

FACHADA VERDE INDIRETA EM EDIFICAÇÃO EDUCACIONAL: ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO E DE MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

INDIRECT GREEN FAÇADE IN AN EDUCATIONAL BUILDING: IMPLEMENTATION STUDY AND ENVIRONMENTAL VARIABLES MONITORING

Lays Távore Silva ¹; Brenda de Oliveira Dutra ²; Keren Francini Baracy ³; Ana Livia Farias Dib ⁴; Elaise Gabriel ⁵; Minéia Johann Scherer ⁶.

¹Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | laystavore@live.com | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil.

²Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | brenadutra309@gmail.com | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil.

³Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | keren.baracy@acad.ufsm.br | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil;

⁴Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | liviafdib9@gmail.com | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil. ⁵Doutora em Engenharia Civil | elaise.gabriel@ufsm.br | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil. ⁶Doutora em Arquitetura | mineia.scherer@ufsm.br | UFSM | Cachoeira do Sul, Brasil.

Resumo:

O artigo apresenta a primeira fase de um experimento conduzido na Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul (RS), que visa avaliar o desempenho térmico de uma fachada verde indireta aplicada a uma edificação educacional. O estudo justifica-se pela crescente necessidade de soluções arquitetônicas sustentáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), especialmente no contexto urbano brasileiro. A pesquisa descreve o processo de planejamento, modelagem, construção e implantação da estrutura de suporte da fachada verde, além da seleção de espécies vegetais (uma perene e uma decídua) e da definição do sistema de monitoramento ambiental. Foram utilizadas as espécies trepadeiras *Thunbergia alata* e *Podranea ricasoliana*. A estrutura consiste em módulos metálicos fixados à fachada norte do edifício, onde sensores ambientais serão instalados para monitorar variáveis como temperatura do ar e da superfície, umidade, radiação solar, precipitação e nível de CO₂. O experimento integra um estudo mais amplo, cuja próxima etapa será dedicada à coleta e análise dos dados monitorados, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico da fachada verde.

Palavras-chave:

Desempenho térmico; Sensores; Perenes; Decíduas; Monitoramento de dados.

Abstract:

This paper presents the first phase of an experimental study conducted at the Federal University of Santa Maria, Cachoeira do Sul campus (RS), aimed at evaluating the thermal performance of an indirect green façade applied to an educational building. The study is driven by the growing demand for sustainable architectural solutions aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (UN, 2015), particularly in the Brazilian urban context. The research details the planning, modeling, construction, and implementation processes of the green façade's support structure, as well as the selection of plant species—one evergreen and one deciduous—and the configuration of the environmental monitoring system. The climbing plants *Thunbergia alata* and *Podranea ricasoliana* were selected for this purpose. The support structure consists of metal modules attached to the building's north façade, where environmental sensors will be installed to monitor variables such as air and surface temperature, humidity, solar radiation, precipitation, and CO₂ concentration. This experiment is part of a broader research project, and the next phase will focus on collecting and analyzing the monitored data to assess the impact of the green façade on the building's thermal performance.

Keywords:

Thermal performance; Sensors; Evergreen; Deciduous; Data monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A implementação de alternativas sustentáveis ao meio urbano tem se tornado cada vez mais necessária, já que as crises climáticas e o esgotamento de recursos naturais intensificam a busca por uma produção arquitetônica que promova baixo impacto ambiental e melhore a qualidade de vida nas cidades. Tais práticas estão diretamente alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (ONU, 2015), especialmente ao ODS 11, que propõe a construção de assentamentos humanos mais inclusivos, seguros e sustentáveis. Dentro deste contexto, o uso de estratégias alternativas aos sistemas construtivos convencionais, como as estruturas verdes, são uma possibilidade, pois ajudam na melhora do desempenho das edificações e têm o potencial de reduzir os impactos ambientais causados por diversos fatores.

