

## **RADIÔMETRO DE ABERTURA: DISPOSITIVO PARA A CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL**

**Catharina Cavalcante de Macedo, MSc (1)**

**Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD. (2)**

(1;2) LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental

Dept<sup>o</sup> de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina

Cep: 88040-900, Florianópolis – SC - Brasil

(048) 3319393 (r. 26), Fax (048) 3319550

(1) cacamcz@bol.com.br; (2) feco@arq.ufsc.br

### **RESUMO**

Este artigo apresenta e discute as potencialidades de um aparato experimental, denominando Radiômetro de abertura. Este dispositivo, desenvolvido na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), que teve como base o Radiômetro de Abertura desenvolvido por Pereira (1992) na sua tese de Doutorado e visa possibilitar a caracterização do desempenho térmico de sistemas de iluminação natural.

Ultimamente, um número elevado de novas soluções para aproveitamento da luz natural tem sido proposto. E apesar de muitos pesquisadores divulgarem e incentivarem a implantação desses sistemas como uma técnica em potencial para a conservação de energia, ainda não foram divulgados padrões que estabelecem as condições de ganho de calor solar provenientes desses dispositivos, usualmente caracterizados através do Fator Solar (FS).

O Radiômetro de abertura realiza medições do fluxo de calor diante dos mais variados e complexos tipos de aberturas e sistemas de iluminação natural, incluindo o fluxo transmitido pela esquadria e o calor absorvido e retransmitidos pelas folhas de vidro. Além disso, possui fácil operação e é particularmente de baixo custo de fabricação, quando comparado com alguns equipamentos semelhantes.

### **ABSTRACT**

The main aim of this paper is to introduce and discuss the potential of Window Radiometer. This experimental device was developed at UFSC (Santa Catarina Federal University), a based the Window Radiometer developed by Pereira (1992) in his PhD thesis. It's aim at characterization the thermal performance of daylight systems.

Nowadays, it has been proposed a lot of new systems to take advantage of daylight. In spite of many researchers have published and incentive the use of direct beam sunlight systems as a technique which has a big potential to conserve electric energy, there are not many studies about the thermal properties of these systems, usually characterized by Solar Heat Gain Factor (SHGF) of each device.

The Window Radiometer makes the heat flux measurement of all kinds of openings and daylight systems, including the flux transmitted by the frame and the retransmitted heat by glass absorption. Além disso (Beyond that) it's easier to operate and cheaper than others similar equipments

## 1. INTRODUÇÃO

Aberturas são um dos mais fascinantes elementos no projeto de uma edificação. É esperado que elas atendam simultaneamente a diversas funções ambientais, psicológicas, plásticas, de segurança e operacionais; nas quais geralmente existem conflitos. Devido à sua alta sensibilidade com relação às variáveis climáticas e à sua direta ligação com o mundo externo, as aberturas podem ser a maior determinante do consumo energético da uma edificação (CARMODY, 1996).

A sua concepção é particularmente importante porque uma abertura oferece o caminho não apenas para a luz e o ar mas também para o calor, a chuva, a neve, a poeira, o barulho, o inseto, as pessoas, dentre outros. Por isso, existe uma necessidade de prevenção ou controle desses aspectos, de acordo com o desejo dos ocupantes.

Como o fluxo radiante, transmitido através das aberturas, afeta tanto o desempenho térmico quanto luminoso, a análise combinada do impacto desses dois parâmetros sobre a edificação, torna-se uma questão decisiva para a otimização do uso de energia em edificações.

Ultimamente, um número elevado de novas soluções para aproveitamento da luz natural, tais como, elementos espelhados, bancadas de luz e vidros prismáticos, tem sido proposto. E apesar de muitos pesquisadores (ROSENFELD & SELKOWITZ, 1977; LITTLEFAIR, 1990; BELTRÁN, 1994; BAKER 1993; MOECK, 1998) divulgarem e incentivarem a implantação desses sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol, como uma técnica em potencial para a conservação de energia, ainda não foram divulgados padrões que estabelecem as condições de ganho de calor solar provenientes desses sistemas, usualmente caracterizado através do Fator Solar (FS).

