



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## FACHADAS VEGETADAS: SIMULAÇÃO DO IMPACTO NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM AMBIENTE RESIDENCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

**SCHERER, Minéia J. (1); ALVES, Thales S.; BERWANGER, Luísa R.; REDIN, Janaína**

**(1)** UFSM-CS (Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul),  
mineiaarq@gmail.com

### RESUMO

*As fachadas vegetadas podem trazer benefícios térmicos às edificações, na medida em que atuam como mecanismo de sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento ou resfriamento evaporativo. Dentre as diversas tipologias usadas atualmente na arquitetura, este trabalho vai comparar três sistemas: fachada verde direta (FVD), fachada verde indireta (FVI) e parede viva modular (PVM). Sendo assim, o objetivo deste artigo é avaliar o impacto do uso de diferentes tipologias de fachadas vegetadas no comportamento térmico de um ambiente residencial, inserido na zona bioclimática 2, utilizando simulação computacional no software EnergyPlus, com base em parâmetros de configuração utilizados anteriormente por outras pesquisas. Para tanto, comparou-se os resultados de temperatura interna do ar, temperatura superficial interna da parede e fluxo de calor da edificação sem a presença da vegetação e com a aplicação das três técnicas. Os resultados demonstraram que o uso da vegetação tende a deixar as superfícies termicamente mais estáveis, amenizam os picos de temperatura e promovem menores ganhos de calor durante os períodos mais quentes e menores perdas de calor nos períodos mais frios. Assim, conclui-se que seu uso traz benefícios para o conforto térmico e eficiência energética em edificações inseridas em locais de clima subtropical.*

**Palavras-chave:** Fachadas vegetadas. EnergyPlus. Desempenho térmico. ZB2.

### ABSTRACT

*The vegetated facades can bring thermal benefits to the buildings, as they act as a shading mechanism, thermal insulation, wind barrier or evaporative cooling. Among the various types currently used in architecture, this work will compare three systems: direct green facade (FVD), indirect green facade (FVI) and modular live wall (PVM). Therefore, the objective of this article is to evaluate the impact of using different types of vegetated facades on the thermal behavior of a residential environment, inserted in the bioclimatic zone 2, using computer simulation in the EnergyPlus software, based on configuration parameters previously used by other researches. For this purpose, the results of internal air temperature, internal surface temperature of the wall and heat flow of the building were compared without the presence of vegetation and with the application of the three techniques. The results showed that the use of vegetation tends to make the surfaces more thermally stable, soften the temperature peaks and promote lower heat gains during the hottest periods and lower heat losses in the coldest periods. Thus, it is concluded that its use brings benefits for thermal comfort and energy efficiency in buildings inserted in places with a subtropical climate.*

**Keywords:** Vegetated facades. EnergyPlus. Thermal performance. ZB2.

---

SCHERER, Minéia J.; ALVES, Thales S.; BERWANGER, Luísa R.; REDIN, J. Fachadas vegetadas: simulação do impacto no comportamento térmico de um ambiente residencial na zona bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de fachadas vegetadas em edificações vem obtendo destaque nos últimos anos, sendo gradativamente incorporado para substituir revestimentos, atuar como componente de sombreamento ou ser elemento compositivo marcante da obra arquitetônica. Ainda, a inserção da vegetação como parte integrante da edificação pode contribuir para a melhoria do conforto térmico, atuando como sistema passivo de condicionamento e gerando economia de energia com climatização artificial.

As fachadas vegetadas referem-se ao revestimento de alvenarias ou outras estruturas verticais, com vegetação trepadeira ou de pequeno porte, onde as raízes do vegetal estão em contato direto com o solo ou com substrato acondicionado em cavidades ou floreiras (DUNNETT; KINGSBURY, 2004). Dentre diversas tipologias, este trabalho vai comparar três sistemas: fachada verde direta (FVD), onde espécies trepadeiras aderentes às alvenarias revestem as superfícies; fachada verde indireta (FVI), quando há afastamento em relação à parede e necessidade de suporte para a trepadeira se desenvolver; parede viva modular (PVM), onde espécies de pequeno porte são inseridas em pequenos vasos ou cavidades, com quantidade limitada de substrato.

