



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS PARA O PROJETO E CONTROLE DE UM SISTEMA DE PERSIANAS ESPELHADAS

Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD

Universidade Federal de Santa Catarina - Dept^o de Arq. e Urb. - Lab. de Conforto Ambiental

CEP 88040-900 Florianópolis - SC - BRASIL

☎ (048) 231-9741 📠 (048) 231-9770 E-mail: arq1for@ibm.ufsc.br

RESUMO

Sistemas de aberturas têm sido propostos no sentido de captar e redirecionar a luz solar como fonte de luz natural, sem contribuir excessivamente na carga térmica.

Persianas espelhadas são um dos exemplos mais comuns de sistemas de reflexão especular. As superfícies devem ser ajustadas regularmente para manter sua capacidade de sombreamento e manter a iluminação a uma profundidade constante no espaço. Portanto, é necessário definir claramente a relação geométrica a ser mantida entre o sol, o sistema de persianas e o ambiente.

Este artigo apresenta um desenvolvimento matemático para a análise destas relações, culminando num nomograma bastante prático para auxiliar o projeto e controle de sistemas de persianas horizontais espelhadas.

ABSTRACT

Fenestration systems have been proposed in order to capture and direct sunlight to use as a light source, with minimum penalties in cooling loads.

Mirrored louvres are one of the most usual specular reflecting systems. Its slats must be regularly adjusted in order to keep its shading efficiency and to keep the beam at a constant depth into the room. Therefore, it is required a clear geometric definition among the sun, the louvre system and the room.

This paper presents a mathematical formulation to analyse these geometric relations, which has produced a practical nomogram to give guidance in the design and control of a specular reflecting louvre system.

PALAVRAS-CHAVE

Iluminação natural; luz solar, persianas espelhadas; aberturas

INTRODUÇÃO

A proposição de “canalizar”, ou melhor, captar e redirecionar a luz direta do sol é tecnologicamente excitante; muitos sistemas de aberturas têm sido propostos no sentido de aproveitar a luz direta do sol como fonte de luz natural sem, contudo, contribuir em excesso na carga térmica (Pereira, 1993).

Uma das maneiras mais simples de redirecionar a luz colimada do sol é utilizar superfícies que apresentam reflexão especular (espelhadas). O exemplo mais comum de sistemas de reflexão especular são persianas horizontais espelhadas. Como qualquer outro sistema baseado em espelhos, estas superfícies devem ser ajustadas regularmente de acordo com a posição do sol para garantir sua eficiência, ou seja, manter sua capacidade de sombreamento prevenindo que a luz solar passe direto entre as superfícies e manter a iluminação a uma profundidade constante no espaço. Desta maneira, é necessário definir claramente a relação geométrica a ser mantida entre o sol, o sistema de persianas e o ambiente interno.

A energia radiante admitida num ambiente interno afeta tanto as condições térmicas como luminicas. A interação entre as condições resultantes e as exigências humanas governam o uso de energia na edificação. Sistemas de aberturas, vistos como elementos de controle da admissão da radiação solar, corretamente projetados e operados, podem reduzir o ganho de calor solar e, conseqüentemente, reduzir as temperaturas de pico. Por outro lado, vistos como dispositivos de iluminação natural, estes sistemas podem modificar a admissão de luz proporcionando um ambiente mais agradável e produtivo.

Portanto, uma estimativa precisa do modo como sistemas de aberturas se comportam, quando expostos a um fluxo radiante incidente, é de extrema importância para a avaliação de conforto do usuário e do uso de energia no ambiente construído.

REFERENCIAL TEÓRICO

Um sistema de persianas horizontais, parcialmente aberto, transmite, absorve e reflete a radiação incidente sobre ele. Esta ação ocorre da seguinte forma: parte da radiação é diretamente transmitida por entre as lâminas (1) enquanto a outra parte encontra a superfície da lâmina; a radiação que incide na lâmina é parcialmente absorvida e refletida. Logo em seguida, parte da parcela refletida segue para o ambiente interno (2), parte vai para fora (3) e o resto incide nas lâminas adjacentes (4); novamente aqui é parcialmente absorvida e refletida (para dentro (5) e para fora (6) (ver Figura 1).