Assim, para possibilitar a análise do desempenho térmico de sistemas de iluminação natural, foi desenvolvido um Radiômetro de Abertura na UFSC, sobre o qual este artigo irá apresentar e discutir as potencialidades.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

No sistema de abertura, o ganho térmico pode ser proporcionado a partir de três componentes: a radiação solar transmitida de forma direta, o calor causado pela parcela da radiação solar absorvida pelos próprios elementos do sistema e o calor por convecção.

Pereira (1992) realizou uma revisão bibliográfica a respeito dos principais métodos utilizados para a determinação do ganho térmico nas aberturas: o primeiro deles, recomendado pela *Chartered Institution services engineers – CIBSE*, é baseado no Método de Admitância, desenvolvido pelo *Building Research Establishment – BRE* (MILLBANK & HARRINGTON, 1974). A característica principal desse método é a utilização de fatores de ganho solar (Fator Solar) para determinar a transmissão de calor solar em janelas e de valores derivados desses fatores para elementos de sombreamento.

O Fator de Ganho Solar (Fator Solar – FS), definido como a razão entre o ganho de calor solar da abertura e a radiação solar incidente sobre ela, é uma característica de cada sistema de abertura e depende do ângulo de incidência da radiação e da distribuição radiante da abóbada celeste.

O segundo método, proposto pela *American Society for Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering – ASHRAE*, estima a carga térmica de refrigeração, utilizando o Coeficiente de Sombreamento (SC) (ASHRAE Fundamentals, 1993; VILD, 1964).

O Coeficiente de Sombreamento (SC), por sua vez, é representado pela razão entre o fator de ganho de calor solar da abertura e o fator de ganho de calor solar de referência (vidro simples 3mm).

McCluney (1991) salienta a inadequabilidade dos coeficientes de sombreamento (SC) para cálculos horários de consumo de energia, especialmente no caso de sistemas de aberturas complexos, nos quais a distribuição espectral e o ângulo de incidência da radiação assumem um papel importante no ganho de calor solar. Para sistemas de aberturas simples, é considerada uma distribuição de radiação isotrópica da abóbada celeste. Pode-se utilizar um fator de correção simples, baseado na área exposta, para obter o SC final. Entretanto, para aberturas mais complexas e distribuições de radiação mais

realistas, mesmo modelos matemáticos e computadores potentes podem apresentar uma precisão limitada devido a hipóteses teóricas usualmente assumidas nessas técnicas (PEREIRA, 1992).

Vale salientar que os dois métodos citados anteriormente assumem os elementos de sombreamento como superfícies planas atuando como refletores difusos, o que nem sempre é o caso, especialmente para técnicas inovadoras de iluminação natural (PEREIRA, 1992).

Por outro lado, técnicas utilizando aparatos experimentais com modelos em escala real ou reduzida, que realizam medições do ganho de calor solar de sistemas de aberturas, têm-se mostrado bastante eficientes na estimativa do comportamento térmico e luminoso das aberturas.

A literatura apresenta vários destes aparelhos (PARMELEE et al, 1948; BOREL, 1962; KIMURA, 1971; KLEMS et al, 1982), entretanto, a maioria deles, desenvolvidos e descritos nas referências acima mencionadas, apresenta alguns aspectos negativos comuns (PEREIRA, 1992): são de grandes dimensões e de alto custo; requerem uma manutenção cuidadosa das condições de equilíbrio; necessitam que diferentes medições sejam realizadas simultaneamente; possui operação complexa, exigindo pessoal especializado; possui avaliação limitada da dependência angular do ganho de calor solar.

Portanto, não é surpresa que muitos desses dispositivos já não estejam mais em uso. Um sub-comitê estabelecido pela ASHRAE, em 1984, para desenvolver procedimentos padrões para as medições do ganho de calor solar através de aberturas, foi dissolvido em 1986, devido à falta de condições de estabelecimento de um senso comum (McCLUNEY, 1991).

