



AVALIAÇÃO DE UM APARATO PARA MEDIÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FECHAMENTOS EXTERNOS DE PEQUENA ESPESSURA

Lúcio Sant'Ana Zimbres (1); Cynthia Ivo Ribeiro Borges (2); Rodrigo Junqueira Calixto (3); Saulo Güths (4)

- (1) Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído (LASC) – Departamento de Apoio e Controle Técnico – Furnas Centrais Elétricas S.A., zimbres@furnas.com.br
(2) Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído (LASC) – Departamento de Apoio e Controle Técnico – Furnas Centrais Elétricas S.A., cynthia.borges@pop.com.br
(3) Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído (LASC) – Departamento de Apoio e Controle Técnico – Furnas Centrais Elétricas S.A., rcalixto@furnas.com.br
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, saulo@lmpf.ufsc.br

RESUMO

O ganho térmico em edificações industriais através de seus fechamentos metálicos é significativo, especialmente por emissão de radiação em ondas longas. Esta emissão é influenciada por características do material empregado, especialmente sua absorância e sua emissividade, tanto na face exposta quanto na face interna. O objetivo deste trabalho é estudar a adaptação de um método de análise de eficiência energética de mantas isolantes reflexivas para avaliação de telhas metálicas, a fim de que se possa fazer uma comparação do comportamento de diversos sistemas de fechamento disponíveis, realizando-se, ainda, um estudo de caso. Foram realizadas medições simultâneas do fluxo de calor fornecido por dois corpos-de-prova diferentes quando expostos à radiação solar global, utilizando-se "mantímetros" adaptados. Foram considerados resultados comparativos analisando-se o fluxo de calor, em W/m^2 , que passa através de placas de cobre instaladas atrás dos corpos-de-prova. Os ensaios foram realizados com telhas de alumínio em três configurações: com pintura em ambas as faces, com pintura apenas na face externa e sem nenhum tipo de pintura. O aparato construído mostrou-se eficiente nas medições realizadas, com potencial para se tornar um método de ensaio relevante na avaliação comparativa de desempenho de fechamentos externos de pequena espessura, como é o caso das telhas metálicas. Ficou demonstrada também a vantagem de desempenho térmico da telha pintada apenas na face externa frente àquela pintada em ambas as faces. A grande contribuição do trabalho, no entanto, é a criação de um aparato/sistema de avaliação de desempenho térmico, de baixo custo, fácil aplicação e resultado direto que oferece informações claras e objetivas sobre o comportamento de materiais, necessárias na busca da eficiência energética em edificações e do conforto térmico.

Palavras-chave: Desempenho térmico; fluxo de calor; conforto térmico; eficiência energética.

ABSTRACT

The thermal gain in industrial constructions through their metallic closings is significant, especially for radiation emission in long waves. This emission is influenced by characteristics of the employed material, especially for its absorbance and emissivity, both in the exposed side and in the internal one. The goal of this work is to study the adaptation of a method of analysis of energy efficiency of insulating foils for evaluation of metallic roof tiles, so that we can make a comparison of the performance of several available closings, and also perform a case study. Simultaneous measurements of the heat flow in two different tile specimens exposed to the global solar radiation were accomplished by using adapted "mantímetros" (used for the evaluation of insulating foils). Comparative results analyzing the heat flow, in W/m^2 , that passes through copper plates installed beneath the test specimen were considered. The tests were accomplished with aluminum roof tiles in three different configurations: with painting on both sides (inside and out), with painting only on the external side and without any painting. The test apparatus was considered efficient in the accomplished measurements, and could become a relevant method of test for the comparative

evaluation on thin external closings, as it is the case of metallic roof tiles. The results also show a significantly better thermal performance of the tile painted only in the external side, compared to the one painted on both sides. The great contribution of the work, however, is the creation of a low cost and easy to use apparatus for the evaluation of the thermal performance of materials, necessary in the search of thermally comfortable and energy-efficient constructions.

