



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO
DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ARQUITETURA ARTES COMUNICAÇÃO E DESIGN (FAAC)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
(PPGARQ)

ANTÔNIO CARLOS PEREIRA JUNIOR

**ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR FACHADAS VERDES
INDIRETAS COM DIFERENTES CAMADAS: ESTUDO COM A ESPÉCIE**
Distimake dissectus (Jacq.) A.R. Simões & Staples

BAURU/SP
2024

ANTÔNIO CARLOS PEREIRA JUNIOR

**ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR FACHADAS VERDES
INDIRETAS COM DIFERENTES CAMADAS: ESTUDO COM A ESPÉCIE
Distimake dissectus (Jacq.) A.R. Simões & Staples**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGARQ) da Faculdade de Arquitetura Artes Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Bauru, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Profa. Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes.

BAURU/SP
2024

Junior, Antônio Carlos Pereira.

Atenuação da Radiação Solar por Fachadas Verdes Indiretas Com Diferentes Camadas: Estudo com a espécie *Distimake Dissectus* (Jacq.) A.R. Simões & Staples / Antônio Carlos Pereira Junior. - Bauru, 2024
104 f.: il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru.

Orientadora: Maria Solange Gurgel de Castro.

I. Jardim Vertical. 2. Sistema de Paredes Vivas. 3. Influência Térmica. 4. Temperatura Superficial. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ANTONIO CARLOS PEREIRA JUNIOR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 21 dias do mês de março do ano de 2024, às 14:00 horas, no(a)

<https://meet.google.com/wxs-fjqv-jgm>, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE

Mestrado de ANTONIO CARLOS PEREIRA JUNIOR, intitulada **ATENUAÇÃO DA**

RADIAÇÃO SOLAR POR FACHADAS VERDES INDIRETAS COM DIFERENTES

CAMADAS: ESTUDO COM A ESPÉCIE *Distimake dissectus* (Jacq.) A.R. Simões &

Staples. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professora

Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES (Orientador(a) - Participação

Virtual) do(a) Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo /

FAAC/Unesp/Bauru, Professor Associado Doutor JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA

(Participação Virtual) do(a) Departamento de Arquitetura e Urbanismo /

FAAC/Unesp/Bauru, Professora Doutora MINEIA JOHANN SCHERER (Participação Virtual)

do(a) Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo / Universidade

Federal de Santa Maria. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da

Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o

discente recebeu o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a

presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão

Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES

M^{te} Solange G. de C. Fontes

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, Antonio Carlos Pereira, que sempre se empenhou incansavelmente para me proporcionar acesso à educação. Para mim, ele sempre será sinônimo de força, dedicação e inteligência. Mesmo não estando mais entre nós, seu espírito permanece vivo em meu coração. Portanto, dedico este trabalho a ele.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me guiar ao longo desta jornada acadêmica e por me conceder a determinação para enfrentar os desafios.

À minha querida família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio inabalável, compreensão e amor incondicional durante todo o processo. Vocês foram minha rocha e minha fonte de inspiração, e não teria alcançado este marco sem o seu constante encorajamento e ajuda.

À minha orientadora, Maria Solange, agradeço por sua orientação, dedicação, paciência e incentivo ao longo deste percurso. Seu conhecimento, expertise e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação, e sou imensamente grato por sua orientação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), expresso meu sincero agradecimento pelo financiamento concedido, que viabilizou a realização desta pesquisa. Sua contribuição foi crucial para o sucesso deste trabalho.

Também gostaria de estender meus agradecimentos a duas amigas especiais que o mestrado me presenteou, Isadora e Stella. Sua amizade, apoio mútuo e incentivo foram essenciais para enfrentar os desafios deste percurso acadêmico.

A todos os que contribuíram de alguma forma para a realização desta dissertação, meu mais profundo reconhecimento e gratidão.

RESUMO

As fachadas verdes constituem uma das tipologias dos jardins verticais que podem ser utilizadas como estratégias bioclimáticas para atenuação da radiação solar. A implementação dessas estratégias, além de adicionar valor estético aos ambientes urbanos, têm impactos diretos na eficiência térmica e energética das edificações, gerando benefícios econômicos e ambientais. Com o objetivo de identificar a influência de diferentes camadas de fachadas verdes indiretas na atenuação da radiação solar foi desenvolvido um estudo experimental com fachadas verdes de de camada simples e dupla, com cavidade de 30 cm entre elas, utilizando a espécie de planta trepadeira *Distimake dissectus* (Jacq.) A.R. Simões & Staples, que ocorre em diversos biomas do Brasil, inclusive o Cerrado. O experimento foi realizado na cidade de Promissão-SP, e a metodologia contemplou o monitoramento do crescimento mensal da espécie para a determinação do Percentual de Cobertura Verde (PCV) e da radiação solar incidente e protegida, no período de 4 dias. Durante esse período, foram medidas a espessura da folhagem de cada fachada e coletadas 102 folhas para a determinação da área foliar, além da Densidade Área Foliar (DAF) e o Índice de Área Foliar (IAF). Os resultados mostraram um rápido desenvolvimento da planta trepadeira analisada, que atingiu uma cobertura de 99%, em ambas fachadas em apenas 5 meses; as espessuras da folhagem na camada simples variaram de 60 cm e 90 cm, e na camada dupla de 90 cm e 120 cm nos pontos inferiores e superiores, respectivamente. Os resultados evidenciaram um excelente desempenho da *Distimake dissectus* na atenuação da radiação solar na camada simples (94,86%), e pouca diferença em relação à camada dupla (95,08%) e Índice de Área Foliar (IAF) de 3,46 na camada simples e 4,00 na camada dupla, resultados que evidenciam ótimo potencial da espécie para uso em fachada verde.