Pereira (1992), em sua tese de doutorado, desenvolveu um aparato experimental para a medição da radiação solar transmitida através da abertura em modelo reduzido, tomando como base o aparato - “*Integrating Window Pyranometer- IWP*”, proposto por Bauman et al (1986).

Visto que o sensor tipo termopilha, utilizado no IWP, possuía uma inércia térmica elevada, optou –se por utilizar um transdutor de fluxo de calor baseado na integração de junções termoelétricas múltiplas sobre uma lâmina de constantan coberta, por eletrodeposição, com uma camada de cobre muito delgada. A técnica de circuito impresso, usada no processo de eletrodeposição, foi capaz de produzir em torno de 1.400 termopares numa área de 0,01m<sup>2</sup>.

Com esse novo sensor e um ventilador mais potente (0,1m<sup>3</sup>/s de vazão de ar), para melhorar a taxa de remoção de calor pela parte de trás do sensor, Pereira (1992) obteve resultados bem melhores que os obtidos pelo IWP. O aparelho foi capaz de medir fluxos de calor menores que 100 W m<sup>-2</sup>, com um tempo de resposta semelhante ao do solarímetro, utilizado no processo de calibração.

*“Sendo um sensor térmico, o sinal produzido é proporcional a uma diferença de temperatura e é sensível tanto a radiação de ondas curtas, como de ondas longas. Assim, o aparelho mede não apenas radiação solar transmitida diretamente, mas também o ganho indireto devido à absorção de calor nos componentes da abertura. A soma destas duas quantidades é o ganho total de calor da abertura, que é definido como ganho de calor solar. Diante destas considerações, o aparelho pode ser classificado como um radiômetro e foi, portanto, chamado de Radiômetro de Abertura (RA)”* (PEREIRA, 1993).

### **3.DESENVOLVIMENTO DO RADIÔMETRO DE ABERTURA**

Para possibilitar a análise do desempenho térmico dos sistemas de iluminação natural, foi desenvolvido um Radiômetro de Abertura na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) pelos laboratórios LabCon (Laboratório de Conforto Ambiental – Arquitetura) e LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas - Engenharia Mecânica), tendo como base o Radiômetro de Abertura desenvolvido por Pereira (1992) na sua tese de Doutorado.

O Radiômetro de Abertura é um dispositivo que possibilita a análise do desempenho térmico de sistemas de iluminação natural. Trata-se de um método experimental para estimativa do ganho de calor solar através de sistemas de aberturas em modelos reduzidos. O aparelho está baseado num transdutor de fluxo de calor, fabricado pelo LMPT/SC, cuja característica principal é sua habilidade de integrar a radiação incidente sobre sua área, tornando-o adequado para lidar com aberturas de geometria complexa (GÜTHS, 1994)

Inicialmente, foi desenvolvido um primeiro protótipo composto por: uma abertura, para encaixe do sensor, feita de madeira compensada de espessura de 1,5 cm; um transdutor de fluxo de calor com dimensões de 30 x 30 cm; um ventilador para o controle da temperatura interna; quatro eixos roscáveis nas quatro extremidades da caixa - os eixos foram dimensionados para permitir o encaixe dos modelos de esquadrias na parte externa da caixa.

Foram realizados algumas medições com o protótipo (Figura 1) para analisar o comportamento dos seus componentes. Após esses ensaios, partiu-se para a elaboração do equipamento definitivo. Optou-se pela construção de um Radiômetro de Abertura, formado por uma caixa metálica, com saídas de ar localizadas no topo e na base, com duas aberturas com dimensões de 20 x 20 cm (Figuras 2 e 3). Na primeira abertura, é colocado o sistema de iluminação natural a ser analisado e, na segunda, um vidro simples de 3 mm, como referência – uma vez que o seu fator solar, de 0,87, já é conhecido e amplamente difundido pela literatura da área.