Keywords: Thermal performance; heat flow; thermal comfort; energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Ganho Térmico em Galpões Industriais

Edificações destinadas a uso industrial, tanto para áreas de desenvolvimento de atividades como para depósito, se caracterizam por possuir grande área exposta ao sol pelas fachadas, pois geralmente apresentam pé-direito alto e beirais curtos. Além disso, a distância existente entre galpões é normalmente grande, constituindo-se em área de manobra ou depósitos a céu aberto e sem vegetação de grande porte, não existindo, portanto, sombreamentos propiciados por elementos vizinhos. Seria recomendável levar em conta esses fatores no momento de definir sobre os fechamentos verticais nesse tipo de edificação, principalmente quando o ambiente for destinado à permanência de pessoas. Vittorino et al. (2003) considera que “o conhecimento das diversas alternativas para isolação térmica dos elementos das edificações serve de subsídio para a elaboração de projetos que visam a economia de energia ou, em grande parte do território nacional, o desenvolvimento de soluções que dêem condições satisfatórias de conforto térmico aos usuários sem a utilização de equipamentos de condicionamento ambiental.”

Ocorre que, muitas vezes, esses fechamentos são constituídos de telhas, geralmente de aço zinkado, alumínio ou fibrocimento. De acordo com Lamberts et al. (2004), “a radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Na escala da edificação, a transferência de calor por radiação pode ser dividida em cinco partes principais: radiação solar direta (onda curta), radiação solar difusa (onda curta), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa)”. E continua, “em um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo será sempre da superfície mais quente para a mais fria”. Considerando-se a temperatura exterior maior que a interior, ocorrerá a troca de calor com o meio externo através do aquecimento do elemento de vedação por radiação e convecção, a condução de calor pelo material constituinte, e a troca de calor com o meio interno, novamente por convecção e radiação.

Outro fenômeno observado na emissão de radiação para o interior de edificações é que os objetos ali presentes também absorvem energia e aquecem o ar por convecção, contribuindo para o aumento da temperatura do ar.

A transmissão de calor por radiação não sensibiliza eficazmente termômetros simples e outros sensores de pequenas dimensões ou pouco absorvedores, sendo utilizados para determinação do calor radiante no ambiente interno os termômetros de globo. O globo negro absorve essa energia radiante aquecendo o sensor de temperatura posicionado em seu interior, de onde se obtém a “temperatura radiante”. A exposição a essa energia é causa de desconforto, que aumenta à medida que se aproxima da fonte, fato observado no galpão onde funciona o Laboratório de Tecnologia do Ambiente Construído, de Furnas Centrais Elétricas S.A., situado em Aparecida de Goiânia, Goiás. Foram utilizadas, nas fachadas, telhas de alumínio pintadas interna e externamente. Sabe-se que o alumínio possui a característica de baixa emissividade, e que isso pode ser explorado como barreira radiante mesmo quando a face aluminizada não é exposta ao calor. Entretanto, para melhor funcionamento desse mecanismo, é necessário levar em conta as características de emissividade da última superfície, conforme observado por Güths e Paghi (2004), que realizaram ensaios utilizando o “mantímetro” comparando o desempenho de mantas feitas com embalagens Tetrapak®, e avaliam: “Nota-se que a retirada do filme de polietileno que recobre a película de alumínio aumentou significativamente a eficiência da manta. Nos ensaios apresentados a manta foi posicionada com a face reflexiva voltada para baixo. Contudo, ensaios demonstraram que a eficiência aumenta apenas 1% quando a face

reflexiva é posicionada para cima, não compensando, dessa forma, o risco de diminuição de eficiência devido à deposição de poeira”.

As telhas utilizadas no fechamento lateral são pintadas internamente com finalidade estética e para proteção contra corrosão, quando for o caso. O que se pretende nesse trabalho é propor um método para avaliar o comportamento térmico das telhas utilizadas considerando as diversas possibilidades de acabamento. É uma adaptação de um “método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas”, proposto por Güths e Paghi (2004).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é propor um método para avaliação comparativa de desempenho térmico entre fechamentos externos de pequena espessura.

3 METODOLOGIA

3.1 Construção do aparato

O dispositivo original, apelidado de mantímetro, destinava-se a avaliar subcoberturas. Simulou-se, portanto, a condição normal de aplicação daquele material, entre o telhado e a laje da edificação. A energia é fornecida por uma resistência elétrica, e o fluxo de calor é medido por um Transdutor de Fluxo de Calor a Gradiente Tangencial (Güths et al, 1995), chamado de “fluxímetro”, instalado sob a amostra em ensaio, conforme figura 3.1. O fluxímetro gera uma f.e.m. que varia de forma diretamente proporcional ao fluxo de calor. Güths e Paghi (2004) observam: “Além da grande sensibilidade ($20 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$), esse sensor apresenta como principal característica a espessura reduzida ($\approx 300 \mu\text{m}$), permitindo assim medições com baixa perturbação”.