Os diferentes sistemas de fachada vegetada atuam no comportamento térmico dos edifícios através de quatro mecanismos de ação: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (MUNÕZ, et al, 2019). O efeito de sombreamento e isolamento térmico é causado pela interceptação da radiação solar e pela camada de ar existente entre as folhas, o que reduz o aquecimento da fachada e o consequente fluxo de calor para o interior da edificação, e está ligado à densidade da cobertura vegetal e à cavidade de ar presente entre a vegetação e a parede (WONG et al, 2010; PÉREZ, et al, 2011; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018). Como barreira ao vento, a vegetação contribui para diminuir as trocas térmicas por convecção, o que é benéfico no inverno, mas pode ter um efeito negativo em dias quentes, dificultando o resfriamento convectivo da parede (SUSOROVA, 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018). Já o efeito da evapotranspiração do vegetal proporciona a redução na temperatura do ar e aumento da umidade, sendo diretamente proporcional à densidade foliar (WONG et al, 2010; SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011).

Munõz, et al (2019) realizaram uma revisão dos estudos a nível mundial que tratam sobre desempenho térmico de fachadas vegetadas, através do uso de experimentos ou de medições *in loco*, evidenciando que estes métodos ainda são os mais empregados em pesquisas desta temática. Por outro lado, estudos que utilizem simulação computacional ainda são escassos. Tem-se como fatores limitantes a escassez de dados mais precisos sobre as propriedades térmicas das espécies vegetais, assim como a inexistência, em softwares de simulação termoenergética como o Energy Plus, de parâmetros específicos de configuração para fachadas com vegetação, o que dificulta a inserção dos dados e a validação de resultados obtidos.

No entanto, pela atualidade e relevância do tema, algumas pesquisas vêm aplicando formas simplificadas de simular fachadas com vegetação, procurando validar seus resultados através de cálculos matemáticos ou de comparação com experimentos práticos. São exemplos os trabalhos de Holm (1989), Yoshimi; Altan (2011), Djedjig; Bozonnet; Belarbia (2015), Carlos (2015), Larsen; Fillippe; Lesino (2016), Dahanayake; Chow (2017) Poddar; Park; Chang (2017).

Sendo assim, este estudo tem o objetivo de avaliar o impacto do uso de diferentes tipologias de fachadas vegetadas no comportamento térmico de um ambiente residencial, inserido na zona bioclimática 2, utilizando simulação computacional no software EnergyPlus, com base em configurações usadas em pesquisas similares.

## 2 METODOLOGIA

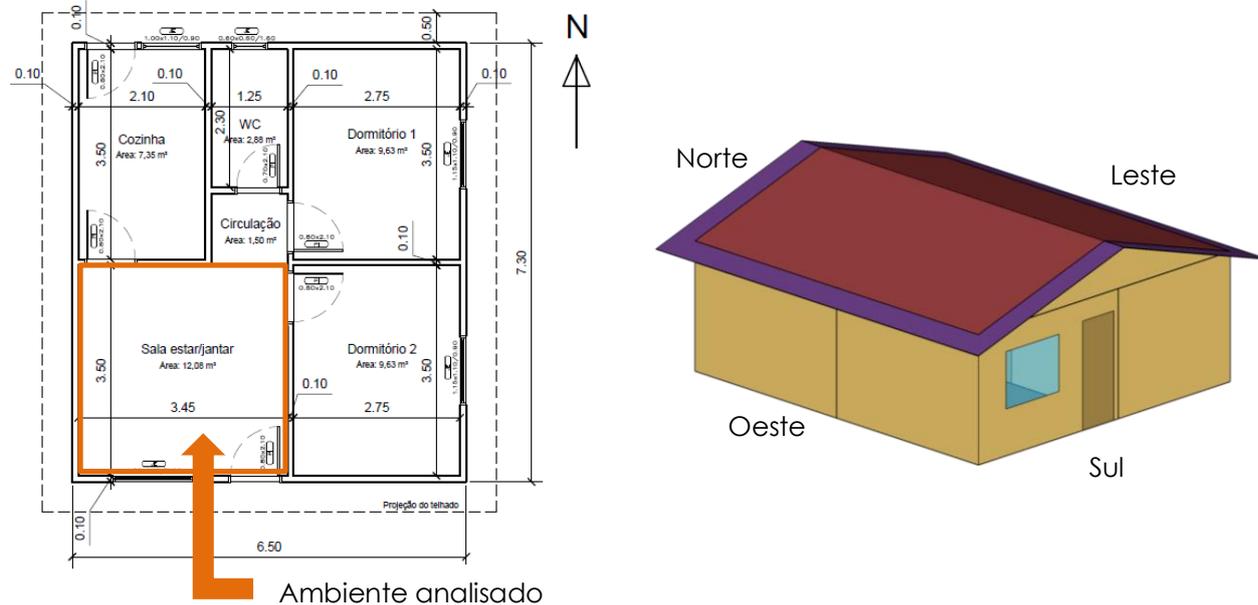
A metodologia do estudo é caracterizada como experimental, com base em simulações computacionais que permitem prever o comportamento térmico de uma edificação. Sendo assim, é dividida em 3 etapas: (i) Definição da edificação base, modelagem e configurações no Energy Plus; (ii) alterações na edificação base com inserção das fachadas vegetadas; (iii) parâmetros de saída e análise dos resultados.

