2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SIMULAÇÃO TÉRMICA VARIANDO SUBSTRATO E IRRIGAÇÃO EM TELHADOS VERDES PARA A CIDADE DE SANTA MARIA - RS[1]

MICHELON, Tiago (1); PASQUALINI, Mônica (2); ORDENES, Martin (3)

(1) UFSC, arqurb.tiago@gmail.com
(2) UFSC, monica@mpcarquitetura.com.br
(3) UFSC, martin.ordenes@ufsc.br

RESUMO

A cobertura verde vem ganhando espaço na construção com finalidade de sustentabilidade, promovendo vários benefícios ambientais, térmicos e estéticos. Dentro das técnicas construtivas do telhado verde é possível identificar duas principais, o telhado verde extensivo e o intensivo. O telhado verde é formado por várias camadas e cada uma tem influência direta nos resultados. Alguns dos elementos mais relevantes são, por exemplo, a espessura e conteúdo de umidade no substrato de terra. O objetivo deste trabalho é analisar a importância destes dois parâmetros no desempenho térmico de uma cobertura verde. Para os estudos foram utilizadas duas alturas diferentes de substrato e o uso ou não de irrigação, foi também utilizado um modelo para comparação de fibrocimento. Ao escolher Santa Maria como cidade para simulação, foi obtida uma amplitude térmica significativa entre a semana mais fria e a mais quente. Nos resultados observou-se que o uso do telhado verde intensivo e com sistema de irrigação apresentou melhores resultados em comparação as outras quatro opções simuladas.

Palavras-chave: *Telhado verde. Desempenho térmico. Simulação com EnergyPlus. Sustentabilidade.*

ABSTRACT

The green roof has been gaining space in construction with the purpose of sustainability, promoting several environmental, thermal and aesthetic benefits. Within the constructive techniques of the green roof it is possible to identify two main ones, the extensive green roof and the intensive one. The green roof is formed by several layers and each one has a direct influence on the results. Some of the most relevant elements are, for example, the thickness and moisture content in the earth substrate. The objective of this work is to analyze the importance of these two parameters in the thermal performance of a green roof. For the studies two different substrate heights were used and the use or not of irrigation, a model was also used for comparison of fiber cement. When choosing Santa Maria as a simulation city, a significant thermal amplitude was obtained between the coldest and the hottest week. In the results it was observed that the use of the intensive green roof and with irrigation system presented better results in comparison with the other four simulated options.

Keywords*: Green roof. Thermal performance. Building simulation with EnergyPlus. Sustainability.*

---

[1]MICHELON, Tiago (1); PASQUALINI, Mônica (2); ORDENES, Martin (3). Simulação térmica variando substrato e irrigação em telhados verdes para a cidade de Santa Maria - RS In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

As cidades e a população mundial vêm crescendo rapidamente, aumentando a demanda por recursos naturais. Mudanças climáticas e poluição do ar e da água são algumas das consequências ambientais atribuídas às atividades humanas.

Um dos benefícios mais atrativos às edificações dos telhados verdes é seu potencial de redução de temperatura na cobertura, resultando em uma menor carga de resfriamento para a edificação quando exposta à altas temperaturas. As práticas sustentáveis vêm sendo adotadas como alternativa para reduzir o aquecimento global. As estratégias de plantio, como telhados verdes, têm apresentado benefícios econômicos, ambientais, sociais e estéticos, melhorando a eficiência energética de edificações e cidades. A composição do telhado verde compreende componente estrutural, camada impermeabilizante, camada drenante, manta geotêxtil, substrato e cobertura vegetal. Na literatura existem classificações para esse sistema, dentre elas destacam-se as coberturas verdes extensivas, que são mais simples e resistentes, tendo baixa manutenção e espessura de substrato entre 5 a 15 centímetros e as coberturas verdes intensivas, que apresentam substrato entre 20 e 60 centímetros, podem comportar plantas de maior porte, requerer manutenção periódica e sistema de irrigação (PARIZOTTO FILHO, 2010; TABARES-VELASCO; SREBRIC, 2012).

