

# Cement blocks with EVA waste for extensive modular green roof: contribution of components in thermal insulation

## *Blocos cimentícios com resíduos de EVA para telhado verde extensivo modular: contribuição dos componentes no isolamento térmico*

A. B. de MELO<sup>a</sup>  
aluisiobmelo@hotmail.com

T. N. M. MENDONÇA<sup>b</sup>  
tatyannemartinn@gmail.com

### Abstract

Vegetated roofs can contribute to the quality of the environment in many ways, especially in the reduction of heat transfer to the internal environment of buildings. Among the techniques available to execute this kind of coverage, the use of cemented lightweight blocks is proposed to be compatible with the extensive modular green roof system. For cemented lightweight blocks that are produced with aggregates of EVA (waste from footwear industries), an additional contribution of thermal insulation capacity of the proposed green roof is expected. This article aims to demonstrate such contribution through measurements performed on prototypes in hot and humid weather conditions. After characterizing the thermal insulation capacity of the proposed green roof with reference to different types of conventional coverage, the additional contribution of the component used in this green roof was identified by making comparisons with measurements collected from another green roof that was executed with cement blocks without the presence of EVA aggregates. In these experiments, external and internal surface temperatures were collected in the coverage of each prototype as well as the air temperatures in the external and internal environments. From the analysis of data for a typical summer day, it was possible to confirm that the proposed green roof presented the lowest thermal amplitudes, considering air and surface temperatures. The presence of aggregates of EVA in the proposed blocks contributed to the reduction of internal temperatures.

**Keywords:** extensive green roof, thermal behavior, EVA residue, cement block.

### Resumo

As coberturas vegetadas podem contribuir de várias maneiras na qualidade do meio ambiente, sendo destacada a redução na transferência de calor para os ambientes internos das edificações. Dentre as técnicas disponíveis para execução desse tipo de cobertura propõe-se o uso de blocos cimentícios leves compatíveis com o sistema de telhado verde extensivo modular. Para os blocos cimentícios leves, produzidos com agregados de EVA (resíduos da indústria de calçados), espera-se uma contribuição adicional na capacidade de isolamento térmico do telhado verde proposto. No presente artigo, pretende-se demonstrar tal contribuição, através de medições realizadas em protótipos na condição de clima quente e úmido. Após caracterizar a capacidade de isolamento térmico do telhado verde proposto, tendo como referência diferentes tipos de coberturas convencionais, foi identificada a contribuição adicional do componente utilizado nesse telhado verde, fazendo comparações com medições coletadas em outro telhado verde, executado com blocos cimentícios sem a presença dos agregados de EVA. Nos experimentos, foram coletadas temperaturas superficiais externas e internas em cada cobertura dos protótipos, bem como as temperaturas do ar nos ambientes externo e interno. A partir da análise dos dados para o dia típico de verão foi possível confirmar que o telhado verde proposto apresentou as mais baixas amplitudes térmicas, considerando as temperaturas do ar e superficiais internas. A presença dos agregados de EVA nos blocos propostos contribuiu na redução das temperaturas internas.

**Palavras-chave:** telhado verde extensivo, comportamento térmico, resíduo de EVA, bloco cimentício.

<sup>a</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB, Brasil;

<sup>b</sup> Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB, Brasil.

## 1. Introdução

As propostas que visam à redução de consumo energético no ambiente construído são cada vez mais necessárias, sendo importante o desenvolvimento de alternativas com uso de tecnologia que amortizam a demanda de energia nas edificações. Nessa perspectiva, os telhados verdes nas edificações têm se mostrado como alternativa eficiente na redução do consumo energético nas edificações (BERARDI *et al.* [1]) para resfriamento dos ambientes internos em climas quentes, mas também em vários aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental. Por exemplo, na revisão do estado da arte sobre o tema telhados verdes (BERARDI *et al.* [1]) percebe-se que eles podem contribuir para reduzir as ilhas de calor urbanas, para mitigar a poluição do ar, para diminuir os fluxos das águas pluviais nos sistemas de drenagem urbanos, para minorar os ruídos e aumentar a biodiversidade, entre outros.

Sobre a classificação dos telhados verdes destacam-se os principais atributos consolidados na literatura (BERARDI *et al.* [1]) para o tipo extensivo, que corresponde ao sistema mais leve, com sobre carga máxima na laje limitada até 150 kg/m<sup>2</sup>, que utiliza plantas de pequeno porte e tem o processo construtivo facilitado e simplificada manutenção, com pouca necessidade de irrigação, sendo baixo o seu custo de execução.

Quanto aos materiais utilizados na elaboração dos telhados verdes o destaque é para que sejam coerentes com a proposta de sustentabilidade ambiental. Então, de acordo com Bianchini e Hewage [2] embora se considere benéfico instalar telhados verdes com materiais poliméricos, para que esse tipo de cobertura seja considerado ambientalmente adequado, na sua instalação deve-se priorizar o uso de materiais reciclados e que gerem poucos resíduos e poluentes em seu processo de fabricação, além de demandar pouca energia.

De fato, nessa perspectiva, o uso de concretos leves com resíduos da indústria de calçados (Etileno Acetato de Vinila – EVA) para produzir módulos para executar o sistema de telhado verde extensivo modular parece estar alinhado com essa discussão. Nesse sentido, há de se destacar que deve ser avaliado o potencial de valorização ambiental do produto, incluindo a identificação de suas

possíveis contribuições na melhoria de qualidade do ambiente construído. A possibilidade de consolidar os referidos módulos como alternativa para o destino adequado do resíduo de EVA deve ser vista também como importante contribuição para minorar os problemas ambientais, decorrentes dos seus crescentes volumes de descarte gerados em regiões polos calçadistas.

Sabe-se que o Etileno Acetato de Vinila (EVA) é um copolímero muito utilizado na indústria calçadista na confecção de placas expandidas, que são posteriormente cortadas no formato de palmilhas e entressolas, momento no qual se geram bastante resíduos. Esse tipo de resíduo gerado pela indústria calçadista, conforme estudos realizados na região sul do Brasil, foram superiores a 200 toneladas/mês em 2001 com o maior volume resultante dos cortes de placas expandidas para produzir os calçados (ZATTERA *et al.* [3]). Este resíduo vem sendo investigado (GARLET [4]) no propósito de avaliar o seu potencial de reciclagem como agregado para elaboração de concreto leve, tendo sido exploradas várias possibilidades de aplicações em diversos subsistemas construtivos, dentre elas como elementos de vedação vertical, como enchimento de lajes rebaixadas, como pisos flutuantes etc. (BEZERRA [5]; HAX [6]; POLARI FILHO [7]; ROCHA [8]; MELO e LIMA FILHO [9], SANTOS [10]; TUTIKAN *et al.* [11]).

Na Paraíba, a indústria calçadista, dotada de significativa força econômica no Estado, produz anualmente grandes quantidades de resíduos, retalhos que não podem ser totalmente reutilizados na própria indústria. No caso, dentre os resíduos destacam-se as sobras de placas de Etileno Acetato de Vinila (EVA). Com a dificuldade de armazenar todo o volume de EVA residual, algumas indústrias têm encaminhado seus resíduos para indústrias cimenteiras localizadas na região, que os utilizam como combustível para alimentar seus fornos na produção do clínquer.

A proposta de reciclagem do resíduo de EVA em blocos cimentícios como tecnologia aplicável na execução de telhado verde extensivo modular potencializa vários ganhos ambientais em diferentes escalas. Na escala da cidade, para além da redução dos impactos ambientais, pela viabilização para a destinação alternativa dos resíduos industriais em questão, tem-se a possibilidade de agregar os amplos benefícios ao meio ambiente urbano em seus aspectos climáticos,



Figura 1

Telhado verde extensivo modular proposto com blocos TEVA (áreas parcialmente vegetadas)

hidrológicos etc., considerando que se pode favorecer a disseminação da adoção do telhado verde nas edificações no espaço urbano, baseando-se numa proposta que se mostre com facilidade de execução e manutenção. Na escala do edifício, tem-se a possibilidade de acrescentar benefícios promovidos pelos telhados verdes, devido ao uso dos resíduos de EVA, que são transformados em agregados leves, dos quais se espera, por exemplo, contribuições adicionais na redução dos fluxos de calor através das coberturas.

Nesse sentido, ao mesmo tempo em que é necessário incentivar o uso de novas técnicas nos processos construtivos que minimizem as consequências das atividades antrópicas, é importante que as ideias sejam aprimoradas, buscando caracterizar o desempenho dos sistemas propostos. Assim, são apresentados nesse artigo os resultados de um estudo experimental, que propõe o uso de pré-moldados cimentícios leves com resíduos de EVA (aqui denominados, blocos TEVA) compatíveis com o sistema de telhado verde extensivo modular, buscando avaliar a contribuição adicional dos próprios componentes na capacidade de isolamento térmico do telhado verde em análise. Nesse caso, procurou-se inovar na geometria do pré-moldado proposto, tornando-o versátil em sua utilização para a execução do telhado verde, sendo o mesmo componente utilizado ora para receber a vegetação, ora para servir como piso, quando colocado em posição invertida (Figura 1). Essa ideia busca viabilizar a composição de telhados verdes com áreas parcialmente cobertas com vegetação ao lado de áreas pavimentadas, que facilitem a visitação e manutenção das plantas.

Na proposta de telhados verdes é importante considerar que os materiais que os compõem também influenciam no comportamento térmico, implicando em diferentes propriedades termo físicas do sistema de cobertura em análise.