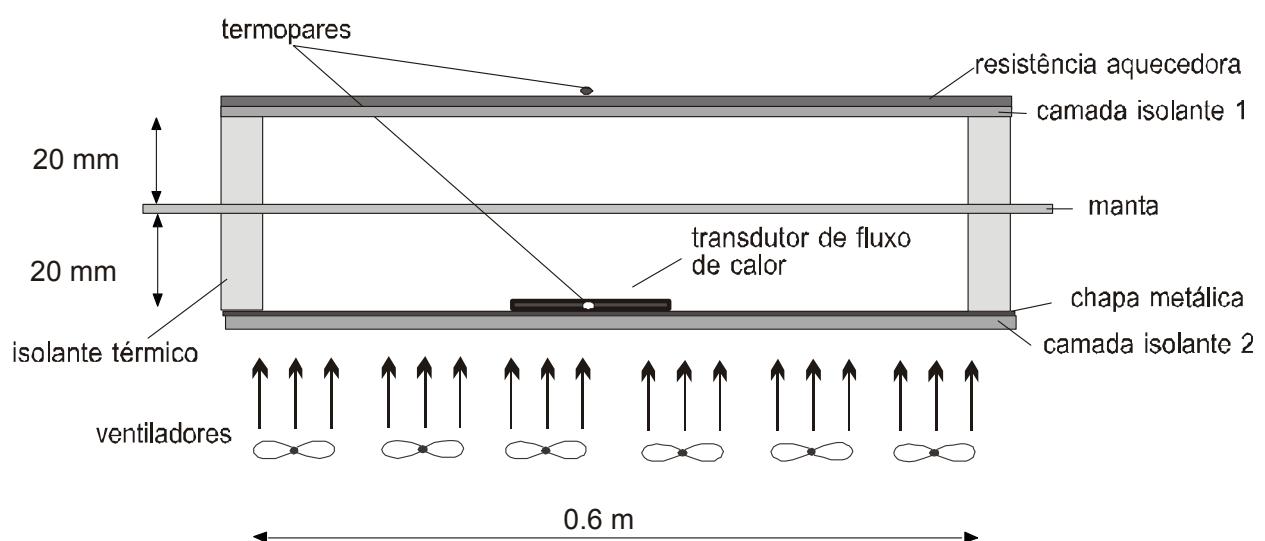


Figura 3.1 – Mantímetro original

Na adaptação desenvolvida, a fonte de calor é a radiação solar global natural, com a radiação direta incidindo perpendicularmente ao plano da amostra, e difere do equipamento original por utilizar um único ventilador de 40 cm de diâmetro em cada caixa de medição (figura 3.2). O receptor de ondas longas instalado sob a face não exposta é composto de chapa de cobre com espessura de 2 mm, no centro da qual foi instalado o fluxímetro (figura 3.3), conjunto este pintado de preto fosco somente na face superior. As amostras são montadas em quadro de madeira e vedadas de forma a evitar entrada de ar no compartimento formado entre a telha e a chapa de cobre. Isso evita variáveis não controladas e reduz a troca de calor por convecção manter baixa a velocidade do ar junto à face superior dessa

chapa.