Palavras-chave: Jardins verticais; potencial de sombreamento; atenuação solar; estratégia bioclimática.

ABSTRACT

Green facades constitute one of the typologies of vertical gardens that can be used as bioclimatic strategies to mitigate solar radiation. The implementation of these strategies, besides adding aesthetic value to urban environments, has direct impacts on the thermal and energy efficiency of buildings, generating economic and environmental benefits. In order to identify the influence of different layers of indirect green facades on the attenuation of solar radiation, an experimental study was developed with single and double-layer green facades, with a 30 cm cavity between them, using the climbing plant species *Distimake dissectus* (Jacq.) A.R. Simões & Staples, which occurs in various biomes of Brazil, including the Cerrado. The experiment was conducted in the city of Promissão-SP, and the methodology included monitoring the monthly growth of the species to determine the Percentage of Green Coverage (PGC) and the incident and protected solar radiation over a 4-day period. During this period, the foliage thickness of each facade was measured, and 102 leaves were collected for the determination of leaf area, as well as Leaf Area Density (LAD) and Leaf Area Index (LAI). The results showed a rapid development of the climbing plant analyzed, which reached a coverage of 99% on both facades in just 5 months; the foliage thickness in the single layer varied from 60 cm to 90 cm, and in the double layer from 90 cm to 120 cm at the lower and upper points, respectively. The results evidenced an excellent performance of *Distimake dissectus* in attenuating solar radiation in the single layer (94.86%), with little difference compared to the double layer (95.08%) and a Leaf Area Index (LAI) of 3.46 in the single layer and 4.00 in the double layer, results that highlight the great potential of the species for use in green facades.

Keywords: Vertical gardens; shading potential; solar attenuation; bioclimatic strategy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Classificação de jardins verticais mostrando os sistemas extensivos (fachada verde) e intensivo (parede viva) e as suas subdivisões.	16
Figura 2: Tipos de estruturas relacionadas à fachada verde indireta, como a estrutura de treliça modular (à esquerda), com sistemas de cabos (centro) e com estrutura de tela (à direita).	20
Figura 3: Característica da implantação da fachada verde de dupla camada após input da orientação da fachada.	22
Figura 4: Geometria do modelo de validação obtida pelo software ENVI-met. (A-B) Globo utilizado para a mensuração experimental e seu posicionamento, (C) pontos de medidas do local, (D) Geometria do modelo de validação.	23
Figura 5: Simulação da temperatura da superfície da parede em situações sem (A) e com (B) a fachada verde. (C) e gráfico representando a temperatura de superfície em horários pré-estabelecidos sem a fachada verde (linha em preto) e com a presença da fachada (verde).	24
Figura 6: Plantas utilizadas no trabalho de Muñoz (2019). Da esquerda para a direita, temos: <i>Passiflora edulis</i> , <i>Ipomoea horsfalliae</i> , <i>Thunbergia grandiflora</i> . Dentre estas, a <i>Ipomoea horsfalliae</i> foi a planta que obteve maior Potencial de Sombreamento tanto em condições de tempos quentes e frios.	28
Figura 7: Protótipo lateral da fachada verde indireta construída no experimento de Sousa (2021), indicando todas as medidas relativas de base.	29
Figura 8: Imagens fotográficas da fachada verde com a planta <i>Wisteria floribunda</i> para análise do índice de sombreamento.	30
Figura 9: Registro de fotografia térmica infravermelha da fachada verde com a planta <i>Wisteria floribunda</i> para análise da amplitude de temperatura.	31
Figura 10: Desenho experimental considerando as salas do experimento e as orientações dos blocos	33
Figura 11: Fachada do parque baseada em uma estrutura de aço inoxidável para dar suporte às plantas	34
Figura 12: Detalhes da <i>Distimake dissectus</i> : a) folhas; b) sementes; c) flores e botão	42
Figura 13: Local de implantação da fachada verde indireta	42
Figura 14: Desenho esquemático da estrutura de camada simples	43
Figura 15: Desenho esquemático da estrutura de dupla camada	44
Figura 16: Imagem das fachadas da estrutura das fachadas verdes	44
Figura 17: Vetorização da área de análise e criação da máscara sobre a área da folhagem	45
Figura 18- Pontos de medição para monitoramento da radiação solar	46
Figura 19- Aparelho medidor de radiação solar	46
Figura 20: Horários sem influência de sombra externa às fachadas verdes	47
Figura 21: Área foliar pelo Software ImageJ.	48

