XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA COBERTURA VERDE TESTADA EM BANCADA EXPERIMENTAL

Caren Michels (1); Saulo Güths (2); Deivis Luis Marinoski (3)
(1) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, carenmichels@yahoo.com, Universidade Federal do Amazonas, Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, CEP 69067-005.
(2) Doutor, Professor do Departamento Engenharia Mecânica, saulo@lmpt.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Caixa postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC.
(3) Doutor, Professor do Departamento de Expressão Gráfica, deivis.marinoski@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Caixa postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC.

RESUMO
Telhados situados em países tropicais são expostos a intensa radiação solar, que afeta a carga necessária para resfriamento em edificações condicionadas e o conforto térmico nas edificações não condicionadas. Reduzir o ganho térmico através da cobertura é uma das maneiras de diminuir o gasto com energia e de proporcionar conforto térmico aos usuários. Desta forma, este trabalho analisou o desempenho térmico de uma cobertura verde, por meio de uma bancada experimental construída na cidade de Florianópolis (Brasil), a qual comporta simultaneamente até oito coberturas em escala reduzida. A temperatura interna da bancada experimental foi mantida em 23,5 °C e as coberturas foram instrumentadas com sensores de temperatura e de fluxo de calor. O estudo foi realizado durante os meses de julho a dezembro de 2017. Os resultados mostraram que o uso de cobertura verde reduziu as temperaturas superficiais quando comparada com uma cobertura com telhas de fibrocimento. Em relação ao fluxo de calor, a cobertura verde reduziu os ganhos térmicos diários e as perdas térmicas noturnas. Para todo o período de análise, a cobertura verde reduziu os ganhos em 81% e evitou as perdas térmicas de 53% para todo o período de medição. Com esse estudo foi possível confirmar que o uso de coberturas verdes é eficaz e pode melhorar o desempenho térmico de edificações localizadas em regiões de clima subtropical.
Palavras-chave: cobertura verde, desempenho térmico, medições em campo.

ABSTRACT
Roofs located in tropical countries are exposed to intense solar radiation, which affects the necessary cooling load in conditioned buildings and thermal comfort in non-conditioned ones. Reducing thermal gain by using a cover is one way to decrease energy expenditure and provide thermal comfort to users. Therefore, this work analyzed the thermal performance of a green roof through an experimental workbench, built in the city of Florianópolis (Brazil), which can admit eight small-scale covers simultaneously. The internal temperature of the experimental bench was maintained at 23.5 °C and the covers were instrumented with temperature and heat flow sensors. The study took place from July to September 2017. The results showed that the use of the green roof reduced superficial temperatures when compared to a fiber-cement tile roof. As far as the heat flux is concerned, the green roof reduced diurnal thermal gains and nocturnal thermal losses. Throughout the analysis, the green roof reduced the gains by 81% and prevented thermal losses by 53%. By this study, it was possible to confirm that the use of green roofs is effective and can improve the thermal performance of buildings located in subtropical areas.
Keywords: green roofs, thermal performance, field measurement.

1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações evidenciadas nos últimos anos relaciona-se a quantidade de energia consumida para proporcionar conforto térmico em edificações. Até alguns anos atrás, a maior parte dos arquitetos e engenheiros não se preocupavam em escolher materiais e sistemas que proporcionassem conforto térmico de forma passiva e assim, reduzir o consumo da energia usada em sistemas mecânicos de condicionamento térmico.

Uma parcela significativa dessa energia empregada para resfriar os ambientes decorre em consequência da transferência de calor pela cobertura das edificações. A radiação solar, ao incidir sobre a superfície das telhas, é absorvida pelas mesmas e as aquece. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo e a outra parcela é absorvida e transmitida ao ático. A parcela absorvida transmite o calor de duas formas: radiação e convecção. Por sua vez, a radiação incidente na superfície da laje (ou forro) é absorvida, transferindo o calor para os ambientes internos da edificação.

A quantidade de energia transferida através da cobertura para os ambientes internos da edificação depende de vários fatores, como o material dos elementos que compõem a cobertura (teto jardim, material da telha e do forro/laje), a cor do revestimento externo, a presença de material de isolamento térmico, da ventilação no ático além de processos de migração de umidade e mudança de fase.

