tipo de combinação (WARD e SHAKESPEARE, 1998).

Segundo Ward e Shakespeare (1998), o programa Radiance SIS utiliza a técnica híbrida determinística/ estocástica, pois este enfoque possibilita um equilíbrio entre precisão e agilidade de processamento. Para o cálculo das componentes diretas traçam-se raios aleatórios (estocástico) em direção às fontes de luz. Para o cálculo das componentes indiretas utiliza-se a amostragem uniformemente balanceada do método Monte Carlo¹, através da distribuição dos raios em diversas direções. Posteriormente as inter-reflexões difusas serão computadas em pontos selecionados dinamicamente.

O programa opera na plataforma Unix, porém alguns softwares baseados na plataforma Windows podem ser utilizados para simulações com o motor de cálculo do Radiance, entre as quais podemos citar: Desktop Radiance, ADELIN, Ecotect e RAYFRONT.

Devido ao enorme esforço computacional para considerar as contribuições indiretas difusas em algoritmos baseados no *ray tracing*, pois seria necessário calcular raios enviados em direção a cada pixel, muitos programas baseados nesta técnica ignoram a inter-reflexão difusa entre as superfícies, utilizando um valor constante para o ambiente com o objetivo de substituir a energia desconsiderada. Porém, é

¹ Segundo Claro (1998), "o método Monte Carlo é uma forma de ray-tracing no qual uma amostra é tomada do conjunto de todas as possíveis direções de raios, conforme descrito por P.R. Tregenza em 1983

evidente a imprecisão deste método, principalmente, se o objetivo for conhecer os efeitos da luz natural e os sistemas de iluminação indiretos (WARD e SHAKESPEARE, 1998).

O Radiance utiliza um método mais apurado para superar esta limitação. Assim para calcular a iluminação difusa (a direta é calculada separadamente), o programa subdivide a superfície em áreas, calcula a iluminação em um ponto para cada raio enviado e interpola o resultado. Para o cálculo da luz difusa, algumas centenas de raios são distribuídos sobre um hemisfério projetado. O processo de amostragem é aplicado recursivamente para múltiplas reflexões, sendo que a densidade da iluminância é reduzida a cada etapa de inter-reflexão.

A idéia é considerar a contribuição da luz indireta difusa apenas quando necessária. A abordagem é similar de elementos finitos, como o da radiosidade que subdivide as superfícies em uma malha, calcula a iluminação de cada ponto e interpola os resultados. Entretanto, o método de cálculo utilizado pelo Radiance não está vinculado à malha das superfícies como no método da radiosidade, sendo permitido ajustar os pontos que serão calculados em resposta à iluminação do ambiente. Além disto, o processamento computacional considera somente a cena visualizada, economizando tempo porque não calcula a cena total (WARD, 1998).

Radiance não é considerado um software com interface amigável, visto que trabalha apenas com arquivos de texto. Portanto, a geometria tridimensional, por exemplo, deve ser informada ao programa através de coordenadas cartesianas espaciais no sistema (X, Y, Z). Algumas tecnologias foram desenvolvidas para permitir converter arquivos de programas CAD para arquivos de texto que possam ser lidos pelo Radiance (ANDER, 1995).

Os modelos de céu utilizados pelo Radiance podem ser formulados através de dois programas: Gensky e Gendaylit.

Gensky utiliza o padrão the CIE para gerar os seguintes modelos: céu encoberto, claro e intermediário. É possível também modelar o céu uniforme.

Gendaylit, baseado no modelo de Perez, utiliza as componentes direta e difusa da radiação para calcular a distribuição luminosa para uma condição de céu específica. Este modelo de céu teve o seu desenvolvimento concentrado em uma condição mais realista, pois foi baseado em medições de parâmetros como: turvamento,

limpeza do céu, brilho do céu, cobertura de nuvem e porcentagem de céu desobstruído (JARVIS; DONN, 1997).

Caso seja possível obter medições da distribuição da luminância da abóbada celeste, através de um escaner de céu, estas podem ser incorporadas pelo Radiance para a modelagem do céu (ALTMANN; APIAN-BENNEWITZ, 2001).

Radiance possibilita a modelagem de uma grande variedade de características das superfícies entre as quais podemos citar: difusa, especular, intermediária anisotrópica com ângulo de visão dependente, etc. Pelo fato de considerar superfícies com propriedades de “ângulo-dependente”, cada mudança de visualização irá requerer novos cálculos. (BAKER; STEEMERS, 2002).

As saídas do programa (*output*) incluem imagens fotorealísticas, tabelas, contornos isolux e imagens com falsas cores da luminância e iluminância, assim como valores do FLD.

Validação do Radiance para a Predição da Luz Natural

Um dos requisitos para a simulação da iluminação natural é a definição de parâmetros, para descrever as fontes de luz. No caso da iluminação natural deve-se descrever o modelo de distribuição da luminosidade do céu e a intensidade do Sol. Alguns softwares utilizam os modelos de céu no padrão CIE e o céu uniforme, ao passo que outros mais sofisticados permitem a inserção de valores medidos diretamente da abóbada celeste. A intensidade solar varia de acordo com a altitude e condições atmosféricas.

É importante entender as limitações dos modelos de céu utilizado, principalmente em pesquisas que visam validar o desempenho de softwares de predição da iluminação natural.

Pelo fato dos modelos de céu funcionarem como situações médias, nem sempre estes serão coincidentes às situações medidas sob condições de céu real. Este fato deve sempre ser considerado em pesquisas que visam comparar medições em ambientes reais à simulações computacionais.

Na prática, a dificuldade em descrever com certeza condições que ocorreram na

realidade, em simulações computacionais, deve-se ao conhecimento incompleto e impreciso da mesma. Se o grau de divergência entre ambas as situações não é conhecido, torna-se difícil saber se a causa da diferença entre os valores medidos e simulados deve-se ao algoritmo utilizado no programa ou à descrição equivocada do cenário simulado (MARDALJEVIC, 2004).

O programa Radiance tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas para a validação do programa. Entre estas pesquisas, destaca-se àquela realizada por Mardajevic (1999) em sua tese de doutorado, devido ao rigor e credibilidade de sua metodologia.

Mardaljevic (2004), defende o uso de uma metodologia para validação de programas de predição da luz natural, através do uso de um procedimento padrão o qual chama de BRE-IDMP dataset. Esta ferramenta consiste em medições simultâneas da distribuição de luminância na abóbada celeste, a normal da iluminância direta e a iluminância em pontos internos de uma sala de escritório. Um escaner de céu é utilizado para medir a luminância do céu de acordo com procedimentos do “*International Daylight Measuring Programme*” (IDMP) e posteriormente modelados no programa. Através destas medições, é possível conhecer as condições do céu no momento da medição.

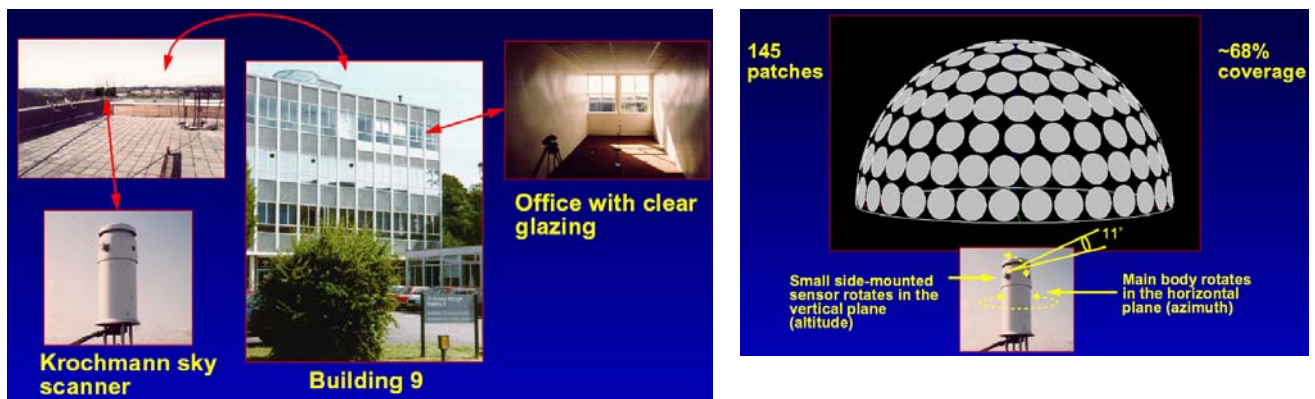


Figura 95 - Imagem do escaner de céu utilizado para fazer as medições da distribuição da luminância da abóbada celeste e da sala de escritório onde é feita a medição interna simultânea

Fonte: Mardaljevic (2002) .

Com o uso do *BRE-IDMP dataset*, este pesquisador validou o programa Radiance através de medições de uma gama extensa de condições do céu e do Sol (754), incluindo o céu totalmente encoberto. Esta pesquisa demonstrou que a capacidade de predição da iluminação natural do programa é bastante precisa: 66% das simulações variaram em um percentual de + ou – 10% em relação aos valores

medidos, ao passo que 95% variaram entre + ou – 25% (MARDALJEVIC, 2004)

Cabe ressaltar que a metodologia utilizada por Mardaljevic é possível para programas que permitem a modelagem do céu, como é o caso do Radiance SIS.

DESKTOP RADIANCE

Desktop Radiance 2.0 é uma versão do Radiance SIS, para plataforma MS Windows, desenvolvido em conjunto pelas entidades LBNL (*Lawrence Berkeley National Laboratory*), *Pacific Gas & Electric* e *California Institute of Energy Efficiency*.

Este software, específico para renderizações e análise da luz natural, trabalha dentro da plataforma do AutoCAD e não possui todos os recursos do Radiance SIS, pois é uma versão beta. É um programa gratuito que está disponível para download na internet.

O algoritmo utilizado para o processamento das informações é o *ray tracing* reverso híbrido determinístico/ estocástico, visto que utiliza o Radiance SIS como motor de cálculo. Por este motivo, é considerado um software confiável, considerando os diversos estudos que já foram feitos para a validação do Radiance SIS.

A modelagem geométrica 3D é realizada no AutoCad, não sendo necessário importar o modelo tridimensional, o que evita problemas que possam ocorrer durante este processo. Assim, é possível modelar geometrias complexas, considerando que todas as superfícies no Desktop Radiance são consideradas “infinitamente finas” (com espessura zero) e não é possível a aplicação de diferentes texturas em faces opostas de uma mesma superfície.

O programa possui uma biblioteca de materiais, com tipos básicos, como plásticos, metais e transparências. Os metais e plásticos são definidos através do grau de especularidade, rugosidade e cor em RGB, que define a refletância. Os materiais transparentes devem ser definidos de acordo com a transmissividade e especularidade transmitida (INANICI, 2001). Existe a possibilidade do usuário definir os materiais de acordo com a sua necessidade através de um editor próprio.

As superfícies transparentes das janelas do modelo 3D devem ter a sua superfície normal voltadas para o interior do ambiente, para que seja considerada

corretamente as fontes luminosas provenientes do Sol e do céu. O programa possui um comando que permite conferir se as superfícies estão orientadas corretamente em relação a normal, caso contrário, é possível inverter esta orientação.

Existe uma biblioteca de referência para a inserção de luminárias e outra específica para mobiliários.

Em relação aos parâmetros de entrada da luz natural, o programa possui poucas localidades definidas. É possível acrescentar novas localidades através de definições como: latitude, longitude, zona de tempo e condições de turvamento.

Os modelos de céu possíveis para a simulação podem ser escolhidos entre:

- modelo de luminância uniforme;
- modelo de céu encoberto padrão CIE;
- modelo de céu claro padrão CIE, e
- modelo de céu intermediário Matsuura.

Os modelos de céu encoberto e claro padrão CIE são representações extremas do céu, pois consideram a condição de nebulosidade densa ou abóbada completamente desobstruída. Os céus intermediários consideram uma camada moderada de nuvem, sendo que o modelo de Matsuura descreve condições de céu com turvamento mais elevado comparadas ao céu claro padrão CIE. Outra diferença entre os dois modelos é que o céu intermediário de Matsuura considera uma luminância mais baixa para a região circunSolar e ligeiramente mais alta para o zênite.

Para processar a simulação, deve-se definir a posição da câmera sintética, responsável pela renderização de uma vista específica. A simulação pode também ser realizada através de um modo interativo, através do *bach mode* ou sem imagens para o cálculo de pontos dispostos em um *grid* previamente estabelecido.

O modo interativo permite a visualização da imagem de uma forma bastante rudimentar no início do processo, que vai melhorando a qualidade progressivamente. O *bach mode* permite uma renderização mais rápida, pois é processada de forma não aparente, sendo possível de visualizar apenas no final da

simulação.

As saídas do programa (*output*) podem ser visualizadas através de imagens renderizadas, contornos isolux, imagens em falsas cores para representar diversas graduações da luz, tabelas com valores de iluminância/ luminância e FLD para um *grid* pré-estabelecido. Todas as saídas podem ser calculadas para valores de luminância ou iluminância.

Sabe-se que o Desktop Radiance possui numerosos problemas de instabilidade e complexidade da interface, especialmente para parâmetros mais avançados, apesar de trabalhar no AutoCAD que já é conhecido pela maioria dos projetistas.

Diversos parâmetros podem ser ajustados com o objetivo de especificar como será o desempenho da simulação realizada. Quanto maior a precisão requerida, maior o tempo de processamento dos cálculos e melhor a qualidade das imagens produzidas.

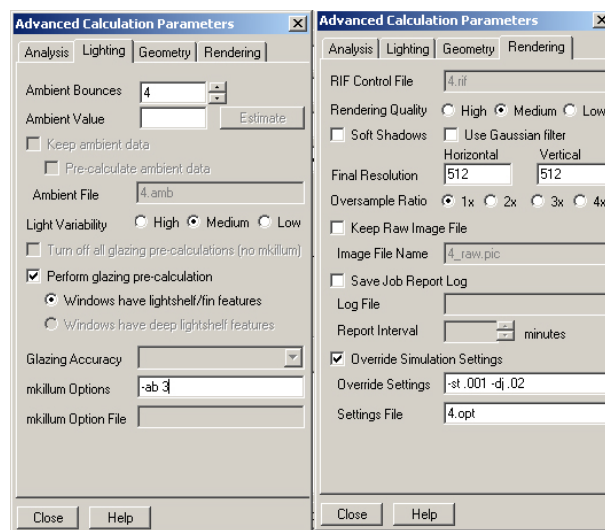


Figura 96 - Tela de parâmetros avançados. O número de reflexões do ambiente pode ser ajustado para o interior e para os cálculos do mkillum .