As estruturas verdes consistem em infraestruturas que utilizam diferentes materiais e aplicações, mas que tem como principal elemento, o uso de vegetação em suas composições. Ao se referirem a fachadas verdes diretas ou indiretas, Ottelé e Perini (2017) utilizaram os termos sistemas de esverdeamento direto e sistemas de esverdeamento indireto, respectivamente (Manso, Castro-Gomes, 2014). Nas fachadas verdes diretas, o uso de suporte para a fixação da planta não se faz necessário, já que a fixação ocorre diretamente na parede. Já nas fachadas verdes indiretas, um suporte vertical deve estar presente, para que assim, a planta se desenvolva, tendo um “guia” para seu crescimento e direcionamento. Nos dois casos, as plantas podem ser diretamente enraizadas no solo ou em vasos e posteriormente terem o desenvolvimento direcionado ao longo das estruturas e sistemas modulares (Manso, Castro-Gomes, 2014).

Ambas as tipologias atuam como alternativas sustentáveis que podem trazer benefícios em dimensões ambientais, sociais e econômicas: Em dimensões ambientais, favorecem o aumento da biodiversidade e a melhora do microclima das edificações e seu entorno (Muñoz et al., 2019; Bianco et al, 2016). Em dimensões sociais, favorece a interação entre natureza e comunidade e impacta positivamente a saúde e o bem-estar da população, uma vez que o contato com a vegetação está associado à redução do estresse e melhora do humor (Fonseca et al., 2023; Herzog, 2013). Aliado a isto, estudos realizados também mostraram que a importância pública dada aos espaços verdes aumentou substancialmente durante a pandemia da COVID 19 (De Meo et al., 2022) sugerindo que estes contribuem ativamente em questões psicofísicas. Já em dimensões econômicas, promovem a redução passiva de gastos energéticos, tal economia pode ser obtida especialmente pela melhoria do desempenho da envoltória das edificações (Convertino et al., 2020; Fonseca et al, 2023).

Além disso, essas soluções funcionam como elementos estéticos que revitalizam o espaço urbano, contribuem na retenção de águas pluviais e na purificação do ar. Estudos realizados por Ottelé et al. (2010) mostraram que as folhas desempenham uma função de sumidouro para quantidades significativas de partículas finas e ultra prejudiciais à saúde. Outro aspecto relevante é que as superfícies verdes interceptam a radiação solar, contribuindo para a redução do aquecimento de superfícies artificiais, como o asfalto e o concreto, o que atenua os efeitos das ilhas de calor urbanas, com reduções de temperatura do ar que variam entre 2 °C e 4 °C (Ottelé; Perini, 2017). De acordo com Ottelé, Perini (2017), as maiores economias de energia proporcionadas pela vegetação foram observadas em condições climáticas extremas, como baixas temperaturas, ventos fortes e chuvas intensas, com ganhos de eficiência energética entre 40% e 50%. No verão, os efeitos diretos incluem a redução da temperatura do ar e da superfície, bem como a diminuição da carga energética necessária para resfriamento. Já no inverno, as fachadas verdes do tipo “pele dupla” apresentam vantagens significativas, como o aumento do isolamento térmico, impulsionado tanto pela camada vegetal quanto pelo espaço de ar intermediário, que atua como uma barreira térmica e contra o vento (Convertino et al., 2020).

Nos últimos anos, as fachadas verdes passaram a receber atenção crescente na pesquisa científica. No entanto, apesar dos avanços já alcançados, ainda existem lacunas importantes no conhecimento, especialmente no que diz respeito ao desempenho real dessas tecnologias e aos fatores que o influenciam. Neste contexto, este artigo tem por objetivo apresentar a primeira fase

de um estudo que visa avaliar o desempenho térmico de fachada verde indireta, aplicada em edificação educacional. Nesta primeira etapa, o foco é detalhar o planejamento e implantação da fachada verde, sua estrutura e o sistema de monitoramento de variáveis ambientais.