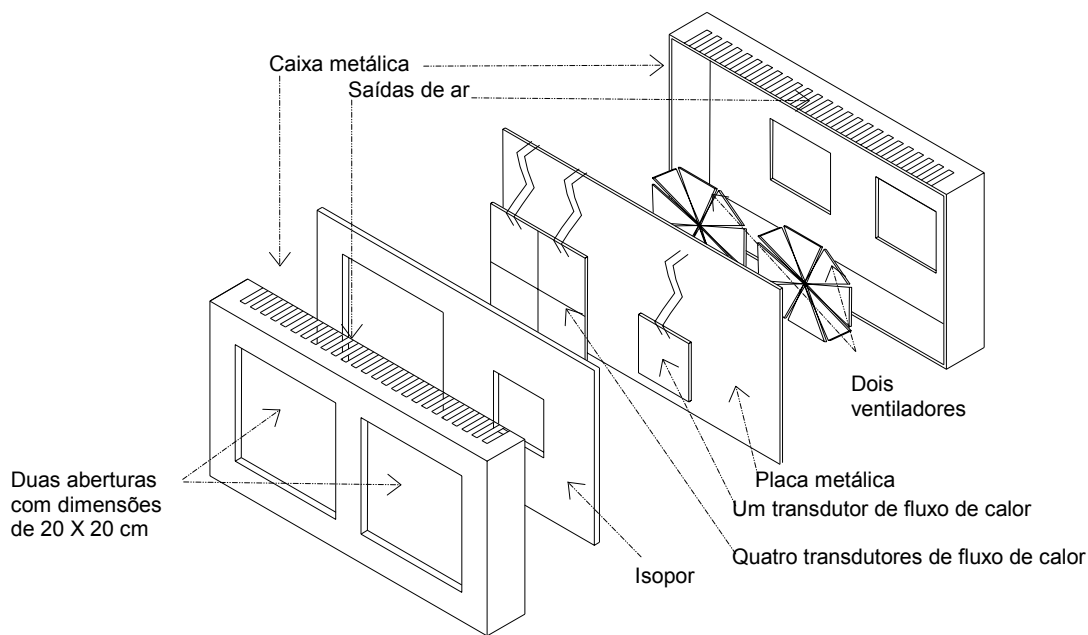
**FIGURA 1:** Vista frontal do primeiro protótipo do Radiômetro de Abertura.



**FIGURAS 2 e 3:** Configuração final do transdutor do Radiômetro de Abertura desenvolvido na UFSC.

Na parte posterior das aberturas, foram colocados, seqüencialmente (ver Figura 4):

- cinco transdutores de fluxo de calor fabricados pelo LMPT, com dimensões de 10 x 10 cm, pintados de preto, para assegurar que toda a radiação solar transmitida pela abertura seja absorvida e conduzida através do sensor. Optou-se pela utilização de transdutores menores do que os utilizados no protótipo, com o objetivo de evitar as distorções detectadas nas medições anteriores. Foram colocados 4 transdutores na janela 1 e apenas um transdutor na janela 2. Uma vez que o fluxo de calor que atravessa os sistemas de iluminação será expresso em  $W/m^2$ , não havia a necessidade da utilização de mais de um transdutor na janela 2, visto que esta abertura recebe um vidro simples, com uma condição homogênea em toda a sua extensão;
- Poliestireno expandido – proporciona o isolamento térmico do transdutor, garantindo que seja medido apenas o fluxo de calor transmitido pelo sistema de iluminação, ou seja, evita a influência do calor transmitido por outras superfícies do Radiômetro;
- uma placa metálica – além de suporte, uniformiza a condução do fluxo de calor;
- dois ventiladores – que irão resfriar a placa metálica, forçando a passagem de todo o fluxo térmico pelos transdutores;
- conjunto é agrupado através de oito eixos com roscas nas oito extremidades das aberturas.



**FIGURA 4:** Esquema indicando a composição do Radiômetro de Abertura.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Antes da realização do experimento, foi realizada a calibração dos transdutores, com o objetivo de conhecer as suas constantes (cada transdutor possui a sua constante específica), as quais serão utilizadas para a determinação da potência do fluxo de calor.

Foi utilizado o método de calibração lado-a-lado. Esse método, similar ao utilizado por Bauman et al (1986), é feito através de comparações lado-a-lado do transdutor com um piranômetro e é particularmente interessante para calibração "in Loco". Nas medições para calibração dos cinco transdutores de fluxo de calor foram encontradas as constantes indicadas na tabela 1.

