

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COBERTURAS PLANAS - VEGETAÇÃO E TERRAÇO

Maria Tereza F. Pouey¹, Miguel A. Sattler², Paulo S. Schneider³

1 - Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Pelotas - 96010-900 - Pelotas - RS - Brasil

2 - Departamento de Engenharia Civil / NORIE 3 - Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - 90050-170 - Porto Alegre - RS - Brasil



RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de estudar, comparativamente, o desempenho térmico de dois tipos de coberturas planas, a partir de dados experimentais. Os dados foram obtidos em duas montagens experimentais de coberturas planas: uma com vegetação (grama) e outra constituída de terraço (piso), ambas avaliadas em situação de verão. Os elevados valores de temperatura superficial atingidos no terraço determinam a necessidade de uso de isolamento térmico neste tipo de cobertura. Os dados mostram que, do ponto de vista do desempenho térmico, a cobertura com vegetação, com menores temperaturas superficiais e interna, constitui uma melhor solução que as coberturas tradicionais bem isoladas.

INTRODUÇÃO

O uso de vegetação em coberturas de edificações não é uma proposta recente, sendo há muito empregada na Europa, principalmente em países como Alemanha, Itália, Inglaterra, Áustria, Dinamarca entre outros. No Brasil, esta é uma idéia pouco difundida, encontrando-se apenas poucos exemplos.

A cobertura com vegetação pode apresentar vantagens tanto de ordem técnica como estética e psicológica. Entre as vantagens de ordem técnica são citadas: isolamento termo/acústico, proteção da impermeabilização e redução das patologias em lajes de coberturas pela redução do gradiente de dilatação térmica e diminuição e/ou retardamento do volume de águas pluviais escoadas nas redes dos centros urbanos. Além disto, a estética diferenciada, a alteração do microclima local e o efeito psicológico tornam a paisagem urbana menos árida e a qualidade de vida melhor.

O estudo do efeito térmico do uso de vegetação em construções tem sido desenvolvido em países como o Japão e Alemanha. Hoyano (1984) desenvolveu um experimento que avaliou o efeito causado pelo uso de vegetação em coberturas no ambiente interno da construção. Para tanto, monitorou 3 bancadas, em que a diferença básica entre elas era o acabamento superficial externo da cobertura, ou seja: vegetação rasteira, vegetação densa e solo nu. Posteriormente, Hoyano (1988) estudou o efeito de vegetação como coberturas de ambientes abertos, como barreira de sombriamento de paredes e como cobertura aderente a paredes. Wilmers (1990) avaliou o efeito da vegetação no clima urbano e em edificações. Harazono et al (1991) estudaram o efeito de coberturas com vegetação e substrato artificial no clima urbano e na carga térmica de construções. Vários autores como Honjo e Takakura (1991), Kawashima (1990), Meier (1991) e Saito et al (1991) têm estudado a influencia da vegetação ou áreas verdes no clima urbano.

A cobertura é o elemento da edificação mais exposto a radiação solar durante o verão. Portanto, é responsável por grande parcela do fluxo de calor transferido ao ambiente interno. O uso de solo vegetado sobre uma laje de cobertura reduz consideravelmente o efeito da insolação, pois de um lado a vegetação reflete e absorve a radiação solar, e de outro lado o substrato para esta vegetação representa uma barreira adicional a passagem de calor.

O presente estudo se propõe a avaliar um dos aspectos de desempenho da cobertura com vegetação, isto é, o comportamento térmico, comparando-o com uma cobertura plana tipo terraço.

Sobre este aspecto, a revisão bibliográfica realizada indicou a ausência de trabalhos comparativos entre coberturas vegetais e outras convencionais. Um arranjo experimental foi elaborado para representar em escala natural estes dois tipos de coberturas, para as quais são apresentados os comportamentos observados em situação de verão.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi desenvolvido no Campus Universitário da Universidade Federal de Pelotas - UFPel - junto a Estação Agroclimatológica da EMBRAPA, Pelotas - RS

A cidade de Pelotas, está situada no interior do estado do Rio Grande do Sul, tendo como coordenadas geográficas 31°46'S de latitude, 52°21' O de longitude e 13,0 m de altitude. Situada às margens da Lagoa dos Patos, tem seu clima influenciado pela presença deste grande volume de águas. De acordo com a classificação de Nimer (1989), o clima da região é do tipo temperado.

