

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO TELHADO VERDE EXTENSIVO PARA FLORIANÓPOLIS¹

LIZ, Débora G. S. de (1); MIZGIER, Martin O. (2); GÜTHS, Saulo (3)

(1) UFSC, e-mail: debora@labcon.ufsc.br; (2) UFSC, e-mail: martin@arq.ufsc.br; (3)
UFSC, e-mail: saulo@lmpt.ufsc.br

RESUMO

A cobertura das edificações em países tropicais influencia fortemente na transferência de calor aos ambientes internos subjacentes, pois é a área mais exposta à radiação solar direta. O telhado verde é uma técnica conhecida desde as antigas civilizações e apresenta ampla gama de benefícios térmicos, ambientais e estéticos. Este trabalho experimental tem como finalidade identificar os diferentes elementos que compõem o sistema telhado verde e que participam no processo de transferência de calor através da cobertura. A bancada experimental sobre o qual são desenvolvidos os ensaios consiste em uma câmara fechada e isolada termicamente, com temperatura interna constante. Sobre a bancada foram instaladas lajes de concreto que suportam as amostras de coberturas verdes com diferentes configurações (que incluem variação da espessura do substrato e do tipo de vegetação) e a cobertura de referência com telha de fibrocimento. Para todas as medições foram registrados dados de temperatura e fluxo de calor superficiais. Como resultados observa-se que o substrato, sem a camada vegetal, reduz o ganho de calor em 78%, quando comparado a cobertura de referência. Com adição de plantas, o ganho de calor foi reduzido em 91% na superfície de contato da laje de concreto.

Palavras-chave: Telhado verde. Comportamento térmico. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Coverage of buildings in tropical countries strongly influences the heat transfer to the underlying indoors, it is the most exposed area to direct sunlight. The green roof is a technique known since ancient civilizations and has a wide range of thermal, environmental and aesthetic benefits. This experimental work aims at identifying the different elements composing the green roof system, participating in the heat transfer process through the cover. The test rig on which tests are developed consists of a closed, thermally insulated chamber at a constant internal temperature. On the bench concrete slabs were installed to support the samples of green roofs with different configurations (including variation of substrate thickness and type of vegetation) and the reference fiber cement roof tile. For all measurements temperature and surface heat flux were registered. As a result it was observed that the substrate without the vegetal layer reduces the heat gain by 78% when compared to reference coverage. With plants addition, heat gain was reduced by 91% on the contact surface of the concrete slab.

Keywords: Green roof. Thermal behavior. Sustainability.

¹ LIZ, Débora G. S. de; MIZGIER, Martin O.; GÜTHS, Saulo. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado aos materiais que compõem sua envoltória, pois é a área que limita o ambiente interno e externo, sendo o meio por onde ocorrem as trocas de calor entre eles. Por ser a área mais exposta à radiação solar direta nos países tropicais, a cobertura da edificação responde por grande parte da eficiência e desempenho térmico da mesma. O telhado verde é uma técnica milenar que apresenta diversos benefícios. Entre eles, destacam-se a redução no consumo energético das edificações (SANTAMOURIS; 2007; SPALA; 2008), redução do efeito ilha de calor urbano (TAKEBAYASHI; MORIYAMA, 2007) e gestão de águas pluviais (NARDINI; ANDRI; CRASSO, 2012). A composição básica do sistema telhado verde compreende o componente estrutural, camada impermeabilizante, camada drenante, manta geotêxtil, substrato e cobertura vegetal. Na literatura são definidos dois tipos de telhados verdes. As 'coberturas verdes extensivas' são mais simples e resistentes, com menor espessura de substrato de terra (5 a 15cm), vegetação rasteira e baixa manutenção. Já as 'coberturas verdes intensivas' apresentam uma camada mais espessa de substrato de terra (20 a 60 cm), que sustentam plantas de maior porte, requerendo manutenção periódica e sistemas de irrigação (PARIZOTTO FILHO, 2010; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012).

Por ser um sistema vivo, o processo de transferência de calor numa cobertura vegetal é significativamente diferente do que num telhado tradicional, não só pela mudança nas características térmicas dos materiais e nas propriedades das superfícies, mas também pelos processos metabólicos das plantas (JIM; HE, 2010). O balanço energético do telhado verde é, portanto, resultado dos fluxos de calor sensível (convecção) e latente (evaporação) da superfície do solo e da planta, combinados com a condução de calor pelo substrato e a radiação de onda longa entre as superfícies do solo e da folha (SAILOR, 2008). Sendo assim, estudos aprofundados sobre a dinâmica do telhado verde e sua influência no desempenho térmico do sistema de cobertura são fundamentais. Os resultados de diferentes estudos apontam que o teor de água no substrato e a temperatura do ar têm impacto significativo no fluxo de calor sensível (TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2011; JIM; HE, 2010). Num segundo plano, a espessura, densidade e condutividade térmica do solo também interferem no comportamento térmico do telhado verde (MOODY; SAILOR, 2013), bem como o tipo de vegetação, pois além do processo de evapotranspiração, as plantas protegem o sistema do vento e sombreiam o substrato, reduzindo a temperatura do mesmo e a transferência de calor através da cobertura.

Assim, o objetivo desse trabalho é analisar, experimentalmente, o comportamento térmico do telhado verde a partir de uma comparação com diferentes configurações de camadas desse sistema construtivo.