Fonte: Interface do programa Desktop Radiance

Pode-se acessar alguns destes parâmetros através do botão *Advanced* na janela de cálculo e renderização. A qualidade de renderização pode ser escolhida entre três opções: alta, média, baixa. Este parâmetro afeta a precisão e qualidade gráfica das imagens produzidas.

Uma variável muito importante é o valor (-ab) que define o número de reflexões que serão consideradas no ambiente. Quanto maior este valor, maior o tempo de processamento e precisão obtida em uma renderização

Variability é a indicação qualitativa de como a luz varia na cena. Geralmente o resultado produzido pela iluminação artificial produz uma distribuição mais uniforme da luz e portanto requer um baixo ajuste neste parâmetro. Para o caso de uma simulação da iluminação natural, com a entrada direta da radiação Solar, seria necessário um maior valor deste parâmetro, devido ao grande contraste da luminância produzida neste caso (JARVIS; DONN, 1997).

Segue abaixo uma tabela com valores típicos de definições para as simulações e sua influência no tempo. Cada valor definido para os parâmetros (-ab, -ad,-as,-aa,-ar), relaciona-se com questões de qualidade na renderização.

parameter	minimal	reasonable maximum	typical	influence
ab	0	ca 12	3-7	increases computation time and quality
ad	500	ca 4000	1200	increases computation time and quality
as	0	500	100	100 - 300 is a good value
aa	0.5	0.05	0.2	if problems arise: set ad higher
ar	32	ca 1024	128	only needs setting for pathological cases

Figura 97- Os parâmetros mais importantes para o cálculo do ambiente.

Fonte: Altmann , Apian-Bennewitz (2001)

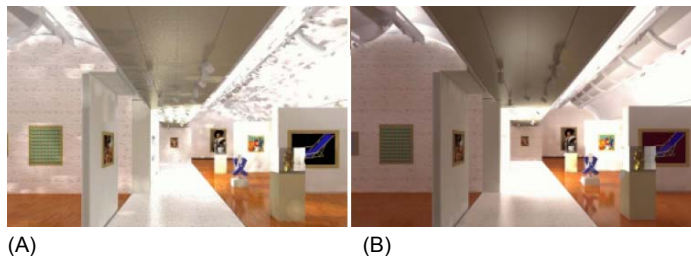


Figura 96- Resultado das imagens devido a escolha de diferentes parâmetros:

(A) 1 reflexão indireta (ab = 1, ad = 128)

(B) 7 reflexões indireta (ab = 7, ad = 16000)

Tempo gasto na renderização:

(A) 0,431 h, (B) 24h

Fonte: Altmann, Apian-Bennewitz (2001)

ECOTECT

Ferramenta completa para análise do conforto ambiental em edificações com uma interface de modelagem 3D bastante intuitiva. Permite a simulação do desempenho da insolação demonstrando sombreamento em implantações, penetração solar e dispositivos de sombreamento, assim como desempenho da iluminação natural e artificial, térmica, acústica e análise de custos.

Este software foi o resultado de uma tese de PhD conduzida pelo Dr. Andrew Marsh na *University of Western Australia School of Architecture and Fine Arts*, em 1997.

Atualmente, o software é comercializado pela empresa Square One, um centro de

pesquisas da *Welsh School of Architecture da Cardiff University, UK*.

Ecotect é um software que foi idealizado para funcionar de forma interativa durante todas as fases de um projeto, incluindo a inicial. Por isto, foi desenvolvido com uma interface bastante amigável o que permite uma grande integração por parte do projetista.

Os algoritmos de simulação utilizados pelo programa são simples o que possibilita uma maior rapidez durante o processamento dos cálculos. Esta é uma das questões defendidas por seu idealizador, o Dr. Andrew Marsh, quando afirma que o programa pode trabalhar com uma precisão relativa ou precisão absoluta dependendo da fase de desenvolvimento do projeto.

Seguindo este raciocínio, o software Ecotect foi elaborado com dois níveis de complexidade para análise e modelagem. O primeiro, com algoritmos mais simples, deve ser utilizado na fase inicial do processo, com o intuito de proporcionar uma rápida comparação entre diversas alternativas de projeto. Nesta fase, uma precisão absoluta não é primordial. Um segundo estágio de análise deve ser realizado quando são necessárias informações mais precisas e detalhadas do projeto. Isto requer o uso de algoritmos mais aperfeiçoados que alcançam uma maior precisão nos resultados e, por isto, necessitam de um maior tempo de processamento das informações.

Exemplificando este conceito através de uma aplicação prática, quando na fase inicial do projeto o objetivo é comparar o desempenho do projetos em relação a dois sistemas de fenestração distintos, é possível fazê-lo com o algoritmo simplificado utilizado pelo programa. Os valores obtidos de forma rápida possuem uma precisão relativa, isto é, são apenas uma indicação do desempenho obtido por meio da comparação entre dois sistemas sob as mesmas condições. Posteriormente, em uma fase final do projeto, onde é necessário uma precisão absoluta é possível exportar o modelo do Ecotect para programas com algoritmos mais avançados de cálculo. No caso da iluminação natural e artificial, os cálculos podem ser executados pelo Radiance. Se o objetivo for realizar uma análise energética é possível exportar o modelo para os softwares Esp-r ou EnergyPlus.

Para o cálculo da iluminação natural, o algoritmo incorporado no Ecotect utiliza o método do fluxo dividido (BRE) - *Building Research Establishments*, para calcular a

porcentagem de luz natural direta e refletida em um ponto. A componente direta e externa refletida são determinadas geometricamente, ao passo que a componente interna refletida é calculada pela fórmula da BRE (MARSH, 1997). O algoritmo *ray tracing* é utilizado para processar as informações. A iluminação artificial é calculada pelo método ponto a ponto.

É aconselhável utilizar algoritmo do Ecotect em fases iniciais do projeto, onde a precisão absoluta não é exigida. Para análises mais precisas da iluminação é recomendável a exportação do modelo para o Radiance.

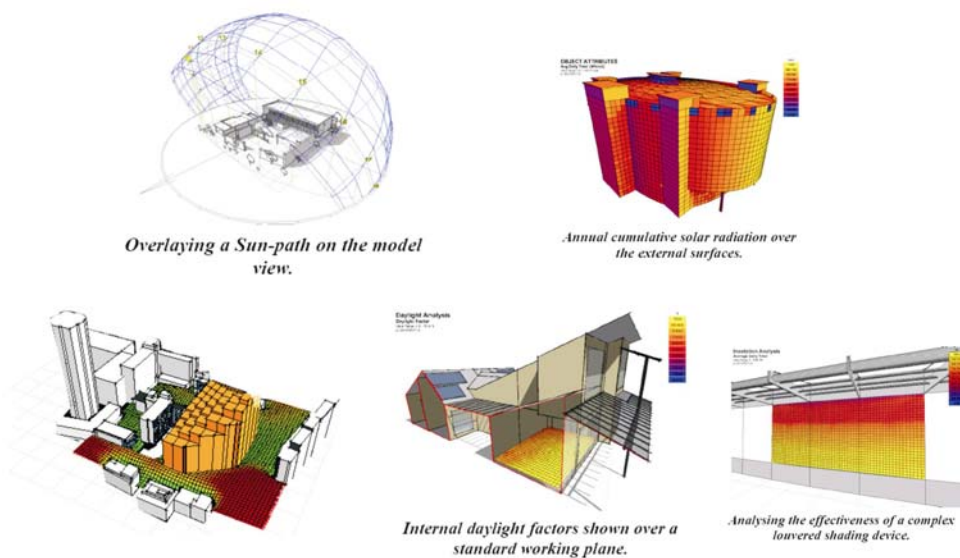


Figura 98 - Possibilidades da análise da insolação e iluminação natural no Ecotect

Fonte: Marsh (2003).

Uma importante ferramenta disponível no Ecotect é a possibilidade de visualizar rapidamente o sombreamento produzido por uma edificação, através do comando *shadow range*. Este comando gera uma representação onde as sombras são desenhadas em intervalos regulares durante um período selecionado, que pode ser em um dia específico ou durante dias no ano.

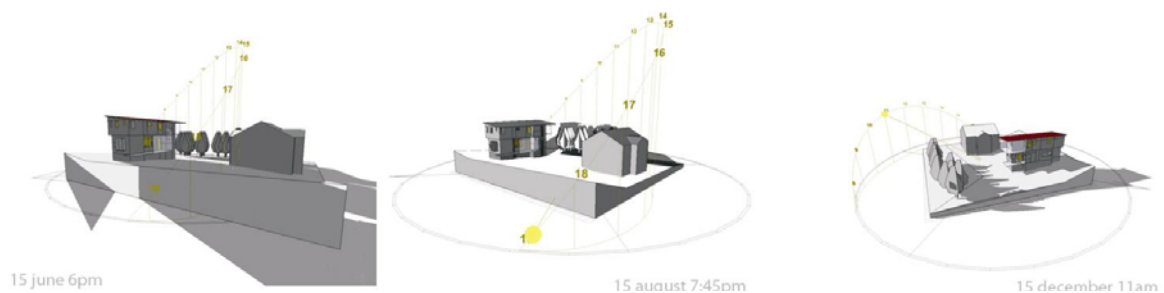


Figura 99 - Análise do sombreamento durante alguns períodos do ano

Fonte: ecoMOD – University of Virginia School of Architecture.

É possível visualizar a variação do sombreamento no sentido leste-oeste. Esta representação serve como subsídio para a compreensão, por parte do projetista, da relação geométrica entre o caminho aparente do Sol e a sua influência no projeto, determinando períodos de insolação e sombreamento.

Outra ferramenta de grande utilidade para o estudo da insolação é a possibilidade de obter o mascaramento (sombreamento) de um ponto, projetado em uma carta solar. Através deste dispositivo, é possível discriminar os períodos durante o ano em que o ponto de análise estará sob condição de sombreamento ou insolação.

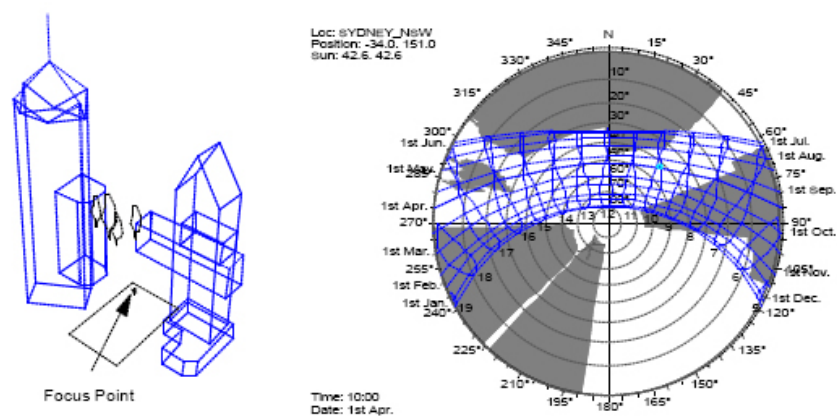


Figura 100 - Carta Solar mostrando o sombreamento (mascaramento) de um ponto externo selecionado

Fonte: Marsh, 1997

ADELINÉ

Adeline (*Advanced Daylight and Electric Lighting Integrated New Environment*) é um software que combina ferramentas de simulação da iluminação natural com ferramentas de simulação de eficiência energética (BAKER; STEEMERS, 2002).

A versão inicial do programa foi lançada em 1994, como resultado de seu desenvolvimento por uma equipe de pesquisa internacional da IEA (*International Energy Agency*).

O sistema ADELINÉ possibilita uma integração módulos de diferentes programas, permitindo desta forma a simulação integrada da iluminação natural com a artificial, considerando o impacto energético e térmico da iluminação. Os dados de geometria do modelo podem ser construídos através de uma interface gráfica especial (*Scribe modeller*), através de sistemas CAD ou através de programas que permitem

arquivos em formato 3D-DXF (ERHON; DIRKISMOELLER,1997).

Os cálculos da iluminação podem ser realizados utilizando algoritmos mais simples ou avançados, dependendo do programa escolhido para a simulação da iluminação (SUPERLITE ou RADIANCE SIS).

As simulações são realizadas considerando as seguintes variáveis climáticas:

- luz solar direta (apenas a direta),
- céu claro (luz difusa e global),
- céu encoberto (uniforme e padrão CIE) e,
- céus cumulativos ou "médios" (dados meteorológicos processados).

Segundo Christakou (2004), este software é eficiente e completo pois além possibilidade de utilização do RADIANCE SIS, como algoritmo de predição da luz natural, também são abordados aspectos climáticos, fotométricos e óticos do ambiente.

Segundo Baker e Steemers (2002), a eficiência energética da iluminação é calculada hora a hora através da comparação do nível de iluminação externa com o nível interno desejado, em conjunto com as estratégias de controle.

Os resultados energéticos hora a hora da iluminação são utilizados como dados de entrada para a análise de desempenho térmico hora à hora em programas de simulação dinâmica em edifícios tais como: tsbi5, SUNCODE, DOE2 ou TRNSYS.

Os programas SUPERLINK e RADLINK são usados para obter estimativas da interação entre a iluminação natural, a iluminação artificial e o desempenho térmico do edifício durante o período de um ano, levando-se em consideração os seguintes parâmetros:

- estratégias de controle utilizadas,
- diferentes tipos de lâmpadas,
- nível de iluminação desejado no plano de trabalho,
- programação do horário de trabalho de acordo com o uso do edifício, e
- probabilidade horária de Sol

Uma característica diferenciada deste programa é sua habilidade em realizar

análises visuais de conforto. Os diferentes índices de ofuscamento podem ser calculados para uma imagem renderizada incluindo² :

- o índice de ofuscamento da CIE (CGI);
- a Probabilidade Visual do Conforto de Guth (VCP). Este índice permite a obtenção de uma avaliação direta da satisfação do usuário.

DAYSIM

DAYSIM é um software gratuito que calcula a disponibilidade anual da iluminação natural, possibilitando a análise energética das edificações. Podem-se obter indicadores do desempenho da iluminação natural tais como: a disponibilidade anual de luz, autonomia da iluminação natural e os usos anuais de energia. Esta análise considera sistemas automáticos de controle da iluminação artificial (sensores de presença, fotocélulas, etc), comparados aos padrões de acionamento de duas fases (liga/ desliga) (REINHART, 2005).

Foi desenvolvido com a colaboração dos grupos de pesquisa: *Lighting Group of the National Research Council Canada* e *Solar Building Design Group of the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*, tendo como coordenador geral o Dr. Christoph F. Reinhart.

Utiliza o programa Radiance como base de cálculo para determinar coeficientes da luz natural, através do modelo de céu de Perez (*Perez all weather sky model*). Este modelo utiliza os valores climáticos da radiação direta e difusa durante o ano, para valores de hora em hora. Para se fazer uma análise em intervalos menores (inferiores a 1 minuto), foi adaptado o modelo de Skartveit e Olseth.

