



**III ENCONTRO NACIONAL  
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

## **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ABERTURAS ZENITAIS PARA O APROVEITAMENTO DA LUZ SOLAR DIRETA**

Luciana Maria Roncalio e Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD

Universidade Federal de Santa Catarina

Dept. de Arquitetura e Urbanismo - Laboratório de Conforto Ambiental

88.040-900 Florianópolis/SC - BRASIL

Tel.: (048) 231-9741 Fax: (048) 231-9770

### **RESUMO**

O uso da luz natural para iluminação de edifícios é uma das estratégias mais efetivas para favorecer a redução da demanda energética em construções, e garantir maior qualidade aos ambientes. O objetivo deste estudo é projetar e analisar dois sistemas arquitetônicos (átrio + abertura zenital) quanto a sua adequabilidade e potencialidade, em aproveitar eficientemente a luz do sol como fonte de luz natural. As análises e os resultados obtidos mostram-se bastante encorajadores do ponto de vista da capacidade de sombreamento e redirecionamento da luz do sol nos sistemas propostos, apontando para conclusões importantes numa área sem tradição de pesquisa no Brasil.

### **ABSTRACT**

The use of daylight in buildings is one of the most effective strategies to help saving energy and to provide better quality for the built environment. The objective of this study is to design and analyse two architectonics elements (atriums + zenital aperture) in their potenciality in efficiently using sunlight as a natural light source. The obtained results are promising in the point of view of shading and sunlight redirection capabilities, showing important conclusions in an area with little research tradition in Brazil.

### **PALAVRAS CHAVE '**

Abertura zenital; sistemas espelhados; luz solar; aproveitamento energético

## **INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

Vários autores têm apresentado e discutido as potencialidades de uma tecnologia emergente de iluminação - iluminação solar direta (Lam, 1986; Pereira, 1993). Vários tipos de sistemas de iluminação bastante inovativos têm sido propostos no sentido de levar a luz natural até espaços sem acesso direto a aberturas, e possibilitar o controle da distribuição da luz direta do sol, utilizando-a como fonte de iluminação. Esta nova tecnologia apresenta grande potencial em termos de economia de energia no ambiente construído, especialmente em regiões com elevado número de horas de sol.

Utilizando-se a energia solar como energia alternativa pode-se pensar num desenvolvimento sustentável, no qual se utiliza recursos naturais sem prejuízo do meio ambiente, proporcionando qualidade de vida; hoje, isto é conceito de desenvolvimento.

A quantidade de luz contida em 1 m<sup>2</sup> de luz do sol poderia garantir, caso uniformemente distribuída, em torno de 500 lux de iluminação sobre uma área de 200 m<sup>2</sup>! Entretanto, o alto conteúdo energético (luz e calor) da luz solar é geralmente excluído de ambiente construído devido aos possíveis efeitos adversos:

- ⊗ ambiente térmico (superaquecimento);
- ⊗ ambiente lumínico (ofuscamento);
- ⊗ integridade física dos materiais.

Este alto conteúdo energético associado ao atributo de colimação da luz solar são exatamente os principais aspectos a serem considerados para o uso racional da luz direta do sol como fonte luminosa para o ambiente construído. Desta forma, pequenas aberturas devem ser suficientes para o adequado aproveitamento desta vasta quantidade de luz, que de uma outra forma seria ineficientemente desperdiçada de encontro as fachadas opacas. O uso da componente direta da radiação solar como técnica de iluminação natural pode ser denominada de “projeto adaptado à luz solar direta”.

Neste sentido, o principal objetivo desta tecnologia é o de proporcionar luz natural em quantidade adequada com pequeno ganho de calor solar.

Hoje em dia, a arquitetura de edificações comerciais, tais como: “shopping-centers”, hotéis e escritórios, tem lançado mão de grandes poços centrais (átrios) para levar luz a porções centrais de edifícios, que de outra forma não teriam acesso direto a aberturas. Geralmente, a abertura superior (zenital) é fechada com elementos transparentes (vidro ou similar), ocasionando um tremendo ganho de calor solar e contribuindo excessivamente na carga térmica. Este estudo se propõe a investigar estes elementos arquitetônicos sob a ótica da iluminação solar direta.