Segundo as normais climatológicas, referentes a um período de 30 anos (1961 a 1990) fornecido pela Estação Agroclimatológica UFPel/EMBRAPA, os meses de dezembro a março são os mais quentes, sendo janeiro e fevereiro os meses de temperaturas mais elevadas (média das máximas igual a 28,2 °C). No inverno os meses mais frios são junho, julho e agosto, apresentando mínimas absolutas de até 3,8 °C negativos. Os meses que apresentam umidade mais baixa são dezembro e janeiro (74,8 e 76,1%), enquanto os meses de maio a setembro são os mais úmidos (82,8 a 85,4%).

Bancada Experimental. Para o estudo proposto, foi executada uma bancada experimental em escala natural, implantada na área da Estação Agroclimatológica do Convênio UFPel / EMBRAPA. O projeto da bancada é uma adaptação daquela desenvolvida e empregada por Lamberts (1983) para estudar o desempenho térmico de coberturas leves com ático. A bancada (figura 1) constitui-se de uma pequena construção de 4,0 m x 2,6 m de planta baixa e 1,4 m de pé direito, tendo como piso uma laje de concreto e paredes de pedra granítica, envolvida ainda

por taludes de terra por todos os lados e coberta por três coberturas independentes, duas das quais são o objeto do estudo.

O talude foi executado a fim de aumentar a inércia térmica das paredes, fazendo com que nas horas de pique da temperatura do ar externo e da radiação solar, o fluxo térmico pelas coberturas seja o mais significativo.

Na fachada sul, encontra-se uma porta que permite o acesso para a colocação da instrumentação.

Na parte central da bancada, foi executada uma laje de concreto pouco adensado, com 10 cm de espessura, num nível 15 cm abaixo das lajes laterais. Esta laje foi mantida sombreada com telhas de barro e é separada das demais por material isolante térmico, servindo de elemento separador das coberturas em estudo, e evitando a criação de pontes térmicas.

Nas laterais da bancada, foram executadas duas lajes de concreto armado com 10 cm de espessura, ambas no mesmo nível.

Conforme o acabamento final que tenham recebido, vegetação ou terraço, as lajes serão referidas como CV e CT, respectivamente.

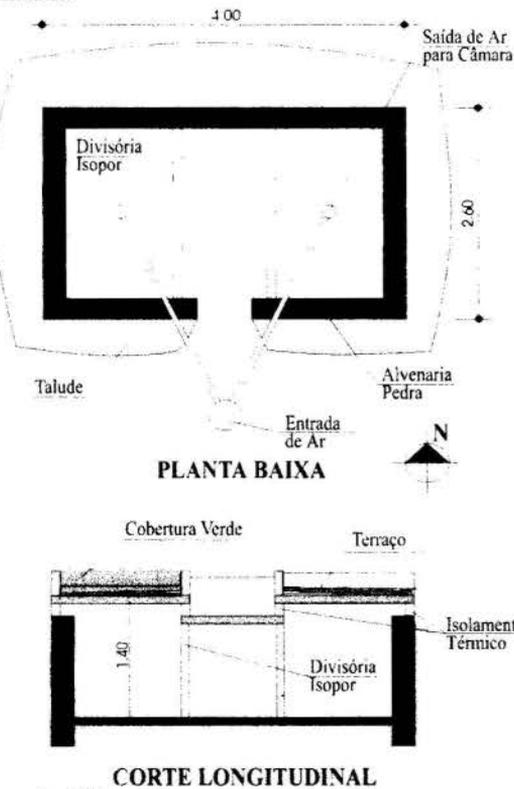


Figura 1 - Vistas da bancada experimental

Internamente, a bancada foi dividida em 3 câmaras, de tal forma que a cada cobertura corresponda uma câmara. A divisão foi feita com folhas justapostas de isopor, com espessura total de 25 mm.