Como pontos positivos do programa, pode-se apontar a sua capacidade de estimar o uso de energia elétrica, considerando dados de ocupação assim como o controle pelos usuários da iluminação e dispositivos de sombreamento. O ponto negativo deve-se à necessidade de conhecer os parâmetros de simulação do programa Radiance, pois este é o motor de cálculo do software.

O controle manual de iluminação é estimado através de um modelo baseado em

² Disponível em : < http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/pdf_video/adel_br.pdf>. Acesso 26/09/05

estudos empíricos que monitoraram o comportamento padrão de usuários.

Relux Professional 2006

O programa Relux professional 2006 pode ser utilizado em duas versões que possuem algoritmos de cálculo distintos para a análise da iluminação global: o pacote básico, disponibilizado gratuitamente na Internet, ou pacote básico acoplado a um *plug-in* chamado VISION, que é um complemento do software em uma versão comercial.

Este software foi desenvolvido por um grupo de empresas fabricantes de luminárias, que tinham o interesse em disponibilizar os seus produtos através de uma ferramenta de simulação computacional. Inicialmente, era uma produto comercializado, sendo que hoje o pacote básico é gratuito e os programas complementares (*plug ins*), com comandos mais avançados são comerciais.

Vem com banco de dados de 60 grandes fabricantes de lâmpadas e luminárias do mercado nacional e internacional. Através da caixa de diálogo de seleção das luminárias é possível modificar os dados de uma luminária inserida, entre os quais: o número de lâmpadas da luminária, a potência e o fluxo luminoso de uma lâmpada, assim como a potência instalada, o que o torna muito apropriado para simulações da iluminação artificial.

Este programa possui uma interface totalmente amigável e auto explicativa o que facilita o seu uso integrado ao projeto. A geometria 3D deve ser modelada no próprio programa, sendo um processo bastante intuitivo. Ao iniciar um novo projeto deve-se escolher o formato interno do ambiente entre as seguintes opções disponíveis: retangular, polígono, semi-circular, telhado de duas águas, trapezóide. O programa possui uma biblioteca com algumas opções de mobiliário, sendo que elementos mais simples, formados por planos, podem ser modelados através da inserção do cubo. Este elemento pode ter as dimensões modificadas nos sentidos X, Y e Z.

O Relux permite a importação de objetos 3D com geometrias complexas mediante arquivos nas seguintes extensões: DXF, VRML, 3DS. As imagens 3D apresentam boa qualidade na renderização, possibilitando ao projetista a visualização dos resultados desejados.

O pacote básico do programa utiliza como algoritmo de cálculo o método da radiosidade, o que significa que considera todas as superfícies difusoras perfeitas, desconsiderando os efeitos especulares de superfícies polidas. Os materiais aplicados às superfícies podem ser definidos através da cor e refletância. Também é possível aplicar uma imagem em formato de arquivo jpg à uma superfície.

Os modelos de céu disponíveis no Relux professional 2006 são:

- céu claro padrão CIE, com o Sol e
- céu encoberto padrão CIE.

A precisão do cálculo poderá ser selecionada pelo usuário entre as opções:

- cálculo apenas da componente direta, que não considera nenhuma reflexão;
- cálculo com uma baixa quantidade de reflexões,
- cálculo com uma média quantidade de reflexões, e
- cálculo com uma alta quantidade de reflexões, que disponibiliza resultados mais precisos e necessita um maior tempo de processamento.

É possível fazer o cálculo da eficiência energética anual ou mensal do projeto. O cálculo é realizado com base na iluminância horizontal, através da utilização do modelo de céu encoberto e do céu claro, para a determinação do céu médio. O céu médio é obtido através da definição da probabilidade de ocorrência de Sol, durante um certo período.

É importante ressaltar que este cálculo de eficiência energética somente considera a luz difusa, não sendo apropriado para simular situações onde são utilizados dispositivos para redirecionamento da luz direta do Sol.

O *plug in* VISION utiliza como motor de cálculo o programa Radiance, tornando possível o cálculo de superfícies especulares através do algoritmo *ray tracing* reverso. Nesta versão do programa, é possível optar pelas seguintes modelos de céu:

- céu claro padrão CIE (considera apenas a radiação difusa do céu, sem o Sol direto),
- céu intermediário padrão CIE,

- céu encoberto padrão CIE, e
- céu uniforme.

LUMEN MICRO

Lumen Micro é um programa comercial, sucessor do Lumen II, produzido pela *Lighting Technologies Inc, Colorado, USA*. Programa de simulação da iluminação artificial e natural.

Utiliza o método da radiosidade para os cálculos da iluminação global o que propicia a obtenção de diversas vistas internas sem a necessidade de realizar diversos cálculos. Existe a possibilidade de exportação para o programa Lightscape com o objetivo de obter imagens de maior qualidade, pois este programa considera para fins de visualização as superfícies especulares através do método *ray tracing*, além do cálculo através do método da radiosidade (BRYAN; AUTIF,2002).

Os materiais podem ser definidos através da cor, ou através da refletância, assim como por suas propriedades espectrais.

Fornecer como produto das simulações: imagens renderizadas com textura e coloridas ou em escala de cinza, tabelas numéricas com níveis de iluminação no *grid* definido, diagramas iSolux em planta, perspectiva, cortes e elevações.

Segundo Bryan e AutiF (2002), o Lumen Micro possui limitações para a construção do modelo 3D, permitindo apenas a modelagem de superfícies ortogonais. Caso seja necessário construir um plano curvo, este deverá ser formado por segmentos de retas de planos ortogonais. Embora o programa permita a importação em formatos dxf e dwg de sistemas CAD, estas imagens podem ser usadas apenas como *background*³ na tela do programa, para auxiliar a construção do modelo 3D.

Este software é considerado de fácil aprendizagem e simplicidade de manuseio. Permite a utilização dos modelos de céu padrão CIE e IESNA.

Possui uma vasta biblioteca de luminárias com modelos de 70 fabricantes, além de permitir a importação de arquivos em formato IES, com definições da fotometria de

³ Imagem de fundo

fontes luminosas⁴.

Para a execução da simulação da iluminação natural é necessário definir dados como: latitude, longitude, orientação do edifício data e horário.

DELIGHT

Delight é uma ferramenta para simulação da iluminação natural e artificial, desenvolvida pelo pesquisador Eeron Vartiainen, no laboratório de sistemas energéticos avançados da *Helsinki University of technology*, Finlândia.

Este software utiliza os dados da radiação direta e difusa medidos para cada localidade, que através do modelo de eficácia luminosa possibilita a obtenção dos valores da iluminância externa disponível. A versão.2.0 utiliza o algoritmo do programa Superlite através modelo da radiosidade, além de algoritmos específicos para a análise de sistemas de fenestração mais complexos como: prateleiras de luz, painéis de vidros direcionadores da luz (vidros prismáticos e holográficos), entre outros.

Este programa tem uma abordagem do cálculo dinâmico da luz natural, isto é considera uma análise anual do desempenho do edifício. Para que isto seja possível através de um cálculo rápido, considerando tanto a luz direta do Sol como a luz difusa e a luz refletida, o programa utiliza o cálculo do FLD (fator de Luz do Dia) para uma série de posições pré-definidas do Sol. Estes fatores são pré-calculados e utilizados nos diversos horários do período estipulado para a análise. Uma combinação destes valores interpolados, com um “peso próprio” para cada um, é utilizada para simular uma condição mista do céu real.

A grande vantagem do software Delight quando comparado ao Adeline, que possui funções semelhantes a este programa e utiliza o motor do Radiance, é a rapidez de execução das simulações, sem prejudicar a precisão dos resultados (VARTIAINEN, 2000).

⁴ Disponível em < <http://www.lighting-technologies.com/Products/LumenMicro/LM.htm>>. Acesso 15/08/05

LIGHTSCAPE

Lightscape foi desenvolvido pela *Lightscape Technologies of San Jose, Inc*, California, como sistema de renderização e análise da iluminação natural e artificial.

Há alguns anos esta empresa foi vendida para a *Autodesk Inc*, tendo a sua produção descontinuada pela atual proprietária, apesar da incorporação de parte da tecnologia desenvolvida em alguns de seus produtos. Esta é uma questão problemática, visto que o software não será aprimorado, além da falta de suporte ao usuário, devido a sua descontinuidade (CHRISTAKOU, 2004).

Segundo Graziano Junior (2000), o algoritmo utilizado pelo Lightscape é o da radiosidade, considerando apenas para fins visuais e de renderização o efeito da especularidade das superfícies, através do algoritmo *ray tracing*. Portanto, não considera fenômenos especulares nos cálculos de distribuição de luz.

As imagens resultantes de processo são reconhecidas por sua excelente qualidade fotorealística.

Este programa não possui ferramentas para modelagem tridimensional, o que implica na necessidade de importação de modelos construídos em outros programas. São aceitos os seguintes formatos de arquivo para a importação : *DWG*, *DXF*, *3DS* e *LWS*.

No Lightscape as condições de céu estão relacionadas com a quantidade de nuvens que cobrem o céu. Assim, é possível selecionar uma das três condições (céu claro, intermediário ou céu encoberto). O modelo padrão da CIE não é utilizado, sendo que a modelagem da abóbada celeste terá a sua distribuição luminosa definida de acordo com a posição do Sol (INANICI, 2001). O Sol é definido através da seleção de uma localização ou através da altura e azimute Solar. O valor da iluminância proveniente do Sol direto pode ser estipulado pelo usuário do programa (BRYAN; AUTIF, 2002).

Os resultados da simulação podem ser visualizados através de: imagens fotorealística, imagens em falsa cor ou escala de cinza, valores de luminância e iluminância em um ponto isolado ou em uma *grid*. O programa permite criar animações, mas para esta finalidade somente o modelo da radiosidade é utilizado

(LIMA, 2003).

Segundo Bryan e Autif (2002), é possível selecionar com o mouse qualquer ponto da imagem para que seja mostrado o valor da luminância e iluminância no local específico.

Pode-se também obter um resumo sobre as condições de iluminação de uma superfície selecionada, que mostrará os valores médios, mínimos e máximos da iluminância e luminância para aquele determinado objeto.

AUTODESK VIZ 2006

Programa da *Autodesk Inc.* para modelagem 3D, renderização e animação que possibilita a importação e exportação de dados para o AutoCAD entre outros programas do mesmo fabricante. A partir da versão Autodesk Viz 4 é possível fazer o cálculo da iluminação global, através de funções do programa Lightscape que foi incorporado pela empresa *Autodesk Inc.* Assim, os cálculos de iluminação são fisicamente fundamentados, com um modelo híbrido de cálculo que utiliza o método da radiosidade para calcular a distribuição difusa das superfícies e no final do processo é complementado pelo método *ray tracing* para o tratamento de superfícies especulares. O processo *ray tracing*, no caso deste programa, serve apenas para a visualização final dos efeitos de reflexão de luz, não interferindo na distribuição da mesma no ambiente.

Apesar do programa Lightscape ter sido incorporado pelo Autodesk Viz, foram feitos alguns ajustes inclusive com a mudança do algoritmo de cálculo da radiosidade.

Lightscape utiliza o método da radiosidade de refinamento progressivo Monte Carlo, ao passo que o Autodesk Viz usa o método da radiosidade estocástica relaxada.

O algoritmo para o cálculo da radiosidade utilizado pelo Autodesk Viz permite aumentar a suavidade das soluções da radiosidade com maior velocidade e com alguma perda de precisão, comparando àquele utilizado pelo Lightscape. Vray é um plug-in de renderização do Autodesk Viz, baseado no algoritmo Quasi - Monte Carlo. São possíveis duas formas de cálculo com este plug-in:

- *Direct computation*, algoritmo simples que traça todos os raios necessários

para o cálculo da iluminação global, porém, demanda um tempo maior de renderização;

- *Irradiance maps method*, este algoritmo reduz o tempo de renderização e por isto, produz resultados menos precisos.

Após o processamento das informações, o programa permite obter os valores de iluminância sobre qualquer objeto da cena através de uma seleção com o mouse. Há um quadro de diálogo específico de iluminação com informações sobre o nível médio de iluminância em todo cenário e informações específicas sobre os objetos estudados.

Autodesk VIZ utiliza os padrões de iluminação natural da IES e permite definir condições naturais da iluminação especificando a posição, a data, a hora, e as condições de cobertura de nuvem.

APOLUX 1.0

Este software foi elaborado pelo Prof. Anderson Claro da Universidade Federal de Santa Catarina, sendo o resultado de uma pesquisa de doutorado desenvolvida por este pesquisador.

Para o cálculo da iluminação natural, o programa utiliza um modelo matemático denominado Modelo Vetorial Esférico, “concebido tanto para determinar a visibilidade do céu para diferentes pontos de uma superfície de um projeto arquitetônico (interior ou exterior), quanto para estabelecer as relações de visibilidade entre os diferentes pontos das superfícies do projeto” (CLARO;PEREIRA;AGUIAR, 2003). Após os cálculos de visibilidade, aplica-se o algoritmo da radiosidade, para determinar a iluminação global resultante das condições de céu, da orientação, das superfícies para datas e horários estipulados. As simulações são realizadas considerando condição de céu claro, intermediário ou encoberto; assim como condição de ar limpo, de região montanhosa, litorânea, urbana, rural ou área industrial.

Segundo Claro; Pereira e Aguiar (2003), este software utiliza o formato de arquivos gráficos DXF no modo texto. Este fato permite a interface com sistemas CAD, assim como a geração de arquivos através de processamento ou edição em texto direto.

Os produtos obtidos pelo software são imagens semi-realistas, máscaras de obstrução para um ponto interno ou externo, condições de luminância do céu em projeção estereográfica, gráficos de luminância e iluminância em falsas cores, além de um conjunto de relatórios analíticos que podem ser pós processados em planilhas ou editores gráficos.

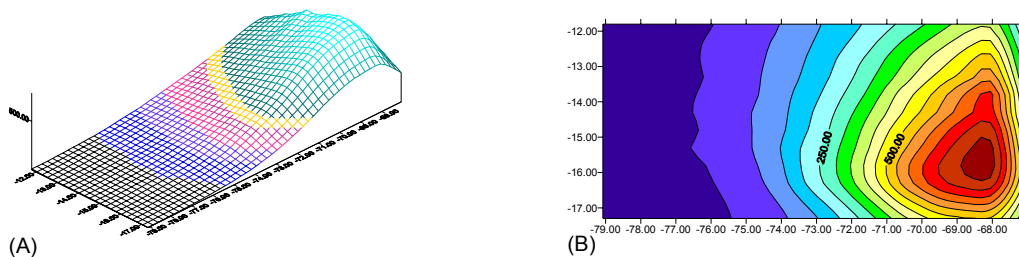


Figura 101 - (A) Gráfico tridimensional gerado no Surfer, (B) Gráfico bidimensional gerado no Surfer.