Além das condições climáticas, o desempenho energético de um telhado verde também é influenciado pela espessura e composição de seu substrato, tipo de vegetação empregada, fase de crescimento da planta e presença ou não de um sistema de irrigação, este último influenciando na resistência térmica do substrato. Segundo Batista, Lamberts e Westphal (2005), com auxílio de ferramentas de simulação, é possível verificar as melhores estratégias de projeto para uma nova edificação. Por meio de arquivos climáticos o programa computacional *EnergyPlus* calcula as temperaturas internas, além de permitir a análise das cargas térmicas advindas de componentes construtivos, possibilitando a verificação do desempenho térmico da edificação. O uso de telhados verdes vai ao encontro a alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, propostos em 2015, unindo 193 países que assinaram a Agenda 2030, um plano global com o objetivo de alcance do desenvolvimento sustentável em todos os âmbitos até 2030. No contexto de telhado verde, podemos citar os objetivos: 06 - Água potável e saneamento; 07 - Energia limpa e acessível; 09 - Indústria, inovação e infraestrutura; 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; 12 - Consumo e produção responsáveis; 13 - Ação contra a mudança global do clima.

O objetivo deste trabalho é investigar a influência de diferentes parâmetros, em dois tipos de telhado verde, em uma residência unifamiliar com as características construtivas usualmente adotadas em Santa Maria, utilizando como ferramenta de simulação computacional o programa *EnergyPlus*.

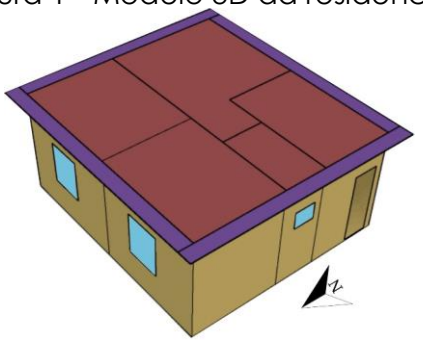
2 METODOLOGIA

2.1. Descrição do modelo da edificação e da cidade

O objeto deste estudo é uma simulação de uma residência unifamiliar de 37 m², simulada na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, composta por 5 zonas térmicas. O layout tem formato retangular de 6,30m de largura por 5,90m de comprimento, composto por dois quartos, banheiro, sala e cozinha como mostra Figura 1 e 2. A edificação tem pé direito de 3,00m, peitoril de 1,10m e beirais de 0,40m.

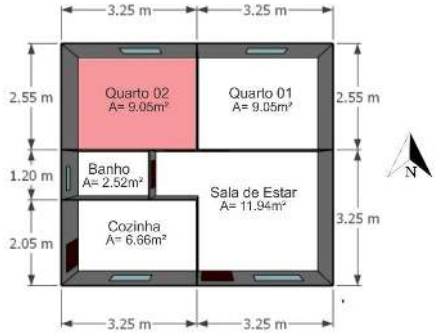
O clima da cidade é classificado por Köppen e Geiger como Cfa, possui características de clima quente e temperado. Pelos arquivos climáticos do INMET 2018 (BRA_RS_Santa.Maria.839360), identificamos a semana mais fria e a mais quente, sendo a de 25/08 a 31/08 com média diária semanal de 9,67 °C e a de 31/01 a 06/02 com média diária semanal de 28,34 °C. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano. Conforme a NBR 15220-3, Santa Maria é classificada na zona bioclimática 02.

Figura 1 - Modelo 3D da residência



Fonte: Os autores (2020)

Figura 2 - Planta Baixa da residência



Fonte: Os autores (2020)

O ambiente escolhido para a análise foi o quarto 02, com faces norte e oeste, por este ser de maior incidência solar. As paredes externas e internas foram simuladas com bloco cerâmico de 14cm e 9cm, respectivamente, com uma camada de argamassa com 2,5cm em ambas as faces. O piso foi considerado de concreto com 10cm de espessura e adiabático para as simulações. Os dados de transmitância e capacidade térmica dos componentes construtivos seguem na Tabela 1.