Desta forma, o objetivo geral deste estudo é o de analisar o elemento arquitetônico composto por átrio + abertura zenital quanto a sua adequabilidade e potencialidade em aproveitar a luz do sol como fonte de luz e seu comportamento em termos de ganho de calor solar.

Lam (1986) também afirma que uma vantagem significativa da iluminação natural é a liberdade para dispor as fontes de luz natural onde quer que a iluminação seja desejada. Esta flexibilidade faz com que seja relativamente simples se conseguir uma distribuição uniforme da luz no ambiente construído.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia utilizada está baseada nas vantagens de se usar modelos físicos em escala reduzida para estudos de iluminação natural e ganho de calor solar através de aberturas (Schiler, 1987 e Pereira, 1993); esta técnica é especialmente indicada para análise de geometrias complexas. O presente estudo foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- Levantamento de material bibliográfico e exemplos arquitetônicos;
- Projeto de dois sistemas zenitais para diferentes orientações (N-S e L-O);
- Avaliações das possibilidades de penetração e direcionamento da luz solar, realizadas através de modelos em escala reduzida (maquetes) dos sistemas propostos;
- Realização de medições de iluminação natural na base do átrio nos modelos reduzidos com céu real para os dois sistemas;
- Desenvolvimento de estimativas do ganho de calor solar nas diferentes soluções (a ser ainda desenvolvida);

## **PROPOSTA DOS SISTEMAS DE ABERTURAS**

O estudo teve início a partir de um levantamento de material bibliográfico e de exemplos arquitetônicos significativos relacionados a iluminação solar direta. Na maioria dos exemplos encontrados a abertura superior zenital é fechada com elementos transparentes - vidro ou similar - ocasionando ganho de calor solar e contribuindo significativamente na carga térmica. Esta primeira etapa tinha como objetivos, uma familiarização com o tema e a busca de fundamentos para o projeto e posterior análise de dois sistemas zenitais destinados ao aproveitamento da luz solar direta.

Os dois sistemas zenitais projetados são compostos por um átrio e uma abertura zenital, sendo que cada um destina-se a uma orientação solar diferente e específica para cada sistema.

O primeiro sistema foi projetado para orientação Norte-Sul e é complementado por um conjunto de venezianas triangulares espelhadas, cuja geometria é responsável pelo redirecionamento e controle da distribuição da luz direta do sol. O conjunto de venezianas triangulares espelhadas foi testado primeiramente de forma gráfica e funciona admitindo os raios de sol (alturas solares abaixo de  $40^\circ$ ) ou refletindo-os para o ambiente exterior ao edifício de acordo com o necessário (alturas solares acima de  $60^\circ$ ). No inverno quando os raios de sol são bem vindos e podem contribuir para diminuição da carga de aquecimento no ambiente construído, o sistema se encarrega de capturar os raios e redirecioná-los para o interior da edificação. No verão, quando é preferível que os raios solares não entrem na edificação, o sistema funciona redirecionando-os para o exterior, contribuindo nesse caso, para diminuição da carga de refrigeração no ambiente construído (Figura 1).

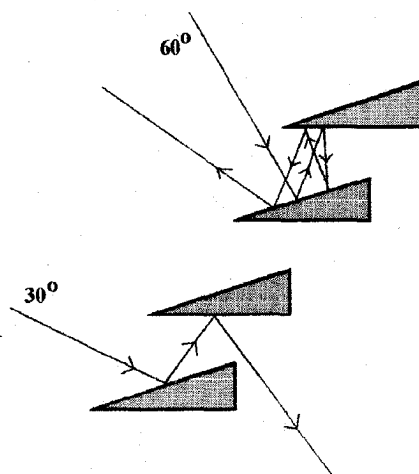


Figura 1: Desenho esquemático das venezianas propostas para o sistema 1 (modelo 1).