2 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

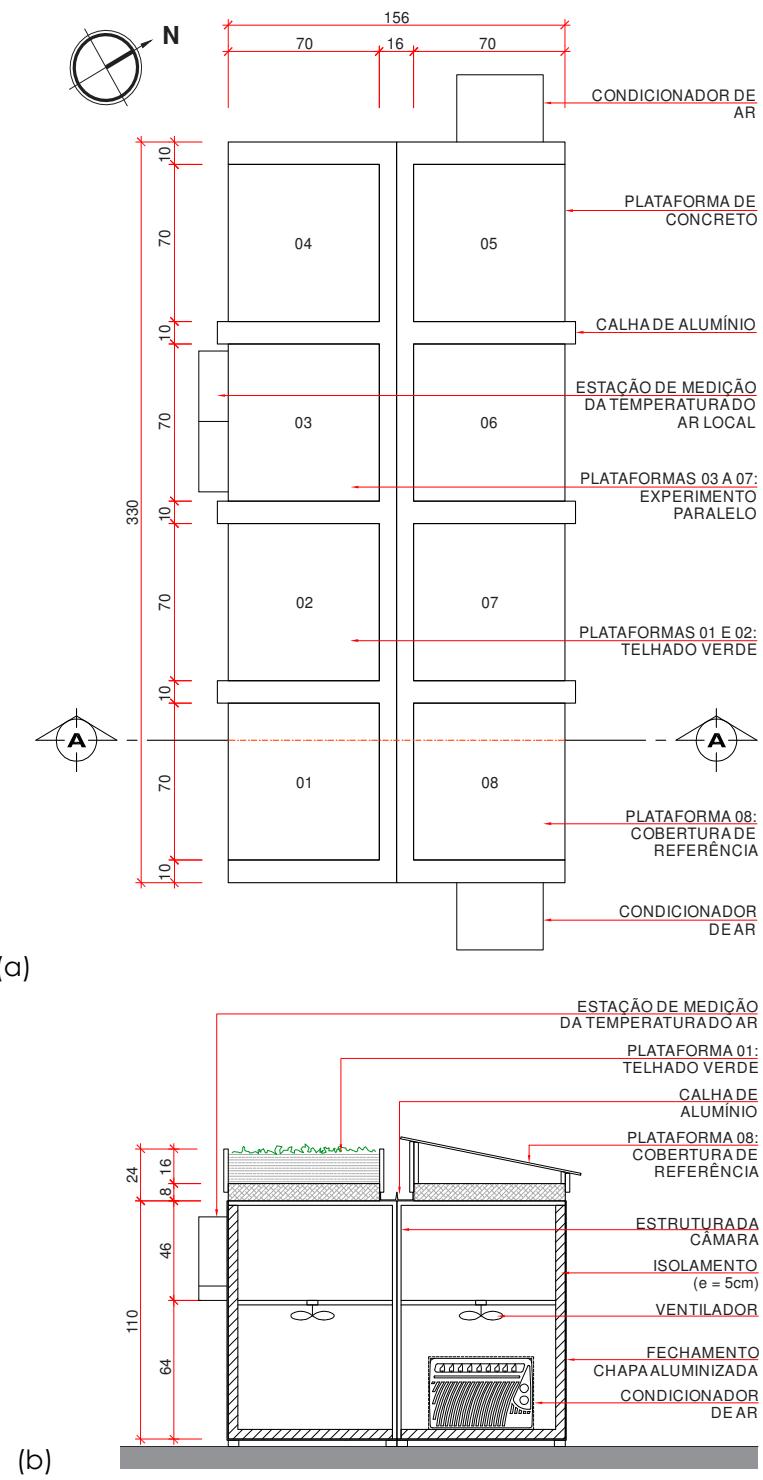
A bancada experimental de medição em campo foi montada na cobertura de uma edificação de dois pavimentos, onde se encontra exposta as variações climáticas e a incidência solar direta. Na metodologia de medição são monitorados dados de temperatura superficial e fluxo de calor através da cobertura. Estes são os principais parâmetros medidos e analisados na literatura revisada (JIM; HE, 2010; JIM; PENG, 2012; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2011; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012; OULDBOUKHITINE et al. 2011; HINZ, 2006; POUEY; SATTLER; SCHNEIDER, 1998). Os dados são registrados a cada minuto pela Unidade de aquisição e registro de dados Agilent-HP modelo 34970A.

A bancada experimental, apresentada na Figura 1, consiste numa câmara estruturada por cantoneiras metálicas com fechamento externo em chapa de alumínio (laterais e fundo) e isolamento interno com poliestireno expandido 5cm de espessura a fim de reduzir as trocas térmicas entre o interior e o exterior. As dimensões gerais da câmara são 3,30m de comprimento, 1,56m de largura e 1,10m de altura. A construção de duas metades iguais de 0,78m de largura permite que um dos lados seja móvel, possibilitando a abertura para manutenção interna da bancada experimental. Dois condicionadores de ar do tipo janela (um de 7500 BTU e outro de 9000 BTU) instalados no lado fixo da bancada mantêm a temperatura interna constante através do controlador Proporcional Integral Derivativo - PID, cujo *setpoint* foi fixado em 23,5°C. Sobre a bancada, oito lajes de concreto (plataformas) com dimensões 70x70x8cm suportam as amostras de cobertura em análise. Este artigo apresenta os resultados das medições comparativas entre duas amostras de telhado verde (plataformas 01 e 02) e uma amostra de referência coberta com telhas de fibrocimento (plataforma 08). Sob cada uma das lajes, no interior da câmara, um ventilador auxilia na distribuição uniforme do ar refrigerado.