Tabela 1 - Transmitância e capacidade térmica

Item	**Componentes Construtivos**	**U (W/m².K)**	**Ct (kJ/m²K)**
Telhado Verde 15cm	Planta + 15cm Substrato + Seixo Rolado + Laje de Concreto de 20cm	0.77	694,2
Telhado Verde 60cm	Planta + 60cm Substrato + Seixo Rolado + Laje de Concreto de 20cm	0.59	1336,8
Cobertura de Fibrocimento	Telha de Fibrocimento + Camada de Ar + Laje de Concreto 10cm	2.06	233
Paredes Internas	Argamassa 2,5cm + Bloco Cerâmico 9x19x19cm + Argamassa 2,5cm	2.37	151
Paredes Externas	Argamassa 2,5cm + Bloco Cerâmico 14x19x29 + Argamassa 2,5cm	1.83	161

Fonte: EnergyPlus (2020)

Para a simulação, foram determinados 5 tipos de cobertura. O primeiro é composto por uma cobertura com telha de fibrocimento de 0,8 cm mais câmara de ar maior que 5 cm e uma laje de concreto de 10 cm, estrutura usual no Brasil. Após isso são adotadas duas variações em dois tipos telhado verde, um extensivo com 15 cm de substrato e outro intensivo com 60 cm de substrato, alternando entre ser ou não irrigado. A tabela 2 separa as cinco coberturas testadas. As nomenclaturas das coberturas simuladas serão abreviadas pelas siglas TV; Telhado Verde, CI; Com Irrigação e SI; Sem Irrigação. As camadas de substrato variaram somente na altura,

tendo a condutividade do solo com 0,4 W/m.K, uma densidade do solo de 500 kg/m³ e calor específico do solo de 1000 J/kg.K constantes.

Tabela 2 - Apresentação das 5 tipologias de coberturas testadas

Identificação tipológica	**Irrigação**	**Altura de Substrato**
Telhado de Fibrocimento	Não se aplica	Não se aplica
Telhado Verde 01 – TV_15cm_CI	Sim	15 cm
Telhado Verde 02 – TV_60cm_CI	Sim	60 cm
Telhado Verde 03 – TV_15cm_SI	Não	15 cm
Telhado Verde 04 – TV_60cm_SI	Não	60 cm

Fonte: Os autores (2020)

2.3. Software - Input e Output

Para a obtenção dos dados, utilizou-se o software *EnergyPlus*, versão 9.3.0, ferramenta disponibilizada pelo Departamento de Energia do EUA (DOE, 2011) no endereço eletrônico https://energyplus.net/. Os arquivos climáticos utilizados foram obtidos por meio do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Labeee, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC também disponíveis on-line em https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos . Não foram variadas as cargas térmicas internas de iluminação, ocupação, atividade e ventilação para todos os modelos, variando somente as composições entre os 5 tipos de cobertura. Para padrões de ocupação, atividade e iluminação, foram utilizados procedimentos proposto por Sorgato et al.(2012) onde os dormitórios devem ser simulados com o padrão de ocupação de duas pessoas por ambiente, para o período noturno entre às 21h e 7h. A Sala de Estar, com padrão de quatro pessoas, deve ser simulada com ocupação de 50%, no período diurno entre as 14h e 18h e no período das 18h às 21h, com 100% da ocupação dos dormitórios. Em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente deve ser adotada a taxa metabólica para cada atividade. Para a atividade do Dormitório (dormindo ou descansando) deve se simular com os valores de calor dissipado de 81 W por pessoa. Para a atividade da Sala (sentado ou assistindo TV) o calor dissipado é de 108 W por pessoa. Em relação ao padrão de uso da iluminação seu uso está vinculado em função do padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada. Considera-se que os usuários utilizam a iluminação artificial nas primeiras horas da manhã, entre 6h as 7h, no período noturno entre as 21h às 23h no Dormitório. Na Sala de Estar os usuários utilizam a iluminação artificial durante o período das 17h às 21h. Para a simulação dos dois telhados verdes que possuem o sistema de irrigação - telhado verde 1 e 2 – foi considerado o acionamento deste, uma vez ao dia e pela duração de uma hora, das 8h da manhã até às 9h. Já para os padrões de ventilação, todos os ambientes ficam ventilados 50% das 7h às 21h.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

