

## COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COBERTURA VERDE UTILIZANDO A GRAMA *BRACHIARIA HUMIDICOLA* NA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP

**Nixon César de Andrade (1); Maurício Roriz (2)**

(1) Engenheiro Civil, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, deandraden@bol.com.br  
Caixa Postal 6021, Campinas – SP, 13083-852, Tel.: (19) 3521-2307

(2) Professor do Departamento de Engenharia Civil, m.roriz@terra.com.br  
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Via Washington Luís, Km 235, São Carlos – SP, 13565-905, Tel.: (16) 3351-8262

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento térmico de uma cobertura ajardinada com a grama Braquiária (*Brachiaria humidicola*), que atinge 1m de altura, comparando-o com o de uma cobertura tradicional (laje exposta). Considerando-se os dados obtidos por meio de monitoramentos com aparelhos registradores de temperaturas e umidades relativas, em diferentes épocas do ano, analisou-se o comportamento térmico das coberturas tradicional e verde. Foram medidas as temperaturas do ar no interior e no exterior das células-teste e as superficiais internas de ambas as células. Os resultados indicam que, submetida ao clima local, a cobertura ajardinada apresenta ótimo desempenho, particularmente por amortecer as temperaturas das superfícies externas e internas da cobertura. Nessa mesma célula-teste realizou-se recentemente uma pesquisa similar, mas que utilizou a grama Esmeralda (*Zoysia japonica*), uma vegetação rasteira. Comparando-se os resultados dos monitoramentos realizados, nos períodos de frio e calor, foram detectadas diferenças entre os comportamentos térmicos das duas gramas.

Palavras-chave: Coberturas Verdes, Estratégias Passivas de Condicionamento Térmico, Arquitetura Bioclimática.

### ABSTRACT

This work aims to analyze the thermal behavior of a green roof with the Braquiária grass (*Brachiaria humidicola*), that reaches 1m height, comparing it with a traditional roof (exposed concrete slab). Considering temperature and relative humidity data obtained through field measurements in different months, the thermal performance of the green and traditional roofs was analyzed. The inside and outside temperatures, and inside superficial of two test-cells were analyzed. The results indicate that, submitted to the local climate, the green roof presents optimum performance, particularly for decreasing the temperatures of external and internal roof surfaces. In the same test-cell it was recently realized a similar research, which used the Esmeralda grass (*Zoysia japonica*), a short vegetation. Comparing the measurement results for cold and hot periods, it was noticed differences between the thermal performance of the two grasses.

Keywords: Green Roofs, Passive Strategies of Thermal Conditioning, Bioclimatic Architecture.

## 1. INTRODUÇÃO

A arquitetura é também consequência das diferenças climáticas de regiões, precisando priorizar esta condição para resolver os problemas quanto ao conforto térmico da habitação. Nesse sentido, diversas soluções construtivas são utilizadas por engenheiros e arquitetos, mas deve-se entender que a cobertura é o elemento da edificação que recebe maior intensidade de radiação solar em edificações horizontais.

Segundo Rivero (1985), a cobertura de uma edificação é geralmente uma vedação opaca que constitui a maior parcela da envolvente do espaço interno sobre a qual incidem os agentes térmicos do clima.

O impacto da radiação solar em dias claros de verão, a perda de calor durante a noite e o inverno, a chuva e a neve afetam a cobertura mais que qualquer outra parte da construção. Em período frio, seu efeito no clima interno depende quantitativamente de sua resistência térmica. (GIVONI, 1976).

Em geral, cobertura verde é um sistema formado por camadas contínuas de solo e vegetação, construído sobre uma cobertura tradicional (HENDERSON, 2003).

Conforme o seu porte, as coberturas verdes podem ser classificadas em :

*Intensivas*: caracterizam-se por terem camadas de solo maiores que 20cm; plantas, arbustos e árvores de médio e grande porte, que exigem um ambiente de desenvolvimento mais complexo, estrutura reforçada (devido às cargas entre 700 e 1200kg/m<sup>2</sup>) e manutenção rigorosa (CORREA e GONZALEZ, 2002).

*Extensivas*: caracterizam-se por terem uma camada mais delgada de solo, com espessura entre 8 e 12cm e carga média equivalente a 100kg/m<sup>2</sup>, plantas de pequeno porte, como as autóctones, por serem mais resistentes a pouca ou nenhuma manutenção (CORREA e GONZALEZ, 2002).