Os dados climáticos são obtidos através de uma estação meteorológica distante aproximadamente 90 metros do local onde foi montada a bancada experimental. Os dados utilizados na pesquisa são radiação solar direta, umidade relativa do ar e precipitação. Além dos dados climáticos fornecidos pela estação meteorológica, uma estação de medição da temperatira do ar externo foi montada na lateral da bancada, com orientação solar Sul. Um termopar tipo T foi inserido num tubo de policloreto de polivinila (PVC) isolado e protegido da radiação solar direta. Um exaustor acoplado na entrada do tubo garante a circulação constante do ar externo por dentro do mesmo.

A junta de referência, instalada no interior da bancada (temperatura de referência igual a temperatura interna do ar), permite conhecer a temperatura nas juntas de medição.

Figura 1 - (a) planta baixa e (b) corte esquemático da bancada experimental



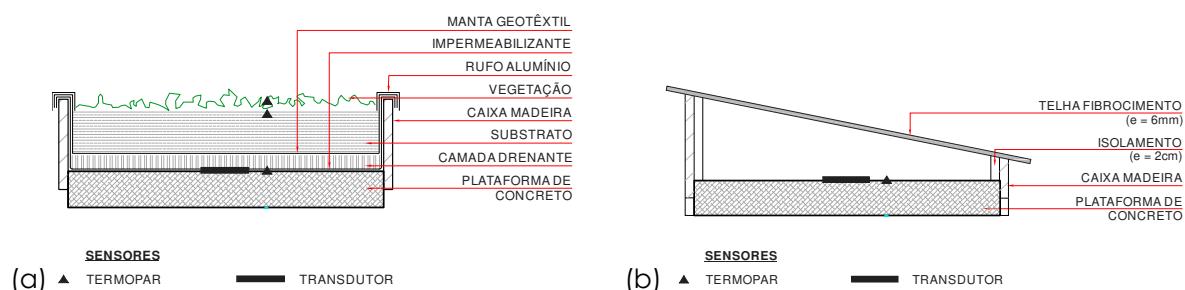
Fonte: elaborado pelo autor

2.1 Instrumentação

As plataformas com telhado verde são equipadas com sensores de medição de temperatura (termopares tipo T) instalados na superfície superior da laje de concreto, na superfície superior do substrato (abaixo de uma fina camada de terra) e no dossel das plantas. Um transdutor de fluxo de calor a

gradiente tangencial na superfície superior da laje de concreto (parte central) mede o fluxo de calor através do sistema telhado verde (Figura 2a). A amostra de referência (coberta com telha de fibrocimento de espessura igual a 6mm) é equipada com os mesmos sensores (Figura 2b), instalados na superfície de contato superior da laje de concreto.

Figura 2 - Localização dos sensores instalados nas amostras de (a) telhado verde e (b) cobertura de referência



Fonte: elaborado pelo autor

2.2 Etapas de medição

Antes de proceder com a execução das diferentes etapas de medição, iniciou-se a construção das camadas comuns às duas plataformas com amostras de telhado verde. Inicialmente instalou-se o quadro de madeira para contenção das camadas, a lona como impermeabilizante e o dreno do sistema, constituído por uma flange de 25mm (Figura 3a). A camada drenante é constituída por 5cm de espessura de argila expandida (Figura 3b). Por fim a manta geotêxtil (bidim) foi aplicado em ambas plataformas (Figura 3c).

Figura 3 - Camadas comuns a todas as etapas de medição



Fonte: acervo do autor - out. 2015

As etapas de medição para análise do comportamento térmico do telhado verde frente a diferentes composições ocorreram sequencialmente conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Etapas de medição com telhado verde

ETAPA	PLATAFORMA 01	PLATAFORMA 02
01	Substrato úmido com 5cm de espessura	Substrato úmido com 15cm de espessura
02	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Sempre Verde)	Substrato úmido com 10cm de espessura
03	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Sempre Verde)	Substrato úmido com 10cm de espessura + vegetação (grama Preta)

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Moody e Sailor (2013), a espessura do substrato interfere no comportamento térmico do telhado verde. A Etapa 01 tem por objetivo comparar os resultados a partir do parâmetro inércia. O telhado verde extensivo compreende espessura entre 5 e 15 cm (PARIZOTTO FILHO, 2010; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012). Portanto cada amostra apresenta diferentes espessuras de solo, considerando os limites para telhado verde extensivo (Figura 4a). A plataforma 01 foi preenchida com 5cm de substrato (Figura 4b) e a plataforma 2, com 15cm de substrato (Figura 4c).

Figura 4 - Substrato com espessura de 5 e 15 cm



Fonte: acervo do autor - jan. 2016

A Etapa 02 compara os resultado a partir da adição da camada de vegetação (grama Sempre Verde - *Axonopus compressus*) na plataforma 01 (Figura 5a), enquanto a Etapa 03 tem vegetação em ambas amostras (Figura 5b), porém de tipos diferentes; a plataforma 02 é coberta com grama Preta - *Ophiopogon japonicus* (Figura 5c). Os parâmetros da vegetação variam de acordo com a espécie (densidade das folhas, taxa de evapotranspiração, área de sombreamento, etc.) e podem apresentar variações também nos resultados. Nessas duas etapas a espessura do substrato de ambas amostras é de 10cm (medida intermediária aos limites do telhado verde extensivo).

