XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Envoltórias vegetadas e sua contribuição no desempenho térmico de HIS para a zona bioclimática 2

Green facades and its contribution to the thermal performance of housing programs in bioclimatic zone 2

Minéia Johann Scherer
UFSM | Campus Cachoeira do Sul | Brasil | mineiaarq@gmail.com
Luísa Berwanger Ribas
UFSM | Campus Santa Maria | Brasil | luisaberwanger@outlook.com
Janaína Redin
UFSM | Campus Cachoeira do Sul | Brasil | janainaredin27@hotmail.com
Thales Severo Alves
UFSM | Campus Cachoeira do Sul | Brasil | thales-severo@hotmail.com

Resumo
O uso de envoltórias vegetadas em edificações revela-se como uma alternativa aos sistemas convencionais de fechamento ou revestimento, que podem contribuir como estratégia passiva de condicionamento térmico. O objetivo desta pesquisa é avaliar o desempenho térmico de diferentes sistemas de fachadas vegetadas, quando aplicados a uma habitação de interesse social inserida na zona bioclimática 2, através de simulação no software EnergyPlus. Os resultados indicaram que, para climas com grande amplitude térmica anual, a aplicação das fachadas vegetadas é vantajosa tanto no verão quanto no inverno, pela capacidade de reduzir as transferências térmicas entre as superfícies.

Palavras-chave: Envoltórias vegetadas. *EnergyPlus*. Simulação. Desempenho térmico. Habitação de interesse social.

Abstract
The use of vegetated systems in constructions is revealed as an alternative system to the regular envelopes or coating, which can contribute to a passive thermal comfort strategy. The goal of this research is to evaluate the thermal performance of different green facades while applied to housing programs in bioclimatic zone 2, through simulation software EnergyPlus. The results indicate that, for climas with a big thermal range, setting green facades brings benefits both in summer and winter, in virtue of reducing thermal transferences between surfaces.
Keywords: Green facades. EnergyPlus. Simulation. Thermal performance. Housing programs.

Como citar:
SCHERER, M. J; BERWANGER, L.; REDIN, J.; SEVERO, T. Envoltórias vegetadas e sua contribuição no desempenho térmico de HIS para a zona bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

O contexto nacional de construções destinadas à habitação de interesse social visa, principalmente, a redução de custos. Sendo assim, a padronização dos projetos não permite atender particularidades de cada local de implantação e contexto climático. Adequação às melhores opções de orientação solar, uso de estratégias passivas de condicionamento térmico ou a aplicação de materiais construtivos de melhor desempenho, são critérios pouco levados em consideração e que poderiam repercutir em níveis mais adequados de conforto térmico e contribuir para redução de consumo de energia para climatização.

O uso de envoltórias vegetadas na edificação, seja nas fachadas ou na cobertura, é tendência no contexto arquitetônico mundial. Além de representar um elemento compositivo marcante na obra, a vegetação pode contribuir para a qualidade térmica da envoltória, atuando como isolante térmico, componente de sombreamento e contribuindo para a umidificação e resfriamento do ar.

As coberturas verdes atuam como fechamento superior de edificações, sendo constituídas por camada de solo e vegetação, além de outras camadas não orgânicas, pertinentes em cada caso - manta de retenção de substrato; camada de drenagem; manta anti-raiz e impermeabilização [10] [12]. Já 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 [6].

Dentre diversas tipologias de envoltórias vegetadas, este trabalho compara quatro sistemas: fachada verde direta (FVD), na qual espécies trepadeiras aderentes às alvenarias revestem 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), em que espécies de pequeno porte são inseridas em pequenos vasos ou cavidades, com quantidade limitada de substrato; e cortinas verdes (CV), quando usa-se a vegetação trepadeira com função de proteção solar.

Segundo Munõz, et al [13], são quatro os mecanismos pelos quais os sistemas vegetados influenciam na carga térmica das edificações: barreira ao vento, sombreamento, resfriamento evaporativo e isolamento térmico. A barreira ao vento constituída pela vegetação contribui minorando as trocas térmicas por convecção (interessante no inverno, porém em dias quentes pode dificultar seu resfriamento) [2] [15] [20] [21]. Através da evapotranspiração, reduz-se a temperatura do ar e aumenta-se sua umidade proporcionalmente à densidade foliar [19] [21]. Sombreamento e isolamento térmico entram como forma de interceptar a radiação do sol, ao proporcionar menor aquecimento da parede e, assim, menor transmissão de calor à área interna, sendo o efeito diretamente proporcional à cavidade de ar entre vegetação/parede e à densidade da vegetação [2] [15] [20] [21].

A nível mundial, as pesquisas que tratam sobre desempenho térmico de fachadas vegetadas com o uso de experimentos e leituras *in loco*, são maioria [13]. Porém, apesar de ainda escassos e de possuírem certas limitações, estudos baseados em

simulação computacional vem ganhando espaço. Tais limitações referem-se ao pouco acesso a dados precisos acerca das propriedades térmicas da vegetação, bem como a *softwares* de simulação energética (como o *Energy Plus*) não possuírem formas específicas de configurar fachadas vegetadas, fato que torna difícil inserir dados e validar resultados.

No entanto, em função de esse ser um tema relevante e atual, bem como devido a facilidades relativas ao menor emprego de recursos monetários e maior agilidade na obtenção de resultados, pesquisadores vêm testando métodos de simulação das fachadas vegetadas, mesmo que por vezes simplificados. Dessa forma, os resultados são validados através de cálculos ou ao compará-los a experimentos práticos. Alguns desses estudos são de Holm [8], Yoshimi; Altan [22], Djedjig; Bozonneta; Belarbia [5], Carlos [3], Larsen; Fillippe; Lesino [11], Dahanayake; Chow [4], Poddar; Park; Chang [16], Souza; Souza; Gomes [18].

Sobre a influência das paredes verdes no desempenho térmico em habitações de interesse social, destacamos o estudo desenvolvido por Souza; Souza; Gomes [18], por contemplar metodologia e zonas bioclimáticas semelhantes a analisada neste artigo. Os resultados obtidos demonstram que a vegetação na fachada ajudou a manter a temperatura interna mais baixa durante o verão e mais alta durante o inverno, repercutindo em uma alternativa sustentável e de baixo custo a ser implantada nas edificações, com vistas à melhorar seu desempenho térmico.

Dessa forma, este artigo objetiva avaliar o impacto da aplicação de diferentes sistemas vegetados em fachadas, e sua influência no comportamento térmico de uma habitação de interesse social, inserida na Zona Bioclimática 2 (ZB2). O estudo foi realizado através de simulações computacionais pelo *software EnergyPlus*, com parâmetros baseados em configurações aplicadas anteriormente em pesquisas de caráter similar.

METODOLOGIA

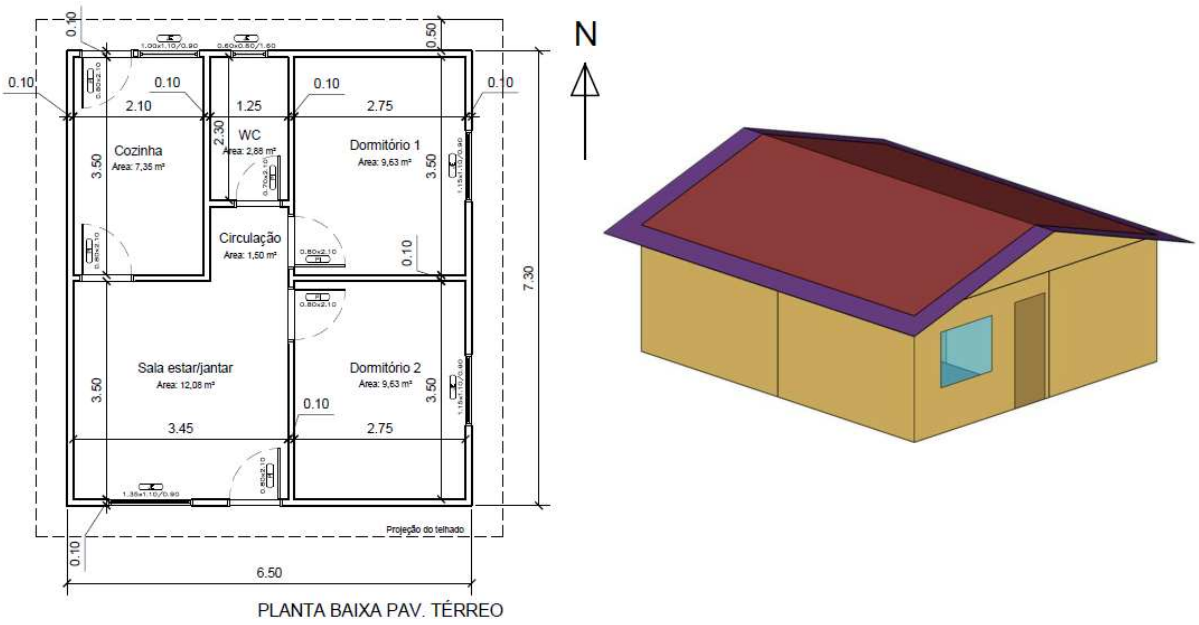
A metodologia do estudo é caracterizada como experimental, com base em simulações computacionais que permitem prever o comportamento térmico de uma edificação. Sendo assim, é dividida em 3 etapas: (i) Definição da edificação base, modelagem e configurações no *Energy Plus*; (ii) alterações na edificação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