No estudo apresentado nesse artigo busca-se controlar algumas variáveis envolvidas, quando se faz avaliações de resultados obtidos em protótipos construídos da mesma forma, com os mesmos materiais, mas com coberturas diferentes sobre a laje pré-moldada. Então, inicialmente procura-se caracterizar a capacidade de isolamento térmico do telhado verde proposto com os blocos TEVA, tendo como referência o comportamento de tipos de coberturas convencionais. Posteriormente, para atender o objetivo do estudo busca-se identificar a contribuição adicional do bloco TEVA (com agregados de EVA) presente no telhado verde, ao comparar o seu resultado com medições coletadas em outro telhado verde, executado com o mesmo tipo de vegetação em blocos cimentícios (blocos de concreto), sem a presença dos agregados de EVA.

Nesse processo, os experimentos foram realizados nas mesmas condições climáticas, com medições simultâneas a cada dois protótipos comparados, um deles sempre com telhado verde com blocos TEVA. Portanto, na etapa inicial do estudo, sabe-se que a cobertura verde tem, de fato, uma transmitância térmica menor do que as coberturas convencionais utilizadas como referência nesse estudo, sendo o interesse apenas caracterizar a capacidade de isolamento do telhado verde proposto com os blocos TEVA, em relação ao comportamento térmico dos telhados convencionais.

## 2. Eficiência do telhado verde no controle das temperaturas

Segundo Castleton *et al.* [12] os telhados verdes são eficientes na

redução da variação da temperatura interna, com impactos positivos na diminuição do aquecimento durante o inverno e resfriamento durante o verão, conseqüentemente com redução do consumo de energia anual do edifício. O impacto do telhado verde na temperatura do ar no ambiente interno é mais significativo em climas quentes (JAFFAL *et al.* [13]). Por exemplo, foi observado (JAFFAL *et al.* [13]) o efeito do telhado verde na redução da temperatura do ar interna, durante o período de verão, em 2,6 °C e 1,4 °C para edificações nas cidades de Atenas (Grécia) e Estocolmo (Suécia), respectivamente, que representam diferentes climas europeus (clima mediterrâneo para Atenas e clima frio para Estocolmo).

De fato, o telhado verde bem projetado e gerenciado pode ser considerado um eficiente isolante térmico durante o verão, reduzindo o fluxo de calor através da cobertura. Nessa análise (DEL BARRIO [14]), chama-se atenção para os efeitos positivos do sombreamento da folhagem, indicando que é importante dar preferência às plantas com folhas grandes e com desenvolvimento na direção horizontal; bem como as influências da espessura do substrato (solo), da sua densidade aparente e ainda do teor de umidade no próprio solo.

No estudo desenvolvido (OULDBOUKHITINE *et al.* [15]), comparando os registros experimentais com resultados numéricos, buscou-se validar o modelo proposto para avaliar o impacto do telhado verde no desempenho energético de edifícios. Os dados experimentais foram coletados em protótipos construídos na Universidade de La Rochelle (França), com formato retangular em planta baixa, sem janela e com as fachadas pintadas na cor branca. Para medição das temperaturas superficiais foram utilizados termopares instalados na cobertura dos protótipos, que no caso do telhado verde foram posicionados sobre a folhagem; na interface entre a base da vegetação e o solo; e na interface entre o solo e a estrutura de suporte (laje de concreto) do telhado verde. Uma estação meteorológica instalada junto aos protótipos registrou os dados climáticos no local. Os dados numéricos e experimentais para temperatura não se diferenciaram mais do que 2 °C, para uma confrontação de registros de 7 dias. A partir dos resultados obtidos (OULDBOUKHITINE *et al.* [15]) foi ressaltada a contribuição da densidade da folhagem no comportamento térmico do telhado verde, evidenciando que o uso de vegetação na cobertura dos edifícios melhora tanto o conforto térmico quanto o desempenho energético dos edifícios. Os autores destacaram ainda os benefícios do telhado verde quando comparado à cobertura com laje de concreto exposta à incidência solar, para o período de verão, em função da significativa redução da temperatura superficial exterior da estrutura de suporte do telhado verde. Inclusive essa temperatura se manteve mais baixa comparada à temperatura do ar exterior, para o dia típico de verão, o que é justificado pelo efeito da transpiração e sombreamento da folhagem.

Num experimento (VECCHIA [16]) realizado com protótipos em escala real, construídos em São Carlos/SP (Brasil), adotando-se o dia típico experimental (09-out-2004) mais quente e seco ( $T_{\text{máx}}$  do ar externo = 34,04 °C; amplitude térmica de 21,7 °C) de uma série 7 dias de medições contínuas, avaliou-se o comportamento térmico de um sistema de cobertura verde leve (executada sobre uma laje de concreto pré-moldada) comparado a sistemas tradicionais de coberturas sem isolamento térmico, executadas com 3 diferentes tipos de telhas (cerâmica, aço galvanizado e fibrocimento

ondulada) apoiadas em estruturas de madeira. Adicionalmente, foi também feita a comparação entre o sistema de cobertura verde leve e uma cobertura executada com laje de concreto pré-moldada (com aplicação de impermeabilizante de cor branca), exposta à insolação. A partir dos resultados (VECCHIA [16]) se confirmou a capacidade da cobertura verde leve, perante os demais sistemas comparados, em controlar as temperaturas internas ao protótipo, reduzindo a diferença entre os valores máximos e mínimos. Isso foi notável para a temperatura superficial do teto, bem como para a temperatura do ar interna do protótipo com cobertura verde, apresentando as menores amplitudes térmicas, 9,2 °C e 12,6 °C, respectivamente. Somente com a cobertura verde a temperatura superficial máxima interna do teto do protótipo se manteve mais baixa (26,7 °C) e 2,1 °C abaixo da temperatura do ar máxima interna (e somente nesse caso foi inferior a 30 °C). A cobertura verde proporcionou um atraso térmico de 4 horas na relação entre as temperaturas do ar externa e interna.

Em outro estudo (ANDRADE e RORIZ [17]) feito na cidade de São Carlos/SP, avaliaram-se os registros de temperaturas superficiais internas da cobertura (laje de concreto pré-moldada convencional) de uma construção existente com dois ambientes, sendo um deles com telhado verde (com grama) e outro com a sua laje exposta diretamente ao sol, para dois períodos - inverno e o verão. A vedação vertical de uma das fachadas correspondente aos dois ambientes dessa construção foi realizada com elementos vazados do tipo cobogó. Os resultados (ANDRADE e RORIZ [17]) comprovaram que as temperaturas superficiais mínimas nas faces internas da laje foram sempre menores (no verão e no inverno) para a cobertura com laje exposta, com a maior amplitude térmica (19,4 °C) registrada no verão. Por outro lado, as temperaturas superficiais máximas nas faces internas da laje sob o telhado verde foram sempre mais baixas (23,2 °C), com menores oscilações diárias (amplitude térmica de apenas 1,1 °C), no período de verão, quando se verificou a maior diferença (16 °C) entre essas temperaturas máximas para as duas coberturas. Tais diferenças foram relacionadas com o sombreamento, com a maior inércia térmica e com a refrigeração evaporativa, proporcionados pelo telhado verde. Num estudo anterior (MORAIS [18]), realizado nesse mesmo protótipo, observou-se que as temperaturas do ar interno aos am-

bientes avaliados (comparação entre a laje exposta e a cobertura verde) foram muito diferentes, com a maior diferença entre as máximas temperaturas do ar em cada ambiente atingindo 3,8 °C, registrada no período de verão. A maior diferença (25,1 °C) entre as máximas temperaturas superficiais internas no teto, comparando os dois ambientes com coberturas diferentes, foi registrada no verão. Considerando os valores obtidos (MORAIS [18]), em função das comparações, verificou-se um comportamento mais satisfatório para a cobertura verde, a qual se manteve mais estável e com menores flutuações térmicas diárias, tanto no inverno quanto no verão. Então, concluiu-se que a cobertura vegetada tem potencial de aplicação no clima considerado (São Carlos/SP) para melhorar a eficiência energética dos edifícios.

### 3. Metodologia

No estudo realizado, buscou-se inicialmente caracterizar as diferenças no comportamento térmico entre o telhado verde proposto com blocos TEVA e 3 (três) tipos de coberturas convencionais, por vezes encontradas em habitações populares de baixo padrão, a saber: laje exposta, telha de fibrocimento sobre a laje e telha cerâmica sobre a laje. Em seguida, procurou-se identificar a diferença de comportamento térmico entre dois telhados verdes extensivos modulares, executados com blocos de concreto e com blocos TEVA, respectivamente. Nesse caso, ambos os blocos pré-moldados são cimentícios, têm a mesma geometria, sendo a única diferença entre os dois componentes a presença nos blocos TEVA de agregados leves (resíduos de EVA), em substituição parcial aos agregados naturais. Os experimentos foram realizados na cidade de João Pessoa-PB, caracterizada pelo clima quente e úmido, com uso de cinco protótipos (células testes), que receberam as diferentes coberturas, os quais foram construídos numa área escolhida com poucas edificações no entorno (Figura 2), cujas coordenadas geográficas são: 7°9'58"S; 34°48'58"W. Para efeito desse experimento, ambos os blocos (TEVA e Concreto) receberam o mesmo tipo de vegetação medicinal, hortela da folha graúda (Figuras 2b e 2c).

