



## APERFEIÇOAMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE GANHO DE CALOR SOLAR ATRAVÉS DE ABERTURAS

**Deivis Luis Marinoski (1); Saulo Güths (2);  
Fernando Oscar Ruttkay Pereira (3); Roberto Lamberts (4).**

(1) Engenheiro Civil, M. Eng. E-mail: [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br)

(2) Engenheiro Mecânico, Dr. E-mail: [saulo@lmpt.ufsc.br](mailto:saulo@lmpt.ufsc.br)

(3) Engenheiro Civil, Ph.D. E-mail: [feco@arq.ufsc.br](mailto:feco@arq.ufsc.br)

(4) Engenheiro Civil, Ph.D. E-mail: [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

LabEEE – LabCon – LMPT / UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

CTC – Centro Tecnológico, Cep 88040-900. Cx Postal 476. Florianópolis, SC.

### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar denominado *Radiômetro de Abertura*. O sistema possibilita quantificar a fração de ganho térmico por radiação que penetra no ambiente através de uma abertura. Inicialmente, foi realizada uma etapa de calibração dos sensores utilizados (fluxímetros) e também medições em campo. Os resultados da primeira etapa de medições demonstraram a existência de erros no valor do Fator Solar encontrado, e também a ocorrência de elevação da temperatura da chapa de suporte dos fluxímetros. O protótipo atualmente utiliza um sistema de dissipação de calor através de ventiladores que insuflam o ar diretamente na face posterior da chapa de suporte dos fluxímetros. A elevação da diferença temperatura entre a chapa e o ar ambiente impede a passagem do fluxo de calor através dos sensores, gerando erros na medição. Novos testes foram realizados sendo aplicado um sistema de resfriamento por circulação de água em um banho termostático. A redução na diferença de temperatura entre a chapa de suporte dos fluxímetros e o ar proporcionou bons resultados, demonstrando a necessidade de modificação do atual sistema de resfriamento utilizado.

### ABSTRACT

This work presents a study about the improvement of a measurement system of solar heat gain called *Fenestration Radiometer*. The system allows the quantification of the thermal fraction of radiation gain that penetrates the room through a fenestration. Initially, a calibration of the sensors (fluxmeters) used in the equipment and outdoor measurements was done. The first measurements demonstrated that there was an error in the value of the Solar Factor found and also that there were an increase in the temperature of the fluxmeters support plate. Currently the equipment uses a heat dissipate system with fans that insufflate air directly on the backside of the fluxmeters support plate. The raise of the temperature difference between the plate and the external air avoids the heat flow to pass through the sensors, causing errors in the measurement. New tests were done with a system of cooling plate through water circulation in thermostatic bath. The decrease in the temperature difference between the fluxmeters support plate and the air provided good results, demonstrating the necessity of modification in the currently used cooling system.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 A importância das janelas e aberturas

As janelas e aberturas comumente nos proporcionam controle da passagem da luz e de ar para o interior do ambiente. São elas que permitem, através de fechamentos transparentes, o contato visual entre os ocupantes da edificação e o meio exterior. Suas características construtivas podem oferecer isolamento ao frio ou calor, bem como segurança e privacidade. Isso demonstra o seu significativo papel em proporcionar qualidade de vida e conforto nas edificações. PEREIRA (1992) e CARMODY et al. (1996) destacam que as janelas são um dos mais interessantes e sensíveis elementos no projeto de uma edificação, devido as suas funções e a sua relação dinâmica com ambiente externo.

Arquiteticamente, as janelas e aberturas podem ocupar um lugar de destaque atribuindo beleza e estética ao projeto. Mas, além das atribuições estéticas e funcionais, nos últimos anos estas vêm despertando outro tipo de preocupação: a influência no consumo geral de energia da edificação. Estes elementos podem influenciar diretamente tanto o desempenho como o dimensionamento de sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

## 1.2 As janelas e o consumo de energia em edificações

Atualmente, a conservação de energia tem mostrado ser uma preocupação crescente em diferentes setores produtivos da sociedade. A exemplo de outras áreas, também na construção civil, a eficiência energética tem se tornado um aspecto fundamental. Devido ao custo da energia, o edifício não pode mais ser considerado um elemento à parte do meio. Com a crise do petróleo, que ocorreu na década de 70, muitos países passaram a pesquisar novas fontes de geração e diferentes formas de redução do consumo. Nos EUA durante este período, as janelas passaram a ser vistas como responsáveis por uma grande parcela do uso da energia (SELKOWITZ, 1985; ARASTEH, 1995).

