

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DE REDIRECIONAMENTO DA LUZ NATURAL UTILIZANDO
EQUIPAMENTO TIPO "LIGHTSHELF".**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção – Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia de Produção.

SIGFRIDO FRANCISCO CARLOS GIARDINO GRAZIANO JUNIOR

Mestrando

FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA

Orientador

Florianópolis, Agosto de 2000.

SIGFRIDO FRANCISCO CARLOS GIARDINO GRAZIANO JUNIOR

**ESTUDO DE REDIRECIONAMENTO DA LUZ NATURAL UTILIZANDO
EQUIPAMENTO TIPO "LIGHTSHELF".**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Engenharia", Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. RICARDO MIRANDA BARCIA, Ph.D.

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA, Ph.D.

Orientador

Prof. ROBERTO LAMBERTS, Ph.D.

Prof. SILVIA REGINA MOREL CORREA, Dra.

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado àquelas pessoas que acreditam numa civilização tecnologicamente forte e que, ainda assim, não deixa de ter um desenvolvimento sustentável e com bom uso dos recursos energéticos, deste planeta e do Universo, principalmente à comunidade de arquitetos, engenheiros e aos que acreditam na edificação de um mundo civilizado mas também ecologicamente correto.

AGRADECIMENTOS

Embora haja tantos que me ajudaram durante esses anos durante a pesquisa, testes e, mas principalmente gostaria de deixar registrado meus agradecimentos

Aos colegas da Caixa Econômica Federal, que permitiram desenvolver alguns importantes ensaios e pesquisas, propiciando participar de encontros e congressos.

Aos funcionários Airton, Lecir e Neiva, da Engenharia de Produção da UFSC, pela colaboração em tantos momentos em que precisei de auxílio e que não me faltaram.

Aos professores Leila, Cláudia, Fonseca, Lamberts, Samir, Fialho, Alice, por terem aberto meus horizontes e mostrado que ainda há muito por fazer, pesquisar e desenvolver.

Ao meu professor, orientador e amigo, Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, por ter acreditado e incentivado minha proposta de trabalho, que mesmo com minhas dificuldades em harmonizar tantos compromissos, manteve em mim acesa a esperança de boa conclusão desse trabalho.

A todos de minha família, por terem acreditado na minha empreitada e me incentivado mas, principalmente, à minha esposa Carla e nossas três filhas Vanessa, Bruna e Marcela que, com amor e desprendimento, permitiram que eu pudesse me dedicar a essa pesquisa, mesmo em tantos momentos familiares que não pudemos passar juntos.

Enfim, a Deus por ter-me iluminado a desenvolver um trabalho que tanto me acrescentou como homem, como pesquisador, como profissional e como brasileiro.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| CAP 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPOSTA..... | 1 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA | 4 |
| 1.3 | OBJETIVO GERAL DO TRABALHO | 6 |
| 1.4 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO ESTUDO..... | 7 |
| 1.5 | HIPÓTESES | 7 |
| 1.6 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 7 |
| CAP 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 2.1 | A IMPORTÂNCIA DA LUZ PARA O HOMEM ATRAVÉS DOS TEMPOS..... | 10 |
| 2.2 | EQUIPAMENTOS DE CONTROLE E REDIRECIONAMENTO DA LUZ SOLAR..... | 25 |
| 2.2.1 | <i>Parâmetros para elaboração de projeto das "lightshelves"</i> | 37 |
| 2.2.2 | <i>Inclinação das "lightshelves"</i> | 38 |
| 2.2.3 | <i>Posição dos vidros das "lightshelves"</i> | 40 |
| 2.2.4 | <i>Refletância</i> | 43 |
| 2.2.5 | <i>Aspectos construtivos das "lightshelves" ou prateleiras de luz</i> | 45 |
| 2.2.6 | <i>Conclusões sobre os equipamentos de redirecionamento</i> | 46 |
| 2.3 | ANÁLISE DAS METODOLOGIAS E FERRAMENTAS..... | 47 |
| 2.3.1 | <i>Método de verificação experimental em modelo reduzido</i> | 48 |
| 2.3.2 | <i>Estudos de iluminação natural com modelos reduzidos</i> | 51 |
| 2.3.3 | <i>Modelo computacional</i> | 55 |
| CAP 3 | SIMULAÇÕES | 67 |
| 3.1 | VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL - UTILIZAÇÃO DO MODELO REDUZIDO..... | 67 |
| 3.2 | SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - UTILIZAÇÃO DO MODELO VIRTUAL | 71 |
| CAP 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 75 |
| 4.1 | ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO EM ESCALA REDUZIDA..... | 75 |
| 4.2 | ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO VIRTUAL..... | 79 |
| 4.2.1 | <i>Simulação às 10h</i> | 80 |
| 4.2.2 | <i>Simulação às 12h</i> | 82 |
| 4.2.3 | <i>Simulação às 14h</i> | 84 |
| 4.2.4 | <i>Simulação às 16h</i> | 86 |
| CAP 5 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES | 94 |
| 5.1 | CONCLUSÕES | 94 |
| 5.2 | RECOMENDAÇÕES | 96 |
| 5.3 | SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS | 96 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 99 |
| | ANEXOS | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 - Aspecto de rua de Barcelona, Espanha..... | 2 |
| Figura 1.2 - Condições urbanas desfavoráveis para iluminação natural..... | 2 |
| Figura 1.3 - Proximidade e altura prejudicam o aproveitamento da luz natural. | 3 |
| Figura 2. 1 - Imagens de Stonehenge, Inglaterra. | 11 |
| Figura 2. 2 - Desenho do Ziggurat de Ur..... | 12 |
| Figura 2. 3 - Monumento construído em Jaipur, Índia | 12 |
| Figura 2. 4 - Janela baixa, recebendo luz refletida. | 13 |
| Figura 2. 5 - Catedral de Berlim, construção do séc. XVIII. | 14 |
| Figura 2. 6 - Igreja N.S. Del Mar, em Barcelona, Espanha..... | 15 |
| Figura 2. 7 - Interior da Catedral de Notredame, Paris, França. | 15 |
| Figura 2. 8 - Envidraçamento de centro de esportes aquáticos em Andorra. | 19 |
| Figura 2. 9 - Prisma de iluminação no centro do volume..... | 26 |
| Figura 2. 10 - Átrio com praça de alimentação em Tampere, Finlândia. | 27 |
| Figura 2. 11 - Átrio ou atrium em corte esquemático..... | 27 |
| Figura 2. 12 - Esquema do duto de luz solar direta. | 28 |
| Figura 2. 13 - Corte perspectivado do Palácio Güell, Antonio Gaudi, séc. XIX | 29 |
| Figura 2. 14 - Interior do Palácio Güell, iluminação zenital e lateral. | 30 |
| Figura 2. 15 - Iluminação natural pela cúpula da Galeria da Academia..... | 31 |
| Figura 2. 16 - Brises vertical e horizontal proporcionam bloqueio da luz direta. | 33 |
| Figura 2. 17 - Esquema do separador prismático..... | 33 |
| Figura 2. 18 - Corte esquemático da marquise ou beiral..... | 34 |
| Figura 2. 19 - Corte esquemático da "lightshelf" ou prateleira de luz..... | 36 |
| Figura 2. 20 - Corte de edifício com "lightshelves" | 36 |
| Figura 2. 21 - Aspecto da "lightshelf" inclinada. | 39 |
| Figura 2. 22 - Obstrução adicional da "lightshelf" com lâminas verticais. | 39 |
| Figura 2. 23 - Parte externa maior da "lightshelf" bloqueia melhor a insolação. | 40 |
| Figura 2. 24 - Parte interna da "lightshelf" maior em climas temperados..... | 41 |
| Figura 2. 25 - Vidro na extremidade da parte superior, trazendo ganho térmico. | 41 |
| Figura 2. 26 - Vidros na extremidade da "lightshelf" para ganho de calor. | 42 |
| Figura 2. 27 - Parte superior da janela inclinada para maior ganho de calor..... | 42 |
| Figura 2. 28 - Diferença de refletância na parte superior da "lightshelf". | 44 |
| Figura 2. 29 - Esquema com a "lightshelf" inclinada espelhada. | 45 |
| Figura 2. 30 - Observação do interior do modelo reduzido..... | 50 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2. 31 - Aspecto do modelo completo do conjunto de edificações. | 52 |
| Figura 2. 32 - Modelo de uma unidade, observando-se detalhes internos. | 52 |
| Figura 2. 33 - Aspectos da iluminação no interior do modelo em escala. | 53 |
| Figura 2. 34 - Visão externa (à esquerda) e interna (à direita) do mock-up. | 53 |
| Figura 2. 35 - Imagem da obra sendo executada. | 54 |
| Figura 2. 36 - Iluminação no modelo reduzido do Museu de Quebec. | 54 |
| Figura 2. 37 - Quadro de importação de entidades geométricas. | 58 |
| Figura 2.38 - Quadros de diálogo de preparação de materiais. | 59 |
| Figura 2.39 - Definição dos parâmetros para processamento. | 60 |
| Figura 2.40 - Quadro de diálogo para iluminação natural. | 61 |
| Figura 2.41 - Simulação do interior de um banco - luz natural e artificial. | 63 |
| Figura 2.42 - Estudo da insolação em residência. | 63 |
| Figura 2.43 - Níveis de iluminação nas superfícies. | 64 |
| Figura 2.44 - Gradiente de iluminação nas superfícies. | 64 |
| Figura 2.45 - Estudo da insolação em sala de aula. | 65 |
| Figura 3.1 - Perspectiva do modelo reduzido, aberto. | 68 |
| Figura 3. 2 - Corte em perspectiva do modelo em escala reduzida. | 70 |
| Figura 3. 3 - Perspectiva do modelo em "wireframe" ou modelo de arame. | 73 |
| Figura 3.4 - Perspectiva do modelo após processamento da iluminação. | 74 |
| Figura 4.1 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 1. | 76 |
| Figura 4.2 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 2. | 76 |
| Figura 4.3 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 3. | 77 |
| Figura 4.4 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 4. | 77 |
| Figura 4.5 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 5. | 78 |
| Figura 4.6 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 6. | 78 |
| Figura 4.7 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 7. | 79 |
| Figura 4.8 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 10h. | 81 |
| Figura 4.9 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 10h. | 81 |
| Figura 4.10 - Gráfico com dados mais significativos - 10h. | 82 |
| Figura 4.11 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 12h. | 83 |
| Figura 4.12 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 12h. | 83 |
| Figura 4.13 - Gráfico com dados mais significativos - 12h. | 84 |
| Figura 4.14 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 14h. | 85 |
| Figura 4.15 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 14h. | 85 |
| Figura 4.16 - Gráfico com dados mais significativos - 14h. | 86 |
| Figura 4.17 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 16h. | 87 |
| Figura 4.18 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 16h. | 88 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.19 - Gráfico com dados mais significativos - 16h. | 88 |
| Figura 4.20 - Perspectiva do modelo com os níveis de iluminação no piso - 16h..... | 90 |
| Figura 4.21 - Perspectiva do modelo com os níveis de iluminação no piso - 16h com "lightshelf" ampliada..... | 90 |
| Figura 4.22 - Gráfico das simulações - "lightshelf" normal e ampliada - 16h. | 91 |
| Figura 4.23 - Verificação de "vazamento" de luz pelo invólucro do modelo..... | 92 |
| Figura 4.24 - Níveis da luminância em candelas/m ² com obstrução - 12h. | 92 |
| Figura 4. 25 - Níveis da Luminância em candelas/m ² sem obstrução - 12h..... | 93 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela A 1 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 1 | 105 |
| Tabela A 2 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 2. | 105 |
| Tabela A 3 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 3 | 106 |
| Tabela A 4 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 4. | 106 |
| Tabela A 5 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 5. | 107 |
| Tabela A 6 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 6. | 107 |
| Tabela A 7 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 7. | 108 |
| Tabela A 8 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 10h. | 109 |
| Tabela A 9 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 12 h | 110 |
| Tabela A 10 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 14 h. | 111 |
| Tabela A 11 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 16h. | 112 |

RESUMO

GRAZIANO JUNIOR, Sigfrido Francisco Carlos Giardino. Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo "lightshelf".

Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

A luz natural foi muito importante para a compreensão e definição do espaço e execução de tarefas, segurança e salubridade, chegando a ser condição fundamental para projetos de edificações, desde o início da civilização humana. Através dos tempos e devido a muitos fatores, a luz natural chegou a ser um problema a ser solucionado, ou pelo ganho térmico, ou pelo ofuscamento, ou ainda pelo grande contraste entre áreas mais e menos iluminadas. Embora tenha sido, por vezes, desprezada, atualmente há a necessidade do resgate do valor da luz natural, por causa da ecologia, economia e salubridade, muito importante quanto é verificado grande aumento da área e da altura das cidades, aumentando quase que desordenadamente a densidade construída na área urbanizada, o que prejudica ainda mais a penetração da luz solar nos ambientes.

Existem muitos ambientes onde a abertura não fornece luz natural suficiente, devido à altura dos edifícios vizinhos, orientação solar inadequada ou grande distância entre a janela e a parede oposta. O enorme uso da iluminação artificial e alto consumo da energia elétrica são preocupações atuais e a luz natural volta a ter importância na concepção dos projetos. Neste sentido, diversos elementos de controle e redirecionamento têm sido experimentados em conjunto com as aberturas - vãos, janelas, áreas envidraçadas - em tamanho real nos ambientes ou, ainda, simulando, ora com modelos reduzidos, ora modelos analíticos ou matemáticos, ora com modelos gráficos, ou outros sistemas, antevendo resultados qualitativamente e quantitativamente, auxiliados pelo computador, como o método da radiosidade ou iluminação global, considerando a interação dos objetos com a luz.

Este trabalho traz proposições de projeto a serem utilizadas para melhorar o aproveitamento da luz natural, tratando das simulações com modelo reduzido e dos processos analíticos com auxílio do computador, que possibilitam quantificar os níveis de iluminação e também usando a modelagem computacional da iluminação como ferramenta de projeto, concentrando o estudo nas *lightshelves* e mencionando seu uso dinâmico, com inclinação variável.

Os resultados obtidos indicam que existem formas e inclinações do elemento de redirecionamento quando há ganho efetivo de iluminação no ambiente, de acordo com horário, localização geográfica e estação do ano.

Palavras-chaves: iluminação natural, iluminação de interiores, energia – consumo, simulação computacional, conforto térmico.

ABSTRACT

Daylighting was indeed important to the comprehension and space establishment and the execution of tasks, safety and healthness, at times being a main condition to construction projects, since early human civilization. Through times and because of various reasons, natural light became a problem to be solved, either because thermal/hot gain, or glare/overlighting, or even in reason of the great contrast between darker and lighter environments. Despite it had been, at times, diminished, now there is a need to rescue natural light worth, because of ecology, economy and healthness, very important when it is verified the city growth, urban areas dense with large and high building areas, which blocks or obstruct even more light penetration in environments.

There are many environments in which the windows do not supply enough daylighting, due to the obstruction caused by high buildings, inadequate solar orientation or the large distance from the window to the opposite wall. The utilization of artificial lighting and the great consumption of energy are some of the biggest concerns of mankind today and daylighting has become again an important issue in architectural design. In this matter, many elements of control and redirectioning have been tried combined with the openings - gaps, windows, glassy areas - in real size in the environments or even simulating, either with reduced models, or analytical and mathematical models, or graphical models, or other systems, predicting results in quality and in quantity, helped by the computer, as the method of the radiosity and global illumination, considering object-light interaction.

This work proposes some projects to improve natural light use, dealing with simulations with reduced models and analytical processes with computer help, which permits quantifying the levels of illumination and using computer illumination/lighting modeling as a project tool, concentrating the study on the *lightshelves* and mentioning its dynamic purpose, with variable inclination.

The results obtained show there are ways and inclinations of the redirecting element associated with the effective gain of light in the environment, according time, geographical location and the season of the year.

CAP 1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização da proposta

A luz, principalmente a natural, é e sempre foi muito importante para a compreensão e definição do espaço e execução de tarefas, segurança e salubridade. Em algumas civilizações, era condição fundamental para projetos de edificações. Através dos tempos, devido a diversos fatores, percebe-se que a luz natural foi sendo considerada desnecessária ou até mesmo desprezada.

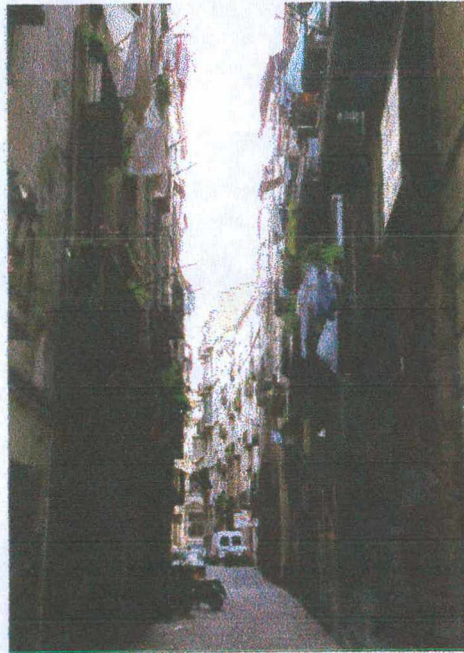
Atualmente, por razões de economia, ecologia e salubridade, há uma busca pelo resgate daqueles valores aparentemente negligenciados.

Sob o aspecto construtivo, a atenção para a iluminação natural era mais voltada à religiosidade, onde havia muita preocupação na entrada da luz passando por grandes vitrais.

As demais construções, mercados, residências eram mais baixas, com um ou dois pavimentos e as aberturas não eram obstruídas por grandes edificações próximas. Aos poucos, com o avanço de novas técnicas construtivas, novos materiais e tecnologia de cálculo, as grandes alturas das edificações passaram a não ser apenas das torres de igrejas e castelos, mas edifícios de apartamentos e salas comerciais.

Em contrapartida, as ruas nem sempre aumentaram sua largura e os lotes urbanos passaram a ser valorizados e disputados devido à valorização da vida urbana, busca de emprego nas indústrias, e as cidades cresceram muito, tanto horizontal com verticalmente.

Ocorre, então, intensificação no uso do solo urbano e sua valorização, trazidos pelo aumento da densidade populacional, pela fuga do campo e procura por trabalho na indústria, por exemplo, a revolução industrial e novos recursos tecnológicos, como técnicas construtivas com o concreto armado e o aço, permitindo altas edificações, possibilidade de elevadores de cargas e pessoas, climatização artificial de ambientes entre outros, têm sido alguns fatores que influenciaram a verticalização das construções e reduziram os recuos e afastamentos entre edificações, como pode ser observado na figura 1.1.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 1.1 - Aspecto de rua de Barcelona, Espanha.

Tais posturas têm mostrado atuar de forma negativa em relação ao melhor aproveitamento da luz natural para qualidade visual do interior dos ambientes, pois quanto maior a altura do entorno e maior a proximidade entre os volumes, menores são as contribuições da insolação direta e da abóbada celeste, conforme se pode observar nas figuras 1.2 e 1.3.

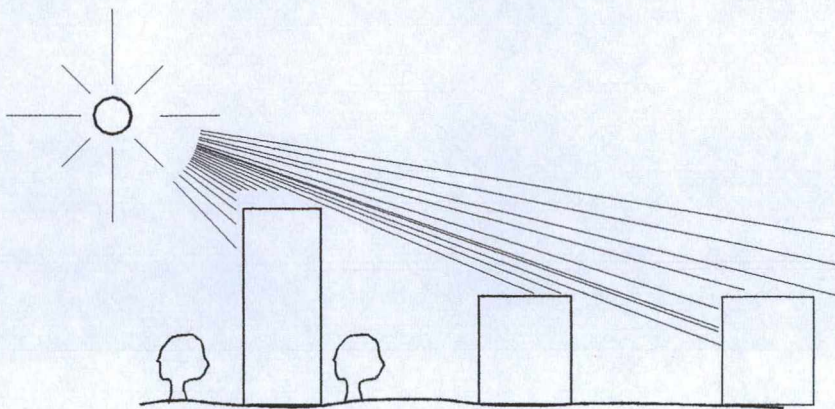


Figura 1.2 - Condições urbanas desfavoráveis para iluminação natural.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 1.3 - Proximidade e altura prejudicam o aproveitamento da luz natural.

O trabalho apresenta estudos sobre redirecionamento da luz natural, com inovação e otimização das "lightshelves" (prateleira de luz), visando melhorar seu desempenho, usando superfícies planas e de seção curva, com variação angular em relação à horizontal.

O enfoque principal é para as áreas urbanas em que a ocupação do solo, muitas vezes, permite a convivência de grandes alturas das edificações e afastamentos e recuos insuficientes para a insolação adequada das edificações situadas na vizinhança, o que provoca sombreamento em grande parte do dia daquelas edificações de menor altura, cuja janela, muitas vezes, é insuficiente para o ingresso da luz natural disponível.

Os estudos visam um melhor aproveitamento tanto a insolação direta como aquela incidente no entorno e refletida de forma difusa, além da iluminação proveniente da abobada celeste.

1.2 Justificativa da proposta

Existem muitos ambientes e edificações onde a abertura não fornece luz natural suficiente, devido à altura dos edifícios vizinhos, orientação solar inadequada ou grande distância entre a janela e a parede oposta. Desta forma, a demanda de energia elétrica utilizada para a iluminação dos ambientes durante o dia é muito grande.

O aumento do sombreamento pelas edificações próximas, aumento nas dimensões e nas áreas das edificações sem o correspondente aumento da área de aberturas, a criação de turnos de trabalho desvinculados dos horários em que haja disponibilidade de luz natural são alguns dos diversos fatores que tornam necessária a complementação ou até mesmo sua substituição por iluminação artificial. Há de ser lembrado que o aumento das aberturas, proporcionando o incremento da luz natural pode acarretar o aumento da carga térmica. No entanto, os equipamentos de iluminação artificial - lâmpadas, fios, transformadores e reatores também geram calor. Assim, o enorme uso da iluminação artificial e alto consumo da energia elétrica são preocupações atuais e a luz natural volta a ter importância na concepção dos projetos.

A crescente demanda de energia elétrica, provocada, entre outros motivos, pelo aumento da iluminação complementar à natural e conseqüente necessidade de condicionamento mecânico de ar, traz a necessidade de grandes investimentos em novas usinas geradoras, sejam hidrelétricas, termo-elétricas, nucleares, eólicas, captadores solares com acumulação em baterias, etc. Tais investimentos, até há poucos anos realizados pelo setor público, estão sendo cada vez menos viáveis pelo alto custo inicial, interferência no meio-ambiente e suas conseqüências a curto, médio e longo prazos.

O que deve ser incentivado é o uso da iluminação artificial como complemento da iluminação natural, a qual deve ser melhorada sempre que possível, seja através de controles de ofuscamento, elementos de redirecionamento, dimensões adequadas das aberturas, limpeza e manutenção dos vidros, etc. A probabilidade dos ocupantes dos espaços acionarem a luz artificial é maior tanto quanto menores os níveis de iluminação no plano de trabalho, conforme CIBSE 1987.

Entretanto, muitos projetos de áreas de trabalho são elaborados em total desconsideração à luz natural, como se fosse totalmente dispensável; ao entrarem em operação, mesmo durante o dia, com céu claro e luz abundante, gratuita e disponível no exterior, há a necessidade de acionamento da iluminação artificial. Ao incluirmos a luz natural como componente de projeto, haveria um estudo dos circuitos elétricos visando acioná-los, apenas, de acordo com a necessidade de complementação da luz natural.

Essa cultura, que chega a trazer um certo desprezo pela luz solar, chega a usar uma terminologia, que há de ser questionada, quando se refere a ela como "fonte alternativa", o que parece inadequada, pois ela é uma das fontes básicas de energia do planeta. É tão forte a presença da energia elétrica nos projetos e no cotidiano que, o que é mais antigo, mais eficiente, gratuito, abundante e saudável é, erroneamente, chamado de alternativo.

Há, também, significativa importância por resgatar alguns parâmetros que visam melhorar a qualidade visual do ambiente de trabalho, o qual está sujeito a normas técnicas, legislação trabalhista, que devem ser sempre observados. A ergonomia, que nasceu da necessidade de responder a questões importantes levantadas por situações de trabalho insatisfatórias, conforme Wisner - 1994, tem tratado de forma experimental quando há ausência de conhecimento a respeito de algum assunto. Embora não haja estudo conclusivo, ainda, que comprove que a condição inadequada da iluminação possa trazer algum prejuízo para o sistema da visão do ser humano, a experiência tem mostrado que os níveis adequados de iluminação, bem como controle de ofuscamento, contraste, brilho, fidelidade de cores e formas contribui para a satisfação do trabalhador e para maior segurança no cumprimento de suas tarefas e realização de atividades.

As atividades, que podem ser demandadas para cumprir tarefas do trabalho ou não, mas sempre repletas de requisitos visuais, necessitam de determinados níveis mínimos de iluminação, quer seja por necessidade da execução da tarefa, segurança, identificação, leitura, circulação, entre outros motivos.

Os ambientes de trabalho, atendendo às exigências das Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego, principalmente a NR 17 - Ergonomia e a NBR 5413 da ABNT, que trata dos níveis legalmente exigidos para

iluminância de interiores, devem proporcionar níveis mínimos de iluminação, medidos durante a noite para não sofrerem interferência da luz natural. Tais dispositivos legais foram concebidos para garantir ao trabalhador condições adequadas à realização das tarefas visuais, mesmo que sua jornada fosse nos horários em que não há luz natural disponível.

Entre essas exigências legais, uma delas é que toda empresa elabore a análise ergonômica do trabalho - AET, após a análise da demanda ou formulação do problema, como ocorre a análise da tarefa e do ambiente de trabalho, no qual a iluminação é importante fator, até devido às formas de comunicação não verbais, com gestos, sinais, luzes indicativas, entre outros aspectos apontados por Santos & Fialho - 1995.

Durante a análise do ambiente de trabalho, verifica-se, além de níveis de ruído, temperatura, qualidade do ar, as condições da iluminação artificial, tanto em quantidade - nível de iluminação no plano de trabalho, em lux, como também a ocorrência de ofuscamentos, brilhos excessivos, contrastes, etc.

Assim, não basta haver um determinado nível de iluminação, mas também, deve haver qualidade visual no ambiente e, não raro, observa-se que muitos dos ambientes concebidos para a execução de tarefas trazem altos níveis de iluminação, mas também muito ofuscamento, reflexos incômodos, grande contraste entre áreas mais e menos claras, o que favorece ocorrência de acidentes de trabalho, erros de procedimentos por má leitura ou má identificação de sinais, o que, por sua vez, aumenta a probabilidade de insatisfação, estresse e prejuízos, para o trabalhador, para a empresa e para a sociedade.

1.3 Objetivo geral do trabalho

O trabalho visa estudar o aproveitamento da iluminação natural para o interior do ambiente construído, através de técnicas de redirecionamento, utilizando elementos de controle.

O estudo também objetiva um melhor aproveitamento tanto da insolação direta como daquela proveniente da abóbada celeste, além da contribuição do entorno

construído, para casos onde há obstrução causada por outras edificações ou orientação inadequada da fachada.

1.4 Objetivos específicos do estudo

Para ser atingido o objetivo geral, algumas outras etapas devem ser alcançadas, como:

- verificar a variação do desempenho da "lightshelf" e alguns elementos de redirecionamento da luz natural;
- verificar a importância das partes interna e externa da "lightshelf", dependendo do horário;
- utilizar o aplicativo de simulação computacional Lightscape®, visando avaliar a utilização da luz natural como ferramenta de projeto;

1.5 Hipóteses

O presente estudo pretende mostrar que, numa condição de obstrução excessiva, que resulta numa drástica redução de luz natural, é possível haver um sistema de redirecionamento que minimize e compense, pelo menos parcialmente, tais efeitos, embora existam estudos indicando que as "lightshelves" apenas reduzem as diferenças de níveis de iluminação entre as áreas próximas das janelas e as áreas mais distantes.

Os resultados do trabalho indicam que, de acordo com os dados obtidos, há ganho nos níveis de iluminação interior dos ambientes, em determinados horários e condições.

1.6 Estrutura da dissertação

O trabalho está estruturado em 6 etapas, designadas por capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Simulações, Análise dos Resultados, Conclusões e Sugestões e Bibliografia.

Na Introdução, Capítulo 1, há uma contextualização da proposta, mostrando que o trabalho é dirigido, principalmente, para as áreas de maior aglomeração urbana e onde possa haver uma carência no aproveitamento da luz natural.

São explicitados os objetivos, sendo que o aproveitamento da luz natural, nesse trabalho, depende de estudos como os elementos de redirecionamento da luz natural, a contribuição de cada uma das partes componentes dos elementos e da avaliação do aproveitamento usando o aplicativo de simulação computacional adotado.

É esperado, assim, ficar claro o motivo que norteou tal estudo, quais os objetivos e o que se pretende mostrar ao final dos estudos.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, verificam-se alguns conceitos e estudos anteriores, relacionados com o tema escolhido, incluindo os primeiros registros e as primeiras manifestações conhecidas da importância da luz natural para o homem, mudanças na cultura e nas civilizações, que trouxeram alguns problemas em se considerar a luz natural desnecessária.

É mencionada, nesse capítulo, a valorização da iluminação artificial que trouxe muitos gastos de energia, o que tem recebido, paulatinamente, diversos questionamentos e a conseqüente necessidade de serem revitalizadas as técnicas de aproveitamento da iluminação natural, elementos de controle, incluindo exemplos de alguns desses elementos.

O capítulo finaliza com a análise da bibliografia a respeito das simulações com modelos em escala reduzida e simulações matemáticas com auxílio de computação, conhecida também como modelo virtual, mostrando o aplicativo adotado, o Lightscape®.

As simulações são descritas no Capítulo 3, no qual são relatadas as experiências, tanto do modelo em escala reduzida adotado no método experimental, como do modelo virtual adotado no método de simulações computacionais, incluindo alguns aspectos da evolução do processo de aprendizado com as vantagens de um método e do outro.

Os dados referentes às simulações com o último modelo virtual são analisados no Capítulo 4 - Análise dos Resultados, com o auxílio de dados dos resultados, gráficos e as conclusões das simulações.

O Capítulo 5 refere-se às conclusões sobre o trabalho, a finalização do processo de pesquisa, de conhecimento e aprendizado, incluindo algumas sugestões para trabalhos futuros.

O trabalho traz, na sexta parte, as Referências Bibliográficas e, na última parte, os Anexos com as tabelas utilizadas para a geração dos gráficos do Capítulo 4.

CAP 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é elaborada uma revisão da literatura sobre o tema iluminação natural, desde sua importância para o homem primitivo e para as primeiras civilizações, com uma gradativa mudança da importância da luz natural, como elemento de projeto, para a valorização da iluminação artificial e, finalizando, estudos e algumas considerações mais recentes sobre as necessidades humanas e, também, preferências sobre a luz natural no ambiente construído, alguns exemplos e mencionando alguns equipamentos de controle e redirecionamento da luz solar, com maior ênfase no equipamento abordado no trabalho, as "lightshelves" ou prateleiras de luz.

Também são tratados os cuidados com as simulações com modelos em escala reduzida, seu valor para a identificação e correção de problemas, bem como a simulação com modelagem auxiliada por computador e uma breve visão do aplicativo utilizado, o Lightscape®, com algumas telas indicando as etapas do seu uso.

2.1 A importância da luz para o homem através dos tempos

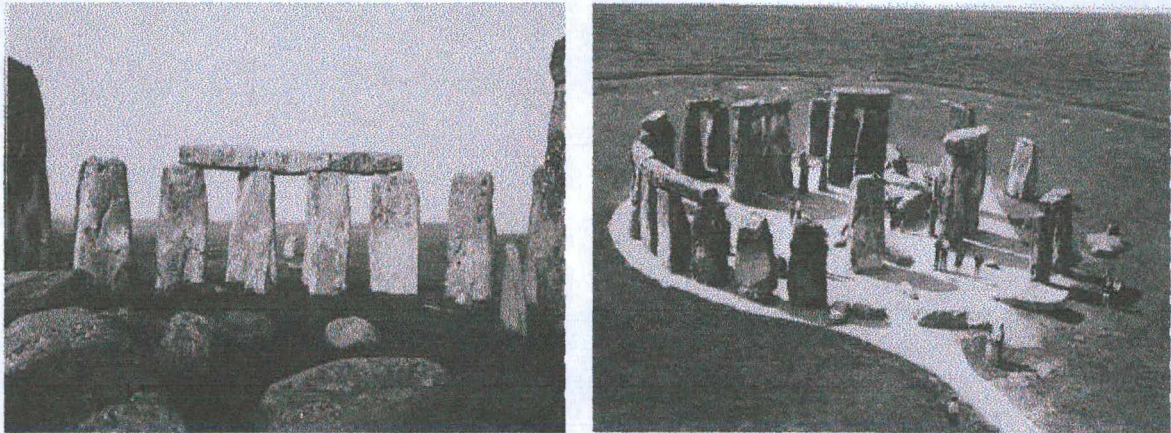
Através da história e através do mundo, o sol tem sido admirado pela espécie humana. Seus benefícios são, por um lado, reconhecidos, aceitos, louvados, mas por outro, muitas adaptações tornam-se necessárias devido aos problemas que sua presença pode trazer, como calor pelo excesso de incidência solar, degradação dos pigmentos de tecidos, móveis, materiais diversos, ofuscamento pelo alto contraste entre as áreas mais e menos iluminadas, brilho e reflexos incômodos.

Segundo Doczi (1990), existem muitas indicações que os povos antigos já observavam cuidadosamente os movimentos de corpos celestes.

Com esta adoração, muitos povos definiam princípios básicos para plantio, jornada de trabalho, estações do ano, roupas, abrigos provisórios e construções.

Na Inglaterra encontra-se um dos mais famosos, na planície de Salisbury, conhecido como Stonehenge, construído em etapas entre 2000 e 1600 a.C., no qual

pode ser observado, com precisão, quando o sol aparece no primeiro dia de verão, no enquadramento central da arcada de pedras, visto nas imagens da figura 2.1.