A bancada é dotada de um sistema de ventilação, a fim de evitar a estratificação e retirar o excesso de umidade. A entrada de ar se dá através de tubulações subterrâneas, que trazem o ar de uma tomada ao sul da bancada e a exaustão é feita por chaminé situada na laje central.

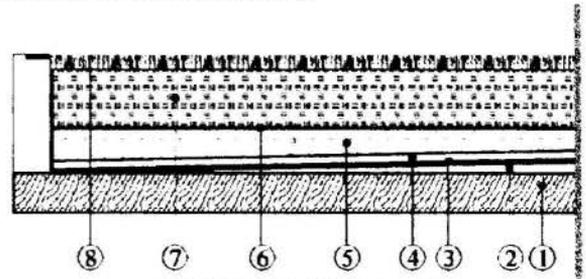
Coberturas Analisadas. As lajes das coberturas analisadas, CV e CT, receberam os mesmos serviços de impermeabilização com manta asfáltica e posterior camada de proteção mecânica. A partir de então, as coberturas se diferenciam.

Na CV, sobre a proteção mecânica, foi colocada uma camada de brita, com 7 cm de espessura, com função drenante. Sobre ela, foi disposta uma manta geotêxtil, e então 11 cm de solo vegetal,

sobre o qual foi assentada grama em leiva, totalizando 15 (11 + 4) cm de espessura de solo gramado. Nesta laje foi previsto um sistema de drenagem para as águas da chuva e de irrigação.

Na CT, sobre a camada de proteção mecânica, foi colocado o isolamento térmico, que constitui-se de placas moldadas de poliestireno expandido de alta densidade (Isofoam) com 25 mm de espessura. Posteriormente foi assentado o piso, que constitui-se de lajotas cerâmicas de 20 x 20 cm, com caimento de 2% para escoamento das águas pluviais. O emprego de um bom isolante térmico nesta laje, teve como objetivo garantir que o elemento de comparação fosse de boa qualidade.

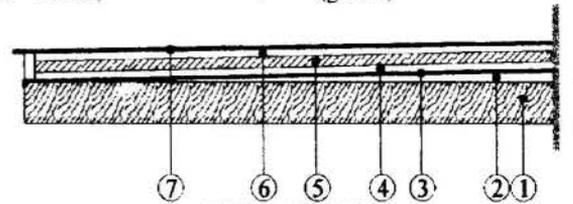
A Figura 2 mostra o detalhe das camadas constituintes de cada uma das coberturas em estudo.



COBERTURA VERDE - CV

LEGENDA:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Laje concreto armado (e = 100mm) | 5. Camada drenante (brita - e = 70mm) |
| 2. Camada de regularização (i = 2%) | 6. Manta geotêxtil (e = 2mm) |
| 3. Impermeabilização (e = 4mm) | 7. Terra vegetal (e = 150mm) |
| 4. Proteção mecânica (e = 20mm) | 8. Capa vegetal (grama) |



TERRAÇO CT

LEGENDA:

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Laje concreto armado (e = 100mm) | 4. Proteção mecânica (e = 20mm) |
| 2. Camada de regularização (i = 2%) | 5. Isolamento térmico (e = 25mm) |
| 3. Impermeabilização (e = 4mm) | 6. Argamassa Assentamento (e = 20mm) |
| | 7. Piso Cerâmico |

Figura 2 - Camadas constituintes das coberturas em estudo

Instrumentação. Os dados de temperaturas foram obtidos com termômetros de resistência de platina (Pt100) e os dados de radiação solar com sensores tipo piranômetros construídos a partir de células fotovoltaicas. Estes sensores foram ligados a um sistema de aquisição e registro de dados (data logger).