### 2.1 Edificação base

De acordo com o objetivo da pesquisa, optou-se por analisar o ambiente de estar/jantar de uma residência unifamiliar de interesse social, idealizada conforme modelo do programa do Governo Federal “Minha Casa, Minha Vida” (Figura 1a), inserida na Zona Bioclimática 2, que abrange grande parte da região Sul do Brasil. Assim, as simulações foram realizadas no software EnergyPlus, versão 8.7 (ENERGYPLUS, 2017), utilizando o arquivo climático da cidade de Santa Maria, RS. A cidade possui clima subtropical úmido, com as estações do ano bem definidas, verões quentes e invernos frios. Os ventos predominantes sopram de leste e sudeste. As estratégias bioclimáticas mais recomendadas são o sombreamento das aberturas durante o verão, ventilação cruzada, aquecimento solar durante o inverno.

Para a modelagem da edificação base, cada cômodo é inserido em uma zona térmica, além de uma zona extra que se refere à cobertura. Ainda conta com duas zonas de sombreamento que circundam a residência, caracterizando a projeção do telhado em duas águas (Figura 1b).

Figura 1 – (a) Planta baixa da edificação base; (b) Perspectiva da modelagem



Para caracterizar os padrões de uso e ocupação da residência, a iluminação artificial e o sistema de ventilação natural, foi utilizado o estabelecido no Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais: RTQ-R (INMETRO, 2012). Já a modelagem das propriedades térmicas dos componentes da envoltória da residência base segue os padrões do PMCMV, que são observados em diversos conjuntos habitacionais da região de análise (Quadro 1). Os vidros utilizados são do tipo liso 3mm, cujas propriedades térmicas foram mantidas segundo o padrão do software: transmitância solar perpendicular de 0,837 e condutividade térmica de 0,9 W/mK (ENERGYPLUS, 2017).

Para a modelagem da ventilação natural e infiltração, considerou-se que a abertura dos dispositivos de ventilação (portas e janelas), ocorre quando a temperatura interna do ar na zona é igual ou superior à temperatura de *setpoint* ( $T_{int} \geq T_{setpoint}$ ) e ainda quando a temperatura interna do ar na zona é igual ou superior à temperatura do ar externo ( $T_{int} \geq T_{ext}$ ), sendo que temperatura de *setpoint* foi mensurada em 23°C. A ocorrência de ventilação é dependente ainda de uma rotina que define esta disponibilidade quando há, no mínimo, uma pessoa ocupando o cômodo (estar ou dormitórios).

Quadro 1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados na modelagem

Material	Espes-sura (m)	Conduti-vidade térmica [W/m.K]	Densi-dade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]	Emissi-vidade	Absortân-cia solar	Absortân-cia visível
Laje piso concreto	0,10	1,75	2300	1000	0,95	0,8	0,8
Paredes concreto	0,10	1,75	2150	1000	0,95	0,5	0,5
Piso cerâmico	0,01	1,05	2000	920	0,95	0,2	0,2
Argamassa assentamento	0,015	1,15	2000	1000	0,95	0,7	0,7
Telha cerâmica	0,01	1,05	1764	920	0,95	0,8	0,8
Forro PVC	0,008	0,21	1470	400	0,9	0,2	0,2
Portas madeira	0,04	0,15	450	230	0,95	0,2	0,2

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

## 2.2 Variações na edificação base

Na totalidade da parede oeste da habitação, onde não há aberturas e encontra-se a sala de estar/jantar, foram testadas três diferentes configurações de fachadas vegetadas, conforme já mencionado. A seguir são descritas as características adotadas em cada modelo.