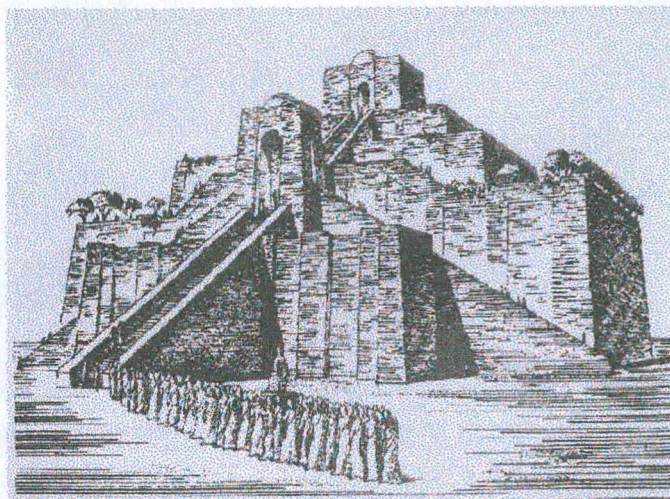
Fonte: Doczi (1990)

Figura 2. 1 - Imagens de Stonehenge, Inglaterra.

No norte da Europa são encontrados enormes monumentos feitos de pedra, que serviam tanto como calendários, como bússolas, orientadores de estações e templos sagrados.

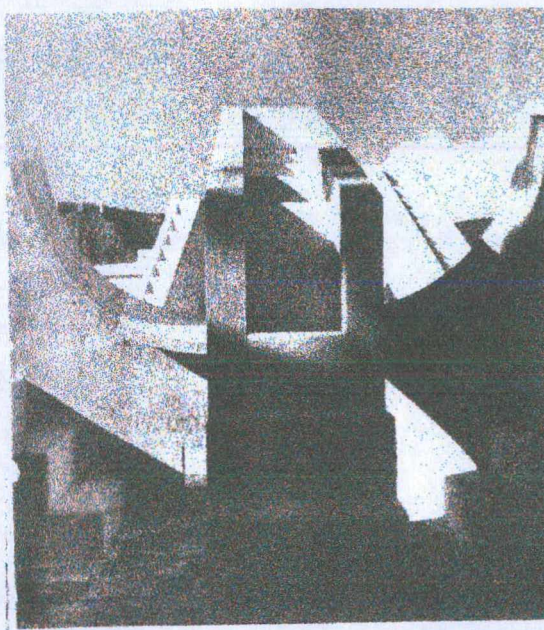
Verificam-se gravações em rochas na Escandinávia com desenhos de barcos, discos solares e orientação dos pontos cardeais, feitos pelos vikings.

Nas culturas americanas pré-colombianas - maias, astecas, assim como nos sumérios, egípcios, gregos e romanos observam-se, também, importantes monumentos que podem testemunhar tal devoção, segundo Fonseca (1982) e Doczi (1990), sendo um exemplo o Ziggurat de Ur, visto na figura 2.2 e monumento em Jaipur, na Índia, visto na figura 2.3.



Fonte: Doczi (1990)

Figura 2. 2 - Desenho do Ziggurat de Ur.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 3 - Monumento construído em Jaipur, Índia .

Segundo Lam (1986), a partir da análise inicial de uma arquitetura concebida com observação na luz natural, descobre-se uma lógica inerente em suas formas construtivas, orientação solar, penetração da luz e cores. As soluções finais são modificações, quando necessário, de forma a resolver conflitos em planejamento e decisões de projeto.

A empatia entre a humanidade e a luz transcende à existência dos anos, a evolução do homem e da sociedade, conforme Burgner (1996). Como a luz do dia permitiu ao homem ver sua presa e seus inimigos, a noite trouxe o desaparecido, o escondido, o misterioso. Cedo, o homem viu o fogo, centro da família e da comunidade.

Assim, como luz e fogo eram fonte de vida, sobrevivência e pela sua natureza etérea, vieram a ser divinizados ou associados com o espiritual e o religioso.

Edifícios assim projetados atendem tanto às necessidades de insolação direta como luz natural modificada através de difusão ou reflexão pela abóbada celeste, nuvens, elementos da paisagem, sejam naturais ou construídos pelo homem e a relação mútua entre os edifícios próximos, como informa Lam (1986) e Pereira (1995).

Em locais com grande incidência solar, uma solução adotada é a colocação da janela baixa, mais próxima do solo, a qual recebe a luz refletida no entorno, como observado na figura 2.4. Observa-se que cores claras ou mesmo tons de branco favorecem a difusão e inter-reflexão entre paredes externas, construções vizinhas e o piso, com vegetação, atuando como elemento de controle, também.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 4 - Janela baixa, recebendo luz refletida.

Por outro lado, em locais quentes durante o dia e extremamente frios durante a noite, como nos desertos, a resposta da arquitetura à insolação são maciças paredes e cobertura, aumentando a inércia da envolvente, visando reduzir a carga térmica durante o dia e retendo calor no interior, à noite.

Em áreas tropicais e úmidas, por exemplo, espaços públicos são iluminados por reflexão da luz no piso claro, as paredes recebem aberturas generosas e a luz é filtrada pela estrutura da cobertura, como documenta Lam (1986).

As atividades continuavam a ser regradas pela luz do dia, auxiliadas a noite por uma pequena chama de uma tocha ou vela. Mesmo assim, embora a busca pela luz tenha sido importante, era mais adotada em edifícios públicos e religiosos e, praticamente, não havia a mesma preocupação com as residências, conforme cita Pereira (1995).

Pode-se observar tal cuidado, nas figuras 2.5, 2.6 e 2.7, nas quais a iluminação natural é filtrada, o que confere uma atmosfera etérea, leve, nobre e que valoriza detalhes da arquitetura, incrementados por focos de iluminação artificial, cuidadosamente orientados.



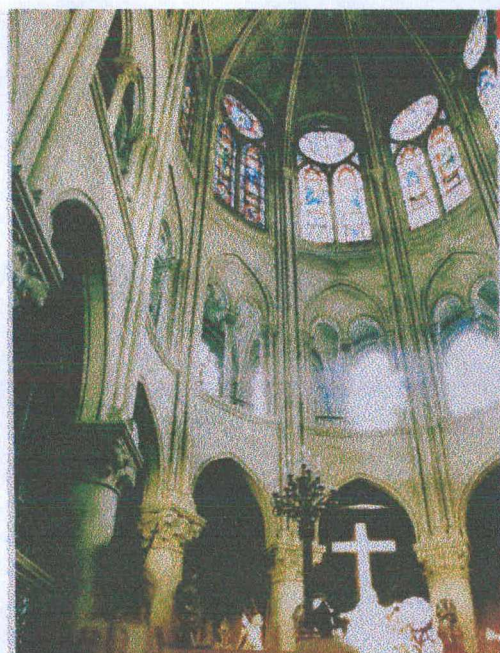
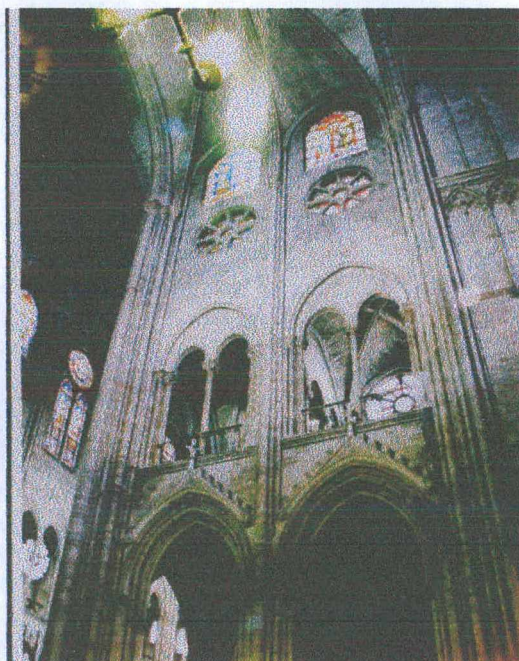
Fonte: Rykwert (1991)

Figura 2. 5 - Catedral de Berlim, construção do séc. XVIII.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 6 - Igreja N.S. Del Mar, em Barcelona, Espanha.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 7 - Interior da Catedral de Notre-dame, Paris, França.

Com a revolução industrial, no século dezoito, diversos aspectos da sociedade foram alterados, segundo Burgner (1996). Houve a necessidade de mais e mais tochas e velas para atender às novas exigências de turnos extras de trabalho, o que era dispendioso e perigoso.

As antigas fontes exclusivas de luz artificial como tochas e velas passaram a ser substituídas pela luminária a gás, nas áreas públicas, indústrias, posteriormente chegando até as residências. Os turnos de trabalho nas fábricas não se limitavam ao horário de céu claro e a jornada de trabalho se estendeu para a noite

Com o aparecimento da lâmpada elétrica, entre os séculos dezoito e dezenove, houve considerável barateamento, com mais luz sendo produzida com menos combustível, segundo Burgner (1996).

Com o desenvolvimento de fontes de luz artificiais, como lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de descarga, vieram os benefícios de uma energia elétrica barata e de consumo incentivado, conforme bem descrevem Lam (1986) e o Energy Research Group (1994), principalmente, a partir do início do séc. XX.

Também ocorre naquela época, incentivado por diversas correntes de pensamento e, talvez, pela entrada do novo século e último do milênio, diversos movimentos culturais, inclusive a crença de que o conhecimento científico poderia dominar a Natureza; a luz natural, como forma econômica de iluminar edifícios cedeu lugar ao desenvolvimento da iluminação artificial barata e passou-se a acreditar ser possível, para o homem, controlar a ventilação, calefação e iluminação. Quase todas as variáveis do clima, poderiam ficar sob o domínio do homem, provavelmente devido às mudanças advindas da revolução industrial e desenvolvimento da tecnologia. O domínio da luz natural foi desafiado e passou a ter menor importância na concepção dos projetos, segundo Mascaró (1991), citando também que, teoricamente, pelo menos, era de se esperar que os avanços da tecnologia trariam oportunidades ilimitadas de otimizar soluções de projeto, uso mais inteligente da luz solar, criação de ambientes confortáveis, sob aspectos visual e térmicos. Entretanto, o que realmente verificou-se foi uma busca de notoriedade e monumentalidade de diversos edifícios comerciais e institucionais indicando outra orientação, o avanço de estruturas, extensos panos envidraçados e problemas

causados por diversas escolhas mal resolvidas e de difícil solução, notando-se pouca ou nenhuma influência da luz solar na forma de parcela significativa das construções.

De acordo com Lam (1986), é como se houvesse incentivos ao aumento do consumo de energia elétrica, talvez para justificar os altos investimentos em hidrelétricas e linhas de transmissão e distribuição. Os códigos de edificações estabeleciam níveis de iluminação que, em certas indústrias, a iluminação artificial permanecia, praticamente, ligada o tempo todo, com total desconsideração do clima externo e da disponibilidade de luz natural, inclusive com o conseqüente aquecimento do ambiente e a necessidade permanente do condicionamento de ar, que, por sua vez, gerava mais consumo.

O mesmo autor também argumenta que diversos engenheiros eletricitistas, não habituados com conceitos de percepção do projeto de iluminação, contentaram-se em estabelecer padrões numéricos matemáticos para critérios dos princípios na elaboração de projetos luminotécnicos e, nos anos que sucederam as duas guerras mundiais, conceitos estéticos prevaleceram como influências arquitetônicas dominantes e grande parte do conhecimento referente à orientação dos edifícios ficou esquecida. Diversos fatores resultaram em uma pobre utilização da luz solar, notadamente nas edificações construídas em meados do século XX.

Alguns planos diretores, mencionados por Mascaró (1992), permitindo a construção de edifícios altos e o maior adensamento no centro das cidades, combinados com as novas disponibilidades tecnológicas de ar condicionado, ventilação mecânica e iluminação artificial, possibilitaram a criação de efeitos indesejáveis, como ilhotas térmicas, sombras indesejáveis, inexistência de ventilação natural, entre outros.

A crença na possibilidade de ser construído um céu artificial, o uso dos blocos de vidro e o aparecimento da lâmpada fluorescente, por volta dessa época, fez com que a luz solar fosse, praticamente, ignorada ou considerada um problema antes de ser uma oportunidade, conforme cita Lam (1986). Ao invés de interagirem com o meio ambiente, janelas não eram incluídas em diversos espaços, havendo como que uma

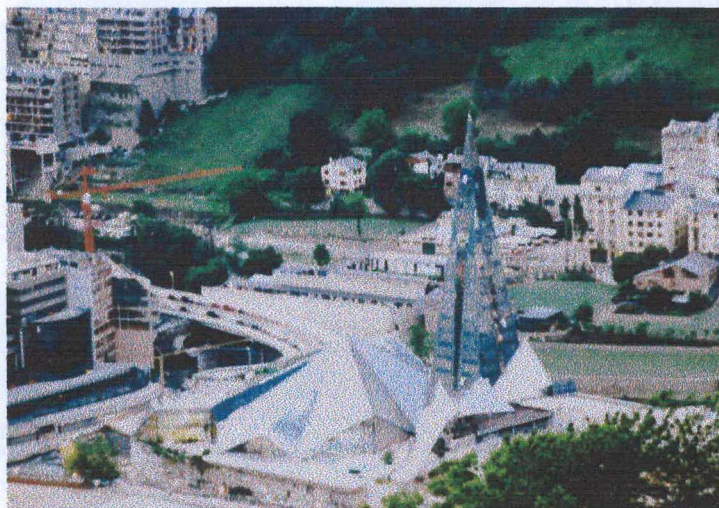
rejeição à luz solar, gerando ambientes inadequados ao uso pelo homem e muito pobres, sob o aspecto lumínico e térmico, da mesma forma que uma relação inadequada no gasto de energia. Assim, a tecnologia deveria gerar soluções a problemas que ela mesma havia trazido, dentro da concepção de uma arquitetura não natural.

De acordo com aquele autor e, também, com o trabalho de Pereira (1995), houve muita valorização da arquitetura do volume externo, do formal e da monumentalidade em detrimento do conforto do ambiente e da arquitetura de interior. Era dispensada grande atenção, por parte de diversos projetistas, ao tratar o interior apenas dos lobbies e espaços públicos. Os espaços destinados ao trabalho, raramente, são vistos em ambientes construídos presumivelmente para este fim, sendo, muitas vezes, compartimentos independentes com circulação de interligação, que receberia, posteriormente, uma adequação necessária, de acordo com o futuro usuário.

Muitos arquitetos deixaram de assumir a responsabilidade pelos projetos de interior e dos ambientes dos edifícios em troca pela liberdade de projetar grandes caixas de vidro, satisfazendo sua extravagância, muitas vezes de forma negligente e sem observar implicações funcionais. Preferiam adotar a chamada planta livre, separando os panos de fechamento e as paredes da estrutura e, ainda, possibilitando a elaboração de reprojeto. Com poucos materiais definidos, como tipo das divisórias, sistemas de forro acústico e equipamentos lumínicos adequados, apenas o lobby principal teria a atenção projetual, o maior esforço de concepção. Mantiveram a crença, segundo Mascaro (1993), que as coisas eram independentes, descompromissadas, como se aspectos como estrutura, paredes, aberturas, teto, sol, luz, calor, conforto não fossem inter-relacionados.

Há de ser observado, contudo, que há casos em que modernas tecnologias ou elevado uso do vidro, como, por exemplo, envidraçamento de todo o volume tornando a edificação um enorme captador solar, não só é bem-vinda como necessária, tanto pelo ganho de iluminação como ganho térmico.

Em locais mais frios, ganhos de iluminação e calor são imprescindíveis, como n caso do edifício mostrado na figura 2.8, onde funciona um centro de esportes aquáticos em Andorra, país situado nos Pirineus, entre Espanha e França, em que há inverno com neve e verão com um ameno clima temperado de montanha.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 8 - Envidraçamento de centro de esportes aquáticos em Andorra.

A respeito das edificações que utilizam as tecnologias construtivas sem serem considerados os fatores climáticos, como lembra Lam (1986), tais edifícios, antes de serem construídos, devem ser aceitos pelos investidores, que se preocupam com o custo inicial e o retorno do capital investido. No entanto, tais obras eram edificadas mesmo com os altos custos operacionais, repassados aos clientes, que estão mais interessados nos aspectos da imagem incorporada com formas dramáticas e imponentes exteriores do que com a qualidade do ambiente de trabalho no interior dos espaços ou com a economia operacional, de consumo ou manutenção.

Edifícios de escritórios não foram os únicos projetados sem os devidos cuidados com o ambiente de trabalho. Diversos arquitetos preferiram adotar mais formas abstratas do que lógicas em museus, bibliotecas, universidades e outros tipos de edifício.

De acordo com Assis (1995), têm sido preocupação crescente nos estudos para os grandes aglomerados urbanos os critérios na definição de ângulos de incidência,

altura das obstruções, afastamento lateral para a abertura de janelas ou período mínimo de incidência solar no solstício de inverno, visando dotar níveis mínimos de iluminação de 150 lux em 80% dos dias do ano, por exemplo.

Embora o respeito à necessidade de iluminação natural nos ambientes seja antiga, conforme menciona Lam (1986), nem todas as edificações observam critérios de insolação mínima, principalmente com a concentração de grande parte da população na área urbana.

Houve o crescimento de muitas cidades, principalmente na altura das edificações, o que trouxe obstrução à insolação das edificações com menor altura e, também, para as unidades situadas nos andares mais próximos ao térreo, havendo áreas com iluminação natural insuficiente, segundo Mascaró (1993).

Tal prejuízo não permite a insolação direta e dificulta a contribuição importante da iluminação pela componente celeste, pois apenas uma pequena parcela da abóbada é visível. A falta de insolação direta ou iluminação insuficiente também é devida à orientação solar inadequada, quando algumas janelas estão em posição desfavorável em relação à trajetória solar, nos casos em que as janelas são voltadas para o Sul, em locais do hemisfério Sul ou janelas voltadas para o Norte, em locais do hemisfério Norte.

Psicologicamente, a necessidade de um contato com o exterior é conhecida por alguns autores, como Tregenza (1993), que trata da necessidade humana de haver um ponto de vista do exterior, mesmo que seja apenas uma janela aberta para um prisma de iluminação. Ainda que seja insuficiente para proporcionar luz natural em níveis satisfatórios, ele afirma que há uma busca por ambientes onde haja iluminação natural, mesmo naqueles em que seja uma pequena parcela da iluminação total e haja a necessidade de complementação por quase todo o período, uma vez que a variabilidade da luz natural, através da passagem do dia, é importante por fornecer informações aos ocupantes sobre o tempo, o clima, orientação solar e direcionalidade da luz e fidelidade de cores.

Além dos problemas com o conforto visual, dificuldade no cumprimento de grande parte das tarefas, orientação temporal, fidelidade de cores, as deficiências provocadas pela ausência da luz solar, pode trazer, como consequência, sérios

problemas de habitabilidade e condições sanitárias insatisfatórias aos ambientes internos, pela carência de doses mínimas da radiação ultravioleta, responsável, entre outras coisas, pela síntese de vitamina D no organismo humano e para desinfecção do ar e das superfícies, devido ao alto poder germicida dessa radiação, invisível ao olho humano, mas presente no espectro que compõe a radiação solar.

Pelo que se observa, há então aspectos visuais, de segurança e salubridade envolvidos, que implicam no valor do imóvel que leva em consideração um melhor aproveitamento da luz natural no seu projeto.

A trindade de Vitruvius - solidez, encanto e valor comercial - citada por Lam (1986), é valorizada pela luz natural, pois trata de:

- Solidez - considerar a luz solar não como um estilo arquitetônico, nem moda passageira, mas um aspecto duradouro por considerar princípios básicos do meio ambiente natural. Com este enfoque, através da história, observam-se edificações belas e sólidas com tal concepção.
- Encanto - através da satisfação psico-fisiológica das necessidades humanas, ao produzir um ambiente agradável e produtivo, prazeroso e encantador, com riqueza de cores, volume e contraste.
- Valor comercial - pela alta eficiência energética da iluminação natural, a opção por sistemas de iluminação natural permite considerável economia na energia consumida, tanto em iluminação como em condicionamento de ar. Tais aspectos têm sido valorizados nos últimos anos.

Entretanto, a iluminação natural no projeto de arquitetura não deve ser alienada do projeto de iluminação artificial. Deve ser projetada a iluminação artificial complementar para espaços com áreas inacessíveis à luz natural e um projeto de iluminação para atividades em horário em que a iluminação natural é indisponível, como por exemplo, atividades noturnas. Ambos integrados. O que se observa é que esse último é o único a ser feito, tornando quase obrigatório que toda a iluminação artificial seja acionada, independente da luz natural, farta e gratuita. Isto se deve, em grande parte, ao fato de que os projetos de edificações atuais são, via de regra, elaborados separadamente do projeto de iluminação, como se fossem usados separadamente, segundo Mascaró (1991).

Há, muitas vezes, a compartimentação do ato projetual, sem a harmonização das partes, apenas com a justaposição delas, como se não houvesse a necessidade de integrá-las com um único objetivo mais amplo: atender às necessidades espaciais do usuário, com o máximo de conforto, salubridade e bem estar.

No julgamento de propostas arquitetônicas, Lam (1986) trata de um aspecto que tem sido discutido e causado polêmica até os dias atuais, quando, muitas vezes, as opiniões são levadas mais pela apresentação gráfica do que pelos outros fatores. Entre os próprios profissionais, mesmo aceitando que muitos adotam aspectos formais em detrimento do desempenho do edifício, o reconhecimento pelo trabalho do projetista é avaliado de acordo com a avaliação da qualidade do ambiente e das respostas de proprietários e usuários, sendo então, a verdadeira avaliação do projeto, efetuada após o uso da edificação.

Atualmente, com o rompimento da crença da energia elétrica muito barata, usuários começam a questionar a qualidade final de ambientes produzidos totalmente com mecanismos artificiais, com uma arquitetura com alta tecnologia. É uma oportunidade de revisão de conceitos da arquitetura convencional, para repensar arquitetura junto com clima e necessidades humanas. Trata-se, assim, de um processo em que novas tecnologias de cálculos com auxílio de computador, novos materiais, técnicas construtivas, fontes de energia disponíveis, custos de construção, instalação e manutenção, com uma visão de desenvolvimento sustentável devam ser levados em consideração, pois correções futuras são, normalmente, mais onerosas.

Conforme SOUZA (1995), a utilização da luz natural em edifícios comerciais reduz, sensivelmente, o consumo total de energia elétrica pela redução do consumo dessa mesma energia em iluminação, sendo que a energia solar como alternativa permite que seja considerado um modelo de desenvolvimento sustentável, a partir do uso racional de recursos naturais, sem prejudicar o meio ambiente, visando melhoria da qualidade de vida.

O incremento em energia térmica pelo ingresso de mais energia solar através da janela pode ser compensado pela diminuição do consumo energético com iluminação artificial desligada.

Tanto as práticas dos locais e países que não desperdiçam a insolação como a iluminação natural devem ser incentivadas e desenvolvidas, de forma que sejam considerados aspectos como as reais necessidades, expectativas dos usuários dos ambientes e adoção de processos e materiais de construção desenvolvidos com essas finalidades.

Outro conceito muito importante é sobre o envelope solar, que deve ser levado em consideração, conceituado como o volume máximo permissível de uma edificação sem prejudicar o acesso ao sol e luz natural da vizinhança imediata, vai, aos poucos, tomando força nos órgãos de planejamento urbano, códigos de obras, bem descrito por Pereira & Pereira (1995).

Embora não deva ser o único parâmetro regulador do tecido urbano, o envelope solar proporciona formas para:

- aumentar o adensamento urbano sem perda da qualidade ambiental, embora deva ser acompanhado de novo estudo de engenharia sanitária, de tráfego, entre outros;
- a volumetria resultante, provavelmente tronco-piramidal, traria necessidades tecnológicas, estéticas, o que deveria ser acompanhado por regulações quanto a recuos, formas, questões culturais;
- revisão do melhor aproveitamento de lotes urbanos médios e grandes, embora haja um certo prejuízo em lotes de menor testada, que seriam de implantação inviável pelos afastamentos laterais necessários;
- possibilidade de formação de áreas livres no meio das quadras e modificação de áreas entre volumes em públicas.

A abordagem desse conceito passa, também, pela conscientização de que tais mudanças não são isoladas, pois interferem nos direitos e deveres de uma pessoa em relação às outras e com todo o grupo, interagindo uns com os outros, caso contrário não há condição legal ou prática de ser implantado.

Assim, conclui-se que não basta melhorar o ingresso da luz natural apenas com o aumento do tamanho da janela, sem levar em consideração o ingresso de mais calor, além de ser visualmente desconfortável que o plano de trabalho apresente um gradiente de nível de iluminação excessivamente não-uniforme. Os níveis de iluminação decaem de forma assintótica à medida que se afasta da janela.

A melhoria da iluminação natural, segundo estudos de Bittencourt (1995) e Beltrán et al (1997), na sua qualidade além da quantidade, deve ser de forma integrada e diversos aspectos contribuem para o desempenho do conjunto como:

- tamanho da abertura
- posicionamento da janela
- forma da abertura
- elementos de redirecionamento da luz.

Assim, a luz natural não é um fim em si, mas participa grandemente na elaboração do projeto de arquitetura e traz a necessidade de estudos integrados envolvendo qualidade visual, controle de ofuscamento e reflexos, níveis de contraste, reprodução de cores, uso correto de materiais e o conhecimento de suas propriedades, exigências legais quanto à qualidade da iluminação e incluindo a necessidade de ser complementada com iluminação artificial, requisitos térmicos de acordo com as características de uso do espaço, inserção no tecido urbano com as interações com o meio ambiente, tanto natural como aquele construído pelo homem.

Neste aspecto, muitas vezes é necessário que sejam elaborados elementos que auxiliam na melhoria do desempenho das aberturas, concebidos visando melhorar a admissão da luz natural quanto é necessária ou obstruí-la quanto for indesejável, de acordo com latitude, clima, requisitos visuais, necessidades de ganho térmico ou não, requisitos de níveis de iluminação natural mínimos, economia de energia para a iluminação e climatização do ambiente. Tais elementos são equipamentos de controle e redirecionamento da luz solar, que podem ser fixos ou dinâmicos, atenderem a problemas de orientação inadequada, limitações construtivas e impossibilidade de acesso à luz natural e a diversos outros aspectos, descritos a seguir.

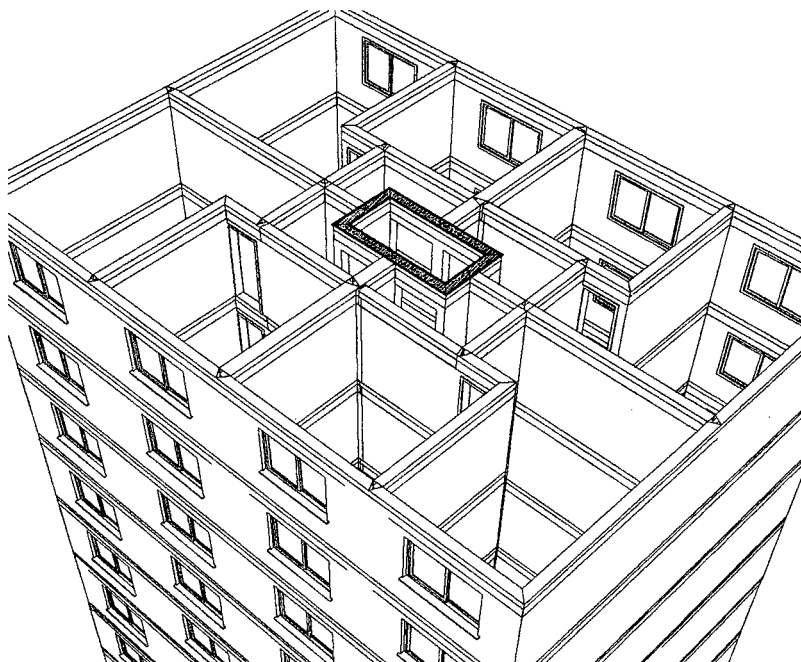
2.2 Equipamentos de controle e redirecionamento da luz solar

Como tem sido observado, tanto pelos exemplos conhecidos na atualidade como pelas referências e estudos, a luz natural incidente diretamente nos ambientes pode ser bem-vinda ou não, de acordo com as atividades a serem desenvolvidas pelos ocupantes ou usuários do espaço, situação geográfica, altitude, cultura, clima, necessidade de se evitar ganho térmico que ocorre com a iluminação excessiva enfim, uma série de variáveis que, quando são devidamente consideradas, trazem um melhor e mais completo projeto do espaço, com menor consumo de energia e maior qualidade ambiental.

Nesta parte do trabalho, são mostrados alguns elementos de controle e redirecionamento, tanto para os casos de bloqueio da insolação direta e luz natural como para seu redirecionamento e condução para o interior do ambiente construído.

Segundo Pereira, (1993), alguns elementos de condução da luz são:

- Poço ou duto de luz ou prisma de iluminação - em planta baixa, normalmente é uma pequena área mais centralizada, para a qual se voltam as janelas dos ambientes que não tem parede com o perímetro da edificação. Via de regra, é o recurso utilizado para proporcionar luz natural e ventilação àqueles espaços com menor período de permanência, como sanitários. Há casos em que o prisma de iluminação recebe as aberturas de cozinha, área de serviço ou outro ambiente. Pela sua proporção da sua área em relação a altura, quantidade e tamanho das janelas, muitas vezes tanto a iluminação como a ventilação são precárias. Pequenos prismas de luz e ventilação, em edifícios com muitos pavimentos, por exemplo, não oferecem boa eficiência ao fim a que se destinam para os pavimentos próximos do térreo, sendo privilegiados, apenas, os últimos andares, como pode ser observado na figura 2.9.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 9 - Prisma de iluminação no centro do volume.

- Átrio - elemento captador zenital da luz, que proporciona distribuição para os diversos níveis, causando efeito estufa pelo aquecimento do ar, artifício muito utilizado em locais frios; quando sua cobertura é translúcida, propicia iluminação difusa e agradável, tendo sua eficiência luminosa em função da largura do vão e quantidade de pavimentos, podendo ser observado nas figuras 2.10 e 2.11;



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 10 - Átrio com praça de alimentação em Tampere, Finlândia.

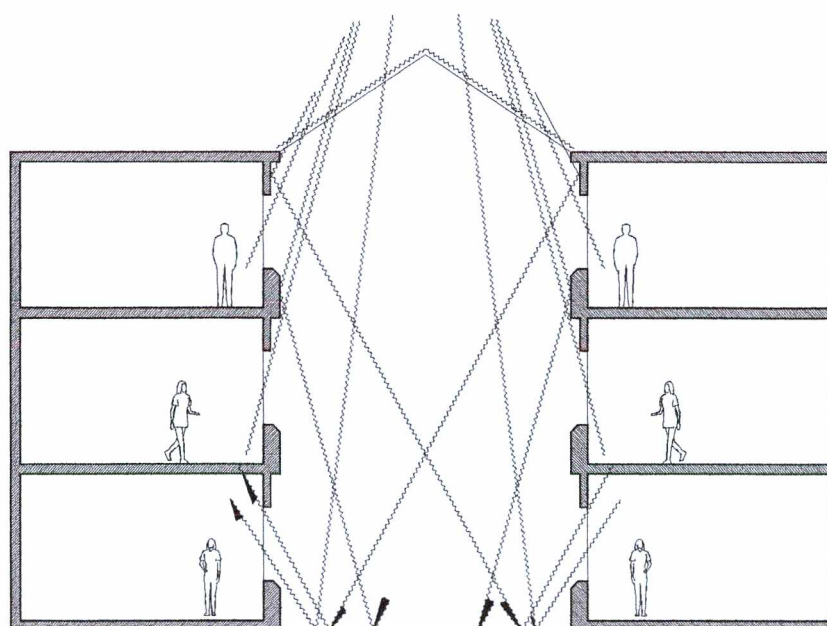


Figura 2. 11 - Átrio ou atrium em corte esquemático.

- coletor solar ou duto de luz solar direta - projetado para conduzir a luz direta do sol para ambientes internos sem acesso direto ao exterior, feito com superfícies altamente refletoras como alumínio polido, espelho e dimensões típicas de 0.5 a 1.0 m de lado. O comprimento desses dutos pode ser grande e, nesse caso, é associado com espelhos para possibilitar mudança de direção. Pode haver sistema de rastreamento do Sol no coletor, chamado de heliostato, o que o torna um sistema de iluminação solar ativo, de acordo com Pereira (1993) e (1995), conforme a figura 2.12.

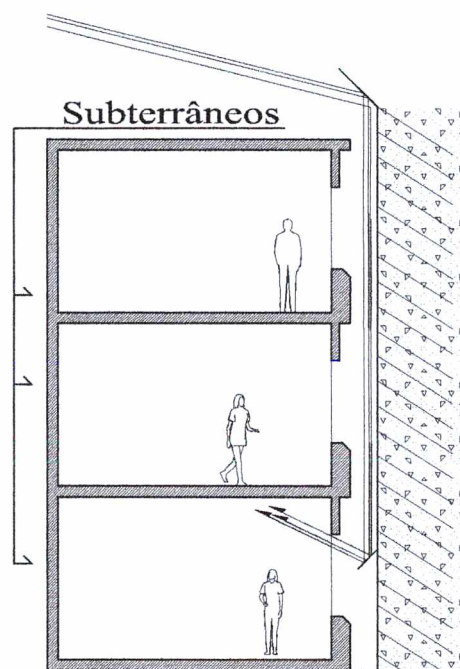


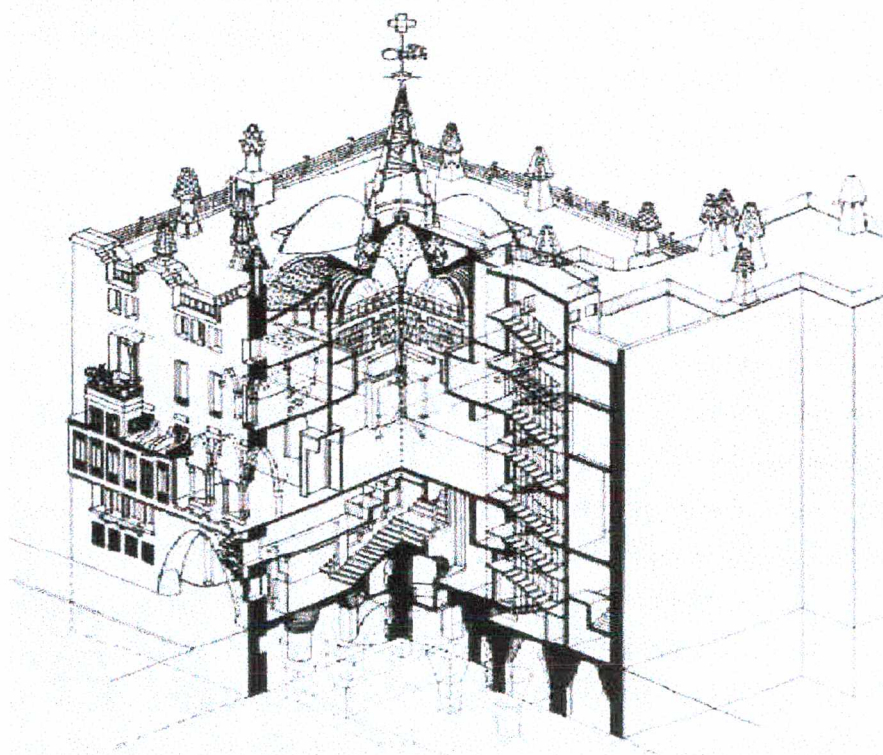
Figura 2. 12 - Esquema do duto de luz solar direta.