A temperatura superficial do solo pode afetar o consumo de energia das edificações, que depende da quantidade total de radiação solar absorvida pela superfície, do teor de umidade e das propriedades térmicas do solo. Essas variáveis podem ser afetadas pelo nível do revestimento do solo, uma vez que dependendo do tipo da vegetação escolhida o solo poderá ficar mais ou menos exposto à radiação solar. Além disso, a camada de vegetação auxilia no processo de evapotranspiração. Quanto maior a densidade foliar da vegetação menor é a temperatura da superfície do solo devido ao sombreamento, ao aumento do teor de umidade na superfície do solo e a evaporação da umidade existente no solo (THEODOSIOU, 2003b; YAGHOOBIAN e SREBRIC, 2015).

O teto-jardim ou telhado verde é uma estratégia que tem sido utilizada por apresentar muitos aspectos positivos, tanto na escala da edificação quanto na urbana. Esses benefícios na escala da construção se referem principalmente a redução da temperatura interna e redução das cargas para resfriamento, e, na escala urbana podemos citar a amenização das ilhas de calor, gestão das águas pluviais, redução da poluição, contribuição com a biodiversidade (animal e vegetal). Com o incentivo da melhoria do desempenho térmico e energético das edificações, pesquisas com essa abordagem mostram que telhados verdes são eficazes em reduzir o fluxo de calor para o interior da edificação. PARIZOTTO e LAMBERTS (2011) realizaram um estudo experimental na cidade de Florianópolis em que compararam o desempenho térmico de uma cobertura verde com uma cobertura de telhas cerâmicas e com outra de telhas metálicas durante o período quente e frio. O resultado mostrou que, tanto na estação quente quanto a fria, o telhado jardim contribuiu de forma significativa para a redução do ganho térmico.

No que se refere ao desempenho térmico e redução do consumo de energia pelo uso de telhados verdes muitas pesquisas já foram desenvolvidas. No estudo realizado por JAFFAL, OULDBOUKHITINE e BELARBI, (2012) avaliou-se o impacto do telhado verde no consumo de energia. Foram avaliadas as temperaturas da folhagem, do solo, da laje do telhado e do ar interno, bem como o fluxo de calor através do telhado, a demanda de resfriamento e a demanda de aquecimento. O telhado verde diminuiu a temperatura interna em 2°C e a demanda anual de energia foi reduzida em 6%. Em outro estudo, realizado por COMA et al. (2016), constatou-se que para o período de verão, a redução no consumo de energia pode chegar a aproximadamente 17%, enquanto que no período frio, a redução no consumo de energia pode atingir 11%, dependendo do substrato utilizado.

LIZ (2016) avaliou o desempenho térmico de diferentes configurações de telhado verde. Ao analisar o efeito da espessura do solo (sem cobrimento vegetal), aumentando-o de 5 cm para 15 cm, houve a redução de 55% no fluxo de calor máximo. Quando se inseriu a cobertura vegetal em uma das amostras houve redução de 58% no fluxo de calor máximo e quando se comparou com a amostra de telhas de fibrocimento esta redução foi de 84%. Em outro ensaio realizado, as duas amostras apresentaram cobertura vegetal, porém de diferentes tipos, e a redução no fluxo de calor foi de 52%, que pode ser atribuído as características físicas e metabólicas das plantas, uma vez que cada tipo de vegetação proporcionou diferentes sombreamentos do substrato e de evapotranspiração.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho térmico de uma cobertura verde para o clima da cidade de Florianópolis (SC, Brasil) por meio de uma bancada experimental, quando comparada com o desempenho térmico de uma cobertura com telhas de fibrocimento.

3. MÉTODO

3.1 Bancada experimental

Os ensaios experimentais foram realizados na cidade de Florianópolis (Santa Catarina, Brasil), classificada pelo zoneamento bioclimático brasileiro na Zona 3 (ABNT, 2005). Esta região possui clima subtropical, com verões quentes e invernos amenos. A temperatura média anual é de 21°C e no mês mais quente as temperaturas máximas variam de 28°C a 33 °C e no mês mais frio as temperaturas mínimas variam de 7,5 a 12 °C. A umidade relativa média anual é de 82% e apresenta índice pluviométrico de aproximadamente 1500 mm ao ano.

Os ensaios foram realizados por meio de uma bancada experimental que comporta até oito coberturas, exposta as condições reais do clima da região de Florianópolis. A mesma apresenta a dimensão de 1,56 m de largura e 3,30 m de comprimento conforme planta baixa mostrada na Figura 1. As coberturas possuem a orientação norte para receberem a maior radiação solar possível.

As coberturas utilizadas nesta pesquisa foram a 05 e a 08, ambas possuem laje de concreto como o material que separa o ático da parte interna da bancada.