Talvez seja difícil compreender ou até de certa forma torne-se intrigante dizer que uma janela consome energia, porém, é preciso analisar a questão de forma mais ampla. O consumo não está associado ao elemento em si, mas aos efeitos que este causa no ambiente. Uma janela, mesmo sem utilizar energia diretamente, exerce influência sobre o desempenho energético da edificação (FROST et al., 1993; CADDET, 1999).

Um dos principais aspectos aos quais se atribui responsabilidade de consumo de energia às janelas, está relacionado ao condicionamento do espaço interno. Muitos estudos têm demonstrado a veracidade desta culpa atribuída às mesmas. FROST et al. (1996) estimam que no ano de 1994, existia nos EUA uma área de janelas de aproximadamente 1,77 bilhões de metros quadrados no setor residencial, os quais eram responsáveis pelo consumo de  $1,7 \cdot 10^{15}$  BTU/ano (498 TWh/ano)<sup>1</sup>. Destes,  $1,3 \cdot 10^{15}$  BTU/ano (76,5%) eram usados para aquecimento e  $0,4 \cdot 10^{15}$  BTU/ano (23,5%) para resfriamento. Isto representava mais de 2% do consumo total de energia do país.

Em um outro trabalho, REILLY e HAWTHORNE (1998) realizaram um estudo avaliando a influência da transmitância térmica e do ganho de calor solar através de janelas, sobre o consumo de energia com condicionamento (aquecimento e resfriamento) de ambientes residenciais em cidades dos EUA. Estima-se que, para o caso da cidade de Baltimore (aquecimento predominante), o ganho de calor solar através de janelas compõe aproximadamente 15% da energia utilizada para condicionamento. Já para a cidade de Miami (resfriamento predominante), o ganho de calor solar é responsável por 37% do consumo de energia com condicionamento.

Segundo LI e LAM (2000), estudos e simulações energéticas de edifícios comerciais na cidade de Hong Kong mostram que o consumo com ar condicionado está entre 50% e 60% do uso total de energia elétrica, sendo o ganho de calor solar principalmente por aberturas, o maior responsável pela carga de resfriamento. Também relacionado ao consumo de energia, WINKELMANN (2001) estima

---

<sup>1</sup> Para efeito de comparação em termos quantitativos, segundo dados do Ministério de Minas e Energia apresentados no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2004), o consumo total brasileiro de energia elétrica foi de aproximadamente 342TWh no ano de 2003. Este valor representa apenas 68,7% dos 498TWh consumidos devido à área de janelas do setor residencial nos EUA há quase uma década.

que em média a transferência de calor através de janelas corresponda a 31% da carga de resfriamento e 17% da carga de aquecimento em edifícios comerciais dos EUA. Já no caso de construções residenciais estes números seriam de 34% e 23%, respectivamente.

## **2. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO**

O ganho de calor solar, principalmente em regiões de clima quente, é um dos grandes responsáveis pelo aumento da carga térmica no interior da edificação. Conhecendo o desempenho de uma abertura, pode-se estimar a quantidade de calor que penetra no ambiente através da mesma. O Fator Solar (ou Coeficiente de Ganho de Calor Solar) é um dos mais importantes índices de desempenho energético de aberturas. Este índice indica a fração de ganho térmico por radiação solar que a abertura transmite para o interior da edificação.

Considerando que as edificações brasileiras sofrem uma grande influência do calor solar transmitido através das aberturas, o desenvolvimento de sistemas de medição para quantificar o ganho de calor solar é necessário para dar suporte a novas normas de desempenho energético e criar recomendações construtivas apropriadas para diferentes regiões e tipos de edificações. Outro aspecto importante seria a aplicação dos resultados como suporte didático na formação de arquitetos e engenheiros, e auxílio a projetistas durante a elaboração do projeto arquitetônico. Este tipo de informação, associado à simulação computacional e outros processos de análise, possibilita a elaboração de projetos melhores e mais eficientes. Porém, na prática determinar o desempenho de uma janela frente à radiação solar é algo bastante complexo.

Muitos esforços têm sido feitos para equacionar o ganho de calor solar para o interior do ambiente, através de diferentes sistemas de aberturas. Mas, devido ao grande número de variáveis envolvidas, existe uma grande dificuldade em criar modelos matemáticos que representem este fenômeno de maneira geral. Cada tipo de janela e dispositivo de sombreamento tem características específicas que precisam ser observadas.