Os cinco protótipos têm a mesma orientação solar, mesmas dimensões (em planta baixa: 1,0 m x 1,0 m internamente), com



**A** vista geral dos protótipos com as cinco coberturas diferentes



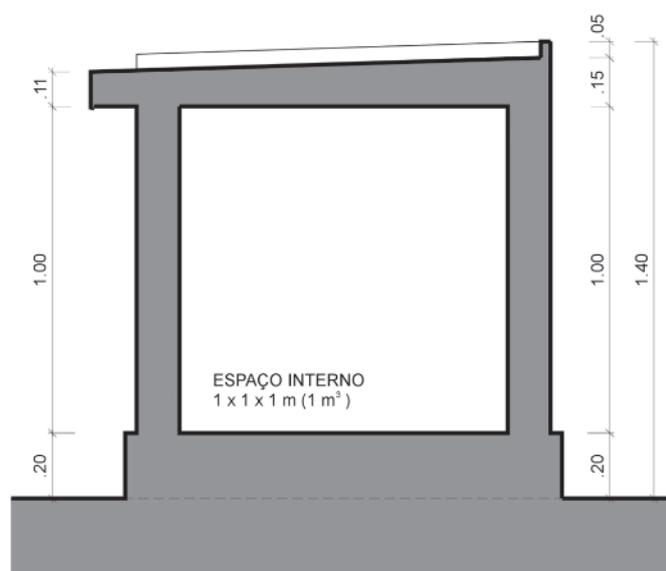
**B** vista em detalhe do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje



**C** vista em detalhe do protótipo com telhado verde com blocos de Concreto sobre a laje

**Figura 2**

Protótipos construídos em área com poucas edificações no entorno



**Figura 3**  
Vista em corte do protótipo (célula teste)

distâncias entre eles igual a 2,70 m, sendo construídos com o mesmo tipo de alvenaria (1/2 vez) em tijolo cerâmico (8 furos) e revestimento argamassado em ambos os lados. Os pisos internos são cimentados e as lajes são pré-moldadas convencionais (com uso de vigotas, blocos cerâmicos e capa de concreto 4 cm), argamassadas nos lados interno e externo, sendo impermeabilizadas no lado externo com pintura acrílica na cor branca. As alvenarias (lado interno e externo) receberam acabamento final com pintura à cal (cor branca), ocorrendo o mesmo na face interna da laje. Nenhuma ventilação no ambiente interno aos protótipos foi permitida durante as medições. O volume interno das células testes é igual a 1,0 m<sup>3</sup> (Figura 3), sendo o único diferencial correspondente às coberturas dispostas sobre cada laje.

O bloco TEVA (Figura 4) foi produzido com compósito cimentício com dosagem 1:5 (cimento: agregados), utilizando a proporção

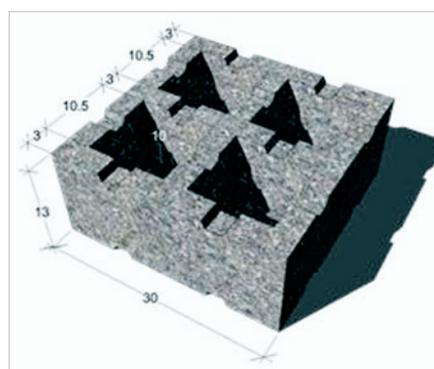
entre os agregados igual a 90% para EVA e 10% para areia. Nesse caso, somente o telhado verde proposto com blocos TEVA enquadra-se na categoria de extensivo, com sobrecarga máxima na laje igual a 150 kg/m<sup>2</sup>, que é o valor limite para a categoria. As medições das temperaturas superficiais externas e internas de cada cobertura dos protótipos foram realizadas no período entre 29 de dezembro de 2014 a 24 de janeiro de 2015, dentro da estação de verão na região, quando se identificam frequentemente os dias típicos de verão. Nesse período, também foram registradas as temperaturas do ar nos ambientes externo e interno de cada protótipo. Para cada 6 dias de coleta de dados, considerando as medições simultâneas para cada dois protótipos (um deles sempre aquele com telhado verde com blocos TEVA), apenas um (1) dia típico de verão foi selecionado para análise, cuja seleção levou em conta os registros para os seguintes elementos climáticos: temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Os seguintes equipamentos e dispositivos de medição foram utilizados:

#### a) Externamente aos protótipos

- Estação meteorológica (Davis wireless Vantage Pro2™) para registros da temperatura do ar, umidade relativa do ar, dados sobre pluviosidade, radiação solar etc. foi instalada na área próxima aos protótipos.

#### b) Nos protótipos

- Dataloggers da marca Onset, que armazenam dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, foram colocados no centro geométrico do interior de cada protótipo (Figura 5).
- Termopares (tipo "T", compostos por fio cobre (+) e constata (-), com bainha e isolante de plástico) foram instalados nas superfícies, externa e interna, da cobertura dos protótipos, conectados ao sistema de aquisição de dados, (DAQ) Quantum X Universal, o qual possui oito canais de recepção configurados para um registro de temperatura por cada segundo. Para análise comparativa em pares de protótipos com diferentes tipos de coberturas, os termopares foram dispostos nos pontos centralizados do teto. Sobre cada termopar foram colocadas pequenas



**A** dimensões (cm) do bloco TEVA

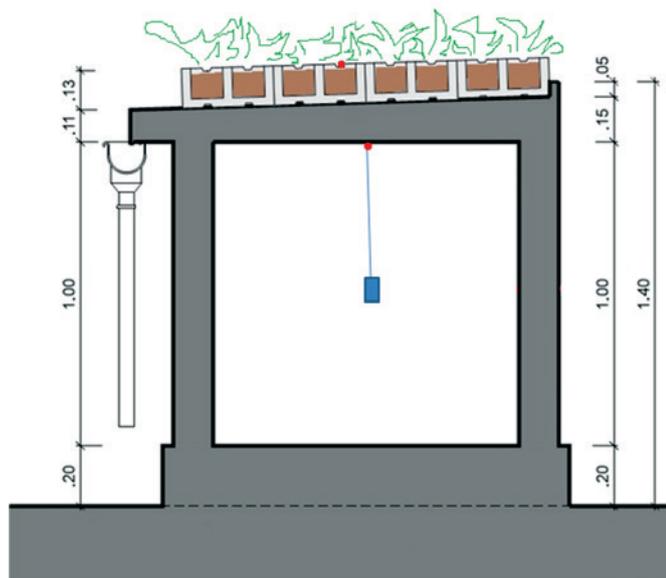


**B** bloco TEVA moldado



**C** bloco TEVA vegetado

**Figura 4**  
Bloco TEVA proposto para executar telhado verde modular extensivo



**Figura 5**  
Posicionamentos do Datalogger (centro geométrico do ambiente interno) e dos termopares nas superfícies nos lados externo e interno das coberturas (pontos vermelhos) dos protótipos

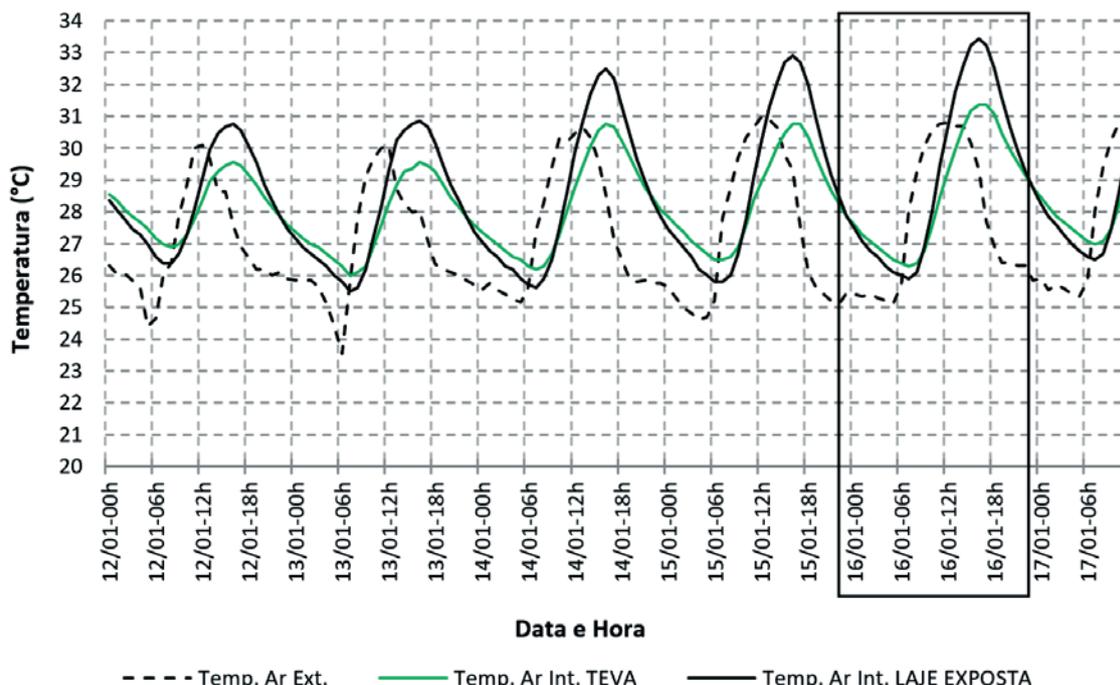
placas de isopor para que os registros obtidos privilegiassem as medições com interesse, quais sejam as variações das temperaturas pelo contato direto com as superfícies externas e in-

ternas das coberturas. No caso das temperaturas superficiais externas nos protótipos com telhados verdes foi considerado que a própria vegetação substituiria as placas de isopor, uma vez que o termopar localizado sobre o solo (Figura 5) ficou sombreado pela folhagem. Para os protótipos convencionais os termopares para o registro das temperaturas superficiais externas foram posicionados sobre as telhas (cerâmicas ou fibrocimento) e sobre a laje exposta, sendo sombreados pelas pequenas placas de isopor.