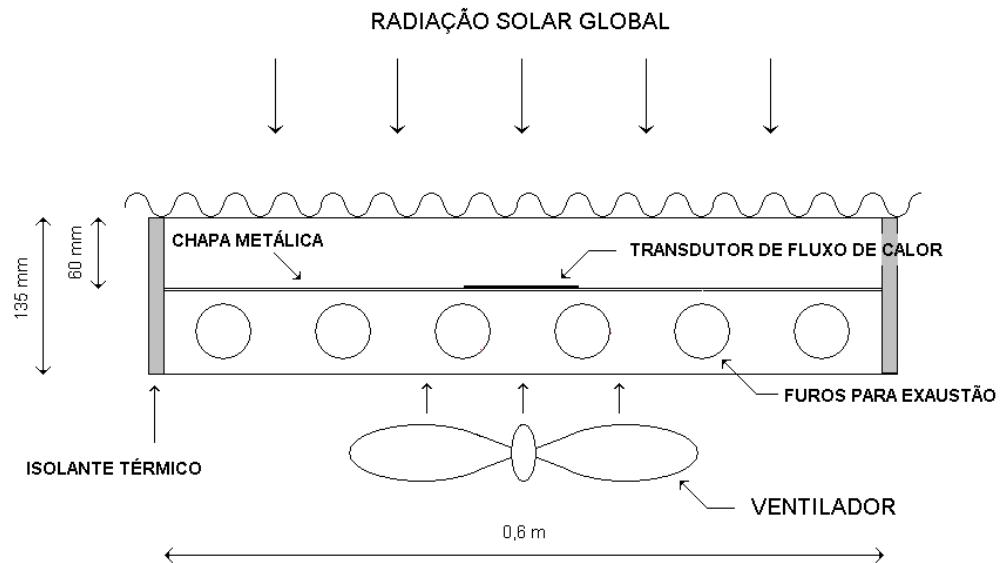


Figura 3.2 – Aparato desenvolvido para medição do fluxo de calor em coberturas

Foram montadas duas caixas sobre uma mesa com regulagem de inclinação (figura 3.4), posicionadas cerca de 15 cm de distância uma da outra. A fonte de calor é a radiação solar, que varia continuamente. Não seria possível realizar o ensaio com uma amostra num dado momento e comparar com outra exposta a diferentes níveis de radiação, por isso as medições foram realizadas simultaneamente nas duas caixas.

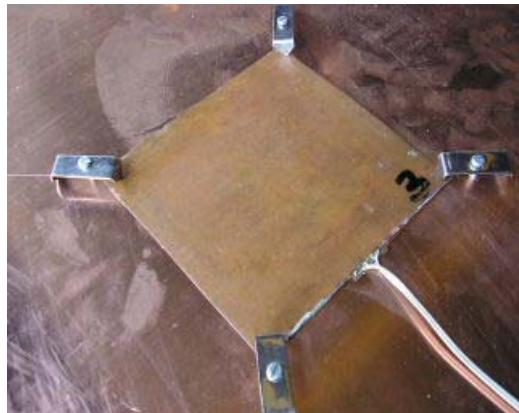


Figura 3.3 – Detalhe do fluxímetro



Figura 3.4 – Vista geral do aparato

Para medição da tensão gerada pelos fluxímetros foram utilizados dois multímetros com resolução de centésimos de μ V. Simultaneamente às medições do fluxo de calor era medida a radiação solar global. Os multímetros e o piranômetro utilizados são vistos nas figuras 3.5 e 3.6.



Figura 3.5 – Multímetros utilizados nas medições



Figura 3.6 – Piranômetro (radiação solar global)

3.2 Definição e preparação das amostras

A questão que se procurou responder neste trabalho foi qual seria o comportamento térmico do fechamento lateral do galpão metálico onde funciona o Laboratório de Tecnologia de Ambiente Construído de FURNAS caso a face voltada para o interior não tivesse sido pintada, especialmente com relação à emissão de ondas longas. Naquela edificação foram utilizadas, nos fechamentos laterais, telhas onduladas de alumínio com 0,7 mm de espessura, sobre as quais foi aplicado *primer* específico e pintura em esmalte sintético fosco, sendo cinza claro na face externa e branco na interna. As figuras 3.7 e 3.8 mostram uma vista do galpão e a telha em estado original e com os revestimentos citados. O eixo longitudinal do edifício tem orientação aproximada 85° SE.



Figura 3.7 – Vista geral do galpão



Figura 3.8 – Detalhe das telhas

Do galpão foram retiradas 3 amostras. De uma delas foi retirada a pintura interna com o uso de removedor e dado acabamento polido com sabão e lã de aço. Entretanto, verificou-se que a telha polida apresentava uma superfície aparentemente mais reflexiva que em seu estado original, que tem aspecto semelhante a aço escovado. Além disso, verificou-se somente a existência de telhas de alumínio com 0,5 mm de espessura no mercado de Goiânia. Era necessário então saber se o resultado apresentado pelas telhas antigas seria semelhante ao que seria obtido na aplicação de um produto novo. Foi adquirida uma telha nova de onde foram extraídas mais 3 amostras, sendo uma pintada em duas faces, uma só externamente e a terceira sem pintura alguma. A tinta utilizada foi esmalte sintético em spray nas cores cinza placa e branco fosco.