Para a maioria dos sistemas de aberturas complexas (com proteções solares) não existem processos de cálculo de ganho de calor solar disponíveis, sendo necessário à realização de medições (MCCLUNEY, 1991). Ainda sobre o ponto em questão, PEREIRA (1992) comenta que para aberturas complexas e distribuições de radiação mais realistas, mesmo modelos matemáticos e computadores potentes podem apresentar uma precisão limitada devido a hipóteses teóricas usualmente assumidas. Desta forma, as medições tornam-se um modo mais conveniente de determinar o ganho de calor solar em diferentes tipos de aberturas.

## **3. OBJETIVO**

Neste estudo pretende-se melhorar o funcionamento de um sistema de medição de ganho de calor solar chamado de *Radiômetro de Abertura*, visando quantificar a fração de ganho térmico por radiação que penetra no ambiente através de uma abertura.

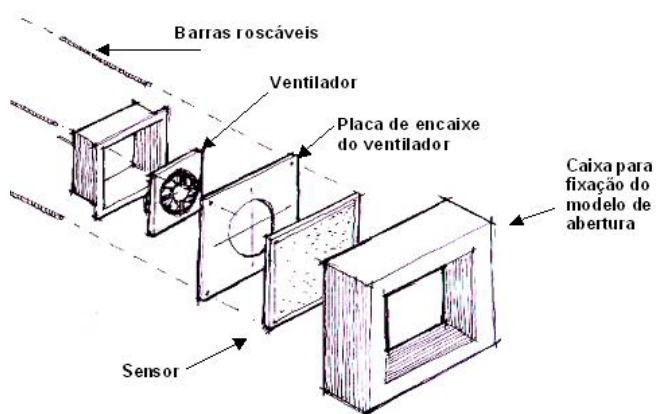
O protótipo está sendo aprimorado para o uso de amostras em escala reduzida (diferentes tipos de materiais e dispositivos de sombreamento), o que facilita e reduz os custos dos testes. Porém, isso não impede que o princípio de funcionamento possa ser futuramente usado para um sistema com a aplicação de amostras em escala real.

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

A partir de 1998 o LabCon (Laboratório de Conforto Ambiental – Departamento de Arquitetura), através de um projeto de pesquisa financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Ministério da Ciência e Tecnologia), deu início ao desenvolvimento de um protótipo do Radiômetro de Abertura. O projeto contou também com o apoio do LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas – Departamento da Engenharia Mecânica) e do LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Departamento da Engenharia Civil), todos vinculados a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O Radiômetro faz uso de uma nova classe de fluxímetros chamados "a gradiente tangencial", que têm como principais características a alta sensibilidade e a pequena espessura. O uso dos fluxímetros permite a construção de um equipamento mais simples e compacto, com flexibilidade de movimentação para utilização *in situ*.

Tendo por referência o modelo criado por PEREIRA (1992), foi projetado e construído o primeiro protótipo do equipamento. A Figura 1 apresenta um desenho esquemático da montagem do equipamento. Mais detalhes do projeto, construção, e ajustes dos componentes são apresentados por PEREIRA et al., (1999).



**Figura 1. Desenho esquemático da montagem do primeiro protótipo do Radiômetro de Abertura.**  
Fonte: Pereira et al., 1999 (adaptado)

Depois da montagem do primeiro protótipo e a construção de uma bancada para suportar o aparato, passaram a ser realizadas medições em campo (Figura 2 e Figura 3).

Durante as medições foram observados certos aspectos do funcionamento do sistema, dentre os quais a existência de erros nos resultados das medições de fluxo de calor realizadas. Através de uma investigação analítica e experimental concluiu-se que o problema poderia estar relacionado ao processo de fabricação do sensor. Devido as suas dimensões (30cm x 30cm) algum tipo de deformação na imagem ampliada, utilizada para produzir as trilhas do circuito, poderia gerar áreas com fluxo de calor na direção inversa, reduzindo o sinal de saída.



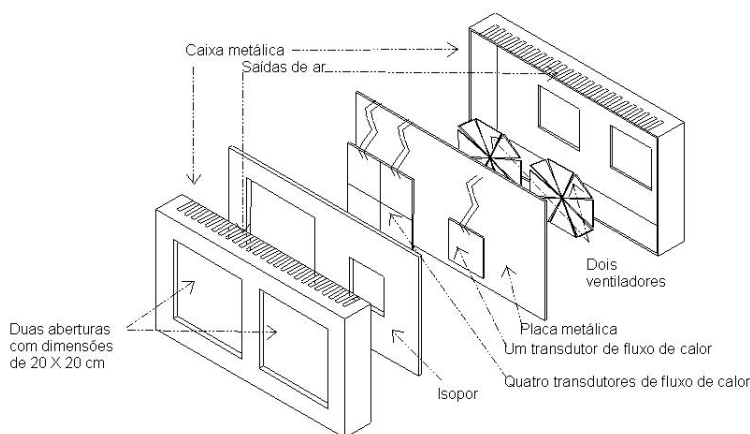
**Figura 2 e Figura 3. Vista frontal e posterior da bancada em operação.** Fonte: Pereira et al., 1999.

