

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DE COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO PARA SUPERFÍCIES VERTICAIS EM UM MEIO URBANO

Solange M. Leder (1); Fernando O. R. Pereira (2); Letícia N. Moraes (3)

(1) Sociedade Educacional de Santa Catarina – Instituto Superior Tupy , Joinville/SC

e-mail: solange@arq.ufsc.br

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Arquitetura e Urbanismo – Laboratório de Conforto Ambiental

RESUMO

O trabalho a ser apresentado consiste em um procedimento experimental utilizado na determinação de um coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais em um meio urbano. A metodologia empregada consiste em levantamento fotográfico sobre fachadas de edifícios localizados em uma área urbana, medições com modelo reduzido e medições com edificação existente. O estudo e a metodologia empregada possibilitou a caracterização de um coeficiente de reflexão baseado nas características de um conjunto de edificações existentes na cidade de Florianópolis. O coeficiente de reflexão médio encontrado, a partir da metodologia empregada, apresenta-se em torno de 50% acima do coeficiente de reflexão normalmente adotado para superfícies externas na simulação da luz natural.

ABSTRACT

The presented work consists of an experimental procedure in the reflection coefficient average determination for vertical surfaces. The methodology consists of buildings façades photographic, measurements with reduced model and with existing construction. The study and the employed methodology it made possible the characterization of a reflection coefficient based on the characteristics of existing constructions in the Florianópolis city. The average reflection coefficient, obtained from the methodology used, is around 50% above of the reflection coefficient normally adopted for external surfaces in the daylight simulation.

1. INTRODUÇÃO

O montante de luz recebida em um local depende da localização: continentalidade, altitude, latitude, clima e qualidade do ar, fatores que afetam a intensidade da radiação e a duração do dia. Finalmente, o montante de luz natural que um edifício recebe depende da orientação, configuração morfológica do entorno natural e construído, presença ou ausência de obstruções e a refletividade das superfícies adjacentes (BAKER, 1993; ORAL et al., 2004). A determinação da refletividade do entorno é uma importante variável que influencia as condições de iluminação natural. Destaca-se que a componente refletida é uma das três componentes utilizadas para o cálculo da iluminação natural (Hopkinson et al., 1975).

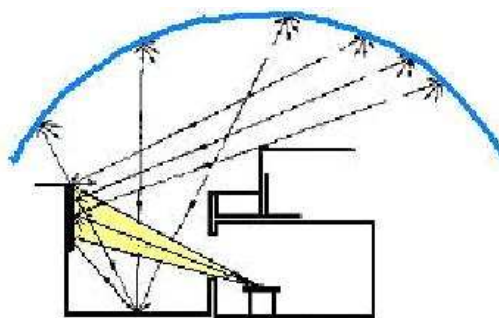


Figura 1 – Componente refletido externa

O que se tem observado é que autores têm utilizado coeficientes de reflexão baixos, como por exemplo: NG (2005) e Compagnon (2004) que adotaram coeficiente de refletância de 20% para as superfícies do entorno, assim como, Littlefair (2001) que adotou coeficiente de refletância para o piso de 10% e para as fachadas de 22%. Ressalva para Capeluto (2003) que adotou refletividade para o piso de 20% e para as superfícies verticais 40%.

O entorno pode ser considerado de forma simplificada atribuindo-se simplesmente um coeficiente de baixa refletância. Contudo, quando o modelo inclui volumes externos simulando uma condição real de entorno construído atribuir um coeficiente simplificado não caracteriza as condições encontradas normalmente em um meio urbano. Autores como Robbins (1986) consideram que obstruções que bloqueiam mais de 50% do campo de visão são consideradas como “refletoras” e, nesse caso, se tiverem um coeficiente de reflexão superior a 60% podem inclusive ser consideradas fonte de ofuscamento.

Para Mesa et al (2004) uma superfície refletante próxima pode incrementar a disponibilidade do recurso lumínico ao nível da fachada em até 110% para condições de céu claro.