Bass e Baskaram (2003), analisaram uma célula-teste, montada no Instituto de Pesquisa em Construção na cidade de Ottawa, com sensores posicionados em diversas camadas da cobertura verde. Após a análise, notou-se que a temperatura da superfície externa da cobertura comum teve uma variação de 46°C e a da cobertura verde variou 6.5°C. No outono e no inverno a cobertura verde teve melhor desempenho porque bloqueou o vento e diminuiu a perda de calor por convecção.

As coberturas verdes podem constituir alternativas viáveis para minimizar as altas temperaturas do interior das edificações, provocadas pela radiação solar excessiva, além de auxiliar as cidades a controlar inundações (absorvendo uma parte da água pluvial), melhorar a qualidade do ar, prolongar a durabilidade da cobertura e reduzir custos de energia.

## 2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar o comportamento térmico de uma cobertura verde com a grama *Brachiaria humidicola* (grama Braquiária) e verificar as diferenças entre as temperaturas da laje com essa grama e com a grama Esmeralda.

## 3. MÉTODO

A cobertura verde analisada é formada pelos seguintes componentes (Figura 1):

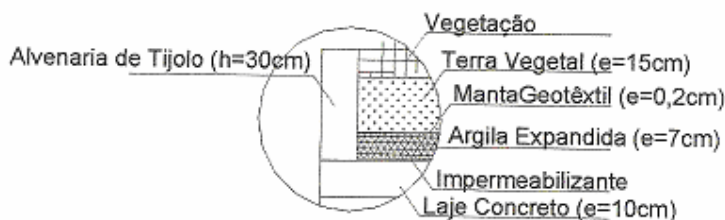


Figura 1 - Camadas componentes da cobertura verde analisada

A laje deve ser impermeabilizada adequadamente para que não ocorram infiltrações, as quais colaboram para o desenvolvimento de fungos no revestimento. Além disso, as camadas de componentes podem prejudicar o desempenho da cobertura verde se forem colocadas com espessuras incorretas.

### 3.1. As Células-Teste: laje tradicional e cobertura verde

As células-teste foram construídas sobre a laje de uma edificação existente no Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva da UFSCar, *campus* da cidade de São Carlos, região central do Estado de São Paulo.



Figura 2 - Panorama da edificação onde está implantada a cobertura verde



Figura 3 - Panorama dos canteiros com as gramas Esmeralda (esquerda) e Braquiária (direita)

Essa edificação possui dois ambientes, separados ao meio por uma parede. O sistema construtivo é composto de alvenaria de bloco cerâmico de 8 furos e revestida com argamassa sob pintura acrílica nas vedações verticais laterais e frontal e lajes pré-moldadas de concreto com camada de regularização em argamassa, nas vedações horizontais. A vedação posterior é composta por elementos vazados em toda sua extensão (Figura 2).

Na célula-teste com cobertura verde foi realizada recentemente uma pesquisa similar com a grama Esmeralda, a qual foi substituída pela grama Braquiária (Figura 3).

### 3.2. Material Utilizado nos Monitoramentos

Para monitorar as condições higrotérmicas ambientais, adotou-se um sistema eletrônico de aquisição de dados, constituído por registradores de temperatura e umidade relativa do ar e temperatura superficial, modelo HOBO<sup>®</sup>, programáveis para intervalos de tempo pré-fixados.

De modo a evitar interferências que prejudicassem a identificação das variáveis medidas, os aparelhos foram posicionados estrategicamente à sombra e no interior de recipientes de alumínio, estes com pequenas aberturas que permitissem a livre circulação do ar.

As variáveis medidas foram as seguintes:

Tbs (°C): temperaturas do ar interno e externo à célula-teste;

TSI (°C): temperatura superficial interna das lajes;

UR (%): umidade relativa do ar.

Os dados de temperatura superficial interna das lajes foram obtidos mediante sensor externo desenvolvido para esse fim (conectado diretamente no HOBO<sup>®</sup>), com ponta de aço inoxidável e à prova d'água. Para melhorar o contato e eliminar o ar entre o sensor e a laje, o mesmo teve sua ponta preenchida com pasta térmica e foi fixado na laje com fita adesiva e fio de nylon.

Os dados climáticos mensais, bem como os de radiação solar e de ventos, foram obtidos junto à estação climatológica da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC e do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA / Universidade de São Paulo.