Após os testes preliminares com o primeiro protótipo, partiu-se para a construção de um Radiômetro de Abertura com um novo formato. MACEDO (2002) apresenta uma descrição da construção e montagem do novo equipamento.

O segundo protótipo foi construído em uma caixa metálica com saídas de ar em todo o perímetro e duas aberturas frontais com dimensões de 20cm x 20cm (Figura 4). Internamente, na parte posterior das 2 aberturas, foram instalados novos transdutores de fluxo de calor (fluxímetros), agora com dimensões inferiores (10cm x 10cm) aos utilizados no primeiro protótipo. Esta redução na dimensão do fluxímetro visou minimizar as distorções no circuito impresso, causados durante o processo de fabricação. Os fluxímetros, por sua vez, então fixos sobre uma chapa metálica, que serve de suporte para os mesmos e também tem o objetivo de uniformizar a condução do fluxo de calor. Uma camada de poliestireno expandido, que está instalada entre a caixa e a chapa metálica de suporte dos fluxímetros, realiza o isolamento térmico dos transdutores em relação a outras superfícies do Radiômetro, para que somente o fluxo de calor através da abertura frontal seja medido. Atrás da chapa de suporte dos fluxímetros estão posicionados dois ventiladores que insuflam o ar, causando o resfriamento da chapa e induzindo a passagem do fluxo de calor através dos fluxímetros. Parte do conjunto é agrupado através de eixos com roscas nas extremidades das aberturas. A Figura 5 mostra um esquema sequencial dos componentes do Radiômetro.



**Figura 4. Radiômetro de Abertura desenvolvido na UFSC (vista frontal).**  
Fonte: Macedo, 2002.



**Figura 5. Esquema seqüencial dos componentes do Radiômetro de Abertura.** Fonte: Macedo, 2002.

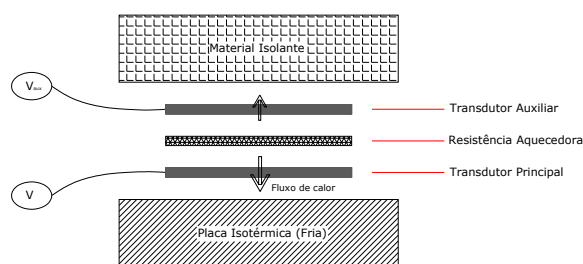
## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Introdução

A seguir serão demonstrados alguns dos procedimentos adotados para verificar e melhorar o funcionamento do Radiômetro de Abertura. Duas linhas de investigação são desenvolvidas. A primeira está relacionada à calibração dos fluxímetros. A segunda apresenta duas fases de medição, onde foram testados dois diferentes sistemas de resfriamento para dissipar o calor ganho através da abertura ou amostra de material a ser analisada. A descrição completa dos materiais e métodos utilizados nos testes é apresentada por MARINOSKI (2005).

### 5.2 Calibração dos fluxímetros

Na determinação das constantes dos fluxímetros (transdutores), foi utilizado o método de calibração do transdutor auxiliar. Este método consiste basicamente no uso de uma resistência aquecedora colocada na superfície do transdutor que será calibrado (principal) e de um transdutor pré-calibrado (auxiliar) posicionado sobre esta resistência, todos com a mesma dimensão. A resistência aquecedora gera uma potência conhecida, dissipando calor entre os dois transdutores. Determina-se então a fuga de calor (energia que não está sendo absorvida pelo transdutor a ser calibrado) através do transdutor auxiliar, sendo o restante da energia transmitida através do transdutor principal (Figura 6).



**Figura 6. Esquema de calibração: método do transdutor auxiliar.**

### 5.3 Sistemas de resfriamento e procedimento de testes

Durante a medição utilizando o Radiômetro, a passagem do fluxo de calor através dos sensores (fluxímetros) resulta no aquecimento da chapa de suporte dos mesmos. Como a transferência de calor entre a superfície dos sensores e a superfície da chapa de suporte ocorre pelo processo de condução, o aumento da temperatura da chapa reduz o fluxo de calor, gerando erros nos resultados medidos. Para forçar a passagem fluxo de calor através dos fluxímetros é necessário dissipar o calor que chega até a chapa de suporte. Isso pode ser alcançado por meio de um sistema de resfriamento que mantenha a temperatura da chapa muito próxima a temperatura do ar ambiente ( $\Delta T$  próximo a zero). Assim, o fluxo gerado devido à diferença de temperatura entre a chapa e o ar será nulo e apenas o ganho térmico por radiação é medido pelos fluxímetros.