Figura 22: Fachada verde: a) Trepadeira <i>Distimake dissectus</i> inteira; b) <i>Distimake dissectus</i> sem as folhas verdes; c) Trepadeira sem as folhas verdes e botões; d) Ramos da trepadeira.	50
Figura 23: Partes da trepadeira: a) Folhas; b) botões; c) sementes; d) ramos.	51
Figura 24: Imagens com a espessura da fachada verde de camada dupla (a) e das medições da espessura máxima da camada dupla (b) e da camada simples.	53
Figura 25: Atratividade de insetos e pássaros nas fachadas verdes:: Presença de borboletas na flor da <i>Distimake dissectus</i> (a); Presença de Beija flor na <i>Distimake dissectus</i> (b) e Ninho na parte superior da trepadeira (c).	54
Figura 26: Crescimento da trepadeira ao longo dos meses: a) camada simples; b) camada dupla	55
Figura 27: Imagens computadorizadas da evolução do crescimento da <i>Distimake dissectus</i> indireta na camada simples.	56
Figura 28: Imagens computadorizadas da Evolução do crescimento da <i>Distimake dissectus</i> indireta na camada dupla.	56
Figura 29: Histograma de distribuição do conjunto de dados separado por Local.	60
Figura 30: Histograma de área das folhas da <i>Distimake dissectus</i>	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Programas utilizados para simular jardins verticais	26
Tabela 2: Resumo das falhas nas plantas utilizadas no estudo real da “Council House 2”, indicando a espécie e respectiva quantidade de morte de planta (Plant death), pouca cobertura vegetal (Poor cover) e falha total da planta (Plant failure).	36
Tabela 3: Espécies de planta trepadeiras utilizadas no Brasil para uso em fachadas verdes	38
Tabela 4- Espessura da folhagem nas fachadas verdes (m)	45
Tabela 5: Atenuação de radiação solar para as fachadas simples e dupla nos diferentes pontos de medição	59
Tabela 6: Porcentagem de atenuação solar em espécies de trepadeira	59
Tabela 7: Estatísticas gerais das medidas de Radiação nos quatro dias, nos cinco pontos de mensuração, separados por local.	60
Tabela 8: Estatísticas gerais das medidas de Radiação entre fachada dupla e simples.	62
Tabela 9: Amostras de Área Foliar.	63
Tabela 10: Quantidade e peso da fachada verde.	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos 1: Valores de PCV e o crescimento ao longo dos meses.	58
Gráficos 2: Diferença da radiação solar nos pontos com e sem influência da trepadeira	59

LISTA DE ABREVIATURAS

DAF	Densidade de Área Foliar
IAF	Índice de Área Foliar
PCV	Percentual de Cobertura Verde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Geral	17
1.1.2 Específicos	17
2. JARDINS VERTICAIS DE TIPOLOGIA FACHADAS VERDES	18
2.1. CONCEITO, TIPOLOGIA E MODELOS DE JARDINS VERTICAIS	18
2.2. FACHADAS VERDES	21
2.2.1 Fachada verde direta	22
2.2.2. Fachada verde indireta	23
2.3 ESTUDOS DE CASO SOBRE AS FACHADAS VERDES	24
2.3.1 Estudos de caso por simulação	24
2.3.2 Estudos de casos experimentais e reais	31
2.4. CARACTERÍSTICAS E ESPÉCIES UTILIZADAS NAS FACHADAS VERDES	38
2.5 ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR	41
3 METODOLOGIA	43
3.1 ESPÉCIE DE TREPadeira SELECIONADA.	43
3.2 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO, ESTRUTURA E MANUTENÇÃO DA FACHADA VERDE	44
3.3 CÁLCULO DO PERCENTUAL DE COBERTURA VERDE (PCV)	46
3.4 ESPESSURA DA FACHADA VERDE	47
3.5 MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR PARA DETERMINAÇÃO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR DA FACHADA VERDE INDIRETA	48
3.5 CÁLCULO DA ÁREA FOLIAR (AF), DENSIDADE (DAF) E DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)	49
3.6 CARGAS ESTRUTURAIS	51
4. RESULTADOS	54
4.1 CRESCIMENTO E MONITORAMENTO DA <i>Distimake dissectus</i>	54
4.2. CÁLCULO DO PERCENTUAL DE COBERTURA VERDE (PCV)	55
4.3 MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR	58
4.3.1 Análise estatística	61
4.4 ÁREA FOLIAR, DENSIDADE FOLIAR E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	63
4.4.1. Área foliar	63
4.4.2 Densidade de Área Foliar	65
4.4.3 Índice de Área Foliar (IAF)	65
4.5 CARGAS ESTRUTURAIS	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
6. REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A - TABELAS DE VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE	

E PROTEGIDA

76

APÊNDICE B - FOLHAS ESCANEADAS

78

1. INTRODUÇÃO

As fachadas verdes são tipologias de jardins verticais cujas plantas do tipo trepadeiras ou pendentes podem crescer e se desenvolver diretamente nas edificações ou em uma estrutura próxima. A implementação desses jardins junto às fachadas das edificações de diferentes portes pode contribuir positivamente para o desempenho térmico, através da atuação de quatro mecanismos: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (Muñoz *et al.*, 2019; Perez *et al.*, 2011).

O uso das fachadas verdes constitui uma estratégia bastante eficiente para amenizar o déficit de áreas verdes dentro dos grandes centros urbanos, que é consequência do aumento de construções e impermeabilização do solo (Jaafar *et al.*, 2013; Kontoleon; Eumorfopoulou, 2010; Pérez *et al.*, 2011; Perini *et al.*, 2011; Perini *et al.*, 2013; Safikhani *et al.*, 2014). Assim, sua utilização com outras estratégias da infraestrutura verde urbana pode contribuir para a redução do aquecimento urbano, que geram as ilhas de calor, melhoria da qualidade do ar (Perini *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2019; Sheweka; Mohamed, 2012), reduzir o consumo energético e desempenho térmico dos mais diversos tipos de edificação (Pérez *et al.*, 2014).

Apesar do seu impacto extremamente positivo na amenização microclimática de ambientes internos e externos imediatos, as pesquisas sobre o desempenho de fachadas verdes ainda são pouco exploradas. No âmbito internacional destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Kontoleon e Eumorfopoulou (2010), Wong *et al.* (2010), Pérez *et al.* (2011), Perini *et al.* (2011); Safikhani *et al.* (2014).