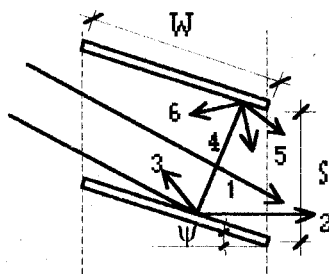


Figura 1: Caminhos para a radiação incidente sobre um sistema de persianas.

A magnitude e distribuição da radiação transmitida, absorvida e refletida (para dentro e fora) depende de: (i) fonte da radiação; (ii) geometria da persiana; (iii) absorvidade e refletividade da superfície da persiana.

O cálculo preciso das parcelas resultantes da radiação incidente sobre o sistema de persiana é necessário para a avaliação final das condições térmicas e distribuição da luz natural no espaço interno. Embora um sistema de persianas atue como um elemento de passagem da radiação que é admitida por uma edificação, a cavidade da persiana assemelha-se à cavidade de um ambiente interno. Portanto, a maioria dos métodos utilizados para descrever o comportamento radiante de envoltentes fechadas são aplicáveis tanto para as persianas como para salas internas de um edifício.

CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS

A Figura 2 apresenta a idéia básica de se usar persianas com reflexão especular (espelhadas) para simultaneamente reduzir o ganho solar e aumentar a penetração da luz natural, em ambientes iluminados lateralmente, pelo redirecionamento da luz direta do sol na direção de refletores difusos secundários (forro). Desta maneira, é bastante importante uma definição clara das relações geométricas existentes entre o sol, o sistema de persianas e o ambiente interno.

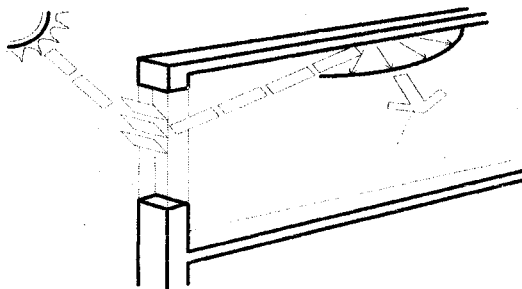


Figura 2: O conceito de reflexão da luz solar direta para dentro do espaço.

Os ângulos principais a serem considerados neste processo de reflexão são:

- γ_s = altura do sol
- γ_r = altura da reflexão
- β_s = diferença azimutal
- β_r = diferença azimutal da reflexão
- θ_i = ângulo de incidência
- θ_o = ângulo de reflexão
- ϕ = ângulo de perfil
- ϕ_r = ângulo de perfil da reflexão
- ψ = inclinação da lâmina

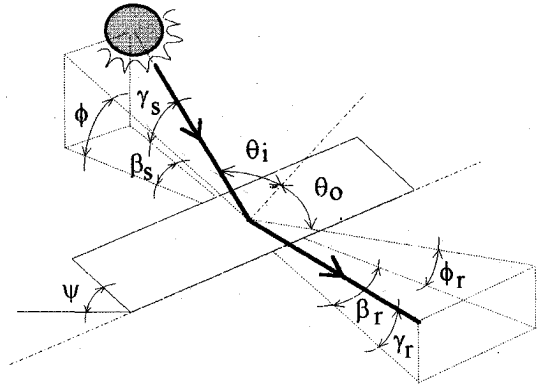


Figura 3: Luz do sol incidente e reflexão especular numa persiana.

Assumindo-se uma reflexão especular perfeita, θ_i e θ_r são iguais e podem ser calculados por:

$$\theta_{i,r} = \cos^{-1}(\sin \gamma_s \cos \psi - \cos \gamma_s \cos \beta_s \sin \psi) \quad (1)$$

Entretanto, o ângulo mais importante é o ângulo de perfil da reflexão, ϕ_r , que define como se dará a penetração da luz solar. Outros dois parâmetros importantes são a taxa de luz solar refletida para cima pela luz solar incidente sobre a lâmina refletora, R_c , e a taxa do espaçamento entre as lâminas compreendido pelo raio de luz solar refletida pelo espaçamento real entre as lâminas, v (ver Figura 4).