Originalmente o Radiômetro foi projetado com um sistema de resfriamento a ar. Este sistema força a passagem do ar em alta velocidade pela face posterior da chapa, elevando o coeficiente de trocas (convecção forçada). Durante as medições com o Radiômetro foram testados dois sistemas de resfriamento. Na primeira etapa de medições foi utilizando o resfriamento por insuflamento de ar através de ventiladores. Em uma segunda etapa de medição foi aplicado um sistema de resfriamento por circulação de água mantida em um banho termostático.

Como condição geral, em todas as medições foi utilizada uma amostra de vidro simples, incolor, plano, com 3mm de espessura. Este tipo de vidro é comumente utilizado como padrão de comparação com outros materiais e em calibrações de dispositivos de medição de ganho de calor solar (ASHRAE, 2001). A intensidade de radiação solar incidente no plano da amostra foi monitorada, através de um piranômetro, simultaneamente às medições de fluxo de calor com o Radiômetro. Com isso foi possível determinar o valor do Fator Solar medido (razão entre o fluxo de calor que cruza os sensores pela radiação solar incidente sobre a amostra).

Foram realizadas medições de campo sob diferentes ângulos de incidência, em intervalos de tempo de 10 a 45 minutos durante o período das 12:00 às 16:30 horas. Neste período a intensidade da radiação solar direta é elevada, submetendo o Radiômetro a condições extremas de uso e possibilitando a verificação do desempenho dos sistemas de resfriamento.

Para determinar a diferença de temperatura entre os componentes do Radiômetro e o ar, causada pela incidência de radiação solar ao longo das medições, foram utilizados termopares do tipo T (cobre-constantan), calibrados segundo uma faixa de temperatura adequada ao funcionamento do equipamento.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Novas constantes dos fluxímetros

Através do método do transdutor auxiliar foi realizado um processo cuidadoso de calibração dos fluxímetros. O contato do fluxímetro (transdutor) e da resistência aquecedora foi feito com o uso de um gel com pH neutro, visando melhorar a condutividade e aumentar a passagem do fluxo de calor na direção do transdutor principal. A Figura 7 apresenta a seqüência de montagem dos componentes utilizados para a calibração dos transdutores.



Figura 7. Seqüência do processo de calibração dos transdutores.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os valores das constante de calibração anteriores (antigas) e as novas constantes determinadas. Para verificar a incerteza existente nos valores finais das constantes, foram realizadas quatro seqüências de medições com a aplicação de diferentes valores de potências na resistência aquecedora. Através de uma análise estatística dos resultados medidos determinou-se uma incerteza relativa no valor das novas constantes igual 3,3%.

Tabela 1. Variação das constantes de calibração

Transdutor N°	Constantes (W/mV)		
	Novas	Anteriores	Varição (%)
1	0,436	0,369	15,4
2	0,356	0,311	12,5
3	0,215	0,191	11,2
4	0,336	0,301	10,4
5	0,211	0,188	11,0

## 6.2 Medições utilizando resfriamento com insuflamento de ar

Antes da calibração dos sensores foram realizadas algumas medições para verificar o desempenho do Radiômetro. A Figura 8 mostra os resultados obtidos durante a medição. São apresentados os valores de densidade de fluxo de calor medido pelos 4 fluxímetros que estão sob a abertura principal do Radiômetro. O chamado “Valor Base”, representa o ganho de calor obtido pela multiplicação da densidade de radiação medida com o piranômetro pelo Fator Solar teórico da amostra de vidro. É possível observar que o “Valor Base”, calculado a partir do resultado do piranômetro, encontram-se sempre acima dos valores medidos pelos fluxímetros.

Em média observou-se uma diferença entre os resultados dos fluxímetros e do Valor Base em cada ponto de leitura, variando num intervalo entre aproximadamente 10,8% e 25,0%. Também a dispersão dos resultados dos fluxímetros em torno da média é elevada, com um desvio padrão variando numa faixa entre 6,4% e 9,0%, dependendo do momento de medição.