Para construção da veneziana triangular espelhada, foi preciso encontrar uma material rígido capaz de ser modelado de acordo com a geometria da peça e que pudesse ser revestido por uma película espelhada autocolante (3M). O material que melhor alcançou os objetivos foram radiografias; é rígido, relativamente fácil de dobrar de acordo com a forma projetada para veneziana, e ao mesmo tempo possui superfície lisa, resultando num bom acabamento para película espelhada. Para este trabalho de revestimento das venezianas foi preciso muito cuidado, devido à sensibilidade do material e ao fato de que arranhões e poeira na superfície espelhada, podem alterar os resultados das medições de iluminação.

O segundo sistema foi projetado para orientação Leste-Oeste e é complementado por um sistema de lâminas difusoras de luz, cuja geometria e espaçamento, do mesmo modo que no sistema anterior, são responsáveis pelo redirecionamento e controle da distribuição da luz direta do sol. Este sistema também foi testado primeiramente de forma gráfica. A dimensão da abertura e a inclinação não permitem a penetração dos raios de sol em momento algum. Quando os raios incidem sobre a abertura, as lâminas difusoras de luz se encarregam de redistribuir os raios solares no ambiente, aumentando significativamente o nível de iluminação no interior da edificação (Figura 2).

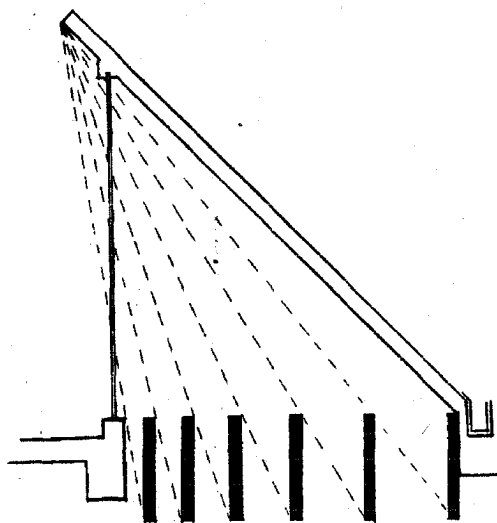


Figura 2: Desenho esquemático do sistema 2 (modelo 2).

Para confecção da lâminas difusoras de luz o processo foi bem mais fácil. Seu tamanho foi definido de forma gráfica - geometria Euclidiana (Moore, 1991) e o material utilizado foi papelão rígido branco, pois a exigência era que o material apresentasse um bom coeficiente de reflexão.

Após a conclusão do projeto dos sistemas zenitais, objetivando uma análise mais detalhada da adequabilidade e potencialidade em aproveitar eficientemente a luz do sol como fonte de luz natural, partiu-se para confecção de modelos em escala reduzida (maquetes) dos sistemas propostos.

O uso de modelos em escala para o estudo da luz natural é especialmente valioso no sentido de verificar a validade dos sistemas propostos, ou ainda como um fator de revisão para os cálculos estimados. Os fatores resultantes da iluminação natural podem ser usados para testar métodos de iluminação natural em interiores e formas alternativas de uso de energia. Como mais um aspecto favorável, pode-se ainda desenvolver avaliações qualitativas do interior do modelo.

No entanto, uma série de itens devem ser observados quando se pretende utilizar modelos em escala para fazer medições de iluminação. Uma boa dose de paciência deve ser despendida num estudo deste tipo, uma vez que tanto as medidas quanto as condições do céu devem ser checadas continuamente. Maiores detalhes podem ser encontrados em Moore (1991), Robbins (1986) e Lam (1986).

O modelo utilizado para o estudo foi executado em Eucatex para base e papelão rígido para as laterais e fechamento superior. É importante ressaltar que a forma volumétrica escolhida para maquete foi definida de acordo com dimensões médias para um átrio central, pois o objetivo da elaboração da mesma era de enfatizar os sistemas de aberturas propostos e verificar sua adequabilidade.