### 3.3. Jardim 1.1 – Temperaturas Superficiais em Vegetação

Os dados referentes às temperaturas superficiais externas das lajes foram estimados por intermédio do programa Jardim 1.1 – Temperaturas Superficiais em Vegetação (RORIZ, 2003), que adota um modelo de cálculo baseado no método de Penmain-Monteith, cuja equação determina a taxa de evapotranspiração da água em plantas e no solo. Com base no arquivo de dados, o programa calcula os valores das variáveis envolvidas e gera dois tipos de gráfico: um com as curvas de temperaturas do ar e superficiais externas nas duas coberturas e, outro, com as curvas de irradiações extraterrestre, global, de onda longa, líquida e energia de evaporação. As equações, melhor explicadas, e suas respectivas referências são apresentadas no próprio programa.

Optou-se por estimar esses dados pela dificuldade em colocar sensores de umidade e temperatura no solo, embora os mesmos forneceriam valores precisos melhorando a qualidade do trabalho.

### 3.4. Influência da Insolação

Durante a fase de desenvolvimento da grama, observou-se que em certos locais no canteiro, a vegetação apresentava um maior crescimento. Isso se deve à desigualdade de distribuição de luz sobre o canteiro, pois a presença de edificações ao redor do mesmo faz com que haja um sombreamento em determinados locais e horários ao longo do dia (Figura 4).



Figura 4 - Posições do sol pela manhã, início e fim de tarde

### 3.5. Medições

Após o treinamento no uso e instalação dos aparelhos registradores, as medições foram iniciadas. Conforme mostra a tabela 1, realizaram-se duas medições no período de frio e duas no de calor para aumentar a base de dados e assim confirmar o comportamento da cobertura verde nessas situações.

Tabela 1 - Períodos em que foram realizadas as medições

Medições	
Período de frio	14 a 23 de junho de 2006
	25 de julho a 07 de agosto de 2006
Período de calor	17 a 26 de novembro de 2006
	16 a 29 de março de 2007

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A fim de obter dados relativos à evolução térmica das lajes, os aparelhos registradores foram programados para realizar varreduras de temperatura do ar interno e externo à edificação, umidade relativa do ar e temperatura superficial interna das lajes, a cada 15 minutos, 24 horas por dia.

Para obtenção dos dados internos à edificação, as variáveis ambientais foram medidas em um ponto de cada cobertura. Os aparelhos foram instalados em dois conjuntos formados, cada um deles, por um registrador de temperatura e umidade relativa do ar, inserido num recipiente de alumínio, e de temperatura superficial, obtida com o cabo sensor instalado nas faces internas das lajes, a 80cm da parede com elemento vazado, onde a incidência solar sobre a grama predomina durante todo o dia. Os dados externos de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos a partir de um aparelho, inserido em um recipiente de alumínio, instalado no edifício à frente da célula-teste.

Após as medições, os valores registrados pelos aparelhos foram adaptados para hora solar, calculando-se a média desses valores para cada hora, obtendo-se assim o dia médio.

Devido à grande área de aberturas (elementos vazados), não foram significativas as diferenças entre temperaturas do ar externo e do ar interno dos dois ambientes nas duas primeiras medições (Figuras 5 e 8). Já a terceira e quarta medições indicaram expressivas diferenças (Figuras 11 e 14).

#### 4.1. Medição em Junho de 2006

Durante esse período não houve chuva e o céu esteve sempre claro. A temperatura superficial interna da laje tradicional apresentou maiores oscilações diárias, com máxima de 20.2°C, enquanto que a da cobertura verde foi de 17.8°C. As amplitudes médias, de 7.1°C e de 2.7°C, da laje tradicional e cobertura verde, respectivamente, evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde (Figura 6).