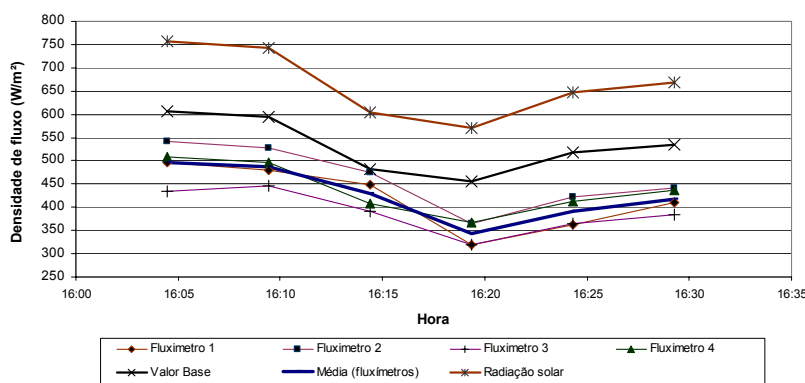


Figura 8. Resultados de ganho de calor solar na primeira medição

Analisando os resultados em termos do Fator Solar, tendo como parâmetros o ganho de calor medido pelos fluxímetros e a radiação incidente medida pelo piranômetro, chega-se a um Fator Solar médio calculado de 0,64. Se comparado este valor com o valor teórico, de aproximadamente 0,80 (para um ângulo de incidência próximo de 55° no período de medição), observa-se um erro médio de 20,0%.

Após a calibração dos fluxímetros foi realizada uma nova medição de ganho de calor solar utilizando o Radiômetro. Nesta medição a dispersão dos resultados de densidade de fluxo em torno da média foi reduzida, ficando o desvio padrão calculado em cada momento de leitura em uma faixa entre 0,6% e 2,0%. Também a diferença entre a média dos fluxímetros e o “Valor Base” caiu para um intervalo de 3,7% a 6,9%. Analisando em função do Fator Solar da amostra, os resultados da medição levaram a um valor médio igual a 0,82, que se comparado ao valor teórico para o mesmo material (0,87) no momento da medição, resulta em um erro de aproximadamente 5,8%. Estes resultados demonstram que a calibração dos sensores surtiu efeito positivo em relação à primeira etapa de medição, uma vez que a variação existente entre o ganho de calor solar medido e o ganho teórico esperado diminuiu.

Durante o intervalo de medição foi realizado em alguns pontos da estrutura do Radiômetro, através de termopares, o monitoramento da diferença de temperatura em relação à temperatura do ar externo. Observou-se uma elevada diferença entre a temperatura da chapa de suporte dos fluxímetros e o ar externo, que foi em média de 11,1°C. Este fato revelou um problema no funcionamento do equipamento, ou seja, o ar insuflado pelo ventilador não consegue remover todo o calor que cruza os fluxímetros da abertura principal, o que conduz a erros nos resultados medidos de ganho de calor, pois o fluxo através dos sensores é reduzido.

## 6.3 Medições utilizando resfriamento com circulação de água

Para realizar as medições utilizando o sistema de resfriamento por circulação de água foi montada uma bancada experimental acoplando os fluxímetros a uma placa de circulação de água ligada a um banho termostático, conforme mostram a Figura 9 e a Figura 10.

Um teste de campo foi realizado com a bancada, sendo a temperatura da água ajustada na mesma temperatura média do ar no momento da medição (para  $\Delta T$  chapa-ar igual a zero). A Figura 11 apresenta um gráfico com escalas de Fator Solar e temperatura ao longo do intervalo de tempo dos 10 minutos iniciais da medição. No restante do teste a presença de nebulosidade prejudicou os resultados.

Neste gráfico são comparados os valores de Fator Solar medidos frente ao valor de referência da amostra em ângulo de incidência normal (0,87). O Fator Solar medido corresponde à razão entre a média das densidades de fluxo medida através dos fluxímetros, pelo valor da densidade de radiação solar global determinada com o piranômetro.

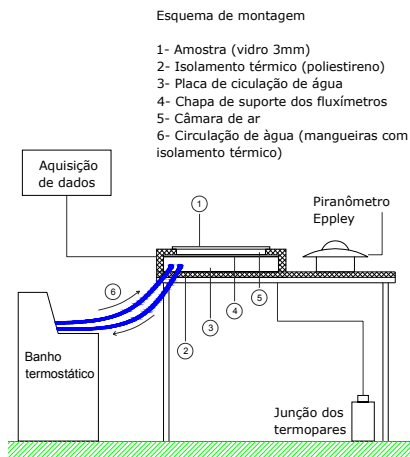


Figura 9. Esquema de montagem.



Figura 10. Configuração geral da medição utilizando o resfriamento por circulação de água.