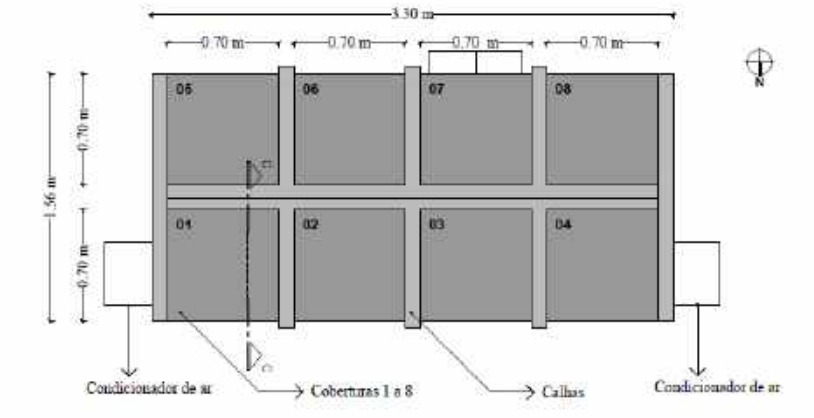


Figura 1: Planta baixa da bancada experimental

O corte transversal da bancada experimental é mostrado na Figura 2. A temperatura da câmara inferior foi mantida em 23,5 °C, por meio do uso de dois condicionadores de ar e de resistências aquecedoras, ligados a um controlador PID. Abaixo de cada cobertura foi instalado um ventilador com o objetivo de distribuir uniformemente o ar no interior da câmara de ar. A etapa de calibração foi realizada em duas etapas, uma referente às coberturas com forro de PVC e a outra referente às coberturas com laje de concreto (MICHELS et al., 2018).