Diversos edifícios com características de aproveitamento da iluminação natural são verificados, principalmente, em países do Norte da Europa, de acordo com Lam (1986), onde há grande frequência de dias com céu nublado e existem grandes janelas no alto, desprotegidas e próximas à cobertura, utilizando a luz difusa proveniente diretamente da abóbada celeste como fonte dominante ou principal e usando bastante os artifícios de aberturas para iluminação zenital.

No entanto, tais aberturas, desprotegidas e receptivas à luz solar direta, não devem ser aplicadas indistintamente em todos os locais do planeta. Nos locais com

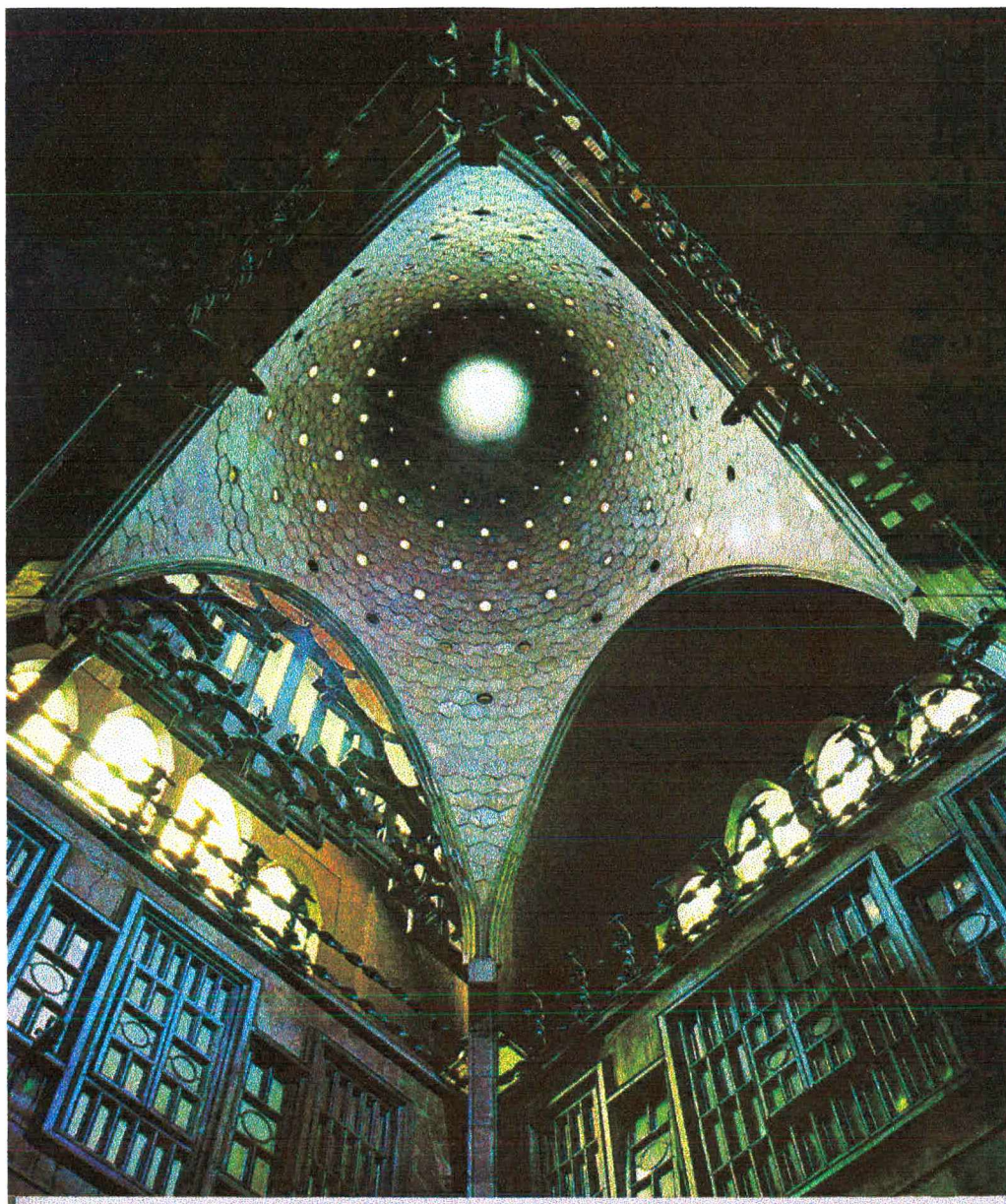
predominância de céu claro e ângulo solar mais alto, tais aberturas podem proporcionar grande ganho de calor, já que a luz é composta tanto pela parte do espectro visível como por parcela considerável de radiação ultravioleta ou UV e infra-vermelho, que passa pelo vidro e aquece o ar interno, proporcionando o chamado efeito estufa, muitas vezes indesejável.

Como já mencionado, há considerável ganho de calor com o aumento do tamanho da abertura desprotegida, seja lateral ou zenital, e o aproveitamento do calor provocado pela radiação nem sempre é bem-vindo. É citado por Pereira (1993) que, neste caso, uma das soluções é a composição de diversas aberturas zenitais menores com aberturas laterais, onde o conjunto, devido ao alto conteúdo energético da luz solar, proporciona a iluminação do interior com qualidade e grande efeito visual. Um exemplo desse efeito pode ser observado nas figuras 2.13 e 2.14, obtidas da Collezione Arte in Spagna (1996).



Fonte: Collezione Arte in Spagna (1996)

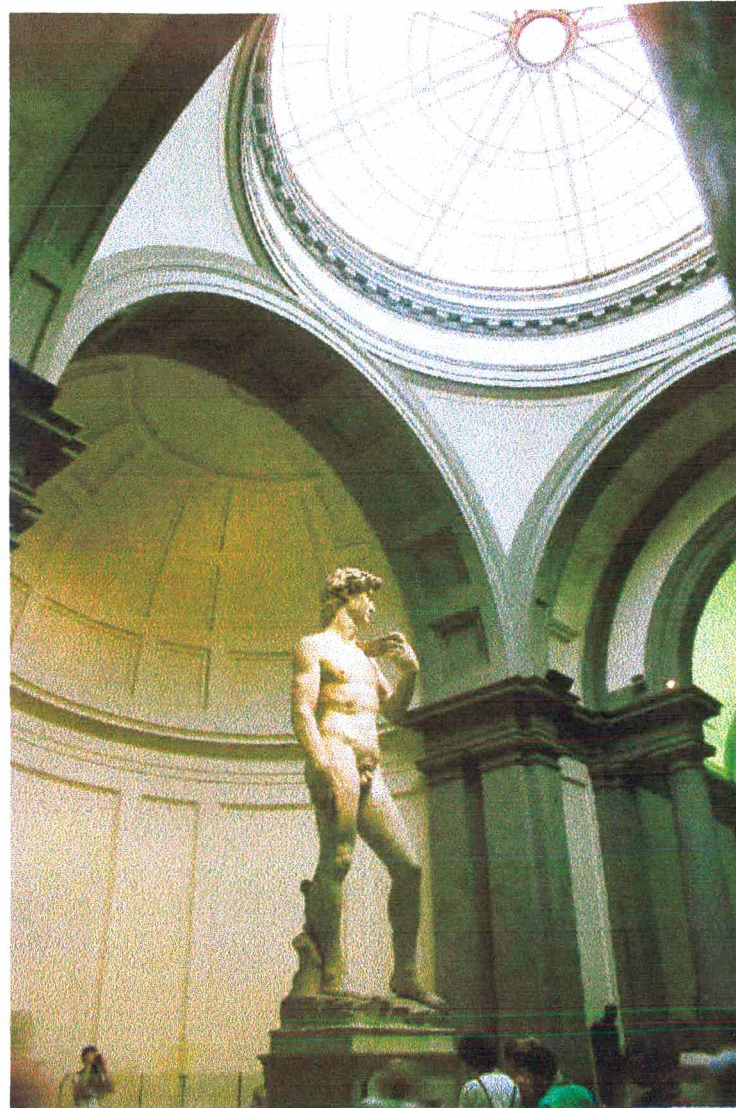
Figura 2. 13 - Corte perspectivado do Palácio Güell, Antonio Gaudi, séc. XIX .



Fonte: *Collezione Arte in Spagna* (1996)

Figura 2. 14 - Interior do Palácio Güell, iluminação zenital e lateral.

A iluminação zenital proporciona um efeito de iluminação especialmente agradável em galerias de arte, museus, praças e áreas de visitação pública, como em alguns espaços da Galeria da Academia, em Florença, Itália, onde a escultura de Davi, uma das obras de Miquelângelo mais famosas, pode ser iluminada sem sombras pronunciadas, como mostrado na figura 2.15.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2. 15 - Iluminação natural pela cúpula da Galeria da Academia.

Em contrapartida, edifícios onde a arquitetura foi desenvolvida para o aproveitamento da insolação direta podem ser encontrados em locais de clima quente e seco por todo o mundo. Nestes casos, as janelas são pequenas e, normalmente, localizadas em locais mais baixos das paredes facilitando o controle do brilho e quantidade de calor que adentra o ambiente e utilizando a reflexão da luz direta do sol em pisos, jardins e superfícies de edifícios próximos. Desta forma, há um bom aproveitamento da iluminação com o mínimo de ganho térmico no interior.

Entretanto, as dimensões dos pavimentos dos edifícios são, freqüentemente, determinadas pelas necessidades da organização (fluxogramas, organogramas,

automação) e para otimizar o investimento no patrimônio. Muitas vezes o projeto concebe a área máxima permitida naquela localização e conforme plano diretor vigente e de forma totalmente independente do futuro uso do espaço, distância das janelas, orientação solar, ocorrendo o que é citado por Pereira (1995) e Mascaró (1993) e mencionados anteriormente. Muitas vezes são projetadas grandes áreas com a chamada planta livre ou "layout" flexível. O resultado desse tipo de projeto é que, somente após a sua ocupação é que serão analisados os problemas de iluminação, ruído, ventilação e conforto térmico.

Referindo-se a iluminação, conforme Pereira (1993 e 1995), existem diversos elementos de controle e redirecionamento, sendo que alguns são fixos e outros dinâmicos e a adoção de um ou outro, via de regra, é definida em conjunto com orientação solar e de ventos predominantes, atividades desenvolvidas e condição de regulagem. Podem ser definidos enquanto projeto de arquitetura ou, muitas vezes, após a obra estar executada, como um anexo ou "retrofit" a ser instalado, sendo necessária cuidadosa análise de acordo com a destinação do espaço, seus requisitos e características.

Abaixo são relacionados alguns mais conhecidos, como:

- Toldo: elemento flexível opaco ou difusor, posicionado do lado de fora do componente de passagem (abertura ou janela), produz considerável redução na luminosidade e pode, normalmente, ser recolhido ou estendido.
- Cortina: composta de material flexível, geralmente tecido opaco ou difusor e instalada do lado de dentro, podendo ser movimentada liberando a visão e admissão da radiação.
- Elemento vazado: elemento plano vazado regularmente, permitindo o controle da radiação solar e regulagem da admissão da luz natural. Protege o ambiente interno contra a visão externa, mas permite a ventilação permanente.
- Veneziana: elemento composto por lâminas paralelas externas, ajustáveis ou não, podendo ser horizontais, indicadas para aberturas com orientação Norte, ou verticais, indicadas para orientação Leste e Oeste, para clima tropical e temperado.

- Persiana interna: composto por lâminas horizontais e verticais, possibilitando regulação na inclinação das lâminas conforme exigências de ventilação, iluminação, visão e controle de ofuscamento.
- Brises: elementos verticais e horizontais, externos e, muitas vezes, reguláveis, que proporcionam sombreamento da abertura podendo causar até sua oclusão total; podem ser aplicados inclusive na linha de visão, havendo um bloqueio de toda a iluminação natural. Não promove um melhor aproveitamento ou redirecionamento, conforme pode ser observado na figura 2.16.

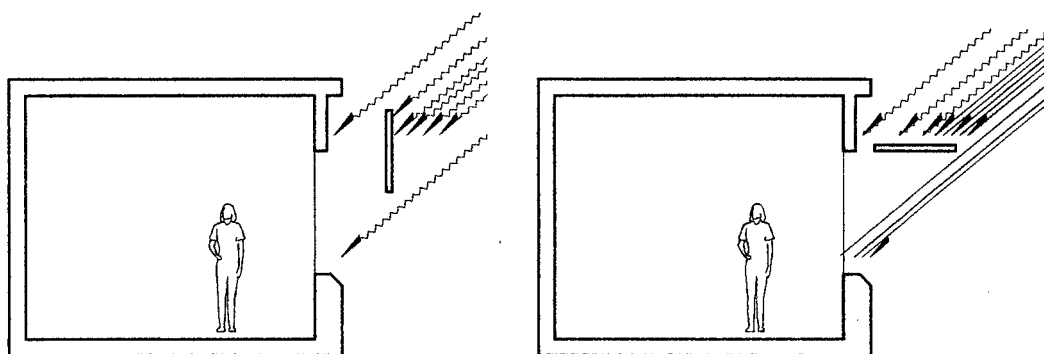


Figura 2. 16 - Brises vertical e horizontal proporcionam bloqueio da luz direta.

- Separador prismático: elemento prismático onde a luz é redirecionada de acordo com seu ângulo de incidência, de acordo com suas características ópticas e geométricas, podendo ser móveis e permitindo ventilação, com transparência visual muito reduzida e distorcendo a imagem, conforme figura 2.17.

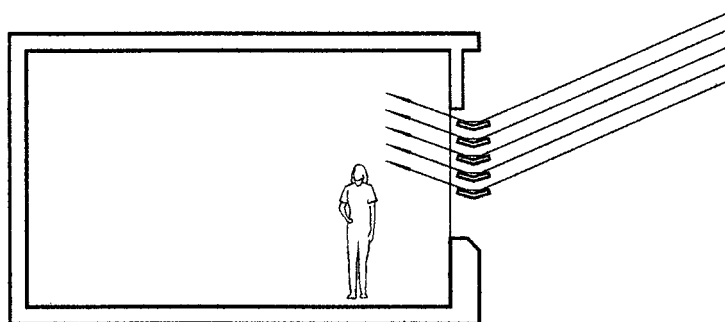


Figura 2. 17 - Esquema do separador prismático.

- Separador ativo: elemento de controle que pode ter suas características ópticas modificadas com a passagem de uma corrente elétrica. A intensidade de luz

natural admitida pode ser controlada de acordo com as exigências. Têm sido estudados o uso do vidro eletrocromico de Nb_2O_5 e WO_3 , por exemplo, composto por lâminas duplas de vidro, separadas por uma camada de sol-gel que, submetido a uma determinada tensão ou diferença de potencial elétrica filtra parcela considerável da radiação infravermelha da luz, parcela do espectro não-visível responsável pelo aquecimento. Estão sendo feitas análises sobre a potencialidade do uso desses materiais em janelas, de acordo com Pinatti & Sichieri (1999) e Sichieri, Caram, Pawlicka & Avellaneda, (1999).

- Proteções solares: elementos fixos, externos à abertura, muitas vezes chamados de máscaras solares, projetados de acordo com a trajetória solar na localidade de forma a proporcionar sombreamento seletivo, na época e nos horários de insolação desfavorável e permitir a insolação quando for favorável, de acordo com dados fornecidos ao projetista.
- Marquise: também chamada de beiral, é parte integrante da edificação, salientando-se horizontalmente da fachada, por cima de um componente de passagem vertical de luz. Intercepta a radiação solar proveniente de altitudes elevadas, reduz os níveis de iluminação internos, oferece proteção contra a chuva e, devido à trajetória solar e quando em aberturas voltadas para Leste e Oeste, oferecem pouca proteção no início da manhã e final da tarde, conforme figura 2.18.

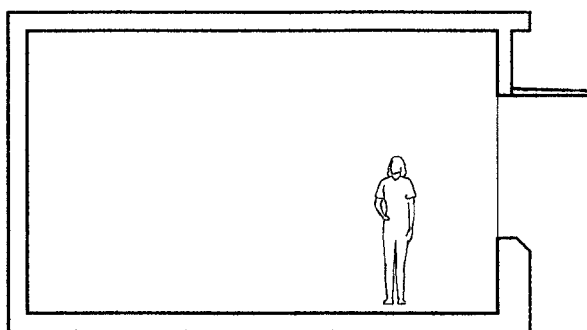


Figura 2. 18 - Corte esquemático da marquise ou beiral.

- "lightshelves" ou prateleiras de luz: baseando-se nos estudos de Burt (1984), Lam (1986), Pereira (1993 e 1995), Beltrán (1997) e comparando com outros estudos já referenciados de diversos elementos, o estudo concentrou a pesquisa nesse último equipamento de controle e redirecionamento, devido às suas características de atender, simultaneamente a:
 - bloqueio de parte considerável da insolação, redirecionando o fluxo luminoso para o teto, que redistribui a luz, difusa, para as áreas mais profundas e distantes da janela, de forma uniforme, reduzindo o grau de contraste entre áreas mais e menos claras;
 - possibilidade de ser exterior, interior ao ambiente ou ambas;
 - redução ou até mesmo eliminação do ofuscamento causado pela janela como objeto fortemente iluminado, dispensando outros elementos de controle;
 - possibilidade de ser elemento dinâmico, variando o ângulo de inclinação de acordo com o horários, visando direcionar melhor a iluminação, aspecto fundamental para o caso de adoção no Brasil, devido a grande extensão territorial, possibilidade do uso do mesmo projeto em locais diferentes e que conta com diversos tipos de clima, insolação, latitudes, altitudes, mudança sazonal de trajetória solar;
 - execução possível de ser harmonizada com o projeto da edificação;
 - custo de execução compensado pela redução na sua manutenção, durabilidade em relação a persianas e cortinas usadas para sombreamento;
 - situada acima da linha de visão, permitindo contato com o exterior;
 - consequente melhoria da qualidade visual do ambiente;

O esquema de atuação e funcionamento pode ser observado de maneira mais clara nas figuras 2.19 e 2.20.

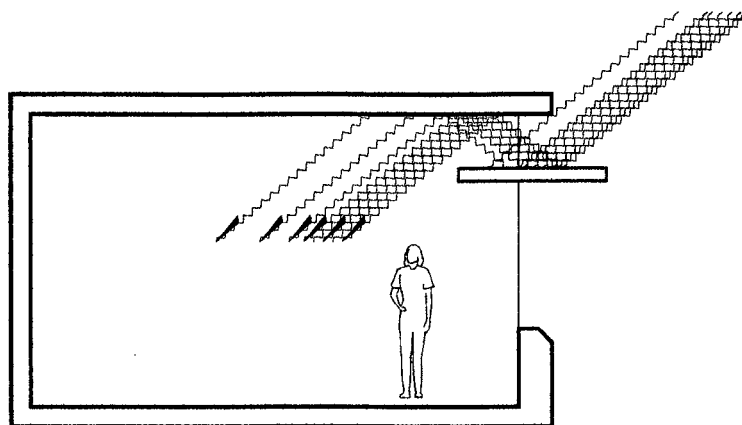


Figura 2. 19 - Corte esquemático da "lightshef" ou prateleira de luz.

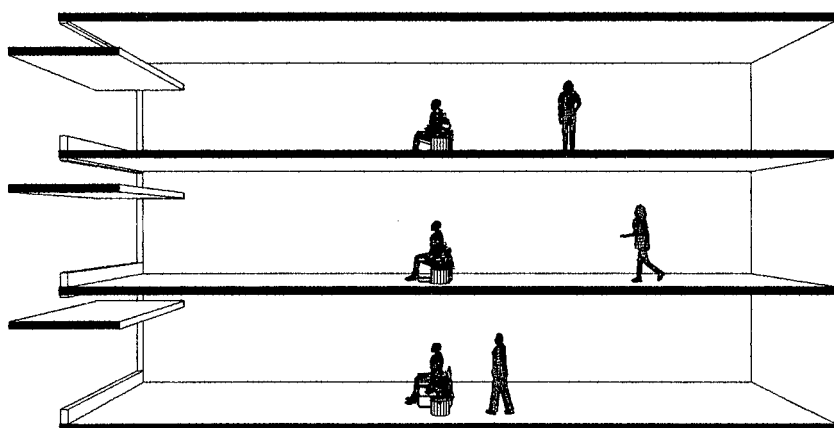


Figura 2. 20 - Corte de edifício com "lightselves"

Sob o aspecto de investimento, fazendo comparação com outros dispositivos de controle solar, as "lightselves" apresentam um melhor resultado econômico em longo prazo. Seu custo inicial pode não ser tão baixo como outros equipamentos – como cortinas ou venezianas – mas são, provavelmente, mais duráveis e de menor manutenção. Ao serem comparados com edifícios nos quais não foram aplicados grandes fechamentos de vidros espelhados ou com equipamentos dinâmicos e reguláveis, segundo Lam (1986), as "lightselves" autocusteiam o investimento, a princípio, pela economia de energia que proporcionam em iluminação, calor e redução da carga com condicionamento de ar.

Podem melhorar tanto a escala humana e as características do interior de uma edificação como o interesse visual pela sua fachada.

Entretanto, a análise do desempenho das "lightshelves" planas e sem revestimentos especiais elaborada por Burt et alli (1984), mostrou que tais elementos, apenas, reduzem a diferença entre os níveis de iluminação mais altos e mais baixos, não trazendo ganho significativo para o interior do ambiente.

Ficou evidenciado que, de acordo com os ensaios a respeito do assunto, diversos aspectos, mencionados por Lam (1986), Burt et alli (1984) e Beltrán (1997), podem ser melhor analisados e estudados em relação a:

- adoção do caráter dinâmico nas "lightshelves", ajustando a inclinação das prateleiras de acordo com horário, latitude, requisitos de sombreamento e ganho térmico;
- uso de materiais de revestimentos com alta refletância, como pintura alto brilho, revestimento com óxidos, metais polidos;
- geometria do equipamento com forma curva, de maneira a concentrar o fluxo luminoso.

2.2.1 Parâmetros para elaboração de projeto das "lightshelves"

Devem ser considerados diversos parâmetros para a otimização da reflexão da luz, como a altura do ambiente, profundidade, requisitos de sombreamento, posição dos vidros, acabamentos e refletâncias, inclinação das prateleiras, assim como os métodos usuais de construção, que fazem parte de uma análise detalhada própria de qualquer equipamento de iluminação.

- **Altura:** as "lightshelves" devem estar localizadas o mais baixo possível de forma a refletir o máximo da insolação para o teto, acima do nível da visão, normalmente a partir de 1,90m e compondo esteticamente com as demais aberturas e elementos construtivos, como a altura de vergas de janelas e portas. Tal altura também depende de certas aberturas - portas e janelas - que tem uma parte fixa, situada na porção superior às partes móveis, chamada de bandeira; neste caso,

a "lightshelf" é, então, situada justamente na separação entre as duas porções, ficando, normalmente, a parte inferior com maiores dimensões.

- Profundidade: sua dimensão varia de acordo com o bloqueio requerido para o ambiente, com a latitude, orientação solar e dimensões da janela, sendo fator importante para o bloqueio da insolação direta na área próxima da janela e, deste modo, atenuando o gradiente de iluminação. Casos extremos podem ser observados nos edifícios em que a profundidade das "lightshelves" pode chegar a mais de dois metros, de forma a assegurar que os usuários ou ocupantes das diversas zonas não deixem de ter luz natural, pois um importante resultado da grande profundidade deste elemento é o aumento da superfície refletora. Isto é muito importante para casos de pavimentos com a planta livre, onde ocorre divisão do pavimento com grande área e a formação dos ambientes ocorre com divisórias e biombos, posteriores ao projeto da edificação, muitas vezes. Convém lembrar que tais divisões deverão ter altura menor que a da "lightshelf" e a altura do pavimento ou pé-direito deverá ser maior, além de aumentar a refletância das superfícies para que o ganho seja efetivo. A profundidade é importante para compatibilizar o bloqueio da insolação com a latitude: menores profundidades são mais adequadas para o bloqueio nas menores latitudes, sendo que ocorre nas estações e nos horários em que o sol está mais alto. Nos locais de baixas latitudes, esta situação é mais crítica, quando os raios solares incidem quase na vertical.

2.2.2 Inclinação das "lightshelves"

Há o artifício de adotar a inclinação das "lightshelves", em relação à horizontal. Dependendo do objetivo, a inclinação pode ocorrer num sentido ou em outro, conforme observado nas figura 2.21.

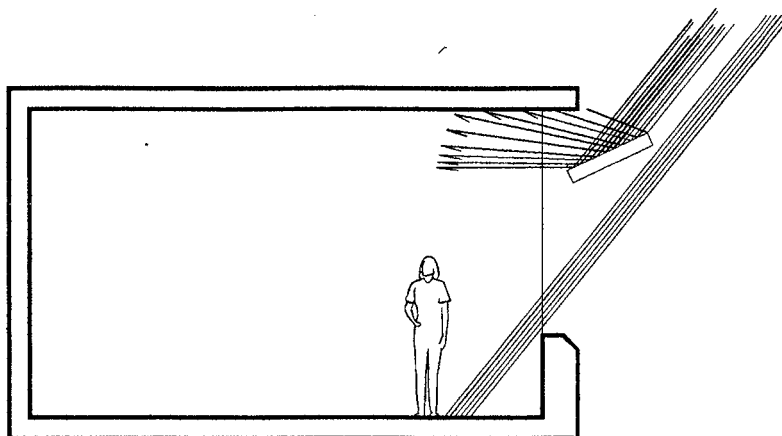


Figura 2. 21 - Aspecto da "lightshelf" inclinada.

Há a necessidade de observar cuidadosamente a orientação solar, bem como horários e estações, que são aspectos que interferem na trajetória solar e, conseqüentemente, no ângulo de incidência da insolação e a variação do ângulo de inclinação da "lightshelf" influencia bastante o bloqueio ou o ingresso de mais ou menos luz no interior do ambiente pela parte superior da janela, o que pode contribuir para o ganho de calor e nem sempre tal efeito é bem-vindo, como mencionado anteriormente.

Por estas razões, quando a iluminação natural mais efetiva é obtida com "lightshelves" niveladas, obstruções adicionais para condições mais difíceis podem ser, então, proporcionadas pelo incremento e combinação de elementos, como pequenas lâminas verticais, vistos na figura 2.22.

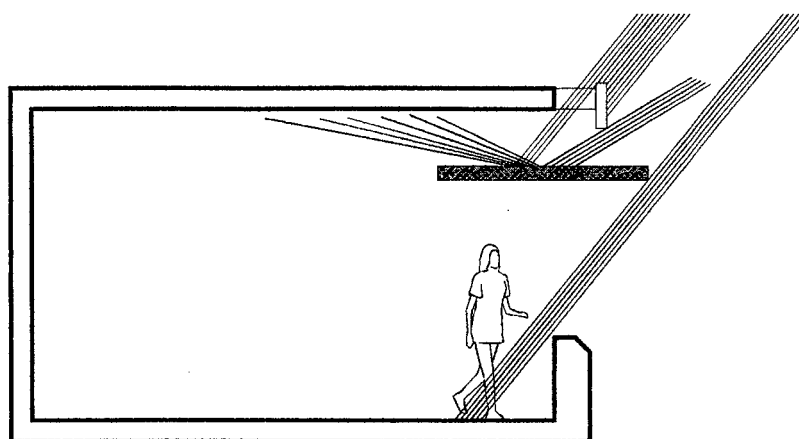


Figura 2. 22 - Obstrução adicional da "lightshelf" com lâminas verticais.

2.2.3 Posição dos vidros das "lightshelves"

Enquanto os ângulos mais adequados para o sombreamento são influenciados pela latitude e orientação, a posição dos vidros em relação ao plano vertical da fachada deveria ser determinada pelo clima e pela necessidade da carga térmica requerida ou desejada. Assim, em termos gerais, quando há necessidade de ganho de calor, o vidro da janela superior fica mais externo do que o da janela inferior. A configuração da "lightshelf" na fachada, conforme ocorra a divisão em duas janelas, proporciona o envidraçamento de cada uma das janelas de forma independente, visando otimizar a quantidade do ganho solar para uma determinada condição.

Em climas quentes, entretanto, todos os envidraçamentos deveriam ser projetados para não receberem a incidência direta do sol durante todo o ano, permanecendo sombreados e apenas a luz refletida deveria adentrar no edifício, conforme figura 2.23.

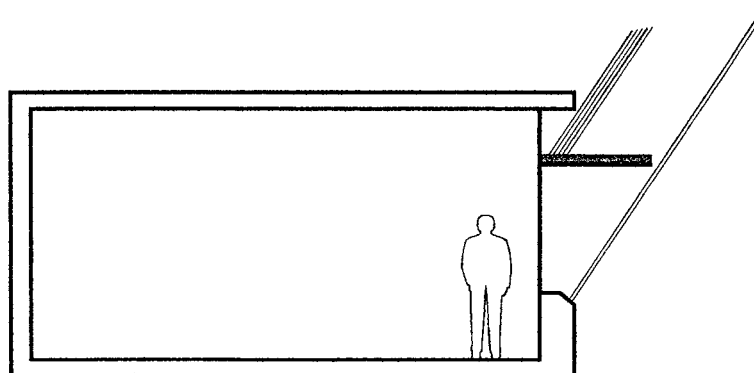


Figura 2. 23 - Parte externa maior da "lightshelf" bloqueia melhor a insolação.

Em climas temperados, existem diversas opções de posicionamento para as vedações com vidro. Geralmente, não ocorrendo nenhuma atenção especial, poderá ocorrer que ambas as janelas podem ficar sombreadas nas estações mais amenas e frias e alguma carga térmica é recebida pela insolação direta nas estações quentes.

Assim, há a necessidade de um controle adicional do brilho da luz, durante o inverno, com a colocação da "lightshelf" na parte interior, conforme a figura 2.24.

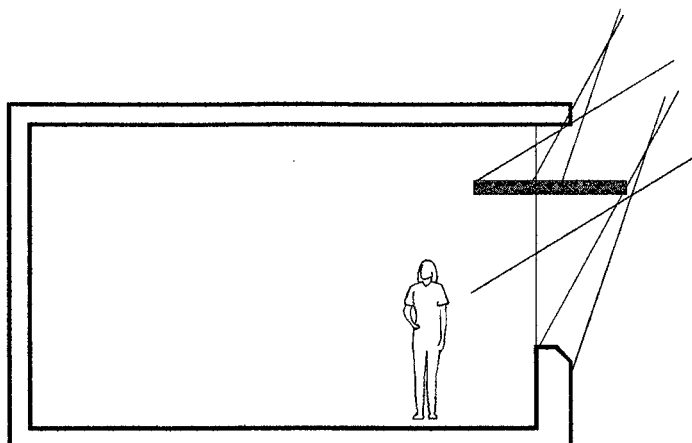


Figura 2. 24 - Parte interna da "lightshelf" maior em climas temperados.

Outra opção é instalar vidros acima da "lightshelf" na sua extremidade, nivelando com o exterior e não ficando sombreada, de forma a haver um ganho de calor pelo ingresso da luz solar o tempo todo, em todas as estações, enquanto a parte inferior da janela fica mais recuada para o interior, deixando o controle a cargo da própria sazonalidade, melhor observado na figura 2.25.

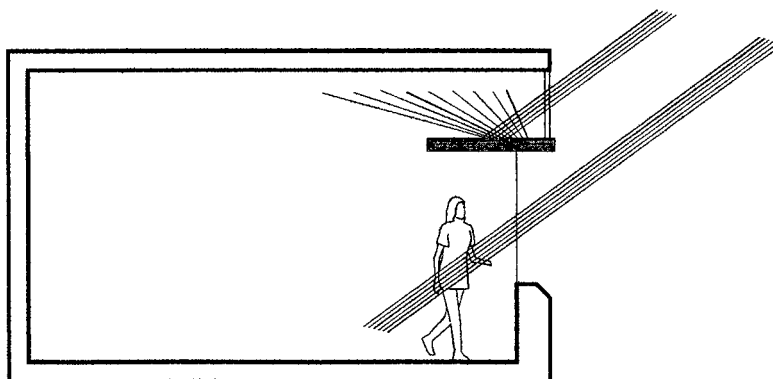


Figura 2. 25 - Vidro na extremidade da parte superior, trazendo ganho térmico.

Estes artifícios são muito importantes para minimizar a quantidade de neve, água, granizo e sujeira acumulados sobre a "lightshelf", facilitando a manutenção da sua superfície refletora de luz.

Em locais gelados, quando os ganhos de calor são imprescindíveis, sendo mínimos os requisitos para amenizar o verão, ambas as partes da janela - inferior e superior - devem estar niveladas com a parte exterior, com a fachada. Desta maneira, a "lightshelf" é completamente interna, com as funções de controle do brilho e distribuição da luz. Esta configuração assemelha-se ao lado sombreado nas edificações de climas temperados, onde as "lightshelves" são mais usadas para a distribuição da luz do que para o sombreamento, conforme figura 2.26.

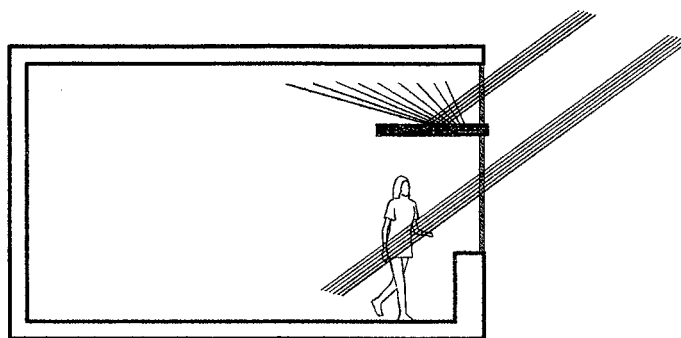


Figura 2. 26 - Vidros na extremidade da "lightshelf" para ganho de calor.