Através dos valores de temperatura, também apresentados na Figura 11, é possível notar que a temperatura da chapa manteve-se sempre acima da temperatura do ar, resultando em uma diferença média de  $4,9^{\circ}\text{C}$ . Isto demonstrou, que sob as condições do teste, o banho não consegue manter a temperatura da chapa de suporte dos fluxímetros no mesmo patamar da temperatura de controle da água que circula no sistema. Mesmo assim, os resultados de Fator Solar encontrado na medição ficaram bastante próximos ao valor de referência, sendo a média obtida igual a 0,85 (variação de  $-2,7\%$  em relação ao valor de referência).

Devido ao fato observado, onde a temperatura da chapa mantém-se acima da temperatura da água do banho, para que a temperatura da chapa pudesse atingir um equilíbrio com a temperatura do ar externo, foi então aplicada uma temperatura de controle na água com  $5,0^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura do ar.

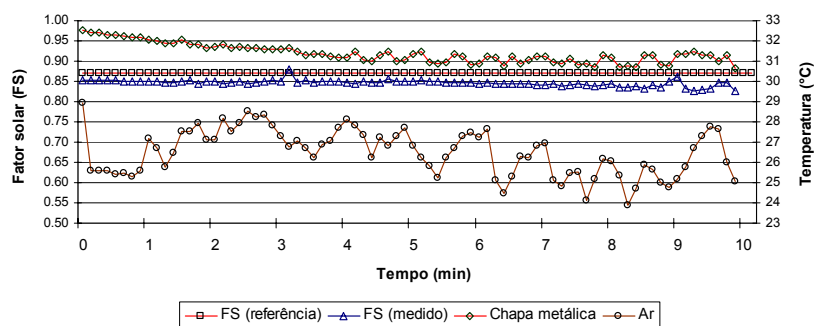


Figura 11. Variação do Fator Solar e da temperatura (primeiro teste)

Uma segunda medição em campo foi então realizada estendendo-se por um intervalo de pouco mais de 30 minutos, mas a temperatura de controle da água só foi atingida após 14 minutos de medição, sendo mantida estável por aproximadamente 16 minutos. Na Figura 12 é apresentada uma análise em termos do Fator Solar e da temperatura da chapa e do ar, para o intervalo de tempo no qual a temperatura da água foi mantida estável. Pode-se perceber que os valores da temperatura da chapa e do ar mantêm-se muito próximos, sendo as médias de temperatura observadas iguais a  $32,6^{\circ}\text{C}$  e  $32,8^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Assim, chegou-se a um  $\Delta T$  chapa-ar de aproximadamente  $0,2^{\circ}\text{C}$ , o que minimizou os efeitos de ganho de calor devido à diferença de temperatura entre o Radiômetro e o meio externo. A redução deste efeito fica ainda mais clara ao observarmos os resultados em termos do Fator Solar da amostra, onde se verifica que a curva dos valores “medidos” sobrepõe de maneira regular a linha do valor de referência.



Para o horário de medição em questão (13:30 às 14:00 horas) o ângulo de incidência da radiação solar é aproximadamente normal a superfície horizontal. Com isso, observou-se que a média dos valores de Fator Solar medido foi de 0,873 (e desvio padrão de 0,35%), o que representa um erro de apenas 0,4% em relação ao valor de referência (0,87).

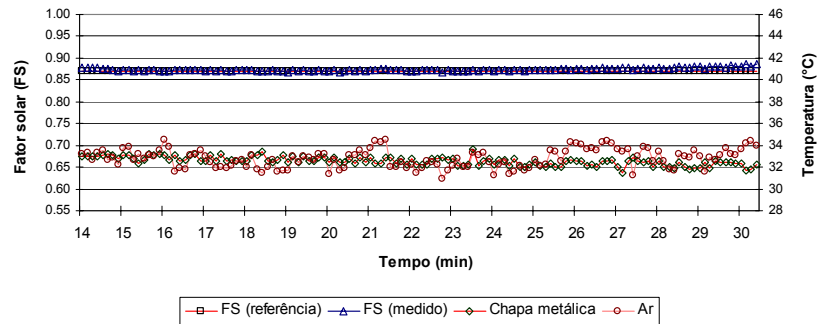


Figura 12. Resultados da variação do Fator Solar e da temperatura (segundo teste)

## 7. CONCLUSÕES

Durante este trabalho buscou-se realizar o aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas, o qual encontra-se atualmente em desenvolvimento na UFSC.

Nos testes iniciais com Radiômetro, utilizando o sistema de resfriamento por insuflamento de ar, o erro médio encontrado na medição do Fator Solar chegou a 20%. Após isso foi então realizada uma recalibração dos fluxímetros, onde foi verificada uma diferença entre os valores das novas constantes e das constantes anteriores variando num intervalo entre 10,4% e 15,4%. Isso demonstra que podem ocorrer mudanças na sensibilidade dos sensores devido a desgastes ao longo do tempo. Além disso, o processo de calibração deve ser cuidadoso, buscando reduzir a incerteza nos valores das constantes.