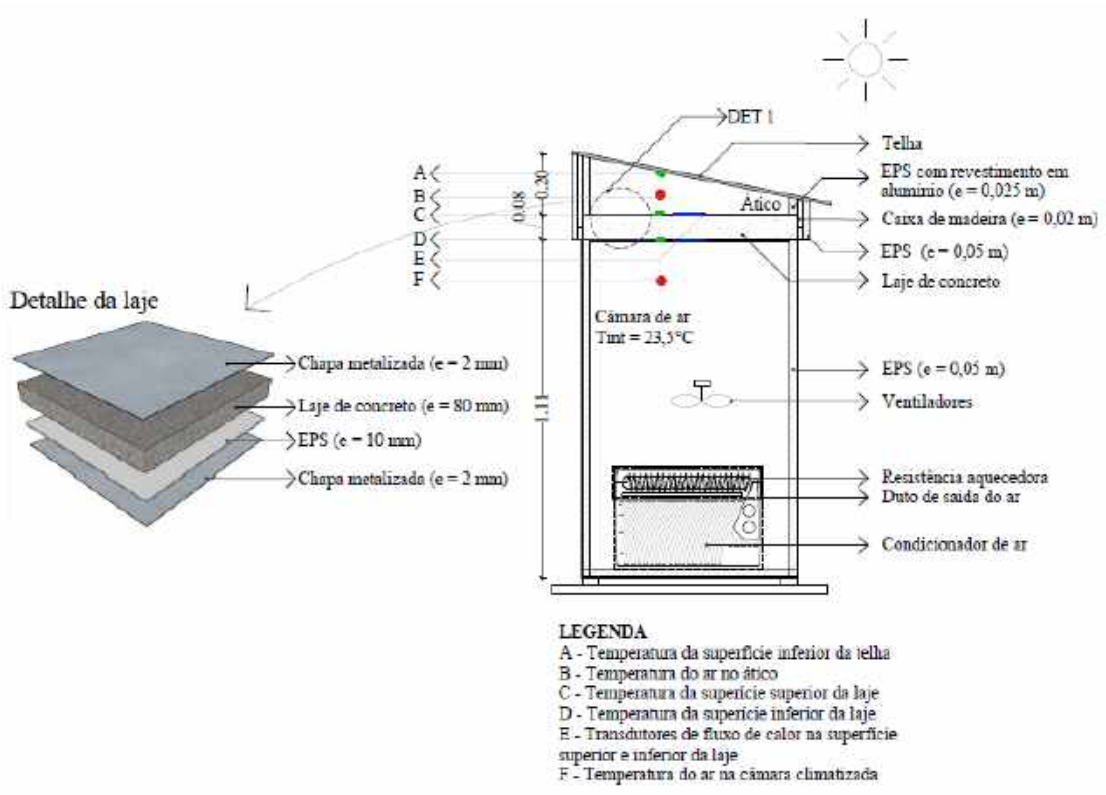


Figura 2 - Corte esquemático da bancada e detalhe da laje de concreto

3.2 Coberturas utilizadas

Para a realização deste estudo foram utilizadas as coberturas 05 e 08, ambas com laje de concreto como material que separa o ático da câmara interna da bancada experimental. A cobertura 05 foi utilizada como a cobertura verde, e recebeu as seguintes camadas: laje de concreto, lona impermeabilizante, camada de drenagem, manta geotêxtil de drenagem (tipo Bidin), terra e vegetação, no caso a grama esmeralda (*Zoysia japonica*), a qual recebia água apenas quando houve ocorrência de precipitação. A cobertura 08, utilizada como referência, é formada pelas seguintes camadas: laje de concreto, ático e telha de fibrocimento. A descrição destas coberturas pode ser vista no quadro 1.

Tabela 1: Descrição das coberturas

Cobertura	Legenda	Símbolo	Configuração do sistema de cobertura
5	VEG		Laje de concreto + lona impermeabilizante + argila expandida (espessura de 5 cm) + manta bidim + terra (espessura de 10 cm) + vegetação
8	CONC		Laje de concreto + câmara de ar + telha de fibrocimento cinza (α=0,7)

3.3 Sensores utilizados

Para medir as temperaturas superficiais e do ar foram utilizados termopares do tipo T, AWG 36 e o fluxo de calor nas coberturas foi medido por transdutores de fluxo de calor a gradiente tangencial com dimensões de 10 x 10 cm e espessura de 1mm (GÜTHS et al., 1995). O posicionamento dos sensores para a cobertura verde está mostrado na Figura 3a e para a cobertura de referência está mostrado na Figura 3b.

O desempenho térmico da cobertura verde foi analisado de julho a dezembro de 2017 e selecionou-se um período de temperaturas quentes e outro período de temperaturas amenas para mostrar dados de temperaturas e fluxo de calor.

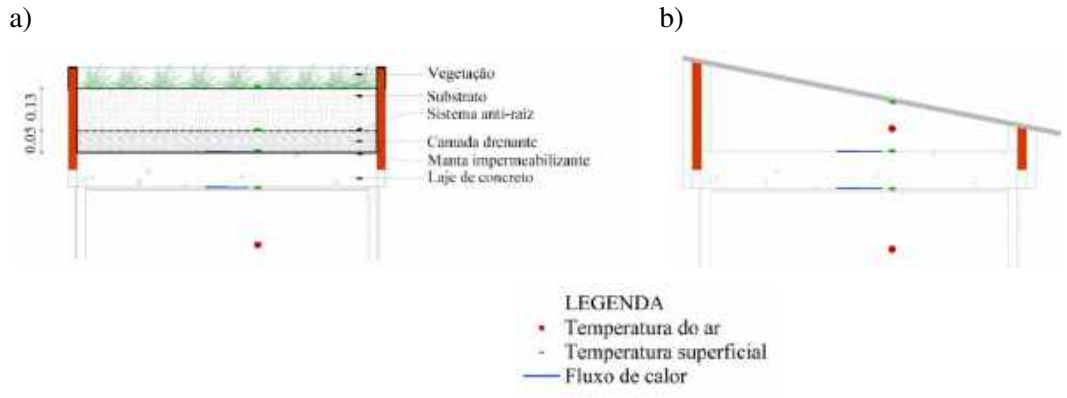


Figura 3: Posicionamento dos sensores nas coberturas com isolamento convencional e teto jardim

4. RESULTADOS

4.1 Período de temperaturas quentes

O período de temperaturas quentes selecionado para mostrar o comportamento de temperaturas e do fluxo de calor foi do dia 6 ao dia 10 de dezembro de 2017. Choveu apenas ao longo do dia 06 e nos demais dias a radiação solar atingiu mais de 1000 W/m², com temperatura externa entre 20,5 °C e 37,1 °C e a umidade média relativa do ar para o período foi de 80%.

A Figura 4 mostra a temperatura superficial da telha da cobertura com fibrocimento com laje de concreto (CONC) e da camada vegetal. A grande diferença de temperatura superficial entre a telha de fibrocimento (CONC) e a cobertura vegetal chamou a atenção, uma vez que alcançou valores de até 30°C.