Nestes casos, em que o envidraçamento não é nivelado com o exterior da edificação, durante os meses mais frios, poderá não haver ganho de calor. Para estes casos, um recurso é inclinar a parte superior da janela de acordo com o ângulo mais baixo de incidência solar direta, conduzindo a luz para a janela, com a redução da parcela refletida para o exterior, conforme figura 2.27.

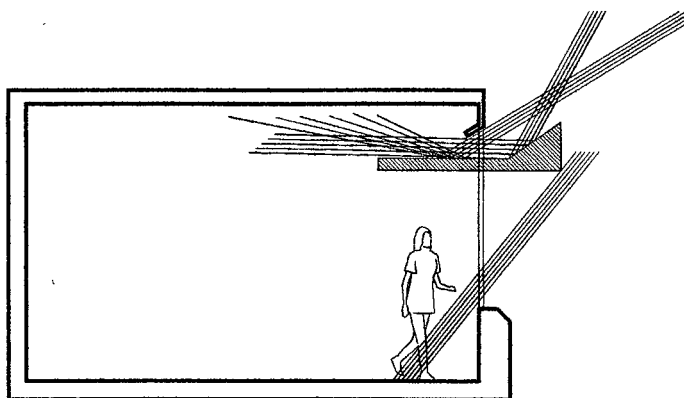


Figura 2. 27 - Parte superior da janela inclinada para maior ganho de calor.

A luz passará, apenas, por uma estreita faixa da janela e o rendimento poderá ser otimizado com a inclinação do teto, inclinação esta que permite passagem de

duto e mecanismos diversos. Nos meses de verão, com o ângulo de incidência mais altos, há a necessidade de incrementar a iluminação, o que pode ser obtido com a parte da "lightshelf" que avança para fora do ambiente sendo revestida de material espelhado.

Como foi mencionado anteriormente, no Brasil, a adoção da "lightshelf" deve ser acompanhada de uma verificação cuidadosa dos aspectos já vistos, como latitude, atividades, clima, orientação da janela, entre outros aspectos. É bom lembrar que existem localidades com clima quente e úmido, enquanto outras com quente e seco, outras com clima tipicamente temperado, outras com frio mais forte. Enfim, inclinação, posição de vidros devem ser decididos somente após analisar o que se pretende e de acordo com a situação local.

2.2.4 Refletância

Enquanto as dimensões de "lightshelves" são determinadas, principalmente, pelos requisitos de sombreamento, e necessidade de aumento da quantidade de luz redirecionada, a refletância da sua superfície varia em função da variabilidade das condições lumínicas durante o ano.

A refletância do exterior da "lightshelf" apresenta maior efeito no total da insolação admitida e é requerida em grau máximo. A partir dos níveis normais de visão, os altos índices de refletância não apresentam nenhum problema.

Pode-se reduzir a variação sazonal da iluminação, através do ano, aplicando superfícies com refletância não-uniforme na parte superior da "lightshelf", aplicando na parte externa uma refletância maior e, na parte interna, um índice menor, mais escuro melhor observado na figura 2.28.

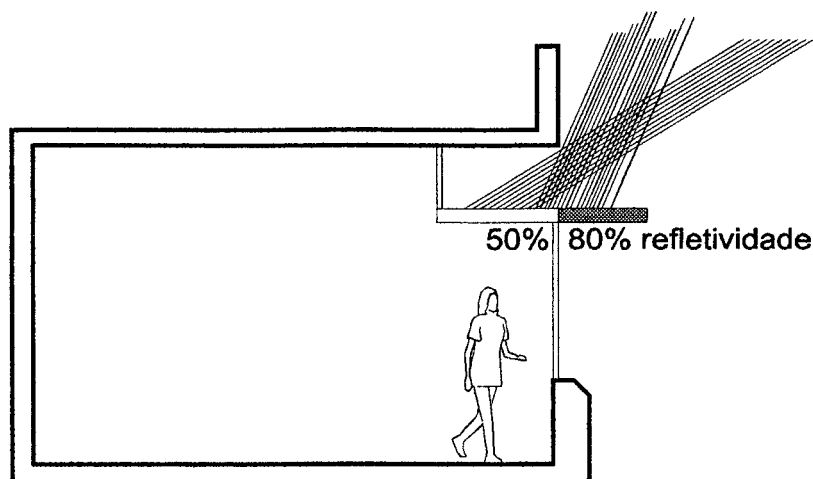


Figura 2. 28 - Diferença de refletância na parte superior da "lightshelf".

Tal artifício proporcionará uma equalização entre a quantidade de luz refletida a partir da pequena área iluminada da parte externa da "lightshelf" – iluminada pela incidência solar do verão, com ângulos mais próximos da vertical - e a iluminação refletida a partir da área maior, mais escura – iluminada pela incidência solar no inverno, com ângulos mais baixos.

Assim, a parte superior da "lightshelf", quando mais escura, proporciona menor quantidade de luz refletida para o interior do ambiente, principalmente nas áreas próximas da janela.

Altos índices de refletância podem ser mantidos com acabamentos de alto brilho, pintura brilhante, metais polidos, que são facilmente limpos, até mesmo pela chuva. Sendo superfícies especulares, é possível um ganho ainda maior quando há uma inclinação para a parte interior, fazendo com que haja um direcionamento para a parte mais profunda do ambiente, mais distante da janela.

Quando forem utilizados refletores inclinados especulares, como por exemplo pintura de alto brilho, revestimento cerâmico vitrificado, alumínio polido ou aço inoxidável polido, os ângulos devem ser estudados de forma que a incidência dos raios solares seja direcionada num ângulo ligeiramente maior que a horizontal em direção ao teto, quando o sol estiver num ângulo baixo, ou seja, o ângulo α de inclinação da "lightshelf", com refletor especular deve ser estabelecido em função do ângulo de incidência solar mais baixo, para obter o ângulo β do fluxo luminoso refletido de forma que seja maior que 0° , conforme figura 2.29.

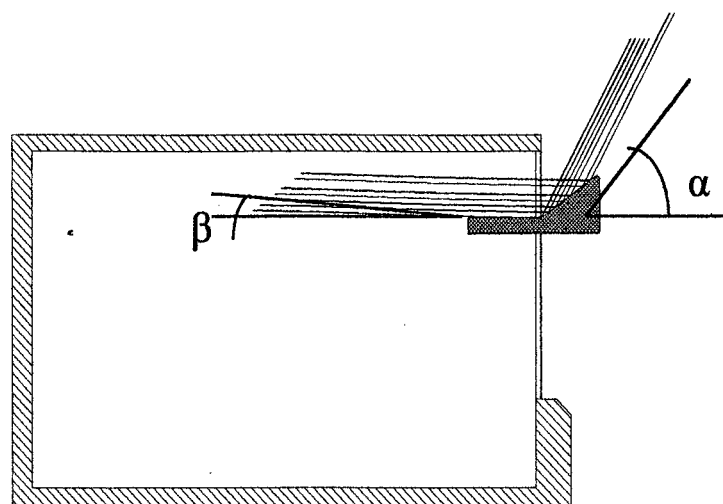


Figura 2. 29 - Esquema com a "lightshelf" inclinada espelhada.

Tal procedimento é crítico para que a insolação não seja direcionada para baixo, causando forte brilho e ofuscamento nos níveis de trabalho.

Uma parcela relativamente pequena do sol de verão, captada pela parte frontal da "lightshelf" pode ser efetiva, se direcionada para a parte mais profunda do ambiente por uma pequena faixa de um espelho acentuadamente inclinado, cuja seção deve ser projetada de tal forma a sombrear boa parcela da luz refletida por outra superfície quando o sol está mais baixo, mas não de forma a prejudicar a iluminação do ambiente.

A respeito dos espelhos, devem ser perfeitamente planos e uniformemente limpos ou sujos, de forma a evitar padrões com distorções no teto. Os espelhos comuns são opticamente bons e fáceis de limpar sem arranhar, mas, também, são os mais frágeis. Podem ser indicados para o interior dos ambientes.

Lâminas metálicas polidas devem ser montadas em planos suficientemente grossos. Como espelhos perfeitos refletem padrões perfeitamente, a opção mais adequada é a utilização de superfícies semi-especulares.

2.2.5 Aspectos construtivos das "lightshelves" ou prateleiras de luz

Não há uma forma ou material ideal de construção das "lightshelves", que podem ser de concreto, chapas metálicas, madeira tratada, plástico e revestidas de

metal polido, pintura brilhante, cerâmica, podendo combinar com o restante do edifício em construção.

A larga escala das "lightshelves" fornece vantagens em relação à construção e à manutenção. Seu tamanho é adequado para ser construída no local ou pré-fabricada, serem fixadas por dois pontos ou serem constituídas por caixas pré-fabricadas e terem outras funções construtivas, além de refletir e redirecionar a luz solar.

Os projetos de sistemas de redirecionamento e controle da luz solar utilizam tanto propriedades de refletividade da luz como de transmissividade de calor pelos materiais de revestimento, inclusive a contribuição de sua geometria.

O desenvolvimento de novos materiais proporciona, assim, oportunidade de serem pesquisados e utilizados sistemas inovadores para a utilização da luz natural.

2.2.6 Conclusões sobre os equipamentos de redirecionamento.

Conclui-se que é possível buscar a otimização e melhor adequação do projeto, revendo conceitos e necessidades humanas e aplicando novos conhecimentos técnicos. Verifica-se, assim, que a insolação traz o calor para o interior do ambiente construído, de acordo com Lam (1986) e Mascaró (1991), mas o uso racional da iluminação, com uso de equipamentos de bloqueio e redirecionamento, pode reduzir o consumo de energia elétrica pelo desligamento da iluminação artificial e redução do calor gerado, que implica na redução do condicionamento mecânico do ar, melhor descrito por Souza (1995).

Há a necessidade de sombreamento das áreas próximas da janela e um redirecionamento do fluxo luminoso para as áreas mais distantes da janela, segundo Lam (1986) e Pereira (1993).

Sob o aspecto de conforto visual, segundo Tregenza (1993) e Pereira (1993), há a necessidade da visão do ambiente externo, harmonia das atividades diárias com o transcorrer da manhã, tarde e anoitecer, além de ser benéfico para o sistema ocular a variação da luminosidade, que promove ajustamento natural dos olhos.

Num país das dimensões do Brasil, com grande variação de latitude, climas, hábitos e culturas, atividades, requisitos visuais e térmicos entre outros aspectos, há

a necessidade de um equipamento de redirecionamento que tenha a possibilidade de ser ajustável em sua inclinação de acordo com a trajetória solar, automaticamente ou não.

A "lightshelf" mostrou-se o elemento que reuniu as diversas vantagens mencionadas, havendo alguns aspectos negativos, no entanto, que devem ser lembrados como a necessidade de manutenção permanente visando a continuidade das propriedades ópticas da superfície refletora, bem como o escoamento da água das chuvas.

2.3 Análise das metodologias e ferramentas.

Como o objetivo é estudar o melhor aproveitamento da iluminação natural através de elementos de controle, há a necessidade de utilizar uma metodologia que considere a complexidade das inter-reflexões, múltiplas interações das superfícies e respostas quantitativas, com relativa rapidez na resposta ao se alterar as variáveis.

Existem diversas metodologias para estudar a iluminação natural, mas nem todas atendem ao que este estudo requer. Assim, são descritas, abaixo, as características de algumas das metodologias mais conhecidas, como por exemplo:

- Método de verificação experimental em modelo em escala reduzida, usando maquetes dos modelos, que considera muito bem a complexidade das múltiplas reflexões; os efeitos podem ser mensurados com sensores instalados para posterior comparação, mas as condições de iluminação devem ser muito bem controladas ou a condição de céu ideal deve ser, às vezes, aguardada com muita paciência. É conveniente usar sensores externos também, para relacionar níveis internos e externos e relacioná-los.
- Os métodos gráficos consideram a geometria da iluminação, determinam a parcela de visibilidade da abóbada celeste, ângulos de obstrução, mas deixam a desejar em condições mais complexas, como as interferências de umas superfícies nas outras.
- Os métodos analíticos ou matemáticos convencionais, tratando de dados importantes como ângulo de incidência, horário, parcela de céu visível, etc. tornam-se inviáveis ao se tratar da inter-reflexão das superfícies, como a parcela do entorno, múltiplas reflexões entre paredes, piso e teto com métodos

convencionais com calculadora. Nesses casos, de sistemas mais complexos, torna-se imprescindível o uso do computador.

- Os métodos de simulação matemática em computador consideram, praticamente, todas as condicionantes. Até alguns anos, os aplicativos necessários necessitavam de equipamentos sofisticados e com grande capacidade, muito onerosos, o que atualmente tem ficado, relativamente, mais fácil com o barateamento de equipamentos e desenvolvimento de outros aplicativos.

Desta forma, foram adotadas as metodologias de verificação experimental em modelo reduzido e simulação matemática em computador, por melhor adequação aos objetivos do trabalho.

2.3.1 Método de verificação experimental em modelo reduzido

O uso de modelos reduzidos seduz a imaginação do projetista, que pode testar soluções, ver os resultados, sendo ainda intuitivo, mas também concreto e mensurável.

O estudo da iluminação em modelo reduzido tem uma grande vantagem por ser desnecessário ajustar a escala dos resultados.

De acordo com Lam (1986), tal vantagem é acrescentada ao fato da variação dos ângulos de incidência da luz poder ser conseguida facilmente pela movimentação do modelo. Desta forma, é possível simular a alteração da trajetória solar ou ângulo de incidência quando há mudança de estação no ano, por exemplo.

O modelo deve ser construído com cuidado e precisão, adotando rigor na escala das medidas e uso dos materiais, para que, necessariamente, os resultados dos níveis medidos e efeitos da luz sejam os mesmos que o edifício real, de acordo com o mesmo autor, que informa ser muito importante alguns cuidados com a elaboração do modelo como:

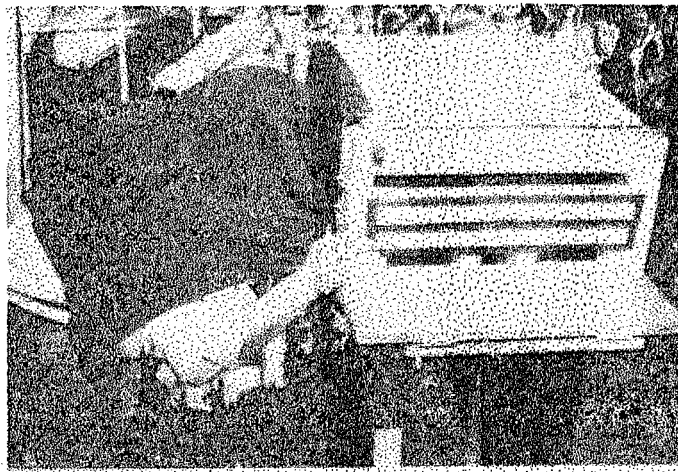
- acabamentos das superfícies com a máxima fidelidade com a realidade, inclusive no caso de acabamentos especulares ou espelhados;
- materiais usados não devem ter vazamentos de luz nas junções, emendas e dobras. Alguns materiais usados em maquetes, como alguns papéis, cartões devem ser pintados para não serem translúcidos;

- as aberturas envidraçadas devem receber material transparente na mesma proporção que o tamanho real. Plástico transparente, normalmente, apresenta equivalentes transmitância e refletividade.
- a escala do modelo deve ser adequada para manuseio, controlar as aberturas e lâminas móveis, substituição de peças e eventuais reparos e permitir uso de medidas (réguas, trenas, escalímetros) e equipamento fotográfico;
- deve ser providenciado acesso para medidas e locais adequados para inserir a objetiva da câmera fotográfica, cujo orifício deve ser a prova de luz, para não interferir nas medições e comprometer o trabalho;
- o modelo deve ser construído robusto o suficiente para ser movido, transportado, receber vento e, eventualmente, até chuva ou umidade.

Quando o modelo estiver pronto, tanto quanto possível, deve-se aproximar, observar cuidadosamente e tentar "entrar" nele, para uma avaliação qualitativa do modelo e do espaço interior, vazamentos, para "sentí-lo". Pode-se verificar áreas de sombras, gradientes indesejáveis, áreas de brilho e, nessa etapa de avaliação, é possível corrigir o modelo para, então, iniciar as medições quantitativas.

O observador atua com cuidado, como já mencionado, para verificar vazamento de luz, qualidade da iluminação interior e outros aspectos. Os cuidados com o vazamento de luz no modelo são cruciais para esses aspectos, interferindo na qualidade da iluminação, nas medições com instrumentos e na obtenção de imagens fotográficas. A inserção da objetiva, como já citado, deve receber cuidados para que o orifício não ofereça vazamento, o que pode ser obtido com uma capa de tecido preto e um orifício para a passagem da objetiva com elástico. Tais cuidados podem ser observados na figura 2.30.

Fotografias são muito importantes e deve-se usar objetiva com pequena distância focal, com grande ângulo de abertura e grande profundidade de campo. Sugere-se distância focal de 20mm, embora esse dado dependa da escala do modelo e do seu tamanho, ângulo e local de inserção da objetiva.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 30 - Observação do interior do modelo reduzido.

Para avaliação quantitativa de iluminação, deve-se incluir os sensores nos locais a serem monitorados e um medidor do lado externo, para comparação entre os valores incidentes e os níveis medidos nos pontos de interesse.

Outros estudos com modelo reduzido, como o proposto por SOUZA e VALLADARES (1995), também indicam vantagens em utilizar esta metodologia, não só para estudar o comportamento da iluminação natural no interior dos espaços, como também o efeito psicológico, ao mostrar aos usuários finais, proprietários, investidores da obra.

Mostrou-se a possibilidade de análise da iluminação natural de um ambiente como um processo fácil e acessível a ser utilizado por alunos e profissionais, aplicando um método experimental em modelo reduzido, considerando aspectos qualitativos e quantitativos.

Neste caso, os ensaios foram realizados ao ar livre, sendo acoplado um relógio de sol, simulando as variações diária e sazonal da disponibilidade da luz natural no modelo proposto, com dois luxímetros, um instalado internamente e outro externamente, de forma a medir simultaneamente os dois níveis de iluminação.

O aspecto da qualidade da iluminação e a adequação da distribuição da luz, associadas à percepção psicológica, também foram analisados, com o auxílio da técnica de registro fotográfico, por saber-se que um bom projeto de iluminação natural usualmente traz conforto e prazer visual aos usuários.

Desta maneira, percebe-se que o processo de análise dos possíveis efeitos da interação insolação/iluminação numa representação bidimensional representa uma série de dificuldades, uma vez que a luz apresenta um comportamento tridimensional e dinâmico, sendo ainda que o uso de modelos reduzidos permite a visualização clara da eficácia do projeto e de dispositivos propostos.

O uso do modelo reduzido é, assim, muito útil para permitir maior interação entre projetista e usuário ou proprietário, de forma a antever problemas, possíveis soluções e validar as mudanças necessárias, a partir do convencimento através da avaliação qualitativa do ambiente e quantitativa dos níveis medidos.

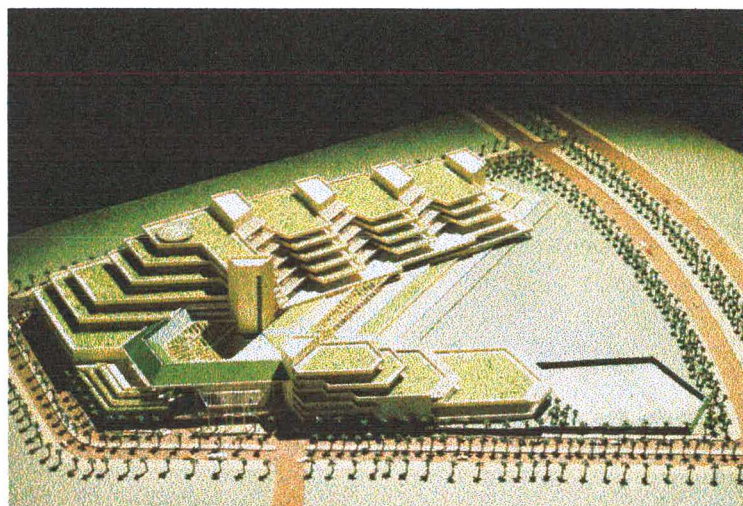
Há certos inconvenientes devido ao tempo gasto para elaboração da mudança, necessidade de habilidades manuais e instrumentais para a correta modelagem, recursos técnicos e monitoramento das condições de iluminação e do céu.

A seguir, são mostrados alguns estudos com modelos reduzidos, mencionados por Lam (1986), que permitiram atuar de forma a corrigir problemas projetuais iniciais, interagir com cliente, mudar alguns aspectos dos projetos e executar a obra, sendo que houve, posteriormente, excelente avaliação pós-ocupação.

2.3.2 Estudos de iluminação natural com modelos reduzidos

Um dos estudos, no qual foi utilizada a análise da iluminação natural através da metodologia com modelos em escala reduzida, foi o Government Service Insurance Systems Headquartes - GSIS, edifício governamental em Manila, Filipinas, cujo modelo completo em escala reduzida pode ser visto na figura 2.31.

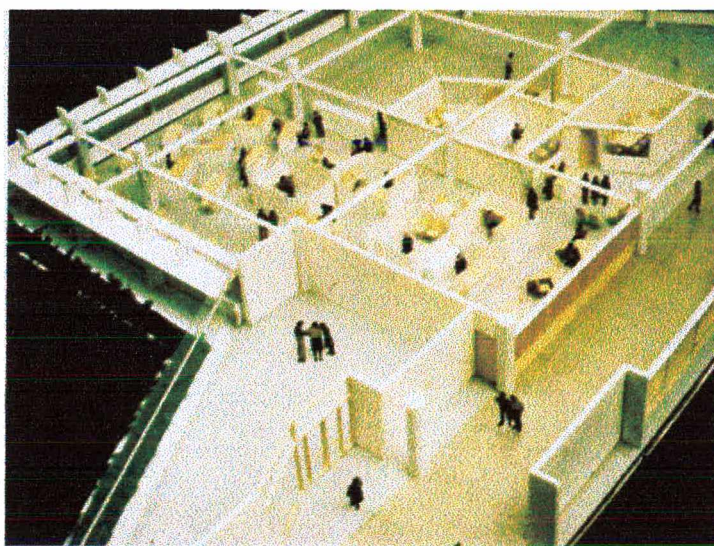
De acordo com o projeto e pelas características locais, a "lightshelf" seria uma opção interessante a ser testada, devido à orientação solar e dados climáticos, de acordo com Lam (1986).



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 31 - Aspecto do modelo completo do conjunto de edificações.

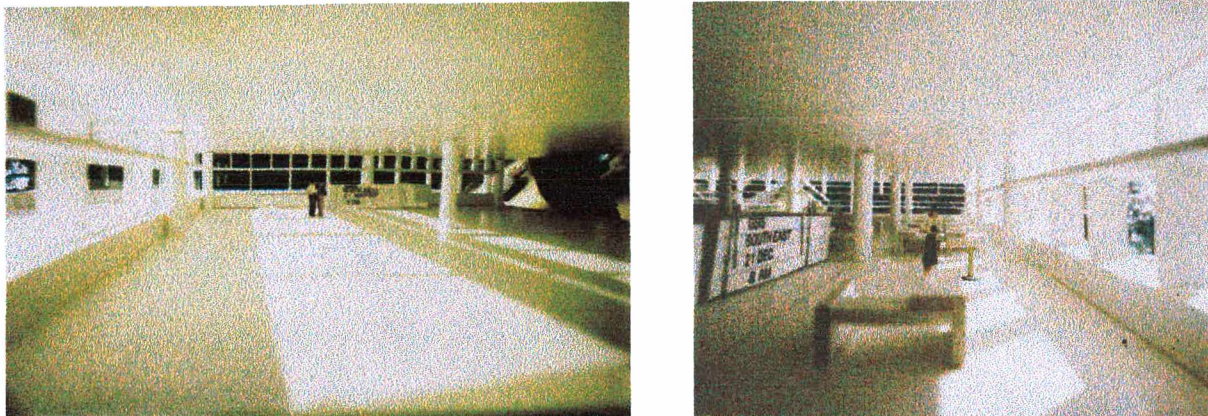
O modelo em escala, como já mencionado anteriormente, deve considerar, tanto quanto possível, todos os detalhes da obra acabada, o que também foi muito observado no estudo deste caso, conforme pode ser verificado na figura 2.32.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 32 - Modelo de uma unidade, observando-se detalhes internos.

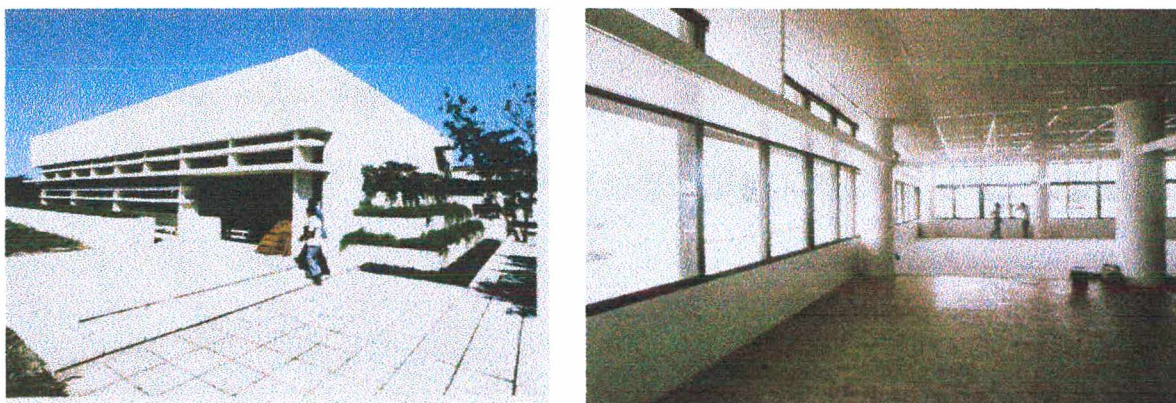
Foram providenciados modelos em escala reduzida com diferentes opções do elemento de controle adotado, como lightshelf com partes externa/interna e apenas parte externa, sendo observados seus efeitos em termos de qualidade da iluminação natural do interior do ambiente, como mostrado nas imagens da figura 2.33.



Fonte: Lam (1986)

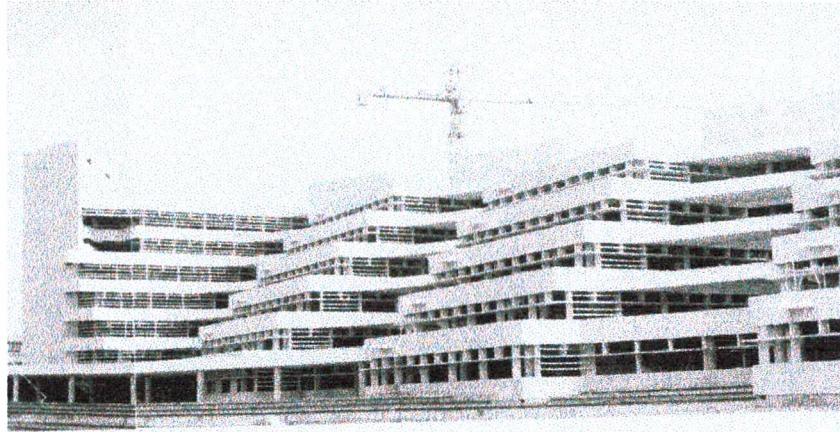
Figura 2. 33 - Aspectos da iluminação no interior do modelo em escala.

Após análise de algumas opções, foi construído um modelo em escala real de uma das unidades - mock-up - para avaliação quantitativa dos níveis de iluminação, o que permitiu que os projetistas, os empreendedores e usuários avaliassem conjuntamente, fossem convencidos das mudanças do projeto inicial e para que a solução fosse adotada na construção real, com grande número de repetições. As etapas mencionadas podem ser observadas nas figuras 2.34 e 2.35.



Fonte: Lam (1986)

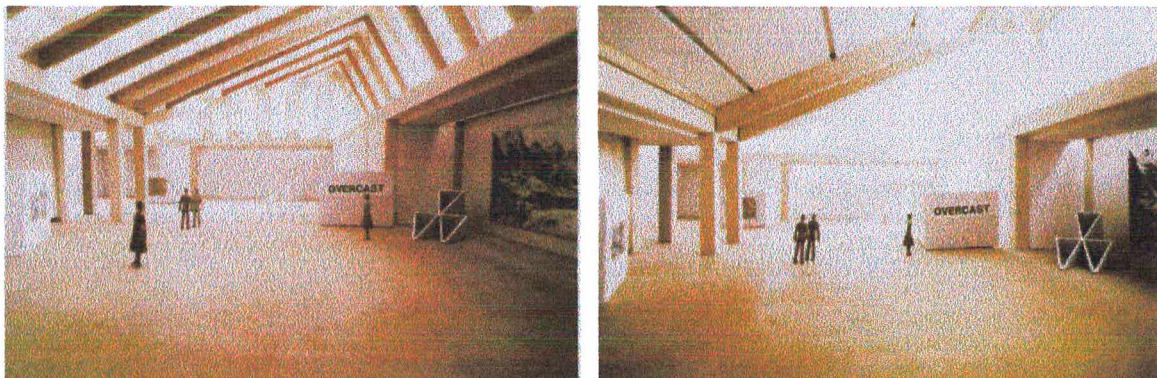
Figura 2. 34 - Visão externa (à esquerda) e interna (à direita) do mock-up.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 35 - Imagem da obra sendo executada.

Outros estudos utilizando modelos reduzidos, como o Museu Nacional da Civilização, de Quebec, Canadá mostraram os efeitos visuais devido ao tipo de forro na cobertura, o que poderia causar uma espécie de "ruído" na iluminação, como interferências indesejáveis, o que foi solucionado ao estudar outra opção de revestimento, uniformizando o aspecto visual, observando os efeitos nas imagens da figura 2.36.



Fonte: Lam (1986)

Figura 2. 36 - Iluminação no modelo reduzido do Museu de Quebec.

2.3.3 Modelo computacional

Até pouco tempo atrás, os modelos analíticos necessitavam de grandes investimentos e equipamentos e muito tempo de processamento de dados, o que, muitas vezes, poderia inviabilizar a modelagem com tal metodologia.

Alguns trabalhos mencionavam que uma das vantagens do uso de modelos reduzidos ou maquetes é poder avaliar sistemas de geometria e comportamento radiante complexos, que na ocasião exigiriam modelos computacionais complexos associados a grande capacidade computacional, como Roncálio (1995), nas suas conclusões de um estudo do comportamento da iluminação natural zenital, utilizando também modelos reduzidos.

Atualmente alguns aplicativos ou softwares atendem requisitos sofisticados e houve, também, enorme evolução tecnológica dos equipamentos com grande capacidade e menores custos.

Os modelos computacionais são capazes de resolver, através de cálculos complexos, as diversas interações entre superfícies, situações climáticas, atributos dos materiais e, pela sua rapidez e atual disponibilidade, os aplicativos podem considerar os diversos dados de forma independente ou conjuntamente.

Existem diversos aplicativos disponíveis, com métodos numéricos levando em consideração a iluminação local e a iluminação global, sendo os mais conhecidos o Radiance, Genlux, Lumen-Micro, Solaris e o Lightscape, entre outros, citados por Ashdown (1996), descrevendo que diversos programas modelam a luz como iluminação local. Isto significa que a luz emitida pela fonte de luz é usada para calcular a iluminação de, apenas, um único objeto, individualmente. Eles, objetivamente, ignoram a realidade física: que objetos interagem com a luz.

No seu artigo sobre o assunto, é citado o exemplo de um quarto quase vazio, com uma simples mesa sobre o piso e uma lâmpada de 100 W montada no teto diretamente sobre ela. A luz emitida ilumina diretamente o teto e paredes, o tampo

da mesa e a maior parte do piso. No entanto, a luz não ilumina diretamente o piso sob a mesa.

Observando o piso, verifica-se que ele está sombreado mas não completamente escuro. As razões são que todas as superfícies iluminadas do ambiente refletem uma parcela da luz que recebem da lâmpada, enquanto o restante é absorvido. Certa quantidade de luz refletida iluminará indiretamente o piso sob a mesa. A modelagem com iluminação local não leva em conta esta iluminação indireta e, assim, é fisicamente incorreta.

A luz não viaja apenas a partir de sua fonte até a superfície dos objetos, e a partir daí para o olho do observador ou câmara. Ao contrário, a luz é refletida, refratada, difusa, polarizada, difratada e absorvida durante a travessia pelo ambiente. Objetos físicos interagem com a luz e a grande parte será eventualmente absorvida pelos objetos no ambiente. O que é visto quando se observa um objeto em particular é uma estreita fração da luz que invadiu o ambiente e ocorreu de entrar nos olhos do observador ou câmara. Mais do que uma fonte de apenas um ponto, a luz tem vindo do ambiente como um todo.

Esta é uma diferença fundamental entre os dois grupos de aplicativos, ou seja, os que consideram apenas a luz a partir da fonte, modelagem computacional da luz conhecida como **iluminação local** e aqueles onde objetos e superfícies interagem com a luz, modelagem computacional da luz conhecida como **iluminação global**.

Para o presente estudo, mantendo os mesmos critérios visando os objetivos, buscou-se aplicativos que permitissem a modelagem da luz como iluminação global.

Analisamos os softwares de simulação da iluminação disponíveis na UFSC - LUMEN MICRO e Lightscape - optando pelo último, da Lightscape Visualization System, versão 3.0, devido à possibilidade de tratamento de superfícies inclinadas, transparentes e possibilidade de inclusão, no estágio de preparação, de novas superfícies, novos materiais e seus atributos e por permitir a utilização da luz natural, permitindo alteração da condição de céu, hora, dia, mês e orientação solar, localização geográfica com coordenadas da latitude e longitude, importar modelos com mais detalhes e permitir mais flexibilidade nas alterações. Atualmente, o Lightscape® está na versão 3.2 e foi adquirido pela AUTODESK.

O aplicativo inicia com a importação de entidades básicas em 3D nos formatos DXF e 3DS, como superfícies, blocos e luminárias, de acordo com o Guia do Usuário do Lightscape®.

As superfícies são triângulos ou quadriláteros convexos e estão associados com materiais e seus atributos (cor, refletância, rugosidade, aparência de luminosidade, opacidade).

Os blocos são superfícies ou grupo de superfícies tratadas como uma entidade única, com nome específico e ponto de inserção.