2. MÉTODOS

2.1 LOCAL E CONTEXTO CLIMÁTICO

A fachada verde analisada está instalada nas fachadas norte dos Laboratórios 11 e 12 do prédio C4 da Universidade de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul (Figura 1). O local se encontra afastado do centro urbano, sem construções ao redor que influenciem na fachada estudada, com exceção dos blocos já existentes da universidade, que não oferecem sombreamento ou influência direta no estudo. A altitude local é de cerca de 26 metros acima do nível do mar, abrangendo os biomas Pampa e Mata Atlântica. De acordo com a classificação clássica de Koppen (WMO, 2006), o clima é Subtropical Úmido (Cfa) e geralmente apresenta verões quentes e úmidos e invernos amenos a frios. A temperatura média anual é de 19,1 °C, e os verões são longos e quentes, e comumente, a temperatura máxima diária do ar atinge 25,1 °C. Durante o inverno, as temperaturas frequentemente caem para valores até 14,2 °C, em média, durante a noite (INMET, 2018), figura 1.



Figura 1: Localização da fachada de estudo, em vermelho, no campus da UFSM.

Fonte: Google Maps (2025).

2.2.2.2 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO SISTEMA, ESPÉCIES E VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para a definição da estrutura, espécies e variáveis ambientais a serem monitoradas no projeto, foram analisados diversos artigos com temática correlata, que envolvem experimentos com paredes verdes indiretas e espécies variadas de trepadeiras (decíduas e perenes), em diferentes zonas climáticas. O Quadro 1 sintetiza os principais dados levantados.

Referências	Tipo de Estrutura	Espécie	Variáveis Monitoradas
Pérez et al. (2011)	Estrutura modular de treliça composta de fios e chapa de aço desdobrável	<i>Hedera helix</i> (perene), <i>Lonicera japonica</i> (perene), <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (decídua), <i>Clematis Sp.</i> (decídua), <i>Wisteria sinensis</i> (decídua)	Iluminância intermediária e externa, temperatura ambiente intermediária e externa, umidade relativa ambiental intermediária e externa, temperatura superficial do ambiente, velocidade do vento no exterior
Gabriel et al. (2023)	Treliça de corda instalada na metade oeste da habitação	<i>Wisteria floribunda</i> (decídua)	Temperatura externa do ar, temperatura da superfície externa e interna da fachada verde, radiação solar, velocidade do ar, temperatura e umidade interna do ar e temperatura da superfície externa e interna da parede exposta

Pérez et al. (2017)	Tela simples de aço ancorada, com um conjunto de parafusos, a 20 cm de distância da parede	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (decídua)	Temperaturas superficiais internas e externas das paredes, temperatura do ar externo, temperatura e umidade ambiente interna, temperatura internas do teto e do piso, consumo elétrico do sistema HVAC, irradiação solar horizontal global, temperatura e umidade do ambiente externo
Blanco et al. (2017)	Estrutura de alumínio galvanizado, com duas camadas de esteiras sintéticas não tecidas enraizáveis e duas geogrelhas. Em cada painel, seis bolsos foram cortados para hospedar uma planta cada	<i>Lonicera nitida</i> (perene) <i>Bergenia cordifolia</i> L. (perene)	Fluxo de calor através da parede verde, temperatura externa e interna do ar, radiação solar, temperatura interna e externa da superfície.
Ip, Lam e Miller (2010)	Estrutura metálica, cordas e hastes fixadas com grampos transversais, formando treliças com espaçamento de 15 cm x 20 cm, âncoras metálicas	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (perene)	Transmissividade foliar, área da camada foliar, coeficiente de bio sombreamento, radiação solar, fluxo solar, cobertura foliar, conforto térmico, temperatura do ar, temperatura radiante
Sunakorn e Yimprayoon (2011)	Estruturas verticais de aço, tela transparente, treliça modular	<i>Thunbergia grandiflora</i> (perene)	Temperatura do ar, desempenho térmico, umidade relativa e velocidade do ar
Vox, Blanco e Schettini (2018)	Estrutura selada na parte posterior, folhas de poliestireno expandido, tela metálica	<i>Pandorea jasminoides variegata</i> (perene), e <i>Rhyncospermum jasminoides</i> (perene)	Temperatura do ar externa, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura superficial externa, sombreamento
Zhang et al. (2019)	“Grade” de plantio de tela metálica revestida de plástico de dimensões de 2,1 m x 2,1 m	<i>Pyrostegia venusta</i> (perene)	Radiação global vertical, radiação infravermelha vertical, temperatura da superfície/ar, temperatura do globo, velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, fluxo de calor, consumo de energia elétrica do ar-condicionado
Yang et al. (2018)	“Moldura” para suporte, tela metálica	<i>Mucuna sempervirens</i> (perene)	Desempenho de resfriamento, índice de área foliar, temperaturas de superfícies da pele vegetal externa e da fachada de alvenaria, temperatura do ar da cavidade, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura global
Kenai et al. (2018)	Telas com malha quadrada de 5 x 5 cm	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (decídua), <i>Hedera helix</i> (perene)	Porcentagem de ocultação, taxa de cobertura, efeito energético de uma máscara solar, desempenho térmico da envoltória, fluxo de calor e temperatura, temperatura das superfícies, radiação solar, temperatura do ar