Kontoleon e Eumorfopoulou (2010) pesquisou como a orientação e a porcentagem de cobertura de seções de paredes cobertas por plantas influenciam o comportamento térmico de edifícios; Wong *et al.* (2010) estudou o impacto térmico de oito sistemas de vegetação vertical, destacando os sistemas mais eficientes na redução da temperatura de superfície das fachadas de edifícios em climas tropicais, potencialmente diminuindo os custos de energia; Pérez *et al.* (2011) investigou o comportamento de fachadas verdes em edifícios como um sistema passivo para economia de energia em climas mediterrâneos continentais secos, demonstrando a capacidade das fachadas verdes em proporcionar sombra, reduzindo o calor nas paredes dos edifícios e criando um microclima favorável; Perini *et al.* (2011) analisaram o impacto da vegetação vertical nas temperaturas e no fluxo de ar em edifícios,

destacando seu potencial de resfriamento e isolamento térmico, especialmente em climas quentes e frios, e Safikhani et al. (2014) investiga o desempenho térmico de sistemas de vegetação vertical em climas quentes e úmidos, utilizando procedimentos experimentais para medir temperatura e umidade internas, bem como a temperatura no espaço entre os sistemas de vegetação vertical e as superfícies das paredes.

No Brasil, destacam-se as pesquisas de Morelli (2009), Scherer (2014), Cruciol-Barbosa e Fontes (2016), Muñoz (2019), Muñoz *et al.* (2019).

Morelli (2009) estudou o impacto da vegetação como estratégia bioclimática nas edificações, destacando sua capacidade de minimizar o ganho de calor e melhorar o conforto térmico; Scherer (2014) desenvolveu pesquisa sobre a aplicabilidade das cortinas verdes como elemento de controle solar na arquitetura, e ressaltou sua capacidade de proporcionar sombra dinâmica em resposta às variações climáticas. Um estudo teórico foi seguido por experimentos práticos para avaliar a eficácia de quatro espécies trepadeiras, e simulações computacionais mostraram economia de energia em edificações com cortinas verdes, indicando seu potencial em promover eficiência energética e sustentabilidade na arquitetura brasileira; Cruciol-Barbosa e Fontes (2016) fazem uma descrição e sistematização das tecnologias mais usuais para os sistemas de jardins verticais, além de discutir seus benefícios na escala da edificação; Muñoz realizou pesquisa com três fachadas verdes indiretas, para identificar a atenuação solar e amenização térmica em espaço de transição; Muñoz *et al.* apresentaram uma revisão bibliográfica (2008-2018) sobre o desempenho de fachadas verdes e suas principais características, a partir de trabalhos experimentais e de estudos de caso.

Todos os trabalhos referenciados explicitam a importância e eficiência da aplicação das fachadas verdes, uma vez que sua implementação demonstra múltiplos benefícios, com impactos social, econômico, ambiental e também visual. No entanto, é importante salientar a necessidade de mais pesquisas acerca da temática, principalmente em relação a espécie de trepadeira, seu desenvolvimento, manutenção, e a influência de diferentes camadas na atenuação da radiação solar.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo identificar a influência de diferentes camadas de fachadas verdes indiretas na atenuação da radiação solar, através de um estudo experimental constituído por fachadas verde de camadas simples e dupla pela espécie de planta trepadeira *Distimake dissectus*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Analisar se existem diferenças entre o potencial de atenuação solar em fachadas verdes indiretas de camadas simples e dupla, constituídas pela planta trepadeira *Distimake dissectus*. (Jacq.) A.R. Simões & Staples.

1.1.2 Específicos

- Identificar parâmetros que influenciam na atenuação da radiação solar: Percentual de Cobertura Verde (PCV), Densidade e Índice de Área Foliar;
- Identificar o peso da vegetação nas estruturas das fachadas verdes de camada simples e dupla;
- Contribuir com maior conhecimento sobre o desenvolvimento da espécie *Distimake dissectus* e de parâmetros úteis e que servem de dados de entrada em programas de simulação para avaliar desempenho de fachadas verdes.

2. JARDINS VERTICAIS DE TIPOLOGIA FACHADAS VERDES

Este capítulo apresenta inicialmente uma descrição sobre conceito, tipologia e modelos de jardins verticais, explicitando os sistemas extensivos (fachada verde) e intensivo (parede viva) e as suas subdivisões. Em seguida, enfatiza a tipologia fachada verde, seja direta e indireta e destaca, ainda, alguns estudos experimentais e de simulação computacional sobre o desempenho térmico dessa importante estratégia de atenuação da incidência da radiação solar

2.1. CONCEITO, TIPOLOGIA E MODELOS DE JARDINS VERTICAIS

Embora os jardins verticais tenham se popularizado como alternativas para cidades cada vez mais urbanizadas, o primeiro exemplo dessa tipologia de infraestrutura verde remonta à antiga Babilônia, através dos Jardins Suspensos da Babilônia (datado de 600 a.C.), uma das antigas sete maravilhas do mundo antigo e o primeiro jardim vertical registrado (Wong; Baldwin, 2016). O objetivo inicial foi puramente estético – o rei Nabucodonosor queria “animar a esposa saudosa” com essa construção (Shuhaimi *et al.*, 2022). Com o tempo, embora a estética ainda esteja bastante relacionada com o projeto dos jardins verticais nas cidades, as melhorias ambientais têm ganhado força dentro do contexto do desenvolvimento sustentável.