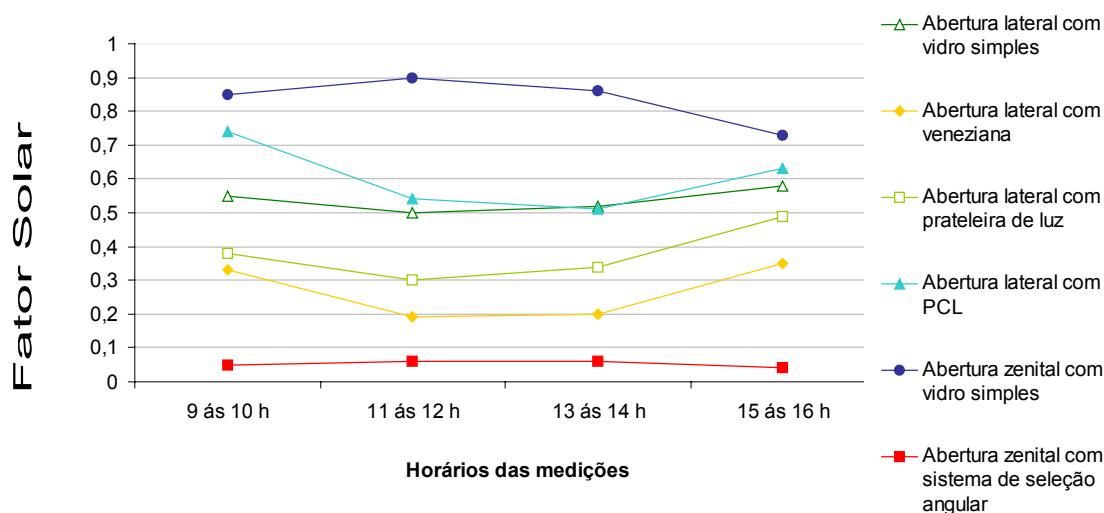
**TABELA 1 - Constantes dos cinco transdutores de fluxo de calor**

Constante dos sensores de fluxo de calor				
Constante S1 (W/mV)	Constante S2 (W/mV)	Constante S3 (W/mV)	Constante S4 (W/mV)	Constante S5 (W/mV)
0.489	0.387	0.249	0.374	0.2175

Foram realizadas medições do fluxo de calor transmitido por seis sistemas de iluminação natural: abertura lateral com vidro simples, abertura lateral com prateleira de luz, abertura lateral com veneziana, abertura zenital com vidro simples, abertura zenital com sistema de seleção angular; e durante os seguintes horários: 9 às 10 h, 11 às 12 h, 13 às 14 h e 15 às 16 h.

À medida que aconteceu a aquisição dos dados através dos transdutores, um piranômetro mediu a incidência de radiação solar direta na abertura em  $W/m^2$ , para a determinação do Fator de Solar (FS) do sistema de iluminação natural, em um determinado período de medição. Esses dados auxiliarão a análise do desempenho térmico dos sistemas em questão.

Para a análise térmica dos sistemas de iluminação natural, foram utilizadas as médias dos Fatores Solares obtidos em três dias de medições, como ilustra a figura 5