EDIFICAÇÃO BASE

De acordo com o objetivo da pesquisa, modelou-se uma residência unifamiliar de interesse social, idealizada conforme modelo do programa do Governo Federal “Minha Casa, Minha Vida” (Figura 1), 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 [7], utilizando o arquivo climático da cidade de Santa Maria, RS, que possui clima subtropical úmido, com as estações do ano bem definidas, verões quentes e invernos frios.

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 1 – Planta baixa da edificação base e perspectiva da modelagem inicial



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 [9], em sua versão ainda vigente no período da realização das simulações deste estudo. 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 [7].

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).

Tabela 1: Propriedades térmicas dos materiais utilizados na modelagem

Material	Espes-sura (m)	Condutivi-dade térmica [W/m.K]	Densi-dade [kg/m³]	Calor específico [J/kg.K]	Emissivi-dade	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:[1].

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 descrito a seguir.

Fachada verde direta e indireta: as configurações aplicadas no Energy Plus seguem o proposto por Yoshimi e Altan [22]. 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. [14] e Holm [8]. 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 W/m²K [1].

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

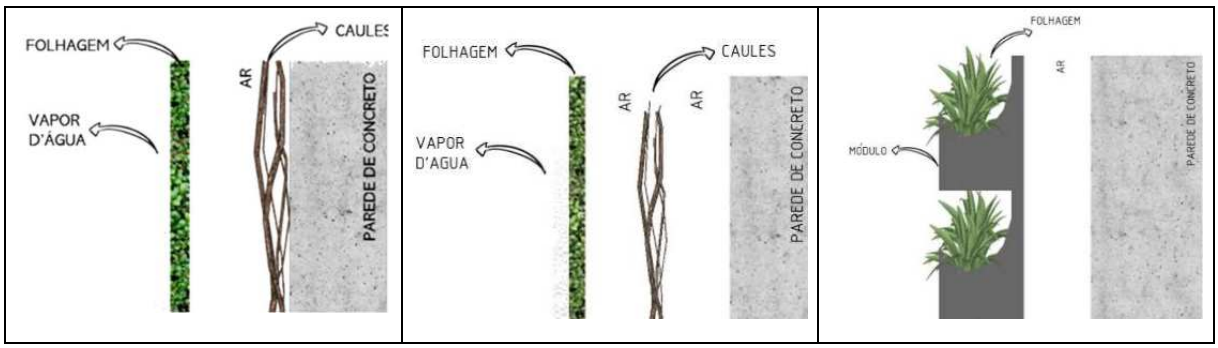
Componente	Espessura (m)	Condutivi-dade (W/mK)	Densida-de (kg/m³)	Calor específico (J/kgK)	Emissi-vidade	Absor-tância Solar	Absor-tância Visível
Vapor de água	0,002	5,56	0,6	1966	0,9	0,72	0,96
Folhagem	0,001	0,4	533	100	0,95	0,7	0,85
Caules	0,015	0,14	110	1880	0,9	0,6	0,6

Fonte: [22].

Parede viva modular: a configuração que procura simular o desempenho de uma parede viva modular foi baseado no proposto por Carlos [3], 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/m³, calor específico de 1000 J/KgK e para a camada de ar com espessura de 0,06 m, adotou-se R = 0,17 W/m²K, conforme a NBR 15220 [1].

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



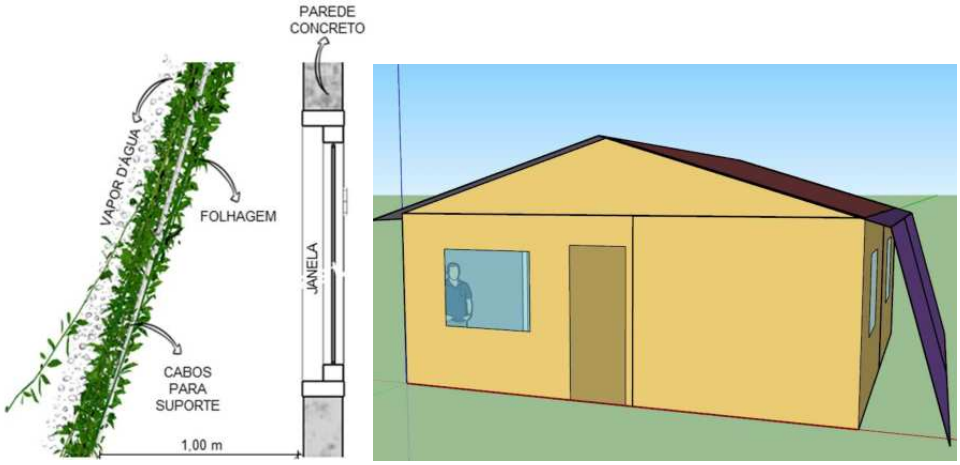
Quadro 3 - Propriedades térmicas configuradas no parâmetro "RoofVegetation"

Vegetação	
Altura da vegetação	0,15 m
Índice área foliar (LAI)	3
Refletividade folha	0,22
Emissividade folha	0,95
Solo	
Espessura solo	0,08 m
Condutividade solo seco	0,4 W/m.K
Densidade solo seco	641 Kg/m³
Calor específico solo seco	1100 J/Kg.K
Emissividade	0,95
Absortância solar	0,8
Absortância solar visível	0,7

Fonte: [3].

Cortina verde: na totalidade da fachada leste, foi aplicado ao modelo um "*Shading Group*" no *plugin Euclid*, simulando a inserção da cortina verde (Figura 3), iniciando com um afastamento de 1,0 m da parede, no nível do solo, e sendo fixada na parte superior na extremidade do beiral (com afastamento de 0,3 m).

Figura 3: Esquema da cortina verde e perspectiva da modelagem na edificação



Foram avaliadas duas situações de sombreamento proporcionadas por este elemento: utilizando vegetação de folhagem perene e outra decídua. Para tanto, no *EnergyPlus* foram criadas agendas de transparência/opacidade, representando a porcentagem de transmissão solar que atravessa a vegetação, de acordo com o grau de fechamento da folhagem, em cada mês do ano, de acordo com experimento realizado por Scherer e Fedrizzi [17]. O Quadro 4 lista os valores adotados para cada vegetação em cada mês do ano.

Quadro 4: Porcentagens de transmissão solar adotadas

Vegetação	Folha	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Lonicera japônica	Perene	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02
Wisteria floribunda	Decídua	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,78	0,86	0,84	0,38	0,1	0,08	0,07

Fonte: [17].