A primeira menção moderna aos jardins verticais foi do botânico francês Patrick Blanc, que foi o responsável pelo desenvolvimento do método *Mur Végétal* (Sousa, 2012) – jardim vertical. Sua origem, por outro lado, não pode ser datada com precisão, mas

[...] eles apareceram quando as pessoas começaram a se estabelecer em habitações permanentes. No entanto, as espécies trepadeiras provavelmente não eram planejadas pelos moradores e se desenvolviam de forma espontânea, ao encontrar nas edificações um suporte. É possível que tais espécies vegetais tenham sido consideradas uma praga e muitas pessoas tenham tentado se livrar delas (Scherer; Fedrizzi, 2014).

De qualquer forma, após popularização nos anos 90 (Crucio-Barbosa; Fontes, 2016), os jardins verticais surgem como alternativa para minimizar os impactos negativos da urbanização, trazendo como proposta o desenvolvimento sustentável, a partir de três principais pilares: a sustentabilidade ambiental, a social, e a econômica (Scherer, 2014; Shuhaimi *et al.*, 2022).

De fato, os planejamentos do desenvolvimento sustentável, especialmente no âmbito da arquitetura e urbanismo, são cada vez mais necessários, especialmente para combater o calor urbano uma vez que, em grandes centros e localidades, as superfícies de concreto substituíram quase completamente a vegetação local e, juntamente com a presença de poluentes, contribuíram para a formação das ilhas de calor urbana.

Em decorrência desses fatores, ocorre um acúmulo de energia térmica na massa das construções, o que resulta no aumento das temperaturas das superfícies das paredes, elevando-as a níveis superiores aos da temperatura ambiente. Como consequência, há um aumento da temperatura interna dos prédios e edifícios, requerendo estratégias para o resfriamento interno, muitas vezes mediante o uso excessivo de sistemas de ar condicionado, fato que leva ao aumento significativo no consumo de energia elétrica.

A implementação de métodos que permitam regular a temperatura interna dos edifícios de maneira mais "natural", com a finalidade de reduzir o consumo de energia e mitigar as consequências associadas a esse consumo, é de fundamental importância para promover a sustentabilidade (Shuhaimi *et al.*, 2022). Entre as alternativas para mitigar o calor urbano, os jardins verticais se destacam, pois desempenham um papel crucial na regulação térmica dos prédios, contribuindo diretamente para a redução do consumo energético (Pérez *et al.*, 2014).

Os jardins verticais são sistemas de vegetação que operam de maneira eficiente para reduzir a necessidade de energia no resfriamento de ambientes internos (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016), e seu crescimento ocorre de maneira vertical. Esses jardins podem ser compostos por diversas espécies vegetais que crescem diretamente sobre superfícies ou a partir de estruturas (Kontoleon; Eumorfopoulou, 2010; Sharp *et al.*, 2008).

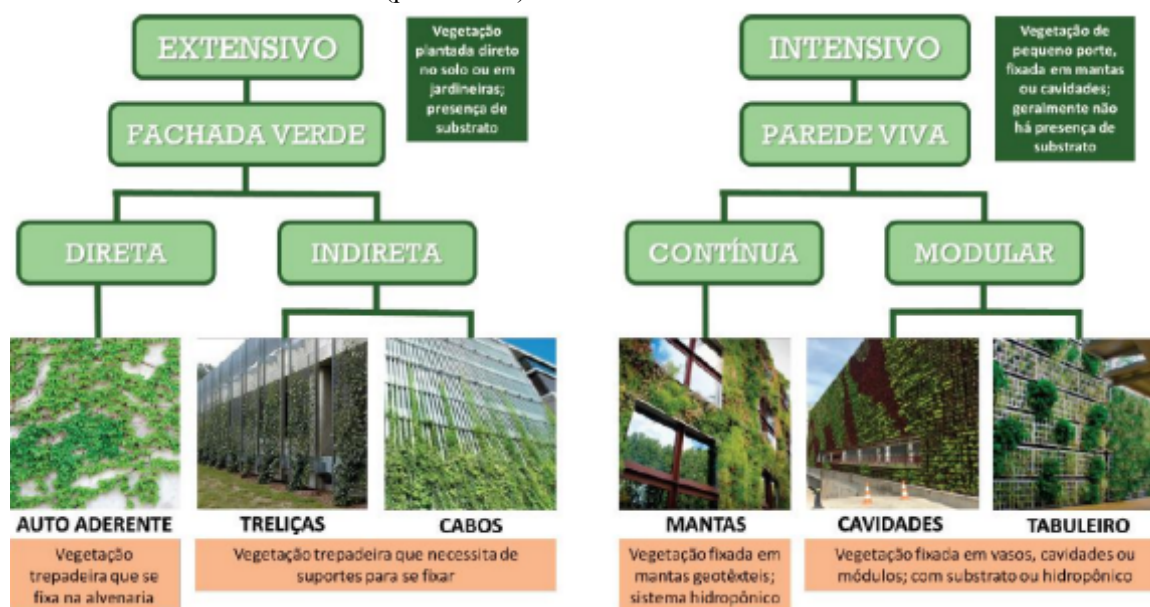
Os jardins verticais possuem outras características benéficas, além do resfriamento de superfícies e de ambientes internos, como a melhoria na qualidade do ar e melhoria do efeito estufa com o sequestro de CO₂ (Wong; Baldwin, 2016). Segundo Refati, 2020, estima-se que 1 m² de fachada verde possa absorver 3,5 kg de CO₂ por ano. A presença dos jardins verticais pode ter, ainda, efeito benéfico na melhoria estética, com impacto positivo na saúde física dos habitantes (Shuhaimi *et al.*, 2022).