Na base e nas laterais foram feitos pequenos orifícios com tampas móveis, planejando-se desta forma, a posição das medições antecipadamente. Estes orifícios servem para que se possa introduzir fotocélulas e/ou luxímetro para fazer medições de iluminação natural. Todas as juntas do modelo foram seladas de modo que não houvesse passagem de luz por nenhuma delas.

Na parte superior da maquete, configurando o átrio, é que se localiza o elemento de iluminação natural. Portanto existem dois fechamentos superiores diferentes, um para cada elemento de iluminação zenital. As partes superiores da maquete são removíveis e podem ser trocadas de acordo com a necessidade; isto com o objetivo de facilitar a análise. O modelo foi confeccionado na escala 1:40 (ver Figura 3 (a) e (b)).

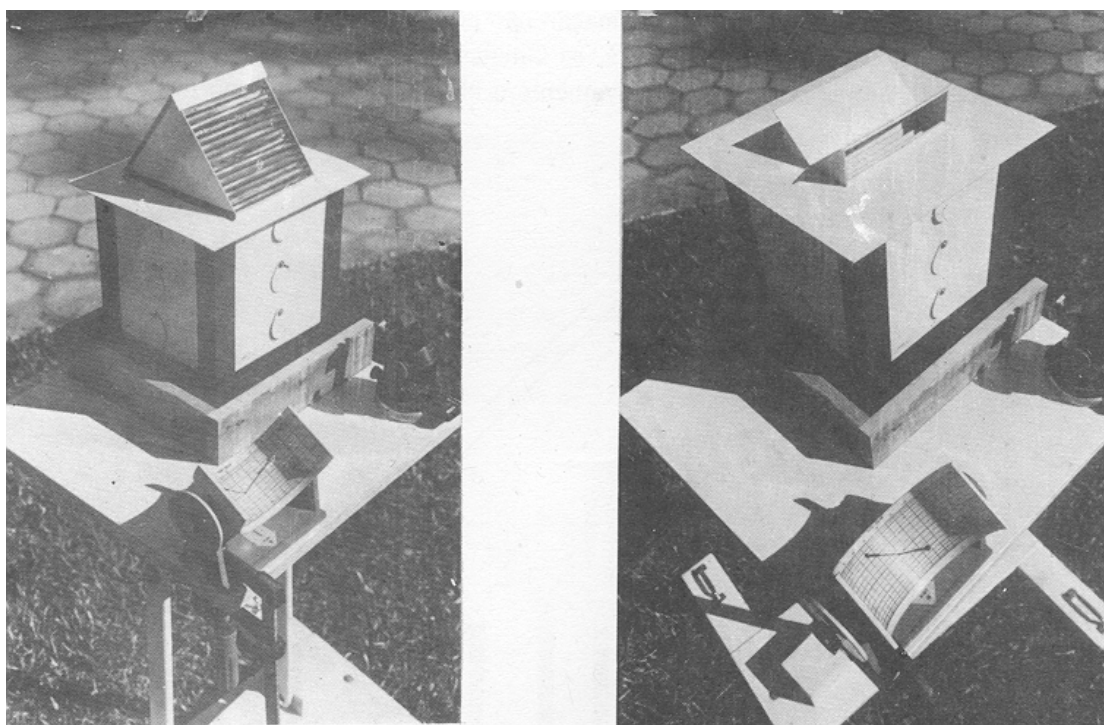


Figura 3: (a) Modelo 1, orient. N/S (persianas espelhadas) (b) Modelo 2, orientação L/O (lâminas internas).

## DESENVOLVIMENTO DAS MEDIÇÕES

Depois de concluída a maquete, tiveram início as medições dos níveis de iluminação natural no interior da mesma, com o objetivo de verificar a distribuição dos níveis de iluminação interno.