Figura 5 - Etapas 02 e 03

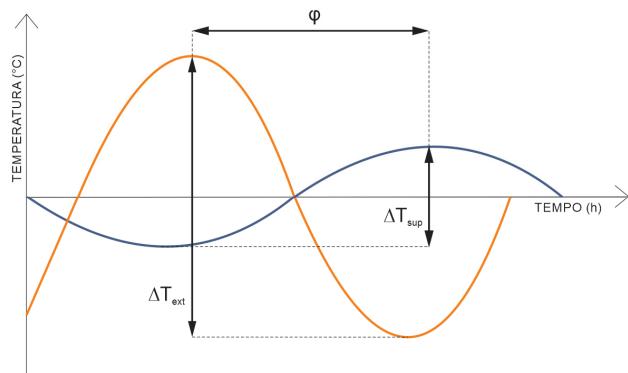


Fonte: acervo do autor - fev. 2016

2.3 Parâmetros de avaliação

Os parâmetros adotados para avaliar o comportamento térmico do telhado verde são atraso térmico (ϕ) e fator decremental ou amortecimento (f). Esses parâmetros estão associados a inércia térmica (característica do telhado verde). O fator decremental (Equação 1) é a razão entre a amplitude de temperatura na superfície de contato e a amplitude externa. Já o atraso térmico (Equação 2) se caracteriza pelo intervalo de tempo entre a hora da temperatura máxima na superfície de contato e a hora da temperatura máxima do ambiente externo (Figura 6).

Figura 6 - Parâmetros atraso térmico e fator decremental



Fonte: elaborado pelo autor

$$f = \frac{T_{sup\ máx} - T_{sup\ mín}}{T_{ext\ máx} - T_{ext\ mín}} \quad (1)$$

Onde:

f = fator decremental

$T_{sup\ máx}$ = temperatura máxima na superfície interna de contato (°C)

$T_{sup\ mín}$ = temperatura mínima na superfície interna de contato (°C)

$T_{ext\ máx}$ = temperatura máxima no ambiente externo (°C)

$T_{ext\ mín}$ = temperatura mínima no ambiente externo (°C)

$$\varphi = t_{T \text{ sup máx}} - t_{T \text{ ext máx}} \quad (2)$$

Onde:

φ = atraso térmico

$t_{T \text{ sup máx}}$ = hora em que ocorre a temperatura máxima na superfície interna de contato (h)

$t_{T \text{ ext máx}}$ = hora em que ocorre a temperatura máxima no ambiente externo (h)

3 RESULTADOS

3.1 Fluxo de calor

Os dados de fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural (plataforma 01 – Plt. 01, plataforma 02 – Plt. 02 e plataforma 08 – Plt. 08) foram analisados e comparados com as condições climáticas (umidade relativa do ar, radiação solar incidente e temperatura do ar externo). A Tabela 2 apresenta os dados de todas as etapas de medição. A etapa 01 ocorreu entre os dias 12 e 16/02, a etapa 02, nos dias 11 a 15/03 e a etapa 03, entre os dias 18 e 22/03.

Tabela 2 - Dados climáticos, temperatura e fluxo de calor superficiais registrados em todas as etapas de medição

Data	UR do ar mínima (%)	Rad. solar máxima (W/m²)	Temp. máx. do ar (°C)	Temperatura máxima na superfície de contato superior da laje (°C)			Fluxo de calor máximo na superfície de contato superior da laje (W/m²)		
				Plt. 01	Plt. 02	Plt. 08	Plt. 01	Plt. 02	Plt. 08
12/02/2016	51,5	971	34,97	28,40	27,02	31,21	40,63	23,07	45,54
13/02/2016	50,3	790,3	34,74	28,55	26,74	30,69	47,36	19,45	44,08
14/02/2016	52,8	777,1	36,97	28,88	26,86	32,05	51,53	21,71	47,37
15/02/2016	60,3	952	33,19	26,67	25,87	31,18	39,90	15,63	69,90
16/02/2016	72,8	399,5	31,14	26,27	25,23	28,27	27,71	12,28	29,05
11/03/2016	60,1	925	30,20	24,03	24,89	28,24	9,11	20,25	54,05
12/03/2016	54,6	991	28,73	23,44	23,96	28,40	6,20	13,67	43,38
13/03/2016	52,7	972	28,59	23,09	23,73	27,76	1,81	10,45	35,95
14/03/2016	69,4	634,3	27,41	23,13	23,59	25,83	2,94	5,77	14,92
15/03/2016	60,6	959	31,71	24,39	25,63	30,59	11,35	23,10	48,16
18/03/2016	53,9	976	35,08	25,66	25,25	31,55	15,99	8,30	66,04
19/03/2016	59,8	815	32,04	25,06	24,83	29,70	11,08	5,17	48,53
20/03/2016	67,7	823	30,93	24,55	24,45	28,00	10,34	5,04	36,51
21/03/2016	60,3	833	33,69	24,74	24,66	28,36	11,51	5,47	46,61
22/03/2016	46,4	969	36,63	24,91	24,65	31,22	12,49	5,47	63,39