- Fachada verde direta e indireta: as configurações aplicadas no Energy Plus seguem o proposto por Yoshimi e Altan (2011). Os autores utilizaram como base para validação de sua proposta duas pesquisas anteriores que procuraram uma correlação entre experimento e simulação computacional: Nojima, et al. (1993) e Holm (1989). Assim, o modelo adotado procura representar as camadas equivalentes de uma fachada verde com vegetação trepadeira, com dimensões e características térmicas representativas de cada componente. No caso da FVD, conforme Figura 2a, adotou-se quatro camadas: vapor de água, folhagem, ar e caules. A diferença em relação à FVI é a inclusão de mais uma camada de ar, entre os caules e a parede (Figura 2b). As camadas de caule, ar e folhagem representam a espessura média equivalente de cada um desses componentes dentro da vegetação. Por fim, a camada de vapor de água tem como objetivo representar a água evaporada proveniente da folhagem. O Quadro 2 apresenta as propriedades térmicas de cada camada, configuradas no software. Para as camadas de ar com espessura de 0,1 m, adotou-se  $R = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$  (ABNT, 2005).

Quadro 2 - Propriedades térmicas das camadas configuradas na FVD e FVI

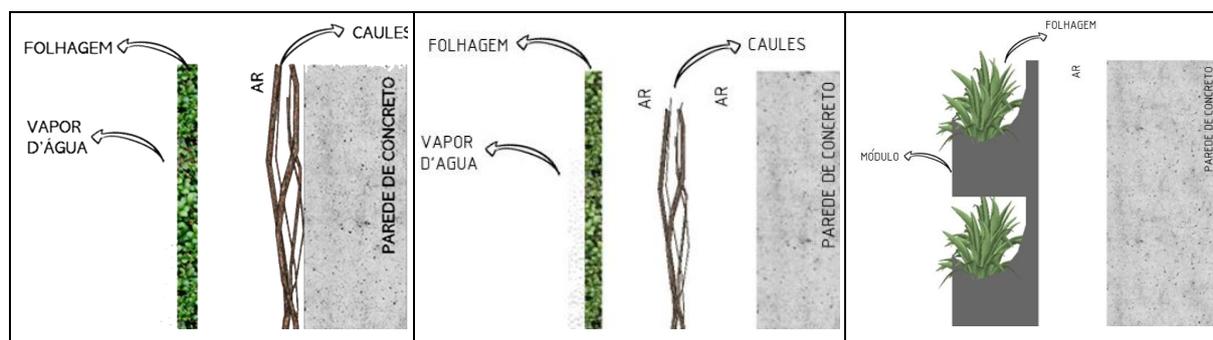
Componente	Espes-sura (m)	Conduti-vidade (W/mK)	Densi-dade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kgK)	Emissi-vidade	Absor-tância Solar	Absor-tância Visível
Vapor de água	0,002	5,56	0,6	1966	0,9	0,72	0,96
Folhagem	0,001	0,4	533	100	0,95	0,7	0,85
Caules	0,015	0,14	110	1880	0,9	0,6	0,6

Fonte: YOSHIMI; ALTAN (2011)

- Parede viva modular: a configuração que procura simular o desempenho de uma parede viva modular foi baseado no proposto por Carlos (2015), onde a vegetação está acondicionada em vasos plásticos que são fixados em uma

estrutura anexada à parede. Para tanto, foi utilizado o parâmetro “Material: RoofVegetation” do Energy Plus, para as configurações de camada de solo e vegetação, cujas características e propriedades térmicas estão discriminadas no Quadro 3. Ainda, foram adicionadas camadas referentes aos módulos plásticos e ao espaço de ar entre estes e a parede. Cabe ressaltar que este parâmetro é indicado para coberturas verdes, não sendo possível afirmar sua compatibilidade quando aplicado em superfícies verticais. O modelo foi assim constituído por três camadas, conforme Figura 2c: vegetação/solo, módulos plásticos e ar. Para os módulos plásticos adotou-se espessura de 0,01m, condutividade de 0,4 W/mK, densidade de 1200 Kg/m<sup>3</sup>, calor específico de 1000 J/KgK e para a camada de ar com espessura de 0,06 m, adotou-se R = 0,17 W/m<sup>2</sup>K, conforme a NBR 15220 (2005).