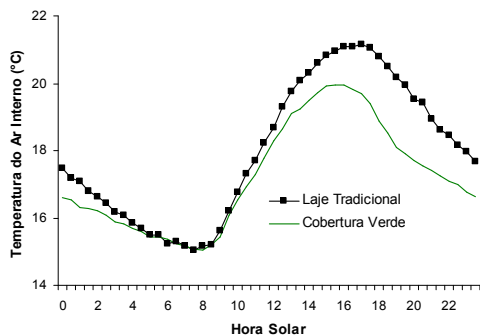


Figura 5 - Temperatura Interna do Ar  
Dia Médio do período 14 a 23/06/06

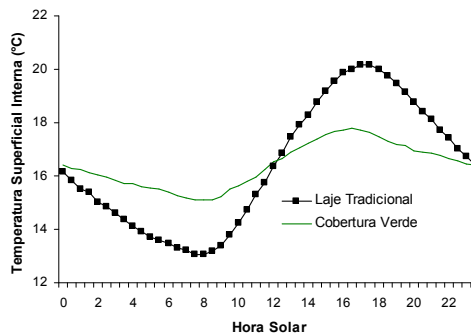


Figura 6 - Temperatura Superficial Interna  
Dia Médio do período 14 a 23/06/06

Comparada com a temperatura superficial externa da laje tradicional, a temperatura superficial externa da cobertura verde sofreu variações térmicas muito menores. A maior diferença entre elas foi de 20.5 °C (Figura 7).

Percebe-se pelo gráfico ao lado que o período medido foi menor que os dois anteriores, pelo motivo de falta de dados de radiação solar fornecidos pelo CRHEA, os quais são necessários para a obtenção dessa temperatura que é estimada pelo programa Jardim1.1 descrito anteriormente.

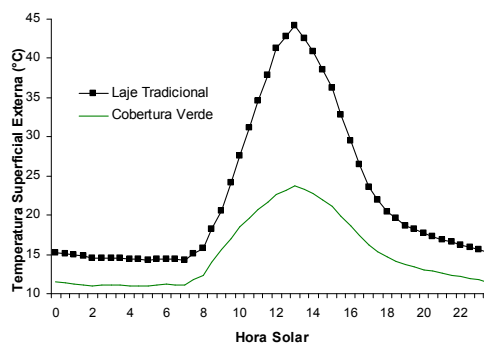


Figura 7 - Temperatura Superficial Externa  
Dia Médio do período 18 a 23/06/06

#### 4.2. Medição em Julho/Agosto de 2006

Nesse período houve chuva e céu nublado entre 29 de julho e 02 de agosto. Assim como já era esperado, a temperatura superficial interna da laje tradicional apresentou maiores oscilações diárias, com máxima de 22.2°C, enquanto que a da cobertura verde foi de 19.2°C. As amplitudes médias, de 7.8°C e de 2.7°C, da laje tradicional e cobertura verde, respectivamente, evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde (Figura 9).

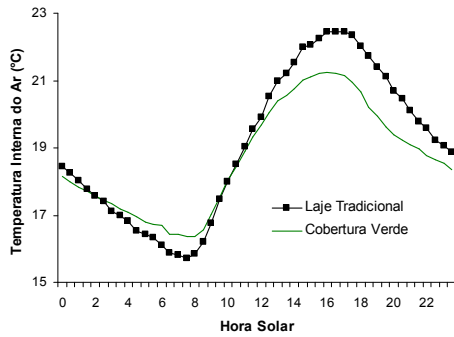


Figura 8 - Temperatura Interna do Ar  
Dia Médio do período 25/07 a 07/08/06

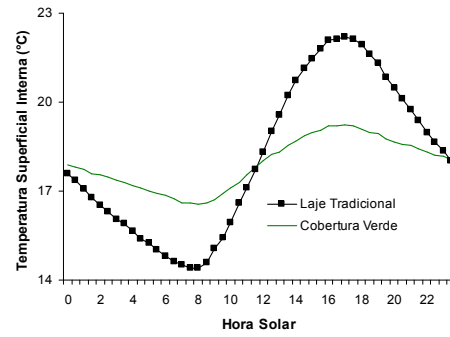


Figura 9 - Temperatura Superficial Interna  
Dia Médio do período 25/07 a 07/08/06

A temperatura superficial externa da laje tradicional apresenta uma amplitude bem maior quando comparada com a temperatura superficial externa da cobertura verde, com uma diferença de até 18.3°C entre elas (Figura 10).

Por falta de dados de radiação solar fornecidos pelo CRHEA, a temperatura superficial externa para essa medição, foi estimada, através do programa Jardim 1.1, para um período menor que as temperaturas anteriores.