PARÂMETROS DE SAÍDA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar comparativamente o comportamento térmico da residência sem e com a utilização da vegetação nas diferentes formas de aplicação, foram gerados os seguintes parâmetros de saída nos dias típicos das estações verão e inverno:

Quadro 5 – Quadro síntese dos parâmetros utilizados para as análises

Condicionante avaliada	Ambiente	Sistema	Orientação solar	Parâmetro de saída
Temperatura interna	1-Estar/Jantar 2-Dormitório 1	1-Parede Verde 2-Cortina Verde	1-Oeste 2-Leste	*"Zone Mean Air Temperature"*
Temperatura superficial interna parede	1-Estar/Jantar 2-Dormitório 1	1-Parede Verde 2- Cortina Verde	1-Oeste 2-Leste	*"Surface Inside Face Temperature"*
Fluxo de calor (W/m²) na parede	1-Estar/Jantar 2-Dormitório 1	1-Parede Verde 2-Cortina Verde	1-Oeste 2-Leste	"*Surface Average Face Conduction Heat Transfer Rate per Area*"

Fonte: Os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da avaliação dos resultados obtidos com base nos parâmetros definidos para simulação, ao se aplicar as cortinas e as paredes vegetadas às fachadas, percebeu-se que ocorreu mínima diferença na temperatura interna do ar nos ambientes analisados, quando comparados aos ambientes sem vegetação. Possivelmente, tal fato deva-se à influência dos ganhos térmicos provenientes da materialidade, padrão construtivo das demais envoltórias da residência (paredes e cobertura), assim como do modelo das aberturas especificadas, visto que esses não foram termicamente tratados.

Entretanto, as temperaturas superficiais internas das paredes e o fluxo térmico através dela, revelam que existe diferenças significativas entre as situações com e sem a aplicação dos sistemas vegetados. Dessa forma, apresenta-se a seguir análise descritiva dos resultados obtidos nos sistemas adotados, com foco nesses dois parâmetros, procurando reconhecer as melhores opções para aplicação na zona bioclimática 2.

PAREDE VERDE DIRETA (PVD), PAREDE VERDE INDIRETA (PVI) E PAREDE VERDE MODULAR (PVM)

Observando-se os dados gerados (figuras 4, 5 e 6) para os sistemas de paredes verdes percebe-se, no dia típico de verão, maior estabilidade na temperatura superficial interna, sendo que a amplitude térmica diária fica em torno dos 5°C, aproximadamente metade daquela registrada quando não há a utilização das paredes verdes, que fica em torno de 10°C. Apesar de em alguns momentos do dia ter-se registrado temperaturas superficiais internas mais elevadas, o pico de calor foi menor com a aplicação das mesmas, sendo a temperatura máxima em torno dos 31,5°C, enquanto sem a vegetação chegou a cerca de 33,5°C. Resultados semelhantes foram detectados por Sousa, Souza e Gomes [18], onde houve reduções de até 3°C nas temperaturas superficiais internas das paredes com vegetação.

Para o dia típico de inverno é igualmente possível identificar maior estabilidade nos dados de temperatura, sendo essa mais elevada ao longo do dia com as paredes verdes, do que a registrada para a parede sem os sistemas.

Ademais, constatou-se fluxo térmico positivo apenas durante curtos períodos de tempo no dia típico de verão, com a aplicação da vegetação na envoltória. Também, o fluxo térmico negativo nas paredes verdes foi menos intenso no inverno, principalmente no período noturno e início da manhã, o que é benéfico, pois uma vez que se perde menos calor também se diminui a necessidade de aquecimento nessas épocas. Dessa forma, demonstra-se de forma geral um aumento da inércia térmica conferida à superfície, fato positivo para o balanço térmico da edificação uma vez que diminuíram os ganhos térmicos no verão e a perda de calor no inverno.