Fonte: Claro, Pereira e Aguiar (2003).

Um exemplo desta utilização é a possibilidade de gerar gráficos tridimensionais coloridos com valores isolux no programa Surfer, assim como um gráfico bidimensional da planta de um ambiente com valores isolux (Figura 100).

A ferramenta “máscaramento Solar” permite uma análise anual das condições de exposição ao Sol, para um ponto interno ou externo ao ambiente, possibilitando a verificação do comportamento de dispositivos de sombreamento para controle Solar.

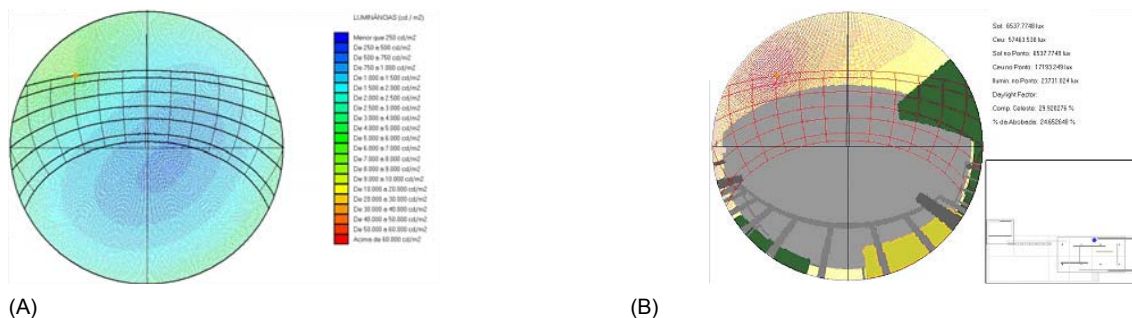


Figura 102 - (A) Visualização distribuição luminosa da abóbada celeste em projeção estereográfica, (B) Carta Solar mostrando o mascaramento de um ponto interno do ambiente

Fonte: Claro, Pereira e Aguiar (2003)

DLN – DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

Software desenvolvido por Scarazzato (1995), em sua tese de doutoramento, na Universidade de São Paulo. Este não é um software de cálculo da iluminação, mas sim, um modelo preditivo para a previsão da disponibilidade de luz natural, com

dados de todas as capitais brasileiras.

Este programa foi elaborado como alternativa à falta de coleta e sistematização de dados sobre a disponibilidade da luz natural no Brasil. Utiliza algoritmos de cálculo desenvolvidos pela IESNA-Illuminating Engineering Society of North America, publicados em 1984 no documento RP 21-84 (SCARAZZATO, 2004).

O programa fornece gráficos e tabelas com a disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações, sendo possível a obtenção de dados dentro do intervalo das 5h às 19hs.

Na tela inicial do programa, pode-se selecionar uma capital brasileira, ou inserir uma nova localidade indicando: o nome, latitude e o meridiano padrão (Figura 102). Este meridiano deve ser aproximado ao valor 15° ou de seus múltiplos, para que o programa possa converter o tempo solar verdadeiro, para hora legal, ou vice-versa.

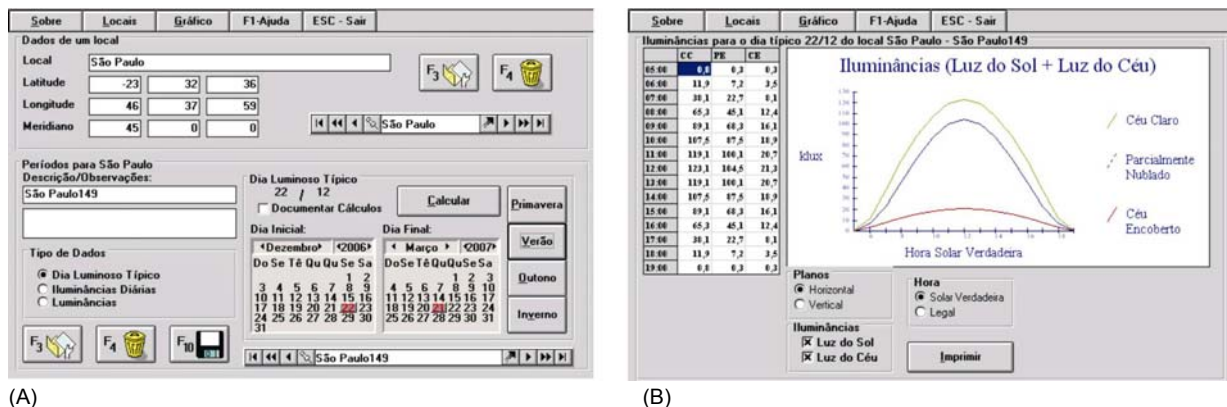


Figura 103- (A) Tela inicial do programa DLN, (B) Gráfico de iluminância calculado para o dia 22/12, na cidade de São Paulo
Fonte: Interface do programa

Após a seleção da cidade, mês e data de interesse, o programa realiza os cálculos e disponibiliza gráficos e uma tabela. Os valores horários da iluminância são expressos em Klux (Kilolux) para as condições de céu claro, parcialmente nublado e encoberto. É possível optar por valores no plano horizontal ou em planos verticais com uma variação azimutal de grau em grau, assim como optar para que seja calculada de forma separada a disponibilidade de luz proveniente da radiação direta (luz do Sol), da radiação difusa (luz do céu) ou da radiação global (luz do Sol + luz do céu) (SCARAZZATO, 2004).

Lux 1.0

Programa que calcula a estimativa do consumo médio de energia elétrica, devido ao uso de iluminação artificial em complemento à iluminação natural, desenvolvido pela Dra. Marcia Peinado Alucci, na Universidade de São Paulo.

Este software analisa a probabilidade de disponibilidade de iluminância interna, a partir da determinação da frequência de ocorrência dos níveis de iluminância externos. Estes dados são determinados com base no valores de radiação Solar medidos para determinada região, transformados em valores de iluminância, considerando o conceito de eficiência luminosa da radiação solar. Não é necessário que os usuários entrem com os dados de radiação, visto que já estão incluídos no banco de dados do programa.

O programa permite que sejam calculados a estimativa de consumo para as capitais brasileiras, através da determinação da distribuição da iluminância no ambiente.

Antes da realização da simulação o usuário deve determinar as dimensões do ambiente e das aberturas, escolher a localidade do projeto, o fator de caixilho, período de utilização, transmissividade dos vidros e a refletância dos revestimentos das superfícies internas.

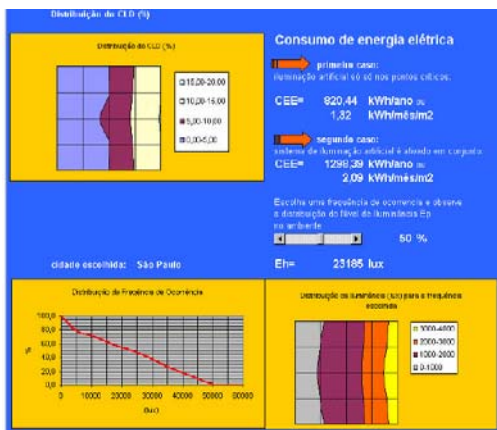


Figura 104 - Tela de resultados do programa Lux 1.0

Fonte: Interface do programa Lux 1.0

Além destes dados, o usuário deve determinar o valor da iluminância recomendada para o projeto a partir da norma (ABNT, 1992) - Iluminância de Interiores.

A partir destes dados de entrada, o programa calcula os valores de FLD (Fator de Luz Diurna), distribuídos em curvas isolux no ambiente e determina a frequência de ocorrência na qual a iluminância interna irá atingir o valor recomendado para o projeto, a partir da contribuição da iluminação natural.

Caso esta frequência atinja, por exemplo, 70% das horas do ano, isto significa que durante este período a iluminação natural estará suprimindo as necessidades do ambiente.

Para o restante das horas, a luz natural deverá ser complementada pelo sistema de iluminação artificial. A partir desta avaliação o programa calcula o consumo mínimo

de energia elétrica total resultante do sistema de iluminação artificial.

O programa tem limitações quanto a geometria dos ambientes, pois é possível simular apenas ambientes ortogonais. Também não são consideradas obstruções externas e dispositivos de controle da radiação solar

LUZ DO SOL 1.1

Desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos pelo Prof. Maurício Roriz. Este programa permite estimar o calor e a luz provenientes do Sol. Através de informações como latitude, orientação da abertura, nebulosidade, é possível gerar a projeção de raios solares em uma janela devido à incidência direta do Sol, para todos os dias e horas do ano, assim como tabelas com valores da radiação Solar e curvas isolux com o Fator de Luz Diurna (FLD).

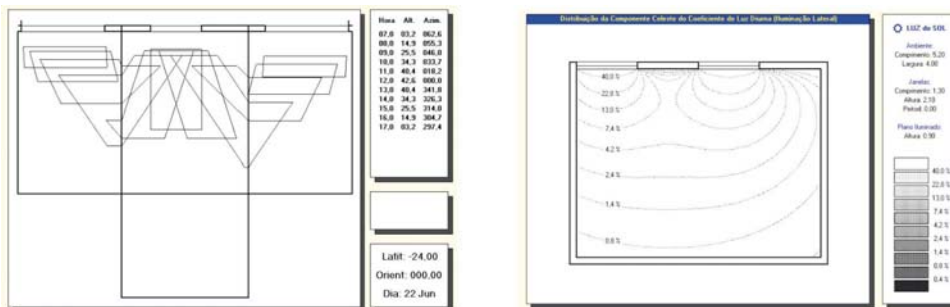


Figura 105 - (A) Tela de resultados da mancha de Sol no ambiente, (B) Distribuição da iluminação natural em curvas isolux

Para a obtenção das manchas de Sol e dos valores de Fator de Luz do Dia, deve-se determinar o tamanho do ambiente e das aberturas, através de um tela de visualização da planta do ambiente. Há restrições quanto aos ambientes simulados: estes devem ser quadrados ou retangulares, com no máximo duas janelas, sem proteções e vidros (CHVATAL et al., 2000).

Outro recurso do programa é a possibilidade de construção da carta Solar e do relógio de Sol para uma dada latitude. A carta Solar pode ser obtida com o transferidor auxiliar correspondente à fachada sobreposto ou separado, conforme a opção do usuário.

Este programa não é de renderização, assim não produz imagem fotorealista como produto de saída. Apesar desta questão, é um programa bastante útil pois permite, para locais com geometria simplificada, uma análise rápida da incidência solar.

APÊNDICE B – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PARA OS TRÊS TIPOS DE CÉU EM SÃO PAULO

Tabela 7 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no verão - São Paulo (1993 a 2005)

Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG - USP durante os anos de 1993 a 2005.

VERÃO (22/12 a 20/03) - Frequência de ocorrência de tipos de céu - Período tabulado 1993 a 2005															
DIAS (22 A 31) DE DEZEMBRO DE 1993 A 2005				JANEIRO DE 1993 a 2005				FEVEREIRO DE 1993 a 2005				DIAS (1 A 20) DE MARÇO DE 1993 a 2005			
Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto
dez/93	5%	13%	82%	jan/93	8%	25%	67%	fev/93	5%	11%	84%	mar/93	15%	22%	63%
dez/94	9%	16%	75%	jan/94	5%	16%	78%	fev/94	14%	25%	61%	mar/94	10%	17%	73%
dez/95	2%	16%	82%	jan/95	8%	20%	72%	fev/95	10%	15%	75%	mar/95	19%	20%	61%
dez/96	14%	24%	62%	jan/96	10%	21%	68%	fev/96	8%	18%	74%	mar/96	4%	21%	75%
dez/97	10%	33%	57%	jan/97	3%	14%	83%	fev/97	19%	25%	55%	mar/97	10%	30%	61%
dez/98	10%	17%	73%	jan/98	9%	24%	66%	fev/98	6%	18%	76%	mar/98	10%	21%	69%
dez/99	13%	26%	62%	jan/99	5%	16%	79%	fev/99	3%	14%	83%	mar/99	18%	36%	46%
dez/00	6%	20%	74%	jan/00	8%	26%	67%	fev/00	6%	15%	79%	mar/00	11%	22%	67%
dez/01	2%	9%	89%	jan/01	10%	28%	63%	fev/01	9%	25%	66%	mar/01	17%	29%	54%
dez/02	27%	23%	49%	jan/02	8%	20%	72%	fev/02	6%	21%	72%	mar/02	27%	38%	35%
dez/03	11%	11%	78%	jan/03	10%	9%	81%	fev/03	26%	28%	47%	mar/03	18%	17%	64%
dez/04	17%	14%	69%	jan/04	6%	11%	84%	fev/04	13%	16%	71%	mar/04	12%	18%	70%
dez/05	17%	24%	59%	jan/05	6%	14%	80%	fev/05	16%	23%	61%	mar/05	18%	21%	61%
	11%	19%	70%		7%	19%	74%		11%	20%	69%		14,5%	24%	61,5%
Média	Claro	12%													
	Parc.Enc.	20%													
	Encoberto	68%													

Tabela 8 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no inverno - São Paulo (1993 a 2005)

Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG - USP durante os anos de 1993 a 2005.

INVERNO (21/06 a 22/09) - Frequência de ocorrência de tipos de céu - Período tabulado 1993 a 2005																																															
DIAS (21 a 30) JUNHO DE 1993 A 2005				JULHO DE 1993 A 2005				AGOSTO DE 1993 A 2005				DIAS (1 a 22) DE SETEMBRO DE 1993 a 2005																																			
Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto																																
jun/93	65%	14%	21%	jul/93	40%	9%	51%	ago/93	36%	13%	51%	set/1993	21%	8%	71%																																
jun/94	63%	6%	31%	jul/94	58%	9%	34%	ago/94	45%	7%	47%	set/94	43%	5%	52%																																
jun/95	36%	12%	52%	jul/95	40%	14%	46%	ago/95	58%	9%	33%	set/95	43%	7%	51%																																
jun/96	9%	19%	71%	jul/96	29%	12%	59%	ago/96	50%	11%	40%	set/96	24%	7%	69%																																
jun/97	52%	7%	42%	jul/97	40%	15%	45%	ago/97	49%	10%	41%	set/97	30%	13%	58%																																
jun/98	19%	16%	64%	jul/98	21%	17%	62%	ago/98	17%	17%	66%	set/98	25%	5%	70%																																
jun/99	44%	15%	41%	jul/99	26%	16%	58%	ago/99	56%	9%	34%	set/99	26%	9%	65%																																
jun/00	42%	20%	38%	jul/00	30%	16%	54%	ago/00	28%	13%	59%	set/00	13%	13%	74%																																
jun/01	28%	8%	58%	jul/01	37%	14%	49%	ago/01	45%	19%	37%	set/01	32%	16%	52%																																
jun/02	37%	7%	56%	jul/02	30%	16%	54%	ago/02	43%	16%	40%	set/02	18%	14%	68%																																
jun/03	70%	9%	21%	jul/03	43%	13%	44%	ago/03	35%	9%	55%	set/03	30%	9%	61%																																
jun/04	34%	24%	42%	jul/04	32%	15%	53%	ago/04	49%	12%	39%	set/04	54%	9%	37%																																
jun/05	26%	16%	58%	jul/05	41%	13%	46%	ago/05	51%	9%	40%	set/05	11%	8%	81%																																
40%				13%				46%				36%				14%				50%				43%				12%				45%				28%				9%				62%			
Média	Claro	37,0%																																													
	Parc.Enc.	12,0%																																													
	Encoberto	51,0%																																													

Tabela 9 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu no outono - São Paulo (1993 a 2005)

Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG – USP durante os anos de 1993 a 2005.