**FIGURA 5:** O gráfico ilustra a média dos Fatores Solares dos sistemas analisados, dos três dias de medição.

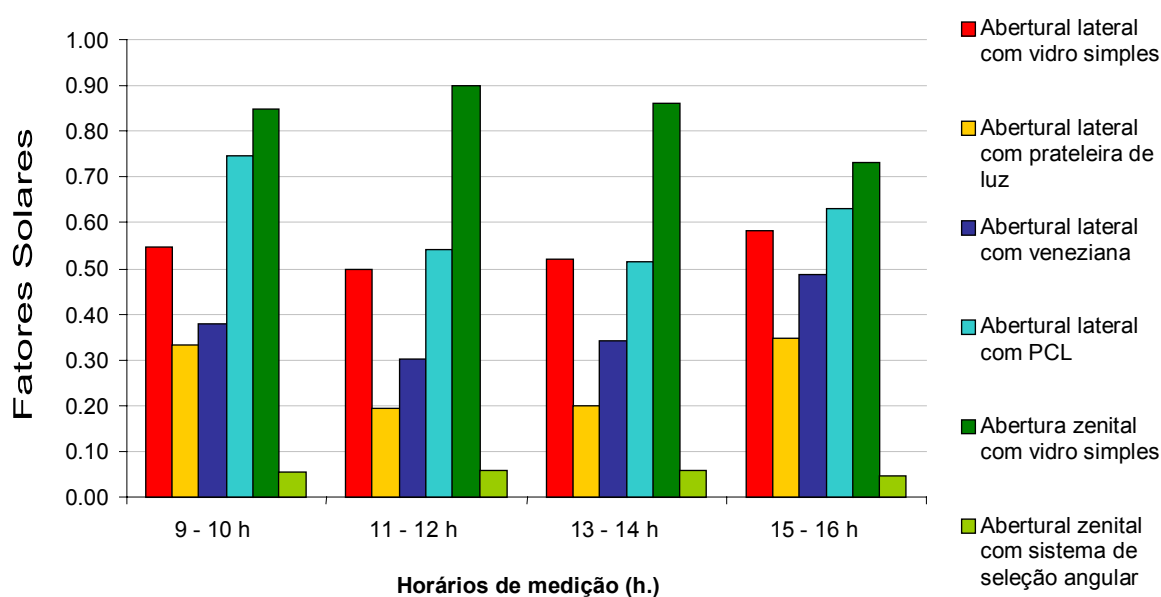
Para facilitar a comparação do desempenho térmico de cada sistema, foi elaborado o gráfico da figura 6, onde foram traçados os Fatores Solares medidos em cada horário de medição.

Os sistemas que foram projetados para sombrear grande parte da radiação solar direta, ou seja, as aberturas laterais com veneziana, com prateleira de luz e a abertura zenital com sistema de seleção angular possuem os melhores resultados, com relação à redução do fluxo de calor para o ambiente.

A abertura zenital com vidro simples é o sistema que admite a maior entrada de calor no ambiente, por captar grande parte da luz proveniente de alturas solares mais elevadas.

Curiosamente, a abertura zenital com sistema de seleção angular é o sistema que possui os menores Fatores Solares. Neste experimento, devido aos seus elementos de controle, o sistema admite apenas o acesso de menos de 6% do calor, que incide na abertura, para o ambiente interno.

Entre as aberturas laterais, o sistema que utiliza apenas o vidro simples e o PCL são os que possuem os maiores Fatores Solares, justamente por admitirem o acesso de boa parte da radiação solar direta incidente.



**FIGURA 6:** O gráfico ilustra os Fatores Solares dos sistemas analisados, nos quatro horários de medição.

## 5. CONCLUSÃO

O sistema de abertura é indiscutivelmente um dos componentes mais sensíveis da edificação devido ao seu contato físico com o ambiente externo, sendo peça fundamental para a obtenção do conforto térmico e luminoso nas edificações.

Para possibilitar a análise do desempenho térmico de sistemas de iluminação natural, foi desenvolvido um Radiômetro de Abertura tendo como base o Radiômetro de Abertura desenvolvido por Pereira (1992) na sua tese de Doutorado.

O Radiômetro de Abertura consiste numa ferramenta promissora para estimar o ganho térmico solar dos sistemas de abertura em maquetes. A sua habilidade de integrar a radiação incidente sobre a sua área de superfície de entrada faz dele um aparato experimental, adequado para lidar com a iluminação natural sob qualquer condição de céu.

Trata-se de um dispositivo de instrumentação simples, fácil de operar e baixo custo de fabricação. Os resultados experimentais indicaram que o instrumento possui boa precisão e estabilidade.