Os procedimentos adotados tiveram como referência os estudos desenvolvidos por Ouldboukhitine et al. [15]; Vecchia [16]; Andrade e Roriz [17] e Moraes [18].

Os dados coletados foram sistematizados em tabelas e gráficos, considerando inicialmente os registros de temperatura do ar externo e interno aos protótipos, para os 6 (seis) dias de medições. Em seguida, foi identificado o dia típico de verão para esse período de medições, que foi utilizado para analisar o comportamento térmico dos protótipos comparados. A identificação do dia típico de verão teve como referência o valor igual a 30,9 °C para a temperatura máxima diária indicada na Tabela A2 da NBR 15575-1 [19], correspondente à cidade João Pessoa-PB, que é o local onde os ensaios foram realizados (nessa Tabela também há referência de amplitude diária de temperatura igual a 6,1 °C para a mesma cidade). Nesse caso, foi ainda considerado que o dia escolhido fosse precedido de pelo menos outro dia com características semelhantes, preferencialmente sem ocorrência de precipitação pluviométrica.

No segundo momento da análise, considerando os registros somente para o dia típico de verão, foram apresentados num mesmo gráfico todos os registros de temperatura para cada par de



**Figura 6**  
Registros com os protótipos com laje exposta e com telhado verde com blocos TEVA

**Tabela 1**

Elementos climáticos no ambiente externo aos protótipos, utilizados para selecionar os dias típicos de verão (em negrito e fundo cinza)

Protótipos	Elementos climáticos	Datas (dia - mês)					
		12-jan	13-jan	14-jan	15-jan	16-jan	17-jan
Laje exposta X Telhado verde com blocos TEVA	Temperatura do ar máx. (°C)	30,6	30,1	31,0	31,1	30,8	31,3
	Amplitude diária (°C)	6,3	6,8	5,5	6,6	5,7	6,7
	Temperatura do ar mín. (°C)	24,3	23,3	25,1	24,5	25,1	24,6
	Umidade relativa do ar máx.(%)	94	93	83	84	84	94
	Umidade relativa do ar mín.(%)	72	69	65	62	64	67
	Precipitação pluviométrica (mm)	5,0	1,4	0,0	0,0	0,0	12,0
	Pico radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	1.050	1.083	1.059	1.029	1.056	1.060
	Radiação solar global dia (W/m <sup>2</sup> )	238,73	258,13	300,27	308,98	317,23	270,98
Protótipos	Elementos climáticos	Datas (dia - mês)					
		05-jan	06-jan	07-jan	08-jan	09-jan	10-jan
Telha fibrocimento X Telhado verde com blocos TEVA	Temperatura do ar máx. (°C)	30,5	30,8	30,7	30,6	30,4	30,7
	Amplitude diária (°C)	4,9	5,6	5,9	5,1	5,6	5,5
	Temperatura do ar mín. (°C)	25,6	25,2	24,8	25,5	24,8	25,2
	Umidade relativa do ar máx.(%)	85	88	90	89	86	85
	Umidade relativa do ar mín.(%)	67	66	63	63	66	66
	Precipitação pluviométrica (mm)	0,0	0,0	0,4	1,8	0,4	0,8
	Pico radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	1.054	1.104	1.094	972	1.077	1.139
	Radiação solar global dia (W/m <sup>2</sup> )	296,90	287,15	249,81	256,98	282,25	285,17
Protótipos	Elementos climáticos	Datas (dia - mês)					
		29-dez	30-dez	31-dez	01-jan	02-jan	03-jan
Telha cerâmica X Telhado verde com blocos TEVA	Temperatura do ar máx. (°C)	30,6	30,9	30,5	31,2	26,8	30,2
	Amplitude diária (°C)	6,2	7,6	5,3	7,8	4,2	8,8
	Temperatura do ar mín. (°C)	24,4	23,3	25,2	23,4	22,6	21,4
	Umidade relativa do ar máx.(%)	85	92	87	94	97	97
	Umidade relativa do ar mín.(%)	63	64	68	62	83	67
	Precipitação pluviométrica (mm)	0,2	0,0	0,0	4,6	22,2	0,2
	Pico radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	995	960	988	788	640	1.104
	Radiação solar global dia (W/m <sup>2</sup> )	304,77	274,31	216,00	189,21	134,65	316,75
Protótipos	Elementos climáticos	Datas (dia - mês)					
		19-jan	20-jan	21-jan	22-jan	23-jan	24-jan
Telhado verde com blocos de concreto X Telhado verde com blocos TEVA	Temperatura do ar máx. (°C)	30,7	31,1	31,4	31,3	31,4	31,1
	Amplitude diária (°C)	5,6	6,3	5,4	6,2	6,1	5,8
	Temperatura do ar mín. (°C)	25,1	24,8	26,0	25,1	25,3	25,3
	Umidade relativa do ar máx.(%)	89	85	86	85	87	87
	Umidade relativa do ar mín.(%)	70	65	66	65	64	67
	Precipitação pluviométrica (mm)	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0
	Pico radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	1.086	1.060	1.109	1.051	1.072	1.021
	Radiação solar global dia (W/m <sup>2</sup> )	309,48	368,39	283,29	299,94	283,29	233,25

protótipos avaliados simultaneamente, permitindo verificar as diferenças de comportamento, em função das temperaturas do ar externa e interna, bem como das temperaturas superficiais externas e internas nas respectivas coberturas. Complementando essa análise, foram discutidas as amplitudes térmicas para as temperaturas superficiais no teto, tendo em conta os ambientes externo e internos aos protótipos.

#### 4. Resultados e discussões

Para caracterizar o comportamento térmico do telhado verde proposto com blocos TEVA os resultados são analisados conforme a coleta dos registros simultâneos em cada dois tipos de coberturas executadas nos protótipos. Inicialmente, são confrontados os dados coletados com o telhado verde com blocos TEVA relativos a cada tipo de cobertura convencional. No caso da comparação entre os dois telhados verdes (com blocos de concreto e com blocos TEVA) realizada posteriormente, tem-se a possibilidade de identificar a contribuição adicional dos agregados de EVA (resíduos da indústria de calçados) nos efeitos do telhado verde, na esperada melhoria do comportamento térmico no ambiente interno do protótipo.

A Tabela 01 apresenta alguns elementos climáticos extraídos dos dados registrados pela estação meteorológica. Com base nos registros externos aos protótipos, tais como, temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, correspondente ao período de medições, 6 (seis) dias contínuos, se fez a identificação dos dias típicos de verão utilizados em cada caso, conforme os pares de coberturas em análise.

Algumas características do clima local podem ser destacadas nos dados apresentados na Tabela 01, especialmente para os dias típicos de verão selecionados, para os quais há pouca variação tanto em relação à amplitude térmica (entre 5,3 °C e 5,7 °C), quanto para a umidade relativa do ar (para as máximas, há variação entre 84 % e 88 %; para as mínimas, há variação entre 64 % e 68 %) e para a máxima temperatura do ar (entre 30,5 °C e 31,4 °C).

#### 4.1 Caracterização do comportamento térmico do Telhado Verde com blocos TEVA

##### 4.11 Relativo à cobertura com Laje exposta

No dia típico de verão escolhido (16-01-2015) para a análise dos registros com os dois protótipos, com laje exposta e com telhado verde com blocos TEVA, pode-se observar que a temperatura máxima do ar interna ao protótipo com telhado verde com blocos TEVA é próxima à temperatura máxima do ar externa (Figura 6). Essa mesma observação para esse protótipo pode ser aplicada para os outros dias da semana de medições, havendo até dias quando a temperatura máxima do ar interna foi menor do que a temperatura máxima do ar externa. Esse mesmo comportamento não se aplica para o protótipo com a laje exposta, que apresenta a sua máxima temperatura do ar sempre mais elevada (2 °C) no ambiente interno, com amplitude térmica maior (aproximadamente 7,5 °C). Esse resultado é consistente com aqueles encontrados em estudos similares (MORAIS [18]; JAFFAL [13]) que caracterizaram a redução da máxima temperatura do ar interna nos ambientes com coberturas verdes atingindo 3,8 °C e 2,6 °C, para medições no período de verão, em São Carlos-SP-Brasil e em Atenas-Grécia, respectivamente.

No presente estudo, confirma-se o comportamento térmico do protótipo com laje exposta com pouco amortecimento do fluxo de calor durante o dia através da sua cobertura, apesar dela ter alta refletância por ser pintada na cor branca. Contudo, o atraso térmico entre as máximas temperaturas do ar (externa e interna) ao protótipo, de aproximadamente 5 horas é praticamente igual para os dois tipos de coberturas comparadas.