As luminárias são blocos especiais, que contêm uma curva fotométrica associada.

Tanto os atributos dos materiais das superfícies como as curvas fotométricas podem ser editadas.

Atua em dois estágios: arquivo em estágio de preparação e arquivo em estágio de solução.

Durante o estágio de preparação, é possível alterações de posição em superfícies, inserção de novos objetos, posicionamento de luminárias, orientação do fecho de luz, tamanho das luminárias ou outros atributos e o arquivo tem a extensão **.lp** (Lightscape Preparation).

Para a passagem do estágio de preparação para solução, são definidos parâmetros do processamento do modelo, sendo nesta etapa a opção pela inclusão ou não da luz natural.

Há um quadro de diálogo em que são informadas as condições corretas para caracterização da condição de luz natural - coordenadas geográficas, horário e data, orientação Norte, condição de nebulosidade do céu, cor da luz natural e outros dados.

No estágio de solução, não há possível alteração na posição das entidades geométricas nem em posicionamento ou orientação do fecho de luz, apenas em propriedades de materiais e grandezas das luminárias já inseridas no arquivo, que tem a extensão **.ls** (Lightscape Solution).

O processo é, resumidamente, segundo as seguintes etapas:

- Importar geometria - através do quadro de diálogo mostrado na figura 2.37, é indicado o arquivo a ter sua geometria importada, podendo ser um objeto, modelo em 3D de uma edificação ou, ainda, acrescentar uma entidade geométrica simples ou complexa a um modelo já importado anteriormente.

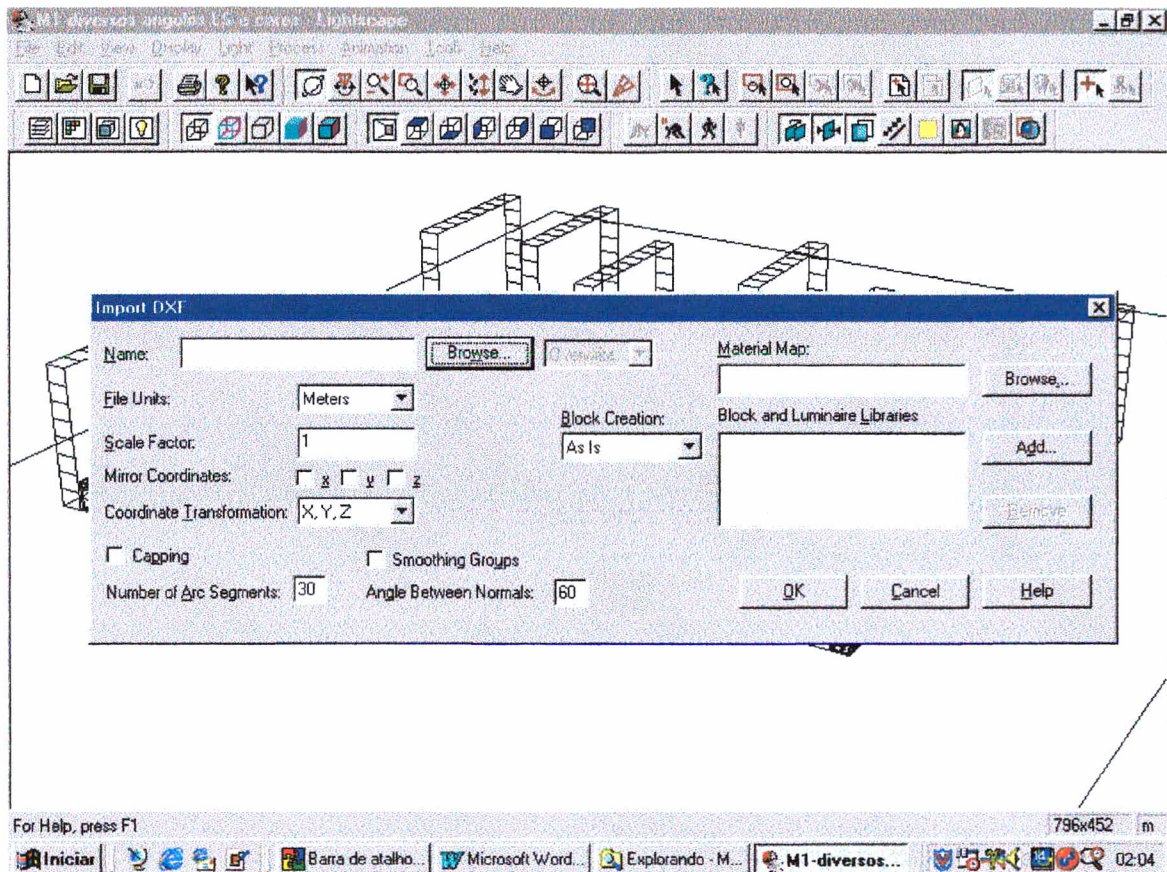


Figura 2. 37 - Quadro de importação de entidades geométricas.

- Etapa de preparação - nesta etapa são atribuídas as características dos materiais e podem ser criados novos itens, para serem posteriormente aplicados nas diversas superfícies, utilizando diversos quadros de diálogo que são responsáveis pelas definições abaixo listadas, sendo que alguns são mostrados na figura 2.38:
 - criar materiais e definir seus atributos (cor, refletância, transparência, rugosidade, luminância aparente);

- preparar superfícies, atribuindo características a elas como aplicar materiais, indicar quais superfícies serão aberturas ou janelas, indicação da face da superfície a ser considerada, podendo ser apenas uma delas ou ambas;
- definir e importar luminárias, definindo suas características como curva de distribuição, potência, cor da luz, intensidade do fluxo luminoso, ângulo de fecho, observando que, na figura 2.38, o quadro de luminárias está vazio uma vez que foi utilizada apenas a iluminação natural;
- ajustar geometrias, podendo arrastar superfícies ou objetos e, no caso das luminárias, mudar sua orientação girando-a, alterar seu tamanho, mudar o ponto de alvo inicial do foco de luz.

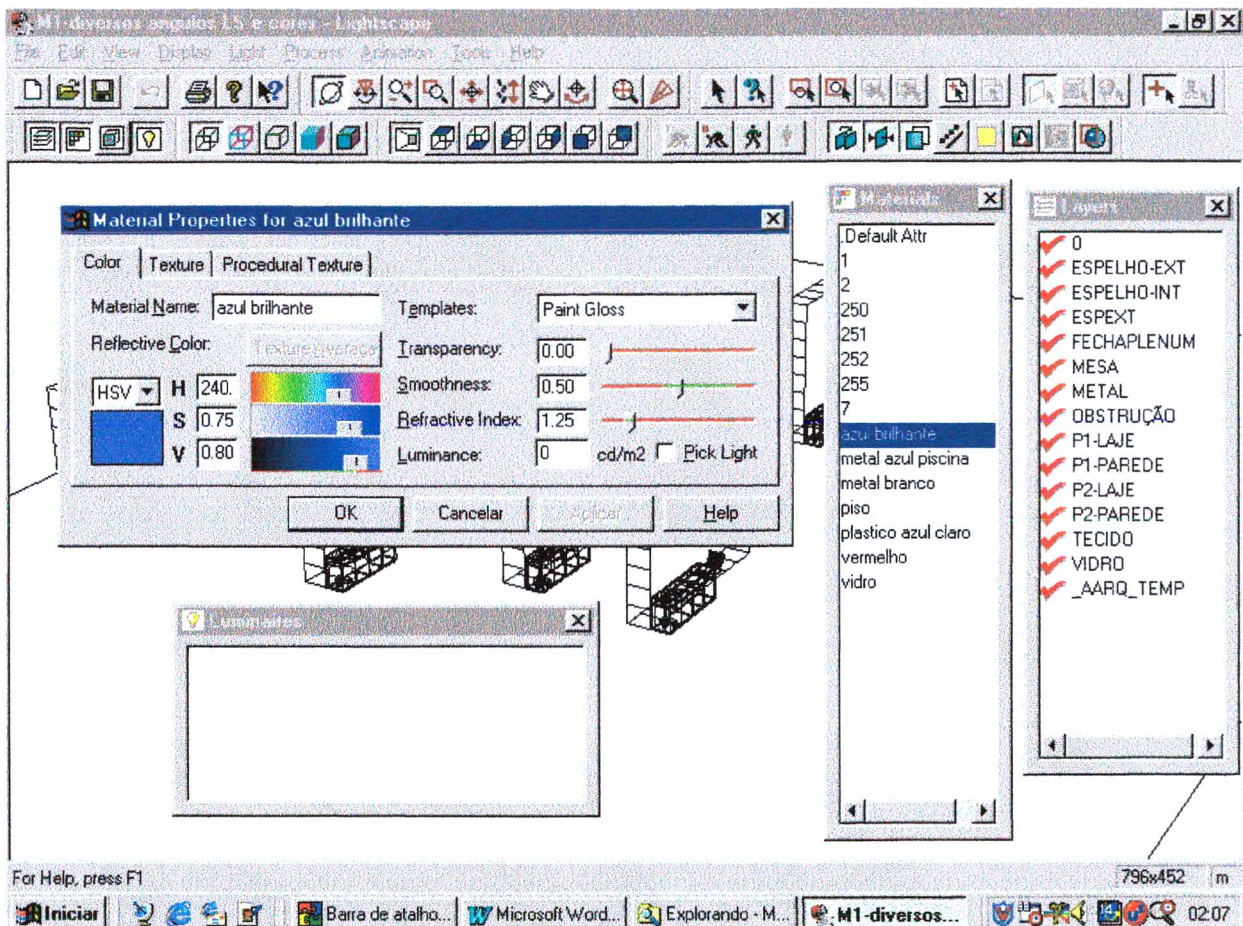


Figura 2.38 - Quadros de diálogo de preparação de materiais.

- Quadro de definição dos parâmetros do processamento, mostrado na figura 2.39, indicando o rigor ou nível de precisão da distribuição da iluminação, graduação de contraste, dimensões máximas e mínimas das divisões das superfícies

dividindo as superfícies em mais ou menos parcelas, definir se será considerada a luz natural ou não;

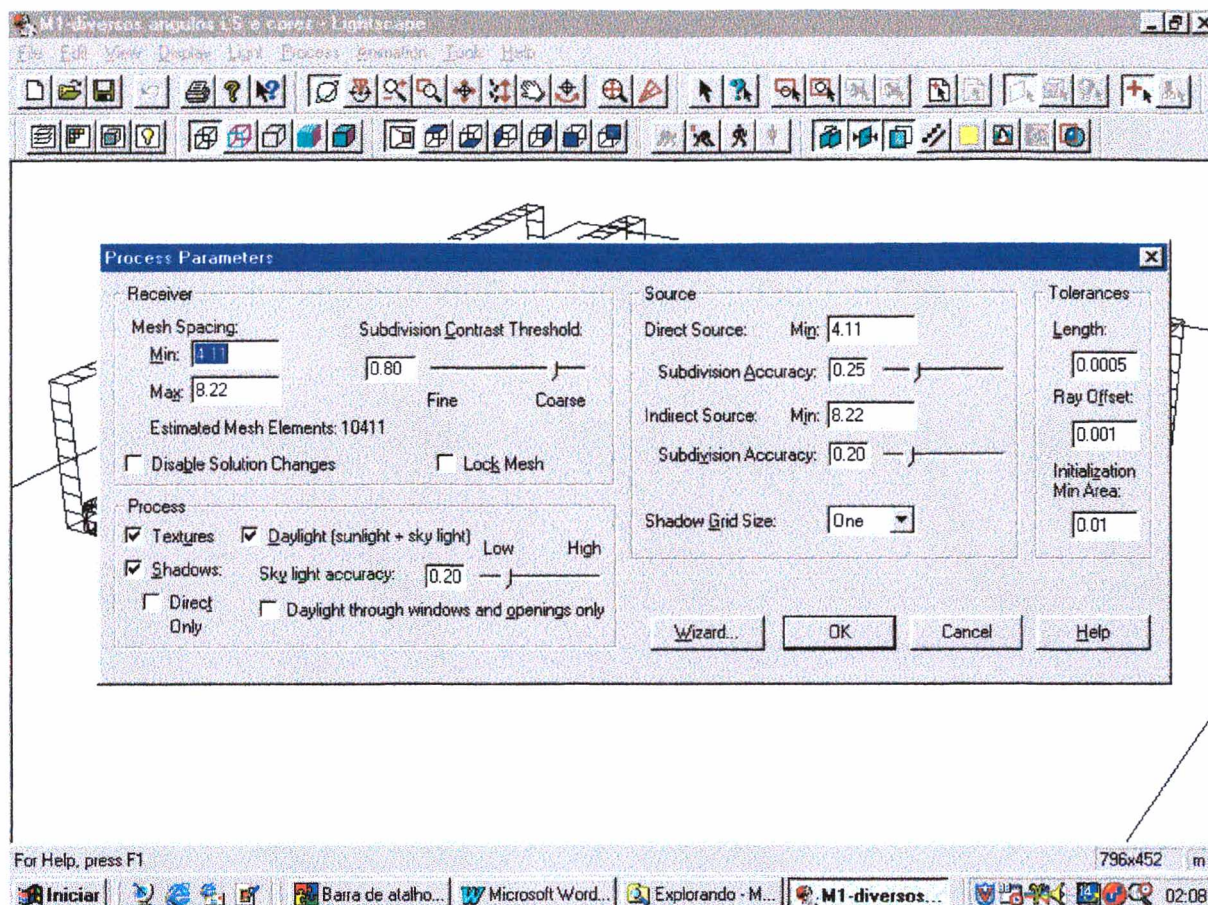


Figura 2.39 - Definição dos parâmetros para processamento.

- definições das características da iluminação natural - utilizando o quadro mostrado na figura 2.40, definindo cor da luz natural, condição de céu, coordenadas geográficas - latitude e longitude, hora dia e mês.

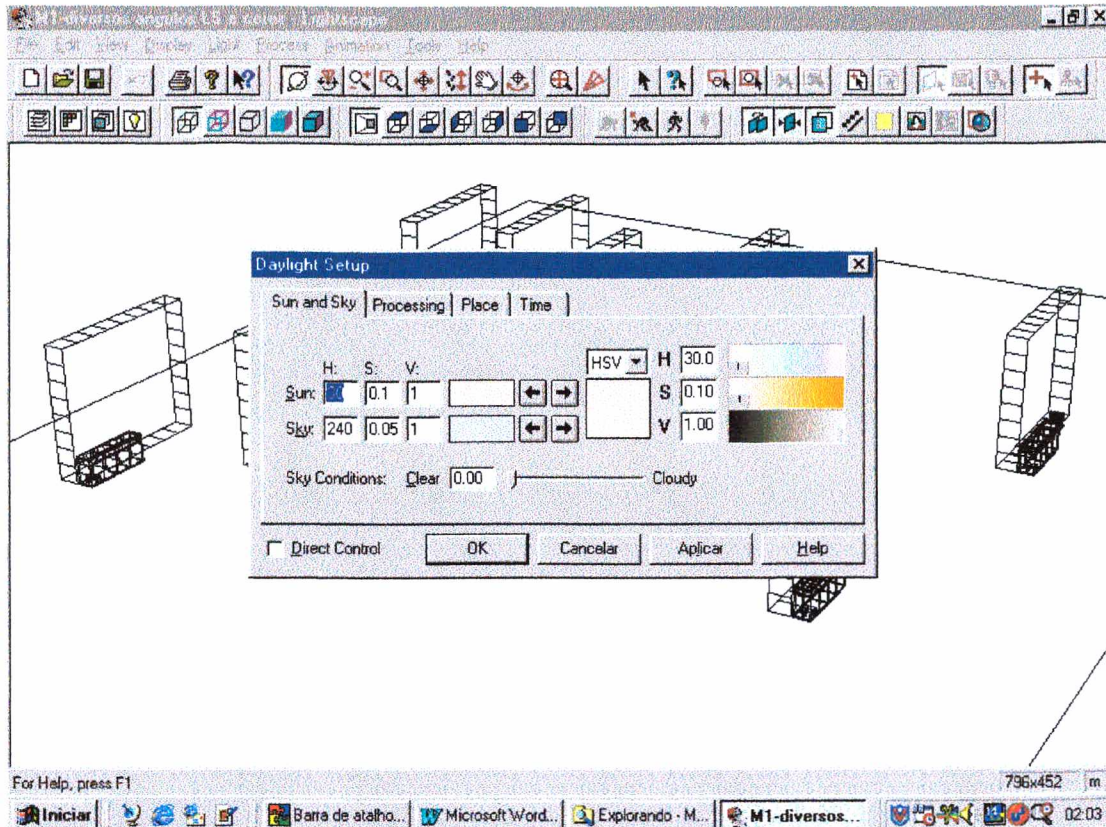


Figura 2.40 - Quadro de diálogo para iluminação natural.

- Estágio de solução com processamento da solução da radiosidade: com as definições acima, o arquivo de preparação é transformado num arquivo de solução, quando serão processadas as milhares de interações da luz, a partir da fonte definida, com as superfícies. No estágio de solução, diversos atributos ainda podem ser alterados, como características dos materiais e das luminárias, bem como condição da luz natural, com reprocessamento matemático, com a passagem da energia entre os objetos e superfícies após a emissão a partir da fonte indicada, de acordo com sua potência e ângulo de incidência;
- Após o processamento matemático, os resultados podem ser:
 - geração de imagens simples, renderizadas ou em modelo de arame ou "wireframe"

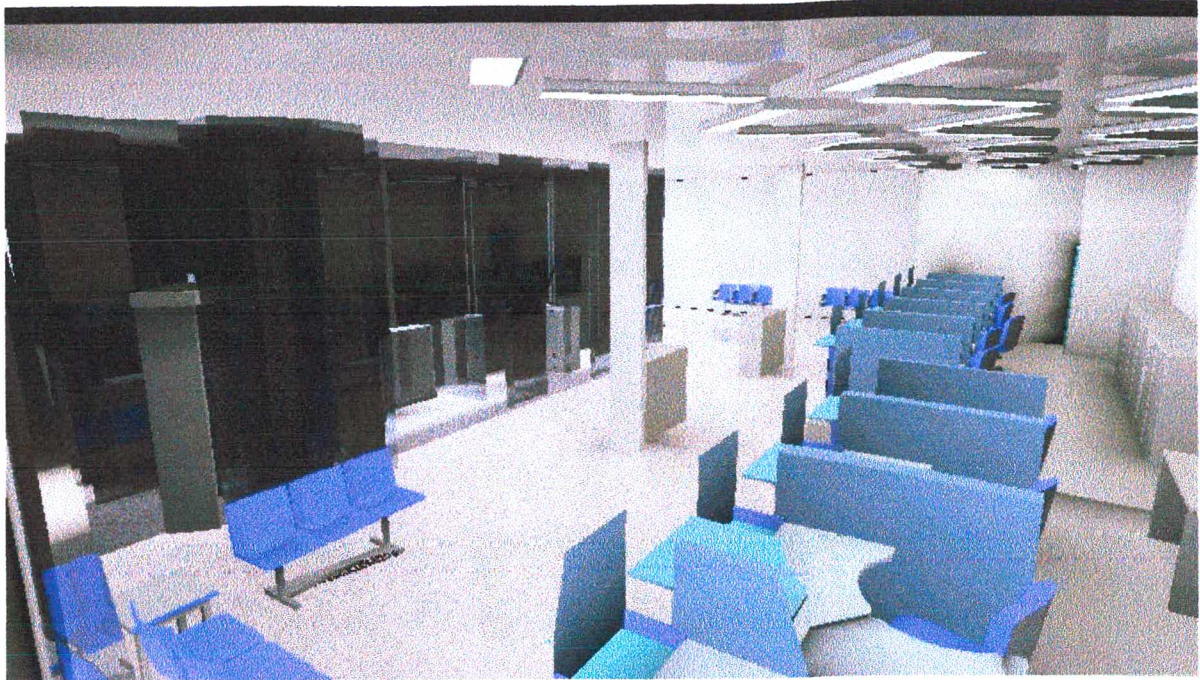
- animação da estrutura e realidade virtual, com geração de imagens seqüenciais para inserção em aplicativo específico para simulação do movimento;
- realidade virtual, em tempo real, "caminhando" com auxílio do mouse pelo modelo;
- análise da iluminação, indicando níveis de iluminação em qualquer ponto que se queira, em malha com dados numéricos, gradiente colorido ou preto e branco.

O resultado, obtido após o processamento do arquivo tipo "Is" é um modelo tridimensional com informações em cada superfície em relação ao nível de iluminamento que chega até a mesma. Pode-se obter a leitura em lux de qualquer um dos pontos de quaisquer uma das superfícies, inclusive com graduação em tons de cinza, tons coloridos e indicação em lux com alteração da densidade de malha de pontos e número de casas decimais, resultado da interação entre todas as superfícies iluminadas. Pode-se mostrar, em qualquer superfície, grade dos valores em cada ponto, com distanciamento entre pontos a ser ajustado.

Pode-se também mostrar o resultado com imagem renderizada, com grande fotorealismo, conforme mencionado no trabalho de Graziano e Pereira (1999).

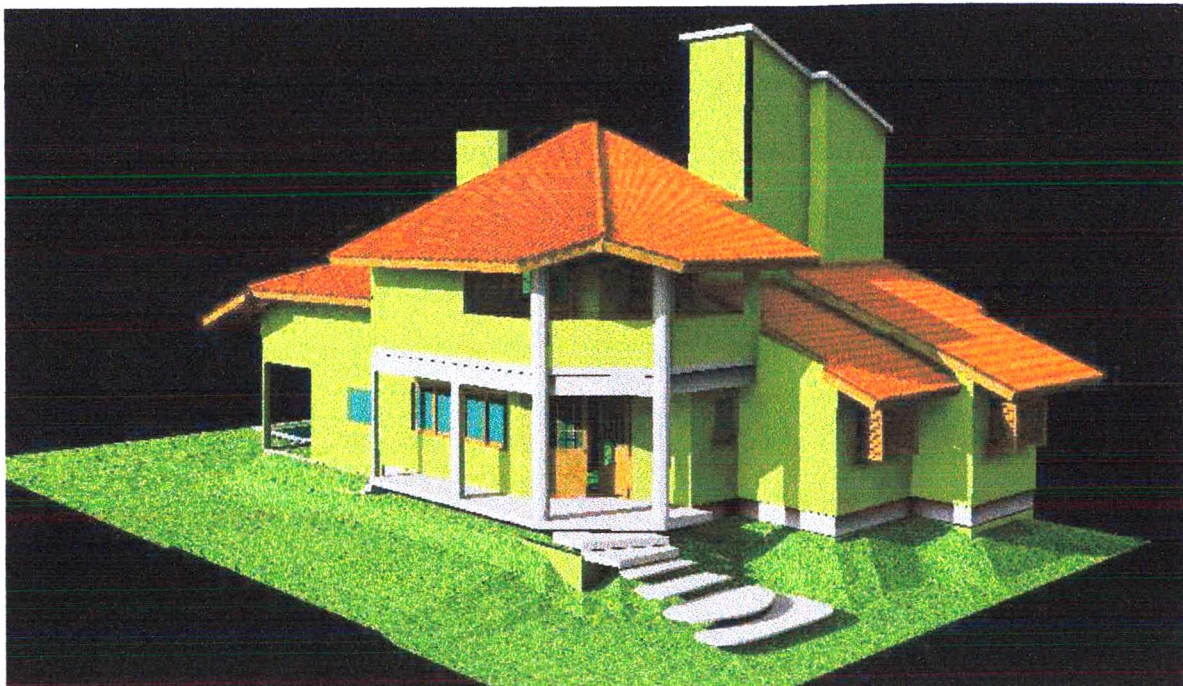
Embora o aplicativo apresente grande resolução no cálculo da radiosidade ou inter-reflexão entre as diversas superfícies do ambiente, há limitações por não considerar a reflexão especular no cálculo dessas reflexões.

As imagens das figuras 2.41, 2.42, 2.43, 2.44 e 2.45 ilustram um pouco do que o aplicativo pode mostrar.



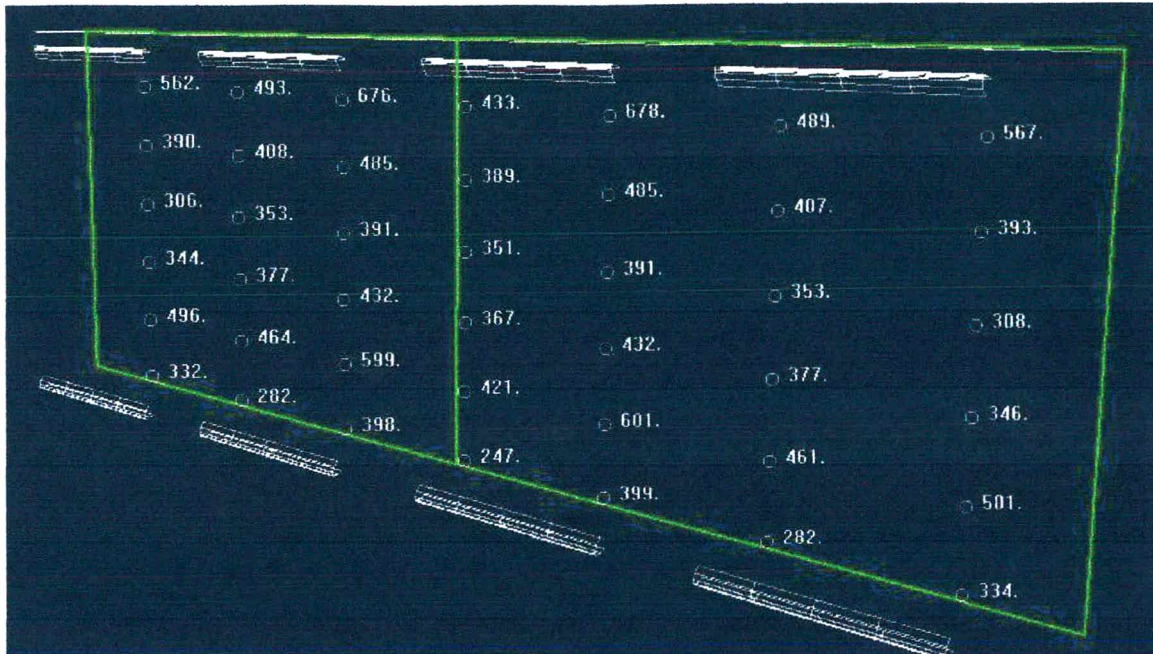
Fonte: Graziano e Pereira (1999)

Figura 2.41 - Simulação do interior de um banco - luz natural e artificial.



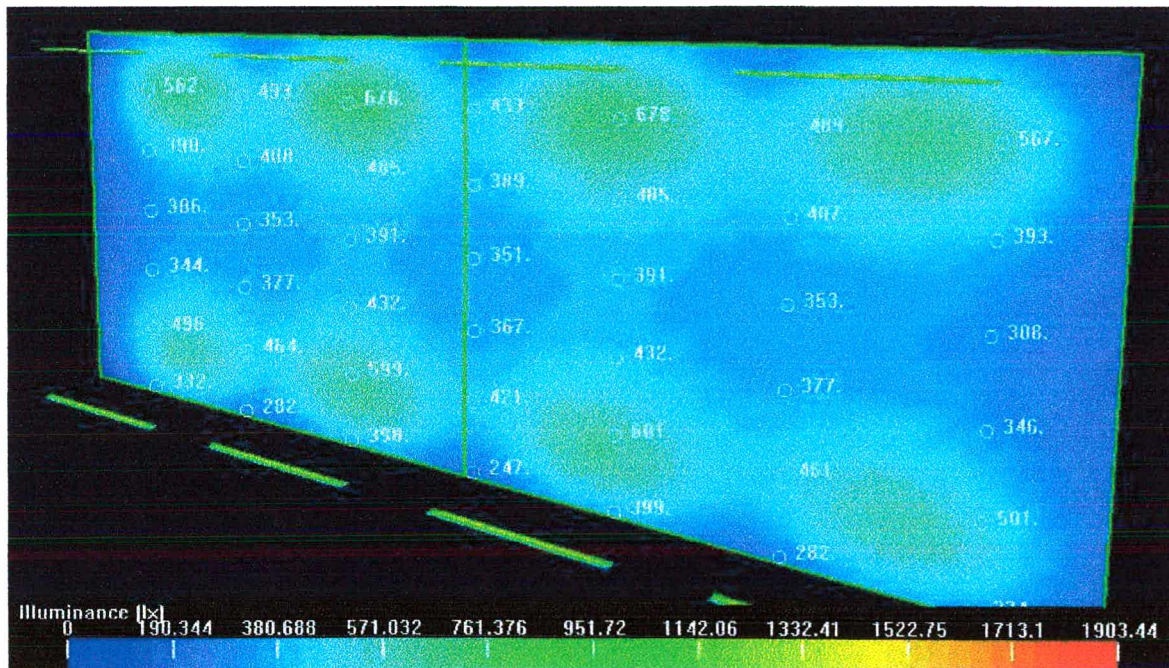
Fonte: Graziano e Pereira (1999)

Figura 2.42 - Estudo da insolação em residência.



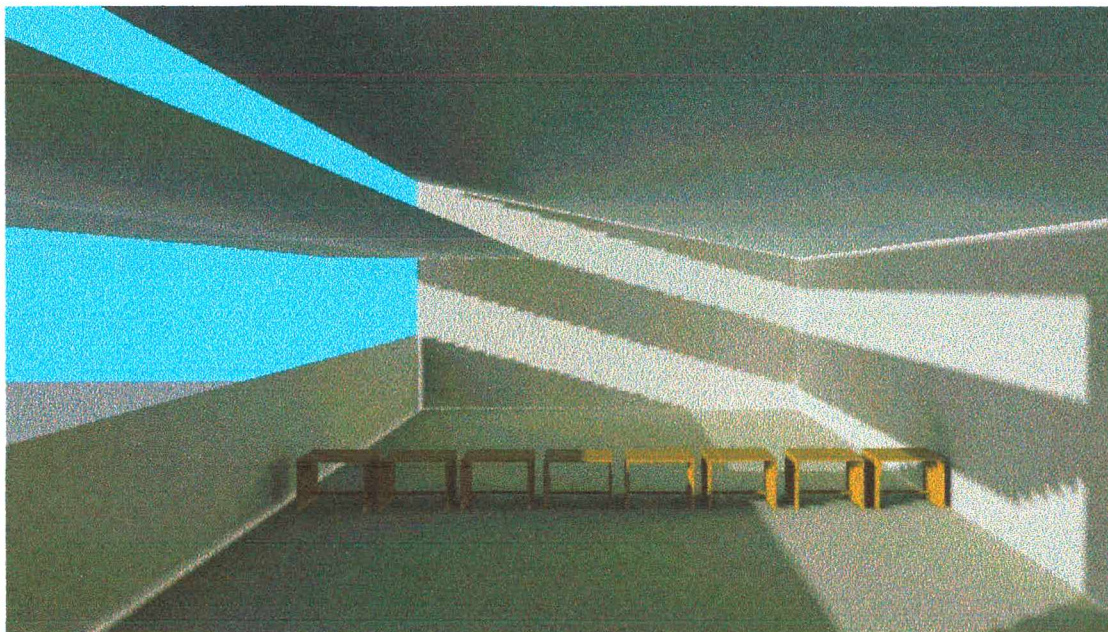
Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2.43 - Níveis de iluminação nas superfícies.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2.44 - Gradiente de iluminação nas superfícies.



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 2.45 - Estudo da insolação em sala de aula.

O algoritmo atua com a radiosidade, calculando o total da energia a partir da fonte ou das fontes luminosas, no caso de iluminação artificial ou conjuntamente com a natural, divide as superfícies em partes, como uma colcha de retalhos, calcula a energia que cada parte recebe e, conforme os atributos, calcula a energia refletida de forma difusa às demais superfícies, interagindo-as em processamentos e novos cálculos consecutivos ou interações sucessivas, até a absorção da energia luminosa pelos materiais do ambiente.

Dependendo do nível de precisão que é solicitado, do tamanho de cada parcela ou retalho ou "mesh", o número de interações pode chegar na ordem de milhares de vezes, até que a energia luminosa seja totalmente distribuída e, conseqüentemente, considerada nos cálculos.

O Lightscape também considera, apenas para fins visuais ou de renderização, o efeito da especularidade dos materiais das superfícies ou espelhamento, com excelente fotorealismo, mas sem considerar tais fenômenos nos cálculos de distribuição da luz.

Também desperta grande interesse pela área de projeto, uma vez que permite a antevisão dos resultados, aspectos visuais dos ambientes internos e externos, com iluminação natural, artificial ou ambas. Tais possibilidades permitem que os diversos envolvidos - arquitetos, engenheiros, técnicos, proprietários e usuários finais e outros profissionais envolvidos - possam antever resultados e alterar diversos aspectos, ainda na fase de projeto, como mostrado por Graziano e Pereira (1999).

Atualmente, adquirido pela AUTODESK, o software faz parte do rol de aplicativos oferecidos por aquela empresa e seus distribuidores, sendo comercializado na versão 3.2.

CAP 3 SIMULAÇÕES

As simulações foram separadas em 2 etapas, que serão descritas neste capítulo do trabalho, sendo que os resultados serão analisados no capítulo seguinte.

A primeira simulação ocorreu com a utilização do modelo em escala reduzida e a segunda, com as simulações matemáticas computacionais, que foram sendo alterados devido ao processo de aprendizado com o aplicativo, relativamente novo e sem usuários experientes para poder ocorrer troca de informações.

3.1 Verificação experimental - utilização do modelo reduzido.

Utilizou-se, inicialmente, um modelo em escala reduzida de um edifício térreo com uma única janela, dotada de "lightshelf" com uma parte fixa e outra parte móvel, sendo esta última plana ou de seção curva.

O modelo em escala reduzida foi construído com 40cm m de altura, abertura única a 30 cm do piso, com apenas 10 cm de largura, representando apenas uma seção delgada da edificação, com as paredes inferiores pintadas de preto fosco internamente para verificar, tão somente, a componente vertical da iluminação, sem reflexão nas laterais, com uma "lightshelf" com parte interna e externa, sendo:

- Parte interna de superfície transparente, como um plenum para distribuir a luz da parte superior;
- Parte externa com ângulo de inclinação variável, com eixo de rotação no peitoril da janela, conforme figura 3.1.