Figura 4 – Resultados para a parede verde direta (PVD) no dia típico de verão

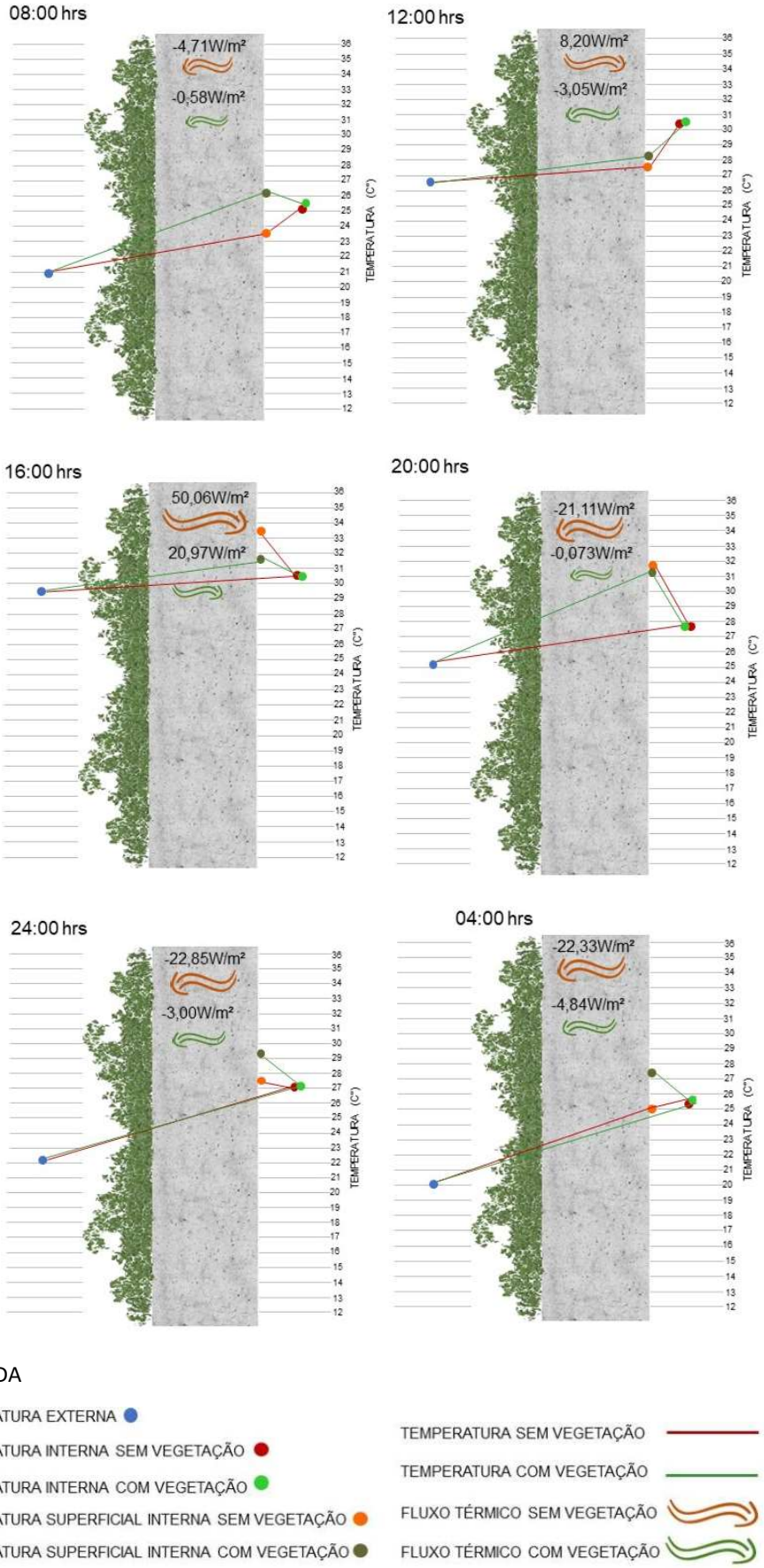


Figura 5 – Resultados para a parede verde direta (PVD) no dia típico de inverno

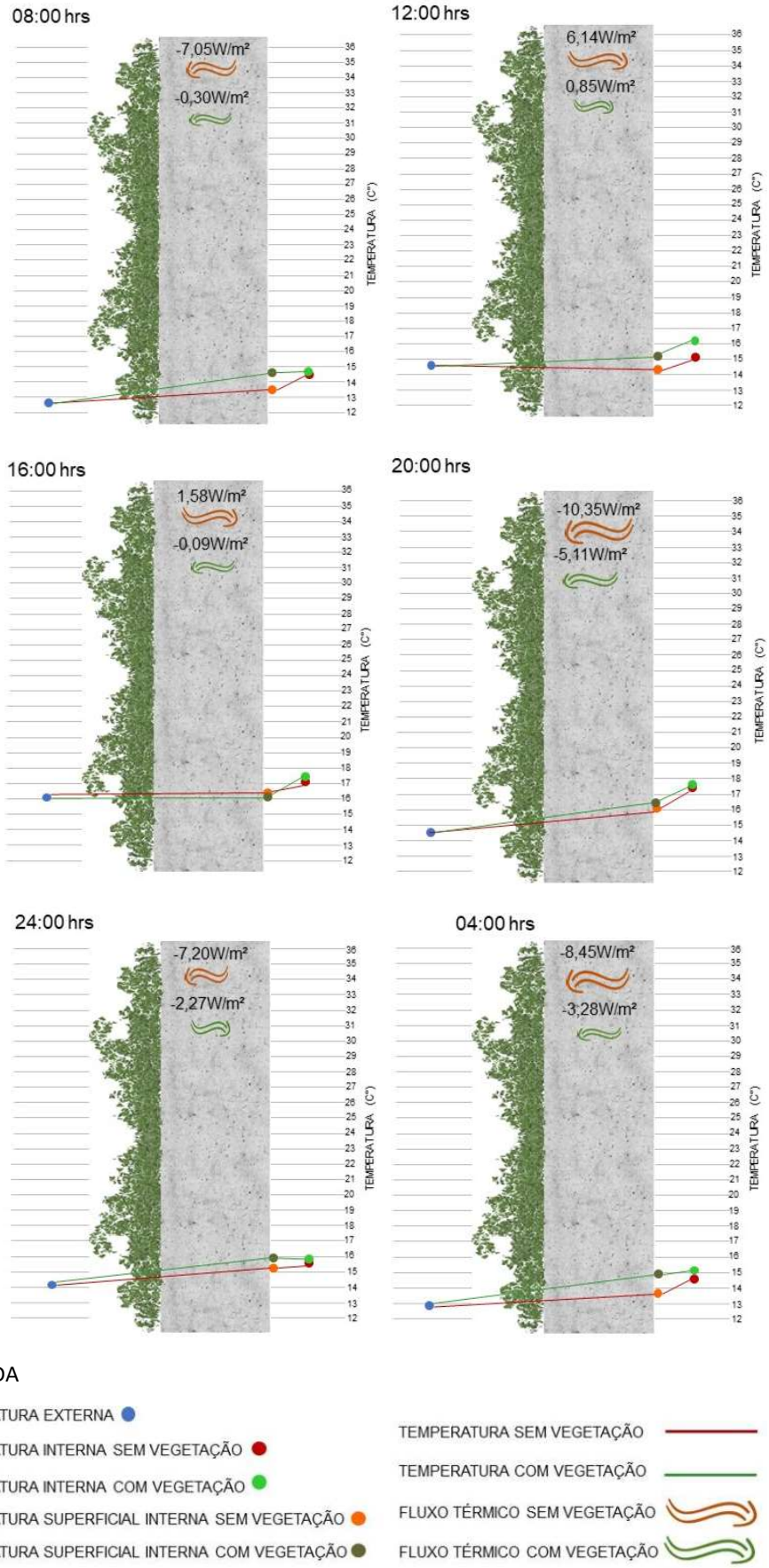


Figura 6 – Resultados para a parede verde indireta (PVI) no dia típico de verão

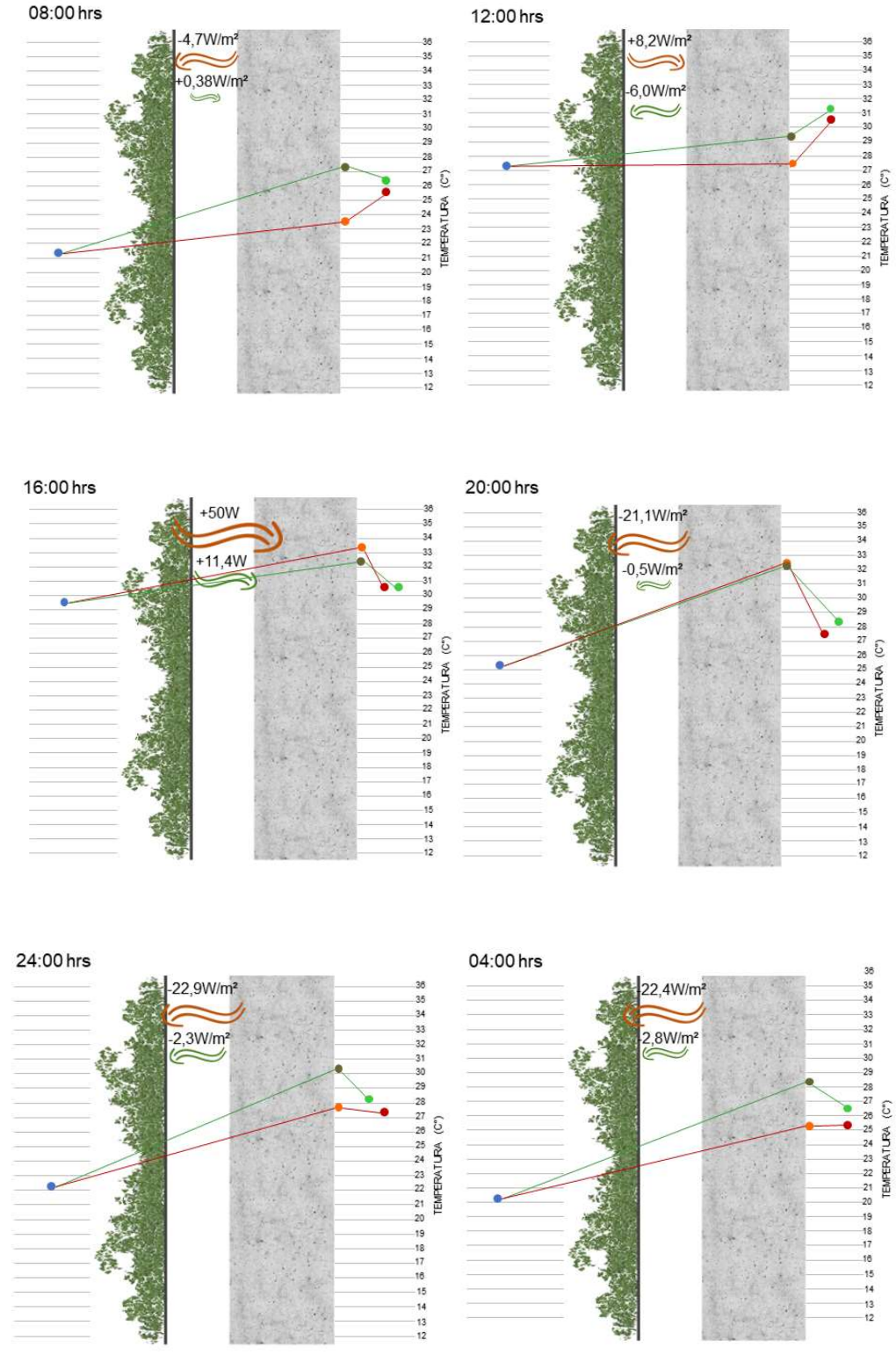


Figura 7 – Resultados para a parede verde indireta (PVI) no dia típico de inverno