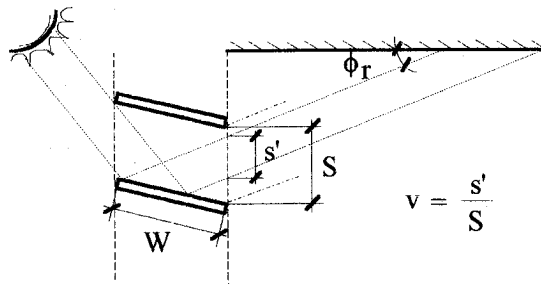
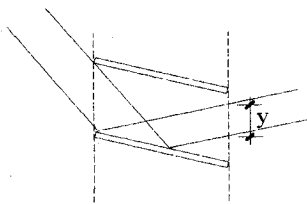


Figura 4: Luz solar refletida diretamente para a porção superior do ambiente interno

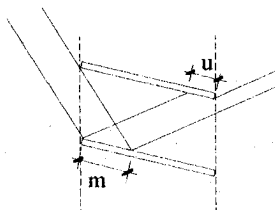
A taxa v em conjunto com ϕ_r permite a estimativa de quão eficiente é o sistema de persianas no redirecionamento (por reflexão) da luz direta do sol, cobrindo a maior área de forro possível. Para calcular as taxas R_c e v deve-se analisar as diferentes situações nas quais a reflexão da luz solar pode ocorrer (Kimura & Shukutani, 1979):

☀ *toda a luz solar refletida passa para dentro do espaço*



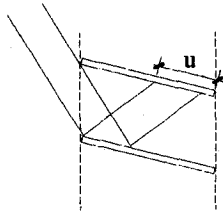
$$\begin{aligned} \bar{p} &= 0; \quad \bar{u} = 0 \\ \bar{y} &= \frac{y}{S} = \frac{W \cdot \sin(\phi - \psi)}{S \cdot \cos \phi_r} \\ R_c &= 1 \quad v = \bar{y} \end{aligned} \quad (3)$$

☀ *uma fração da luz solar refletida atinge a lâmina acima*



$$\begin{aligned} \bar{p} &= 0; \quad 0 < \bar{u} \leq \bar{m} \\ \bar{m} &= \frac{m}{W} = \frac{S}{W (\cos \psi \cdot \tan \phi - \sin \psi)} \\ R_c &= \frac{\bar{b}}{m} \quad v = \frac{\bar{b}}{(1 - \bar{u})} \quad \bar{b} = \bar{m} - \bar{u} \end{aligned} \quad (4)$$

☼ *toda a luz solar refletida atinge a lâmina acima*

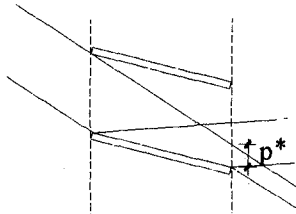


$$\bar{p} = 0; \quad \bar{m} < \bar{u}$$

$$\bar{u} = \frac{u}{W} = 1 - \frac{S}{W (\cos \psi \cdot \tan \phi_r + \sin \psi)} \quad (5)$$

$$Rc = 0 \quad v = 0$$

☼ *uma fração da luz solar incidente no plano da abertura é refletida e segue para dentro do espaço e o resto passa diretamente por entre as lâminas*



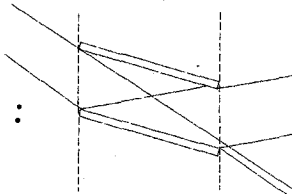
$$\bar{p} > 0; \quad \bar{u} = 0$$

$$\bar{p} = \frac{p}{S} = 1 - \frac{W \cdot \sin(\phi - \psi)}{S \cdot \cos \phi} \quad (6)$$

$$Rc = 1 - \bar{p} \quad v = \frac{\bar{y}}{m}$$

p^* definido por Parmelee & Aubele (1952) como Taxa de Abertura

☼ *uma fração da luz solar incidente passa diretamente por entre as lâminas, o restante reflete na lâmina espelhada e uma porção segue para dentro do espaço enquanto a outra atinge a lâmina acima*

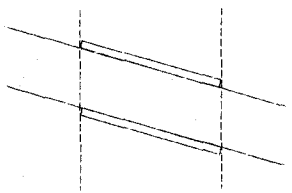


$$\bar{p} > 0; \quad \bar{u} > 0$$

$$Rc = (1 - \bar{p})(1 - \bar{u}) \quad (7)$$

$$v = 1$$

☼ *toda a luz solar incidente passa diretamente por entre as lâminas*



$$\bar{p} = 1; \quad \bar{u} = 0$$

$$Rc = 0$$

$$v = 0$$

O primeiro passo para a utilização de persianas refletoras consiste em definir corretamente a geometria do sistema de acordo com a latitude local.