Figura 2 – (a) Esquema das camadas da FVD; (b) Esquema das camadas da FVI; (c) Esquema das camadas da PVM



Quadro 3 - Propriedades térmicas configuradas no parâmetro “RoofVegetation”

<b>Vegetação</b>	
Altura da vegetação	0,15 m
Índice área foliar (LAI)	3
Refletividade folha	0,22
Emissividade folha	0,95
<b>Solo</b>	
Espessura solo	0,08 m
Condutividade solo seco	0,4 W/m.K
Densidade solo seco	641 Kg/m <sup>3</sup>
Calor específico solo seco	1100 J/Kg.K
Emissividade	0,95
Absortância solar	0,8
Absortância solar visível	0,7

Fonte: CARLOS (2015)

### 2.3 Parâmetros de saída e análise dos resultados

Para avaliar comparativamente o comportamento térmico do ambiente analisado, foram gerados os seguintes parâmetros de saída, nos dias típicos das estações de verão e inverno:

- Temperatura interna do ar na sala de estar/jantar, obtida através do parâmetro de saída “Zone Mean Air Temperature” - sem vegetação e com vegetação;
- Temperatura superficial interna da parede oeste da sala de estar/jantar, obtida através do parâmetro de saída “Surface Inside Face Temperature” - sem vegetação e com vegetação;
- Fluxo de calor por condução (W/m<sup>2</sup>) na parede oeste da sala de estar/jantar, obtido através do parâmetro de saída “Surface Average Face Conduction Heat Transfer Rate per Area” - sem vegetação e com vegetação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os parâmetros avaliados, a temperatura interna do ar na sala de estar, foi o que resultou em pouca alteração quando utilizou-se as fachadas vegetadas, em comparação com o ambiente sem uso da vegetação. Isto provavelmente se deve à influência dos ganhos térmicos advindos das outras faces de paredes da residência e da cobertura, uma vez que estas não foram tratadas termicamente.

Por outro lado, a análise das temperaturas superficiais internas da parede oeste, revelaram que o uso das fachadas vegetadas ameniza os picos de temperatura, em ambas as estações, deixando a superfície termicamente mais estável. No dia típico do verão (Figura 3), em todos os sistemas avaliados, ocorre uma redução na temperatura superficial no período da tarde, situação mais crítica em função da orientação oeste. A parede viva modular tem o melhor desempenho dentre as três, reduzindo em quase 5°C a temperatura superficial interna e durante um período maior, entre 12h e 21h. Nas fachadas verdes direta e indireta, tanto a redução na temperatura quanto o tempo são menores, em torno de 2°C, das 14h às 20h. No caso do inverno (Figura 4), o ganho positivo mais significativo ocorre no período noturno e durante a manhã (entre 21h e 12h), onde as temperaturas superficiais das paredes com vegetação se mantêm mais elevadas. Novamente a parede verde modular possui um desempenho ligeiramente superior em relação às outras duas.

Figura 3 – Temperatura superficial interna da parede oeste no dia típico de verão