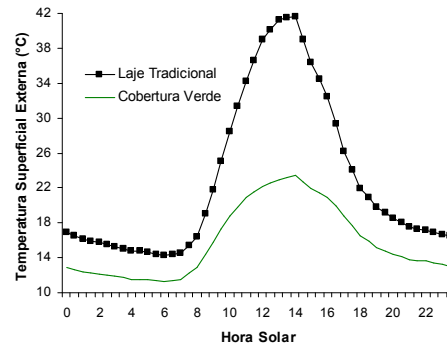


Figura 10 - Temperatura Superficial Externa  
Dia Médio do período 25 a 30//07/06

### 4.3. Medição em Novembro de 2006

Nesta medição chuva e céu nublado estiveram presentes entre os dias 20 e 22, e as temperaturas registradas são maiores que nas outras duas medições, fato observado pela temperatura superficial interna da laje tradicional, que apresentou maiores oscilações diárias, com máxima de 41.6°C, enquanto que a da cobertura verde foi de 26.2°C. As amplitudes médias, de 19.7°C e de 2.6°C, da laje tradicional e cobertura verde, respectivamente, evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde (Figura 12).

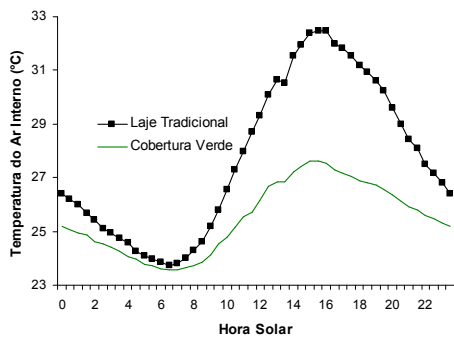


Figura 11 - Temperatura Interna do Ar  
Dia Médio do período 17 a 26/11/06

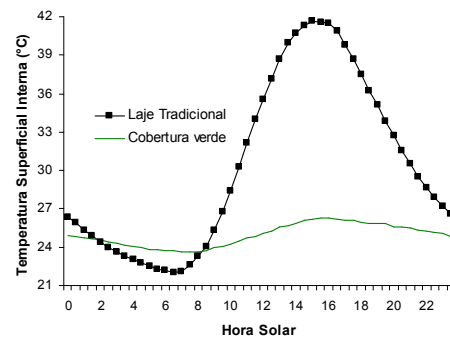


Figura 12 - Temperatura Superficial Interna  
Dia Médio do período 17 a 26/11/06

Percebe-se que a temperatura superficial externa da cobertura verde sofreu variações térmicas muito menores quando comparada com a temperatura superficial externa da laje tradicional, sendo a maior diferença entre elas de 29.8°C (Figura 13).

Novamente, a temperatura superficial externa foi estimada pelo programa Jardim 1.1, e num período menor que as outras temperaturas desta medição, pela falta de dados de radiação solar fornecidos pelo CRHEA.

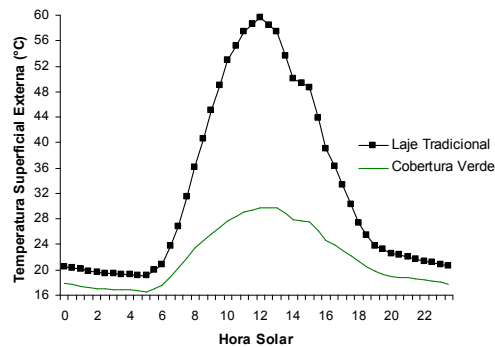


Figura 13 - Temperatura Superficial Externa Dia Médio do período 17 a 23/11/06

#### 4.4. Medição em Março de 2007

Houve chuva e céu nublado entre os dias 16 e 21. Esta medição mostra também que as temperaturas registradas são maiores que nas duas primeiras medições, fato observado pela temperatura superficial interna da laje tradicional, que apresentou maiores oscilações diárias, com máxima de 40.1°C, enquanto que a da cobertura verde foi de 23.2°C. As amplitudes médias, de 19.4°C e de 1.1°C, da laje tradicional e cobertura verde, respectivamente, evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde (Figura 15).