As medidas foram efetuadas sob céu real, utilizando-se uma estrutura com plataforma móvel para apoiar a maquete. Sobre a plataforma também foi colocado um relógio de sol; para posicionar a maquete na data e horário desejados; e um aparelho (compasso astronômico) para leitura dos ângulos de altura solar e de azimute. Foram realizadas medições para as seguintes datas e horários: 21 dez/10:00h, 21 jun/10:00h, 21 dez/12:00h, 21 jun/12:00h, 21 mar/12:00h, 21 dez/14:00h e 21 jun/14:00h. Para cada data e horário foram feitas medidas de iluminação natural colocando a fotocélula do luxímetro (Pan Lux 2) nos orifícios existentes da maquete. O modelo possui 9 (nove) orifícios na base e 3 (três) orifícios em cada lateral, totalizando 21 (vinte e uma) medições de nível de iluminação interna. Também foi registrado simultaneamente o nível de iluminação exterior para cada rodada de medições.

Todas as medições foram registradas numa tabela para posterior análise. Algumas das situações são apresentadas e discutidas nos gráficos a seguir (Figuras 4 e 5).

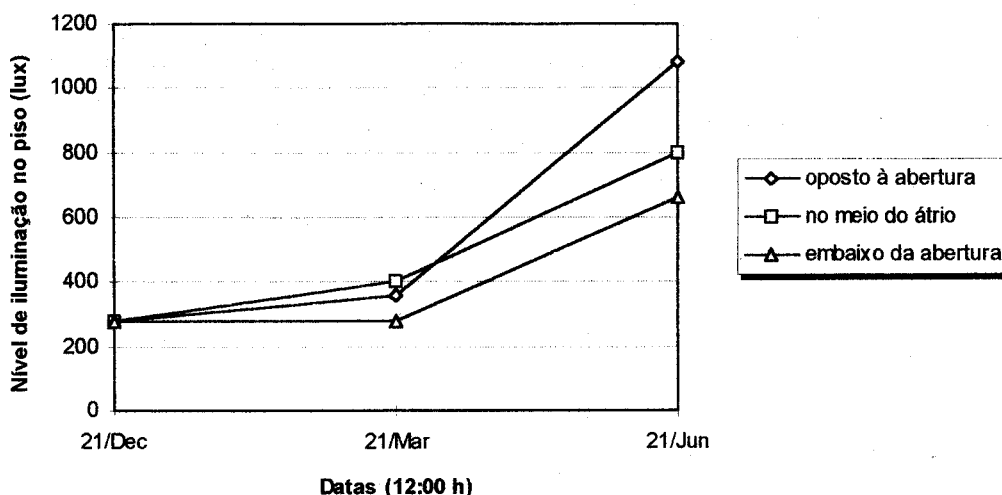


Figura 4: Nível de iluminação ao nível do piso, no modelo 1 (N/S), em 3 pontos da linha central do átrio para 3 datas (12:00h).