A otimização se dá quando as taxas Rc e v são iguais a 1 (um), mas elas são normalmente menores que a unidade quando associadas a um ϕ_r desejado. Desta forma, a partir do conjunto de equações apresentados acima, foi construído um nomograma que permite ao projetista especificar a geometria da persiana para o melhor desempenho num dado local (ver Figura 5).

Outra aplicação possível para este conjunto de equações é de formar um algoritmo básico para um sistema automático de ajuste das persianas.

A partir do nomograma pode-se observar que, ao contrário da consideração usual de usar a inclinação da lâmina ψ como único parâmetro de controle, a taxa de espaçamento W/S também desempenha um papel relevante em termos de ajuste do sistema para as melhores condições de reflexão.

☼ **USANDO O NOMOGRAMA:**

A - a partir da latitude local segue-se para cima até a reta do período do ano em consideração, então volta-se para a esquerda até o eixo vertical onde se lê a altura solar ao meio-dia, momento em que é igual ao ângulo de perfil;

B - a partir da altura do sol (ângulo de perfil) ao meio-dia segue-se para esquerda até encontrar a reta do ângulo de perfil da reflexão requerido (determinado de acordo com as dimensões da peça ou qualquer outra intenção), então volta-se para baixo até encontrar no eixo horizontal o ângulo de inclinação da lâmina adequado;

C - mais abaixo encontra-se um conjunto de curvas representando o ângulo de perfil (já obtido em A), escolhendo a curva correta vira-se para a direita até o eixo vertical inferior onde pode-se ler a taxa W/S ideal (que otimiza as taxas R_c e v).

Observações: Ajustando-se uma taxa W/S menor do que o obtido em C significa que, em certos períodos, uma porção de luz solar vai passar direto por entre as lâminas (condição de insolação indesejável). Por outro lado, aumentando esta taxa incorre num decréscimo de v a partir de seu valor inicial (representando uma redução da porção da lâmina irradiada) com R_c permanecendo igual a 1 (um) até que o valor do W/S ideal mais $\Delta w/s$ (obtido na parte inferior do nomograma) seja atingido. Especificando valores para W/S maiores do que este limite significa que não somente a porção irradiada da lâmina está sendo reduzida mas parte da luz solar refletida irá atingir a lâmina acima, mostrando um bom desempenho como um dispositivo de sombreamento, mas fraco como um dispositivo de iluminação natural.

CONCLUSÕES

Ao longo deste artigo foram descritas as formulações matemáticas básicas para a análise das relações geométricas entre a luz direta do sol, um sistema de persianas horizontais espelhadas e o ambiente interno. O conjunto de equações geradas produziu um nomograma que permite a obtenção dos principais parâmetros de projeto e controle de sistema de persianas espelhadas para que se obtenha seu melhor desempenho em termos de sombreamento e redirecionamento da luz solar para porções internas das edificações sem acesso direto à luz natural.

Além de facilitar a compreensão do fenômeno de reflexão da luz solar no sistema espelhado estudado, este conjunto de equações pode ser incorporado em códigos computacionais tanto para simulação energética de edificações como para mecanismos de controle automático do sistemas de persianas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PEREIRA, F.O.R.. Luz Solar Direta: Tecnologia para Melhoria do Ambiente Lumínico e Economia de Energia na Edificação. *In: Anais do 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis/SC, 1993, p.257-267.*
2. KIMURA, K. & SHUKUTANI, K. A project for the use of direct sunlight, daylight illumination and energy. *The Japanese Architectural Studies Centre, 283: 87-94, 1979.*
3. PARMELEE, G.V. & AUBELE, W.W. The Shading of Sunlit Glass: An Analysis of the Effect of Uniformly Spaced Flat Opaque Slats. *ASHVE Transactions, 58:377-398, 1952.*