Na Figura 7, podem-se ver os registros das temperaturas do ar (externa e interna) e superficiais (externa e interna) para o dia típico de verão. Destaca-se aqui a significativa redução da temperatura máxima superficial na face interna do teto (30 °C) com telhado verde com blocos TEVA em relação à temperatura máxima superficial na face externa (34,8 °C), mantendo-se abaixo das temperaturas máximas do ar externa (30,8 °C) e interna (31,4 °C) a esse protótipo. Esse resultado é coerente com aqueles encontrados por

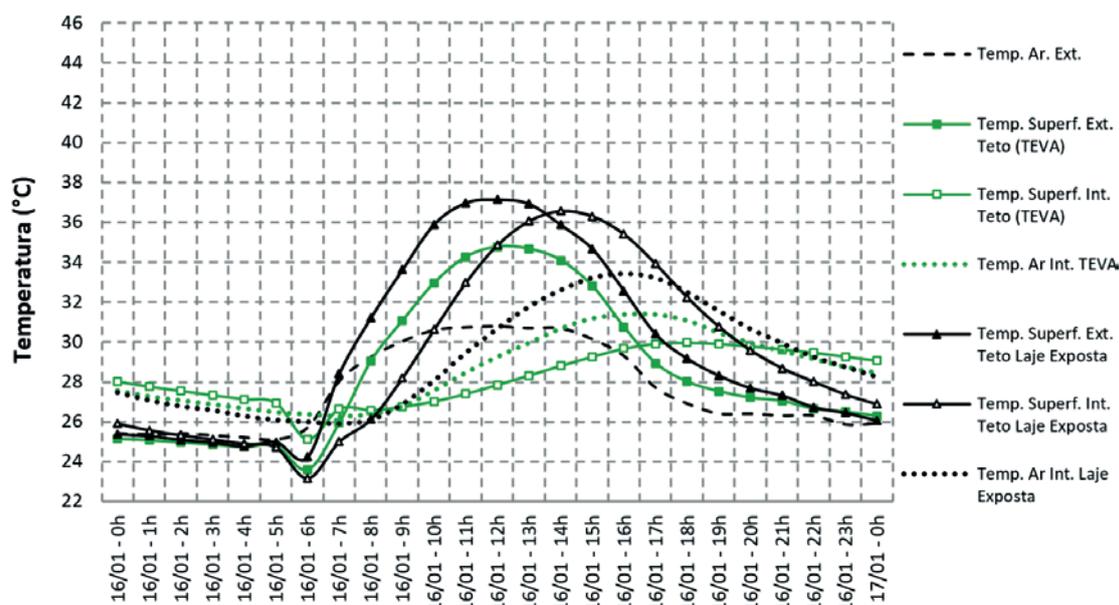
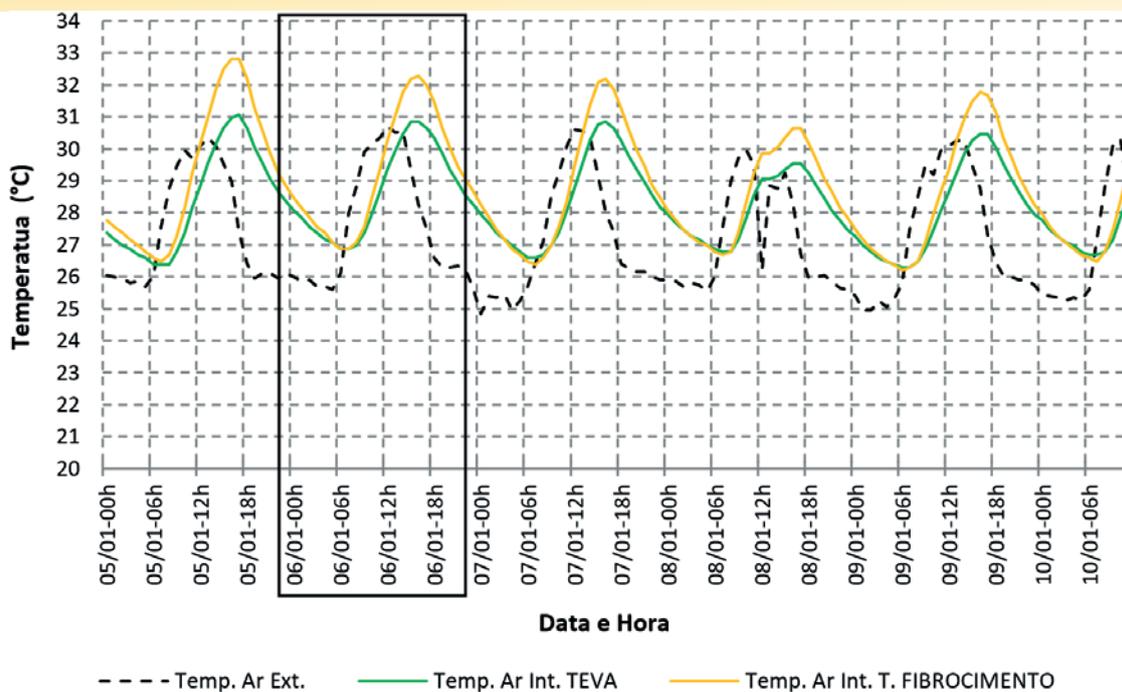


Figura 7

Comportamento térmico do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje e do protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado



**Figura 8**

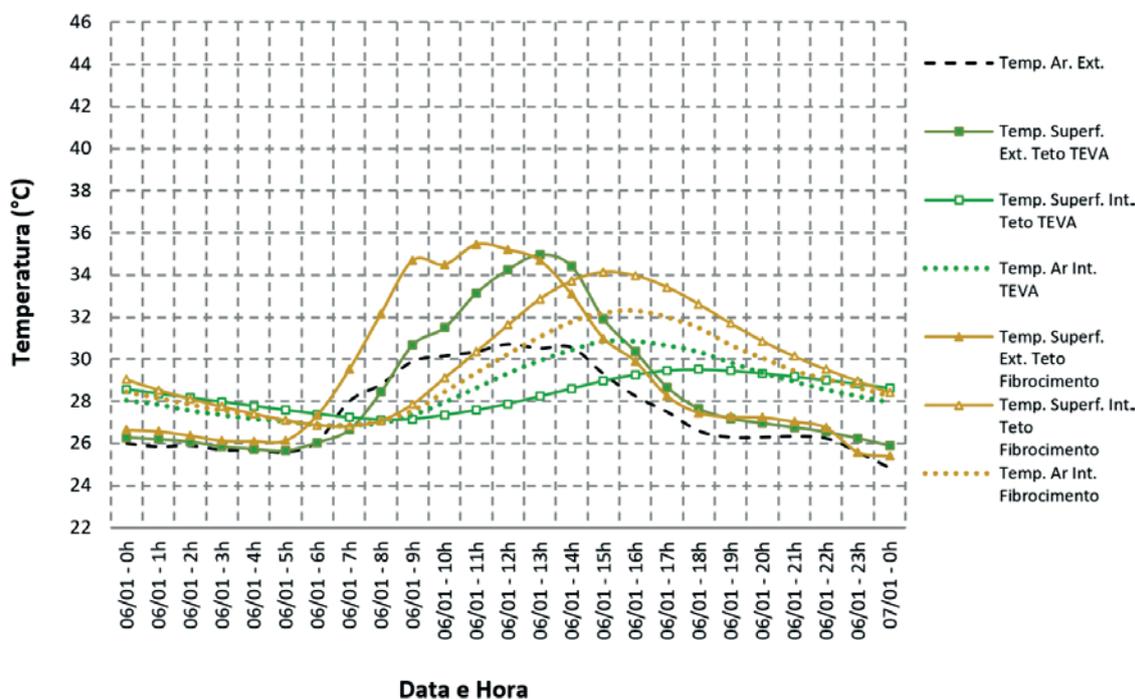
Registros com os protótipos com telhas de fibrocimento e com telhado verde com blocos TEVA

outros autores (VECCHIA [16]; ANDRADE e RORIZ [17]; MORAIS [18]; OULDBOUKHITINE *et al.* [15]).

O mesmo fenômeno não ocorre com o protótipo com a laje exposta, que apresenta pequena diferença (apenas 0,6 °C) entre a temperatura máxima superficial externa e interna. Nessa comparação, fica bem caracterizado o efeito do telhado verde com blocos TEVA na redução das temperaturas internas (superficial e do ar) do protótipo.

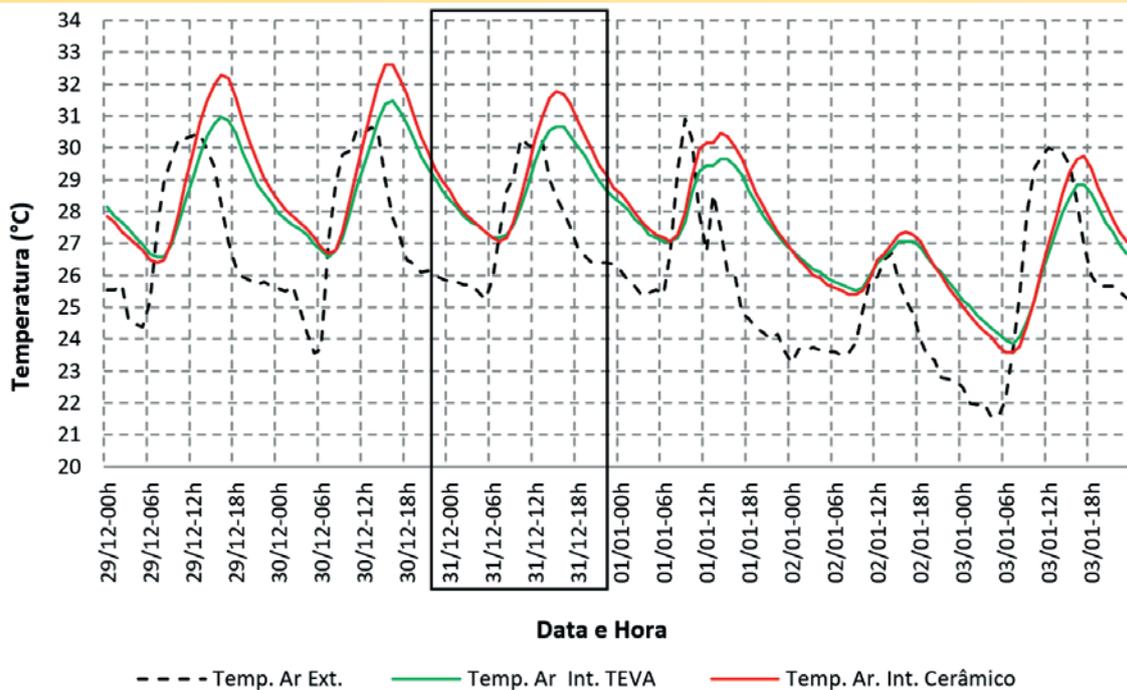
#### 4.1.2 Relativo à cobertura com telha de fibrocimento sobre a laje