OUTONO (21/03 a 20/06) - Frequência de ocorrência de tipos de céu - Período tabulado 1993 a 2005															
DIAS (21 A 31) DE MARÇO DE 1993 A 2005				ABRIL DE 1993 A 2005				MAIO DE 1993 a 2005				DIAS (1 a 20) JUNHO DE 1993 A 2005			
Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto
mar/93	9%	15%	76%	abr/93	34%	19%	47%	mai/93	34%	15%	50%	jun/93	19%	11%	69%
mar/94	17%	26%	57%	abr/94	21%	16%	62%	mai/94	28%	15%	57%	jun/94	37%	16%	47%
mar/95	13%	17%	71%	abr/95	27%	21%	51%	mai/95	16%	22%	62%	jun/95	59%	10%	31%
mar/96	18%	31%	51%	abr/96	29%	24%	46%	mai/96	24%	28%	48%	jun/96	43%	15%	43%
mar/97	19%	38%	43%	abr/97	30%	20%	50%	mai/97	28%	22%	50%	jun/97	29%	19%	52%
mar/98	5%	17%	78%	abr/98	22%	14%	64%	mai/98	23%	16%	61%	jun/98	23%	19%	58%
mar/99	16%	29%	55%	abr/99	21%	24%	56%	mai/99	33%	18%	49%	jun/99	20%	8%	73%
mar/00	4%	7%	89%	abr/00	44%	21%	35%	mai/00	35%	22%	42%	jun/00	37%	19%	44%
mar/01	17%	30%	53%	abr/01	35%	31%	34%	mai/01	24%	17%	59%	jun/01	38%	21%	40%
mar/02	23%	22%	55%	abr/02	32%	31%	37%	mai/02	25%	19%	57%	jun/02	45%	19%	36%
mar/03	8%	16%	76%	abr/03	23%	22%	55%	mai/03	35%	18%	47%	jun/03	38%	14%	47%
mar/04	15%	32%	53%	abr/04	18%	21%	62%	mai/04	17%	15%	68%	jun/04	31%	12%	57%
mar/05	6%	11%	83%	abr/05	21%	22%	57%	mai/05	39%	16%	44%	jun/05	53%	18%	29%
	13%	22%	65%		28%	22%	50%		28%	19%	53%		36%	16%	48%
Média	Claro	26,75%													
	Parc.Enc.	19,75%													
	Encoberto	53,50%													

Tabela 10 - Frequência de ocorrência dos tipos de céu na primavera - São Paulo (1993 a 2005)

Fonte: Tabulação elaborada pela autora da pesquisa com os dados de nebulosidade mensal disponibilizados pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG - USP durante os anos de 1993 a 2005.

PRIMAVERA (23/09 a 21/12) - Frequência de ocorrência de tipos de céu - Período tabulado 1993 a 2005															
DIAS (23 a 30) DE SETEMBRO DE 1993 a 2005				OUTUBRO DE 1993 A 2005				NOVEMBRO DE 1993 a 2005				DIAS (1 A 21) DE DEZEMBRO DE 1993 A 2005			
Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto	Mês	Claro	Parc.Enc.	Encoberto
set/1993	5%	6%	90%	out/93	23%	15%	62%	nov/93	23%	22%	55%	dez/93	12%	19%	68%
set/94	55%	3%	42%	out/94	12%	12%	76%	nov/94	17%	21%	62%	dez/94	15%	21%	64%
set/95	1%	3%	96%	out/95	19%	11%	70%	nov/95	22%	22%	56%	dez/95	19%	25%	57%
set/96	10%	8%	82%	out/96	19%	14%	67%	nov/96	19%	15%	66%	dez/96	10%	15%	75%
set/97	13%	10%	77%	out/97	12%	12%	76%	nov/97	9%	15%	76%	dez/97	12%	22%	66%
set/98	6%	10%	85%	out/98	8%	11%	81%	nov/98	13%	17%	70%	dez/98	17%	27%	56%
set/99	31%	17%	53%	out/99	10%	11%	79%	nov/99	19%	21%	61%	dez/99	24%	20%	56%
set/00	31%	16%	53%	out/00	21%	16%	63%	nov/00	9%	17%	74%	dez/00	15%	15%	70%
set/01	12%	14%	74%	out/01	33%	17%	50%	nov/01	14%	17%	69%	dez/01	14%	23%	63%
set/02	14%	12%	74%	out/02	23%	15%	62%	nov/02	12%	16%	72%	dez/02	7%	13%	80%
set/03	25%	15%	60%	out/03	20%	10%	70%	nov/03	12%	15%	73%	dez/03	4%	12%	84%
set/04	40%	9%	51%	out/04	9%	8%	84%	nov/04	14%	15%	71%	dez/04	10%	13%	77%
set/05	2%	10%	88%	out/05	8%	9%	83%	nov/05	12%	18%	70%	dez/05	9%	11%	80%
	19%	10%	71%		17%	12%	71%		15%	18%	67%		13%	18%	69%
Média	Claro	16,5%													
	Parc.Enc.	14,5%													
	Encoberto	69%													

**APÊNDICE C – TABELAS DAS MEDIÇÕES DAS ILUMINÂNCIAS NOS
MODELOS 1 E 2**

Tabela 11- Valores de iluminância medidos nos modelos 1 e 2, sob condição de céu encoberto

Data: 26/3/2006		Modelo Reduzido 1 (sem prateleira de luz)					Modelo Reduzido 2 (com prateleira de luz)				
Céu encoberto											
Horário		13:00hs					13:00hs				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro		
23.500	Ponto 1	3.520	C1 1,048	0,765	2820	12,0%	780	C1 1,048	0,765	630	2,7%
23.500	Ponto 2	2.200	C2 1,016	0,765	1710	7,3%	1.090	C2 1,016	0,765	850	3,6%
23.500	Ponto 3	1.130	C3 1,006	0,765	870	3,7%	680	C3 1,006	0,765	520	2,2%
23.500	Ponto 4	710	C4 0,986	0,765	540	2,3%	460	C4 0,986	0,765	350	1,5%
23.500	Ponto 5	530	C5 0,991	0,765	400	1,7%	370	C5 0,991	0,765	280	1,2%
Horário		13:30hs					13:30hs				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro		
18000	Ponto 1	2.690	C1 1,048	0,765	2160	12,0%	610	C1 1,048	0,765	490	2,7%
18000	Ponto 2	1.680	C2 1,016	0,765	1310	7,3%	840	C2 1,016	0,765	650	3,6%
18000	Ponto 3	870	C3 1,006	0,765	670	3,7%	520	C3 1,006	0,765	400	2,2%
18000	Ponto 4	540	C4 0,986	0,765	410	2,3%	360	C4 0,986	0,765	270	1,5%
18000	Ponto 5	410	C5 0,991	0,765	310	1,7%	290	C5 0,991	0,765	220	1,2%
Horário		14:00hs					14:00hs				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro		
15.200	Ponto 1	2.270	C1 1,048	0,765	1820	12,0%	510	C1 1,048	0,765	410	2,7%
15.200	Ponto 2	1.430	C2 1,016	0,765	1110	7,3%	710	C2 1,016	0,765	550	3,6%
15.200	Ponto 3	730	C3 1,006	0,765	560	3,7%	430	C3 1,006	0,765	330	2,2%
15.200	Ponto 4	460	C4 0,986	0,765	350	2,3%	300	C4 0,986	0,765	230	1,5%
15.200	Ponto 5	340	C5 0,991	0,765	260	1,7%	240	C5 0,991	0,765	180	1,2%
Horário		14:30hs					14:30hs				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K	
13700	Ponto 1	2.040	C1 1,048	0,765	1640	12,0%	460	C1 1,048	0,765	370	2,7%
13700	Ponto 2	1.290	C2 1,016	0,765	1000	7,3%	630	C2 1,016	0,765	490	3,6%
13700	Ponto 3	660	C3 1,006	0,765	510	3,7%	390	C3 1,006	0,765	300	2,2%
13700	Ponto 4	410	C4 0,986	0,765	310	2,3%	270	C4 0,986	0,765	206	1,5%
13700	Ponto 5	300	C5 0,991	0,765	230	1,7%	210	C5 0,991	0,765	160	1,2%
Horário		15:00h					15:00h				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K	
12.500	Ponto 1	1.870	C1 1,048	0,765	1500	12,0%	420	C1 1,048	0,765	340	2,7%
12.500	Ponto 2	1.170	C2 1,016	0,765	910	7,3%	580	C2 1,016	0,765	450	3,6%
12.500	Ponto 3	600	C3 1,006	0,765	460	3,7%	350	C3 1,006	0,765	270	2,2%
12.500	Ponto 4	380	C4 0,986	0,765	290	2,3%	260	C4 0,986	0,765	200	1,5%
12.500	Ponto 5	280	C5 0,991	0,765	210	1,7%	200	C5 0,991	0,765	150	1,2%
Horário		15:30h					15:30h				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K	
11.800	Ponto 1	1.770	C1 1,048	0,765	1420	12,0%	400	C1 1,048	0,765	320	2,7%
11.800	Ponto 2	1.110	C2 1,016	0,765	860	7,3%	540	C2 1,016	0,765	420	3,6%
11.800	Ponto 3	570	C3 1,006	0,765	440	3,7%	340	C3 1,006	0,765	260	2,2%
11.800	Ponto 4	360	C4 0,986	0,765	270	2,3%	240	C4 0,986	0,765	180	1,5%
11.800	Ponto 5	260	C5 0,991	0,765	200	1,7%	180	C5 0,991	0,765	140	1,2%
Horário		16:00h					16:00h				
Eext medido		Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD	Eint (Lx)	Cp	T × K	Eint corrigido	FLD
Eext × C6			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K			Fator normalização	Correção do vidro	Eint × Cp × T × K	Eint corrigido / Eext
10.700	Ponto 1	1.600	C1 1,048	0,765	1280	12,0%	360	C1 1,048	0,765	290	2,7%
10.700	Ponto 2	1.000	C2 1,016	0,765	780	7,3%	490	C2 1,016	0,765	380	3,6%
10.700	Ponto 3	520	C3 1,006	0,765	400	3,7%	300	C3 1,006	0,765	230	2,2%
10.700	Ponto 4	330	C4 0,986	0,765	250	2,3%	210	C4 0,986	0,765	160	1,5%
10.700	Ponto 5	240	C5 0,991	0,765	180	1,7%	170	C5 0,991	0,765	130	1,2%

$E_{int\ corrigido} = E_{int} \times C_p \times K \times T$ (1)

C_p = Fator de normalização para os luxímetros internos e o externo. Ver tabela 06.

K = coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = transmissividade do vidro (0,85)

$FLD = E_{int\ corrigido} / E_{ext\ normalizado}$ (2)

Tabela 12 - Valores de iluminância simulados para o dia 22/12, através do relógio de sol, sob condição de céu claro