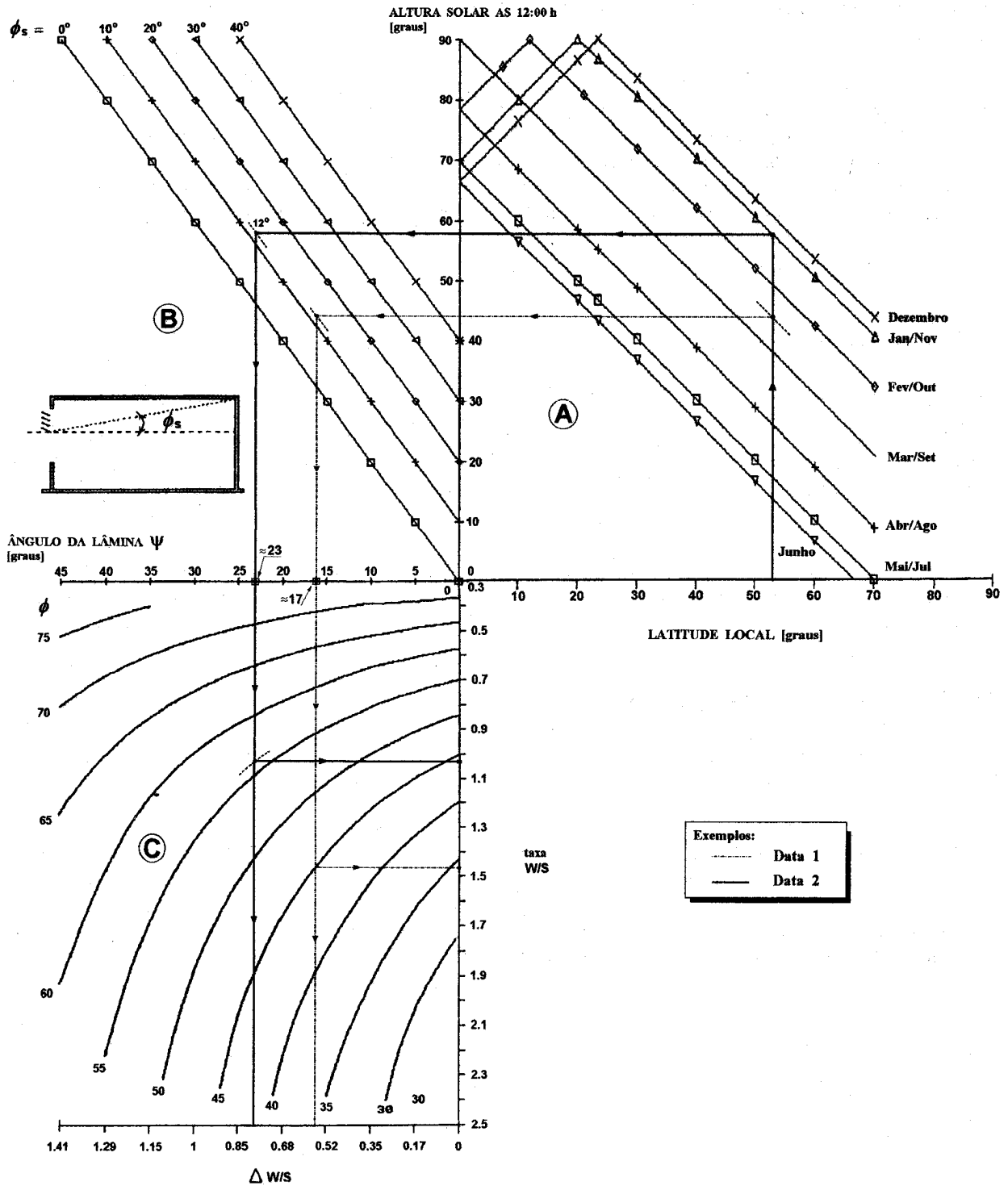


Figura 5: Nomograma para definição do ângulo ψ e taxa de espaçamento W/S para uma persiana refletora.