Para a caracterização do comportamento térmico do telhado verde com blocos TEVA relativos à cobertura com telha de fibrocimento observa-se que na comparação entre a temperatura do ar externa e as temperaturas do ar internas, em cada protótipo analisado, as diferenças são novamente marcantes. No protótipo com



**Figura 9**

Comportamento térmico do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje e do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado

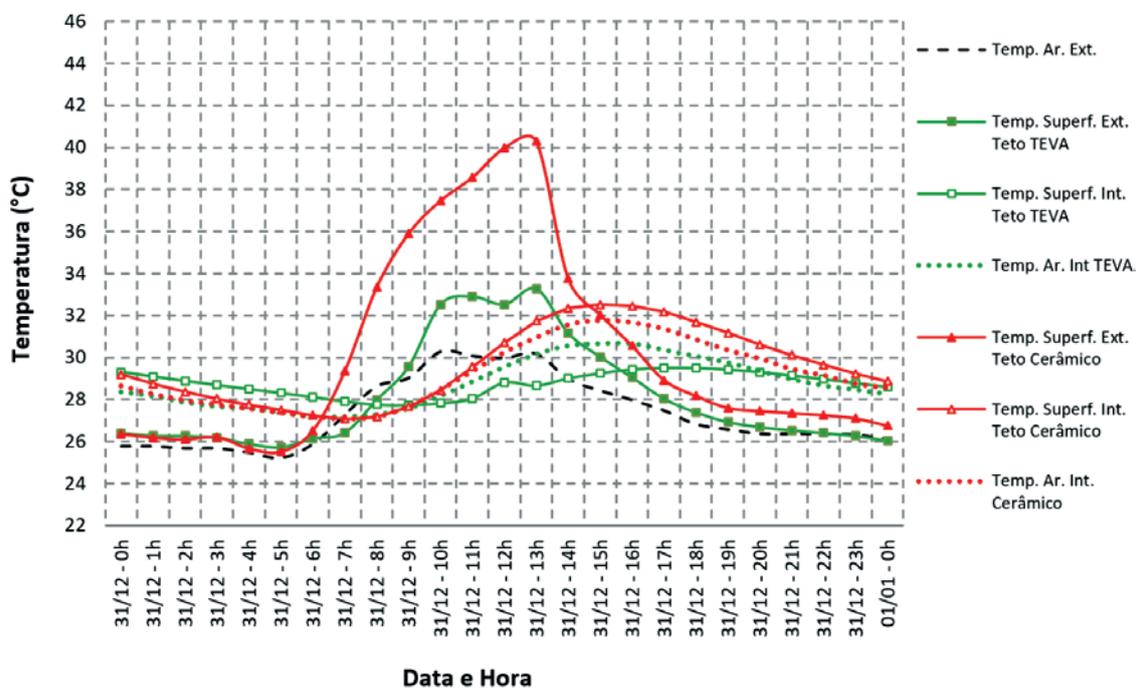


**Figura 10**  
Registros com os protótipos com telhas cerâmicas e com telhado verde com blocos TEVA

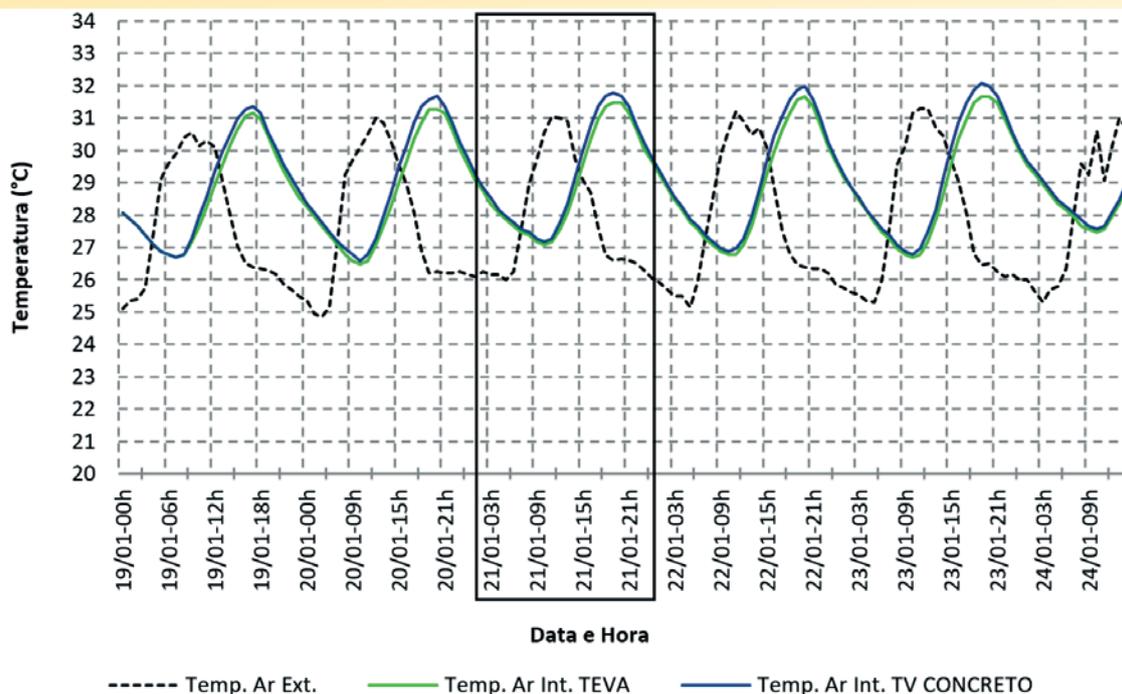
cobertura com telha de fibrocimento a temperatura do ar interna é significativamente mais elevada do que aquelas mesmas registradas no protótipo com cobertura de telhado verde com blocos TEVA, sendo essas últimas muito próximas da temperatura do ar externa. Isso pode ser observado tanto para o dia típico de verão analisado (06-01-2015), quanto para os demais dias da semana de medições, conforme se vê na Figura 8.

A Figura 9 apresenta o comportamento térmico dos dois protótipos

com as diferentes coberturas, reunindo todos os registros de temperaturas analisados. Mais uma vez, como esperado, as temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telhado verde com blocos TEVA conservam-se menores praticamente durante todo o período diurno e parte da noite, quando comparadas às temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje. O mesmo comportamento pode ser observado na comparação entre as temperaturas do ar internas



**Figura 11**  
Comportamento térmico do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje e do protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado



**Figura 12**

Comparação entre os protótipos com Telhados Verdes com blocos de concreto e com blocos TEVA

aos dois protótipos, mas nesse caso tais temperaturas se mantêm mais baixas para o protótipo com telhado verde, durante todo o período (dia e noite), resultando em menores amplitudes térmicas. A partir desses resultados, confirma-se que a maior amenização das temperaturas do ar interna ocorre no protótipo com telhado verde com blocos TEVA, mais destacadamente durante o período de maior incidência solar. Esse comportamento é similar ao observado na comparação anterior, confirmando a capacidade do telhado verde proposto com blocos TEVA na redução das temperaturas internas (superficial e do ar) do protótipo.

#### 4.1.3 Relativo à cobertura com telha cerâmica sobre a laje

A caracterização do comportamento térmico do telhado verde com blocos TEVA relativos à cobertura com telha cerâmica é discutida a partir dos registros apresentados na Figura 10. A temperatura do ar interna ao protótipo com telhado verde com blocos TEVA apresentou-se mais baixa para o dia típico de verão (31-12-2014) e ao longo de toda a semana de medições (exceto para o dia 02-01-2015), quando comparada ao protótipo com cobertura com telha cerâmica. Praticamente o mesmo atraso térmico (5 horas) em relação à temperatura do ar externa está caracterizado para os dois protótipos. Os registros feitos no dia 02-01-2015 são atípicos, com as temperaturas máximas do ar internas mais baixas e muito próximas entre os dois protótipos. Na verdade, nesse dia houve uma maior precipitação pluviométrica sobre os protótipos analisados, o que pode justificar o resultado, considerando a característica do material cerâmico (das telhas), que certamente absorve muita umidade durante a chuva, podendo isso ser um fator adicional contribuinte na redução das temperaturas internas do ar nesse protótipo, nesse dia de medição. A absorção de umidade pelo telhado verde também deve favorecer o rebaixamento da temperatura do ar interno. O resfriamento evaporativo das coberturas com telha cerâmica e com blocos TEVA vegetados, sobre as respectivas lajes dos protótipos, resulta em comportamentos térmicos semelhantes para as duas coberturas nesse dia atípico.