Embora todos os jardins verticais auxiliem no desenvolvimento sustentável, ao trazer mais verde em meio ao concreto, faz-se necessário um maior entendimento sobre sua classificação e característica de cada tipologia. De forma geral, Saikhani e colaboradores (2014) e Manso e Castro-Gomes (2015) defendem que os jardins

verticais podem ser classificados intensivos (paredes vivas) ou extensivos (fachadas verdes), conforme mostra a Figura 1. As paredes vivas não necessitam de substratos para o seu desenvolvimento, sendo constituídas por feltros geotêxteis ou similares fixados em um suporte vertical ou até de forma direta na parede. Nelas, as plantas mais utilizadas são dos tipos arbustos e herbáceas (Pérez *et al.*, 2014). A vegetação pode ser fixada de forma contínua ou modular e não existe um limite de altura para a instalação.

As fachadas verdes, constituídas de plantas trepadeiras e/ou pendentes (Pérez *et al.*, 2014), podem ser classificadas em duas categorias: direta e indireta. Na direta a trepadeira se fixa na superfície vertical (alvenaria), enquanto que na indireta é necessária uma estrutura de suporte. Para que seja bem-sucedido, a fachada verde indireta precisa de um conjunto de elementos, tais como: estrutura de suporte adequada, a seleção criteriosa das plantas, adaptação climática, demandas nutricionais, entre outros (Cruciol Barbosa; Fontes, 2016).

Figura 1: Classificação de jardins verticais mostrando os sistemas extensivos (fachada verde) e intensivo (parede viva) e as suas subdivisões.



Fonte: Retirado de Scherer, Alves e Redin (2018).

Apesar das várias características de cada uma das tipologias apresentadas na figura 1, que engloba tanto as fachadas verdes como as paredes vivas, o foco deste trabalho são jardins verticais extensivos (fachadas verdes), baseados no uso de plantas trepadeiras e, com maior atenção ao tipo indireto cujo suporte para a fixação pode ser as treliças, telas e redes de cabos.

2.2. FACHADAS VERDES

As fachadas verdes vêm sendo utilizadas com o objetivo de proporcionar maior conforto térmico dentro do edifício, em função dos mecanismos apontados por diferentes autores. (Pérez *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2014; Scherer; Alves; Redin, 2018; Cruciol-Barbosa, 2019, Muñoz *et al.*, 2019), que são: i) sombreamento da área, ii) influência na dinâmica do vento, iii) isolamento térmico da edificação, e iv) resfriamento evotranspirativo.

O sombreamento da fachada verde pressupõe que a vegetação vertical intercepta os raios solares, sendo diretamente relacionado com o percentual da cobertura vegetal nesse jardim vertical (Muñoz *et al.*, 2019) e que pode ser manipulada dependendo da espécie selecionada e altura definida. Wong e Baldwin (2016) defendem que as fachadas verdes são as responsáveis pela atenuação de 40% a 80% da radiação solar, podendo ser transformada em calor latente pelo processo de evapotranspiração (Pokorny, 2010; Shuhaimi *et al.*, 2022).

Assim como a entrada de calor, os ventos frios também podem ser atenuados pela presença de fachadas verdes. Essa relação ocorre pela alteração da dinâmica do vento, uma vez que a troca térmica por convecção é diminuída com a fachada verde (Muñoz *et al.*, 2019). Neste ponto, a densidade da barreira vegetal, bem como a direção e velocidade do vento, é bastante importante para a diminuição da necessidade do aquecimento do edifício, uma vez que a mesma pode ser diminuída em até 25% (Sheweka; Mohamed, 2012).

A melhoria no aspecto do isolamento térmico da edificação ocorre através da regulação da temperatura superficial externa do edifício, uma vez que a vegetação cria uma resistência à passagem do movimento do calor e, conseqüentemente, age como um bloqueio físico da entrada do calor no edifício (Shuhaimi *et al.*, 2022). A porcentagem estimada do isolamento térmico, entretanto, depende de variáveis como vegetação escolhida, clima, e orientação da fachada.

Enquanto que, o fenômeno de evapotranspiração pode ser o mais conhecido e comentado sobre os benefícios da fachada verde, mas que pode ser afetado por características como umidade do solo, planta utilizada e clima local (Wong; Baldwin, 2016). Esse fenômeno é definido como uma função biológica da vegetação que converte a energia solar em energia latente, levando ao aumento da umidade do entorno da planta, uma vez que esta possui a capacidade de consumir o calor sensível para a

evaporação da água do solo e da superfície das folhas (Muñoz *et al.*, 2019), gerando um resfriamento no entorno imediato, em locais quentes. De forma secundária, o fenômeno da evapotranspiração também está relacionado à melhoria da qualidade do ar, uma vez que gases poluentes são absorvidos (Wong *et al.*, 2010).

Segundo Shuhaimi *et al.*, 2022, esses quatro fatores também podem contribuir para o conforto térmico do edifício, ao constatar uma redução uma redução da temperatura do ar em até 4,7 °C em climas tropicais, além de contribuir para uma redução da poluição sonora e melhorar o valor estético do edifício.