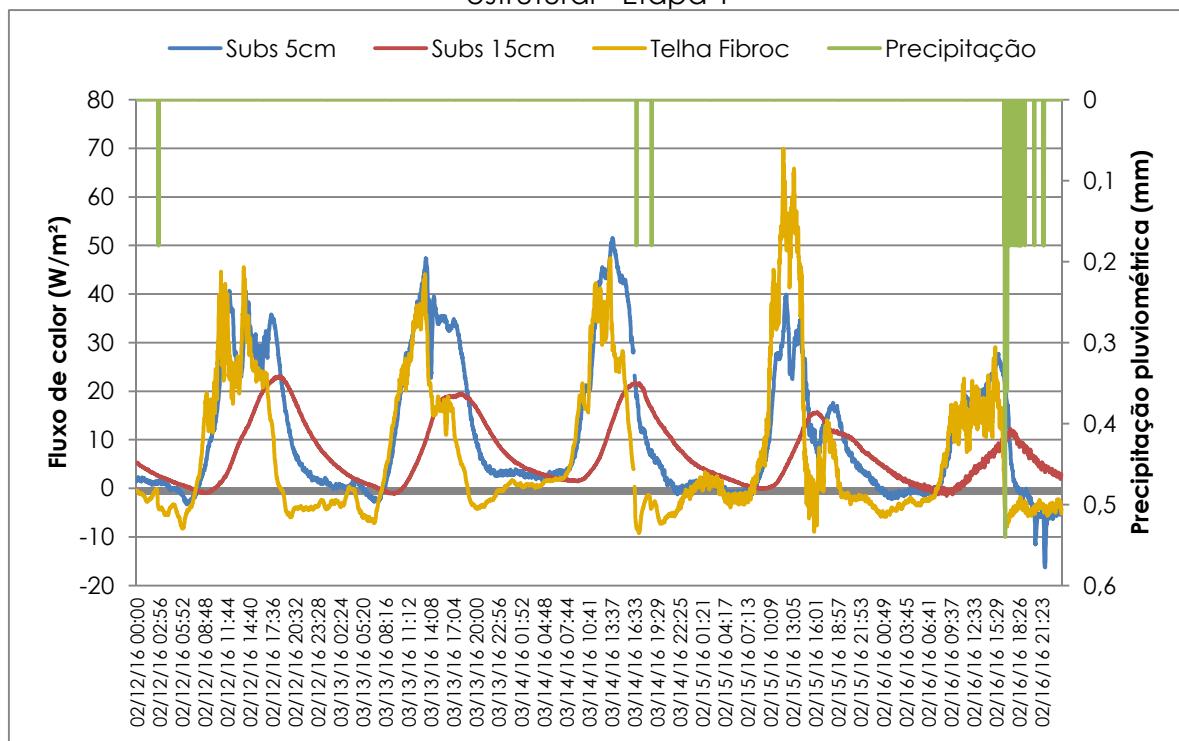
Fonte: elaborado pelo autor

Na primeira etapa de medições, as plataformas 01 e 02 foram preenchidas com 5 e 15cm de substrato úmido, respectivamente. Nos dias de maior incidência da radiação solar, combinado a baixa umidade relativa do ar, o fluxo de calor entre a amostra com 5cm de substrato e a cobertura de referência é semelhante. Com o aumento da umidade relativa do ar, a amostra com 5cm de substrato apresenta fluxo de calor menor, chegando a reduzir 43% em relação a cobertura com telha de fibrocimento. Diminuindo a radiação solar o comportamento volta a ser semelhante.

No Gráfico 1 observa-se que a plataforma 02, com 15cm de substrato, apresenta comportamento com picos de calor menores, não oscilando tanto com a variação da radiação solar indicente. Em comparação com a amostra com 5cm de substrato, o fluxo de calor máximo é, em média, 55% menor, ocorrendo com atraso médio de 3,96 horas. A maior redução de ganho de calor da amostra com 15cm de substrato em relação a cobertura com telha de fibrocimento foi no dia 15/02 em 78%

O evento de chuva observado no dia 16/02 influencia de maneira semelhante a redução do fluxo de calor nas amostras com 5cm de substrato e com telha de fibrocimento. Menor massa permite o rápido resfriamento da superfície de contato, reduzindo o fluxo de calor, enquanto que na amostra com maior massa, o efeito não foi observado.

Gráfico 1 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 1



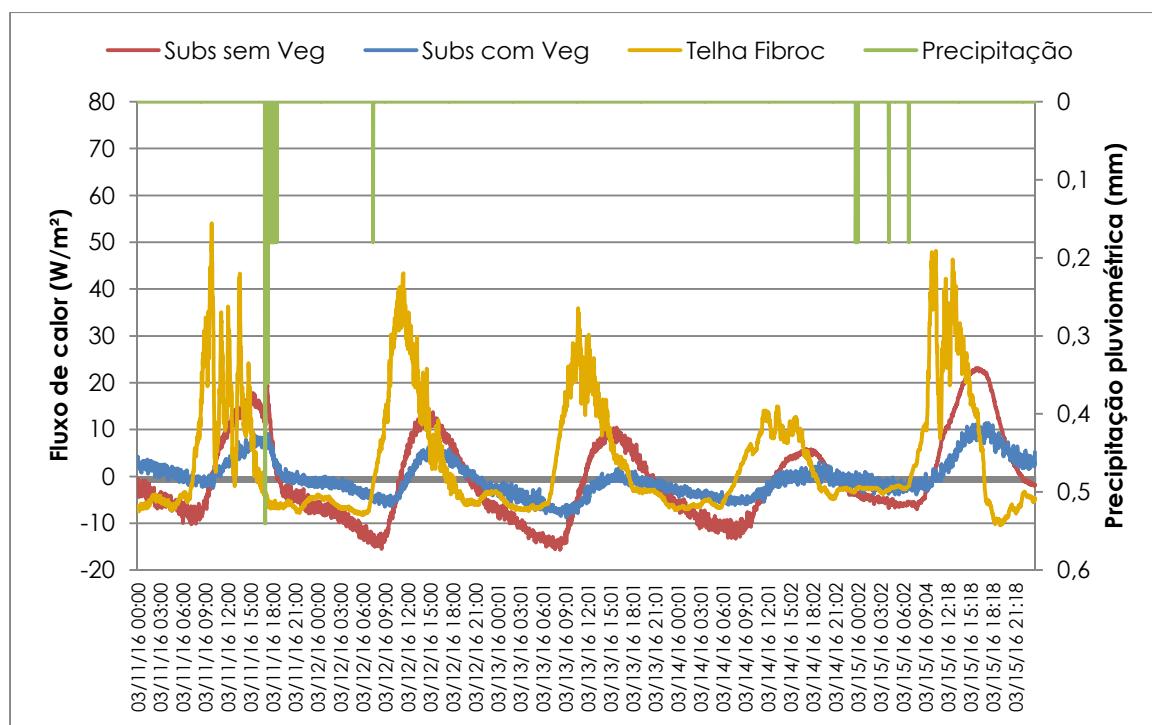
Fonte: elaborado pelo autor

O Gráfico 2 mostra as curvas de fluxo de calor medidos na segunda etapa. Observa-se que o fluxo de calor máximo da plataforma 02 (com 10cm de substrato sem vegetação) sofreu oscilações que acopanharam a