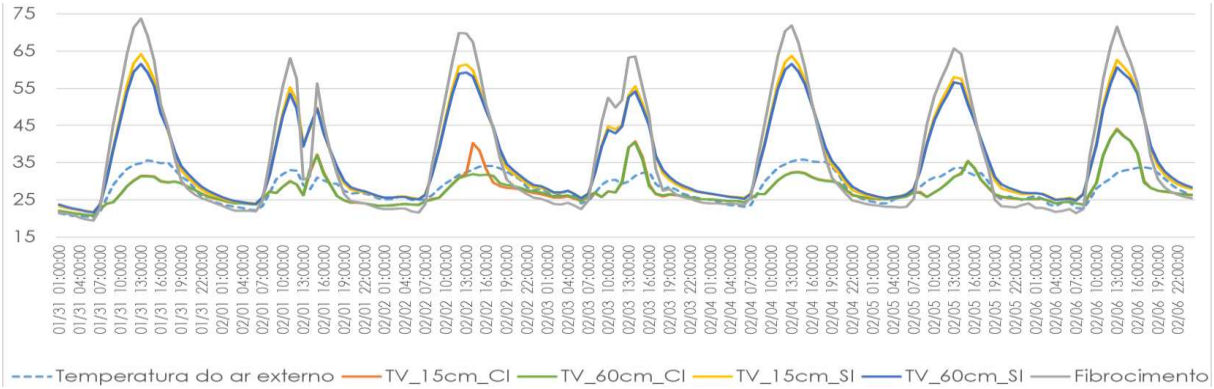
Os resultados apresentados a seguir referem-se à semana mais quente e à mais fria, na cidade de Santa Maria, comparando as tipologias de coberturas adotadas. As análises realizadas levaram em conta temperatura do ar externo, temperatura do ar

interno, temperatura de substrato e temperatura superficial da cobertura, no intuito de entender o desempenho térmico de cada tipologia e quais os elementos do telhado verde têm maior impacto no balanço térmico.

3.1. Temperaturas superficiais externas

Ao se analisar a temperatura superficial externa das cinco variações de cobertura, é possível observar, no gráfico 1, que os valores mais altos são com a telha de fibrocimento, chegando a 73,85°C, seguindo pelos dois tipos de telhado verde 3 e 4, 64,18°C e 61,58°C respectivamente, comprovando que os valores mais próximos da temperatura do ar externo na semana mais quente são dos telhados TV_15cm_CI e TV_60cm_CI, com 44,08°C e 43,88°C respectivamente, estes que recebem irrigação. Podemos ver no gráfico 1 a comparação entre os modelos analisados.

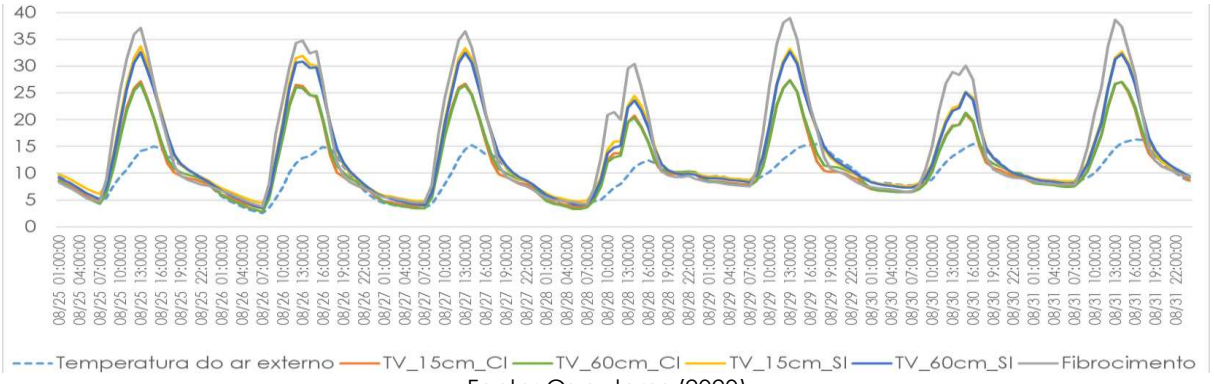
Gráfico 1 - Temperaturas superficiais externas - semana com altas temperaturas [C°]