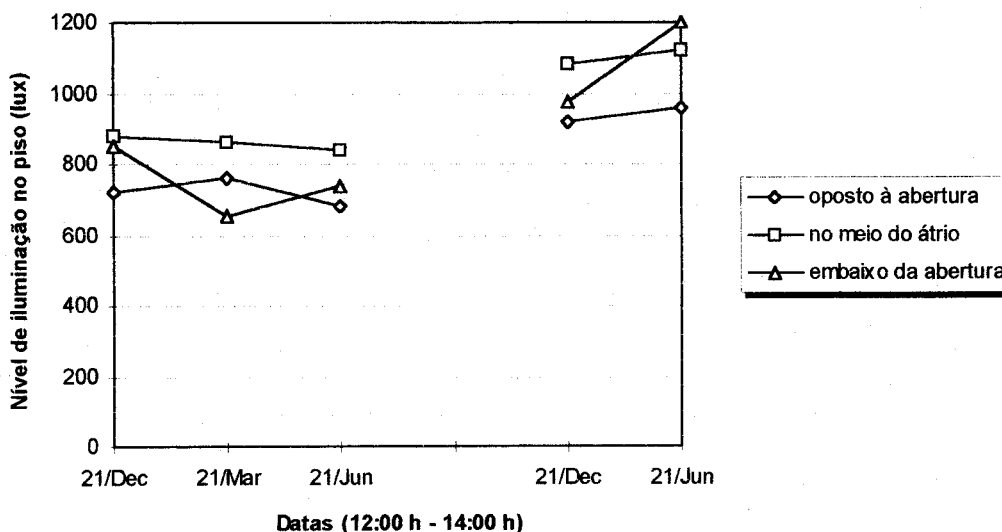


Figura 5: Nível de iluminação ao nível do piso, no modelo 2 (L/O), em 3 pontos da linha central do átrio para 3 datas (12:00h) e 2 datas (14:00h).

De maneira geral, os valores obtidos confirmaram as expectativas; a Figura 4 mostra claramente a capacidade do sistema de venezianas espalhadas (angularmente seletivas) em redirecionar a luz direta do sol com altura abaixo de  $40^\circ$  (21/jun), produzindo um significativo aumento nos níveis de iluminação internos. Os níveis mais reduzidos em

21/dez, ocasião na qual o sol atinge sua maior altura, refletem a efetiva redução da admissão de luz solar (consequentemente de ganho de calor solar) pelo fenômeno de reflexões múltiplas no sistema.

A Figura 5 demonstra a potencialidade do sistema (modelo 2) em redirecionar luz solar (por reflexão difusa nas lâminas), através dos níveis de iluminação mais elevados no horário das 14:00hs com relação ao das 12:00hs.

## CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados experimentais iniciais obtidos através de medições da distribuição da iluminação em modelos. Foram testados dois tipos distintos de aberturas zenitais associados a átrios para avaliar a potencialidade destes sistemas em utilizar a luz direta do sol como fonte de iluminação sem contudo contrair em excesso na carga térmica. Numa etapa subsequente, serão realizados experimentos, também com o uso de modelos em escala, para avaliar o ganho de calor solar proporcionados pelos sistemas de aberturas estudados (Pereira, 1993).

O desenvolvimento deste estudo de iluminação, exigiu muita paciência e dedicação uma vez que os dados (medidas) precisam ser checados pelo menos uma vez, as condições do céu devem ser checadas constantemente, bem como a sincronia dos diversos elementos que compõem o desenvolvimento das medições (posicionamento do modelo, relógio de sol, altura solar, ângulo de azimute, orientação solar do modelo).

Uma das vantagens deste enfoque (medições em maquetes) sobre a simulação computacional, por exemplo, é a de possibilitar a avaliação de sistemas de geometria e comportamento radiante complexos, que exigiriam programas complexos associados a grande capacidade computacional.

## Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o auxílio de bolsa de pesquisa fornecida pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação / Departamento de Apoio à Pesquisa da UFSC.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LAM, W. M. C. *Sunlighting as Formgiver for Architecture*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1986
2. MOORE, Fuller. *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
3. PEREIRA, F.O.R.. Luz Solar Direta: Tecnologia para Melhoria do Ambiente Lumínico e Economia de Energia na Edificação, In: *Anais do II Encontro de Conforto no Ambiente Construído, ANTAC - SOBRAC - ABERGO*, Florianópolis/SC, 1993, p. 257-267.
4. PEREIRA, F.O.R. Desenvolvimento de um aparato experimental para medição do ganho de calor solar de sistemas de aberturas complexas em modelos reduzidos. In: *ENTAC'93: Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações*, USP/POLI, ANTAC, São Paulo, 1993, p. 803-814.
5. ROBBINS, C. L. *Daylighting: Design and Analysis*. Van Nostrand Reinhold Co., New York. 1986.
6. SCHILER, Marc. "Simulating Daylight with Architectural Models". U.S. Dept. of Energy, University of Southern California, 1987.