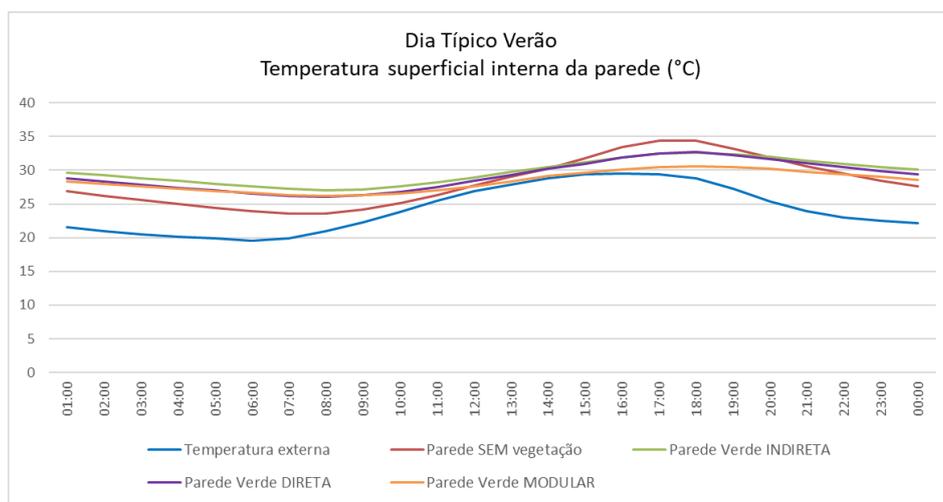
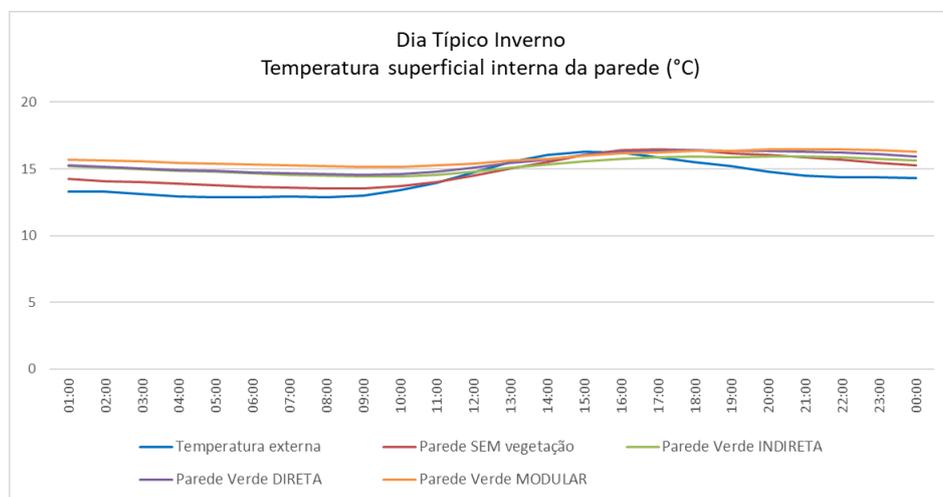


Figura 4 – Temperatura superficial interna da parede oeste no dia típico de inverno



Em relação aos fluxos de calor na parede oeste da sala de estar, percebe-se que nos três sistemas há uma redução em relação à parede sem vegetação. Isto repercute, em geral, em menores ganhos térmicos nos períodos mais quentes e menores perdas de temperatura dos períodos mais frios, o que se torna positivo para o balanço térmico da edificação. Os resultados do dia típico de verão (Figura 5), demonstram que as fachadas vegetadas transferem muito menos calor nos horários mais críticos (durante a tarde) e chegam até a perder calor em alguns momentos, o que é positivo para tornar o ambiente mais agradável termicamente. A parede viva modular apresentou o melhor desempenho, com pequeno ganho de calor somente entre 9h e 13h, enquanto no período da tarde e início da noite apresentou perda de calor significativa. Já no período de inverno (Figura 6), o principal ponto positivo do uso da vegetação está na redução das perdas de calor durante o período noturno e início da manhã. Isto repercute em temperaturas internas mais amenas e menor necessidade de aquecimento nestas épocas.

Figura 5 – Fluxo de calor na parede oeste da sala de estar no dia típico de verão