Data da simulação: 22/12 Data da medição: 30/4/2006 Hora da medição: 13:00 às 13:30hs			Modelo Reduzido 1 (sem prateleira de luz)					Modelo Reduzido 2 (com prateleira de luz)					
	Eext, est. para 22/12	Eext, med. Eext × C6		Eint (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido	Eint (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido
Horário simulado 8:00h céu claro	65.300	91.000	Ponto 1	2.800	C1 = 1,048	0,765	0,718	1610 lux	1.690	C1 = 1,048	0,765	0,718	970 lux
	65.300	91.000	Ponto 2	2.170	C2 = 1,016	0,765	0,718	1210 lux	1.760	C2 = 1,016	0,765	0,718	980 lux
	65.300	91.000	Ponto 3	1.390	C3 = 1,006	0,765	0,718	770 lux	1.070	C3 = 1,006	0,765	0,718	590 lux
	65.300	91.000	Ponto 4	1.020	C4 = 0,986	0,765	0,718	550 lux	680	C4 = 0,986	0,765	0,718	370 lux
	65.300	91.000	Ponto 5	770	C5 = 0,991	0,765	0,718	420 lux	480	C5 = 0,991	0,765	0,718	260 lux
Horário simulado 9:00h céu claro	89.100	91.200	Ponto 1	2.560	C1 = 1,048	0,765	0,990	2030 lux	1.980	C1 = 1,048	0,765	0,990	1570 lux
	89.100	91.200	Ponto 2	1.600	C2 = 1,016	0,765	0,990	1230 lux	1.530	C2 = 1,016	0,765	0,990	1180 lux
	89.100	91.200	Ponto 3	1.050	C3 = 1,006	0,765	0,990	800 lux	850	C3 = 1,006	0,765	0,990	650 lux
	89.100	91.200	Ponto 4	790	C4 = 0,986	0,765	0,990	590 lux	460	C4 = 0,986	0,765	0,990	340 lux
	89.100	91.200	Ponto 5	600	C5 = 0,991	0,765	0,990	450 lux	310	C5 = 0,991	0,765	0,990	230 lux
Horário simulado 10:00h céu claro	107.500	92100	Ponto 1	2.460	C1 = 1,048	0,765	1,167	2300 lux	1.900	C1 = 1,048	0,765	1,167	1780 lux
	107.500	92100	Ponto 2	1.600	C2 = 1,016	0,765	1,167	1450 lux	1.700	C2 = 1,016	0,765	1,167	1540 lux
	107.500	92100	Ponto 3	950	C3 = 1,006	0,765	1,167	850 lux	890	C3 = 1,006	0,765	1,167	800 lux
	107.500	92100	Ponto 4	730	C4 = 0,986	0,765	1,167	640 lux	440	C4 = 0,986	0,765	1,167	390 lux
	107.500	92100	Ponto 5	550	C5 = 0,991	0,765	1,167	490 lux	300	C5 = 0,991	0,765	1,167	270 lux
Horário simulado 11:00h céu claro	119.100	90.000	Ponto 1	2.560	C1 = 1,048	0,765	1,323	2720 lux	1.960	C1 = 1,048	0,765	1,323	2080 lux
	119.100	90.000	Ponto 2	1.610	C2 = 1,016	0,765	1,323	1660 lux	1.740	C2 = 1,016	0,765	1,323	1790 lux
	119.100	90.000	Ponto 3	980	C3 = 1,006	0,765	1,323	1000 lux	900	C3 = 1,006	0,765	1,323	920 lux
	119.100	90.000	Ponto 4	700	C4 = 0,986	0,765	1,323	700 lux	470	C4 = 0,986	0,765	1,323	470 lux
	119.100	90.000	Ponto 5	540	C5 = 0,991	0,765	1,323	540 lux	280	C5 = 0,991	0,765	1,323	280 lux
Horário simulado 12:00h céu claro	123.100	90.000	Ponto 1	2.730	C1 = 1,048	0,765	1,368	2990 lux	2.090	C1 = 1,048	0,765	1,368	2290 lux
	123.100	90.000	Ponto 2	1.720	C2 = 1,016	0,765	1,368	1830 lux	1.850	C2 = 1,016	0,765	1,368	1970 lux
	123.100	90.000	Ponto 3	1.130	C3 = 1,006	0,765	1,368	1190 lux	970	C3 = 1,006	0,765	1,368	1020 lux
	123.100	90.000	Ponto 4	750	C4 = 0,986	0,765	1,368	770 lux	500	C4 = 0,986	0,765	1,368	520 lux
	123.100	90.000	Ponto 5	570	C5 = 0,991	0,765	1,368	590 lux	360	C5 = 0,991	0,765	1,368	370 lux
Horário simulado 13:00h céu claro	119.100	89.000	Ponto 1	2.610	C1 = 1,048	0,765	1,338	2800 lux	2.030	C1 = 1,048	0,765	1,338	2180 lux
	119.100	89.000	Ponto 2	1.610	C2 = 1,016	0,765	1,338	1680 lux	1.760	C2 = 1,016	0,765	1,338	1830 lux
	119.100	89.000	Ponto 3	1.000	C3 = 1,006	0,765	1,338	1030 lux	980	C3 = 1,006	0,765	1,338	1010 lux
	119.100	89.000	Ponto 4	700	C4 = 0,986	0,765	1,338	710 lux	480	C4 = 0,986	0,765	1,338	490 lux
	119.100	89.000	Ponto 5	540	C5 = 0,991	0,765	1,338	550 lux	330	C5 = 0,991	0,765	1,338	330 lux
Horário simulado 14:00h céu claro	107.500	89.300	Ponto 1	2.430	C1 = 1,048	0,765	1,204	2350 lux	1.880	C1 = 1,048	0,765	1,204	1820 lux
	107.500	89.300	Ponto 2	1.600	C2 = 1,016	0,765	1,204	1500 lux	1.680	C2 = 1,016	0,765	1,204	1570 lux
	107.500	89.300	Ponto 3	910	C3 = 1,006	0,765	1,204	840 lux	880	C3 = 1,006	0,765	1,204	820 lux
	107.500	89.300	Ponto 4	710	C4 = 0,986	0,765	1,204	650 lux	490	C4 = 0,986	0,765	1,204	450 lux
	107.500	89.300	Ponto 5	540	C5 = 0,991	0,765	1,204	490 lux	320	C5 = 0,991	0,765	1,204	290 lux
Horário simulado 15:00h céu claro	89.100	88.700	Ponto 1	2.520	C1 = 1,048	0,765	1,005	2030	1.700	C1 = 1,048	0,765	1,005	1370 lux
	89.100	88.700	Ponto 2	1.580	C2 = 1,016	0,765	1,005	1230	1.570	C2 = 1,016	0,765	1,005	1230 lux
	89.100	88.700	Ponto 3	1.030	C3 = 1,006	0,765	1,005	800	960	C3 = 1,006	0,765	1,005	740 lux
	89.100	88.700	Ponto 4	780	C4 = 0,986	0,765	1,005	590	490	C4 = 0,986	0,765	1,005	370 lux
	89.100	88.700	Ponto 5	590	C5 = 0,991	0,765	1,005	450	340	C5 = 0,991	0,765	1,005	260 lux
Horário simulado 16:00h céu claro	65.300	88.400	Ponto 1	2.790	C1 = 1,048	0,765	0,739	1650 lux	1.660	C1 = 1,048	0,765	0,739	980 lux
	65.300	88.400	Ponto 2	2.140	C2 = 1,016	0,765	0,739	1230 lux	1.780	C2 = 1,016	0,765	0,739	1020 lux
	65.300	88.400	Ponto 3	1.390	C3 = 1,006	0,765	0,739	790 lux	1.060	C3 = 1,006	0,765	0,739	600 lux
	65.300	88.400	Ponto 4	1.020	C4 = 0,986	0,765	0,739	570 lux	680	C4 = 0,986	0,765	0,739	380
	65.300	88.400	Ponto 5	750	C5 = 0,991	0,765	0,739	420 lux	480	C5 = 0,991	0,765	0,739	270 lux
Horário simulado 17:00h céu claro	38.100	88.000	Ponto 1	3.080	C1 = 1,048	0,765	0,433	1070 lux	1.270	C1 = 1,048	0,765	0,433	440 lux
	38.100	88.000	Ponto 2	2.610	C2 = 1,016	0,765	0,433	880 lux	1.690	C2 = 1,016	0,765	0,433	570 lux
	38.100	88.000	Ponto 3	1.710	C3 = 1,006	0,765	0,433	570 lux	1.140	C3 = 1,006	0,765	0,433	380 lux
	38.100	88.000	Ponto 4	1.230	C4 = 0,986	0,765	0,433	400 lux	830	C4 = 0,986	0,765	0,433	270 lux
	38.100	88.000	Ponto 5	970	C5 = 0,991	0,765	0,433	320 lux	640	C5 = 0,991	0,765	0,433	210 lux
Horário simulado 18:00h céu claro	11.900	86.000	Ponto 1	7.030	C1 = 1,048	0,765	0,138	780 lux	2.790	C1 = 1,048	0,765	0,138	310 lux
	11.900	86.000	Ponto 2	6.420	C2 = 1,016	0,765	0,138	690 lux	4.000	C2 = 1,016	0,765	0,138	430 lux
	11.900	86.000	Ponto 3	4.320	C3 = 1,006	0,765	0,138	460 lux	2.530	C3 = 1,006	0,765	0,138	270 lux
	11.900	86.000	Ponto 4	3.070	C4 = 0,986	0,765	0,138	320 lux	2.110	C4 = 0,986	0,765	0,138	220 lux
	11.900	86.000	Ponto 5	2.380	C5 = 0,991	0,765	0,138	250 lux	1.620	C5 = 0,991	0,765	0,138	170 lux

$E_{int\ corrigido} = E_{int} \times C_p \times K \times T \times RE$

C_p = Fator de normalização para os luxímetros internos e o externo. Ver tabela 06.

K = coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = transmissividade do vidro (0,85)

RE = Fator de correção da intensidade solar

$RE = E_{ext., est.} / E_{ext., med}$ (iluminância externa estimada/ iluminância externa medida)

Tabela 13- Valores de iluminância simulados para o dia 21/03, através do relógio de sol, sob condição de céu claro

Data da simulação: 21/03 Data da medição: 30/4/2006 Hora da medição: 14:00 às 14:40hs			Modelo Reduzido 1 (sem prateleira de luz)					Modelo Reduzido 2 (com prateleira de luz)					
	Eext, est. para 21/03	Eext, med. Eext × C6		Eint (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido	Eint (Lx) (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido
Horário simulado 8:00h céu claro	49.400	85.000	Ponto 1	5.060	C1 = 1,048	0,765	0,581	2360 lux	2.510	C1 = 1,048	0,765	0,581	1170 lux
	49.400	85.000	Ponto 2	4.160	C2 = 1,016	0,765	0,581	1880 lux	2.660	C2 = 1,016	0,765	0,581	1200 lux
	49.400	85.000	Ponto 3	2.880	C3 = 1,006	0,765	0,581	1290 lux	1.380	C3 = 1,006	0,765	0,581	620 lux
	49.400	85.000	Ponto 4	2.280	C4 = 0,986	0,765	0,581	1000 lux	820	C4 = 0,986	0,765	0,581	360 lux
	49.400	85.000	Ponto 5	1.930	C5 = 0,991	0,765	0,581	850 lux	540	C5 = 0,991	0,765	0,581	240 lux
Horário simulado 9:00h céu claro	74.600	84.700	Ponto 1	4.950	C1 = 1,048	0,765	0,905	3590 lux	2.220	C1 = 1,048	0,765	0,905	1610 lux
	74.600	84.700	Ponto 2	3.840	C2 = 1,016	0,765	0,905	2700 lux	2.410	C2 = 1,016	0,765	0,905	1700 lux
	74.600	84.700	Ponto 3	2.730	C3 = 1,006	0,765	0,905	1900 lux	1.120	C3 = 1,006	0,765	0,905	780 lux
	74.600	84.700	Ponto 4	2.180	C4 = 0,986	0,765	0,905	1490 lux	570	C4 = 0,986	0,765	0,905	390 lux
	74.600	84.700	Ponto 5	1.920	C5 = 0,991	0,765	0,905	1320 lux	360	C5 = 0,991	0,765	0,905	250 lux
Horário simulado 10:00h céu claro	94.100	84000	Ponto 1	61.790	C1 = 1,048	0,765	1,120	55500 lux	2.090	C1 = 1,048	0,765	1,120	1880 lux
	94.100	84000	Ponto 2	3.700	C2 = 1,016	0,765	1,120	3220 lux	2.200	C2 = 1,016	0,765	1,120	1920 lux
	94.100	84000	Ponto 3	2.740	C3 = 1,006	0,765	1,120	2360 lux	1.010	C3 = 1,006	0,765	1,120	870 lux
	94.100	84000	Ponto 4	2.200	C4 = 0,986	0,765	1,120	1860 lux	520	C4 = 0,986	0,765	1,120	440 lux
	94.100	84000	Ponto 5	1.950	C5 = 0,991	0,765	1,120	1660 lux	300	C5 = 0,991	0,765	1,120	260 lux
Horário simulado 11:00h céu claro	106.400	82.400	Ponto 1	62.000	C1 = 1,048	0,765	1,291	64180 lux	1.940	C1 = 1,048	0,765	1,291	2010 lux
	106.400	82.400	Ponto 2	3.750	C2 = 1,016	0,765	1,291	3760 lux	2.020	C2 = 1,016	0,765	1,291	2030 lux
	106.400	82.400	Ponto 3	2.710	C3 = 1,006	0,765	1,291	2690 lux	940	C3 = 1,006	0,765	1,291	930 lux
	106.400	82.400	Ponto 4	2.190	C4 = 0,986	0,765	1,291	2130 lux	470	C4 = 0,986	0,765	1,291	460 lux
	106.400	82.400	Ponto 5	1.920	C5 = 0,991	0,765	1,291	1880 lux	300	C5 = 0,991	0,765	1,291	290 lux
Horário simulado 12:00h céu claro	110.700	80.000	Ponto 1	60.510	C1 = 1,048	0,765	1,384	67130 lux	1.890	C1 = 1,048	0,765	1,384	2100 lux
	110.700	80.000	Ponto 2	5.300	C2 = 1,016	0,765	1,384	5700 lux	2.000	C2 = 1,016	0,765	1,384	2150 lux
	110.700	80.000	Ponto 3	3.660	C3 = 1,006	0,765	1,384	3900 lux	920	C3 = 1,006	0,765	1,384	980 lux
	110.700	80.000	Ponto 4	2.870	C4 = 0,986	0,765	1,384	3000 lux	470	C4 = 0,986	0,765	1,384	490 lux
	110.700	80.000	Ponto 5	2.650	C5 = 0,991	0,765	1,384	2780 lux	290	C5 = 0,991	0,765	1,384	300 lux
Horário simulado 13:00h céu claro	106.400	77.300	Ponto 1	58.950	C1 = 1,048	0,765	1,376	65050 lux	1.790	C1 = 1,048	0,765	1,376	1980 lux
	106.400	77.300	Ponto 2	3.640	C2 = 1,016	0,765	1,376	3900 lux	1.950	C2 = 1,016	0,765	1,376	2090 lux
	106.400	77.300	Ponto 3	2.600	C3 = 1,006	0,765	1,376	2750 lux	890	C3 = 1,006	0,765	1,376	940 lux
	106.400	77.300	Ponto 4	2.070	C4 = 0,986	0,765	1,376	2150 lux	470	C4 = 0,986	0,765	1,376	490 lux
	106.400	77.300	Ponto 5	1.830	C5 = 0,991	0,765	1,376	1910 lux	250	C5 = 0,991	0,765	1,376	260 lux
Horário simulado 14:00h céu claro	94.100	75.200	Ponto 1	56.630	C1 = 1,048	0,765	1,251	56810 lux	1.880	C1 = 1,048	0,765	1,251	1890 lux
	94.100	75.200	Ponto 2	3.440	C2 = 1,016	0,765	1,251	3350 lux	2.100	C2 = 1,016	0,765	1,251	2040 lux
	94.100	75.200	Ponto 3	2.600	C3 = 1,006	0,765	1,251	2500 lux	890	C3 = 1,006	0,765	1,251	860 lux
	94.100	75.200	Ponto 4	2.000	C4 = 0,986	0,765	1,251	1890 lux	420	C4 = 0,986	0,765	1,251	400 lux
	94.100	75.200	Ponto 5	1.820	C5 = 0,991	0,765	1,251	1730 lux	340	C5 = 0,991	0,765	1,251	320 lux
Horário simulado 15:00h céu claro	74.600	73.000	Ponto 1	4.430	C1 = 1,048	0,765	1,022	3630 lux	1.780	C1 = 1,048	0,765	1,022	1460 lux
	74.600	73.000	Ponto 2	3.490	C2 = 1,016	0,765	1,022	2770 lux	2.210	C2 = 1,016	0,765	1,022	1760 lux
	74.600	73.000	Ponto 3	2.490	C3 = 1,006	0,765	1,022	1960 lux	1.000	C3 = 1,006	0,765	1,022	790 lux
	74.600	73.000	Ponto 4	2.010	C4 = 0,986	0,765	1,022	1550 lux	530	C4 = 0,986	0,765	1,022	410 lux
	74.600	73.000	Ponto 5	1.740	C5 = 0,991	0,765	1,022	1350 lux	360	C5 = 0,991	0,765	1,022	280 lux
Horário simulado 16:00h céu claro	49.400	72.800	Ponto 1	4.260	C1 = 1,048	0,765	0,679	2320 lux	2.220	C1 = 1,048	0,765	0,679	1210 lux
	49.400	72.800	Ponto 2	3.470	C2 = 1,016	0,765	0,679	1830 lux	2.350	C2 = 1,016	0,765	0,679	1240 lux
	49.400	72.800	Ponto 3	2.410	C3 = 1,006	0,765	0,679	1260 lux	1.240	C3 = 1,006	0,765	0,679	650 lux
	49.400	72.800	Ponto 4	1.890	C4 = 0,986	0,765	0,679	970 lux	760	C4 = 0,986	0,765	0,679	390 lux
	49.400	72.800	Ponto 5	1.560	C5 = 0,991	0,765	0,679	800 lux	560	C5 = 0,991	0,765	0,679	290 lux
Horário simulado 17:00h céu claro	21.500	72.000	Ponto 1	4.260	C1 = 1,048	0,765	0,299	1020 lux	2.260	C1 = 1,048	0,765	0,299	540 lux
	21.500	72.000	Ponto 2	3.620	C2 = 1,016	0,765	0,299	840 lux	2.370	C2 = 1,016	0,765	0,299	550 lux
	21.500	72.000	Ponto 3	2.440	C3 = 1,006	0,765	0,299	560 lux	1.440	C3 = 1,006	0,765	0,299	330 lux
	21.500	72.000	Ponto 4	1.950	C4 = 0,986	0,765	0,299	440 lux	930	C4 = 0,986	0,765	0,299	210 lux
	21.500	72.000	Ponto 5	1.770	C5 = 0,991	0,765	0,299	400 lux	620	C5 = 0,991	0,765	0,299	140 lux
Horário simulado 18:00h céu claro	1.600	72.000	Ponto 1	20.200	C1 = 1,048	0,765	0,022	360 lux	8.420	C1 = 1,048	0,765	0,022	150 lux
	1.600	72.000	Ponto 2	17.950	C2 = 1,016	0,765	0,022	310 lux	11.000	C2 = 1,016	0,765	0,022	190 lux
	1.600	72.000	Ponto 3	12.280	C3 = 1,006	0,765	0,022	210 lux	7.600	C3 = 1,006	0,765	0,022	130 lux
	1.600	72.000	Ponto 4	10.140	C4 = 0,986	0,765	0,022	170 lux	5.960	C4 = 0,986	0,765	0,022	100 lux
	1.600	72.000	Ponto 5	8.900	C5 = 0,991	0,765	0,022	150 lux	4.150	C5 = 0,991	0,765	0,022	70 lux