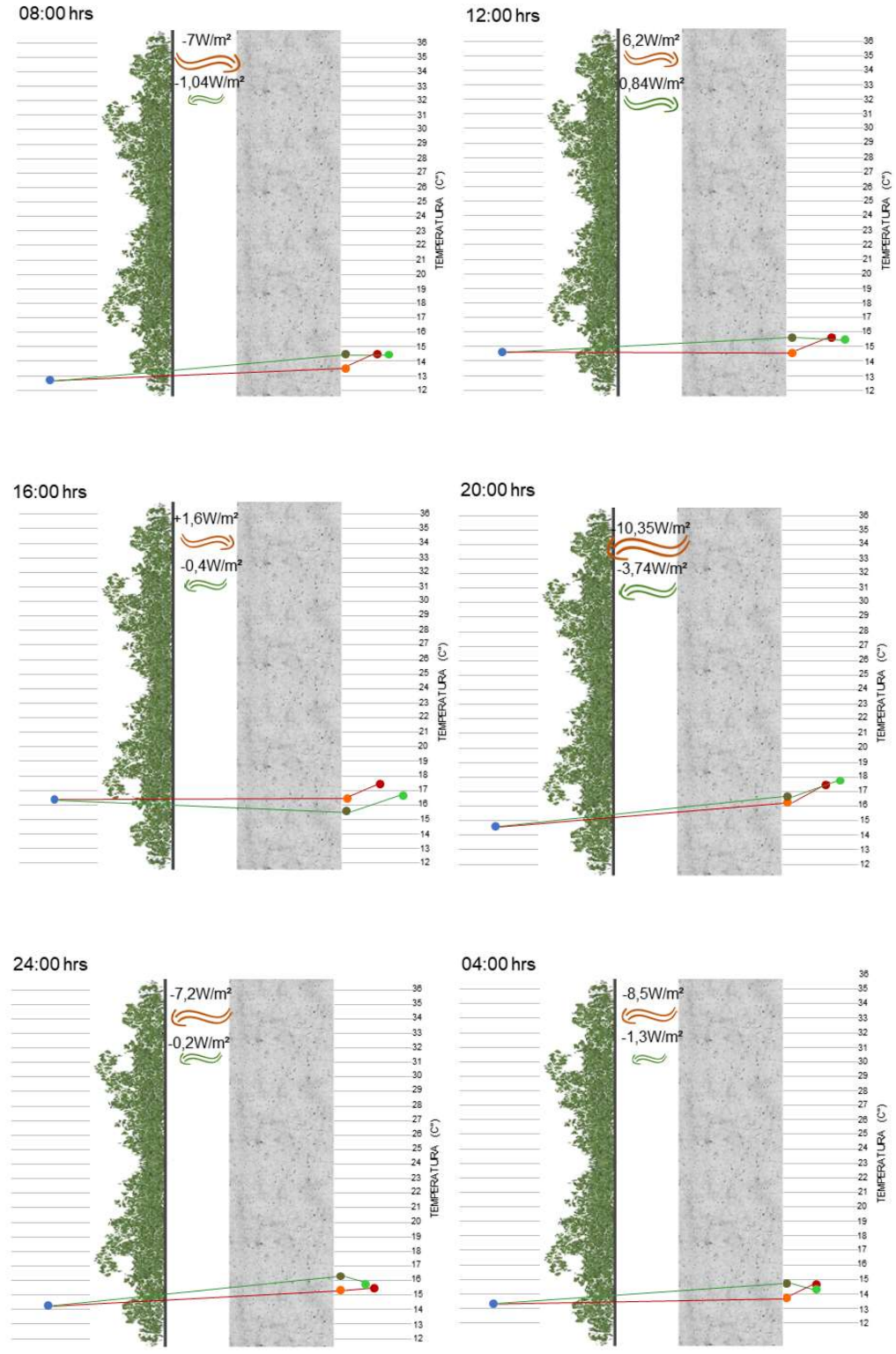


Figura 8 – Resultados para a parede verde modular (PVM) no dia típico de verão

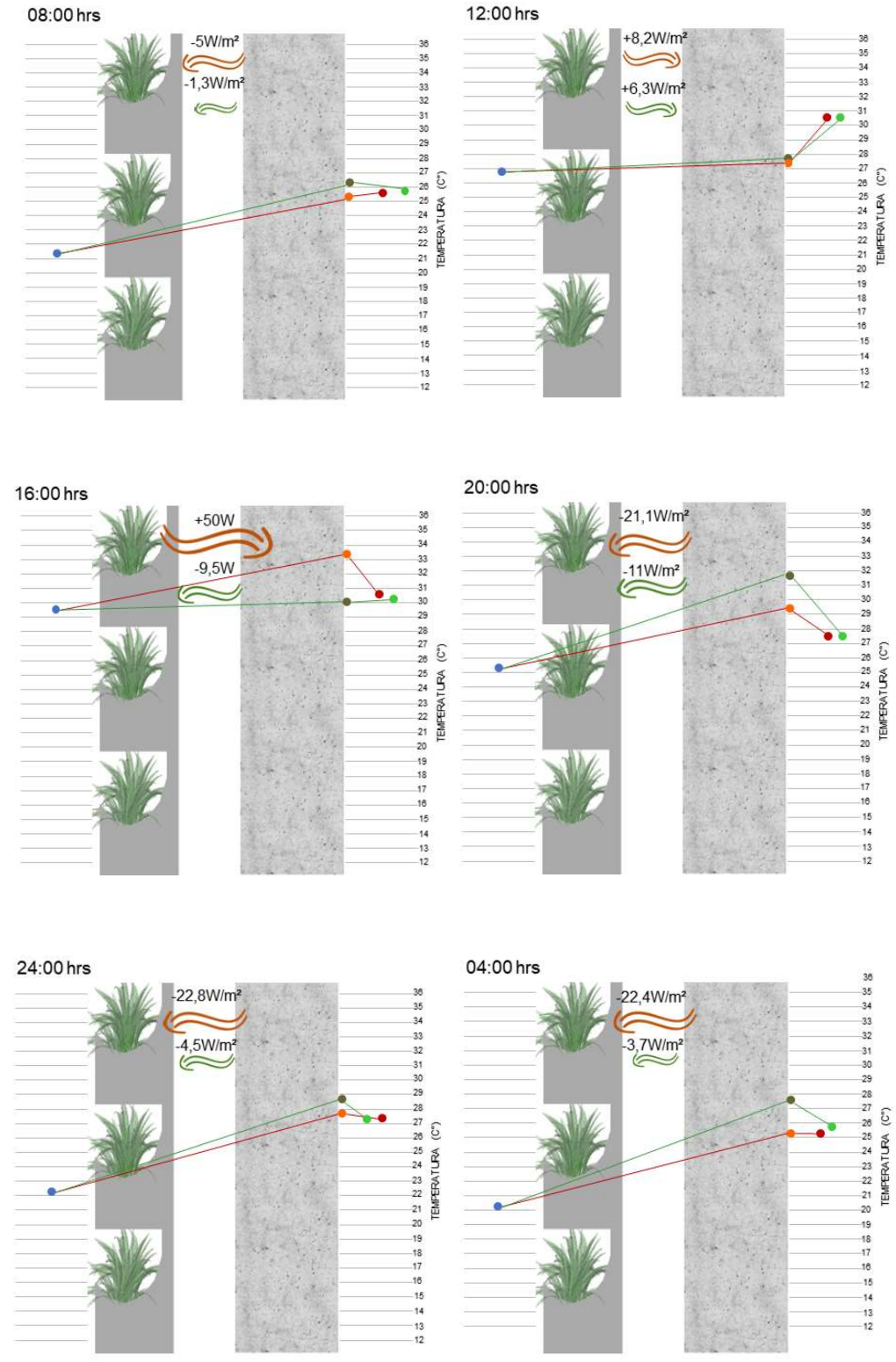
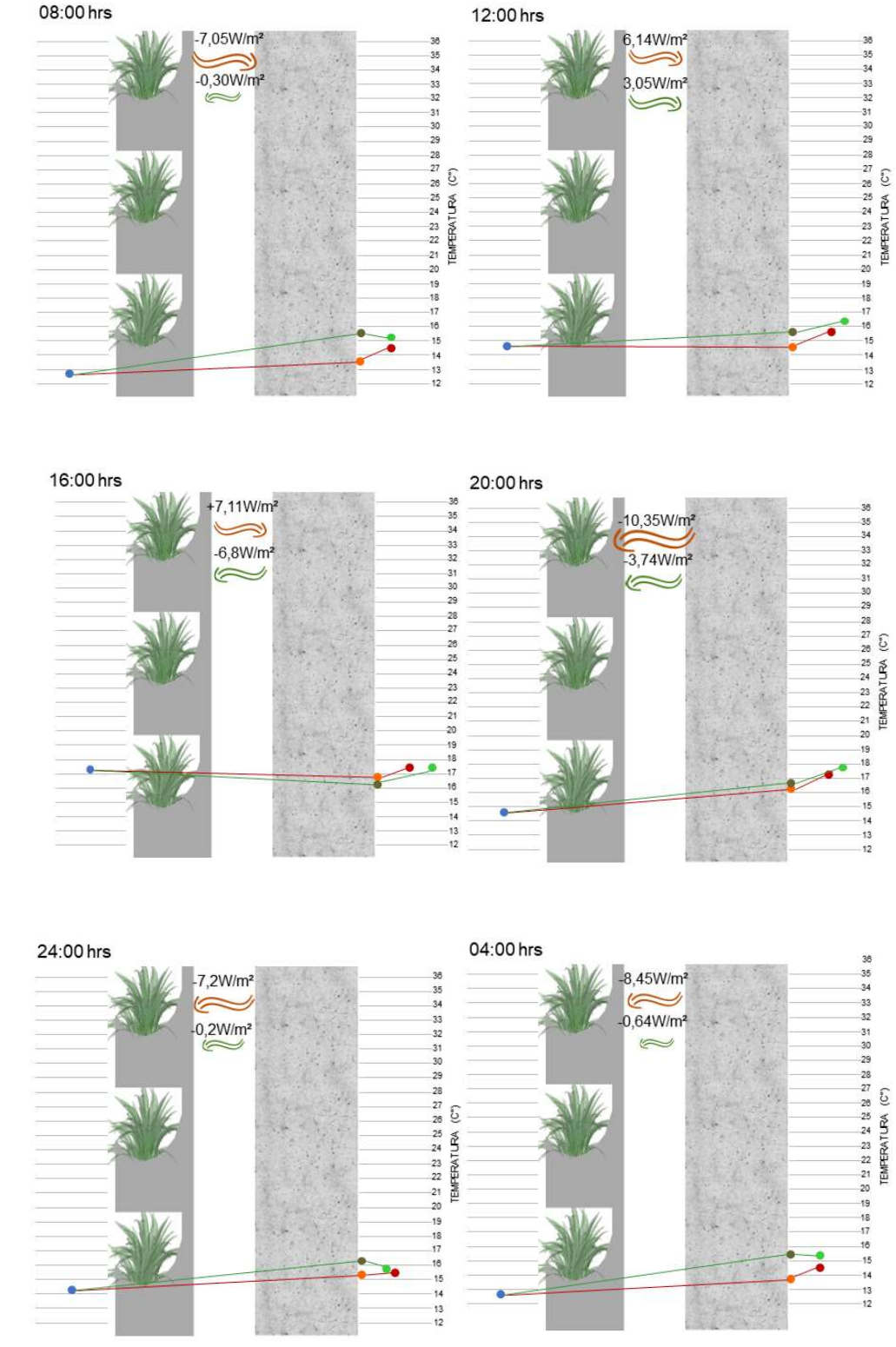