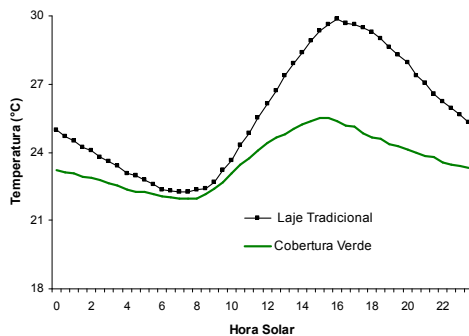


Figura 14 - Temperatura Interna do Ar Dia Médio do período 16 a 29/03/07

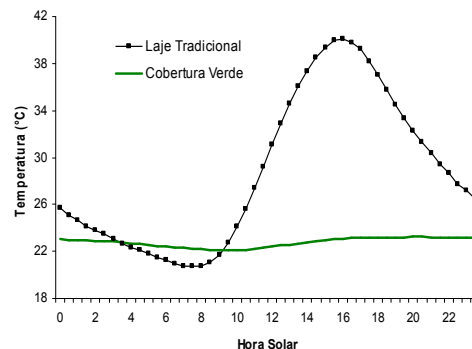


Figura 15 - Temperatura Superficial Interna Dia Médio do período 16 a 29/03/07

Nota-se-se que a temperatura superficial externa da cobertura verde sofreu variações térmicas muito menores quando comparada com a temperatura superficial externa da laje tradicional, sendo a maior diferença entre elas de 28.5°C (Figura 16).

A temperatura superficial externa foi estimada pelo programa Jardim 1.1, e no mesmo período que as outras temperaturas desta medição, pois desta não houve falta de dados de radiação solar fornecidos pelo CRHEA.

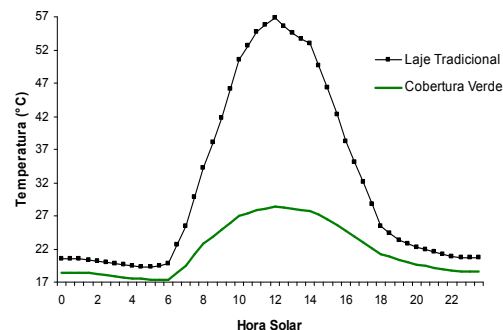


Figura 16 - Temperatura Superficial Externa Dia Médio do período 16 a 29/03/07

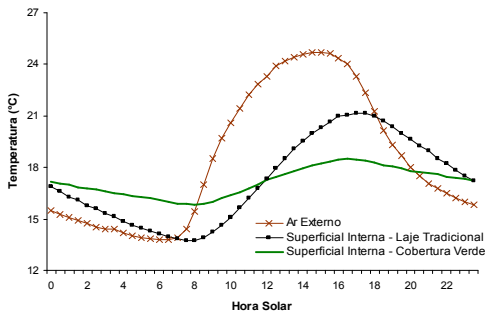
#### 4.5. Comparações entre os comportamentos das duas gramas

Para comparar o comportamento térmico entre as duas gramas foram utilizados os dados dos dias médios da pesquisa anterior (MORAIS, 2004), para a grama Esmeralda, e a média dos dias médios para grama Braquiária, pelo fato desta possuir duas medições para cada situação de frio e calor, enquanto Morais (2004) realizou uma medição para cada situação. Os gráficos das temperaturas do ar interno não foram

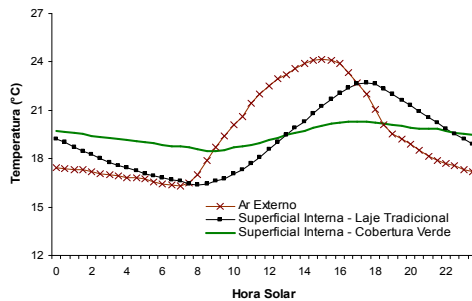
considerados pelo fato da edificação possuir uma parede com blocos vazados e nem das superficiais externas por falta de dados suficientes no caso da grama Esmeralda.

#### 4.5.1. Medições realizadas no período frio

A figura 17 apresenta as comparações das medições realizadas neste período para as duas gramas. Nota-se que a temperatura superficial interna variou  $2.7^{\circ}\text{C}$  entre as máximas com a grama Braquiária e  $2.4^{\circ}\text{C}$  com a grama Esmeralda, em relação à laje tradicional. Neste caso, percebe-se que houve uma semelhança entre o comportamento térmico das duas gramas.