3.3 Calibração do Aparato com amostras iguais

Montado o aparato, o primeiro teste realizado foi a exposição ao sol com as caixas cobertas apenas com filme de PVC para verificar diferenças no valor medido (figura 3.4). Após uma hora de testes, a média das diferenças foi de 0,69 %, considerado satisfatório e remetendo para as próximas etapas.

O passo seguinte foi a realização do ensaio utilizando-se duas amostras iguais para determinação do erro existente nesta situação (figura 3.9). Neste teste foram empregadas duas amostras das telhas extraídas do galpão, pintadas em ambas as faces. Foi feita alternância de posições entre amostras e caixas, e após um período de testes verificaram-se diferenças médias de $-0,93\%$ a $+2,83\%$. Conhecendo a amplitude dessa incerteza, passou-se a ensaios comparativos entre diferentes amostras.



Figura 3.9 – Ensaio com duas amostras iguais

3.4 Medições comparativas

O ensaio consiste em expor à radiação solar global simultaneamente duas amostras diferentes, obtendo o fluxo de calor em cada uma delas. As leituras em mV são anotadas em planilha de campo e posteriormente digitadas em meio eletrônico, onde se calcula os valores de radiação solar global e fluxos de energia em W/m^2 .

Nos ensaios aqui apresentados a velocidade do vento também foi medida em alguns momentos, sendo desconsiderados os dados em períodos com velocidade acima de 2 m/s. Na maior parte do tempo a velocidade máxima situou-se abaixo de 1,4 m/s.

3.4.1 *Ensaios com amostras de telhas usadas*

O primeiro conjunto ensaiado foi de telhas extraídas do galpão, sendo uma com os revestimentos originalmente empregados (pintura em ambas as faces, identificado como CP-A) e outra com a face interna polida (CP-1). Assim como na calibração, as posições das amostras foram alternadas entre as caixas de medição.

3.4.2 *Ensaios com amostras de telhas novas*

Foram preparadas 3 amostras conforme descrito em 3.2. Realizaram-se ensaios comparando a amostra pintada em duas faces (CP-5) com outra pintada só externamente (CP-3) na posição perpendicular à luz solar e depois na vertical.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resultados dos ensaios em telhas usadas da fachada

Foram realizadas várias determinações utilizando as amostras de telhas usadas, pintadas nas duas faces (CP-A) e pintadas na face externa (CP-1), devido a sombreamentos com queda nos níveis de radiação solar global. Os resultados obtidos estão representados na tabela 4.1 e no gráfico 4.1., que considera a média de dados coletados em períodos de pouca perturbação (pouco ou nenhum vento e pouca variação nos níveis de radiação solar global).

Tabela 4.1 – Comparativo entre amostras de telhas usadas CP-A e CP-1

Nº da determinação	Radiação Solar Global média (W/m ²)	Fluxo Médio CP-A (W/m ²)	Fluxo Médio CP-1 (W/m ²)	Diferença média entre fluxos (%)
1	724,48	109,00	34,84	68,03
2	735,00	111,68	34,81	68,83
3	766,00	115,74	37,98	67,19
4	774,81	119,17	39,33	67,00
5	797,49	122,93	40,54	67,01