A suas principais vantagens, quando comparado com outros equipamentos semelhantes, são:

- realizar medições do fluxo de calor diante dos mais variados tipos de aberturas e sistemas de iluminação natural, incluindo o fluxo transmitido pela esquadria;
- realizar medições não só da radiação solar transmitida diretamente, mas também do calor absorvido pelas folhas de vidro que são retransmitidos.

A grande relevância desse equipamento é que a partir do seu uso, pode-se ampliar o conhecimento a respeito de dispositivos complexos de iluminação natural, ainda não disponível na literatura, gerando diretrizes de projeto mais específicas. Os resultados obtidos através das medições podem servir como recomendações para projeto e/ou como dados de entrada para calibração de programas de simulação de consumo de energia em edificações.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE, (1989). **Chapter 27: Fenestration**. In: ASHRAE (Ed.), ASHAE Handbook – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- BAKER N.; FANCHIOTTI A.; STREEMERS K., (1993) **Daylighting in Architecture**. London James & James.
- BAUMAN, F. S.; et al, (1986). **An Integrating Window Pyranometer for Beam daylighting Measurements in Scale-Model Buildings**. ASHRAE Transactions, v. 92 (part 1A). pp. 486-493.
- BELTRÁN, L. O., PAPAMICHAEL, K. M., SELKOWITZ, S. E., (1994). **The Design Evaluation of Three Advanced Daylighting Systems: Light Shelves, Light Pipes and Skylights**. In: Lawrence Berkeley Laboratory – University of California.
- BOREL, J. C., (1962). **La protection des Baies Vitrees Contre le Soleil**. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment. CSTB, v. 55. 437 p.
- CARMODY, J., SELKOWITZ, S., HERSCHONG, L. (1996) **Residential Windows, a guide to new technologies and energy performance**, W.W. Norton & Company, New York.
- GÜTHS, S., (1994). **Anémomètre a effet Peltier et fluxmètre thermique - conception et réalisation – application à l'étude de la convection naturelle**". Tese de Doutorado. Université d'Artois (França).
- KIMURA, K., (1971). **Cooling Load Caused by Solar Radiation from Glass Windows**. Memoirs of the School of Science & Engineering of Waseda University, v. 35. 36p.

- KLEMS J.; SELKOWITZ, S.; HOROWITZ, S., (1982). **A Mobile Facility for Measuring Net Energy Performance of Windows and Skylights**. In: Proc. 3<sup>rd</sup> International Symposium on CIB W-67 "Energy Conservation in the Built Environment", Dublin, Ireland, v. III.
- LITTLEFAIR, Paul J., (1990). **Innovative Daylighting: Review of Systems and Evaluating Methods**. In: **International journal of Lighting Research and Technology**. Great Britain: The Chartered Institution of Building Services Engineers, v. 22, n. 1. pp 1-17.
- McCLUNEY, R., (1991). **The Death of the Shading Coefficient?** ASHRAE Journal, March/91. pp. 36-45.
- MILLBANK, N. O. & HARRINGTON-LYNN, J., (1974). **Thermal Response and the Admittance Procedure**. Building Research Establishment, CP 61/74.
- MOECK, M. (1998). **On Daylight Quality and Quantity and Its Application to Advanced Daylight Systems**. In: Journal of the Illuminating Engineering Society. New York: Hanover, v. 27, n. 1. pp. 3-21.
- PARMELEE, G. H.; et al, (1948). **Measurements of Solar Heat Transmission Through Flat Glass**. Transactions of ASHVE, v. 54. pp. 165-186.
- PEREIRA, F. O. R., (1992). **Luminous and Thermal Performance of Windows Shading And Sunlighting Reflecting Devices**. PhD Thesis, School of Architectural Studies, University of Sheffield.
- PEREIRA, F. O. R., (1993). **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 / Santa Catarina. pp. 257-267
- ROSENFELD, A. H. & SELKOWITZ, S. E., (1977). **Beam Daylighting: an Alternative illumination Technique**. IES Lighting Review , v. 43 (1). pp. 24-26.
- VILD, D. J., (1974). **Solar Heat Gain Factors and Shading Coefficients**. ASHRAE Journal, v. 6. pp. 47-50.