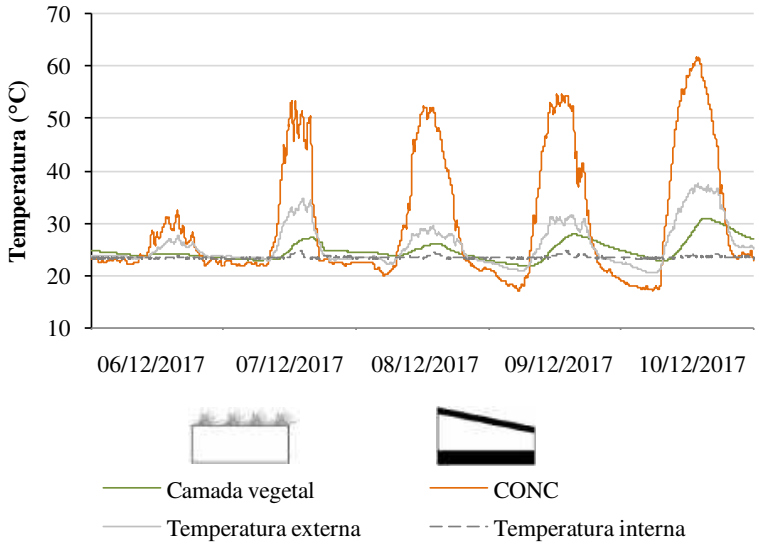


Figura 4: Temperatura superficial das telhas e da camada vegetal

Para o dia mais quente do período (10/12/2017) enquanto a temperatura máxima da telha de fibrocimento chegou a de 61,7°C, a temperatura máxima da cobertura vegetal foi de 30,8°C, com uma diferença de mais de 30°C.

A temperatura da superfície inferior da laje de concreto está mostrada na Figura 5. No decorrer do dia 06/12/2017 o dia permaneceu nublado e houve a ocorrência de chuvas, as temperaturas superficiais não apresentaram aumento elevado. A temperatura da laje de concreto da cobertura verde (VEG) se apresentou similar a temperatura do ar no interior da bancada, igual a 23,5°C, e a temperatura da laje da cobertura com telha de fibrocimento (CONC) atingiu aproximadamente 25°C.

No decorrer dos demais dias observou-se uma elevação na temperatura da superfície inferior da laje de concreto para ambas as coberturas. Para a cobertura verde (VEG) essa temperatura variou de 22,9°C a 25,6°C, com amplitude térmica máxima 2,3°C e para a cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) a

temperatura da superfície inferior da laje de concreto variou de 22,4°C a 32,8°C, apresentando uma amplitude térmica máxima superior a 10°C.

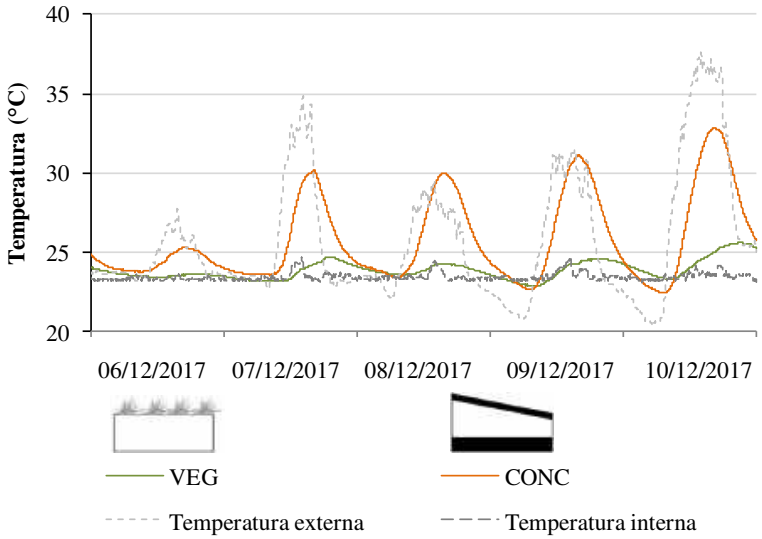


Figura 5: Temperaturas da superfície inferior do forro

Quanto ao fluxo de calor, mostrado na Figura 6, verificou-se que a cobertura verde (VEG) contribuiu significativamente para reduzir a transferência de calor para o interior da bancada experimental, com exceção do dia 06/12/2017 (nublado e com ocorrência de precipitação) em que as duas coberturas apresentaram o desempenho térmico similar, com fluxo de calor máximo de 10,9 W/m² e de 10,3 W/m² para a cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) e para a cobertura verde (VEG), respectivamente.