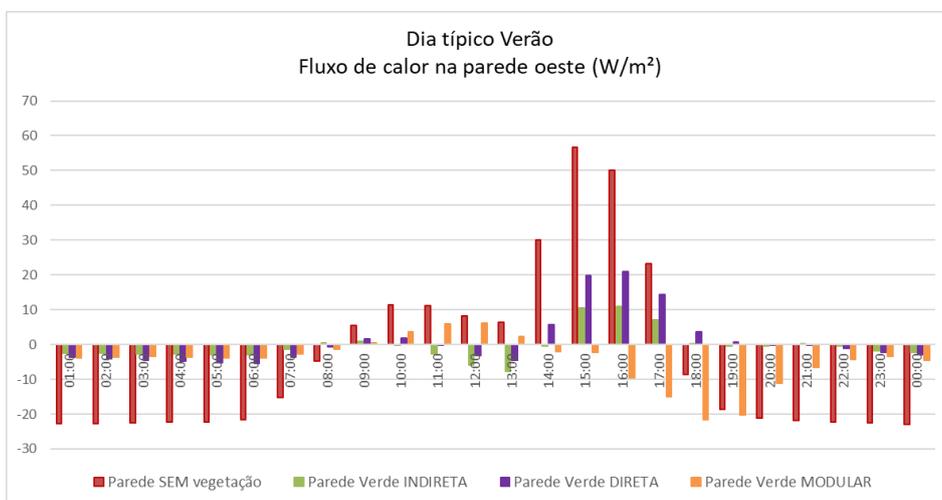
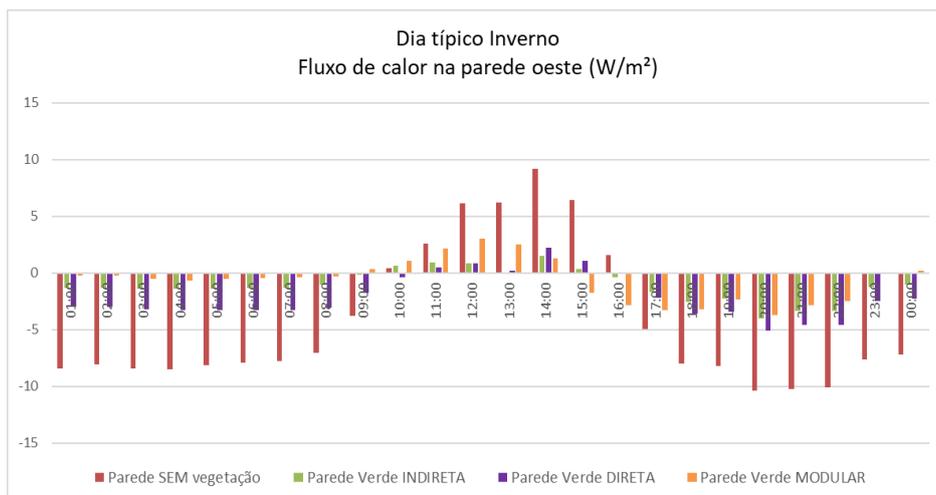


Figura 6 – Fluxo de calor na parede oeste da sala de estar no dia típico de inverno



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados das simulações de comportamento térmico demonstraram que o uso da vegetação tende a deixar as superfícies termicamente mais estáveis, amenizam os picos de temperatura e promovem menores ganhos de calor durante os períodos

mais quentes e menores perdas de calor nos períodos mais frios. Assim, conclui-se que seu uso traz benefícios para o conforto térmico e eficiência energética em edificações inseridas em locais de subtropical.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e FAPERGS pelo financiamento de recursos e bolsas para a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and green facades: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018.
- CARLOS, Jorge S. Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. **Build Simul**, n.8, 2015, p. 3–11.
- DAHANAYAKE, K. W. D. K. C.; CHOW, C. L. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. **Energy and Buildings**, 138, 47–59, 2017.
- DJEDJIGA, Rabah; BOZONNETA, Emmanuel; BELARBIA, Rafik. Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. **Energy and Buildings**, 86, p.93–103, 2015.
- DUNNETT, N.;KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2004.
- ENERGYPLUS. **Software v.8.7**. Washington: U.S. Department of Energy's (DOE), 2017.
- HOLM, D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls: A simulation model. **Energy and Building**, n.14, 1989, p. 19-30.
- INMETRO. **RTQ-R**: Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais. Rio de Janeiro: Inmetro, 2012.
- LARSEN, Silvana Flores; FILIPPI, Celina; LESINO, Graciela. Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. **Solar Energy**, 121, p.56–67, 2015.
- MUÑOZ, L. S.; BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. C.; FARIA, J. R. G. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019013, 2019.
- NOJIMA, Y., OKINAKA, T. et al. Covering effects of climbing plants on wall temperature of concrete building. **Technical bulletin**, Faculty of horticulture, Chiba University, n. 48, 1993.
- PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GONZÁLEZ, J. M.; CABEZA, L. F. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conservation and Management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.
- PODDAR, Sinchita; PARK, Dongyoon; CHANG, Seongju. Energy performance analysis of a dormitory building based on different orientations and seasonal variations of leaf area index. **Energy Efficiency**, 10, p.887–903. 2017.
- SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 34-41, 2011.
- SUSOROVA, I. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In: PACHECO-TORGAL, F; LABRINHA, J. A.; CABEZA, L. F.; GRANQVIST, C.-G. (Org.). **Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs**. Chicago: Elsevier, 2015. p. 127-153.
- WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. **Building and Environment**, v. 97, p. 34-39, 2016.
- WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P.Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N.C. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.
- YOSHIMI, Juri; ALTAN, Hasim. Thermal simulations on the effects of vegetated walls on Indoor building environments. In: **Proceedings of IBPSA International Conference**, Sydney, Australia, p. 1438–1443, 2011.