Lee, Jim (2017)	Tipo escalador de corda de arame, cabos de aço verticais instalados com espaçamento entre cabos de 0,3 m. Vasos suspensos de 4,5 m de comprimento, 1,0 de largura e 0,3 m de profundidade. Vaso de 1,0 m de largura e 0,6 m de profundidade no nível do solo.	<i>Lonicera japonica</i> (perene em áreas quentes e caduca em climas mais frios), <i>Wisteria sinensis</i> (decídua)	Temperatura do ar, temperatura das superfícies, temperaturas médias diurnas e noturnas, fluxo líquido de radiação
-------------------------------	--	---	--

Quadro 1 - Artigos de Referência

Conforme apresentado no Quadro 1, observa-se que a maioria dos estudos se concentrou na avaliação da influência de fachadas verdes indiretas com o uso de espécies vegetais perenes. Entretanto, os trabalhos de Pérez *et al.* (2011) e Kenai *et al.* (2018) foram fundamentais para a definição das espécies vegetais utilizadas neste projeto, por abordarem tanto plantas perenes quanto decíduas. Essa abordagem mostrou-se especialmente interessante, considerando que a estrutura verde está posicionada em frente a duas salas distintas, possibilitando comparações mais significativas entre os dados quantitativos obtidos a partir de diferentes tipologias vegetais.

Em relação aos tipos de estruturas, as mais utilizadas foram treliças de diferentes materiais e telas. As estruturas descritas por Yang *et al.* (2018) e Kenai *et al.* (2018) influenciaram na escolha da tipologia e layout da estrutura da fachada verde, por disporem de molduras, malhas e módulos, infraestruturas que se adequam melhor a fachadas de extensões maiores, como a do experimento. Sobre as variáveis monitoradas, em todos os estudos, as que mais se repetem são a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura das superfícies externas e internas. Para o experimento, as variáveis que serão monitoradas, se adequam as que são analisadas e apresentadas por Gabriel *et al.* (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MODELAGEM DA ESTRUTURA DE SUPORTE

A Figura 1 apresenta as etapas de planejamento para implantação da estrutura que serve de suporte para a fachada verde indireta. Na primeira hipótese modelada (Figura 2a), a estrutura se estende por toda a largura das esquadrias, com comprimento de 16,41 m, sendo prolongada também, do nível térreo ao segundo pavimento. Para fixação na superfície sólida, utiliza mão francesa de metal, com dimensões de aproximadamente 0,70m, e para a sustentação da vegetação, tela metálica, com espaçamento de 0,10 m por 0,10 m, duas barras de metal, perfis metálicos (colocados nas extremidades laterais da tela), ganchos e estacas, para a ancoragem do sistema ao solo. O resultado desta primeira modelagem demonstra o uso de materiais de modo excessivo, com sistema estrutural inadequado para a carga projetada (Figura 2a).

Na segunda modelagem (Figura 2b) a estrutura é implantada somente no pavimento térreo. A partir desta mudança, as variáveis ambientais são monitoradas no pavimento térreo, com duas salas sob a influência da fachada verde e o segundo pavimento será utilizado para o monitoramento controle (dados sem a influência das plantas). A tubulação pluvial e as unidades externas dos ares-condicionados foram consideradas na modelagem, o que resultou em uma inclinação maior, aumentando a camada de ar entre a parede e a estrutura (Figura 2b).