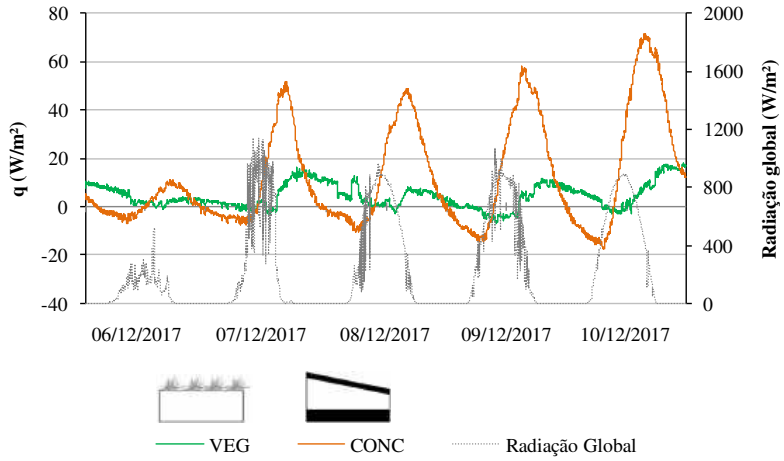


Figura 6: Fluxo de calor através da cobertura verde e do telhado de fibrocimento

Para o dia mais quente do período (10/12/2017) a cobertura de telhas de fibrocimento (CONC) permitiu a transferência de 71,6 W/m² enquanto que a cobertura verde (VEG) permitiu a passagem de 18 W/m², para o horário de pico. Em valores porcentuais, para o período de 7 a 10/12/2017, a cobertura verde (VEG) reduziu os ganhos térmicos em 74,3% e evitou as perdas térmicas de 72%.

Nesse período é possível observar o atraso térmico proporcionado pela massa térmica das camadas da cobertura verde (VEG). O horário de máximo ganho térmico para a cobertura com telha de fibrocimento (CONC) variou a cada dia, mas geralmente ocorreu entre as 13 horas e 15 horas, com fluxo de calor máximo acima de 50 W/m², já para a cobertura verde (VEG) o horário de máximo ganho solar geralmente iniciou a partir das 15 horas e 40 minutos e se prolongou até pelo menos às 21 horas e 30 minutos, apresentando fluxos de calor acima de 10 W/m².

4.2 Período de temperaturas amenas

O período de temperaturas amenas selecionado para realizar a análise foi de 22 a 26 de agosto de 2017. Neste intervalo de dias, a radiação solar máxima atingiu 1004 W/m², a temperatura externa máxima foi de

26,6°C e a mínima atingiu 10,6°C. Houve ocorrência de precipitação em apenas 1 dia, 23 de agosto de 2017, correspondendo a um total acumulado de 8 mm.

Durante o período de temperaturas amenas a cobertura verde (VEG) apresentou grande diferença na temperatura superficial das telhas quando comparado a cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) (Figura 7). A cobertura verde reduziu as temperaturas máximas diárias e aumentou as mínimas. Por exemplo, no dia 22/08/2017, dia mais frio do período analisado, a temperatura da telha de fibrocimento (CONC) apresentou temperatura máxima de 49,1°C e mínima de 7,3°C, enquanto que o telhado vegetado (VEG) apresentou a temperatura máxima de 20,3°C e a mínima de 13°C.

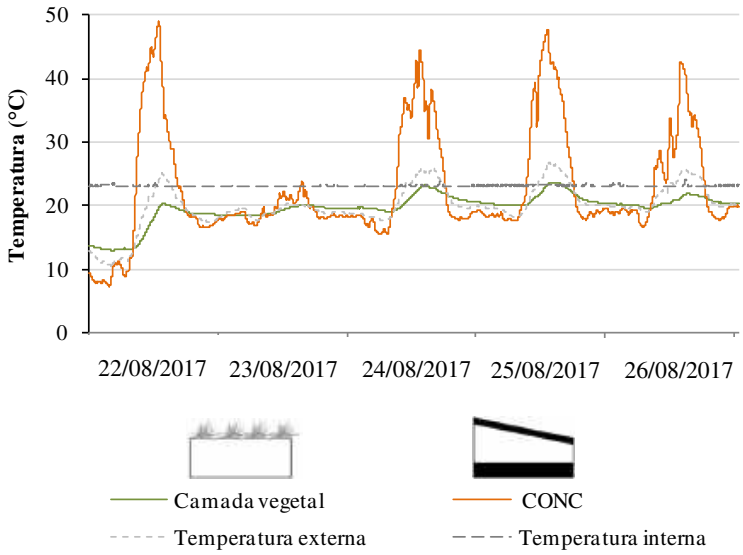


Figura 7: Temperatura superficial das telhas e da camada vegetal

A cobertura verde (VEG) apresentou variação na amplitude térmica média para o período analisado menor do que para a cobertura com telhas de fibrocimento (CONC). Enquanto que na primeira a variação média foi de 3,8°C, na segunda a variação média foi de 26,8°C.