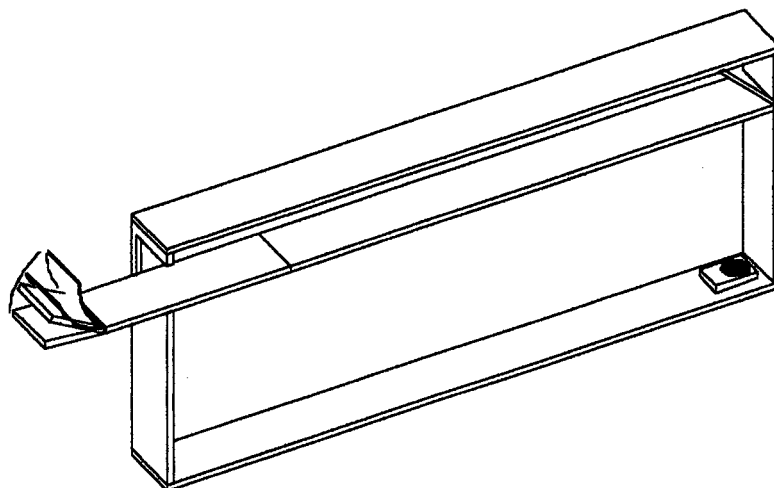


Figura 3.1 - Perspectiva do modelo reduzido, aberto.

As paredes abaixo da janela e da "lightsheif" foram pintadas de preto fosco e a parte superior das paredes e teto, na cor branca. O objetivo foi verificar a contribuição da iluminação natural direcionada pela "lightsheif" diretamente, sem a reflexão lateral das paredes.

O modelo foi construído em madeira compensada e o fechamento da tampa lateral recebeu uma faixa de feltro, para eliminar possíveis vazamentos de luz, que foi confirmado no início das medições do trabalho e, a cada substituição do material interno, era verificado o total escurecimento do interior do modelo.

As partes externa e interna da "lightsheif" foram sendo substituídas, sendo experimentados materiais diferentes como:

- superfície branca plana;
- superfície branca e recurvada com seção parabólica e hiperbólica;
- superfície metálica polida plana;
- superfície metálica polida recurvada com seção parabólica e hiperbólica.

Todas as superfícies tiveram variação de inclinação durante o experimento. A cada 15 graus de variação, eram registrados os níveis de iluminação.

Para isso, no interior do modelo, foi instalado o sensor de um luxímetro MINIPA, no ponto mais distante da janela e, à medida que a inclinação sofria variação, foram

sendo registradas as leituras no aparelho, a cada variação da inclinação de 15 graus.

As medidas dos níveis de iluminamento do experimento foram tomadas:

- na cidade de Florianópolis, SC, ou seja, latitude Sul de 27° 30' e longitude Oeste de 48°;
- Com luz natural, num dia com céu encoberto, das 10:00h às 10:20h e das 12:00 h às 12:30 h, apresentando muita variação dos níveis indicados pelo luxímetro, verificada instantaneamente;
- Com luz artificial, através de uma luminária instalada de forma que proporcionasse iluminação externa do modelo, como um "sol artificial", sendo uma fonte luminosa com níveis constantes, embora com fluxo luminoso bem menor.

Quando o modelo foi disposto a céu aberto, procurou-se simular algumas situações variadas de orientação da abertura, bem como posicionamento em relação à obstrução. Juntamente com a iluminação artificial, foram ensaiadas 7 situações diferentes:

- Situação 1: Fonte de luz artificial iluminando o modelo reduzido, refletor apontado para a fachada onde estava situada a janela, simulando posicionamento da abertura favorável à orientação solar;
- Situação 2: Fonte de luz artificial iluminando o modelo reduzido, refletor apontado para a fachada oposta daquela onde estava situada a janela, simulando posicionamento da abertura desfavorável à orientação solar;
- Situação 3: Luz natural, céu encoberto, às 10h, janela orientada a oeste e obstrução a leste, simulando uma situação de orientação da janela desfavorável ao sol da manhã;
- Situação 4: Luz natural, céu encoberto, às 10:20h, janela orientada a leste e obstrução também a leste, simulando uma situação de orientação da janela favorável ao sol pela manhã, mas com insolação obstruída em boa parte da manhã;
- Situação 5: Luz natural, céu encoberto, às 12:20 h, janela orientada para o sul e sem nenhuma obstrução, simulando orientação da janela desfavorável à insolação em parte significativa do dia, para a localização onde estava sendo elaborado o ensaio;

- Situação 6: Luz natural, céu encoberto, às 12:30h, com abertura voltada para o sul, sem obstrução. Foi utilizado revestimento de 50% do plenum e a parte do teto com alumínio polido, tendo uma superfície inclinada a 45° , visando direcionar o fluxo espelhado para baixo, com o mesmo material espelhado, cujo esquema pode ser observado na figura 3.2;
- Situação 7: Luz natural, céu encoberto, às 12:40h, com revestimento de 50% do plenum e a parte do teto com superfície branca, tendo uma superfície inclinada a 45° , visando direcionar o fluxo espelhado para baixo, com o mesmo material branco, difusor, cujo esquema é melhor observado na figura 3.2;

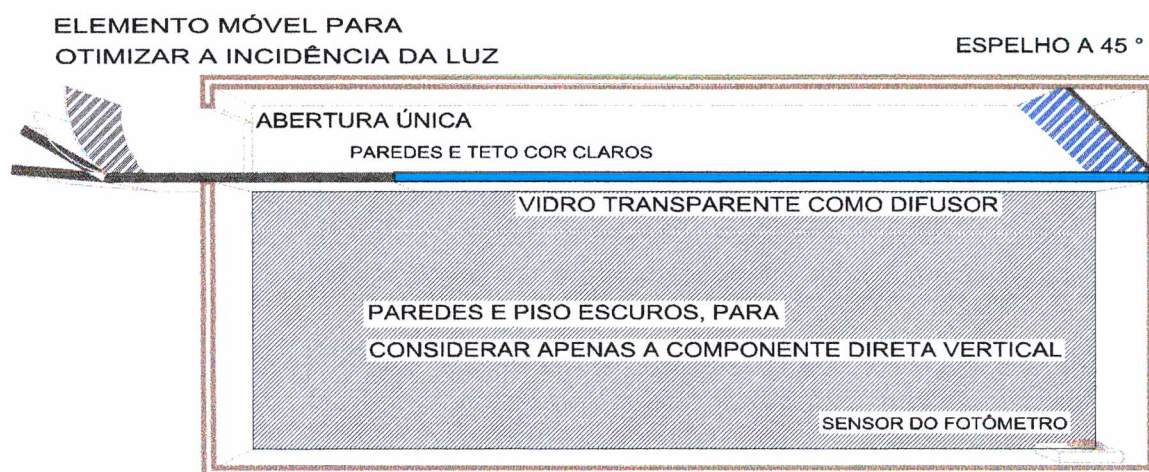


Figura 3. 2 - Corte em perspectiva do modelo em escala reduzida.

Em ambos os casos, os resultados foram encorajadores, com os níveis variando sensivelmente quando a luminosidade era constante e apenas havia variação dos ângulos.

No entanto, devido à dificuldade de serem mudadas as características do modelo, pelas variações freqüentes das condições de céu, limitações de tempo, necessidade de elaborações de tipos diferentes de obstrução, alturas, foi decidido simular com modelo virtual.

3.2 Simulação computacional - utilização do modelo virtual

Os estudos foram retomados com modelo virtual, que permitiu experimentar diversas condicionantes em prazo bem mais curto e comparar os resultados.

Os primeiros modelos foram sendo desenvolvidos de forma a simular as condições de uma edificação com entorno construído, estudando a interferência dos edifícios vizinhos como, por exemplo, suas diferentes alturas e obstrução solar em diferentes horários, variação na inclinação da "lightshelf", variação no tamanho da abertura, entre outros fatores.

Um dos problemas percebidos foi um efeito semelhante a um "vazamento de luz", e que pode ter ocorrido devido ao algoritmo de cálculo, que divide as superfícies para o processamento das inter-reflexões e, devido a arredondamentos de cálculo, não consideram a vedação eficiente entre superfícies justapostas. O resultado é como se houvessem frestas nos cantos das paredes, piso e teto.

Visando garantir que não houvesse passagem de luz pelas emendas ou encontro de superfícies, decidiu-se criar um envoltório no modelo, como uma casca de paredes duplas em toda a volta.

Também foi verificado que a presença do vidro nas aberturas faz com elas funcionem como fontes de luz extensas, ou seja, a luz incide na superfície indicada como uma janela, a energia recebida por ela é, então, calculada e redistribuída como se fosse uma fonte de luz difusa, o que não ocorre na realidade. Para evitar tal ocorrência, a abertura foi desprovida de vidro.

Assim, o modelo final estudado e considerado para efeito das conclusões do presente trabalho é o resultado de um processo de vários experimentos anteriores, nos quais os erros foram sendo estudados e corrigidos e tem as seguintes características:

- edifício com 7m de largura, 3.0 m de altura e 20 m de profundidade, adequado a uma edificação térrea em lote urbano com 10m de largura com 1.5 de afastamento dos limites laterais;

- situado em Florianópolis, ou seja, latitude Sul de 27° 30' e longitude Oeste de 48°;
- abertura frontal, composta, apenas, de janela superior, peitoril a 2.10 com altura de 0.80m, com a largura de 7.0 m, orientada para Leste;
- edificações frontal e lateral, como obstrução à insolação direta no início da manhã, afastadas frontalmente 7.0 m, a Leste, e lateralmente 4.50 m, ao Norte, representada por planos justapostos com 30m de altura, equivalentes a 10 andares, encostados de forma que evitassem a incidência solar, semelhantes às obstruções causadas por edifícios em áreas de edificações mais antigas;
- piso externo com refletância de 30%;
- camada envolvente dupla, além das superfícies do modelo, ficando três "cascas", afastada 0.30 m cada uma em todo o volume, exceto na fachada frontal, onde localiza-se a abertura, evitando o "vazamento de luz";
- escolha dos revestimentos de acordo com refletâncias de materiais comuns nas edificações, ou seja, branco com refletância de 70% para as paredes internas, branco com refletância de 85% para a "lightshelf", cinza com refletância de 30% para o exterior, correspondente a um cinza escuro, correlacionado com a tabela Munsell a tons de cores que usualmente são aplicados em edifícios ou resultado de revestimentos mal conservados, como pintura, pedras, texturas com cores diversas;
- simulação na data de 21 de junho, às 10h, 12h, 14h e 16h;

O modelo virtual pode ser observado na figura 3.3

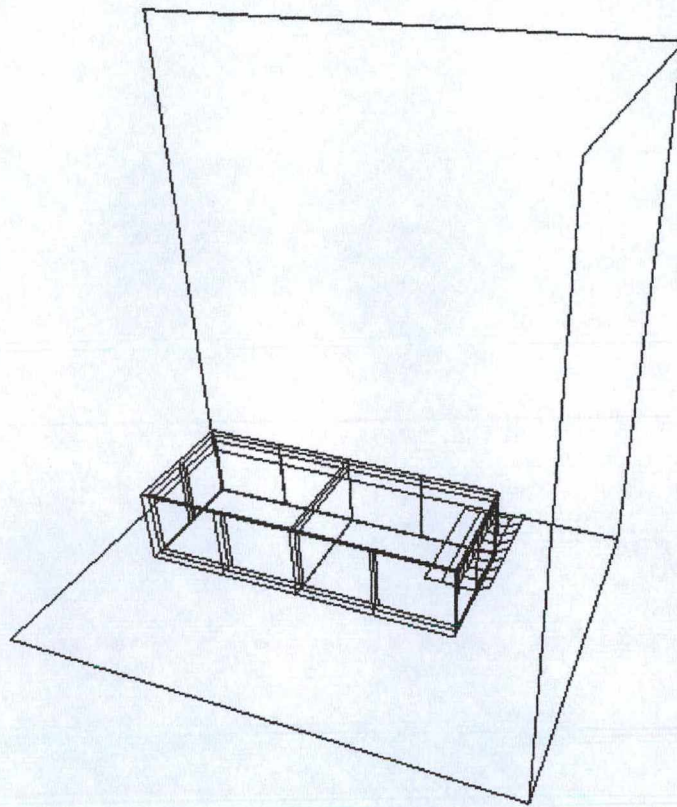


Figura 3.3 - Perspectiva do modelo em "wireframe" ou modelo de arame.

Foi escolhido apenas o conjunto de elementos redirecionadores de seção plana para simular o desempenho nos horários de 10h, 12h, 14h, e 16h, variando a inclinação do elemento a partir do eixo longitudinal da seção com 0° , 15° e 45° , comparando com o desempenho do "lightshelf" plana nivelada e abertura livre de qualquer elemento.

Todas as simulações com obstrução, nos diferentes horários e inclinações, foram realizadas com a mesma obstrução da insolação no modelo, obstruído na frente, Leste, e na lateral, Norte, impedindo insolação na fachada da abertura na grande parte do dia.

Além das simulações citadas, foi verificado que havia um sombreamento de boa parte da "lightshelf" às 16h, devido ao ângulo de incidência da luz solar, que é mais baixo. A partir dessa observação, decidiu-se aumentar o tamanho da parte inclinada da "lightshelf" a 45° , que passou a receber maior contribuição por ter

aumentado a área de captação, com os dados indicando, também, que o modelo é sensível às dimensões da área exposta à luz.

Em relação aos dados para análise dos resultados foram obtidos em três locais do ambiente: numa linha imaginária no piso, próxima à parede da fachada Sul, linha do centro do ambiente e na linha próxima à parede situada na fachada Norte, tirando-se a média aritmética das três medidas para inserção nos gráficos para melhor análise e comparação dos resultados.

A figura 3.4 mostra o modelo após o processamento da iluminação.

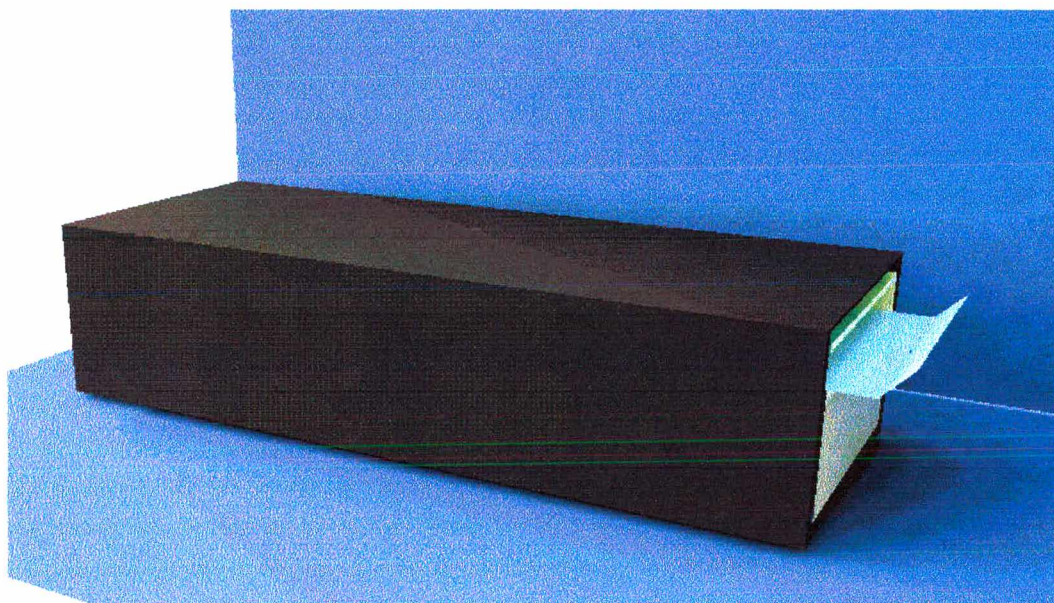


Figura 3.4 - Perspectiva do modelo após processamento da iluminação.

Os resultados das simulações, tanto do modelo em escala reduzida como no modelo de simulação auxiliado por computador ou modelo virtual são encorajadores e estão descritos no capítulo seguinte.

CAP 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As diversas simulações trouxeram, a cada registro de um grupo de resultados, novas informações a serem analisadas.

As análises dos resultados das simulações estão descritas de acordo com as conclusões a cada modelo estudado.

Os valores obtidos nas simulações constam das tabelas com os demais dados nos Anexos.

4.1 Análise dos resultados do modelo em escala reduzida.

Embora rudimentar, o modelo reduzido mostrou-se bastante sensível à variação do ângulo de inclinação da parte externa, em relação à horizontal, apresentando medições significativamente diferentes.

Entretanto, a limitação do tempo e construção de diversos tipos de obstrução, dimensões, condição de céu, localização e orientação solar limitaram os estudos.

Verificou-se também que a variação da luminosidade recebida da abóbada é muito grande e sua contribuição é muito significativa.

Na Situação 1, simulando posicionamento da abertura favorável à orientação solar, foi utilizada uma luminária como fonte de luz artificial iluminando o modelo reduzido, refletor apontado para a fachada onde estava situada a janela, sendo que os dados das leituras estão no gráfico da figura 4.1.

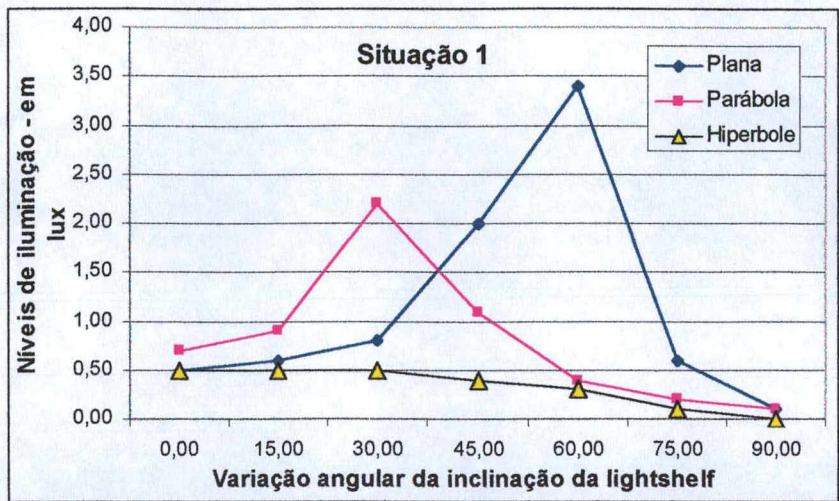


Figura 4.1 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 1.

Na Situação 2, também com uma luminária como fonte de luz artificial iluminando o modelo reduzido, refletor apontado para a fachada oposta daquela onde estava situada a janela, simulando posicionamento da abertura desfavorável à orientação solar, cujas leituras do luxímetro estão no gráfico da figura 4.2.

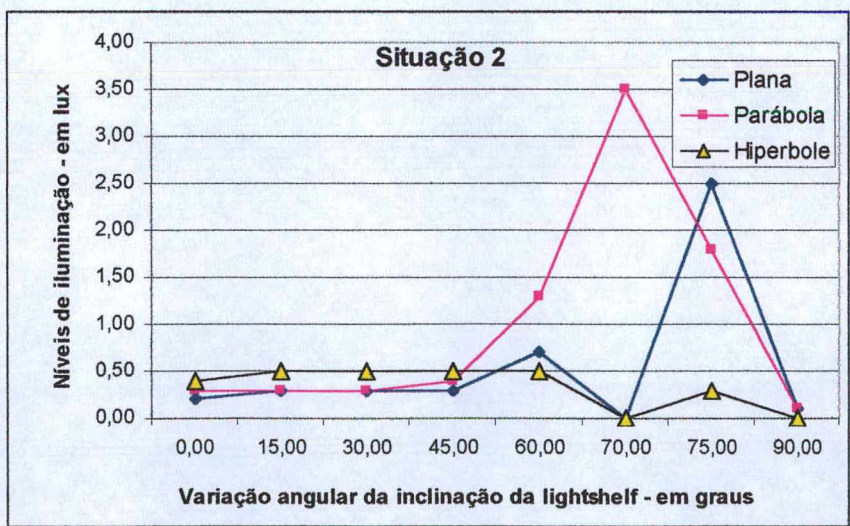


Figura 4.2 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 2

Na Situação 3, com luz natural, céu encoberto, às 10h, a janela está orientada a oeste e obstrução a leste, simulando uma situação de orientação da janela

desfavorável ao sol da manhã, cujos dados das leituras do luxímetro estão no gráfico da figura 4.3.

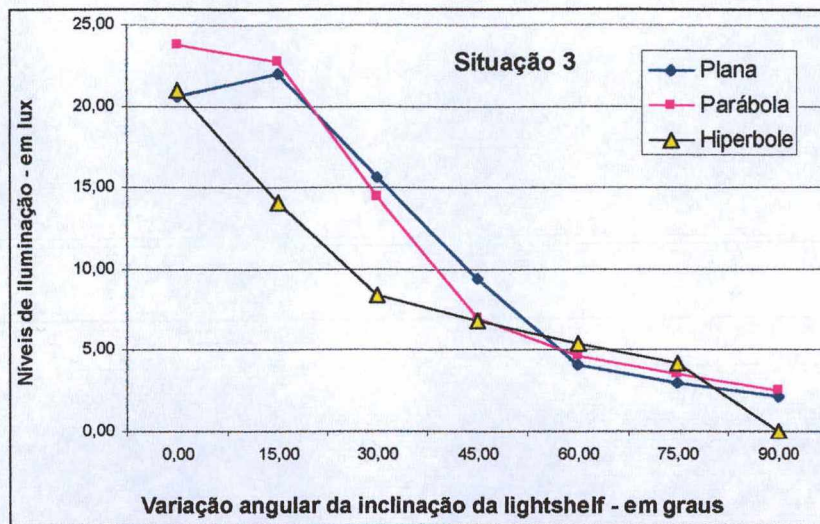


Figura 4.3 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 3.

A Situação 4, também com luz natural, céu encoberto, às 10:20h, janela orientada a leste e obstrução também a leste, simulando uma situação de orientação da janela favorável ao sol pela manhã, mas com insolação obstruída em boa parte, com dados das leituras no gráfico da figura 4.4.

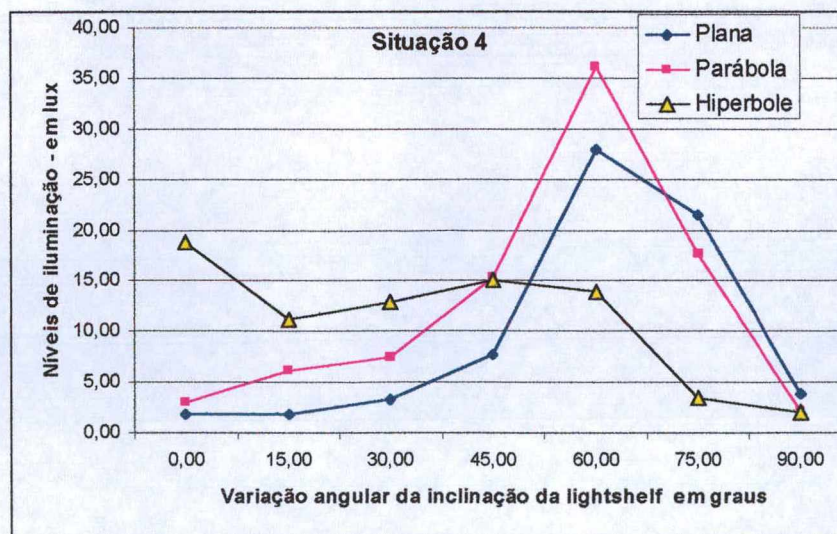


Figura 4.4 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 4

Na Situação 5, a luz natural do céu encoberto, às 12:20 h, não apresenta nenhuma obstrução e janela orientada para o sul, simulando orientação da janela desfavorável à insolação em parte significativa do dia, cujos resultados do ensaio podem ser melhor observados na figura 4.5.

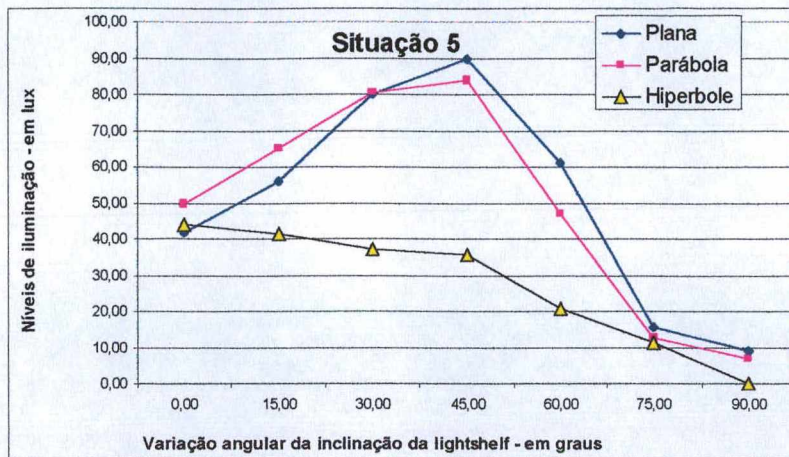


Figura 4.5 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 5.

A Situação 6 recebeu uma mudança no modelo e foi colocado material espelhado, lâmina de alumínio polido, até a metade do plenum e no teto finalizando com superfície com inclinação de 45°, como um espelho, redirecionando o fluxo luminoso para o chão. A condição do céu, encoberto, às 12:30h, com a abertura voltada para o sul, sem obstrução, com os dados constantes no gráfico da figura 4.6.

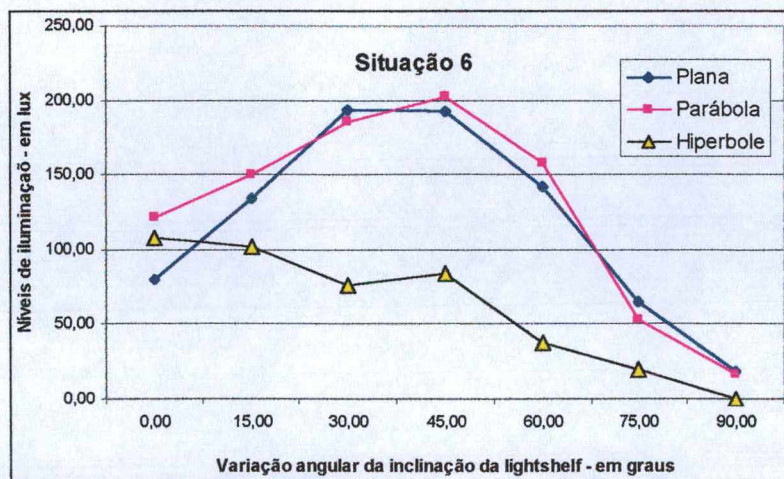


Figura 4.6 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 6.

A Situação 7, com luz natural, céu encoberto, às 12:40h, com revestimento de 50% do plenum e a parte do teto é muito semelhante à Situação 6 mas com superfície branca ao invés de material espelhado, tendo uma superfície inclinada a 45° , visando direcionar o fluxo luminoso para baixo, com o mesmo material branco, difusor, cujos dados das leituras constam no gráfico da figura 4.7.

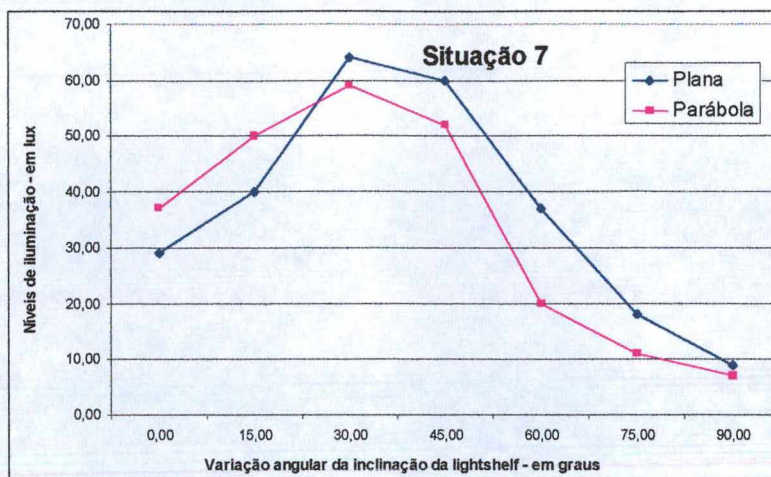


Figura 4.7 - Gráfico com dados das leituras do modelo na Situação 7.

Conclui-se que tanto a geometria da "lightshelf" como sua inclinação interferem nos níveis de iluminamento.

Conclui-se, também, que não há um ângulo ótimo para a inclinação, sendo o ângulo mais adequado para cada caso, variável de acordo com os dados obtidos na simulação e lançados no gráfico.

4.2 Análise dos resultados do modelo virtual

Os resultados de comparações entre diversas combinações indicam que cada uma das variáveis, ou seja, existência de obstrução ou não, horário e tipo de elemento de redirecionamento, tem sua vantagem numa situação particular. O

desempenho que cada combinação apresenta-se mais ou menos eficiente, dependendo, justamente, das citadas variáveis.

Ficou evidente, também, que a obstrução, causada pelo entorno construído, interfere bastante nos níveis de iluminação.

A grade de valores escolhida foi composta de 3 linhas com valores a cada metro de distância da janela, sendo situadas uma delas próxima da parede Sul, outra ao centro do modelo e a terceira próxima da parede Norte, sendo que os valores lançados nos gráficos correspondem à média aritmética das indicações situadas à mesma distância da janela.

4.2.1 Simulação às 10h

Com a orientação favorável, os resultados das 10h indicam que o decaimento dos níveis de iluminação quando não há "lightshelf" é de forma assintótica, ou seja, os níveis diminuem abruptamente a partir da área mais próxima da janela e tendendo a zero nas áreas mais distantes. Sob o aspecto visual, isto significa tendência a contrastes desagradáveis, conforme já descrito na revisão bibliográfica e que são minimizados pela adoção do equipamento de redirecionamento e controle. Esta redução dos níveis mais próximos da janela e tendência à homogeneização fica claramente mostrado nos gráficos das figuras 4.8 e 4.9.

Para melhor visualização do resultado, os dados mais relevantes, com e sem obstrução no mesmo horário com a inclinação de 15° , cuja simulação indicou melhor desempenho, estão mostrados no gráfico da figura 4.10, onde está evidenciado com linha tracejada que a atuação da "lightshelf", aumentando os níveis de iluminação ocorrem, entre 6 e 7m distantes da janela, para aquele horário, naquelas condições de data, situação geográfica, dimensões do ambiente, características dos materiais e com o aplicativo adotado.

Nesse horário, os dados do desempenho da "lightshelf" sem obstrução, são pouco expressivos.

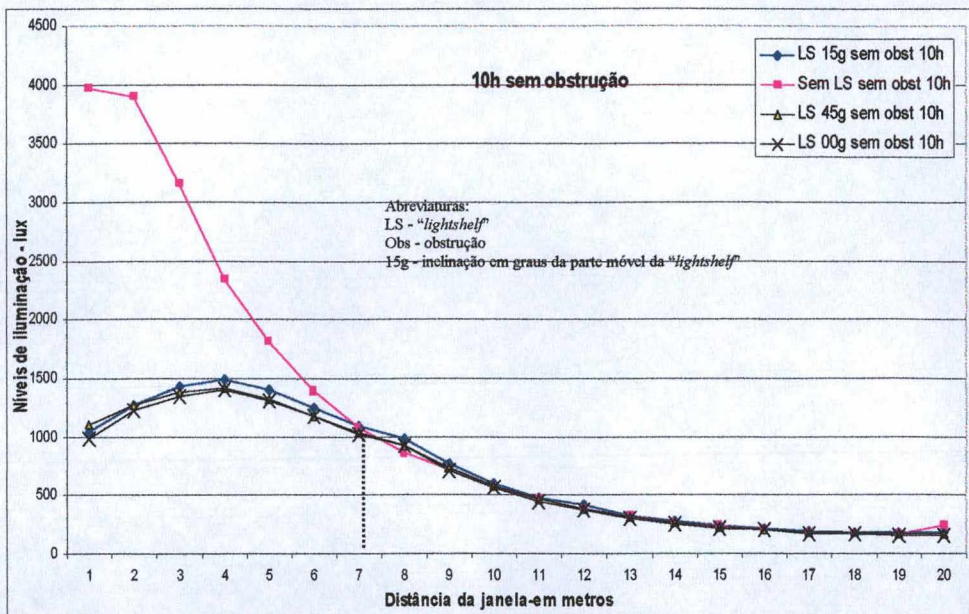


Figura 4.8 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 10h

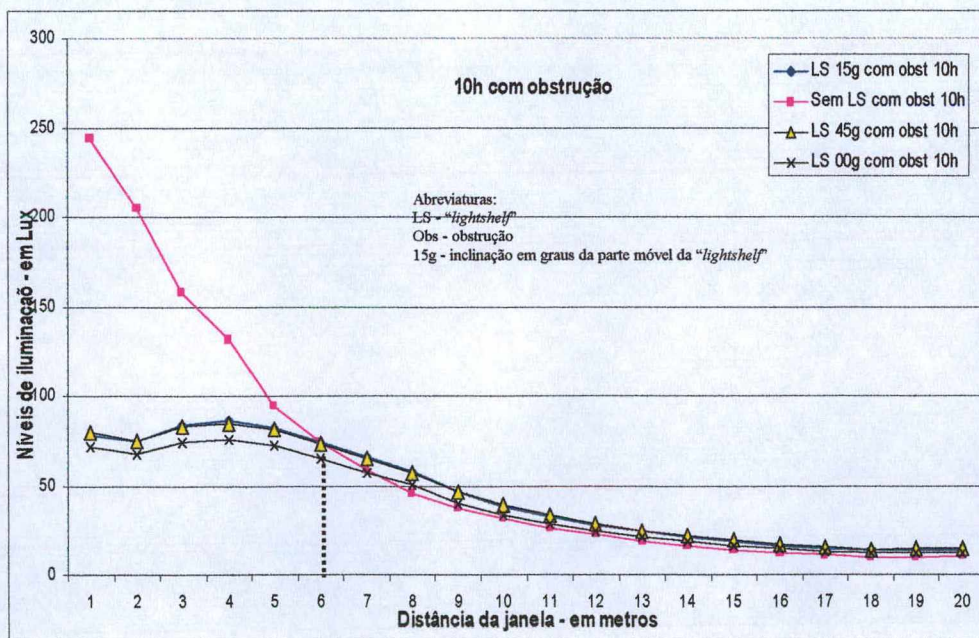


Figura 4.9 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 10h

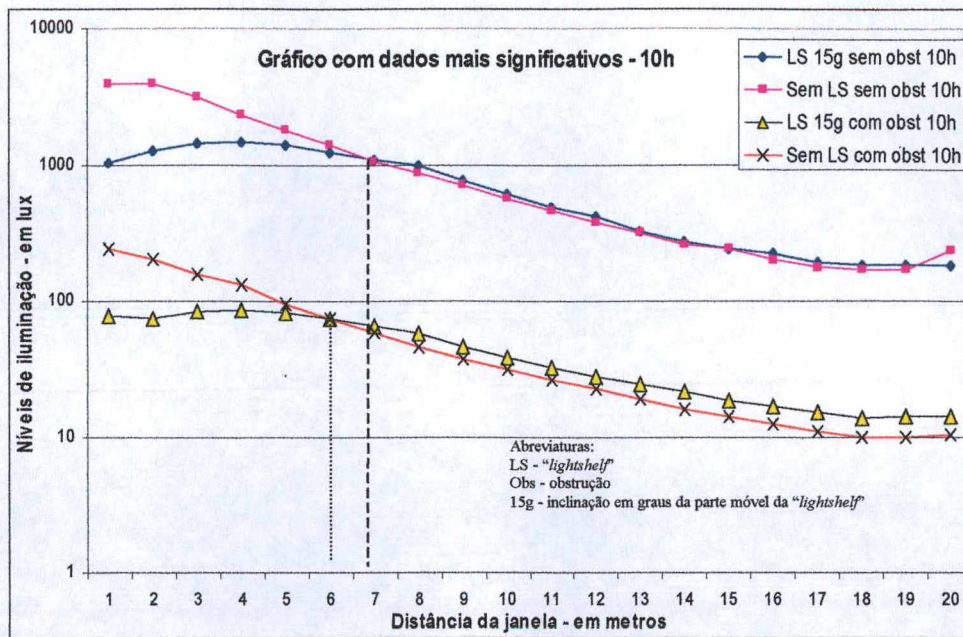


Figura 4.10 - Gráfico com dados mais significativos - 10h.