Com o objetivo de fornecer subsídios para a determinação de coeficientes de reflexão para superfícies externas adequados a uma realidade observada em uma situação real, esse trabalho consiste em um conjunto de medições com modelos em escala reduzida e medições em escala real.

A metodologia utilizada neste trabalho é similar àquela adotada por NG (2001). O autor, porém, analisa a fachada de apenas uma edificação. A média encontrada por NG (2005), considerando a refletância medida nas aberturas e fechamento opaco, foi de 39%.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a resolução do problema aqui colocado partiu inicialmente da definição de um modelo de análise que consiste em um recorte urbano na cidade de Florianópolis. Sobre esse recorte urbano foram realizados registros fotográficos como método para levantar as principais características das fachadas. Os registros fotográficos serviram de base para a identificação das áreas proporcionais das superfícies significativas nas fachadas como área de aberturas e diferentes tipos de revestimento empregados.

A etapa seguinte consistiu na definição dos coeficientes de reflexão a serem adotados para as aberturas e superfícies opacas das fachadas. Com os registros fotográficos pode-se observar que o revestimento das superfícies opacas em sua grande maioria é com utilização de tintas. Para identificar o coeficiente de reflexão dessas superfícies optou-se pela comparação das mesmas com as cores utilizadas por Castro et al. (2003), os autores realizaram medições de refletância utilizando um conjunto de tintas disponíveis no mercado e comumente utilizadas para revestimento externo.

A caracterização do coeficiente de reflexão a ser adotado para as aberturas, contudo, foi determinado através de um conjunto de medições que serão detalhadas a seguir. Essas medições foram realizadas com modelo reduzido utilizando-se como fonte de luz o céu artificial e medições com céu real.

O céu artificial (caixa de espelhos) utilizado simula uma condição de céu encoberto segundo o padrão da CIE e tem dimensões de 2,5 metros de largura x 2,5 metros de comprimento e 2,6 metros de altura. As medições utilizam o procedimento proposto por Fontoynt (1999) onde, utilizando amostras com refletâncias conhecidas, são realizadas medições das luminâncias de amostras conhecidas e da luminância do material que se pretende identificar a refletância, ver figura 1. O mesmo procedimento, adotado nas medições com o céu artificial, foi utilizado para as medições em uma edificação existente e com céu real.



Figura 2 - Procedimento simplificado de medição da refletância (FONTOYNONT, 1999)

O autor recomenda que a condição de luminosidade deve ser mais difusa possível, evitando luz direta com baixo ou alto ângulo de incidência. Com as luminâncias obtidas aplica-se a equação apresentada abaixo:

$$\rho_{\text{material}} = (\rho_1 + \rho_2) / 2m \quad [\text{Eq. 01}]$$

sendo:

$$\rho_1 = \rho_{\text{branco}} \times \text{Luminância do material} / \text{Luminância cor branca}$$

$$\rho_2 = \rho_{\text{cinza}} \times \text{Luminância do material} / \text{Luminância cor cinza}$$

ρ = Coeficiente de reflexão

Com os resultados obteve-se o coeficiente de reflexão médio para a configuração: abertura com cortina interna na cor branca e abertura sem cortina. Finalizando, a caracterização do coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais resulta da atribuição dos coeficientes de reflexão relativo a cada acabamento superficial (abertura ou fechamento opaco) e a multiplicação dos mesmos pela sua área proporcional (caracterizada no levantamento fotográfico).

2.1 Caracterização das Amostras de Refletância Conhecida

Para a realização de medições utilizando o procedimento de Fontoynt (1999), a primeira etapa consistiu na definição das amostras com refletância conhecida. Na confecção das amostras os dados fornecidos por Castro et al. (2003) serviram de parâmetro. As amostras consistem em retângulos de papel "sola", dimensões de 12 x 12 cm e espessura de 0,1 cm, pintadas com as cores: branco gelo, azul bali e preto. A refletância dessas amostras foi obtida utilizando-se medições de luminância e iluminância sobre o céu artificial (fonte constante) e empregando a equação 2 apresentada abaixo.

$$\rho_{\text{material}} = (\rho_1 + \rho_2) / 2m \quad [\text{Eq. 02}]$$

sendo:

$$\alpha = L \cdot \cos \theta / E$$

α = coeficiente de reflexão

L = Luminância

E = Iluminância

O procedimento de medição das amostras consistiu na disposição das mesmas sob tripés a uma altura de 80 cm. A medição da iluminância foi realizada com uma fotocélula Licor e um datalogger de aquisição e armazenamento de dados. O sensor foi colocado no centro da amostra.