Na terceira modelagem (Figura 2c), a estrutura é segmentada em duas seções, cada uma posicionada em frente a uma das salas do laboratório. Nesse modelo o sistema é composto por módulos, sendo que cada um possui uma tela metálica fixada a uma moldura de perfis. A estrutura possui maior estabilidade, através dos perfis horizontais, presentes entre as molduras.

A distância da estrutura em relação a parede é de aproximadamente 2,13 m na parte inferior, e na parte superior, de aproximadamente 0,50 m. O espaçamento entre cada estrutura é de aproximadamente 0,78 m. As distâncias adotadas entre os elementos da estrutura e edificação são definidas visando um posicionamento adequado para a inserção dos sensores, que serão utilizados na próxima etapa do projeto (Figura 2c).

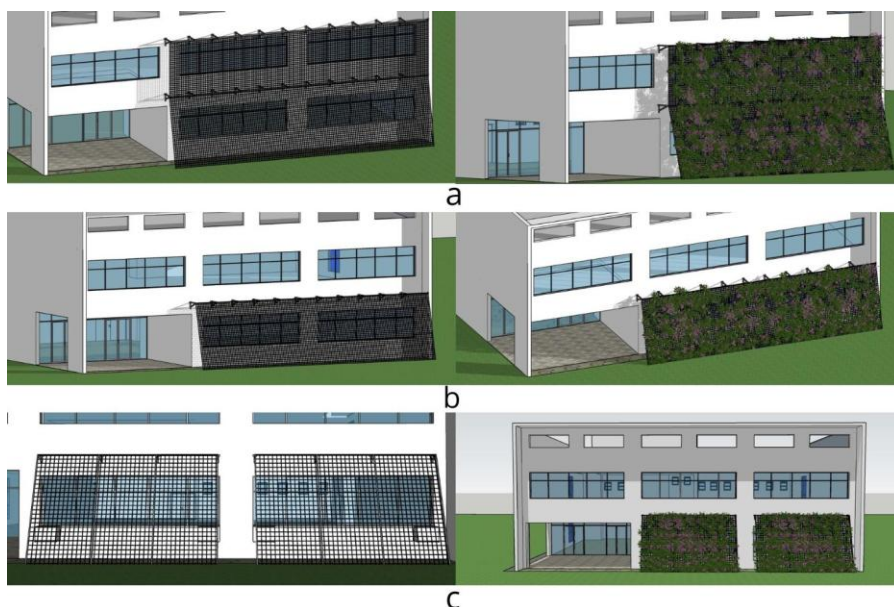


Figura 2: Etapas da modelagem da estrutura de suporte.
Fonte: Autores (2024).

3.2 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE SUPORTE

A definição final da estrutura de suporte do sistema de fachada verde indireta parte do desenvolvimento do protótipo inicial (Figura 3a). O protótipo é fundamental, pois serve como base para os ajustes necessários, prévios à implementação. Este permite a verificação da viabilidade, estabilidade, funcionalidade e integração do sistema ao espaço determinado para sua implantação. A partir dessa etapa de experimentação e das modelagens tridimensionais, foram definidas as principais características da estrutura, como espaçamento, dimensões e materiais (Figura 3a).

Desta forma, o suporte para implementação da fachada verde indireta, utilizou oito módulos para sua composição final (Figura 3b). Esses módulos foram fixados às paredes, por meio de mãos francesas. Para essa fixação, foram utilizados 30 parafusos de 0,01 m. A escolha do posicionamento superior da estrutura considerou os elementos estruturais do edifício, por conseguinte, esta parte do sistema foi localizado acima da viga existente sobre as esquadrias dos laboratórios, para que não houvesse danos à estrutura. Os módulos das extremidades das fachadas verdes possuem as dimensões de 1,0 m x 1,0 m, que corresponde às dimensões do protótipo inicial. Os módulos centrais possuem dimensões de 2,0 m por 1,0 m, sendo cada módulo formado por uma estrutura metálica que utiliza quatro perfis para sua moldura. Entre as molduras, são fixadas telas de aço, com espaçamento de 20 cm x 20 cm. A estrutura possui três perfis, posicionados horizontalmente, que são utilizados para estabilizar as telas e para proporcionar uma sustentação maior para a vegetação, (Figura 3b).