Entretanto, é importante ponderar que há uma discussão sobre a relação entre as fachadas verdes e possíveis benefícios relacionados à redução da poluição sonora. Embora diversos autores discutam o impacto positivo sob este aspecto (Pérez *et al.*, 2016; Renterghem *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2012; Renterghem; Bottledooren, 2009; Shuhaimi *et al.*, 2022), a revisão de Ruocco, Silva e Michalski (2018) define diversas variáveis para que este efeito seja significativo. Dentre as variáveis, destacam-se o tipo de vegetação utilizada, o substrato e a umidade do solo.

Ressalta-se que, até o momento, os estudos que abordam a relação entre fachadas verdes e melhoria acústica não apresentam padronização, o que dificulta a obtenção de conclusões mais específicas e abre espaço para uma discussão mais aprofundada sobre o tema. Estima-se que os benefícios possam alcançar 6 decibéis em baixas frequências - que podem ter um impacto positivo com o ruído do tráfego urbano, e 10 decibéis em altas frequências (Ruocco; Silva; Michalski, 2018).

A implementação das fachadas verdes não requer grande experiência ou verba para a sua implementação (Safikhani *et al.*, 2014), embora algumas diferenças metodológicas possam ser observadas nas suas subdivisões em fachadas verdes diretas e indiretas.

2.2.1 Fachada verde direta

Nas fachadas verdes diretas as trepadeiras não necessitam de um suporte para se fixar na superfície vertical da edificação, uma vez que a vegetação cresce diretamente no substrato e se fixa à parede do edifício (Refati, 2020). Portanto, é classificada como o tipo mais simples de fachada verde, com baixo custo de manutenção e investimentos associados (Munõz, 2019).

Segundo Pérez *et al.* (2014), os dados mais presentes na literatura sobre a fachada verde direta utilizam estudos de casos reais, cuja mensuração de dados de desempenho é feita no local ou através de simulação computacional. Esses autores ressaltam, ainda, a carência de trabalhos dessas fachadas em diferentes estações do ano e não apenas no período de verão.

Pérez *et al.* (2014) ressaltam, ainda, que a implantação dessas fachadas possui baixo custo e facilidade de instalação e que são eficientes na redução da temperatura da parede do edifício, e que essa redução aparentemente está relacionada com a espessura da folhagem.

Dentre os problemas mais comuns nas fachadas verdes diretas estão: a umidade e possíveis danos na integridade da fachada causados pelas raízes das plantas (Refati, 2020). Embora boa parte destes problemas sejam ocasionados por instalações incorretas, o que pode gerar umidade e infiltrações, esses pontos negativos podem ser minimizados com a fachada verde indireta, uma vez que não há contato direto da vegetação com a construção. Por outro lado, cuidados com a nutrição e a irrigação das espécies devem ser redobrados (Scherer; Alves; Redin, 2018).

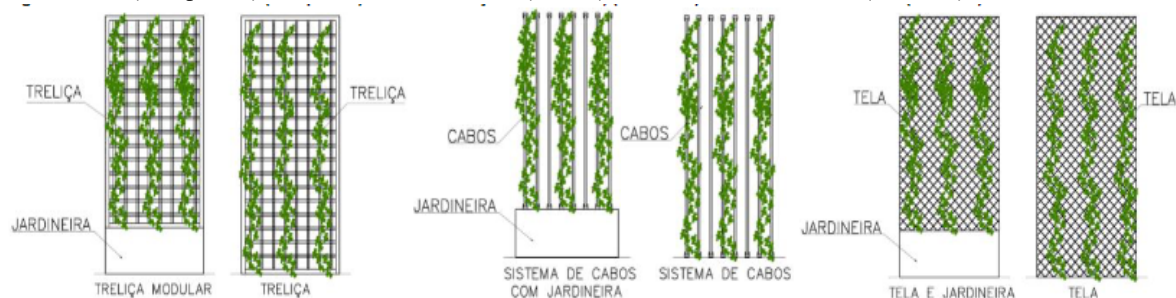
2.2.2. Fachada verde indireta

Nas fachadas verdes indiretas as plantas trepadeiras se desenvolvem em estruturas implantadas próximas ao edifício. O fato das trepadeiras não estarem diretamente associadas à alvenaria traz alguns benefícios, mas também necessidades de planejamento estrutural na implementação deste sistema.

Um dos pontos que deve ser considerado é o espaço entre a estrutura projetada e a parede. Esse espaço deve ser calculado para que haja uma otimização do desempenho térmico desejado. As quantidades de podas das trepadeiras também devem ser consideradas para o melhor controle, especialmente quando utilizadas espécies mais vigorosas (Refati, 2020), assim como a necessidade individual da espécie no que concerne à nutrição e irrigação,

A escolha da estrutura também deve ser cuidadosamente pensada para otimizar o desenvolvimento da trepadeira e suportar seu peso. Os tipos de estruturas mais utilizados são as treliças modulares, sistemas de cabos e telas (Figura 2). As treliças geralmente são leves, podem ser feitas de metal, madeira, ou mesmo de bambu, e podem ser fixados no solo ou em jardineira (Pérez *et al.*, 2014; Muñoz *et al.*, 2019).

Figura 2: Tipos de estruturas relacionadas à fachada verde indireta, como a estrutura de treliça modular (à esquerda), com sistemas de cabos (centro) e com estrutura de tela (à direita).



Fonte: Muñoz *et al.*, 2019.

A utilização desta tipologia de jardim vertical tem demonstrado eficiência na redução das temperaturas superficiais das superfícies protegidas, assim como no aumento da umidade absoluta do ar (Pérez *et al.*, 2014), entre outros benefícios.