As medições de luminância foram realizadas com o Luminômetro em diferentes posições e ângulos de inclinação, com o sensor direcionado para o centro da amostra. Na figura 2 estão representadas as posições do luminômetro na medição da luminância das amostras.

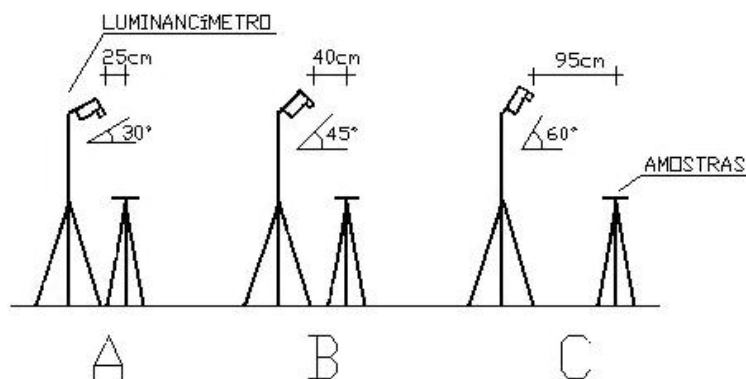


Figura 3 – Posicionamento do luminômetro na medição da luminância das amostras

2.2 Caracterização do Coeficiente de Reflexão para Aberturas

Para a caracterização do coeficiente de reflexão a ser adotado na abertura foi construído um modelo reduzido que simula uma abertura. As medições com modelo utilizam o céu artificial reproduzindo uma condição de céu encoberto. Essas medições pretendiam verificar o coeficiente de reflexão resultante da combinação de abertura com vidro somada à presença de cortina interna em tom claro, assim como, a situação da abertura sem cortina, onde teoricamente toda luz incidente seria absorvida.

O modelo que simula uma abertura consiste em um quadro de madeira, representando a esquadria e como material transparente vidro comum com espessura de 3 mm, ver figura 1. As dimensões são 48 cm de altura e 70 de largura. Em um dos lados do modelo foi construída uma cavidade com uma profundidade de 4,5 cm, revestida internamente e externamente na cor preta, simulando o ambiente interno. Nessa cavidade foram inseridas amostras de tecido na cor branca, simulando uma cortina interna, ver figura 4 (a e b).

As amostras com refletância conhecida foram dispostas sobre o modelo reduzido e sobre as mesmas medidas as luminâncias, a figura 4 (a e b) apresenta também as amostras dispostas sobre o modelo.

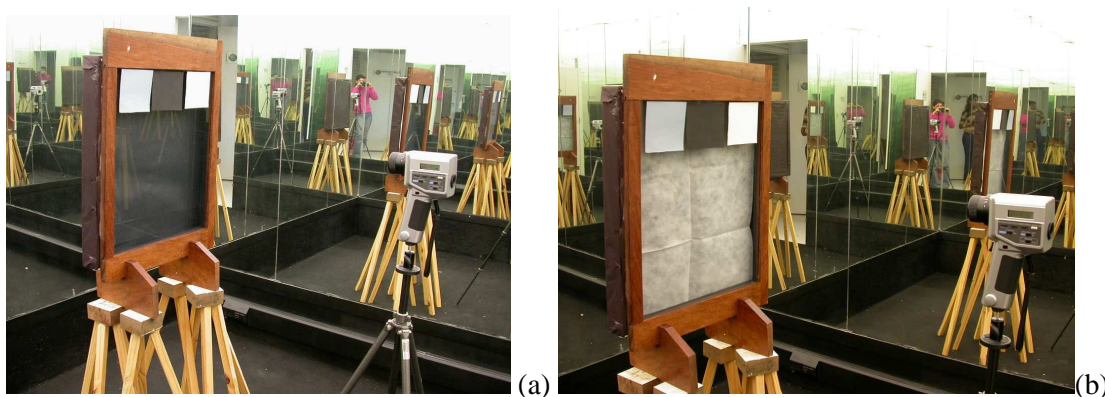


Figura 4 – Modelo simulando uma abertura: (a) sem cortina interna, (b) com cortina interna