Figura 9 – Resultados para a parede verde modular (PVM) no dia típico de inverno



Assim, quando são comparados os três sistemas, percebe-se que os mesmos possuem características muito semelhantes. A PVD possui níveis de isolamento térmico ligeiramente menores do que a PVI e a PVM, sendo a última a que apresenta melhor performance, com diferença de até -4°C na temperatura constatada no horário mais crítico no dia típico de verão e, no de inverno, de +2,5°C. O sistema que obteve diminuição mais significativa da temperatura da superfície no período do dia mais crítico para a orientação solar avaliada (respectivamente tarde e oeste), foi também a parede viva modular, ao reduzir mais a temperatura e por maior tempo (período entre 12h e 21h).

CORTINA VERDE PERENE (CVP) E CORTINA VERDE DECÍDUA (CVD)

Em relação às cortinas verdes, constatou-se que os benefícios para a temperatura superficial interna são bastante semelhantes aos das paredes verdes. Tanto em matéria de estabilidade térmica, quanto de temperaturas e fluxos térmicos. Pequenas foram as variações nos valores e períodos de tempo, o que se deve às análises terem sido feitas em orientação solar distinta daquela adotada para as paredes verdes (oeste para as paredes e leste para as cortinas).

Os dados obtidos para a CVP (figura 7) e CVD (figura 8) demonstram que, no dia típico de verão, essas, dentre todos os sistemas analisados, representam a maior diferença no pico de temperatura. São cerca de -5°C na temperatura superficial interna em relação a parede sem vegetação, sendo que nas paredes verdes a maior diferença obtida foi de -2°C. Essas também apresentam a maior inércia térmica, com ganho de apenas 6W/m² no horário de pico da radiação (12h), enquanto nas paredes verdes, o menor ganho registrado foi de 6,3W/m², na PVM. Resultados semelhantes foram aferidos por LARSEN, FILIPPI e LESINO [11], onde as temperaturas superficiais no período da tarde ficaram cerca de 1,5°C mais baixas devido ao efeito do sombreamento da vegetação.

Entretanto, observa-se que no dia típico de inverno, a vegetação perene prejudicou o aquecimento da parede. As temperaturas superficiais registradas foram por volta de 1°C menores, com fluxo térmico negativo durante todo o dia. Já com utilização de espécie decídua, os valores encontrados foram praticamente iguais aos da parede sem a aplicação da cortina.

Figura 10 – Resultados para a cortina verde perene (CVP) no dia típico de verão

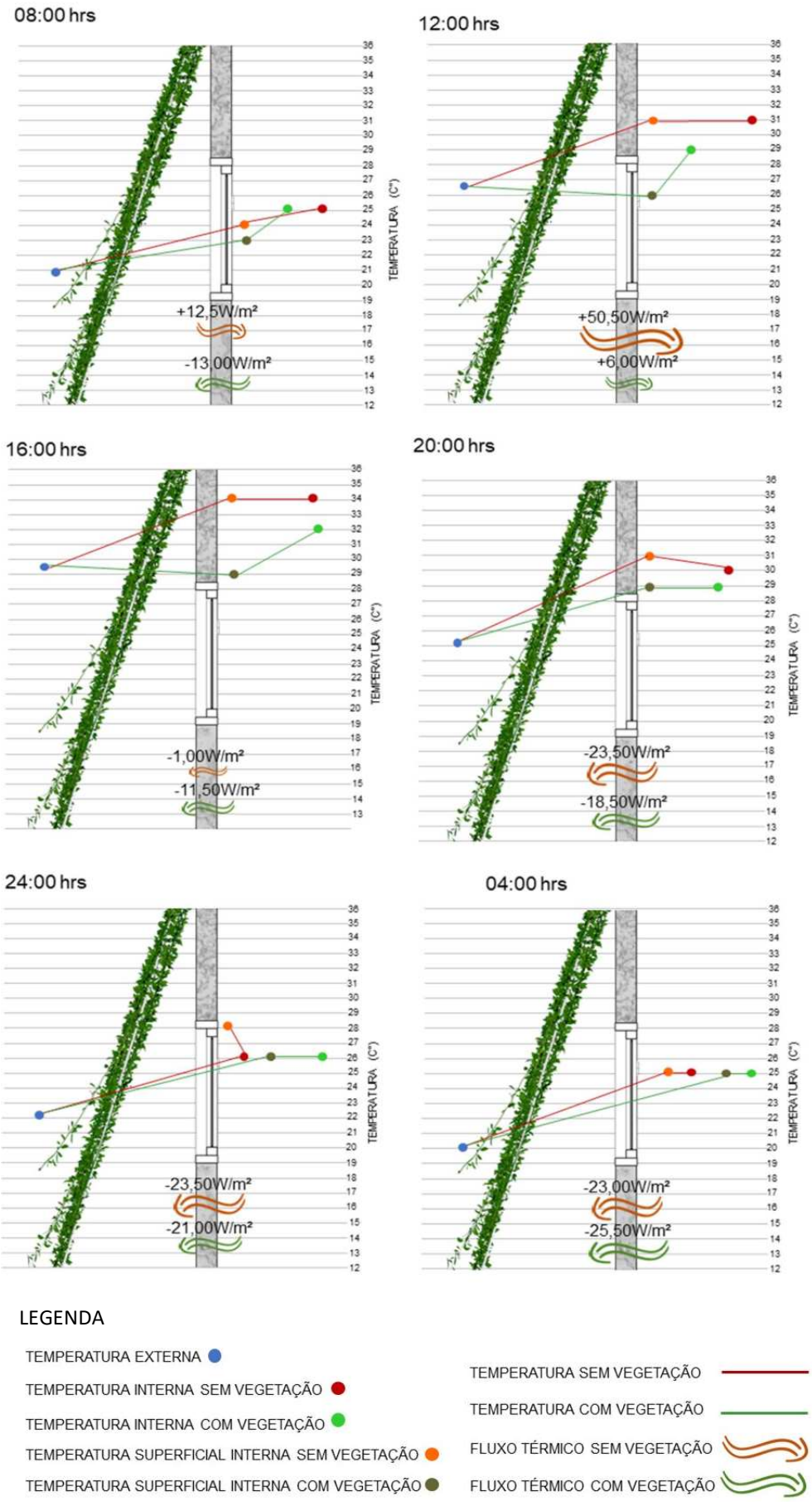


Figura 11 – Resultados para a cortina verde perene (CVP) no dia típico de inverno