Figura 3: Protótipo inicial e estrutura instalada.

Fonte: Autores (2024).

3.3 SELEÇÃO E PLANTIO DAS ESPÉCIES

A escolha das espécies foi feita com base no levantamento bibliográfico citado no item 2.2, visando a comparação futura entre espécies perenes e decíduas mais adequadas ao clima do local do experimento. Dessa forma, foram selecionadas duas espécies, de acordo com a disponibilidade local: a *Thunbergia alata* e a *Podranea ricasoliana* (Figura 4).



Figura 4. Espécies selecionadas, *Thunbergia alata* e *Podranea ricasoliana*

Fonte: Autores (2025).

A *Thunbergia alata* é uma trepadeira herbácea pertencente à família *Acanthaceae*. Destaca-se por suas flores vistosas, predominantemente alaranjadas com centro escuro, e por seu crescimento acelerado. Trata-se de uma planta perene, apresentando ciclo de vida adaptável conforme as condições ambientais (Sunakorn; Yimprayoon, 2011). Por sua vez, a *Podranea ricasoliana*, é uma trepadeira lenhosa da família *Bignoniaceae*, com ciclo de vida anual. Possui flores tubulares, de coloração rosada e aroma suave (Jim, 2015). Ambas as espécies apresentam boa adaptabilidade, baixa exigência de manutenção e elevado valor ornamental, contribuindo visualmente para o projeto da fachada verde.

Dessa forma, para este projeto foram usadas cinco mudas de cada espécie, com um espaçamento de 1,17 m, entre mudas. A irrigação das plantas é realizada três vezes por semana em dias intercalados, sendo eles: segunda, quarta e sexta-feira; são utilizados galões de água de 5L para a rega de duas mudas, resultando em 2,5L de água para cada; um sistema que consome 25L de água em um dia e 75L na semana, com exceção das semanas com dias de chuva. Além disso, foram adicionados substratos orgânicos no plantio das mudas.

3.4 CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para avaliar os efeitos da influência da fachada verde indireta nos ambientes será implementado um sistema de monitoramento composto por sensores, Figura 5a. A partir destes será possível realizar uma análise das condições e mudanças térmicas das salas de laboratório da universidade. De modo a comparar a influência das duas espécies selecionadas nas condições térmicas das salas, serão instalados sensores de variáveis ambientais em três salas idênticas. Nas duas salas do pavimento térreo, na parte interna, serão instalados sensores de temperatura

de superfície interna (TSI), e de temperatura do ar (Ar). Na parte externa, mais próxima a parede, serão implantados sensores de temperatura de superfície externa (TSE), temperatura do ar (Ar), sensores de radiação solar (Rad) e de dióxido de carbono (CO₂). Mais próximo as estruturas verdes, será implantado, dois sensores de umidade do solo (UMIDADE). Entre as fachadas, será alocado um anemômetro de modo a verificar a velocidade do vento entre as fachadas verdes, e a uma distância de aproximadamente 3,0 m da fachada verde, serão posicionados um pluviômetro para monitoramento da pluviosidade anual e outro anemômetro sem a influência das fachadas verdes, para controle, também um terceiro sensor de radiação solar, Figura 5a.

No segundo pavimento, a sala monitorada não sofre a influência das fachadas verdes, e portanto, serve como controle para comparação com os resultados do monitoramento das plantas. Nesta sala, serão utilizados somente sensores de temperatura de superfície, interna e externa (TSI, TSE), e sensores de temperatura do ar (Ar). Para a utilização do sistema de monitoramento, há a necessidade de um calibramento e configuração dos sensores, Figura 5b. Esta etapa é essencial para garantir a precisão das medições e possibilitar a futura integração dos dispositivos à estrutura da fachada verde. Será possível realizar uma análise utilizando de dados quantitativos gerados a partir da medição de salas com influência da fachada e uma sala sem a utilização desta, Figura 5b.