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Os principais resultados obtidos estão apresentados nos itens a seguir e foram divididos nas seguintes etapas: levantamento fotográfico sobre fachadas, medições com céu artificial, medições com céu real e caracterização do coeficiente de reflexão médio.

3.1 Levantamento Fotográfico sobre Fachadas

O levantamento fotográfico foi realizado no recorte urbano localizado no centro urbano de Florianópolis. Trata-se de uma área densificada com a predominância de edifícios de múltiplos pavimentos. Na figura 5 está apresentada a localização do recorte. O centro de Florianópolis localiza-se na lateral oeste da ilha de Santa Catarina, no ponto próximo entre a ilha e o continente. Os edifícios da área em análise apresentam alturas de 1 a 2, 4 a 6 e 10 a 12 pavimentos. O objetivo desse levantamento foi de representar um conjunto de fachadas que caracterizassem um meio urbano e que serviria de base para a orientação das medições experimentais pretendidas.

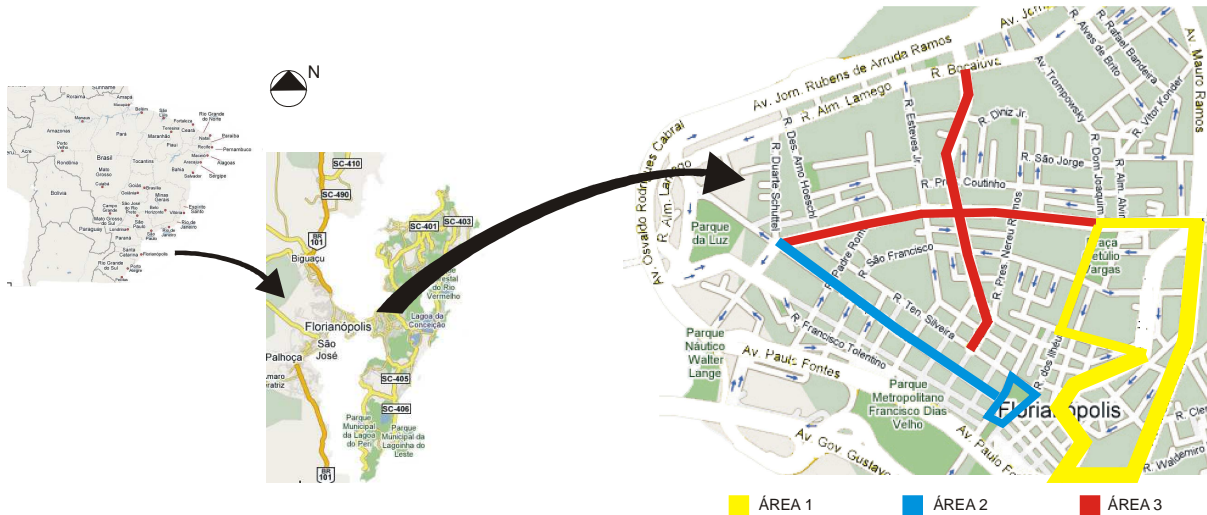


Figura 5 –Localização do recorte urbano em análise

Na tabela 1 estão apresentadas algumas das fachadas levantadas, com o levantamento fotográfico pode-se observar que:

- As fachadas dos edifícios normalmente apresentam mais de uma cor e existe uma predominância de uso de tons claros. Cores escuras são usadas como detalhes;
- As aberturas nem sempre se configuram como cavidades ou buracos negros. Além da existência de venezianas, que na maioria das vezes são em tons claros, muitas aberturas possuem cortinas internas, que normalmente são em tons claros;
- Varandas, assim como as aberturas, podem se constituir em cavidades ou buracos negros, dependendo de sua profundidade e dos materiais utilizados.