temperatura máxima do ar externo, sendo maior no dia 15 e menor no dia 14. Já o fluxo de calor máximo da plataforma 01 (com vegetação) foi menor no dia 13, quando a baixa umidade relativa do ar estava associada a alta radiação solar incidente, potencializando o efeito da evapotranspiração e reduzindo o ganho de calor. Além disso, a presença da vegetação reduziu a amplitude entre fluxo de calor máximo e mínimo em até 62% (no dia 11/03), quando comparado com a amostra sem vegetação.

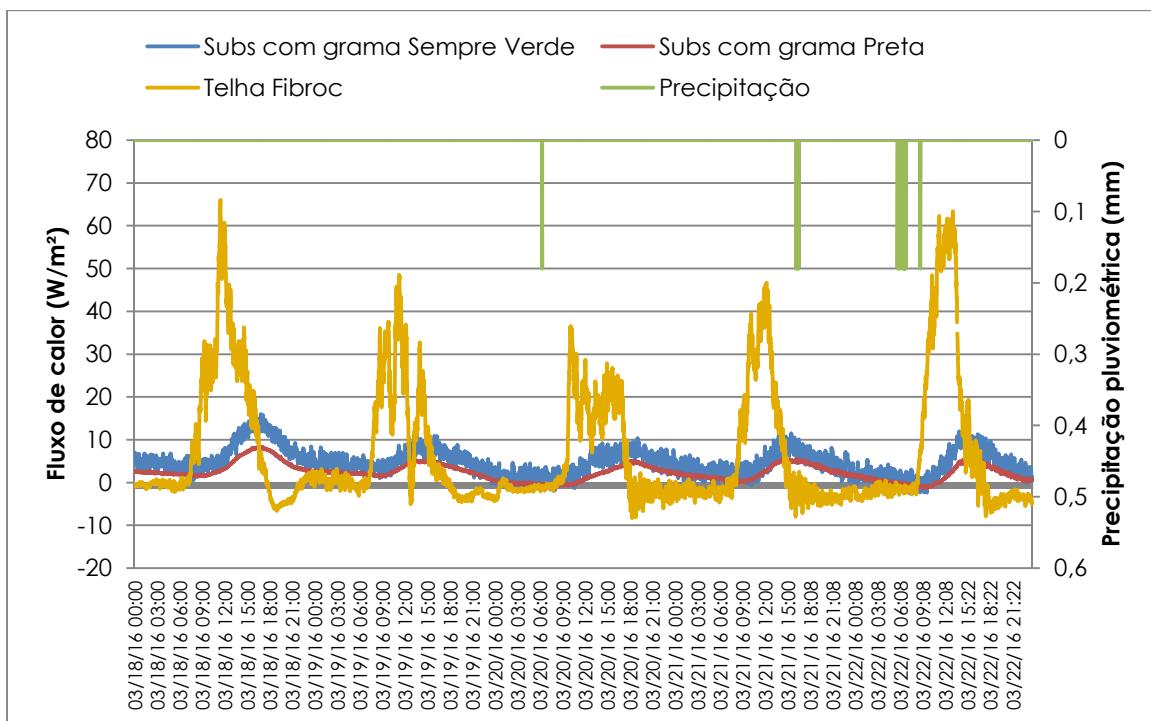
O Gráfico 3 mostra a terceira etapa de medição, cujo fluxo de calor máximo das três coberturas acompanhou a tentência da radiação solar, ou seja, valores maiores ocorreram no dia 18 e menores, no dia 20. Em comparação com a cobertura de referência, a maior redução no fluxo de calor na superfície de contato dos telhados verdes ocorreu no dia 22, quando a umidade relativa do ar foi menor, possibilitando maior perda de calor pelo processo de evapotranspiração das plantas. A plataforma 01, com grama Sempre Verde, apresentou redução de 80% no fluxo de calor máximo, enquanto que a plataforma 02, com grama Preta, apresentou redução de 91%, comparado a cobertura de referência. A diferença no fluxo de calor máximo entre as amostras de telhado verde também foi alta. A amostra com grama Preta apresentou fluxo 56% menor em relação a amostra com grama Sempre Verde.

Gráfico 2 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 2



Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 3 - Fluxo de calor na superfície de contato superior do componente estrutural - Etapa 3



Fonte: elaborado pelo autor

3.2 Atraso térmico e fator decremental

Os parâmetros atraso térmico e fator decremental foram aplicados em cada etapa de medição como método de avaliação do comportamento térmico da cobertura vegetal. Os resultados apresentados na Tabela 3 referem-se ao dia em que foi registrada a maior temperatura do ar externo. Pela tabela, observa-se correlação entre os parâmetros: quanto maior o fator decremental de uma cobertura, menor é o tempo transcorrido para que as ondas de calor passem do meio externo até a superfície de contato, apresentando um atraso térmico menor. Isso indica que, sistemas de cobertura menos resistentes às variações de temperatura do ar externo também têm menor capacidade de retenção de calor.