Fonte: Os autores (2020)

No gráfico 2, onde os mesmos componentes foram testados para a semana mais fria, é possível perceber que os telhados verdes funcionam retendo o calor que recebem por irradiação do sol e se mantém mais quentes durante o dia do que a temperatura do ar externo. Podemos notar que no caso da telha de fibrocimento, a sua temperatura superficial é maior, mas a maior parte da energia acaba sendo refletida e não absorvida.

Gráfico 2 - Temperaturas superficiais externas - semana de baixas temperaturas [C°]



Fonte: Os autores (2020)

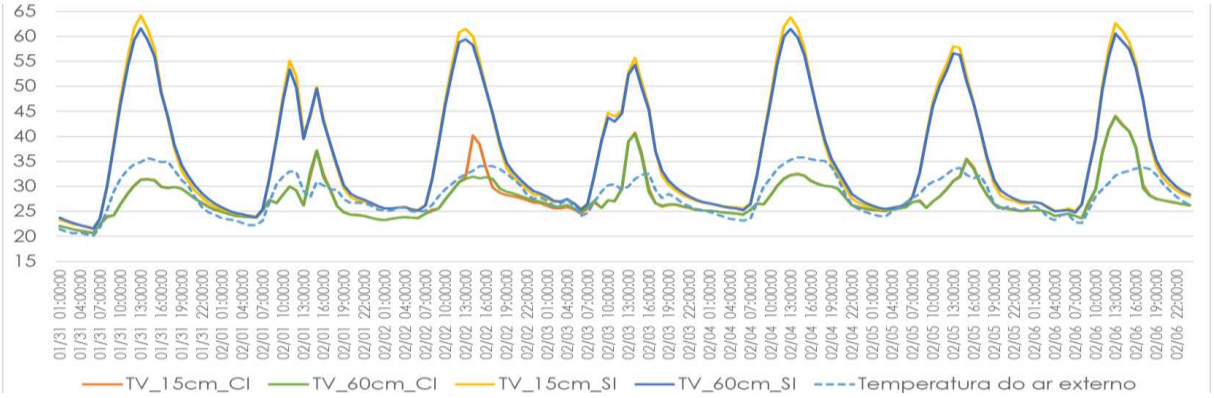
As temperaturas superficiais vão influenciar tanto o ambiente interno como o externo. Esse fator vai ser benéfico no caso dos telhados verdes irrigados nos dias mais

quentes, onde ele se mantém com a temperatura superficial menor e próximas à temperatura do ar externo, irradiando menos calor, amenizando os efeitos das ilhas urbanas de calor.

3.2. Temperaturas do substrato do telhado verde

Se tratando da temperatura do substrato analisado entre os quatro tipos de telhado verde, os dois telhados que não recebiam irrigação, TV_15cm_SI e TV_60cm_SI, apresentaram temperaturas maiores, com picos de 64,18°C e 61,59°C respectivamente, já os que recebiam irrigação, TV_15cm_CI e TV_60cm_CI, se mantiveram praticamente todo o tempo com temperaturas menores comparadas à temperatura do ar externo na semana com temperaturas altas. Os valores são apresentados abaixo no gráfico 3.