A umidade do solo foi obtida indiretamente, a partir das leituras de um tensiômetro instalado na CV. Estas leituras foram feitas três vezes por dia, nos horários das 8 hs, 12 hs e 17 hs.

O perfil de distribuição da temperatura através das coberturas foi avaliado por meio de sensores Pt 100 colocados em vários níveis de profundidade. Conjuntos iguais de sensores foram dispostos no centro e próximo ao apoio da laje, para verificar a validade da hipótese de difusão de calor unidimensional. Em ambas as coberturas foram medidas temperaturas superficiais internas, externas e sobre a camada de proteção mecânica da impermeabilização; na CV foi medido mais um nível, isto é, a

temperatura do solo sobre a manta geotêxtil. (Corte transversal na figura 3).

No interior, de cada câmara, foram medidas a temperatura do ar e temperatura de globo (vista superior na figura 3). Estes sensores foram localizados numa altura correspondente a meio pé direito.



Figura 3 - Pontos de instalação dos sensores

Os sensores de temperatura do ar foram protegidos dos efeitos de radiação por um dispositivo constituído por dois cilindros concêntricos, de diâmetros diferentes, ambos revestidos externamente com folha de papel alumínio.

Externamente foi registrada a temperatura do ar, radiação solar global e difusa. Os piranômetros utilizados são construídos a partir de células fotovoltaicas (Zanenco, 1991).

Medições. As medições foram realizadas durante os meses de janeiro e março de 1996, sendo as leituras registradas a cada 30 minutos. Neste trabalho caracterizou-se o comportamento térmico das coberturas, ao longo de um período de uma semana em que ocorreram condições climáticas diversas, tais como dias claros, com temperatura elevada, chuva e temperatura em declínio.

Os três primeiros dias do experimento foram de céu claro a parcialmente nublado, com radiação solar global diária em torno de $27 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ e temperatura máxima variando de 27,4 a 31,6 °C. No quarto dia, a temperatura elevou-se, chegando a 35,2 °C e a tarde, em torno das 19 horas, houve uma chuva forte e queda brusca de temperatura; o dia seguinte foi nublado e chuvoso. A partir de então, o tempo melhorou, porém com decréscimo da temperatura e a radiação voltando aos níveis iniciais.

Tabela 1 - Dados climáticos para os dias em análise

Dia	Temperatura Máx. - Min (°C)	Radiação Global Diária (J/m^2)	Velocidade do Vento. (m/s)	Condição do céu
08/01	27,4 - 15,2	$26,66 \times 10^6$	3,8	claro
09/01	31,6 - 21,0	$26,96 \times 10^6$	2,0	claro
10/01	30,6 - 20,0	$28,46 \times 10^6$	3,3	claro
11/01	35,2 - 22,8	$21,35 \times 10^6$	3,2	claro, chuva a tarde
12/01	27,8 - 20,0	$14,61 \times 10^6$	2,9	nublado
13/01	28,2 - 19,8	$20,60 \times 10^6$	1,9	parcialmente nublado
14/01	24,6 - 18,2	$27,29 \times 10^6$	3,8	claro

No experimento foram medidas as temperaturas superficiais, temperaturas do ar interno e externo, temperatura de globo, umidade do solo e radiação solar global e difusa. Já a velocidade média do vento, umidade relativa do ar, precipitação, horas de insolação e radiação global diária no plano horizontal foram fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Convênio UFPel / EMBRAPA.

RESULTADOS OBTIDOS

Os comportamentos mais relevantes são apresentados nos gráficos que seguem. A figura 4 mostra a evolução das temperaturas superficiais externas e internas para os dois tipos de coberturas.