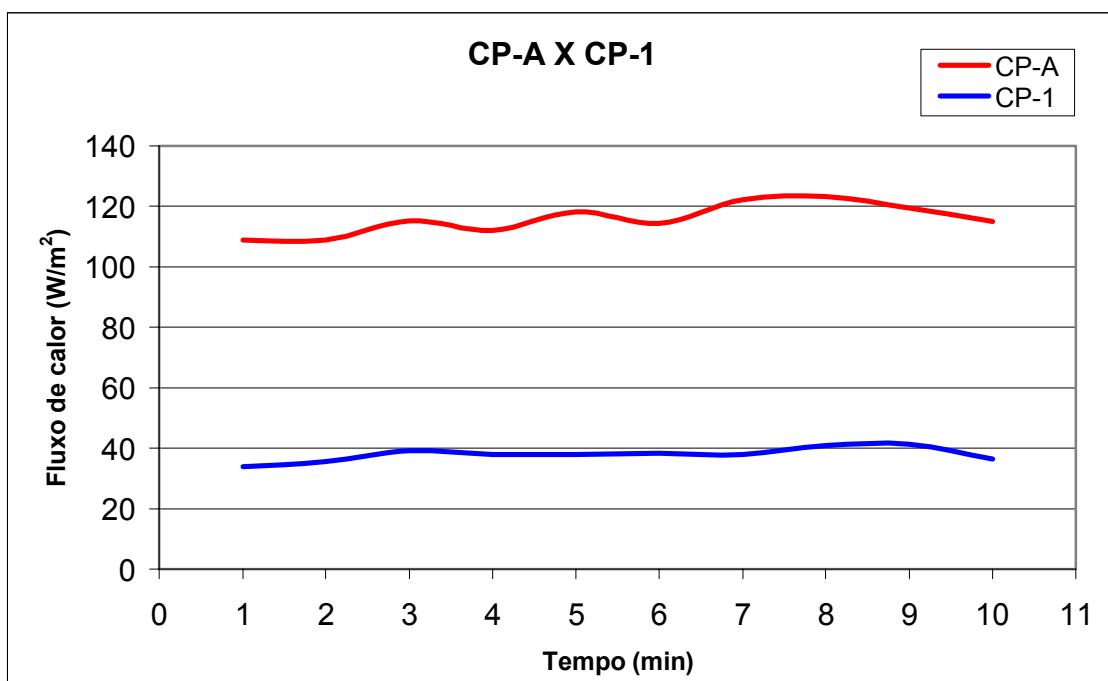


Gráfico 4.1 – Fluxo de calor em função do tempo - Telhas usadas (terceira determinação)

Verifica-se redução considerável no fluxo de calor provocado pela emissão de ondas longas na amostra da qual se foi removida a pintura da face interna. O cálculo da redução considera o maior fluxo como referência, e a porcentagem é com base na diferença entre os dois valores. De outra forma, pode-se dizer que na terceira determinação o CP-1 transmitiu somente 32,81% da energia transmitida pelo CP-A.

4.2 Resultados dos ensaios em telhas novas

Condições climáticas favoráveis permitiram a realização de uma única determinação na comparação entre telhas novas pintadas somente na face externa (CP-3) e em ambas as faces (CP-5). O resultado é apresentado na tabela 4.2 e no gráfico 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados do ensaio comparativo entre telhas novas CP-3 e CP-5

Nº da determinação	Radiação Solar Global média (W/m ²)	Fluxo Médio CP-3 (W/m ²)	Fluxo Médio CP-5 (W/m ²)	Diferença média entre fluxos (%)
1	758,99	32,78	126,33	73,94