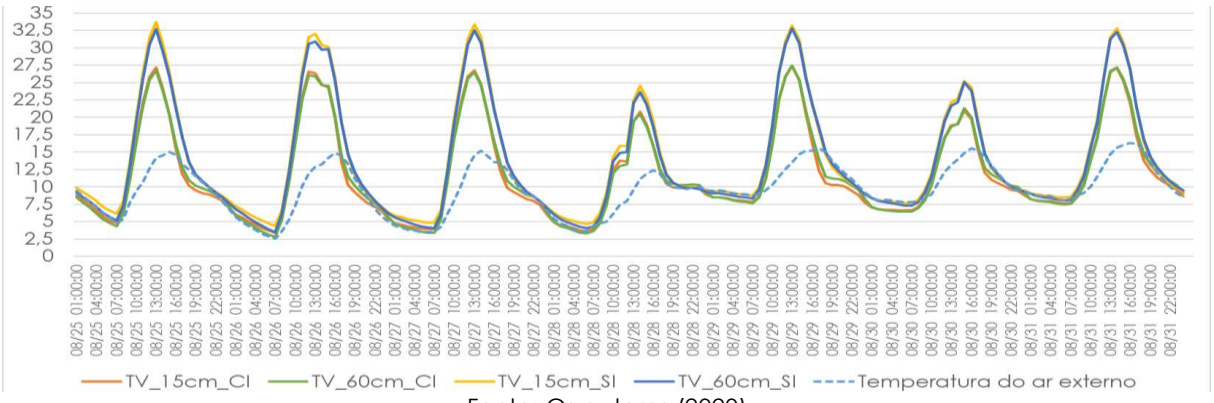
Gráfico 3 - Temperaturas do substrato do telhado verde - semana com altas temperaturas [C°]



Fonte: Os autores (2020)

Quando simulados na semana de temperaturas baixas, os substratos mantiveram uma média de 5°C a 7°C entre os irrigados e não irrigados nos momentos de pico próximo ao meio dia. Os telhados sem irrigação apresentaram temperaturas maiores nesses picos. Ambas as opções apresentaram temperaturas maiores comparadas ao ar externo, com leve atraso térmico em alguns pontos, os dados são apresentados no gráfico 4.

Gráfico 4 - Temperaturas do substrato do telhado verde - semana com baixas temperaturas [C°]

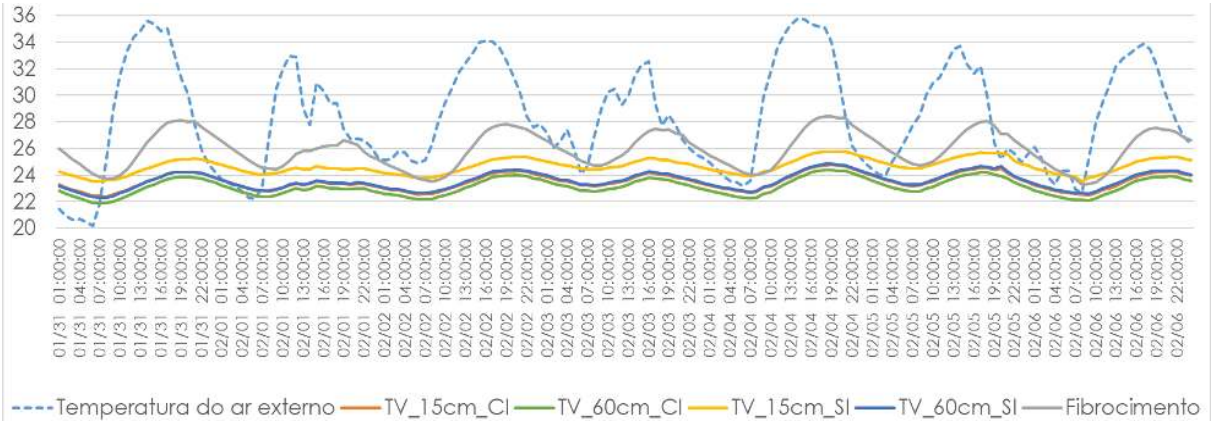


Fonte: Os autores (2020)

3.3. Temperaturas internas

Por fim, a última análise é das temperaturas internas da zona térmica analisada. É possível identificar, em relação às altas temperaturas do ar externo, que variaram de 20,2 a 35,8°C, que o telhado TV_60cm_CI, manteve-se mais estável, a temperatura interna na maior parte do tempo se manteve menor que a externa, pode-se afirmar que nesse caso a combinação entre a maior altura de substrato e o sistema de irrigação (TV_60cm_CI) obtiveram uma constância maior na variação de temperatura, mantendo a temperatura interna entre 21,87 e 24,38°C (linha verde), como é observado no gráfico 5.