Quando as condições climáticas são mais severas, a cobertura terraço apresenta valores absolutos maiores, em ambas as superfícies, em relação a cobertura vegetal, além de experimentar amplitudes mais elevadas. Observa-se que a temperatura superficial externa é a que sofre maiores variações, chegando a uma variação diária de até 14,5 °C na cobertura verde e 28,9 °C no terraço. Já a temperatura superficial interna sofre pequenas variações diárias, chegando sua amplitude a atingir até 4,2 °C, com média em torno de 1,5 °C, na cobertura verde e alcançando 4,9 °C, no terraço, com média em torno de 2,5 °C. Nota-se pela diferença entre as temperaturas superficiais externa e interna que o amortecimento térmico é maior no terraço, chegando a uma diferença de até 20,2 °C, enquanto que na cobertura verde a diferença máxima chega a 9,9 °C. Os gráficos mostram que o retardo térmico, na cobertura verde é maior que no terraço, embora a diferença não seja muito grande. Na cobertura verde, o retardo varia de 6 hs e 30 min a 9 hs e 50 min, enquanto, no terraço, varia de 5 hs e 30 min a 7 hs e 30 min.

A figura 5 apresenta as curvas de temperatura relativas às camadas de impermeabilização das duas coberturas. A variação de temperatura sofrida nesta camada, em ambas as coberturas, é semelhante. As variações são pequenas, de 1,6 °C a 2,9 °C, na cobertura verde e de 2,1 °C a 4,0 °C, no terraço. Isto se deve ao fato de ter sido adotado para a disposição da camada impermeabilizante o sistema U.S.D. - up side down, em que a impermeabilização fica protegida termicamente.

A figura 6 mostra as temperaturas do ar interno às duas coberturas, além da evolução da temperatura do ar exterior.

Durante o experimento, a temperatura do ar exterior sofreu variações diárias de até 12,4 °C. Porém, internamente verificaram-se variações muito menores. Tanto na cobertura verde quanto no terraço as variações diárias oscilaram entre 1,1 °C e 2,4 °C. A temperatura interna da câmara da cobertura com vegetação manteve-se sempre inferior à temperatura do terraço, sendo que nos dias de maior variação externa, a diferença entre elas também foi maior (em torno de 1,2 °C), tornando-se mínima (em torno de

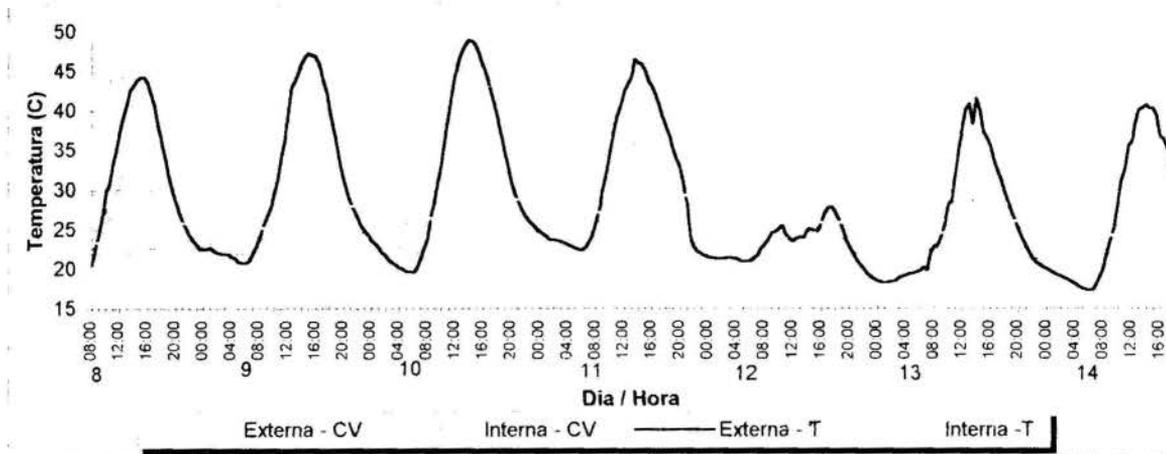


Figura 4 - Evolução de temperaturas superficiais externas e internas nas coberturas com vegetação e terraço