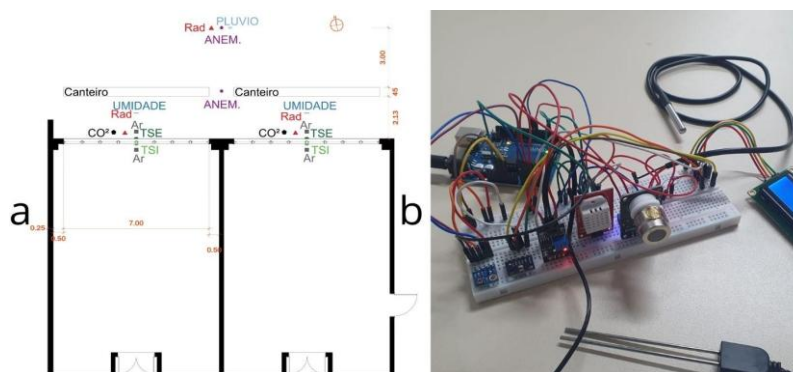


Figura 5: Posicionamento e calibração dos sensores.

TSI: temperatura superficial interna, TSE: temperatura superficial externa, Ar: Temperatura do ar, Rad: radiação solar, CO₂: dióxido de carbono, ANEM.: anemômetro. UMIDADE: umidade do solo.

Fonte: Autores (2024).

4. CONCLUSÕES

A fase inicial do estudo apresenta um avanço significativo na implementação de fachadas verdes indiretas em edifícios educacionais, mostrando a viabilidade do planejamento, modelagem e construção de uma estrutura de suporte adequada ao contexto da universidade. A seleção das espécies vegetais, *Thurbergia alata* e *Podranea ricasoliana* mostra uma estratégia de diversificação de tipos de trepadeiras comumente encontradas na região, considerando seu potencial de crescimento, ciclo de vida e impacto térmico no ambiente interno.

O desenvolvimento do protótipo, apoiado por pesquisas e modelagens 3D, permitiu a definição de uma estrutura metálica eficiente, fixada à fachada do edifício, além da instalação futura de sensores ambientais essenciais para o monitoramento do desempenho térmico, qualidade do ar, dentre outros fatores. Essa etapa, fundamental para validar o efeito das plantas na melhora do conforto térmico, também aponta para desafios relacionados ao dimensionamento adequado, uso de materiais sustentáveis e integração com a infraestrutura existente. A análise das hipóteses de modelagem de estrutura evidenciou que o suporte metálico, que abrange toda a fachada, é mais adequado ao projeto por facilitar o monitoramento de variáveis ambientais no pavimento térreo, possibilitando uma avaliação mais precisa do impacto da fachada verde. Por outro lado, a modelagem inicial mais ampla, apresentou uso excessivo de materiais e uma estrutura inadequada às cargas que foram projetadas.

A etapa de desenvolvimento do protótipo permitiu identificar dimensões, materiais e pontos de fixação mais eficientes, garantindo estabilidade e facilidade de instalação. A instalação de sensores de variáveis ambientais, como temperatura, umidade, radiação solar, precipitação e gás carbônico, está em andamento e será fundamental para a análise do efeito da vegetação no desempenho térmico da edificação.

Por fim, espera-se que, na próxima fase, a coleta e análise dos dados possibilitem uma compreensão aprofundada do potencial do sistema em reduzir trocas térmicas, promover maior conforto ambiental e contribuir com a sustentabilidade do edifício. Assim, o estudo reforça a importância de abordagens multidisciplinares e do uso de tecnologias de monitoramento para a otimização de soluções arquitetônicas mais ecológicas, eficientes e alinhadas aos desafios globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIANCO, L.; SERRA, V.A.; LARCHER, F.; PERINO, M. Thermal behaviour assessment of a novel vertical greenery module system: first results of a long-term monitoring campaign in an outdoor test cell. **Energy Efficiency**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 625-638, 8 set. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-016-9473-4>.