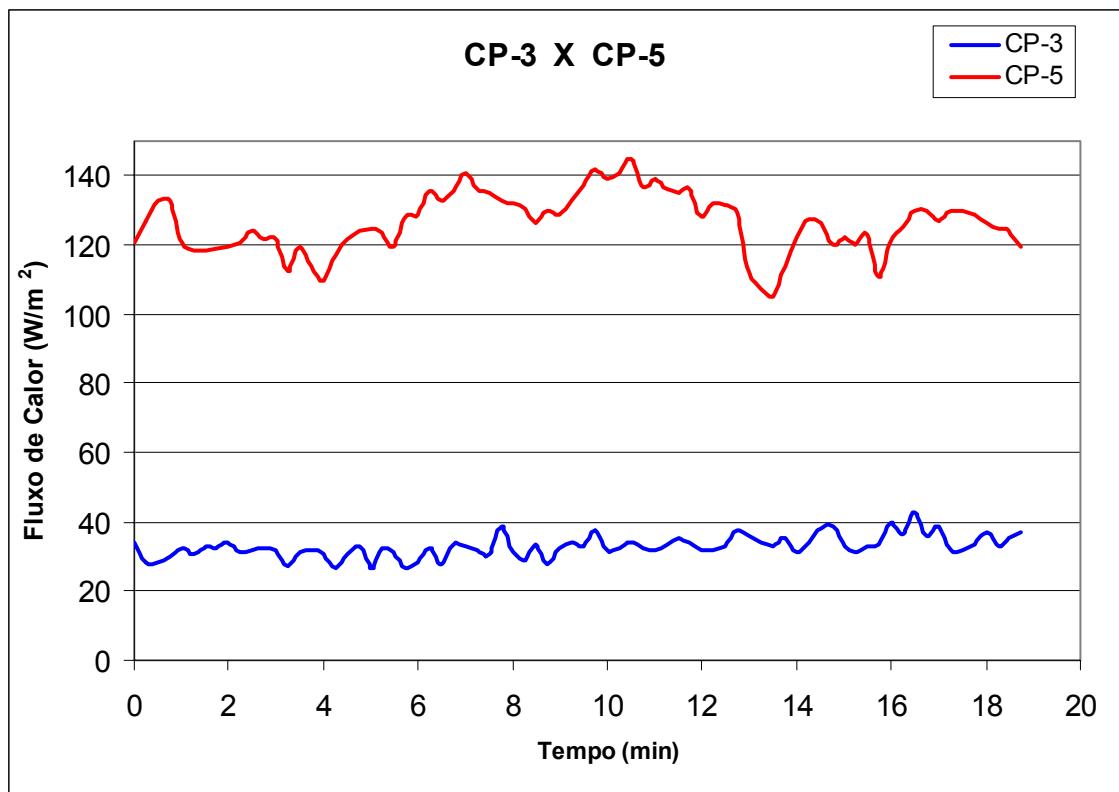


Gráfico 4.2 – Fluxo de calor em função do tempo - Telhas novas

O comportamento relativo das amostras de telhas novas foi bastante semelhante ao das usadas, apesar de o acabamento das faces em alumínio ser aparentemente bem diferente. Entretanto, é preciso lembrar que havia diferenças nas tintas aplicadas. O revestimento cinza placa do CP-5 se apresenta bem mais brilhante que a tinta utilizada no galpão. Uma comparação direta entre as diferentes texturas de alumínio só deve ser feita se a pintura da face exposta à radiação for a mesma.

4.3 Resultados dos ensaios com telhas novas na vertical

O ensaio realizado com as telhas novas (CP-3 e CP-5) na posição vertical visa simular uma condição mais próxima à realidade do galpão de FURNAS, pois os fechamentos laterais deste estão dispostos verticalmente. Os resultados estão apresentados na tabela 4.3 e no gráfico 4.3.

Tabela 4.3 – Resultados do ensaio comparativo entre telhas novas (CP-3 e CP-5) na vertical

Nº da determinação	Radiação Solar Global média (W/m ²)	Fluxo Médio CP-3 (W/m ²)	Fluxo Médio CP-5 (W/m ²)	Diferença média entre fluxos (%)
1	698,93	43,84	114,99	61,79

No ensaio comparativo entre telhas novas na posição vertical ocorreu um aumento do fluxo de calor de 33,7 % na telha pintada somente na face externa em relação ao ensaio na posição perpendicular à luz solar, apesar da diminuição da radiação solar global em cerca de 8 %. Já o fluxo na telha pintada nas faces interna e externa apresentou uma redução de cerca de 9 %, acompanhando a diminuição na radiação. Como consequência direta, a diferença média entre os fluxos de calor caiu de 73,94 % para 61,79 %, permanecendo, ainda, em um patamar bastante considerável.