4.2.2 Simulação às 12h.

Na simulação das 12h, uma vez que o ângulo de incidência é maior, os dados confirmam a hipótese inicial, ou seja, de que há uma melhor distribuição da iluminação natural quando é utilizada a "lightshef", embora os resultados não sejam expressivos, conforme fica evidenciado nos gráficos das figuras 4.11 e 4.12.

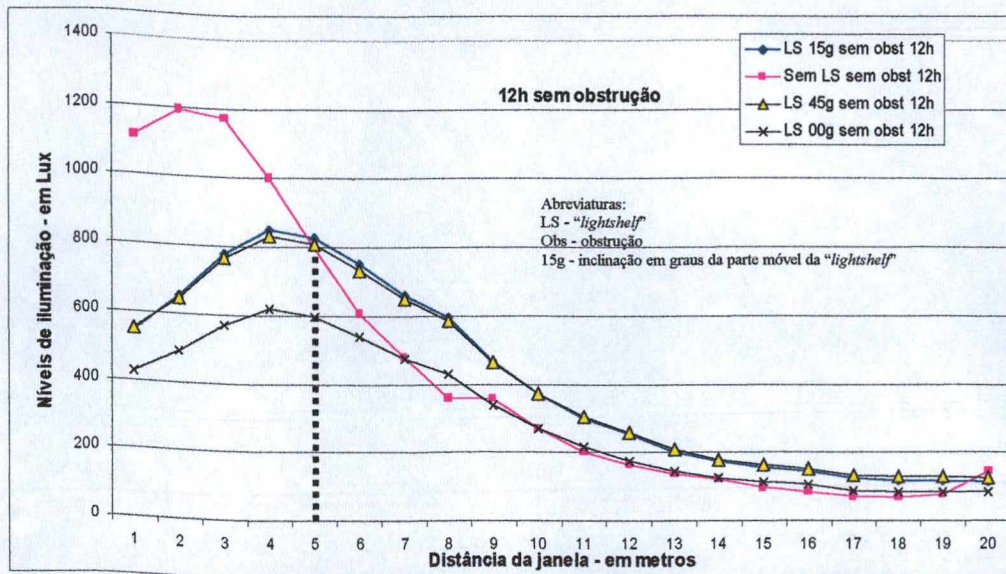


Figura 4.11 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 12h.

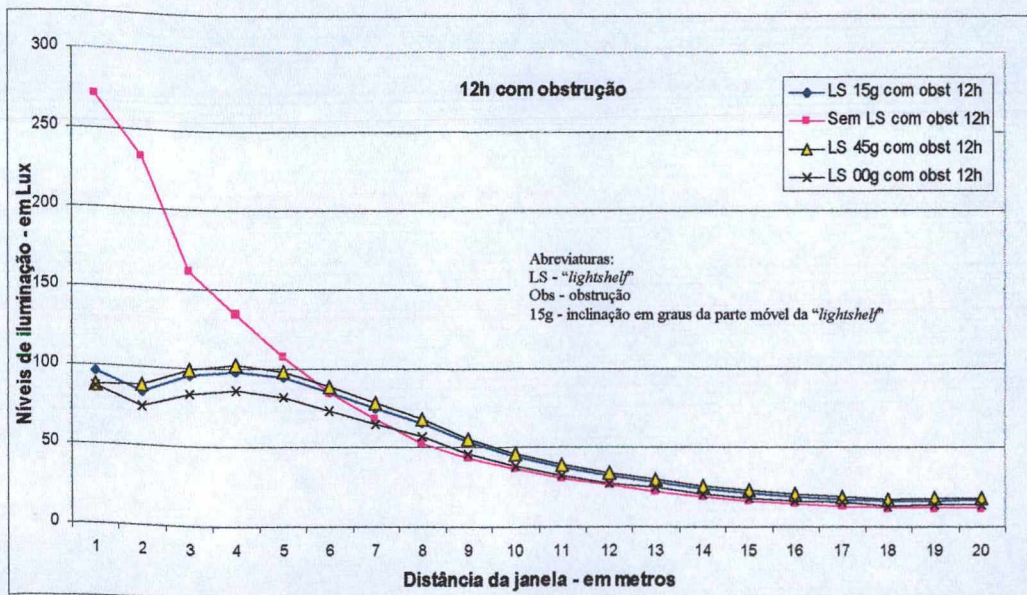


Figura 4.12 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 12h.

Comparando os dados obtidos com a simulação, para verificação do desempenho, o redirecionamento da iluminação natural é efetivo, ou seja, obtém níveis mais altos que a janela sem equipamento, a partir da distância entre 5 e 6 metros da abertura, com a "lightsheif" inclinada a 45° quando há obstrução e, quando não há obstrução, praticamente com os mesmos valores quando a

inclinação está com 15° e 45°, conforme pode ser observado no gráfico da figura 4.13.

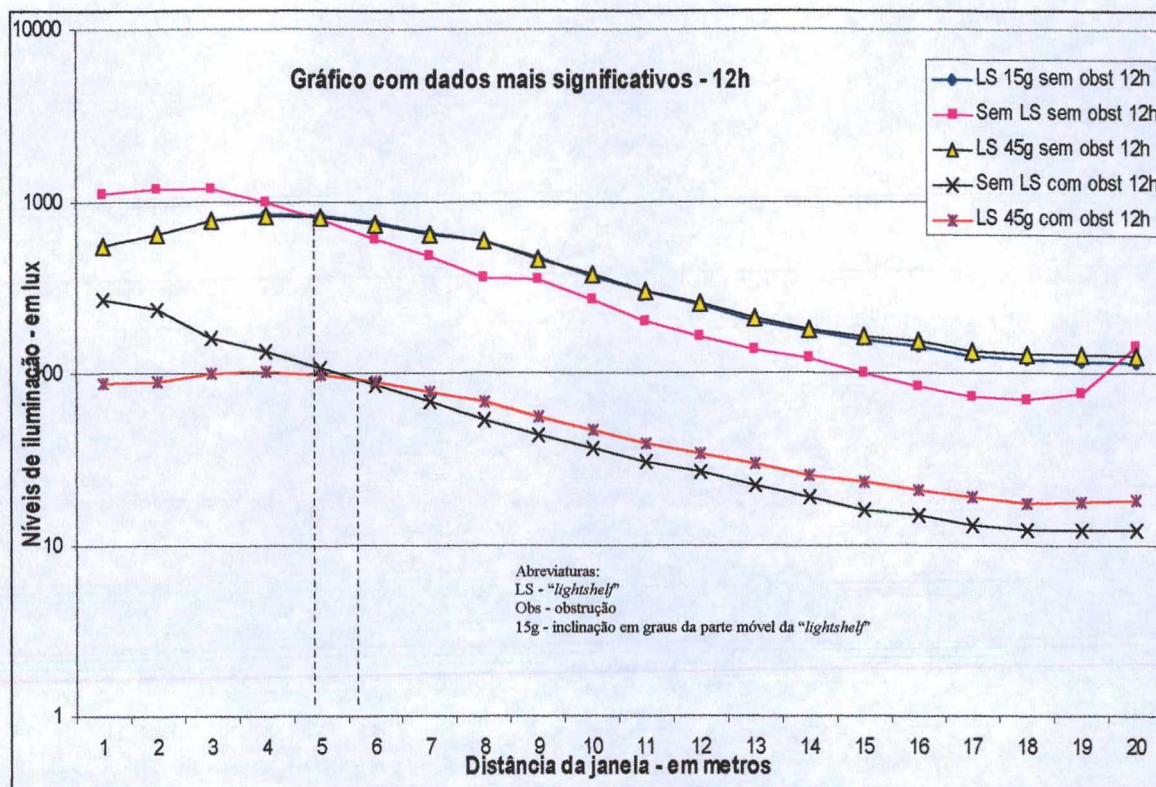


Figura 4.13 - Gráfico com dados mais significativos - 12h.

4.2.3 Simulação às 14h.

Na simulação das 14h, a incidência solar na fachada oposta torna mais efetiva a participação da reflexão no entorno construído e situado no lado leste, atuando como um grande captador e redirecionador. Embora haja ganho de iluminação natural pela "lightsheif", indicado pelo aumento dos níveis de iluminação, é muito pouco expressivo, havendo entretanto redução do contraste entre áreas mais e menos iluminadas, que proporciona melhoria da qualidade visual do ambiente.

Os dados constam nos gráficos das figuras 4.14 e 4.15.

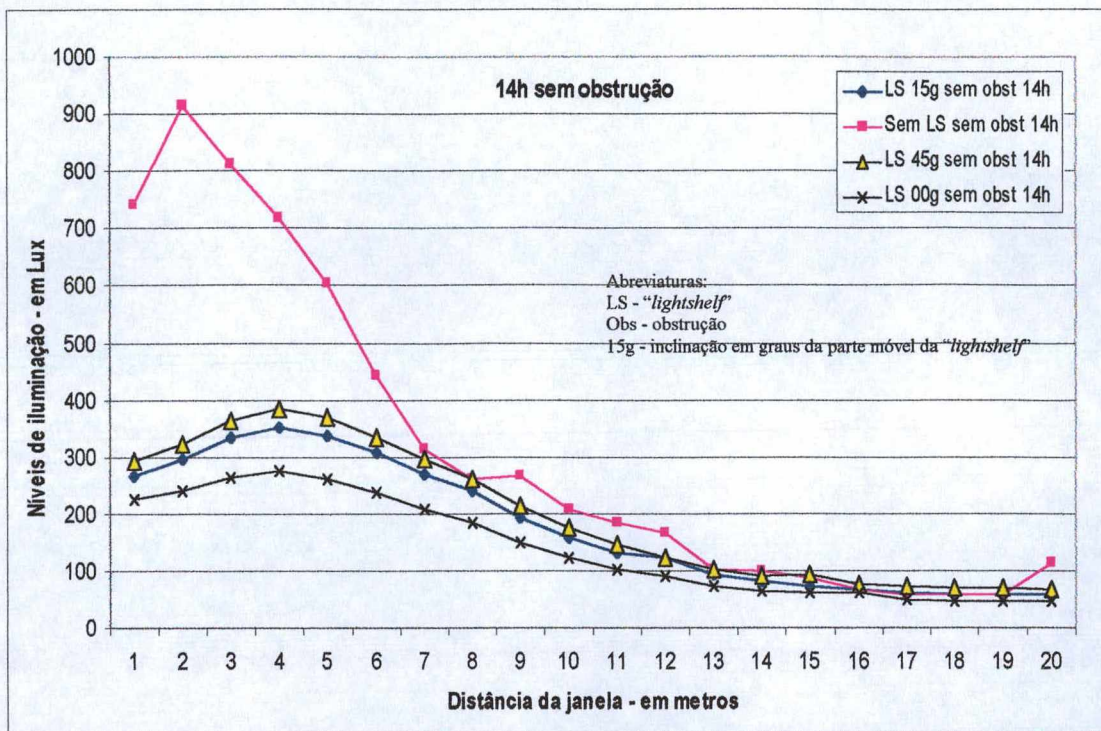


Figura 4.14 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 14h.

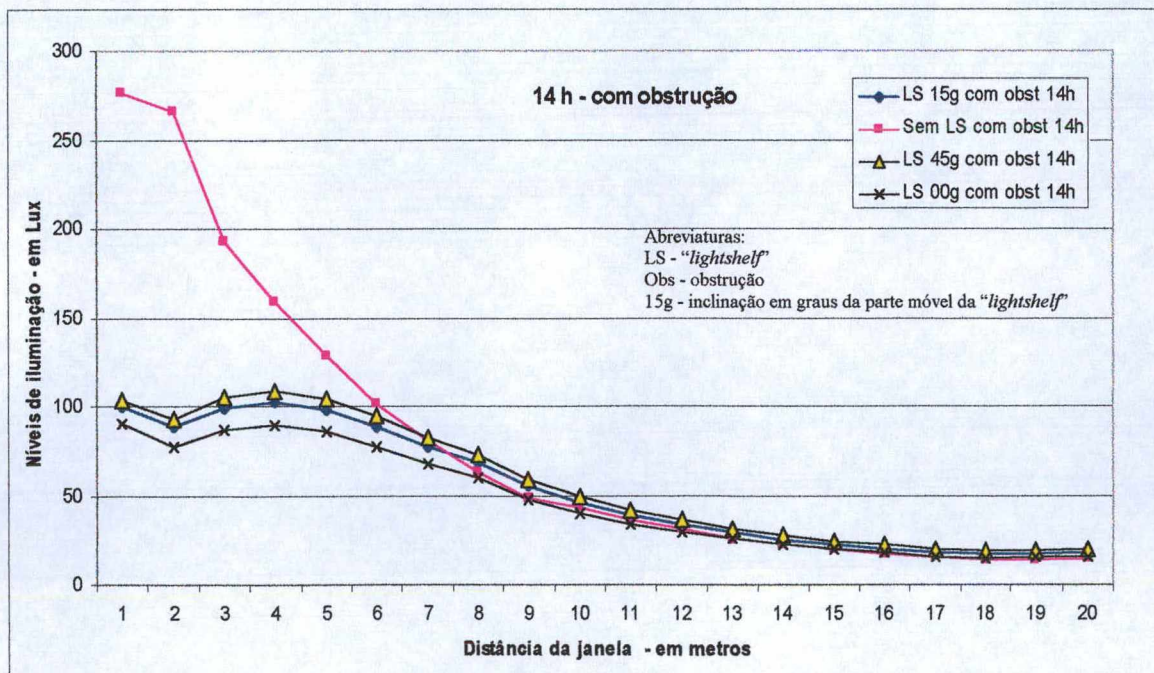


Figura 4.15 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 14h.

Para melhor comparação e análise do desempenho, o gráfico da figura 4.16 mostra os dados das situações em que os níveis foram maiores, sendo que, quando

não há obstrução, há um pequeno ganho com a atuação do equipamento de redirecionamento a partir apenas de 14m de distância da janela e, quando há obstrução, o ganho inicia a aproximadamente 7m da abertura, com inclinação de 45° em ambos os casos.

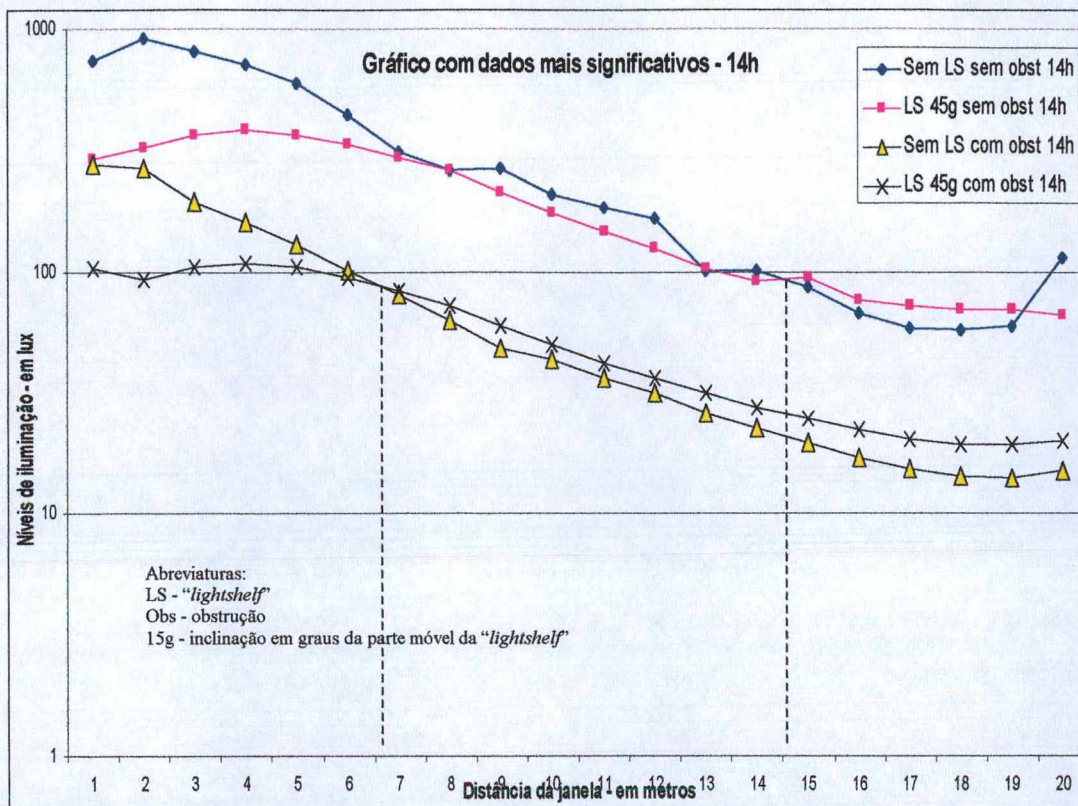


Figura 4.16 - Gráfico com dados mais significativos - 14h.

4.2.4 Simulação às 16h.

Na simulação das 16h e conforme os dados obtidos, quando não há obstrução, não há aumento dos níveis de iluminação natural, cujos dados constam do gráfico da figura 4.17, que indica também que a inclinação de 15° apresentou os melhores resultados, embora não tenha superado, na mesma distância da janela, os níveis obtidos com a janela sem nenhum equipamento e sem obstrução.

Nesta situação, a abóbada está totalmente "visível" pela abertura e há ingresso abundante da luz, mesmo com o sol em posição desfavorável.

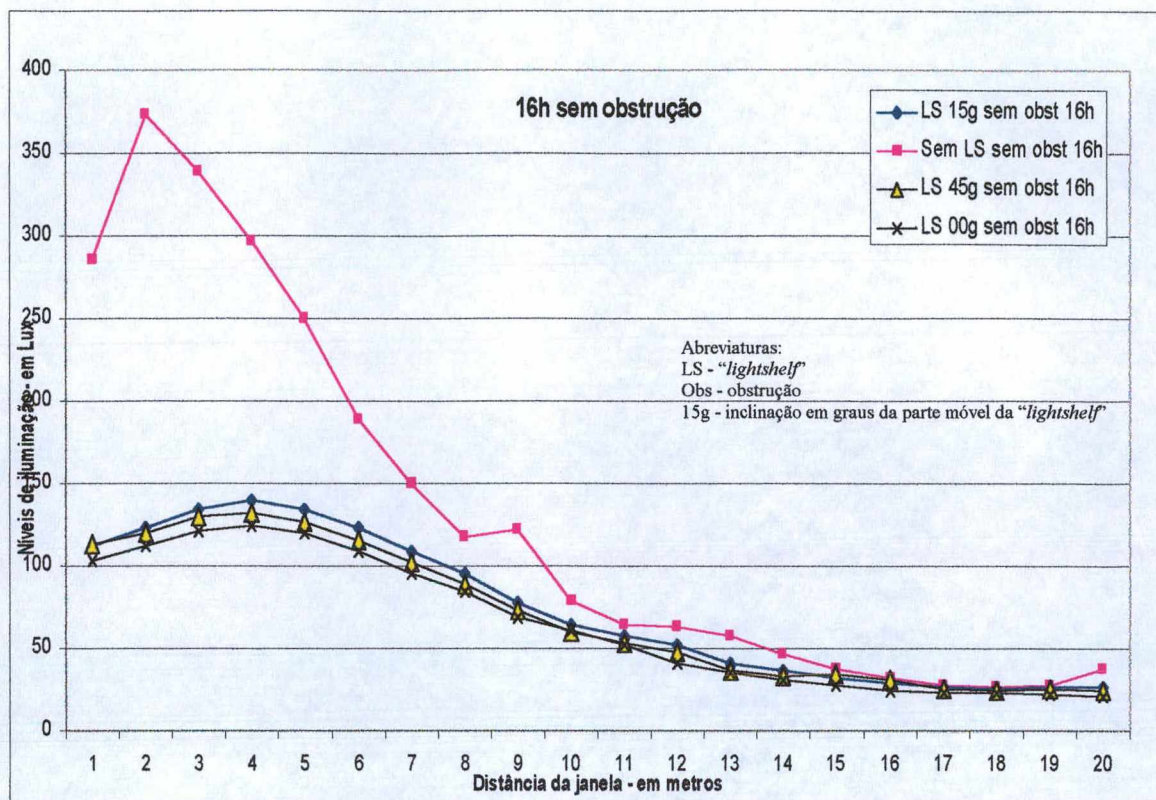


Figura 4.17 - Gráfico com os dados da simulação sem obstrução às 16h.

No entanto, quando há obstrução, ocasião em que parte da abóbada não está visível e a parcela de luz da componente celeste pouco contribui diretamente para a iluminação do interior, tendo que haver a reflexão da luz no entorno ou no equipamento de redirecionamento, verifica-se, novamente, que há efetiva participação da "lightshelf".

Na simulação realizada, às 16h e com as demais condicionantes, o ganho ocorre a partir da distância de 7 m da janela, uma vez que, a partir dessa distância, a contribuição do equipamento supera os níveis da janela sem equipamento e com obstrução, conforme pode ser observado pelos gráficos das figuras 4.18 e 4.19.

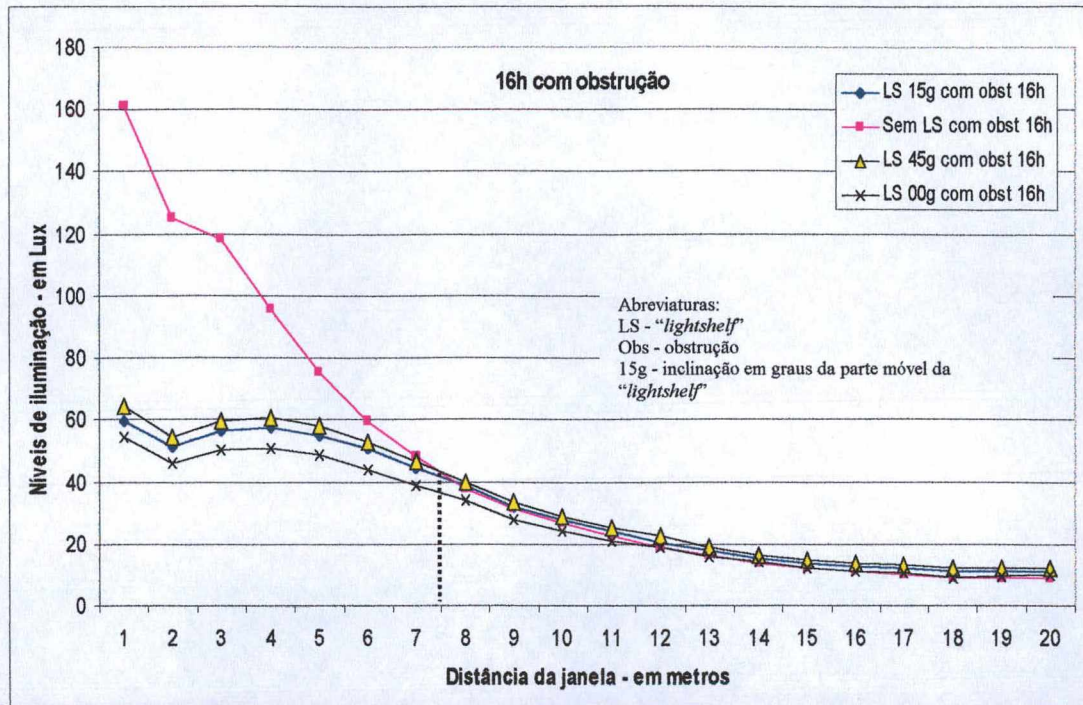


Figura 4.18 - Gráfico com os dados da simulação com obstrução às 16h.

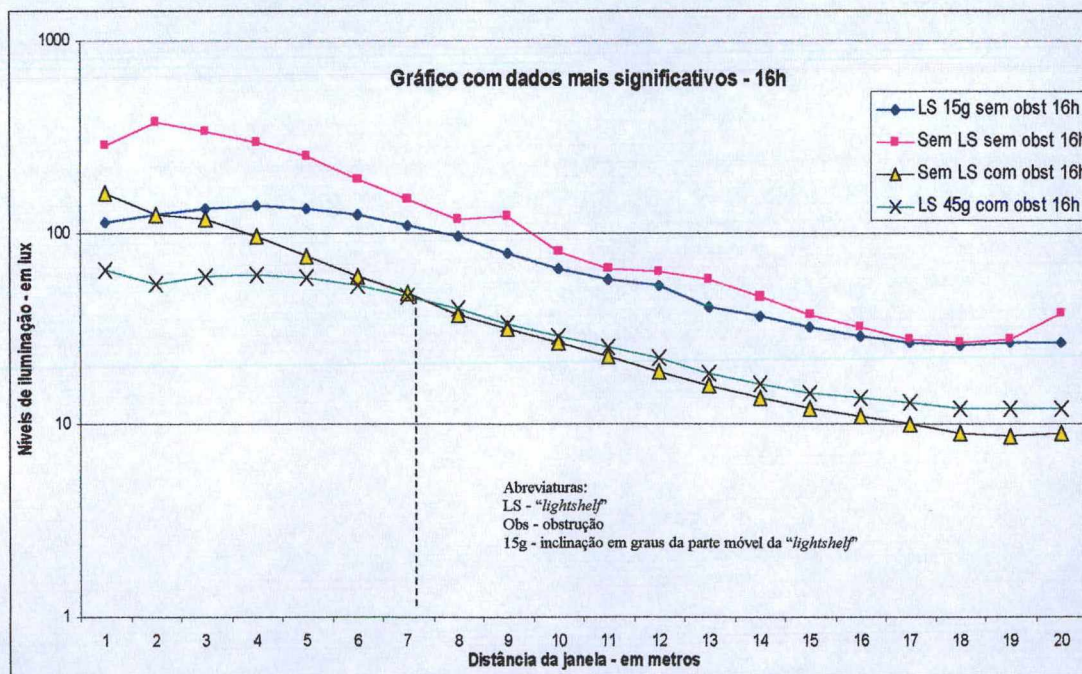


Figura 4.19 - Gráfico com dados mais significativos - 16h.

Os resultados obtidos indicam que, pelo método de simulação matemática com uso do computador, ao se considerar a interação de diversos elementos com a

radiosidade, a lightshelf compensa, pelo menos em parte, a redução dos níveis de iluminação nas áreas próximas da abertura.

Os níveis de iluminação das simulações com o modelo virtual analisado estão contidos em tabelas nos Anexos.

A partir da observação dos resultados e das imagens do modelo após o processamento, verificou-se haver sombreamento de parte significativa da "lightshelf" do modelo virtual, foi testada uma alteração na "lightshelf" a 45° no horário das 16h. Neste horário, o sol esta em posição desfavorável, uma vez que a abertura esta voltada para leste e situada na outra fachada.

Foi simulado, então, o aumento da área da parte inclinada da "lightshelf", com o objetivo de verificar se seria possível melhorar o rendimento, ou seja, aumentar os níveis de iluminação natural do interior do modelo por ter aumentado a área de captação de luz.

Assim, a parte inclinada da "lightshelf" foi duplicada, o modelo foi novamente submetido ao processamento computacional, o que repercutiu nos níveis de iluminação em todo o ambiente, mas principalmente no fundo da sala, onde o valor era de 12 Lux e passou a 17 Lux.

Nas imagens das figuras 4.20 e 4.21 observa-se as verificações dos níveis de iluminação no plano do piso do modelo com o equipamento normal e o duplicado e, na figura 4.22, observa-se o gráfico com os resultados, indicando que o ganho ocorre para toda a extensão e não apenas para o fundo do ambiente.

Tal resultado reforça a idéia sobre a necessidade de ser adotado um equipamento de redirecionamento dinâmico, tanto em relação à inclinação, como também em relação ao seu dimensionamento.



Figura 4.20 - Perspectiva do modelo com os níveis de iluminação no piso - 16h.

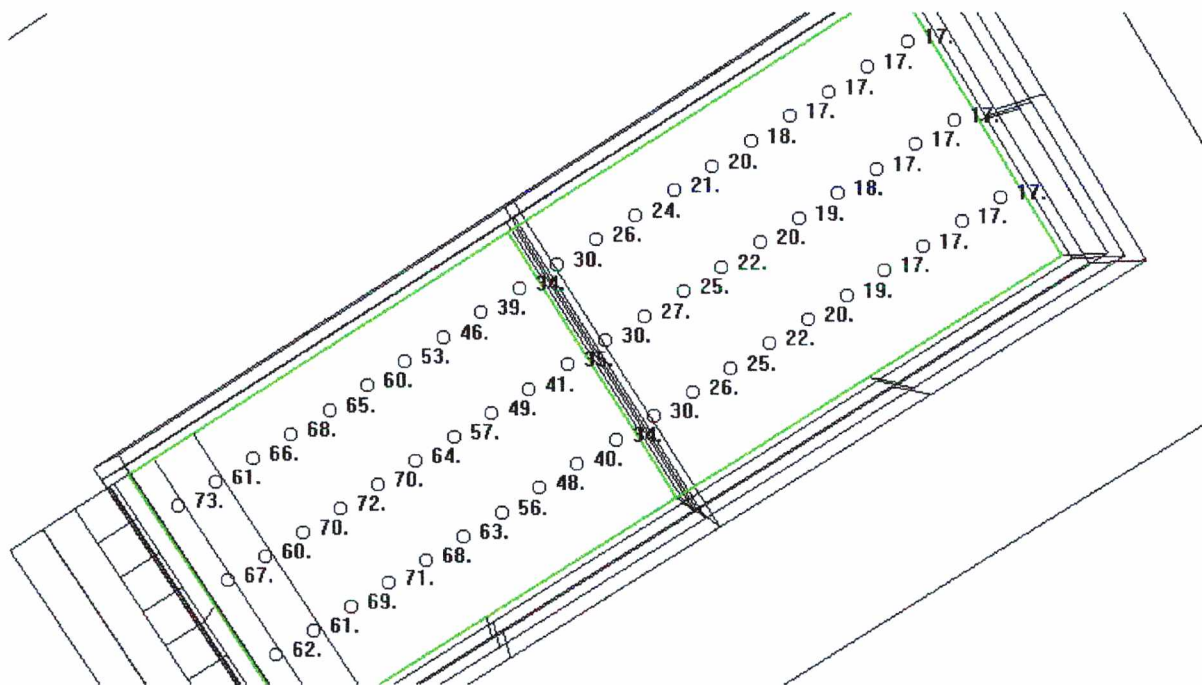


Figura 4.21 - Perspectiva do modelo com os níveis de iluminação no piso - 16h com "lightshef" ampliada.

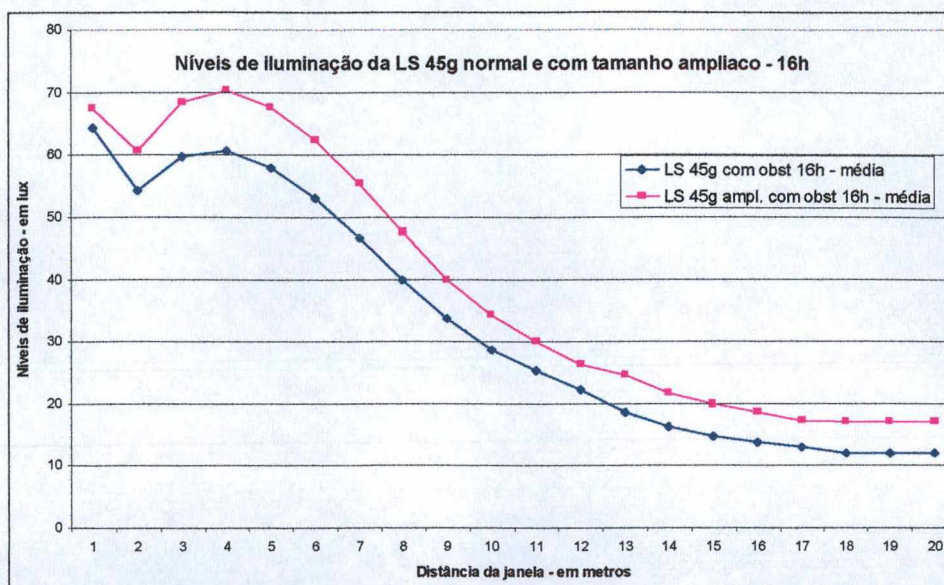


Figura 4.22 - Gráfico das simulações - "lightshelf" normal e ampliada - 16h.

Outra constatação importante é a elevação dos níveis de iluminação na parte mais distante da janela do modelo virtual analisado, nos casos em que não havia nem obstrução nem "lightshelf", o que pode ser apenas um detalhe que pode passar despercebido, observado nos gráficos das figuras 4.8, 4.10, 4.11, 4.13, 4.14, 4.16, 4.17 e 4.19. Percebe-se que a curva respectiva, entre 19 e 20 metros de distância, ou seja, aproximando-se da parede dos fundos, mostra uma elevação nos níveis de iluminação. Os dados foram revisados e confirmados, o que poderia, inicialmente, parecer que haveria algum vazamento de luz.