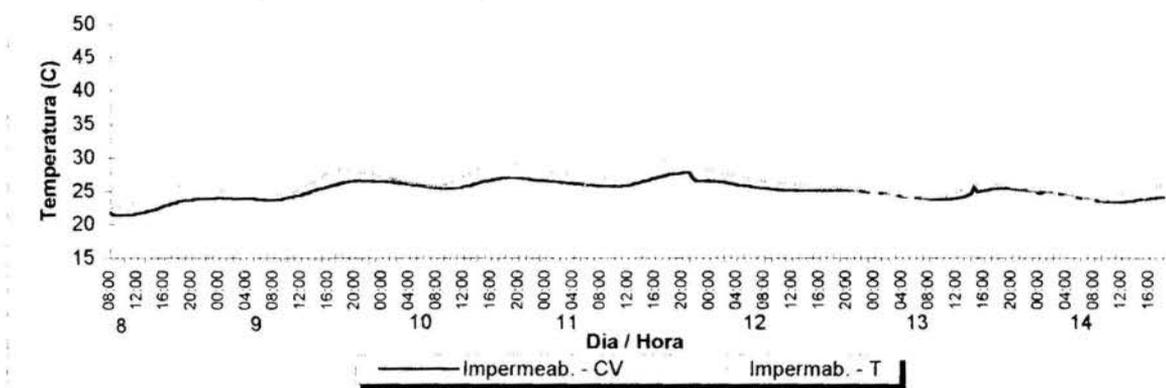


Figura 5 - Evolução da temperatura superficial na camada de proteção mecânica da impermeabilização nas duas coberturas

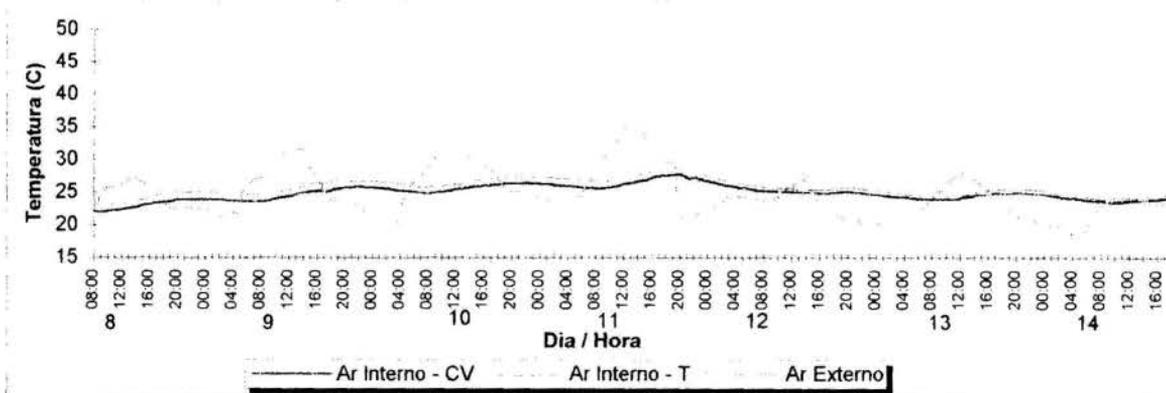


Figura 6 - Evolução das temperaturas do ar externo e interno às duas coberturas

0,5 °C), quando a variação da temperatura externa foi menor e associada a uma baixa radiação global diária. Os valores das propriedades térmicas dos materiais (condutividade térmica, massa específica, calor específico e absorvidade) estão relacionados na tabela abaixo, segundo valores encontrados na literatura.

Tabela 2 - Valores das propriedades térmicas adotadas

Material	Propriedades				Fonte
	K (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg K)	α	
Concreto armado	1,4	880	2400		Incropera
Argamassa cim/arçia	0,72	1860	780		Incropera
Manta asfáltica	0,31	1125			Pirondi
Isofoan	0,029	36			Fabricante
Piso carâmico	0,46		837	0,65/ 0,80	Frota/ Nããs
Brita	1,81		837		ASHRAE/ Frota
Geotêxtil		100			Fabricante
Terra Vegetal	0,60	1800	1465		Frota
Gramma				0,75/ 0,80	Ometto

CONCLUSÃO

Na condição de verão, ocorrente durante a realização do experimento, a cobertura com vegetação apresentou melhor resposta, já que as temperaturas superficiais e interna sob esta cobertura foram sempre menores.