A temperatura da superfície inferior da laje de concreto (Figura 8) seguiu a mesma tendência da temperatura das telhas, porém, com menor variação diária das temperaturas. Durante o período noturno, a temperatura superficial da laje de concreto de ambas as coberturas se manteve similar em aproximadamente 21°C.

A amplitude da temperatura superficial da laje da cobertura verde (VEG) variou 1,8°C no dia 22/08/2017 e aproximadamente 1°C nos demais dias. A temperatura da laje da cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) variou 7,3°C no dia 22/08/2017 e aproximadamente 5°C nos demais dias.

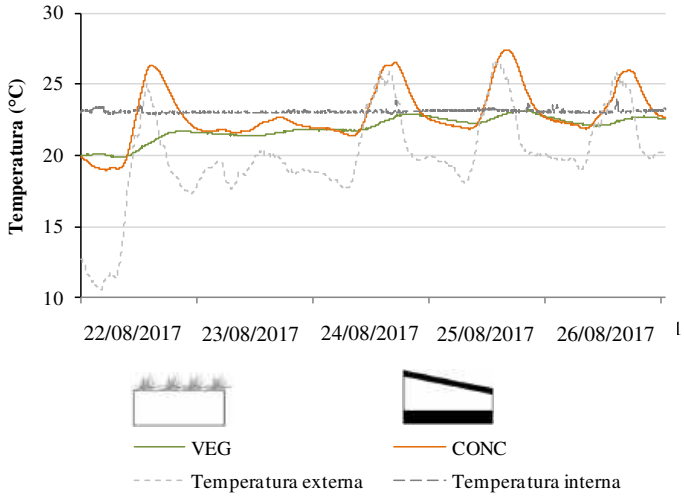


Figura 8: Temperatura da superfície inferior da laje de concreto

O fluxo de calor nas duas coberturas está mostrado na Figura 9. Observou-se que a cobertura verde (VEG) apresentou fluxo de calor negativo a maior parte de tempo, variando de -22 W/m² (dia 22/08/2017) a 0,8 W/m² (25/08/2017). A cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) apresentou fluxo de calor que variou de -38 W/m² (22/08/2017) a 29,2 W/m² (25/08/2017) para o período de análise (relembrando que o fluxo negativo significa perda de calor para o ambiente externo).

Verificou-se maior atraso térmico na cobertura verde (VEG) em relação a com telhas de fibrocimento (CONC). O atraso térmico decorre em função da massa térmica adicionada pelas camadas de drenagem e do solo. Enquanto a cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) apresentou sinais de ganho térmico a partir das 9 horas, a cobertura verde (VEG) apresentou sinais de ganho térmico a partir das 13 horas.

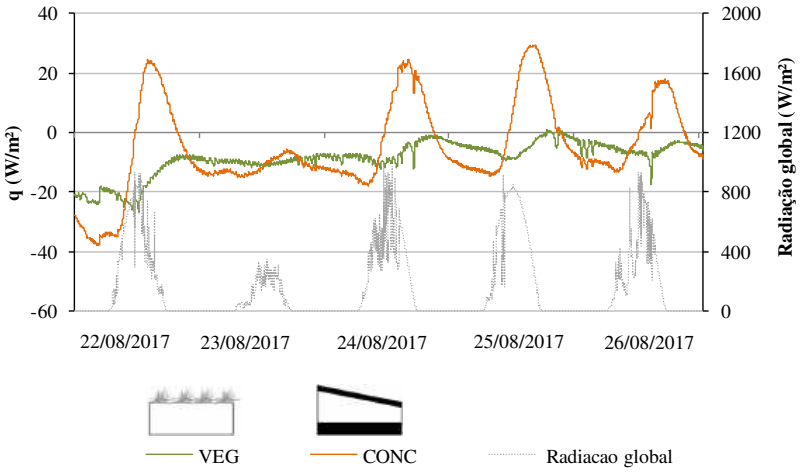


Figura 9: Fluxo de calor na cobertura verde e na cobertura com telhas de fibrocimento

O fluxo de calor foi analisado separando os dados pelo sentido de fluxo de calor em descendente em ascendente. A Figura 10 mostra a redução na transferência de calor da cobertura verde (VEG) em relação à cobertura com telhas de fibrocimento (CONC) de julho a dezembro de 2017, para ambos os sentidos de fluxo de calor.