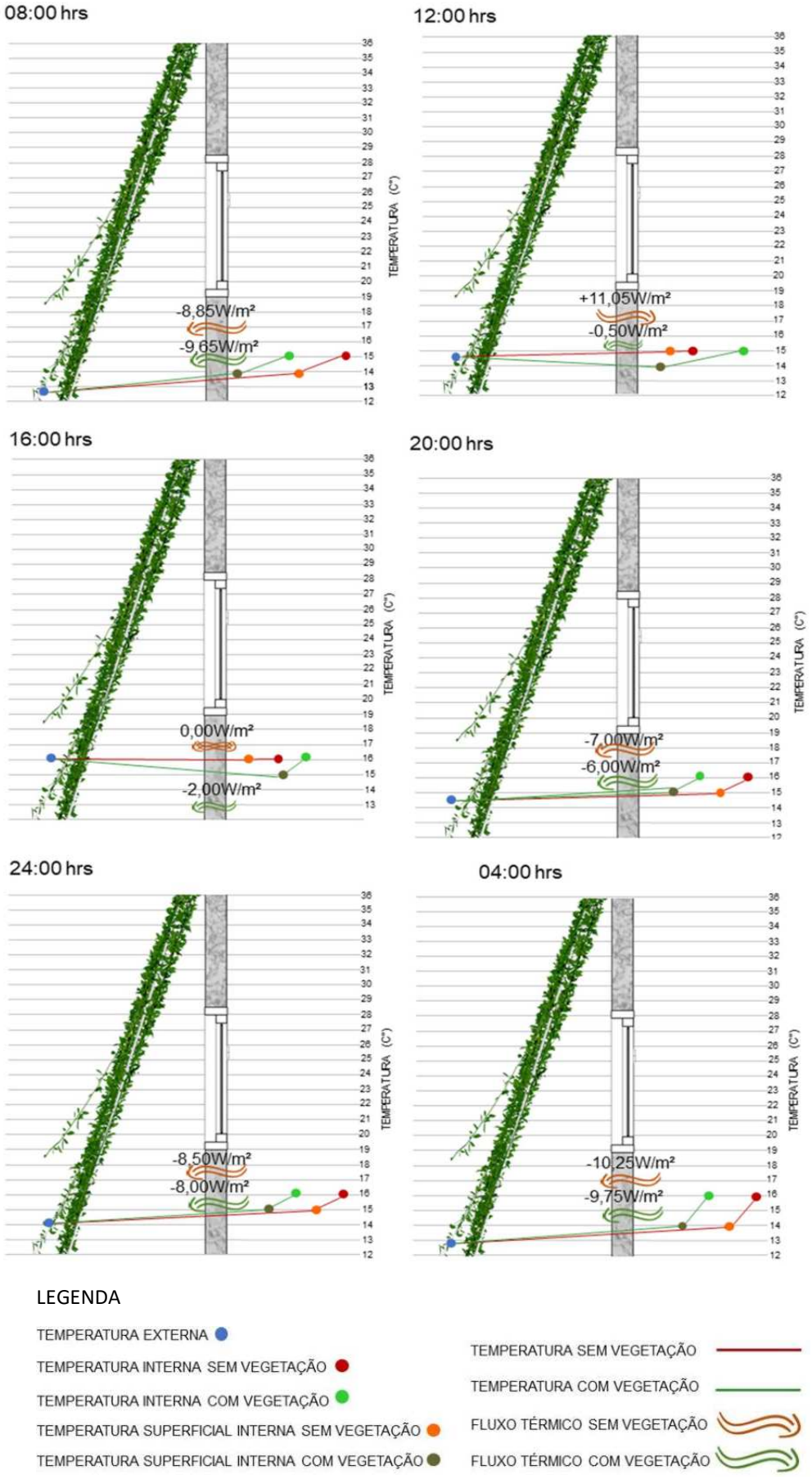


Figura 12 – Resultados para cortina verde decídua (CVD) no dia típico de verão

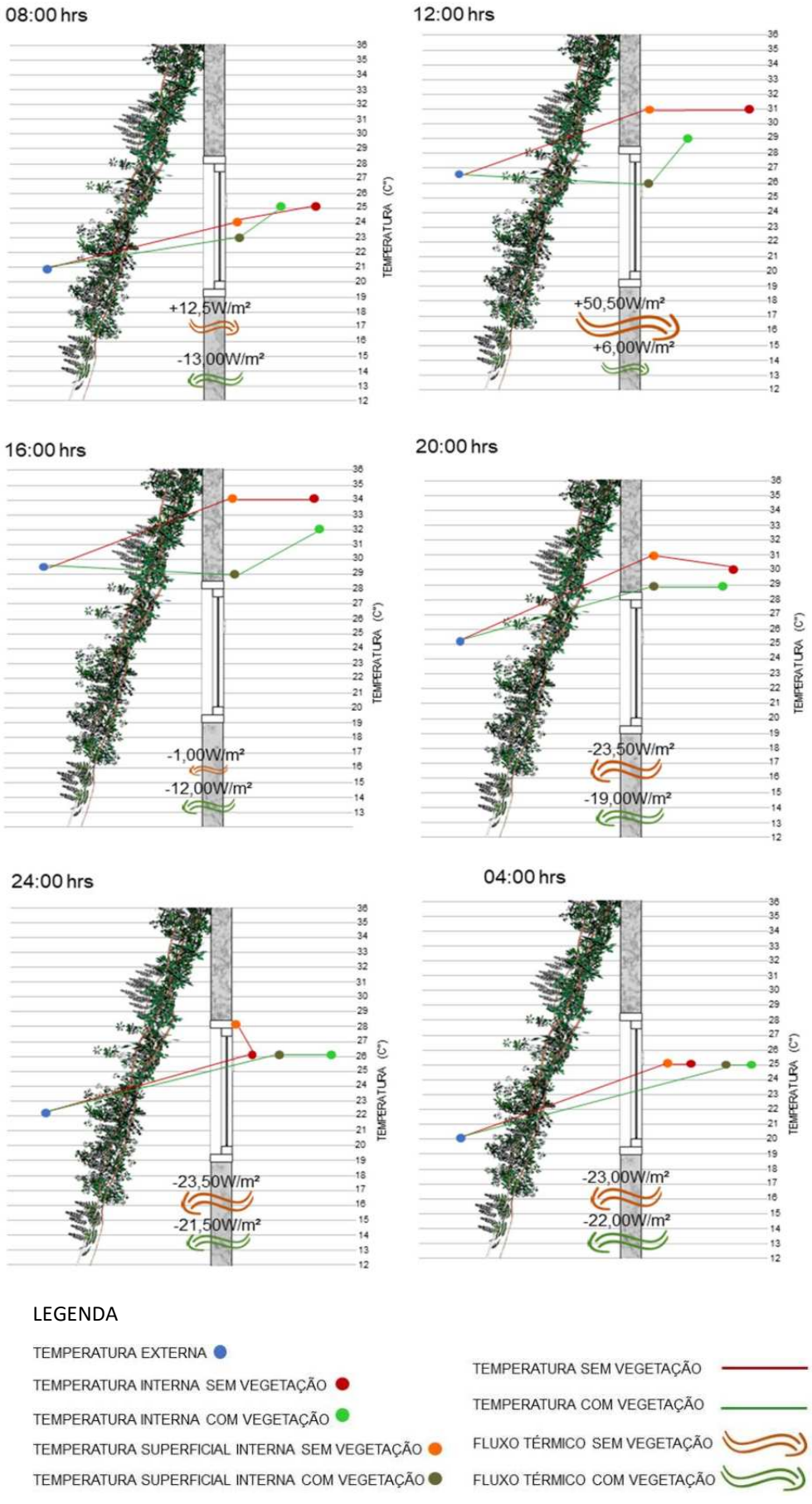
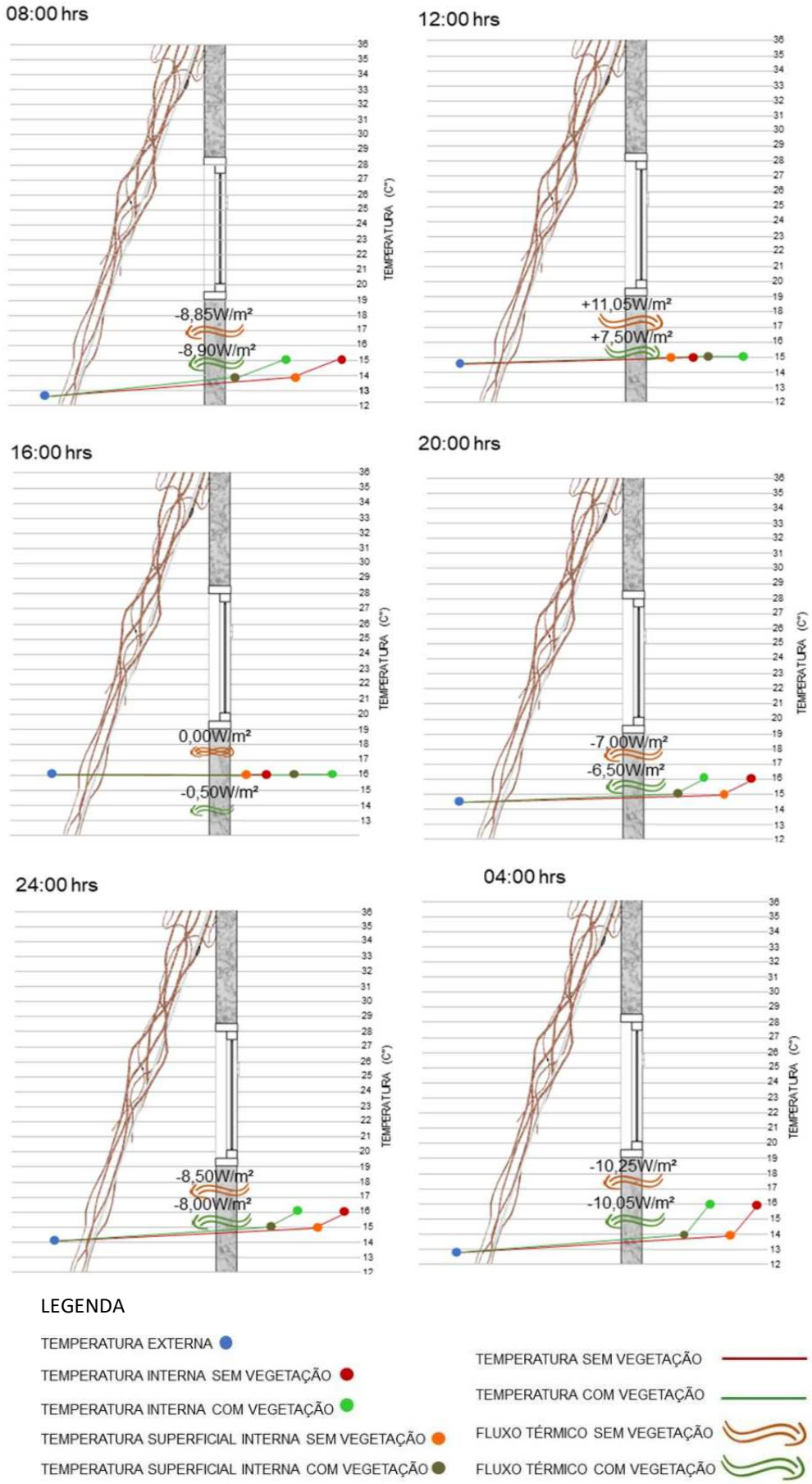


Figura 13 – Resultados para cortina verde decídua (CVD) no dia típico de inverno



CONCLUSÕES

Os resultados das simulações de comportamento térmico demonstraram que o uso da vegetação tende a deixar as superfícies termicamente mais estáveis, a amenizar os picos de temperatura e a promover menores ganhos de calor durante os períodos mais quentes do ano e do dia, assim como diminuir perdas de calor nos períodos mais frios. Este fator de condicionamento térmico passivo é de grande relevância, especialmente em habitações de interesse social, uma vez que repercute em redução do consumo de energia ao longo da vida útil da edificação.

De modo geral, no verão, em todos os sistemas avaliados, os picos de temperatura no período mais crítico do dia foram amenizados e, tanto no verão quanto no inverno, os registros obtiveram maior estabilidade ao longo do dia. Para as paredes verdes, no inverno se registram temperaturas mais elevadas em quase todo o dia, quando comparadas às temperaturas sem aplicação de vegetação. Quanto às cortinas vegetadas, as espécies perenes são igualmente benéficas no verão, reduzindo as temperaturas internas, porém prejudicam o aquecimento das superfícies no inverno. Já as decíduas demonstram melhor desempenho para o clima em questão, pois reduzem os ganhos térmicos no verão sem, no entanto, prejudicar o aquecimento no inverno.

Desta forma, conclui-se que para climas em que existe grande variação de temperatura durante ano (como é o caso da ZB2), a aplicação das paredes verdes é vantajosa tanto no verão quanto no inverno, pela capacidade de reduzir as transferências térmicas entre as superfícies. Já as cortinas verdes decíduas são as mais indicadas quando o mecanismo de ação é o sombreamento de aberturas, uma vez que permitem o acesso dos raios solares nos períodos mais frios do ano, contribuindo para o aquecimento da edificação.