Na Figura 11 observa-se que as temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telhado verde com blocos TEVA são menores durante todo o período entre às 9 horas e às 24 horas, quando comparadas às temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telha cerâmica. Conforme tem sido observado nos dois casos anteriores, somente nos registros para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA verifica-se que a sua temperatura do ar interno se mantém maior do que a temperatura superficial interna do próprio teto, durante grande parte do dia (manhã e tarde), que corresponde ao período de maior incidência solar na cobertura. Nesse caso, deve-se destacar a menor contribuição da cobertura no aumento da temperatura do ar interna ao protótipo, apenas quando há a presença do telhado verde com blocos EVA. Na comparação entre as temperaturas do ar internas aos dois protótipos analisados (telhado verde com blocos TEVA X telha cerâmica) percebe-se novamente que a menor temperatura é para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, resultando em menores amplitudes térmicas. Mais uma vez, isso confirma a capacidade desse tipo de telhado verde proposto em amortizar as temperaturas internas.

#### 4.2 Comparação entre telhados verdes: blocos de concreto versus blocos TEVA

Na Figura 12, pode-se ver que a temperatura do ar interna ao protótipo com telhado verde com blocos TEVA é sempre um pouco mais baixa comparado com o protótipo com telhado verde com blocos de concreto, inclusive para o dia típico de verão (21-01-2015). Considerando que a única diferença entre os dois telhados verdes comparados é apenas a presença dos resíduos de EVA nos blocos TEVA, pode-se confirmar aqui a contribuição adicional no isolamento térmico do telhado verde proposto com esse componente. Também se percebe o quanto as máximas temperaturas do ar, externa e interna aos protótipos, se apresentam com valores muito próximos, diferentemente das análises com os telhados convencionais comparados anteriormente (laje exposta, telha de fibrocimento sobre a laje e telha cerâmica sobre a laje).

Nota-se aqui que também há pequenas diferenças entre os resultados obtidos com os dois protótipos para os demais registros de temperatura. De fato, na Figura 13, é perceptível que ambos os telhados verdes, com blocos TEVA e com blocos de concreto, apresentam temperaturas máximas do ar internas semelhantes (31,5 °C e 31,8 °C) e muito próximas da temperatura máxima do ar externo (31,1 °C), sendo destacados atrasos térmicos iguais a 5 horas. Porém, somente o telhado verde com blocos TEVA consegue manter a temperatura superficial interna do teto mais baixa (aproximadamente 1 °C) comparada à temperatura do ar interna, entre às 9 horas e 19 horas, o que é uma diferenciação bastante interessante na caracterização térmica do bloco TEVA. Dessa forma, fica bem evidenciada a contribuição adicional dos agregados de EVA (resíduos da indústria de calçados) nos efeitos do telhado verde proposto com blocos TEVA na esperada melhoria do comportamento térmico da cobertura desse protótipo. De qualquer modo, consideram-se pequenas as diferenças entre os dois telhados verdes comparados, sendo o fator determinante nos seus comportamentos térmicos a presença do substrato e da vegetação em condições semelhantes. Os blocos, como módulos com a mesma geometria, para receber a vegetação, conforme foi proposto aqui, tem sua contribuição, certamente menor, uma vez que os fatores que parecem interferir mais no comportamento térmico do telhado verde, parecem ser relativos à parte orgânica do sistema, ou seja, a altura do substrato e o quanto essa vegetação se adensa. Nesse caso, cabe lembrar que praticamente não há diferença entre as variáveis destacadas (altura do substrato e tipo e adensamento da vegetação no interior dos blocos) na análise comparativa feita com os telhados verdes com blocos TEVA e com blocos de concreto.

Portanto, apesar de pequenas as diferenças encontradas aqui, entre os dois tipos de telhados verdes comparados, pode ser conclusiva a identificação da contribuição adicional do resíduo de EVA, como agregado leve presente nos blocos TEVA, que favoreceu numa adicional amortização da carga térmica para o interior do protótipo.

### 4.3 Análise das amplitudes térmicas para as temperaturas superficiais nos telhados

A Tabela 02 apresenta os dados relativos às amplitudes térmicas para as temperaturas superficiais externas e internas do teto de cada protótipo avaliado. Conforme pode-se notar, as amplitudes térmicas, tendo em conta as temperaturas superficiais para o protótipo com laje exposta, tanto no ambiente externo (12,9 °C) quanto no interno (13,4 °C) são bem elevadas e próximas. Com relação ao protótipo com telhado verde com blocos TEVA essas amplitudes são significativamente diferentes, comparando as superfícies externa e interna. A amplitude térmica externa (11,1 °C) aproxima-se do valor obtido para a laje exposta, porém o grande diferencial encontra-se na análise para o ambiente interno, com a amplitude térmica para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, sendo reduzida a menos da metade (4,8 °C). Destaca-se ainda a significativa redução da temperatura máxima superficial na face interna do teto (6,6 °C), quando são comparados os dois protótipos, telhado verde com blocos TEVA e laje exposta. Por outro lado, em relação às temperaturas mínimas superficiais internas verifica-se que elas são próximas, entre 23,1 °C e 25,1 °C, para os dois protótipos, mas o maior valor ocorre para o

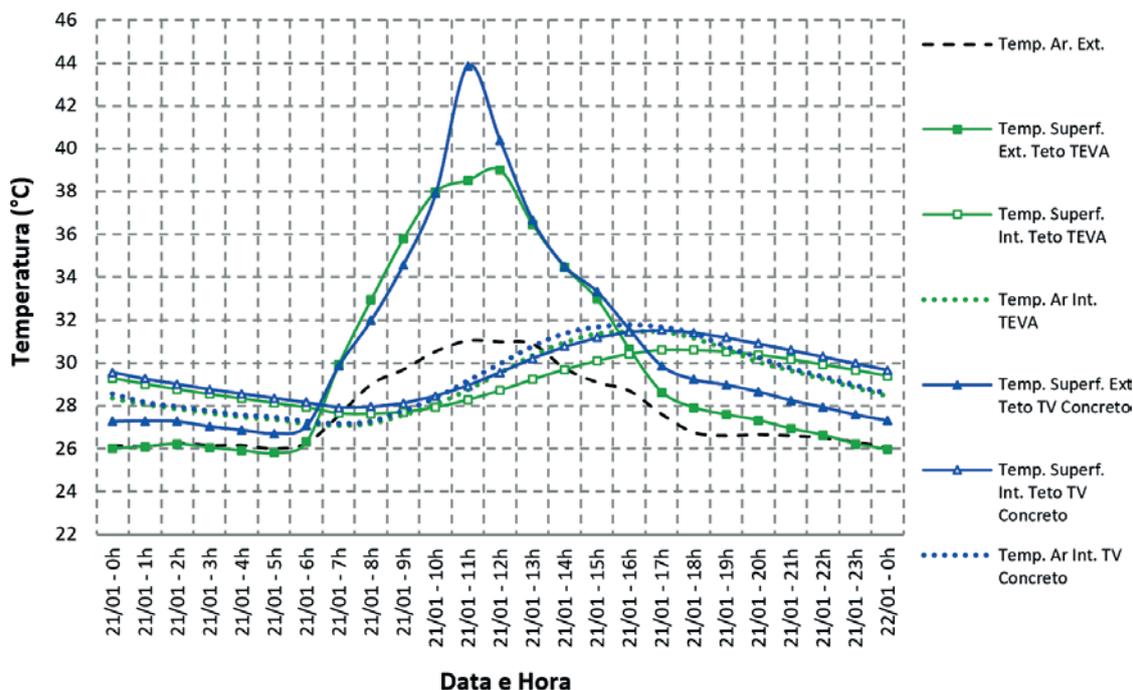


Figura 13

Comportamento térmico comparativo entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje e protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado

**Tabela 2**

Amplitudes térmicas para as temperaturas superficiais externas e internas do teto dos protótipos

Temperaturas superficiais no teto dos protótipos (°C)		Medições para o dia típico de verão: 16-01-2015	
		Telhado verde - bloco TEVA	Laje exposta
Externa	Temperatura máxima	34,7	37,1
	Amplitude térmica	11,1	12,9
	Temperatura mínima	23,5	24,2
Interna	Temperatura máxima	29,9	36,5
	Amplitude térmica	4,8	13,4
	Temperatura mínima	25,1	23,1

Temperaturas superficiais no teto dos protótipos (°C)		Medições para o dia típico de verão: 06-01-2015	
		Telhado verde - bloco TEVA	Telhado fibrocimento
Externa	Temperatura máxima	34,9	35,4
	Amplitude térmica	9,3	10,0
	Temperatura mínima	25,6	25,4
Interna	Temperatura máxima	29,5	34,1
	Amplitude térmica	2,3	7,3
	Temperatura mínima	27,1	26,8

Temperaturas superficiais no teto dos protótipos (°C)		Medições para o dia típico de verão: 31-12-2014	
		Telhado verde - bloco TEVA	Telhado com telha cerâmica
Externa	Temperatura máxima	33,2	40,2
	Amplitude térmica	7,5	14,7
	Temperatura mínima	25,7	25,5
Interna	Temperatura máxima	29,5	32,5
	Amplitude térmica	1,7	5,4
	Temperatura mínima	27,7	27,0

Surface temperatures prototypes roof (°C)		Medições para o dia típico de verão: 21-01-2015	
		Telhado verde - blocos TEVA	Telhado verde - bloco concreto
Externa	Temperatura máxima	38,9	43,8
	Amplitude térmica	13,2	17,1
	Temperatura mínima	25,7	26,7
Interna	Temperatura máxima	30,6	31,5
	Amplitude térmica	2,9	3,6
	Temperatura mínima	27,6	27,9

protótipo com telhado verde com blocos TEVA. Esse comportamento é justificado pela maior inércia térmica para o telhado verde, uma vez que, se por um lado, esse telhado reduz o pico de temperatura superficial na face interna do teto do protótipo durante o dia, por outro lado, dificulta a redução da temperatura mínima nessa mesma face do teto, durante a noite, resultando em menores amplitudes térmicas. Os resultados obtidos em outros estudos (MORAIS [18]; VECCHIA [16]; ANDRADE e RORIZ [17]) corroboraram o comportamento aqui destacado.