Tabela 1 – Amostra do levantamento fotográfico realizado nas áreas: 1, 2 e 3.





Amostra de edificações levantadas na área 2



Amostra de edificações levantadas na área 3



3.2 Medições com Céu Artificial

As medições com céu artificial utilizaram o modelo reduzido que simula uma abertura e as amostras com refletância conhecida. A primeira etapa consistiu na medição da refletância das amostras, os resultados encontrados estão apresentados na tabela 2 abaixo, nessa tabela também foram inseridos os coeficientes de reflexão fornecidos por Castro et al. (2003) para as tintas utilizadas na confecção das amostras.

Tabela 1 – Refletância encontrada para as amostras

Cor	Refletância obtida	Refletância de Castro et al.
Branco gelo	73%	69%
Azul bali	35%	41%
Preto	4,9%	4%

Optou-se pela adoção das refletâncias obtidas através das medições devido ao fato de que as amostras podem apresentar diferenças em relação àquelas utilizadas por Castro et al. (2003). Contudo, pode-se observar que os valores estão aproximados.

A etapa seguinte consistiu nas medições com o modelo simulando a abertura e as amostras com refletância conhecida. Embora a fonte seja considerada constante foram realizadas várias medições para confirmar a consistência dos resultados. Na tabela 3 estão apresentadas as refletâncias obtidas. As variáveis adotadas foram: tecido branco simples, tecido branco duplo, tecido de renda e ausência de cortina ou cavidade preta.

Tabela 2 – Refletância média encontrada para as variáveis analisadas no modelo da abertura

Elementos	Refletância média obtida
Tecido branco simples	27,37%
Tecido branco duplo	43,73%
Tecido de renda	34,30%
Ausência de cortina	6,74%

3.3 Medições com Céu Real

As medições com céu real foram realizadas utilizando as amostras com refletância conhecida e seguindo as recomendações de Fontoynt (1999), o céu apresentava uma condição de totalmente encoberto. A abertura escolhida localiza-se em um dos prédios do curso de Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina, figura 6.



Figura 6 - Fachada utilizada para as medições com céu real: abertura com cortina branca e amostras com refletância conhecida

O principal objetivo dessas medições foi verificar o coeficiente de reflexão de uma abertura com e sem cortina interna sob uma condição de céu real. Na tabela 4 apresentada abaixo estão os resultados encontrados.

Tabela 3 – Refletância média encontrada para a abertura com céu real

Elementos	Refletância obtida
Tecido branco	51,04%
Ausência de cortina	2,48%

Comparando os resultados encontrados com as medições com céu real e céu artificial pode-se observar que a média de valores para a abertura com cortina branca na situação de céu real apresenta-se maior que os valores encontrados na condição de céu artificial. Acredita-se que devido ao fato que a cortina na situação de céu real é com tecido grosso e com maior opacidade que a cortina utilizada com céu artificial, principalmente a cortina simples que apresenta característica de material translúcido. Ainda comparando as duas situações de medição, o valor médio obtido com a abertura sem cortina (cavidade) na situação de céu real apresenta-se inferior àquele medido com céu artificial. Pode-se concluir que a cavidade simulada com o céu real apresenta-se mais próxima de uma situação real, pois a profundidade é de 5 metros, enquanto a cavidade simulada no céu artificial possui uma profundidade de apenas 4,5 cm, ainda que a mesma esteja revestida com papel preto.

Na caracterização do coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais, item que será detalhado a seguir, para a abertura sem cortina (cavidade) foi utilizado o coeficiente médio obtido com as medições com céu real e para a abertura com cortina branca se utilizou o coeficiente médio obtido com as medições com céu artificial.