Eint corrigido= Eint × Cp × K × T × RE

Cp = Fator de normalização para os luxímetros internos e o externo. Ver tabela 06.

K = coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = transmissividade do vidro (0,85)

RE = Fator de correção da intensidade solar

RE = Eext., est./ Eext., med (iluminância externa estimada/ iluminância externa medida)

Tabela 14- Valores de iluminância simulados para o dia 22/06, através do relógio de sol, sob condição de céu claro

Data da simulação: 22/06			Modelo Reduzido 1 (sem prateleira de luz)					Modelo Reduzido 2 (com prateleira de luz)					
Data da medição: 30/4/2006													
Hora da medição: 15:00 às 15:30hs													
	Eext, est. para 21/03	Eext, med. Eext × C6		Eint (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido	Eint (Lx) (Lx)	Cp normalização	VIDRO T × K	RE	Eint corrigido
Horário simulado 8:00h céu claro	24.400	45.100	Ponto 1	2.240	C1 = 1,048	0,765	0,541	970 lux	1.770	C1 = 1,048	0,765	0,541	770 lux
	24.400	45.100	Ponto 2	2.160	C2 = 1,016	0,765	0,541	910 lux	1.740	C2 = 1,016	0,765	0,541	730 lux
	24.400	45.100	Ponto 3	1.660	C3 = 1,006	0,765	0,541	690 lux	1.180	C3 = 1,006	0,765	0,541	490 lux
	24.400	45.100	Ponto 4	1.080	C4 = 0,986	0,765	0,541	440 lux	780	C4 = 0,986	0,765	0,541	320 lux
	24.400	45.100	Ponto 5	900	C5 = 0,991	0,765	0,541	370 lux	560	C5 = 0,991	0,765	0,541	230 lux
Horário simulado 9:00h céu claro	45.700	42.100	Ponto 1	2.760	C1 = 1,048	0,765	1,419	3140 lux	1.840	C1 = 1,048	0,765	1,419	2090 lux
	45.700	42.100	Ponto 2	2.830	C2 = 1,016	0,765	1,419	3120 lux	1.870	C2 = 1,016	0,765	1,419	2060 lux
	45.700	42.100	Ponto 3	2.100	C3 = 1,006	0,765	1,419	2290 lux	1.330	C3 = 1,006	0,765	1,419	1450 lux
	45.700	42.100	Ponto 4	1.580	C4 = 0,986	0,765	1,419	1690 lux	910	C4 = 0,986	0,765	1,419	970 lux
	45.700	42.100	Ponto 5	1.330	C5 = 0,991	0,765	1,419	1430 lux	650	C5 = 0,991	0,765	1,419	700 lux
Horário simulado 10:00h céu claro	62.700	37000	Ponto 1	3.890	C1 = 1,048	0,765	1,695	5290 lux	2.110	C1 = 1,048	0,765	1,695	2870 lux
	62.700	37000	Ponto 2	18.320	C2 = 1,016	0,765	1,695	24130 lux	2.230	C2 = 1,016	0,765	1,695	2940 lux
	62.700	37000	Ponto 3	3.150	C3 = 1,006	0,765	1,695	4110 lux	1.650	C3 = 1,006	0,765	1,695	2150 lux
	62.700	37000	Ponto 4	2.590	C4 = 0,986	0,765	1,695	3310 lux	1.170	C4 = 0,986	0,765	1,695	1490 lux
	62.700	37000	Ponto 5	2.260	C5 = 0,991	0,765	1,695	2910 lux	850	C5 = 0,991	0,765	1,695	1090 lux
Horário simulado 11:00h céu claro	73.500	32.200	Ponto 1	3.450	C1 = 1,048	0,765	2,283	6310 lux	1.670	C1 = 1,048	0,765	2,283	3050 lux
	73.500	32.200	Ponto 2	20.290	C2 = 1,016	0,765	2,283	35990 lux	1.870	C2 = 1,016	0,765	2,283	3320 lux
	73.500	32.200	Ponto 3	3.000	C3 = 1,006	0,765	2,283	5280 lux	1.350	C3 = 1,006	0,765	2,283	2370 lux
	73.500	32.200	Ponto 4	2.530	C4 = 0,986	0,765	2,283	4350 lux	920	C4 = 0,986	0,765	2,283	1590 lux
	73.500	32.200	Ponto 5	2.220	C5 = 0,991	0,765	2,283	3840 lux	660	C5 = 0,991	0,765	2,283	1140 lux
Horário simulado 12:00h céu claro	77.100	30.000	Ponto 1	3.200	C1 = 1,048	0,765	2,570	6590 lux	1.550	C1 = 1,048	0,765	2,570	3190 lux
	77.100	30.000	Ponto 2	21.610	C2 = 1,016	0,765	2,570	43170 lux	1.740	C2 = 1,016	0,765	2,570	3480 lux
	77.100	30.000	Ponto 3	2.950	C3 = 1,006	0,765	2,570	5830 lux	1.250	C3 = 1,006	0,765	2,570	2480 lux
	77.100	30.000	Ponto 4	2.480	C4 = 0,986	0,765	2,570	4800 lux	860	C4 = 0,986	0,765	2,570	1670 lux
	77.100	30.000	Ponto 5	2.160	C5 = 0,991	0,765	2,570	4200 lux	620	C5 = 0,991	0,765	2,570	1200 lux
Horário simulado 13:00h céu claro	73.500	29.300	Ponto 1	3.150	C1 = 1,048	0,765	2,509	6330 lux	1.440	C1 = 1,048	0,765	2,509	2900 lux
	73.500	29.300	Ponto 2	18.850	C2 = 1,016	0,765	2,509	36750 lux	1.589	C2 = 1,016	0,765	2,509	3100 lux
	73.500	29.300	Ponto 3	2.820	C3 = 1,006	0,765	2,509	5450 lux	1.110	C3 = 1,006	0,765	2,509	2150 lux
	73.500	29.300	Ponto 4	2.320	C4 = 0,986	0,765	2,509	4390 lux	750	C4 = 0,986	0,765	2,509	1410 lux
	73.500	29.300	Ponto 5	2.050	C5 = 0,991	0,765	2,509	3900 lux	580	C5 = 0,991	0,765	2,509	1110 lux
Horário simulado 14:00h céu claro	62.700	28.000	Ponto 1	2.960	C1 = 1,048	0,765	2,239	5310 lux	1.460	C1 = 1,048	0,765	2,239	2620 lux
	62.700	28.000	Ponto 2	15.190	C2 = 1,016	0,765	2,239	28440 lux	1.640	C2 = 1,016	0,765	2,239	2860 lux
	62.700	28.000	Ponto 3	2.400	C3 = 1,006	0,765	2,239	4140 lux	1.170	C3 = 1,006	0,765	2,239	2020 lux
	62.700	28.000	Ponto 4	1.970	C4 = 0,986	0,765	2,239	3320 lux	810	C4 = 0,986	0,765	2,239	1360 lux
	62.700	28.000	Ponto 5	1.760	C5 = 0,991	0,765	2,239	2980 lux	580	C5 = 0,991	0,765	2,239	980 lux
Horário simulado 15:00h céu claro	45.700	27.100	Ponto 1	2.350	C1 = 1,048	0,765	1,686	3180 lux	1.760	C1 = 1,048	0,765	1,686	2380 lux
	45.700	27.100	Ponto 2	2.440	C2 = 1,016	0,765	1,686	3200 lux	1.950	C2 = 1,016	0,765	1,686	2550 lux
	45.700	27.100	Ponto 3	1.790	C3 = 1,006	0,765	1,686	2330 lux	1.390	C3 = 1,006	0,765	1,686	1800 lux
	45.700	27.100	Ponto 4	1.370	C4 = 0,986	0,765	1,686	1740 lux	950	C4 = 0,986	0,765	1,686	1210 lux
	45.700	27.100	Ponto 5	1.090	C5 = 0,991	0,765	1,686	1400 lux	690	C5 = 0,991	0,765	1,686	880 lux
Horário simulado 16:00h céu claro	24.400	27.000	Ponto 1	1.340	C1 = 1,048	0,765	0,904	970 lux	1.160	C1 = 1,048	0,765	0,904	840 lux
	24.400	27.000	Ponto 2	1.330	C2 = 1,016	0,765	0,904	940 lux	1.140	C2 = 1,016	0,765	0,904	800 lux
	24.400	27.000	Ponto 3	920	C3 = 1,006	0,765	0,904	640 lux	810	C3 = 1,006	0,765	0,904	560 lux
	24.400	27.000	Ponto 4	670	C4 = 0,986	0,765	0,904	460 lux	480	C4 = 0,986	0,765	0,904	330 lux
	24.400	27.000	Ponto 5	570	C5 = 0,991	0,765	0,904	390 lux	380	C5 = 0,991	0,765	0,904	260 lux
Horário simulado 17:00h céu claro	5.200	25.000	Ponto 1	2.160	C1 = 1,048	0,765	0,208	360 lux	1.860	C1 = 1,048	0,765	0,208	310 lux
	5.200	25.000	Ponto 2	2.100	C2 = 1,016	0,765	0,208	340 lux	1.860	C2 = 1,016	0,765	0,208	300 lux
	5.200	25.000	Ponto 3	1.440	C3 = 1,006	0,765	0,208	230 lux	1.310	C3 = 1,006	0,765	0,208	210 lux
	5.200	25.000	Ponto 4	1.080	C4 = 0,986	0,765	0,208	170 lux	830	C4 = 0,986	0,765	0,208	130 lux
	5.200	25.000	Ponto 5	890	C5 = 0,991	0,765	0,208	140 lux	700	C5 = 0,991	0,765	0,208	110 lux
Horário simulado 18:00h céu claro	800	25.000	Ponto 1	3.120	C1 = 1,048	0,765	0,032	80 lux	2.730	C1 = 1,048	0,765	0,032	70 lux
	800	25.000	Ponto 2	2.330	C2 = 1,016	0,765	0,032	58 lux	2.050	C2 = 1,016	0,765	0,032	51 lux
	800	25.000	Ponto 3	1.220	C3 = 1,006	0,765	0,032	30 lux	1.220	C3 = 1,006	0,765	0,032	30 lux
	800	25.000	Ponto 4	830	C4 = 0,986	0,765	0,032	20 lux	620	C4 = 0,986	0,765	0,032	15 lux
	800	25.000	Ponto 5	410	C5 = 0,991	0,765	0,032	10 lux	410	C5 = 0,991	0,765	0,032	10 lux

Eint corrigido= Eint × Cp × K × T × RE

Cp = Fator de normalização para os luxímetros internos e o externo. Ver tabela 06.