Tabela 1 - Correlações entre parâmetros para avaliação do comportamento térmico do telhado verde

Etapa	Hora temp. máx. do ar	Configuração das amostras	f	φ
01 (14/02/2016)	13h21	Cobertura de referência	0,728	1,68
		Substrato 5cm de espessura	0,403	2,58
		Substrato 15cm de espessura	0,229	4,77
02 (15/03/2016)	13h27	Cobertura de referência	0,761	1,28
		Substrato com vegetação	0,169	5,95
		Substrato sem vegetação	0,290	5,10
03 (22/03/2016)	13h02	Cobertura de referência	0,614	1,00
		Substrato com grama Sempre Verde	0,118	4,87
		Substrato com grama Preta	0,088	4,87

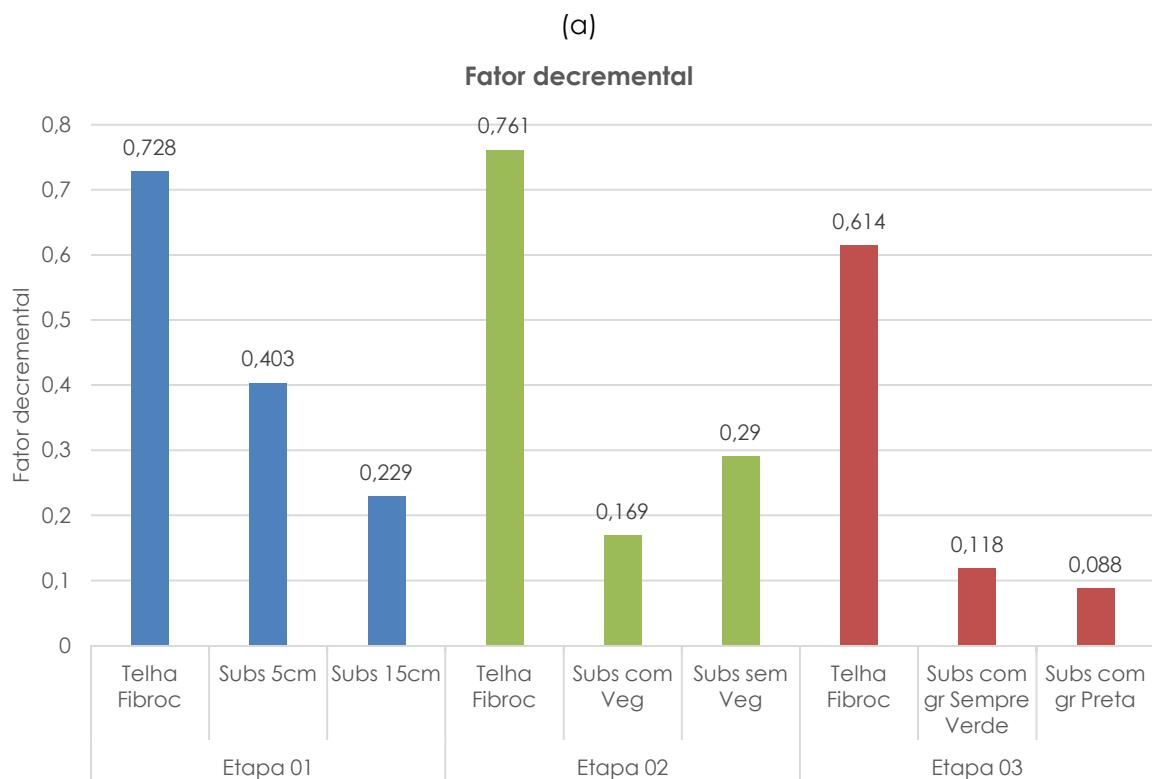
Fonte: elaborado pelo autor

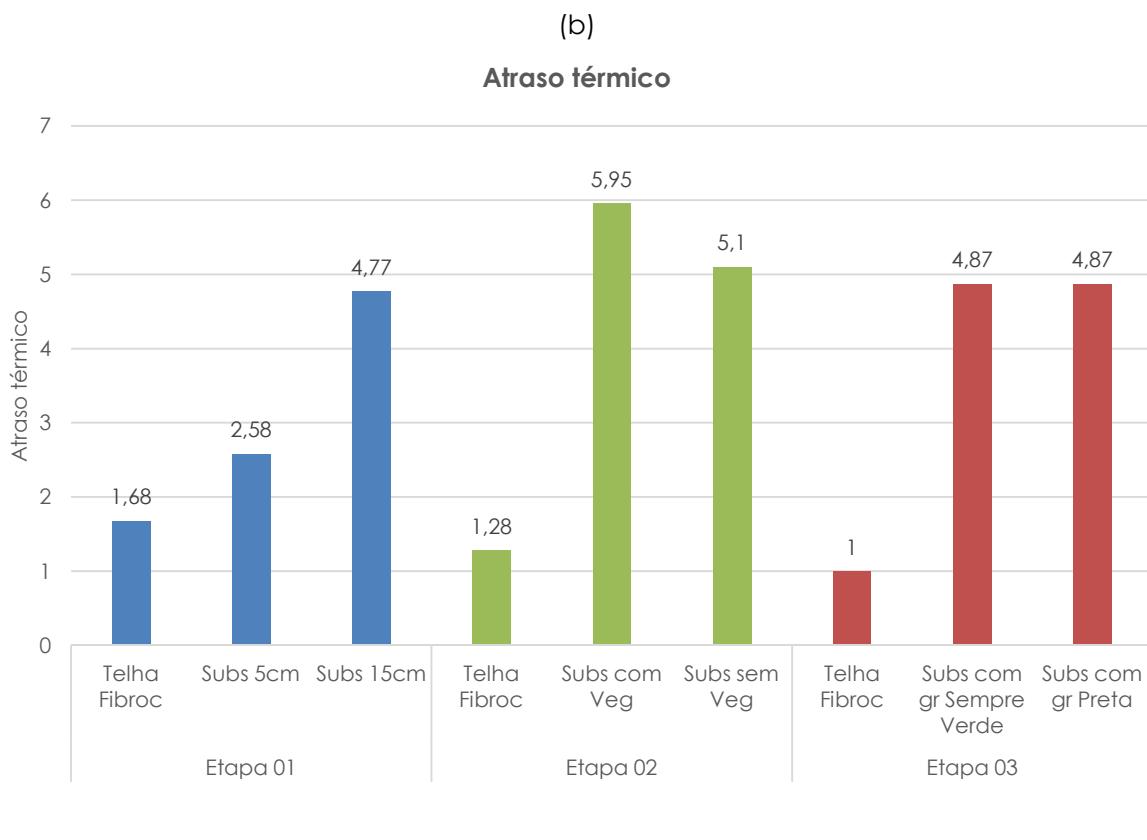
Os resultados mais significativos nos parâmetros analisados são apontados pela variável espessura (Gráfico 4). O aumento da camada de substrato de 5 para 15cm reduziu em 43% o fator decremental e aumentou em 85% o atraso térmico. Esses resultados indicam que a presença da camada de terra caracteriza o telhado verde como estratégia de elevada inércia térmica.

Outra variável de significativa importância no amortecimento da temperatura é a presença da vegetação, reduzindo em 42% o fator decremental com a adição da camada vegetal sobre o substrato. Se comparado a cobertura de referência, o amortecimento chega a 77%.

Esses resultados são possíveis devido ao sombreamento proporcionado pela planta na camada do solo (Figura 5c) Os resultados dos cinco dias de medição na terceira etapa apontam que a temperatura máxima no dossel da planta e na superfície do substrato da amostra com grama Preta foram, em média, 13% e 5% menor, respectivamente, em comparação com amostra com grama Sempre Verde.

Gráfico 1 - Parâmetros atraso térmico e fator decremental para cada etapa de medição





Fonte: elaborado pelo autor

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados das três etapas de medição, com diferentes configurações de camadas de telhado verde, permite conhecer os elementos de maior impacto na eficiência do sistema. Quanto a espessura do substrato, as amostras sem vegetação permitiram redução no fluxo de calor na superfície superior da laje de concreto a partir de 10cm, quando comparado a cobertura de referência.

Com o acréscimo da camada de vegetação, os melhores resultados são observados quando a baixa umidade relativa do ar está associada a alta radiação solar incidente, pois o telhado perde calor pelo processo de evapotranspiração. O tipo de vegetação utilizado sobre o substrato também interfere no processo de transferência de calor. Entre as gramíneas adotadas no experimento é possível observar que o grama Preta, que proporciona maior sombreamento do substrato em comparação com a grama Sempre Verde, reduz a taxa de calor transferido para a laje e diminui a temperatura no dossel e no substrato.