Na cobertura com terraço, registrou-se um grande amortecimento, devido à quantidade de isolamento térmico utilizado. Desta forma, a temperatura interna sob esta cobertura registrou pequenas variações e valores próximos ao da cobertura com vegetação. Na maioria dos terraços, onde, ou não é usado nenhum isolamento ou é empregado isolamento insuficiente, as variações internas certamente são mais acentuadas e a temperatura interna bem mais elevada.

Uma maior ou menor vida útil do material impermeabilizante está diretamente ligada ao gradiente térmico a que este está submetido; da mesma forma, a variação térmica nas lajes de cobertura é a principal causa de patologias. Assim, a presença de isolamento térmico é de fundamental importância nas coberturas planas. As próprias camadas constituintes da cobertura verde exercem este papel, minimizando as variações térmicas tanto na impermeabilização como na laje de cobertura. Em terraços, como as temperaturas superficiais externas são bem mais elevadas do que na vegetação, é imprescindível o uso de isolamento térmico.

A cobertura com vegetação é uma alternativa para coberturas planas, podendo proporcionar um espaço de lazer e contemplação diferenciado, além de garantir um bom isolamento térmico desta cobertura.

ABSTRACT

This work studies the thermal performance of two types of flat roofs: a green roof and a well insulated common flat roof. Both were monitored under summer conditions. The high values of surface temperature found on the common flat roof, stress the necessity of the use of thermal insulation on this type of construction. The obtained data have also shown the better thermal response of the green roof, as indicated by the lower temperatures shown by both surface and internal temperatures.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1981, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, pp 23.12 -23.32.
- Frota, A. B. e Schiffer, S. R., 1992, "Manual de Conforto Térmico", Editora Nobel S.A., São Paulo, SP.
- Harazono, Y. et. al, 1990/91, "Effects of Rooftop Vegetation using Artificial Substrates on the Urban Climate and the Thermal Load of Buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 435-442.
- Hawashima, S., 1990/91, "Effect of Vegetation on Surface Temperature in Urban and Suburban Areas in Winter", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 465-469.
- Honjo, T. e Takakura, T., 1991/91, "Simulation of Thermal Effects of Urban Green Areas on their Surrounding Areas", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 443-446.
- Hoyano, A., 1984, "Effects of Rooftop Turf-planting Layers upon Building Thermal Environment", *Memoirs of the Faculty of Engineering*, Kyushu University, Vol. 44, N^o 2.
- Hoyano, A., 1988, "Climatological Uses of Plants for Solar Control and the Effects on the Thermal Environment of a Building", *Energy and Buildings*, Vol. 11, pp 181-199.
- Incropera, F. P. e Witt, D. P., 1992, "Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa", Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, RJ.
- Lamberts, R., 1983, "Desempenho Térmico de Coberturas Leves com Ático: Bancada de Testes e Modelo Matemático", Dissertação de mestrado - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre.
- Meier, A. K., 1990/91, "Strategic Landscaping and Air-conditioning Savings: A Literature Review", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 479-486.
- Nããs, I. A., 1989, "Princípios de Conforto Térmico na Produção Animal", Ícone Editora, São Paulo.
- Ometto, J. C., 1981, "Bioclimatologia Vegetal", Editora Agronômica Ceres Ltda., São Paulo.
- Pirondi, Z., 1979, "Manual Prático da Impermeabilização e de Isolação Térmica", SBR - Editora e Artes Gráficas Ltda, São Paulo, SP.
- Saito, I. et. al., 1990/91, "Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in an Urban Area", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 493-498.
- Wilmers, F., 1990/91, "Effects of Vegetation on Urban Climate and Buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp 507-514.
- Zanescio, I., 1991, "Análise e Construção de um Piranômetro Fotovoltaico", Dissertação de mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica - UFRGS, Porto Alegre.