Temperatura Superficial Interna: média entre os períodos de 14 a 23/06/2006 e de 25/07 a 07/08/2006

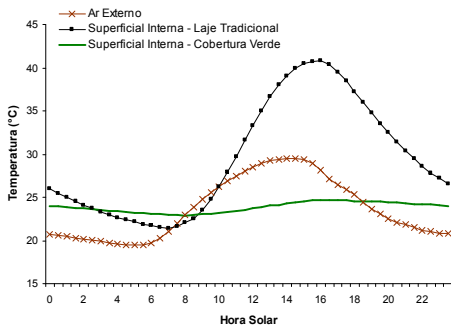


Temperatura Superficial Interna no período de 05 a 12/06/2003. Fonte: Morais, 2004

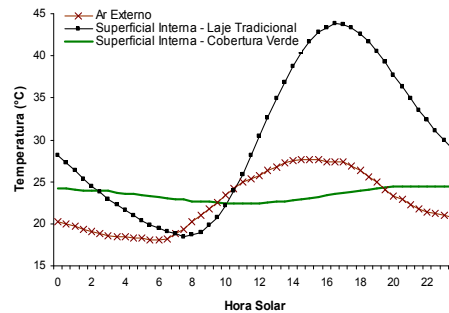
Figura 17 - Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de frio com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)

#### 4.5.2. Medições realizadas no período calor

A figura 18 representa as comparações das medições realizadas neste período para as duas gramas.



Temperatura Superficial Interna: média entre os períodos de 17 a 26/11/2006 e de 16 a 29/03/2007



Temperatura Superficial Interna no período de 15 a 22/10/2003. Fonte: Morais, 2004

Figura 18 - Dia Médio: comparação entre as temperaturas superficiais internas da laje tradicional e cobertura verde registradas durante a medição no período de calor com a grama Braquiária (esquerda) e a grama Esmeralda (direita)

Observa-se que a temperatura superficial interna do ambiente com grama Braquiária apresentou uma variação entre as máximas de  $16.1^{\circ}\text{C}$  e com a grama Esmeralda de  $19.3^{\circ}\text{C}$ , em relação ao ambiente com a laje tradicional. Neste caso, percebe-se também, que houve uma semelhança entre o comportamento térmico das duas gramas.



## 5. CONCLUSÕES

Ao analisar-se as temperaturas internas na situação de calor, percebe-se que há uma contribuição significativa da cobertura verde, porque com a incidência do sol, a evapotranspiração do vegetal retira calor da cobertura, resfriando a superfície do teto.

Quanto às temperaturas superficiais internas percebe-se que o melhor desempenho foi da cobertura verde, principalmente na situação de calor, no qual há uma diferença de até 16°C entre as duas coberturas, fato provocado pelo sombreamento, inércia e refrigeração evaporativa, proporcionados pela cobertura verde.

Nas temperaturas superficiais externas, a vegetação apresenta temperaturas bem menores que a laje tradicional, caso observado nas quatro medições e, justificado pela capacidade da vegetação de reduzir o ganho de calor por irradiância solar de ondas curtas, uma consequência do efeito de arrefecimento evaporativo.

Comparando-se os resultados dos monitoramentos realizados com as duas gramas nos períodos de frio e de calor, percebe-se que, embora a grama Braquiária seja mais densa e, portanto, ofereça maior proteção para a laje de concreto, foi detectada uma semelhança entre seus comportamentos. Entretanto, não significa que os comportamentos térmicos das coberturas com grama Esmeralda e Braquiária são iguais, pois é necessário considerar o período de irrigação das duas gramas (a umidade da terra tem uma forte influência no processo de troca de calor), a velocidade do vento, e também por tratar-se de média entre valores no caso da grama Braquiária.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASS, B.; BASKARAN, B. **Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas**. National Research Council Canada – NRCC 46737 / 2003. Disponível em <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irepubs>>. Acesso em: 30/01/2006.
- CORREA, C.B.; GONZÁLEZ, F.J.N. **O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas**. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo - NUTAU, Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, São Paulo / 2002.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ª edição. Londres. Ed. Applied Science Publishers LTD / 1976.
- HENDERSON, B. **Human-Driven Extensive Greenroof Design**. Virginia Polytechnic Institute & State University. Blacksburg / 2003.
- MORAIS, C.S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos**. Dissertação de Mestrado. UFSCar. São Carlos / 2004.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 1ª edição. Porto Alegre. Ed. Luzzato / 1985.
- RORIZ, M. **Jardim 1.1 – Temperaturas Superficiais em Vegetação. Versão 1.1. JARDIM.EXE**. São Carlos, 2003. Aplicativo. 264KB.