Em um segundo teste de campo, após a calibração dos sensores, o erro encontrado no Fator Solar medido caiu para 5,8%, demonstrando que o efeito desta medida foi positivo. Já o monitoramento da temperatura durante os testes revelou o aquecimento elevado na chapa de suporte dos fluxímetros. Constatou-se assim, que o sistema de resfriamento utilizado não estava funcionando de maneira eficiente, sendo necessário modificá-lo.

Após isso foram realizados novos testes, utilizando um sistema de resfriamento por circulação de água montado sob a chapa de suporte dos fluxímetros. Através de um ajuste na temperatura de controle da água que circula no sistema, a diferença média de temperatura da entre a chapa de suporte dos fluxímetros e o ar caiu a 0,2°C, e o erro médio verificado no resultado do Fator Solar medido foi de apenas 0,4%. Desta forma, observou-se que o sistema de resfriamento por circulação de água funcionou de maneira eficaz. Além disso, tornou-se ainda mais claro que a diferença de temperatura entre a chapa e o ar é uma das principais causas de erros nos resultados do fluxo de calor ou do Fator Solar medidos como o Radiômetro.

Depois de observadas estas questões, alguns pontos demonstram ser essenciais para que o Radiômetro possa ser utilizado na caracterização do Fator Solar de diferentes materiais e sistemas de aberturas. Em primeiro lugar é necessário definir qual sistema de resfriamento será utilizado. Um teste final com o sistema de resfriamento por insuflamento de ar ainda precisa ser feito, verificando experimentalmente e analiticamente os resultados da instalação de aletas na face posterior da chapa de suporte dos fluxímetros. Se esta alternativa atender às necessidades de resfriamento exigidas, então poderá ser aplicada como solução na construção final do equipamento. Caso contrário, será necessário utilizar um sistema de resfriamento com a circulação de água ou outro fluido em meio líquido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**, 2001. Atlanta, GA, USA, 2001.

- ARASTEH, D. **Advances in window technology: 1973 – 1993**. Building Technologies Program, Energy and Environment Division, LBNL, University of California, February 1995.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2004**. Brasília, DF, 2004.
- CARMODY, J.; SELKOWITZ, S. e HESHONG, L. **Residential Windows: a guide to new technologies and energy performance**. 1ª Edição, NY, USA, 1996.
- CADDET. Center for the analysis e dissemination of demonstrated energy technologies. **Saving energy with advanced windows**. Maxi Brochure 12, Sittard, Netherlands, 1999.
- FROST, K.; ARASTEH, D. e ETO, J. **Saving from Energy efficient windows: Current and future saving from new fenestration technologies in the residential market**. Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBL 33956, April 1993.
- FROST, K.; ETO, J.; ARASTEH, D. e YAZDANIAN, M. **The national energy requirements of residential windows in the U.S.: today and tomorrow**. Proceedings on Energy Efficiency in Buildings, August 1996.
- LI, D. H. W. e LAM, J. C. Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions. **Energy and Buildings**, v. 32, p. 47-55, 2000.
- MACEDO, C. C. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol**. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2002.
- MARINOSKI, D. L. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas**. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2005.
- MCCLUNEY, R. **The Death of the Shading Coefficient?** ASHRAE Journal, March, p. 36-45, 1991.
- PEREIRA, F. O. R. **Luminous and thermal performance of windows shading and sunlighting reflecting devices**. PhD Thesis, School of Architectural Studies, University of Sheffield, UK, 1992.
- PEREIRA, F. O. R.; PEDRINI, A.; GÜTHS, S.; MEDEIROS, J. M. **Relatório parcial de trabalho sobre a execução do Radiômetro de Aberturas - Equipamento para medir o ganho de calor solar de aberturas em edificações**. Relatório de Projeto integrado CNPq. UFSC, 1999.
- REILLY, S. e HAWTHORNE, W. **The impact of windows on residential energy use**. ASHRAE Transactions, TO-98-10-1, p. 791-798, 1998.
- SELKOWITZ, S. **Window performance and building energy use: some technical options for increasing energy efficiency**. Report LBL – nº 2021, 1985.
- WINKELMANN, F. C. **Modeling Windows in EnergyPlus**. Proceedings of International IBPSA Conference. Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, Setembro de 2001.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos órgãos nacionais de fomento à pesquisa (CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio prestado durante o período de desenvolvimento deste trabalho.