O trabalho realizado evidencia que os telhados verdes são uma contribuição efetiva para melhorar o desempenho térmico da cobertura e permite quantificar o potencial que pode ser alcançado por este sistema construtivo para as condições climáticas observadas.

REFERÊNCIAS

- HINZ, E. **Estudio del comportamiento térmico de un sistema pasivo de enfriamiento evaporativo indirecto con cobertura vegetal en un clima tropical.** 2006. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Escola Técnica Superior de Engenheiros Industriais, Universidade de Zulia, Maracaibo. 2006.
- JIM, C. Y. PENG, L. L. H. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. **Urban Forestry & Urban Greening** v. 11 p. 73-85, 2012.
- JIM, C. Y. HE, H. Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. **Ecological Engineering** v. 36 p. 1052-1063, 2010.
- MOODY, S. S. SAILOR, D. J. Development and application of a building energy performance metric for green roof system. **Energy and Buildings** v. 60, p. 262-269, 2012.
- NARDINI, A. ANDRI, S. CRASSO, M. Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. **Urban Ecosyst** v. 15, p. 697-708, 2012.
- OULDBOUKHITINE, S. E. et al. Assessment of green roof thermal behavior: a coupled heat and mass transfer model. **Building and Environmental** v. 46, p. 2624-2631, 2011.
- PARIZOTTO FILHO, S. **Telhado vegetado.** In: Lamberts, R. et al (ed.). Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 89-122.
- POUEY, M. T. F.; SATTLER, M. A.; SCHNEIDER, P. S. Coberturas verdes: análise de desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 473-481.
- SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **ScienceDirect** v. 40, p. 1466-1478, 2008.
- SANTAMOURIS, M. et al. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. **Science Direct** v. 32 p. 1781-1788, 2007.
- SPALA, A. et al. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system in an office building in Athens, Greece. **Science Direct** v. 33 p. 173-177, 2008.
- TABARES-VELASCO, P. C. SREBRIC, J. Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof sample in a new laboratory setup. **International Journal of Heat and Mass Transfer.** v. 54 p. 5149-5162, 2011.
- _____. A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer condition. **Building and Environment** v. 49 p. 310-323, 2012.
- TAKEBAYASHI, H. MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environmental** v. 42 p. 2971-2979, 2007.