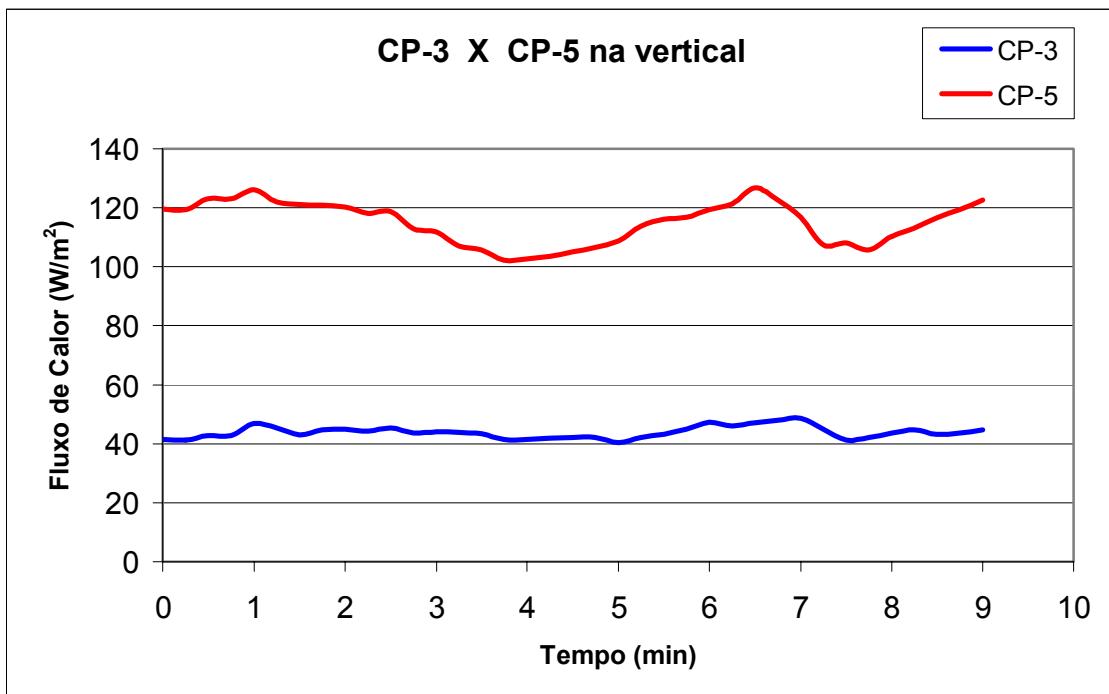


Gráfico 4.3 – Fluxo de calor em função do tempo - Telhas novas na vertical

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desempenho do aparato desenvolvido nesta pesquisa pode ser considerado satisfatório, podendo ser utilizado para verificação da diferença do comportamento térmico entre materiais de base semelhantes e acabamentos variados. Este método também pode ser empregado para comparação de materiais diferentes sempre que a preocupação seja a emissão de ondas longas em fechamentos opacos de pouca espessura, como alumínio, aço zinulado, aço aluminizado (galvalume), não metálicos, etc. Além disso, pode-se avaliar a eficiência de pinturas destinadas a melhorar o desempenho térmico de coberturas.

Algumas melhorias devem ser implementadas para melhorar o processo. A principal seria a utilização de um sistema de aquisição de dados para registrar as tensões geradas nos fluxímetros, dispensando a presença e atenção constante do pessoal envolvido e viabilizando ensaios de grande duração. A realização do ensaio comparativo na posição vertical também deve ser mais bem explorada para observação das diferenças de fluxo em relação ao teste inclinado.

Atualmente se estuda a viabilidade da utilização de fonte artificial de energia, de forma que não haja dependência de condições climáticas para realização dos ensaios. Esta metodologia também permitirá que se obtenha fluxo em regime permanente, possibilitando a comparação de resultados obtidos em ensaios individuais realizados em laboratórios distintos.

6 REFERÊNCIAS

- XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º grau na Região de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª Edição, revisada. São Paulo: Prolivros, 2004.
- GÜTHS, Saulo; PAGHI, Carlos Eduardo. **Um método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas**. (CD ROM). In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2004.

GÜTHS, S.; PHILIPPI, P.C.; GAVIOT, E. e THERY, P. **Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial.** In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM), Belo Horizonte/MG, 1995.

VITTORINO, Fúlvio; SATO, Neide Matiko Nakata; AKUTSO, Maria. **Desempenho térmico de isolantes reflexivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** Revista Téchne nº 75, junho/2003, editora Pini.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** Rio de Janeiro, 2005.

Norma de Higiene Ocupacional 06: **Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor.** FUNDACENTRO, 2002.

RUAS, Álvaro César. **Avaliação de Conforto Térmico Contribuição à Aplicação Prática das Normas Internacionais.** FUNDACENTRO, 2001.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico.** São Paulo: Nobel, 1988.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., localizado em Aparecida de Goiânia – GO, pelo apoio para a realização desta pesquisa.