Para o período de temperaturas amenas, ou seja, nos meses de julho, agosto e setembro de 2017, a cobertura verde (VEG) evitou as perdas térmicas em 40%, 22% e 29% e evitou o ganho térmico em 92%, 97% e 89%, respectivamente. Em relação ao período de temperaturas quentes, referente aos meses de outubro, novembro e dezembro, a cobertura verde (VEG) reduziu as perdas térmicas em 61%, 85% e 81% e os ganhos térmicos em 72%, 71% e 62%, respectivamente. Para o período total de estudo a cobertura verde reduziu o ganho térmico em 81% e reduziu as perdas térmicas em 53%.

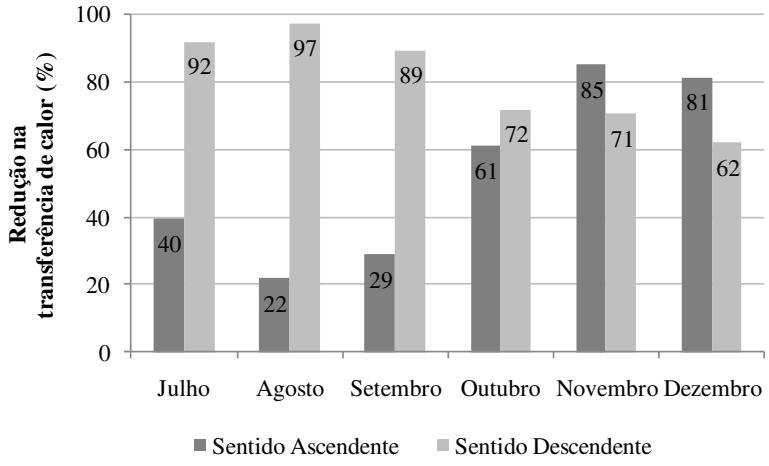


Figura 10: Redução na transferência de calor da cobertura verde em relação a cobertura com telhas de fibrocimento

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste estudo teve como finalidade avaliar o desempenho térmico de uma cobertura verde instalada em uma bancada experimental. Para tanto, comparou-se os resultados obtidos com os de uma cobertura com telhas de fibrocimento para os períodos de clima quente e de clima ameno.

A presença do telhado verde protege a laje de temperaturas extremas e de grandes flutuações na temperatura. Isso ocorre pelo fato da vegetação proporcionar sombreamento, pela evapotranspiração e pela resistência térmica. Para ambos os períodos a cobertura verde contribuiu para reduzir as temperaturas superficiais, como por exemplo, durante o período de temperaturas quentes a temperatura superficial da laje de concreto com cobertura verde apresentou redução de aproximadamente 5°C quando comparada com a cobertura com telhas de fibrocimento e para o período de temperaturas amenas, essa redução foi de aproximadamente 3°C.

Em relação ao fluxo de calor, a cobertura verde reduziu os ganhos térmicos em 81% e diminuiu as perdas térmicas em 53% em comparação com a cobertura com telhas de fibrocimento e laje de concreto. A cobertura verde foi eficaz em reduzir tanto os ganhos quanto as perdas térmicas em razão do isolamento térmico proporcionado pelas camadas de drenagem e do solo, do sombreamento promovido pela vegetação e também pelo processo de evapotranspiração da vegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. p. 30, 2005.

COMA, J. et al. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. **Renewable Energy**, v. 85, p. 1106–1115, 2016.

GÜTHS, S. et al. **Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial**. XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica. **Anais**...Belo Horizonte, Minas Gerais: Anais do XI COBEM, 1995

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.-E.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renewable Energy**, v. 43, p. 157–164, jul. 2012.

LIZ, D. G. S. DE. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO TELHADO VERDE EXTENSIVO PARA FLORIANÓPOLIS**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MICHELS, C. et al. Development of an experimental test rig for the evaluation of the thermal performance of building roofs. **Energy and Buildings**, v. 180, p. 32–41, 2018.

MIRANVILLE, F. et al. On the thermal behaviour of roof-mounted radiant barriers under tropical and humid climatic conditions: Modelling and empirical validation. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 10, p. 997–1008, 2003.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1712–1722, 2011.

THEODOSIOU, T. G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 9, p. 909–917, 2003.

YAGHOOBIAN, N.; SREBRIC, J. Influence of plant coverage on the total green roof energy balance and building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 103, p. 1–13, 2015.