BLANCO, I.; CONVERTINO, F.; SCHETTINI, E.; VOX, G. Energy analysis of a green façade in summer: an experimental test in mediterranean climate conditions. **Energy and Buildings**, [S.L.], v. 245, p. 111076, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111076>.

CONVERTINO, F.; VOX, G.; SCHETTINI, E. Thermal barrier effect of green façades: Long-wave infrared radiative energy transfer modelling. **Building and Environment**, [S.L.], v. 17, 106875, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106875>.

DE MEO, I.; BECAGLI, C.; CANTIANI, M.; CASAGLI, A.; PALETTO, A. Citizens' use of public urban green spaces at the time of the COVID-19 pandemic in Italy. **Urban Forestry & Urban Greening**, [S.L.], v. 77, p. 1-11, nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127739>.

FENSTERSEIFER, P.; GABRIEL, E.; TASSI, R.; PICCILLI, D.G.A.; MINETTO, B. A year-assessment of the suitability of a green façade to improve thermal performance of an affordable housing. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 185, p. 106810, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106810>.

FONSECA, F.; PASCHOALINO, M.; SILVA, L. Health and Well-Being Benefits of Outdoor and Indoor Vertical Greening Systems: A Review. **Sustainability**, [S.L.], v. 15 (5): 4107, fev. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15054107>.

GABRIEL, E.; PICCILLI, D.G.A.; TASSI, R.; KÖHLER, M.; KREBS, L.F. Improving indoor environmental quality in an affordable house by using a vegetated wall: a case study in subtropical Brazil. **Building And Environment**, [S.L.], v. 250, p. 111146, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111146>.

HERZOG, Cecília Polacow. **Cidades Para Todos** - (re)aprendendo a conviver com a Natureza. Rio de Janeiro: MAUAD x; Inverde, 2013.

HUNTER, A.M.; WILLIAMS, N.S.G.; RAYNER, J.P.; AYE, L.; HES, D.; LIVESLEY, S.J. Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 63, p. 102-113, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>.

IP, K.; LAM, M.; MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. **Building And Environment**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 81-88, jan. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003>.

JIM, C.Y. Assessing growth performance and deficiency of climber species on tropical greenwalls. **Landscape And Urban Planning**, [S.L.], v. 137, p. 107-121, maio 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.001>.

KENAI, M.; LIBESSART, L.; LASSUE, S.; DEFER, D. Impact of plants occultation on energy balance: experimental study. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 162, p. 208-218, mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.024>.

LEE, L.S.H.; JIM, C. Subtropical summer thermal effects of wire-rope climber green walls with different air-gap depths. **Building And Environment**, [S.L.], v. 126, p. 1-12, dez. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.021>.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: a review of their characteristics. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 41, p. 863-871, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>.

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**, [S.L.], v. 10, 27 mar. 2019. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652775>.

OTTELÉ, M.; PERINI, K. Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 108, p. 152-161, nov. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.016>.

PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; CABEZA, L.F. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, [S.L.], v. 187, p. 424-437, fev. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055>.

PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GONZÁLEZ, J.M.; CABEZA, L.F. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conversion and Management**, [S.L.], v. 52, n. 4, p. 1861-1867, abr. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.11.008>.

SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal Performance of Biofacade with Natural Ventilation in the Tropical Climate. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 21, p. 34-41, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1984>.

YANG, F.; YUAN, F.; QIAN, F.; ZHUANG, Z.; YAO, J. Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: a case study in shanghai. **Sustainable Cities and Society**, [S.L.], v. 39, p. 43-51, maio 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.049>.

ZHANG, L.; DENG, Z.; LIANG, L.; ZHANG, Y.; MENG, Q.; WANG, J.; SANTAMOURIS, M. Thermal behavior of a vertical green facade and its impact on the indoor and outdoor thermal environment. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 204, p. 109502, dez. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109502>.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPERGS pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e ao desenvolvimento científico no Rio Grande do Sul.