Sobre a simulação computacional como ferramenta para aferição do comportamento térmico de envoltórias vegetadas, entende-se que as limitações do software ainda são um entrave ao seu maior uso, o que demonstra urgência no desenvolvimento de mais pesquisas envolvendo o aprimoramento do programa, de forma a gerar dados mais confiáveis.

Como sugestões para trabalhos futuros, seria importante a verificação do desempenho dos sistemas em outras zonas bioclimáticas, onde predomina o calor ou há grande amplitude térmica diária, assim como a verificação da influência da vegetação na umidade relativa do ar nos ambientes internos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o CNPq e Fapergs pelo financiamento de recursos e bolsas para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] 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

[2] BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and green facades: a comprehensive review. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] DUNNETT, N.;KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2004.

[7] ENERGYPLUS. **Software v.8.7.** Washington: U.S. Department of Energy's (DOE), 2017.

[8] HOLM, D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls: A simulation model. **Energy and Building**, n.14, 1989, p. 19-30.

[9] INMETRO. **RTQ-R:** Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais. Rio de Janeiro: Inmetro, 2012.

[10] JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building Green**: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Greater London Authority, 2004.

[11] LARSEN, Silvana Flores; FILIPPI, Celina; LESINO, Graciela. Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. **Solar Energy,** 121, p.56–67, 2015.

[12] MINKE, G. **Techos Verdes:** Planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo: Fin de Siglo, 2004.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2. 2014

[18] SOUZA, Luana Resende de; SOUZA Henor Artur de; GOMES, Adriano Pinto. Influência de Paredes Verdes no Desempenho Térmico de Habitações Sociais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v.11, 2020.

[19] SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Engeneering**, v. 21, p. 34-41, 2011.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.