Em relação às amplitudes térmicas calculadas a partir das temperaturas superficiais no teto nas diferentes faces (externa e interna) da cobertura dos protótipos comparados, com telhado verde com bloco TEVA e com telhado em fibrocimento, nota-se que os valores são próximos (9,3 °C e 10,0 °C), considerando os registros externos, o que não acontece quando se comparam as amplitudes térmicas para as temperaturas superficiais internas, uma vez que para o telhado verde com blocos TEVA o seu valor (2,3 °C) é praticamente 1/3 daquele verificado para a cobertura com telha de fibrocimento sobre a laje (7,3 °C). Observa-se ainda que a amplitude térmica do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, considerando os registros de temperatura superficiais para os ambientes externo e o interno, é cerca de 75 % menor para o ambiente interno, confirmando a capacidade desse tipo de telhado verde em amortizar as temperaturas internas. Da mesma forma que ocorreu no caso anterior, a temperatura mínima superficial interna (27,1 °C) se mantém maior para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA. Novamente, se confirma o efeito da maior inércia térmica para o telhado verde, caracterizando-se pelo menor e maior valor para as temperaturas superficiais, máxima e mínima, respectivamente, na face interna do teto do protótipo. Diferentemente dos dois casos anteriores as amplitudes térmicas relativas às temperaturas superficiais, tanto em relação ao ambiente externo, quanto ao interno, foram bem diferentes e bastante menores para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, quando comparadas com protótipo com o telhado cerâmico. Para o dia típico de verão (31-12-2014), o protótipo com cobertura de telha cerâmica sobre a laje apresentou temperatura superficial externa no teto muito alta (40,2 °C), o que resultou na maior amplitude térmica (14,7 °C). Por outro lado, essa mesma amplitude térmica para o protótipo com telhado verde com blocos EVA foi cerca da metade (7,5 °C). Destaca-se ainda a maior redução da amplitude térmica relativa à temperatura superficial na face interna do teto, quando são comparados esses dois protótipos, com o telhado verde com blocos TEVA sendo o menor valor (1,7 °C). Certamente, esse comportamento também contribui na maior redução da temperatura do ar interna desse protótipo, mais destacado na parte do dia com maior incidência solar.

Pode-se observar ainda que apenas com o protótipo com telhado verde com blocos TEVA se consegue registrar temperatura máxima superficial interna no teto inferior a 30 °C, quando comparado aos três protótipos: laje exposta, telha de fibrocimento sobre a laje e telha cerâmica sobre a laje. Por outro lado, como ocorreu nas comparações anteriores, o telhado verde mantém a temperatura mínima superficial interna no teto um pouco maior, confirmando o efeito da sua maior inércia térmica. Por fim, pode-se ver que as amplitudes térmicas relativas às temperaturas superficiais internas dos dois diferentes tipos de telhados verdes são bem próximas

(2,9 °C e 3,6 °C), se comparadas com os resultados dos outros tipos de coberturas (casos anteriores). Contudo, as temperaturas superficiais, máxima e mínima, nos ambientes externos e internos aos protótipos são sempre menores para a cobertura com telhado verde com blocos TEVA, o que resulta também sempre em menores amplitudes térmicas para esse tipo de cobertura. Cabe destacar, que no presente estudo esse fenômeno é identificado somente nessa comparação entre os dois telhados verdes, o que reforça a evidência da contribuição da única variável em análise, qual seja, a presença dos agregados de EVA (resíduos da indústria de calçados) nos blocos TEVA, que recebem a vegetação. Assim, esse resultado também confirma os efeitos da presença do agregado de EVA no bloco TEVA utilizado no telhado verde, melhorando o comportamento térmico no ambiente interno do protótipo.

## 5. Conclusões

Considerando as condições das medições nos protótipos comparados e as análises dos resultados para o dia típico de verão, na condição de clima quente e úmido, pode-se concluir que:

- as coberturas convencionais (laje exposta, telha em fibrocimento sobre a laje e telha cerâmica sobre a laje) nos protótipos avaliados foram responsáveis por manter as temperaturas do ar interno, entre 1° C e 2 °C, mais elevadas quando comparadas ao protótipo com telhado verde proposto com bloco TEVA;
- o sistema de telhado verde com blocos TEVA, comparado às coberturas convencionais, também possibilitou a maior redução da temperatura superficial no teto, no ambiente interno ao protótipo, caracterizando as mais baixas amplitudes térmicas, os maiores atrasos térmicos e as maiores inércias térmicas.
- a cobertura com o telhado verde com blocos TEVA destacou-se por apresentar a temperatura superficial no teto menor do que a temperatura do ar no interior do protótipo avaliado.

Tais conclusões corroboram o comportamento térmico do telhado verde proposto, caracterizando a sua capacidade de isolamento, que está coerente com a menor transmitância térmica e maior resistência térmica desse sistema de cobertura, quando comparado com aqueles convencionais.

Ao se fazer a comparação entre protótipos com o mesmo telhado verde, executados com blocos diferentes (blocos TEVA x blocos de concreto), é possível concluir que:

- com o uso do bloco TEVA as temperaturas (máximas e mínimas) e amplitudes térmicas foram mais baixas, o que evidencia o efeito da única variável em análise, a presença dos resíduos de EVA.
  - a presença dos resíduos de EVA nos blocos TEVA possibilitou adicional redução, de aproximadamente 1 °C, na temperatura máxima superficial interna no teto em relação à temperatura máxima do ar, no interior do protótipo.
- Portanto, o presente estudo permitiu comprovar que a presença dos agregados de EVA, oriundos dos resíduos da indústria de calçados, nos blocos TEVA contribui adicionalmente na redução das temperaturas internas (do ar e superficial) do ambiente sob o telhado verde, o que é bastante interessante para agregar qualidade ao ambiente construído e valor ao processo de reciclagem dos resíduos de EVA, na fabricação de novos produtos utilizáveis na construção civil. Para além desse as-

pecto, ressalta-se a potencialidade da proposta do sistema de telhado verde modular extensivo com blocos TEVA para uma destinação alternativa dos resíduos das indústrias de calçados.

## 6. Agradecimentos

À CAPES pelo financiamento parcial da presente pesquisa; ao NUPPA pela disponibilidade de espaço para construção dos protótipos, aos Laboratórios do Centro de Tecnologia da Instituição que deram suporte para a realização dessa pesquisa.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] BERARDI, Umberto; GHAFARIANHOSEINI, AmirHosein; GHAFARIANHOSEINI, Ali. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, Vol. 115, pp. 411–428, 2014.
- [2] BIANCHINI, F., HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and environment*, Vol. 48, pp. 57-65, 2012.
- [3] ZATTERA, A. J.; BIANCHI, O.; ZENI, M. ;FERREIRA, C. A. Caracterização de Resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 15, n° 1, pp. 73-78, 2005.
- [4] GARLET, G. Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre-RS, 1998.
- [5] BEZERRA, A. J. V. Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. 115p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, 2002.
- [6] HAX, S.P.P. Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria-RS, 2002.
- [7] POLARI FILHO, R. S. Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: bloco EVA uma alternativa às alvenarias das construções. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa-PB, 2005.
- [8] ROCHA, F. M. D. Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco EVA – intertravamento e racionalização das alvenarias. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa-PB, 2008.
- [9] MELO, A. B., LIMA FILHO, M. R. F. Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA. *Ambiente Construído*, Vol. 9, nº4, pp. 141-155, Out/Dez. 2009.
- [10] SANTOS, F. A. Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa-PB, 2013.
- [11] TUTIKAN, B.F; NUNES, M.F.O; LEAL, L.C.; MARQUETTO, L. Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto (Lightweight concrete with EVA recycled aggregate for impact noise attenuation). *Materiales de Construcción*, Vol. 63, pp. 309-316, 2013.
- [12] CASTLETON, H.F.; STOVIN, V.; BECK, S.B.M.; DAVISON, J.B. Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 1582-1591. 2010.
- [13] JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, Vol. 43, pp. 157–164, 2012.
- [14] DEL BARRIO, E. P. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 27, pp. 179-193, 1998.
- [15] OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R.; JAFFAL, I.; TRABELSI, A. Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer mode. *Building and Environment* Vol. 46, pp. 2624-2631, 2011.
- [16] VECCHIA, F. (2005). Cobertura Verde Leve (CVL): Ensaio Experimental. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC), Maceió, Alagoas, Brasil, 2005.
- [17] ANDRADE, N. C.; RORIZ, M. Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria Humidicola* na cidade de São Carlos, SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal- RN, Brasil, 2009.
- [18] MORAIS, C. S. Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos- SP. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, São Carlos-SP, 2004.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.