3.4 Caracterização do Coeficiente de Reflexão Médio para as Superfícies Verticais

Para a caracterização do coeficiente médio das superfícies verticais no recorte urbano analisado optou-se por selecionar no levantamento fotográfico uma amostra das fachadas sobre as quais seriam realizados os cálculos, optou-se por uma amostra com 18 edifícios. Inicialmente foram calculadas as áreas proporcionais relativas aos principais acabamentos superficiais encontrados. A figura 7 é apresentada como exemplo, a imagem foi transportada para o programa AutoCad e as áreas proporcionais foram calculadas.



Figura 7 – Procedimento de cálculo das áreas proporcionais nas fachadas

Na tabela 5 está apresentado o método de cálculo adotado, a tabela refere-se ao edifício apresentado no figura 7. A primeira coluna apresenta os percentuais da área total relativo aos principais acabamentos superficiais, na segunda coluna o coeficiente de reflexão adotada para cada acabamento, lembrando-se que os coeficientes de reflexão adotados para as superfícies opacas foram extraídos de Castro et al. (2003). Na terceira coluna multiplica-se a área pelo respectivo coeficiente de reflexão, o somatório desses valores resulta no coeficiente médio para a fachada.

Tabela 4 – Tabela com o método de cálculo para a refletância média

Elemento	Área proporcional	Coeficiente de reflexão / Cor	Área x Coeficiente de reflexão
Janela Metálica	14%	85%	1190
Aberturas	14%	2,48%	34,72
Fechamento Alecrim	28%	36%	1008
Fechamento areia	34%	59%	2006
Fechamento cinza	10%	41%	410
Total			4648,72/100
Coeficiente médio total			46,4872

O somatório de todos os coeficientes levantados divididos pelo número de amostras resulta no coeficiente médio para o recorte urbano em análise que resultou em um valor de 43,9. Esse valor se aproxima muito do valor adotado por Compagnon (2004) que é de 40% e também da fachada analisada por NG (2005) que corresponde a 39%.

4. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como motivação a necessidade de caracterização de coeficientes de reflexão para superfícies externas adequados a uma realidade observada em uma situação real. A metodologia adotada compreende levantamento fotográfico em um meio urbano, medições de iluminância e luminância com modelos em escala reduzida utilizando-se céu artificial e medições sobre edificação existente com céu real.

Com o levantamento fotográfico pode-se observar que as aberturas nem sempre se comportam como buracos negros, variáveis como a utilização de uma cortina em cor clara no ambiente interno pode resultar em um coeficiente de reflexão alto. Nas medições com céu artificial e céu real pode-se observar que a abertura com cortina interna branca apresenta coeficiente de reflexão de 27% a 51%, enquanto uma abertura sem cortina interna apresenta valores em torno de 6,74% e 2,48%.

Através do procedimento metodológico se chegou a um coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais de 43,9%. Com isso pode-se concluir que os valores de 20% estão realmente abaixo daqueles normalmente encontrados em uma situação real.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. (1993) *Daylighting in Architecture*. London: James & James.
- CAPELUTO, G.I. (2003) The influence of the urban environment on the availability of the daylighting in office buildings in Israel. *Building and Environment*, London (Elsevier), v. 38, p.745-752.
- Compagnon, R. (2004) Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*, London, v.36, p.321-328.
- FONTOYNONT, MARC. (1999) *Daylight performance of buildings*. London: James & James, 304p.
- HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. (1975) *Iluminação Natural*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 776p.
- Littlefair, Paul J. (2001) Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy*, London, v.70, n.3, p.177-185.
- MESA, N. A.; PATTINI, A.; CÓRICA, I.; DE ROSA, C. (2004) Metodología de evaluación de la potencialidad de la luz natural para iluminar edificios, en entornos de alta densidad, en zonas áridas andinas. *Estudios de arquitectura bioclimática, México*, vol. VI, p. 279-297.
- NG, E. (2005) A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In: *Proceedings of International Building Simulation Association Conference*, Montreal, Canadá, p. 847-852.
- NG, E. (2001) A study on the accuracy of daylighting simulation of heavily obstructed buildings in Hong Kong. In: *Proceedings of International Building Simulation Association Conference*, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1215-1222.
- ROBBINS, Claude L. (1986) *Daylighting: Design and analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 751p.