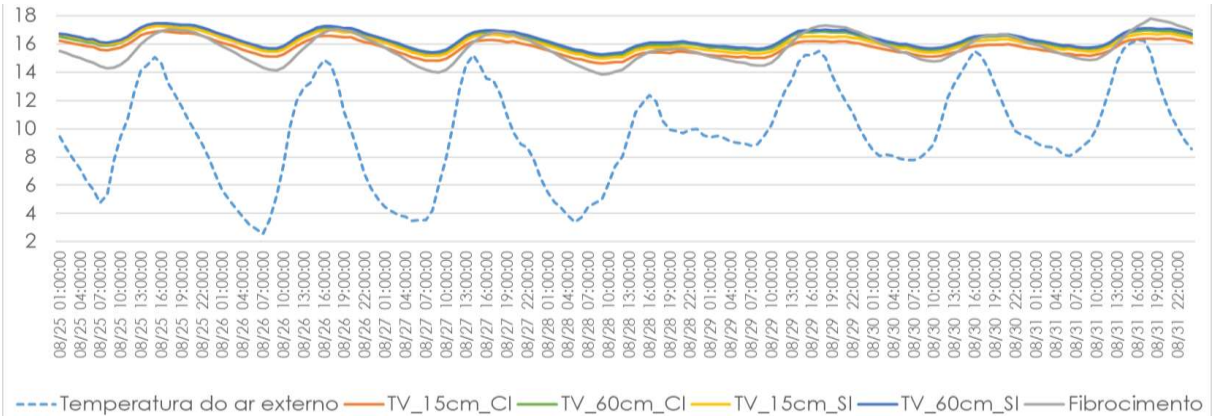
Gráfico 5 - Temperaturas internas - semana com altas temperaturas [C°]



Fonte: Os autores (2020)

Quando analisada a semana com baixas temperaturas, o telhado TV_60cm_SI obteve os melhores resultados na maioria dos dias. A alta amplitude térmica do telhado de fibrocimento demonstra que a temperatura interna chega a 13,86°C no período da manhã do dia 28/08, nesse mesmo momento, o telhado TV_60cm_SI apresentava 15,27°C, enquanto a temperatura do ar externo era de 7,36°C. As temperaturas estão expressas no gráfico 6.

Gráfico 6 - Temperaturas internas - semana com baixas temperaturas [C°]



Fonte: Os autores (2020.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nas simulações, verifica-se diferenças quanto ao comportamento térmico dos componentes construtivos. Como era de se esperar,

as coberturas compostas por telhado verde apresentaram melhor desempenho térmico do que a com telha de fibrocimento, onde a expectativa, são menores temperaturas nos dias de altas temperaturas externas e maiores temperaturas nos dias de baixas temperaturas externas, também se almeja uma amplitude térmica menor na temperatura do ar interno comparado ao ar externo. Isso se deve à maior inércia térmica dos materiais. A espessura do substrato possui relevância nas perdas e ganhos de calor e a presença de irrigação acaba por intensificar os benefícios do telhado verde em temperaturas mais altas. Apesar de haver diferença na temperatura da superfície dos telhados verdes e o do substrato correspondente, essa variação é pequena, se mantendo praticamente igual. Outro componente que pode influenciar nos resultados é a evapotranspiração do sistema do telhado verde, neste estudo não considerado, possibilitando a adição e análise deste fator em estudos futuros.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e PROGRAMA UNIEDU/FUMDES PÓS-GRADUAÇÃO.

REFERÊNCIAS

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. Rio de Janeiro, 2005.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. **Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o EnergyPlus**. In: ENCAC-ELACAC 2005, 10, 2005, Maceió. Anais... Maceió: ENCAC-ELACAC 2005, 2005. p. 145 -154.

Departamento de Energia dos EUA. Introdução ao EnergyPlus, manual de conceitos básicos - informações essenciais que você precisa sobre a execução do EnergyPlus. edifício, Berkley, Califórnia : Departamento de Energia dos EUA , 2011.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

PARIZOTTO FILHO, S. **Telhado vegetado**. In: Lamberts, R. et al (ed.). Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 89-122.

SORGATO, M. J. et al. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. Universidade Federal de Santa Catarina. LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2012.

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.