Verificando a possibilidade de "vazamento" de luz novamente, constatou-se que os níveis de iluminação nas superfícies do invólucro do modelo que atuam como se fosse uma "casca" ou sombreamento, pelo lado interior era de 00 Lux, conforme figura 4.23.

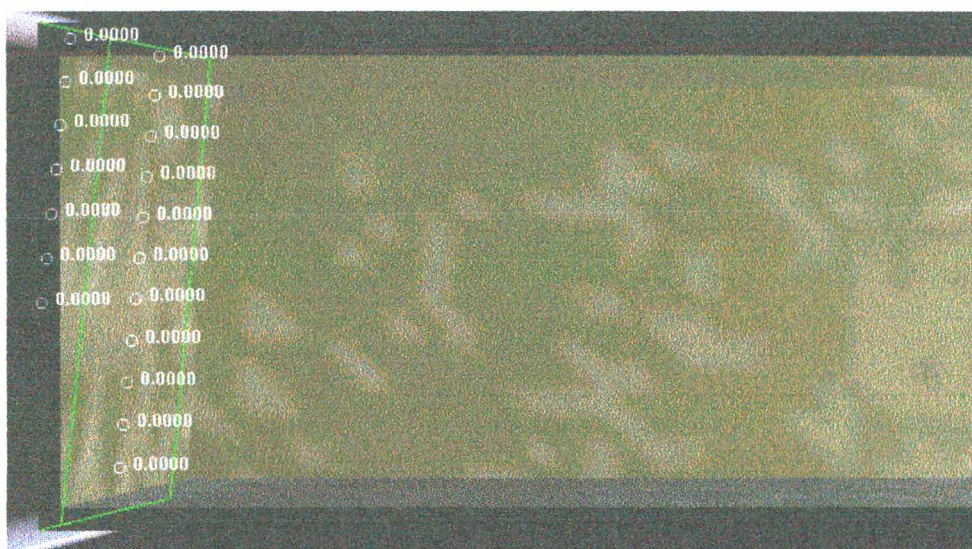


Figura 4.23 - Verificação de “vazamento” de luz pelo invólucro do modelo.

Na figura 4.24 verifica-se que há uma luminância bem menor na parede de fundos quando há elemento na frente da janela, obstruindo o acesso direto à abóbada celeste e, na figura 4.25 verifica-se que os níveis de luminância, em candelas/m², são bem mais elevados, o que pode explicar a elevação dos níveis de iluminação no fundo do ambiente e quando não há obstrução ou equipamento nesses casos.

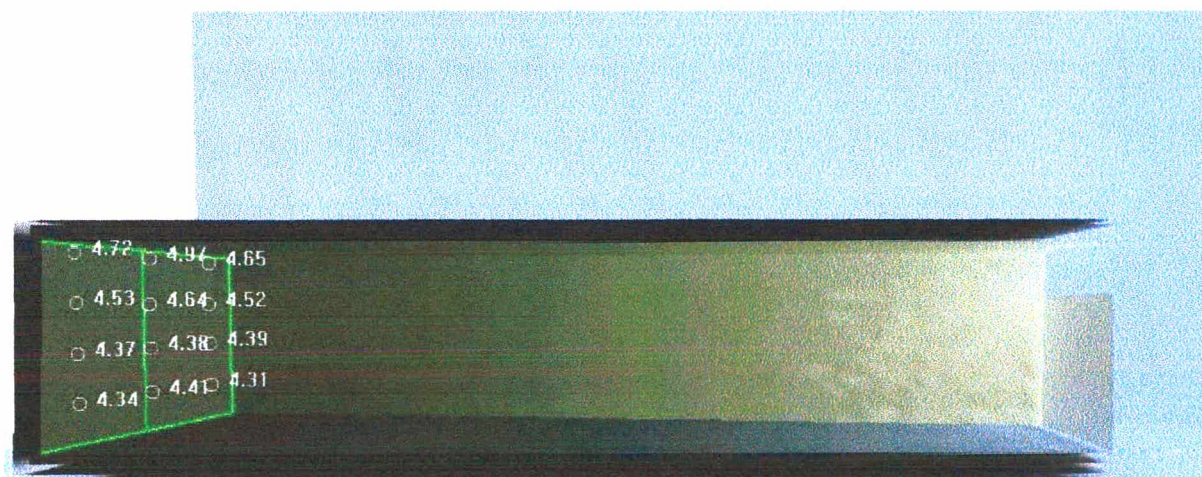


Figura 4.24 - Níveis da luminância em candelas/m² com obstrução - 12h.

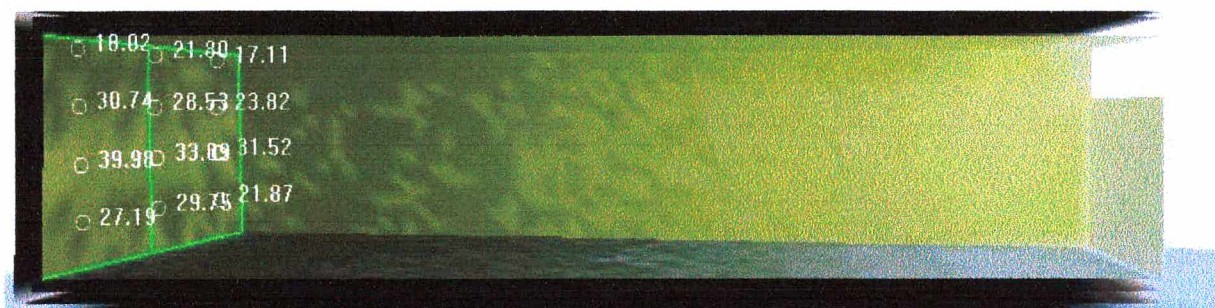


Figura 4. 25 - Níveis da Luminância em candelas/m2 sem obstrução - 12h.

Concluiu-se que, pela geometria da sala e disponibilidade da abóbada, a parede de fundos está recebendo luz diretamente da abóbada, o que pode torná-la uma fonte secundária. Isso só pôde ser observado devido à eliminação do vidro da abertura, permitindo o fluxo de luz da componente celeste diretamente na superfície.

CAP 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

São muitas as conclusões que o presente trabalho proporciona, como também desperta para uma série de novas oportunidades.

Inicialmente, conclui-se que a melhor combinação entre o equipamento de redirecionamento adotado, a "lightshelf", bem como seu ângulo de inclinação, orientação da abertura, horário e obstrução, inclusive sua cor e refletância devem ser compatibilizados caso a caso, uma vez que, para as situações verificadas, tanto pelo modelo em escala reduzida como para o modelo virtual, a cada horário e condição de obstrução, os melhores resultados foram obtidos ora sem o equipamento de redirecionamento, ora com ele inclinado a 15°, ora com inclinação de 45°.

A hipótese formulada está confirmada, uma vez que a "lightshelf" altera o desempenho da abertura em relação à distribuição da luz em todo o ambiente, compensando em parte, pelo menos, a redução da quantidade de luz natural nos locais próximos da janela, proporcionando ganho, tanto nos níveis de iluminação, como na qualidade visual pela redução de contraste entre as áreas mais e menos iluminadas.

Observa-se, contudo, que o incremento dos níveis de iluminação do interior são pouco significativos, embora haja um redirecionando o fluxo luminoso com um pequeno aumento dos níveis de iluminação a partir da distância entre 5 e 7 m distantes da abertura, até a profundidade do modelo estudado, de 20 m e, em alguns casos, não haja nenhum ganho em relação à janela sem nenhum tipo de equipamento.

Conclui-se, também, sobre a necessidade de dar-se maior importância ao entorno construído, ao tratamento do envelope solar e à parcela de luz natural que toda edificação deve receber, ficando bem mais nítida a necessidade de conhecer

melhor suas alterações, que interferem em parcela significativa da iluminação interior.

De acordo com os dados obtidos nas simulações com modelo em escala reduzida na maior parte dos casos, quando a "lightshelf" está inclinada com ângulo superior a 60°, há uma redução significativa dos níveis de iluminação, devido à parte móvel atuar como um fechamento da janela, com bloqueio do fluxo luminoso.

É, também, muito importante que tenha sido concluído que sistemas computacionais estão longe da perfeição e que existem vantagens das experimentações, mas muitas limitações. Um estudo deve considerar, sempre, a interação de todas as ferramentas possíveis, pois cada metodologia tem suas vantagens, pontos sedutores, faces enganosas e que devem ser cada vez mais conhecidas para que não seja adotada metodologia única para a análise, sob pena do trabalho não chegar a conclusão alguma ou ainda, chegar a uma conclusão incorreta.

O aplicativo escolhido, Lightscape®, mostrou-se adequado para o cálculo da iluminação difusa, mas suas características ainda não contemplam a profundidade que o estudo da luz requer, por não considerar a especularidade de superfícies para o cálculo das reflexões nem oferecer total clausura quando superfícies estão em contato, embora essa última limitação tenha sido contornada a contento. Por outro lado, permite enorme variação nos atributos das superfícies e importação de novas características de materiais e luzes, o que deve facilitar uma retomada da luz como componente de projeto e passível de antevisão dos resultados, permitindo alterações previsíveis e com interação importante entre projetista e usuário do espaço.

A utilização da luz natural tem sido melhor observada, devido a economia de energia, conservação de recursos naturais, qualidade do ambiente visual, não somente para os ambientes de trabalho como para todas as atividades.

O objetivo principal, de melhorar o aproveitamento da iluminação natural nos locais onde há obstrução da insolação direta e de parte da abóbada celeste para melhorar os níveis de iluminação internos, tornou necessário que fossem estudadas atitudes psicológicas frente à iluminação e desenvolveu um olhar mais crítico na atitude do projetar e conceber novos espaços.

5.2 Recomendações

Pelo estágio que o presente estudo chegou e pelo potencial a ser desenvolvido, algumas recomendações podem enriquecer o desenvolvimento de sistemas que visem a melhoria do aproveitamento da luz natural, como as citadas abaixo:

- é recomendável que seja implementado um sistema dinâmico de ajuste do elemento de redirecionamento, seja com ajustes manuais, mecânicos ou eletrônicos com auxílio de um heliostato, por exemplo, tendo sido verificado que as condições de iluminação tem um grande número de variáveis, pode-se afirmar que, devido à diversidade das tarefas no ambiente,.
- a análise da condição de iluminação deve ser enriquecida com a análise dos revestimentos externos das edificações vizinhas, uma vez que o entorno mostra grande participação na distribuição da luz natural, principalmente difusa e quando há obstrução da insolação. Tal recomendação mostra-se muito útil para os casos, por exemplo, em que a janela encontra-se com orientação desfavorável e não há condições de instalação de nenhum equipamento e, assim, pode-se lançar mão do artifício de trabalhar com o entorno.

5.3 Sugestões para futuros trabalhos

Baseado na observação do processo de desenvolvimento do presente trabalho, alguns aspectos merecem a atenção de futuros estudos, talvez com outras ferramentas, sendo sugerido principalmente:

- Estudo do desempenho da parte móvel da "lightshelf" com seção de forma curva, pois devido a alguns dados durante o ensaio com modelo experimental em escada reduzida, registrados no Capítulo 4 - Análise dos Resultados, em determinados horários e de acordo com a iluminação, o resultado foi melhor que aquela com forma plana, alcançando maiores níveis de iluminamento. Assim, há grande espaço para estudo do desempenho da "lightshelf" com seção de forma curva, quer sejam de seção circular, elíptica, parabólica ou hiperbólica.
- Estudo em modelo reduzido e modelo virtual para o desenvolvimento de elementos de redirecionamento revestidos de material polido, com reflexão especular, uma vez que os ensaios do presente trabalho com modelo reduzido mostraram haver grande potencial.
- Revisão na legislação quanto a número de pavimentos permitido. Como ficou clara a interferência do entorno construído nos níveis de iluminação obtidos no interior dos ambientes, é interessante que os organismos de planejamento urbano passem a adotar posturas mais técnicas quanto a limitação de número de pavimentos e taxas de ocupação, bem como sua manutenção, em fachadas e revestimentos de pisos, muros e coberturas, pois o adensamento de construções nas cidades, excessiva aproximação dos volumes e elevação dos gabaritos, indiscriminadamente, colaboram negativamente, piorando a qualidade de vida, o uso do espaço e desvalorizando o patrimônio. Há, também, a necessidade de que organismos de planejamento urbano e prefeituras considerem a importância de serem estabelecidos critérios para as necessidades mínimas de insolação das edificações, assunto abordado por PEREIRA 1(1995) ao referir-se ao envelope solar, visando o efeito bactericida da radiação solar, a insolação e a qualidade da iluminação de ambientes para obter-se níveis adequados às tarefas a serem desenvolvidas, considerações psicológicas relativas à percepção do tempo e das condições do ambiente externo à edificação, etc.

Pelo grande apelo que todo o mundo faz pela economia de energia elétrica, há que ser despertada a consciência pelo melhor aproveitamento da luz natural - insolação e componente celeste - como fonte abundante e gratuita de luz, observadas as necessidades de redirecionamento do fluxo luminoso, tratamento das superfícies e manutenção/limpeza do conjunto.

É salutar despertar para a conscientização, tanto em obras já executadas como durante as fases de projeto para as novas edificações, para o agrupamento dos equipamentos lumínicos de forma que sejam complementares à iluminação natural dos ambientes, com separação, em cada ambiente, em zonas de maior ou menor necessidade de ajustamento, durante as diversas horas do dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 📖 ASSIS, E. S.; VALADARES, V. M.; SOUZA, R. V. G. **Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, considerando a insolação e iluminação natural, na revisão da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte, MG.** In : III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 511 – 516.
- 📖 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminância de Interiores.** NBR 5413. Rio de Janeiro, 1991.
- 📖 ASHDOWN, Ian. **Lighting for Architects.** In: Computer Graphics World – CGW August 1996
- 📖 BELTRÁN, L. O.; LEE, E. S.; SELKOWITZ, S. E. **Advanced Optical Daylighting Systems: "lightshelves" and Light Pipes.**In: **Journal of the Illuminating Engineering Society.** p. 91-105 Summer 1997.
- 📖 BRASIL. Portaria nº 3.214 de 8 de Junho de 1978. **Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho.** Diário Oficial da União de 06-07-78 (Suplemento)
- 📖 BURGNER, Lois I. **Light: the source of life on Earth.** In: LD+A July 1996 p. 27-

- 📖 BITTENCOURT, Leonardo; OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa; PÁDUA, Antonio; FONTAN, Renata. **Influência da localização, dimensão e forma das janelas nos níveis de iluminação natural produzidos por céus encobertos.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 571 – 576.
- 📖 BURT HILL KOSAR RITTLEMANN ASSOCIATES ARCHITECTS. **Lightshelves : thermal/optical performance characteristics of reflective lightshelves in buildings.** Butler, PA. 1984.
- 📖 CIBSE - The Chartered Institution of Building Services Engineers. **Window Design - CIBSE Applications Manual.** CIBSE. London 1987.
- 📖 COLLEZIONE ARTE IN SPAGNA. GAUDI. Editorial Escudo de Oro, S.A. Barcelona, 1996.
- 📖 DOCZI, György. **O Poder dos Limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura.** São Paulo: Ed. Mercuryo, 1990
- 📖 ENERGY RESEARCH GROUP, School of Architecture, University College Dublin, for The European Commission Directorate-General for Energy. **Daylighting in Buildings.** Dublin, Ireland. 1994.
- 📖 FONSECA, Marçal Ribeiro da. **Desenho Solar.** S. Paulo. Projeto Editores Associados. 1982.
- 📖 GIRARDIN, Maria C. **Iluminación natural por reflexión de luz solar em obstrucciones.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 553 – 557.

- 📖 GRAZIANO, Sigfrido F.C.G., Jr.; PEREIRA, Fernando O. R. **Simulação e Modelagem Fotorealística em Ambientes Lumínicos**. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Caderno de Resumos ENCAC 99. Editores: Fernando O. R. Pereira, Luiz Angelo S. Bulla, Marcos B. de Souza e Marcondes Araújo Lima (Coordenador Geral do ENCAC 99). Fortaleza - Novembro 1999. p. 65.
- 📖 LAM, William M. C. **Sunlighting – as formgiver for architecture**. New York : McGraw-Hill, 1986.
- 📖 Lightscape Visualization System - **User's Guide** [Guia do Usuário] . Version 3.1 for Windows NT and Windows 9A. 1996.
- 📖 MASCARÓ, Lúcia. **Energia na edificação : estratégia para minimizar seu consumo**. 2. ed. São Paulo : Projeto Editores Associados, 1991.
- 📖 MASCARÓ, Lúcia. **O Sol mora conosco (ou, talvez, mora fora de nossas casas)**. In: I Encontro de Professores de Conforto Ambiental - NE. (1992 - João Pessoa - PB). Anais . . . Coordenador - Francisco de Assis Gonçalves da Silva João Pessoa / UFPB - Editora Universitária . 1991 p. 6 - 9.
- 📖 MASCARÓ, Lúcia. **Influência da forma dos conjuntos arquitetônicos na iluminação natural**, In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1993 : Florianópolis). Anais ... / Editores : Roberto Lamberts ... [et ali]. --Florianópolis : ANTAC : ABERGO : SOBRAC, 1993. p.275-280.
- 📖 PEREIRA, Alice T. Cybis; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Envelope Solar: um exercício teórico ou uma proposição viável**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 499 - 504.

- 📖 PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia da edificação.** In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1993 : Florianópolis). Anais ... / Editores : Roberto Lamberts ... [et ali]. Florianópolis : ANTAC : ABERGO : SOBRAC, 1993. p. 257-267.
- 📖 PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Iluminação natural no ambiente construído.** .. Curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, 1995.
- 📖 PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Iluminação Natural.** Notas de Aula e apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina – Área de Ergonomia - Conforto do Ambiente Construído / Iluminação - Florianópolis, 1996.
- 📖 PINATTI, A. A.; SICHIERI E. P. **Indicações sobre a utilização de vidros eletrocromicos com filme de Nb₂O₅ como proteção solar em edifícios.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Caderno de Resumos ENCAC 99. Editores: Fernando O. R. Pereira, Luiz Angelo S. Bulla, Marcos B. de Souza e Marcondes Araújo Lima (Coordenador Geral do ENCAC 99). Fortaleza - Novembro 1999. p. 40.
- 📖 RYKWERT, Joseph. Album. In **DOMUS** - Revista mensal de arquitetura, interiores, design e arte. No. 732. Milão, Itália. Novembro 1991
- 📖 RONCÁLIO, Luciana Maria; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Avaliação de sistemas de aberturas zenitais para o aproveitamento da luz solar direta.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 493 – 498.
- 📖 SANTOS, Neri dos; FIALHO, Francisco. **Manual de Análise Ergonômica no Trabalho.** Curitiba: Genesis, 1995.

- 📖 SICHIERI, E. P.; CARAM, R. M; PAWLICKA A.; AVELLANEDA, C. **Análise sobre a potencialidade do uso de janelas eletrocromicas, obtidas a partir de filmes de Nb₂O₅ e WO₃, para controle energético de edificações.** In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Caderno de Resumos ENCAC 99. Editores: Fernando O. R. Pereira, Luiz Angelo S. Bulla, Marcos B. de Souza e Marcondes Araújo Lima (Coordenador Geral do ENCAC 99). Fortaleza - Novembro 1999. p. 102
- 📖 SOUZA, Marcos Barros de; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Impacto da luz natural no consumo de energia em edifícios comerciais.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p.481 – 486.
- 📖 SOUZA, Roberta V. G.; VALADARES, Víctor M. **Ensaio de iluminação natural em modelo reduzido: aplicação no projeto de arquitetura.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído (1995: Gramado). Anais ... Porto Alegre : ANTAC, 1995 p. 565 – 570.
- 📖 TREGENZA, P. R. **Sunlight, skylight and electric light.** In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1993 : Florianópolis). Anais ... / Editores : Roberto Lamberts ... [et all]. --Florianópolis : ANTAC : ABERGO : SOBRAC, 1993. p. 21-27.
- 📖 WISNER, Alain. **A Inteligência no Trabalho - textos selecionados de Ergonomia.** São Paulo: FUNDACENTRO, 1994.

ANEXOS

Tabela A 1 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 1

| Inclinação do elemento | Situação 1 - Fonte artificial orientada para a fachada com janela | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura sem Lightshef 0.50 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 0,50 | 0,00 | 0,70 | 40,00 | 0,50 | 0,00 |
| 15 | 0,60 | 20,00 | 0,90 | 80,00 | 0,50 | 0,00 |
| 30 | 0,80 | 60,00 | 2,20 | 340,00 | 0,50 | 0,00 |
| 45 | 2,00 | 300,00 | 1,10 | 120,00 | 0,40 | -20,00 |
| 60 | 3,40 | 580,00 | 0,40 | -20,00 | 0,30 | -40,00 |
| 75 | 0,60 | 20,00 | 0,20 | -60,00 | 0,10 | -80,00 |
| 90 | 0,10 | -80,00 | 0,10 | -80,00 | 0,00 | -100,00 |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshef*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 2 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 2.

| Inclinação do elemento | Situação 2 - Fonte artificial orientada para a fachada oposta | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura sem lightshef - 0,20 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 0,20 | 0,00 | 0,30 | 50,00 | 0,40 | 100,00 |
| 15 | 0,30 | 50,00 | 0,30 | 50,00 | 0,50 | 150,00 |
| 30 | 0,30 | 50,00 | 0,30 | 50,00 | 0,50 | 150,00 |
| 45 | 0,30 | 50,00 | 0,40 | 100,00 | 0,50 | 150,00 |
| 60 | 0,70 | 250,00 | 1,30 | 550,00 | 0,50 | 150,00 |
| 70 | - | - | 3,50 | 1650,00 | - | - |
| 75 | 2,50 | 1150,00 | 1,80 | 800,00 | 0,30 | 50,00 |
| 90 | 0,10 | -50,00 | 0,10 | -50,00 | - | - |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshef*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 3 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 3

| Inclinação do elemento | Situação 3 - Luz natural céu encoberto, obstrução fachada oposta da abertura, voltada para Oeste 10h | | | | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura ref. 14,8 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 20,60 | 39,19 | 23,80 | 60,81 | 21,00 | 41,89 |
| 15 | 22,00 | 48,65 | 22,80 | 54,05 | 14,10 | -4,73 |
| 30 | 15,70 | 6,08 | 14,50 | -2,03 | 8,40 | -43,24 |
| 45 | 9,40 | -36,49 | 7,00 | -52,70 | 6,80 | -54,05 |
| 60 | 4,10 | -72,30 | 4,70 | -68,24 | 5,40 | -63,51 |
| 75 | 3,00 | -79,73 | 3,50 | -76,35 | 4,20 | -71,62 |
| 90 | 2,10 | -85,81 | 2,50 | -83,11 | - | - |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshelf*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 4 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 4.

| Inclinação do elemento | Situação 4 - Luz natural, obstrução na fachada da abertura, voltada para Leste 10:20h | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura ref. 2,0 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 1,80 | -10,00 | 3,00 | 50,00 | 18,80 | 840,00 |
| 15 | 1,90 | -5,00 | 6,20 | 210,00 | 11,20 | 460,00 |
| 30 | 3,30 | 65,00 | 7,50 | 275,00 | 12,90 | 545,00 |
| 45 | 7,80 | 290,00 | 15,30 | 665,00 | 15,10 | 655,00 |
| 60 | 28,00 | 1300,00 | 36,20 | 1710,00 | 13,90 | 595,00 |
| 75 | 21,50 | 975,00 | 17,60 | 780,00 | 3,40 | 70,00 |
| 90 | 3,90 | 95,00 | 2,10 | 5,00 | 2,00 | 0,00 |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshelf*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 5 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 5.

| Inclinação do elemento | Situação 5 - Luz natural janela sem obstrução orientada ao Sul - 12:20h | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura ref. = 47 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 41,70 | -11,28 | 50,00 | 6,38 | 44,00 | -6,38 |
| 15 | 56,00 | 19,15 | 65,00 | 38,30 | 41,60 | -11,49 |
| 30 | 80,00 | 70,21 | 80,30 | 70,85 | 37,00 | -21,28 |
| 45 | 90,00 | 91,49 | 84,00 | 78,72 | 35,70 | -24,04 |
| 60 | 61,00 | 29,79 | 47,00 | 0,00 | 20,80 | -55,74 |
| 75 | 15,70 | -66,60 | 12,70 | -72,98 | 11,10 | -76,38 |
| 90 | 9,20 | -80,43 | 7,00 | -85,11 | 0,00 | -100,00 |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshelf*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 6 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 6.

| Inclinação do elemento | Situação 6 - Luz natural, janela sem obstrução, orientada ao Sul - 12:30h com plenum espelhado até 50% da profundidade da sala | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|-----------|-------------|
| | Leitura de ref. = 72 lux | | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | Hiperbole | % hiperbole |
| 0 | 80,00 | 11,11 | 122,00 | 69,44 | 108,00 | 50,00 |
| 15 | 134,00 | 86,11 | 150,00 | 108,33 | 102,00 | 41,67 |
| 30 | 194,00 | 169,44 | 186,00 | 158,33 | 76,00 | 5,56 |
| 45 | 193,00 | 168,06 | 203,00 | 181,94 | 84,00 | 16,67 |
| 60 | 142,00 | 97,22 | 158,00 | 119,44 | 38,00 | -47,22 |
| 75 | 65,00 | -9,72 | 53,00 | -26,39 | 20,00 | -72,22 |
| 90 | 19,00 | -73,61 | 17,00 | -76,39 | 0,00 | -100,00 |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightshelf*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 7 - Leituras em lux no fundo do modelo - Situação 7.

| Inclinação do elemento | Situação 7 - Luz natural - janela sem obstrução, orientada ao Sul - 12:30h com plenum branco até 50% da profundidade da sala | | | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|--|
| | Leitura de ref.= 27 lux | | | | |
| | Plana | % Plana | Parábola | % Parábola | |
| 0 | 29,00 | 7,41 | 37,00 | 37,04 | |
| 15 | 40,00 | 48,15 | 50,00 | 85,19 | |
| 30 | 64,00 | 137,04 | 59,00 | 118,52 | |
| 45 | 60,00 | 122,22 | 52,00 | 92,59 | |
| 60 | 37,00 | 37,04 | 20,00 | -25,93 | |
| 75 | 18,00 | -33,33 | 11,00 | -59,26 | |
| 90 | 9,00 | -66,67 | 7,00 | -74,07 | |

Obs: a variação percentual é relacionada com a medição inicial, sem a *lightsheif*, indicada abaixo da descrição da situação.

Tabela A 8 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 10h.

| MODELO VIRTUAL ANALISADO - simulação 10horas | DISTÂNCIA DA JANELA - METROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Equipamento de redirecionamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LS 15g com obst | 78 | 75 | 84 | 86 | 82 | 74 | 66 | 58 | 46 | 38 | 32 | 28 | 24 | 21 | 19 | 17 | 15 | 14 | 14 | 14 |
| LS 15g sem obst | 1049 | 1275 | 1428 | 1485 | 1400 | 1251 | 1090 | 982 | 768 | 605 | 484 | 416 | 323 | 275 | 241 | 222 | 193 | 183 | 182 | 183 |
| Sem LS com obst | 244 | 205 | 158 | 131 | 94 | 74 | 59 | 46 | 38 | 31 | 26 | 23 | 19 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 10 | 10 |
| Sem LS sem obst | 3977 | 3899 | 3160 | 2344 | 1817 | 1395 | 1075 | 868 | 721 | 561 | 470 | 381 | 320 | 259 | 239 | 201 | 178 | 170 | 171 | 236 |
| LS 45g com obst | 80 | 75 | 83 | 85 | 81 | 73 | 65 | 57 | 46 | 39 | 33 | 28 | 25 | 22 | 19 | 17 | 16 | 14 | 15 | 15 |
| LS 45g sem obst | 1109 | 1269 | 1380 | 1411 | 1325 | 1181 | 1029 | 927 | 727 | 580 | 463 | 389 | 308 | 263 | 231 | 206 | 184 | 174 | 171 | 169 |
| LS 00g com obst | 72 | 67 | 74 | 76 | 72 | 65 | 57 | 50 | 40 | 33 | 28 | 24 | 21 | 18 | 16 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 |
| LS 00g sem obst | 982 | 1219 | 1349 | 1403 | 1314 | 1178 | 1022 | 921 | 714 | 559 | 446 | 370 | 294 | 249 | 216 | 203 | 173 | 163 | 161 | 158 |

LEGENDA:

LS - "lightshelf"

Obst - obstrução

Tabela A 9 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 12 h

| MODELO VIRTUAL ANALISADO - simulação 12 h | DISTÂNCIA DA JANELA - METROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Equipamento de redirecionamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LS 15g com obst | 96 | 85 | 96 | 98 | 95 | 85 | 75 | 66 | 53 | 44 | 37 | 32 | 28 | 24 | 21 | 19 | 17 | 16 | 16 | 17 |
| LS 15g sem obst | 547 | 652 | 779 | 851 | 826 | 750 | 659 | 594 | 467 | 372 | 299 | 254 | 203 | 174 | 155 | 145 | 124 | 119 | 116 | 114 |
| Sem LS com obst | 271 | 233 | 161 | 135 | 108 | 85 | 68 | 53 | 44 | 37 | 31 | 27 | 22 | 19 | 16 | 15 | 13 | 12 | 12 | 12 |
| Sem LS sem obst | 1116 | 1196 | 1171 | 1000 | 796 | 608 | 479 | 361 | 356 | 270 | 202 | 165 | 136 | 122 | 100 | 84 | 74 | 70 | 76 | 143 |
| LS 45g com obst | 88 | 89 | 99 | 102 | 98 | 89 | 78 | 68 | 56 | 46 | 39 | 34 | 30 | 26 | 23 | 21 | 19 | 17 | 18 | 18 |
| LS 45g sem obst | 552 | 645 | 765 | 831 | 808 | 734 | 647 | 583 | 464 | 372 | 302 | 259 | 209 | 180 | 162 | 153 | 133 | 129 | 128 | 125 |
| LS 00g com obst | 87 | 75 | 83 | 86 | 82 | 74 | 65 | 57 | 46 | 38 | 32 | 27 | 24 | 20 | 18 | 16 | 15 | 13 | 14 | 14 |
| LS 00g sem obst | 424 | 488 | 571 | 618 | 597 | 540 | 474 | 429 | 337 | 268 | 215 | 176 | 145 | 123 | 113 | 107 | 87 | 84 | 83 | 83 |

LEGENDA:
LS - "lightshelf"
Obst - obstrução

Tabela A 10 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 14 h.

| MODELO VIRTUAL ANALISADO simulação 14 h | DISTÂNCIA DA JANELA - METROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Equipamento de redirecionamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LS 15g com obst | 100 | 88 | 99 | 103 | 99 | 89 | 78 | 69 | 55 | 46 | 39 | 34 | 29 | 25 | 23 | 20 | 18 | 17 | 17 | 18 |
| LS 15g sem obst | 267 | 297 | 334 | 352 | 339 | 307 | 270 | 240 | 194 | 159 | 131 | 123 | 93 | 81 | 73 | 67 | 62 | 60 | 59 | 58 |
| Sem LS cem obst | 277 | 266 | 193 | 159 | 129 | 102 | 81 | 63 | 49 | 44 | 37 | 32 | 26 | 23 | 20 | 17 | 15 | 14 | 14 | 15 |
| Sem LS sem obst | 741 | 916 | 812 | 719 | 603 | 443 | 314 | 261 | 266 | 208 | 183 | 167 | 101 | 100 | 87 | 68 | 59 | 58 | 60 | 114 |
| LS 45g com obst | 104 | 93 | 105 | 109 | 104 | 95 | 83 | 73 | 59 | 50 | 42 | 37 | 32 | 28 | 25 | 22 | 20 | 19 | 19 | 20 |
| LS 45g sem obst | 292 | 324 | 365 | 384 | 369 | 335 | 296 | 262 | 214 | 175 | 145 | 124 | 103 | 91 | 95 | 76 | 72 | 70 | 70 | 66 |
| LS 00g com obst | 90 | 78 | 87 | 89 | 86 | 78 | 68 | 60 | 48 | 40 | 34 | 29 | 26 | 22 | 20 | 18 | 16 | 15 | 15 | 16 |
| LS 00g sem obst 1 | 225 | 241 | 264 | 275 | 262 | 237 | 208 | 185 | 150 | 123 | 102 | 90 | 73 | 63 | 60 | 63 | 49 | 47 | 48 | 48 |

LEGENDA:
LS - "lightshelf"
Obst - obstrução

Tabela A 11 - Níveis de iluminação em Lux - modelo virtual às 16h.

| MODELO VIRTUAL ANALISADO - simulação as 16 h | DISTÂNCIA DA JANELA - METROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Equipamento de redirecionamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LS 15g com obst | 60 | 51 | 57 | 58 | 55 | 51 | 45 | 39 | 32 | 28 | 24 | 21 | 18 | 15 | 14 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 |
| LS 15g sem obst | 113 | 123 | 135 | 140 | 134 | 123 | 109 | 95 | 78 | 65 | 57 | 53 | 41 | 36 | 32 | 29 | 27 | 26 | 27 | 27 |
| Sem LS com obst | 161 | 125 | 118 | 96 | 75 | 60 | 48 | 38 | 31 | 27 | 23* | 19 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 | 9 | 9 |
| Sem LS sem obst | 286 | 373 | 339 | 297 | 250 | 189 | 150 | 118 | 122 | 79 | 65 | 63 | 57 | 47 | 38 | 32 | 28 | 27 | 28 | 38 |
| LS 45g com obst | 64 | 54 | 60 | 61 | 58 | 53 | 47 | 40 | 34 | 29 | 25 | 22 | 19 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 |
| LS 45g sem obst | 113 | 120 | 130 | 133 | 127 | 116 | 102 | 89 | 73 | 60 | 53 | 48 | 37 | 34 | 34 | 31 | 26 | 25 | 25 | 25 |
| LS 00g com obst | 55 | 46 | 50 | 51 | 49 | 44 | 39 | 34 | 28 | 24 | 21 | 19 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 | 10 | 10 |
| LS 00g sem obst | 103 | 112 | 122 | 125 | 120 | 109 | 96 | 85 | 69 | 61 | 52 | 41 | 35 | 31 | 28 | 25 | 23 | 23 | 23 | 21 |

LEGENDA:
 LS - "lightshelf"
 Obst - obstrução