K = coeficiente de manutenção do vidro (0,90)

T = transmissividade do vidro (0,85)

RE = Fator de correção da intensidade solar

RE = Eext., est./ Eext., med ((iluminância externa estimada/ iluminância externa medida)

**ANEXO A – RELAÇÃO DE SOFTWARES GRATUITOS PARA A
AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL**

Quadro 5 – Relação de softwares gratuitos para a avaliação da iluminação natural

Software	Desenvolvedor	Site da Internet para o download
Daysim	National Research Council Canada (NRC - IRC) e Solar Building Design Group of the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.	http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/daysim_e.html
Desktop Radiance	Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Califórnia, USA	http://radsite.lbl.gov/deskrad/
Radiance	Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Califórnia, USA	http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html
Relux PRO	Desenvolvimento patrocinado por um grupo empresas de iluminação artificial	http://www.relux.biz/
Skyvision	National Research Council Canada	http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/skyvision_e.html
Luz do sol	Prof. Dr. Maurício Roriz	http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html
Lux 2.0	Profª. Drª. Marcia Peinado Alucci	http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html
DLN	Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato	http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/paginas/conforto.html
Parasol	Lund Institute of Technology	http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=443/pagename=alpha_list
The Lightswitch Wizard	National Research Council Canada	http://www.buildwiz.com/lightswitch/
Superlite	Lawrence Berkeley National Laboratory	http://btech.lbl.gov/tools/superlite/superlite2.html

ANEXO B – RELÓGIO DE SOL - LATITUDE 23°27` SUL

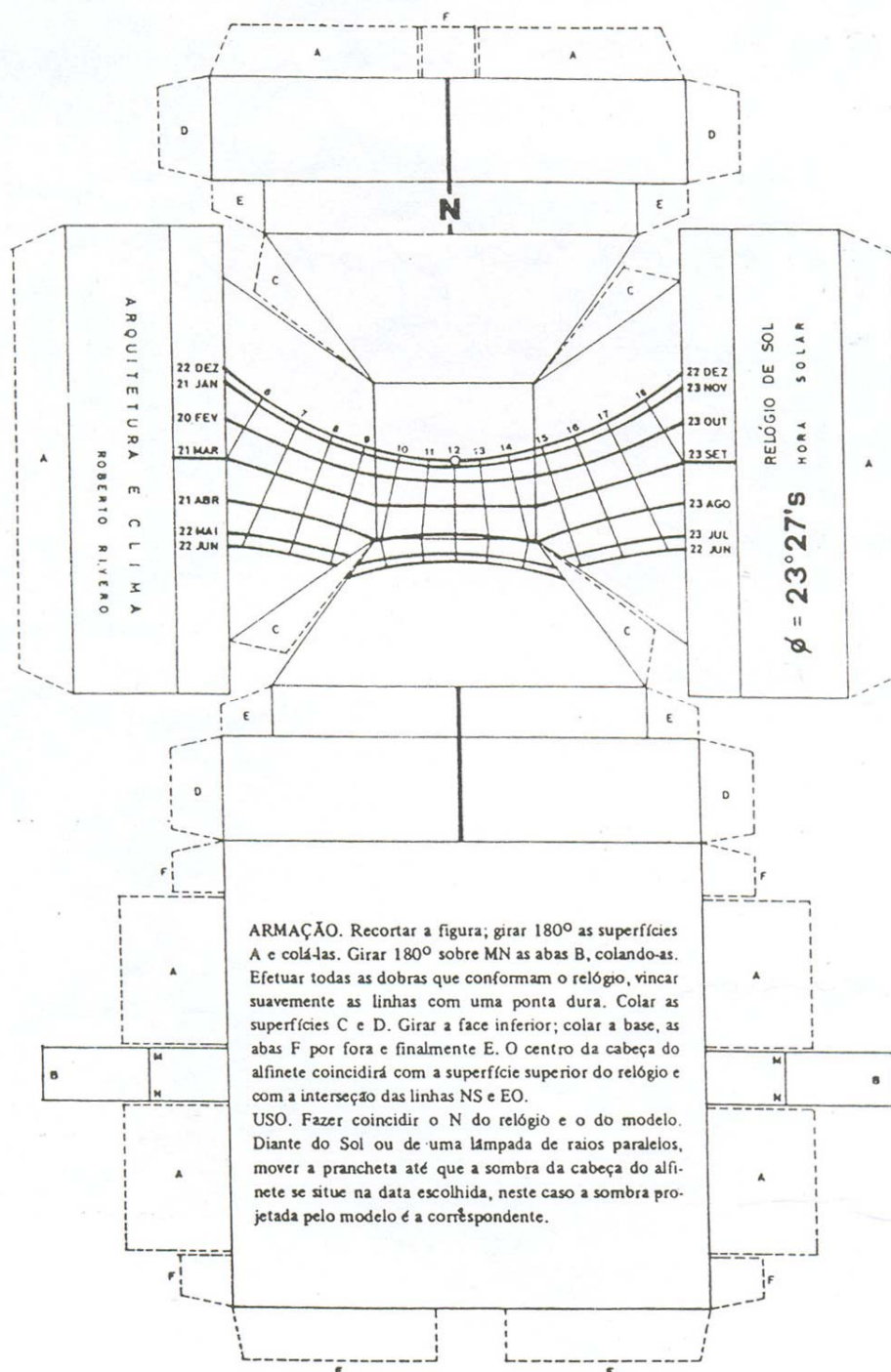


Figura 106 - Relógio de sol para a cidade de São Paulo. Fonte: Riveiro, 1985

Obs: É possível obter o relógio de Sol para todas as latitudes através do software Luz do Sol, idealizado pelo prof. Dr. Maurício Roriz. Este programa está disponível para download gratuito através do endereço:

<<http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/index.html>> Acessar o link softwares de conforto/ Luz do sol

**ANEXO C – TABELAS DE DISPONIBILIDADE DA LUZ NATURAL PARA
SÃO PAULO**

Tabela 11 - Valores de iluminância em Klux para céu claro (CC), céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE), Solstício de verão (22/12).

Fonte: Dados obtidos através do programa DLN desenvolvido por Scarazzato (1995)

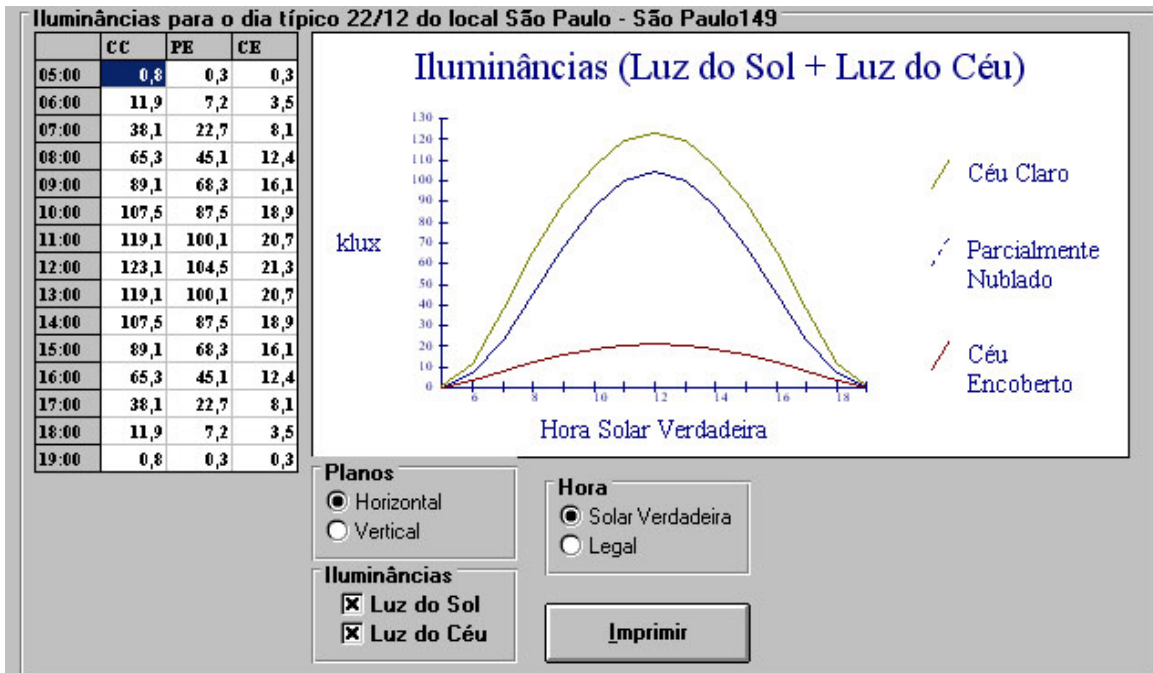
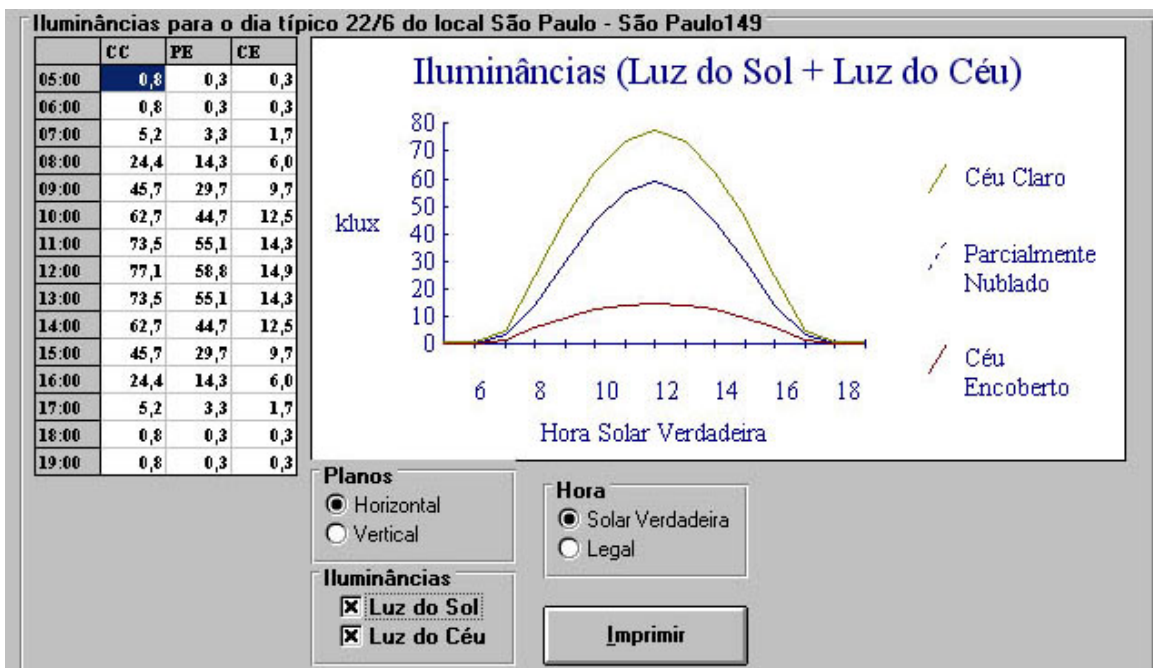


Tabela 12 - Valores de iluminância em Klux para céu claro (CC), céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE), Solstício de inverno (22/06).

Fonte: dados obtidos através do programa DLN desenvolvido por Scarazzato (1995).



)

Tabela 13 - Valores de iluminância em Klux para céu claro (CC), céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE), Equinócio de outono (21/03).

Fonte: dados obtidos através do programa DLN desenvolvido por Scarazzato (1995).

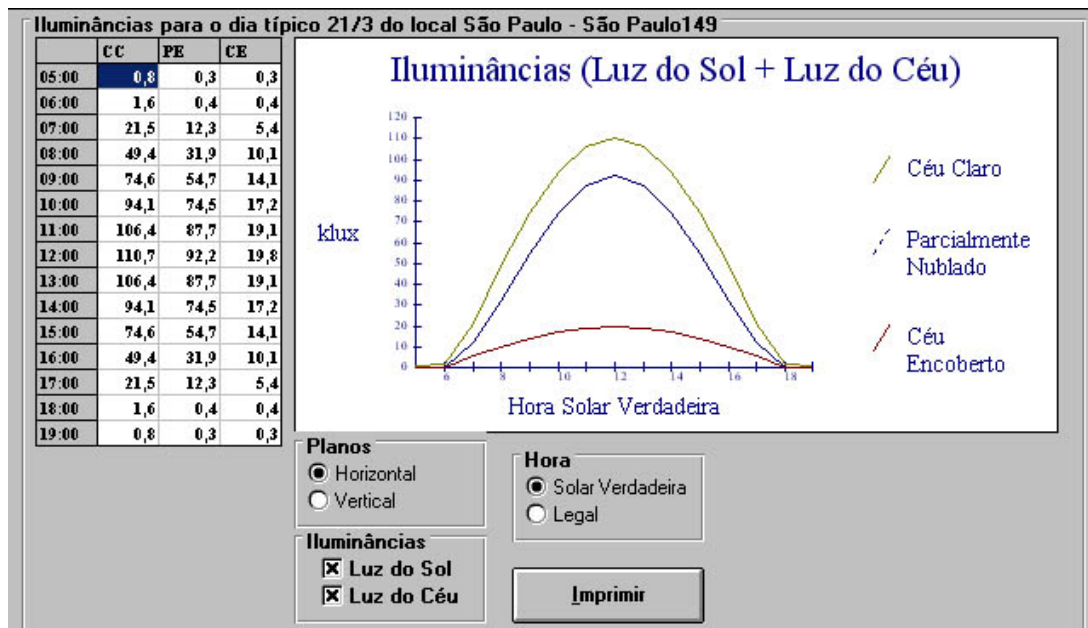
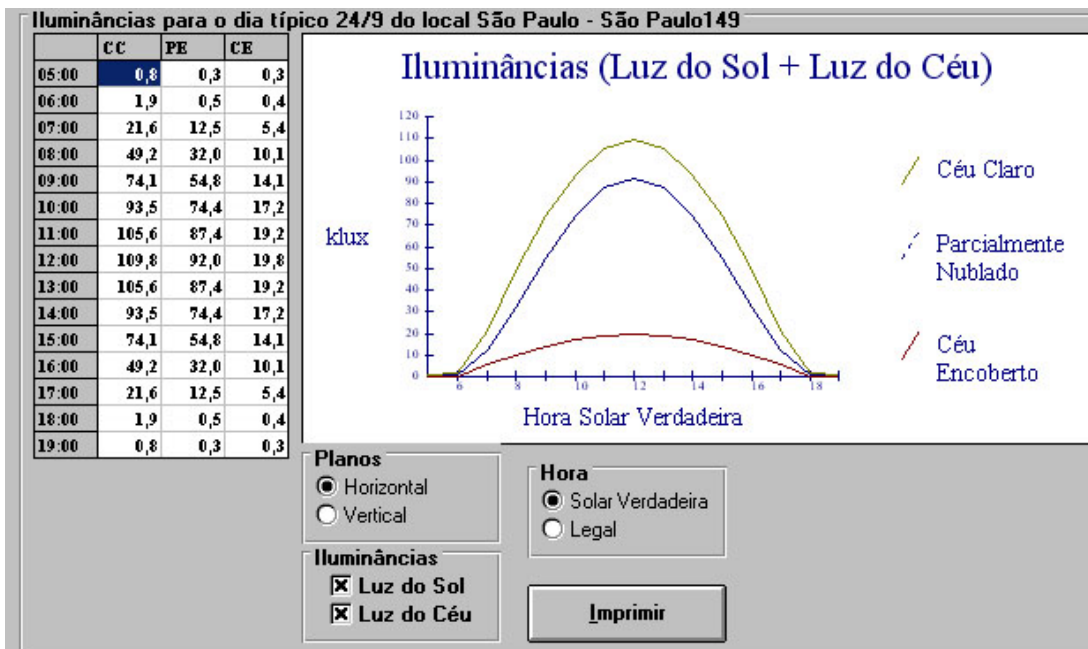


Tabela 14 - Valores de iluminância em Klux para céu claro (CC), céu parcialmente encoberto (PE) e céu encoberto (CE), Equinócio de primavera (24/09).

Fonte: dados obtidos através do programa DLN desenvolvido por Scarazzato (1995).



Obs: É possível obter a disponibilidade de luz natural para as capitais brasileiras através do software DLN, idealizado pelo prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato. Este programa está disponível para download gratuito através do endereço:

<<http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/disciplinas/index.html>> Acessar o link softwares de conforto/ DLN