Os estudos que envolvem as fachadas verdes apontam que o período analisado, a espécie utilizada e os parâmetros da vegetação, como a densidade e o Índice de Área Foliar (IAF) são responsáveis pelo bom desempenho térmico dessa estratégia de sombreamento (Pérez *et al.*, 2014; Pérez *et al.*, 2022).

2.3 ESTUDOS DE CASO SOBRE AS FACHADAS VERDES

Este item mostra estudos de simulação computacional (Bremenkamp *et al.*, 2016; Freewan; Jaradat; Amaireh, 2022; Shaheen; Sabry; Faggal, 2020; Alsaad *et al.*, 2022; Convertino *et al.*, 2022; Kenai *et al.*, 2020), experimentais (Muñoz, 2019; Sousa, 2021; Reis, 2022; Padovan, 2020) e estudos de casos reais (Silva, 2020; Rayner; Raynor; Williams, 2010) para análise de desempenho térmico das fachadas verdes.

2.3.1 Estudos de caso por simulação

Os estudos de desempenho térmico através de simulação computacional ajudam “(...) na visualização e interpretação do comportamento do ambiente, e podem gerar respostas próximas à realidade, contribuindo nos processos de projeto em arquitetura” (Bremenkamp *et al.*, 2016). Dentre os *softwares* utilizados, para as simulações, destacam-se o DesignBuilder, Energyplus e ENVI-met.

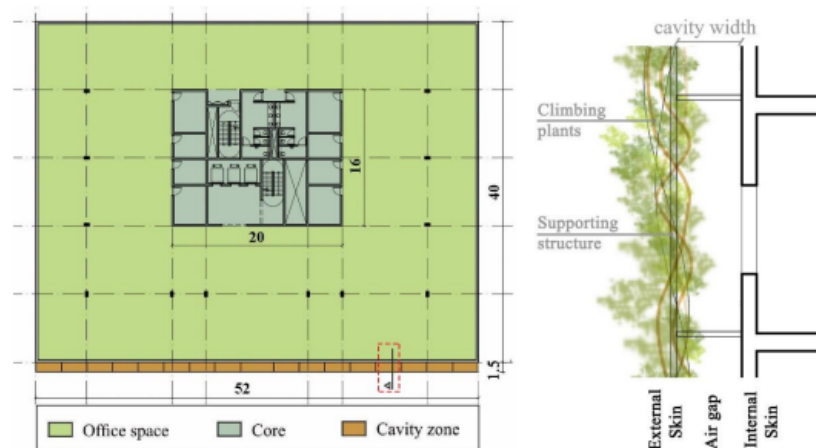
Segundo Bremenkamp *et al.*, 2016, os autores que utilizam desta metodologia frequentemente discutem sobre os melhores parâmetros a serem utilizados como dados de entrada para delimitação experimental. Dos parâmetros mais analisados, destacam-se as temperaturas superficiais externa e interna, temperatura do ar interna do ambiente com e sem influência da vegetação, velocidade do vento, umidade relativa do ar. Além desses parâmetros, outros dados referentes à vegetação são necessários, tais como Índice de Área Foliar e Densidades Foliar.

Freewan, Jaradat e Amaireh (2022) abordam a otimização do desempenho térmico e sombreamento de paredes verdes verticais em edifícios localizados em uma região árida e quente. Para isso, os autores realizam um estudo que mescla as medidas de experimentos reais com simulações computacionais para medir a temperatura da parede, a do ar ambiente, e a taxa de iluminação natural em um espaço com parede verde. Os estudos de simulação computacional, com a utilização do *software* DesignBuilder, demonstraram que quanto maior a cobertura da fachada, maior é o efeito de sombreamento observado. Por outro lado, uma cobertura muito extensa (maior do que 80%) pode gerar aumento de temperatura e diminuir a circulação de ar. Como conclusão, os autores estimam que o cálculo de 60% de cobertura vegetal (de forma similar ao que eles observaram por estudos reais) é o mais otimizado para os benefícios da fachada verde indireta.

O *software* DesignBuilder também foi utilizado na pesquisa de Shaheen, Sabry e Faggal (2020), cujo objetivo foi observar as vantagens de uma fachada verde de dupla camada no ambiente de trabalho. Os experimentos de simulações foram feitos em três etapas, que incluíram definir os dias com temperaturas mais extremas do ano, realizar simulações com diversas orientações da fachada (sul, leste e oeste), além de examinar a influência da largura da cavidade.

A Figura 3 mostra a planta para a modelagem do trabalho de Shaheen, Sabry e Faggal (2020), que considera as orientações das fachadas. Os autores constataram que o melhor desempenho para as condições do local de instalação da fachada é quando esta estava direcionada para o oeste, com uma largura de cavidade de 1,5 metros. Nessas condições, a melhoria da sensação térmica é de 2,5 a 3,2 °C.

Figura 3: Característica da implantação da fachada verde de dupla camada após *input* da orientação da fachada.



Fonte: Shaheen, Sabry e Faggal (2020).

Alsaad *et al.* (2022) utilizaram o *software* ENVI-met para avaliar o impacto da fachada verde no microclima urbano. Os autores também realizaram mensurações experimentais anteriores para poder validar as simulações. Após realizar a geometria do modelo de validação (Figura 4), o *software* gerava informações sobre a temperatura externa do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do vento em 12 pontos de sonda diferentes no modelo, além da temperatura do ar interno do edifício.

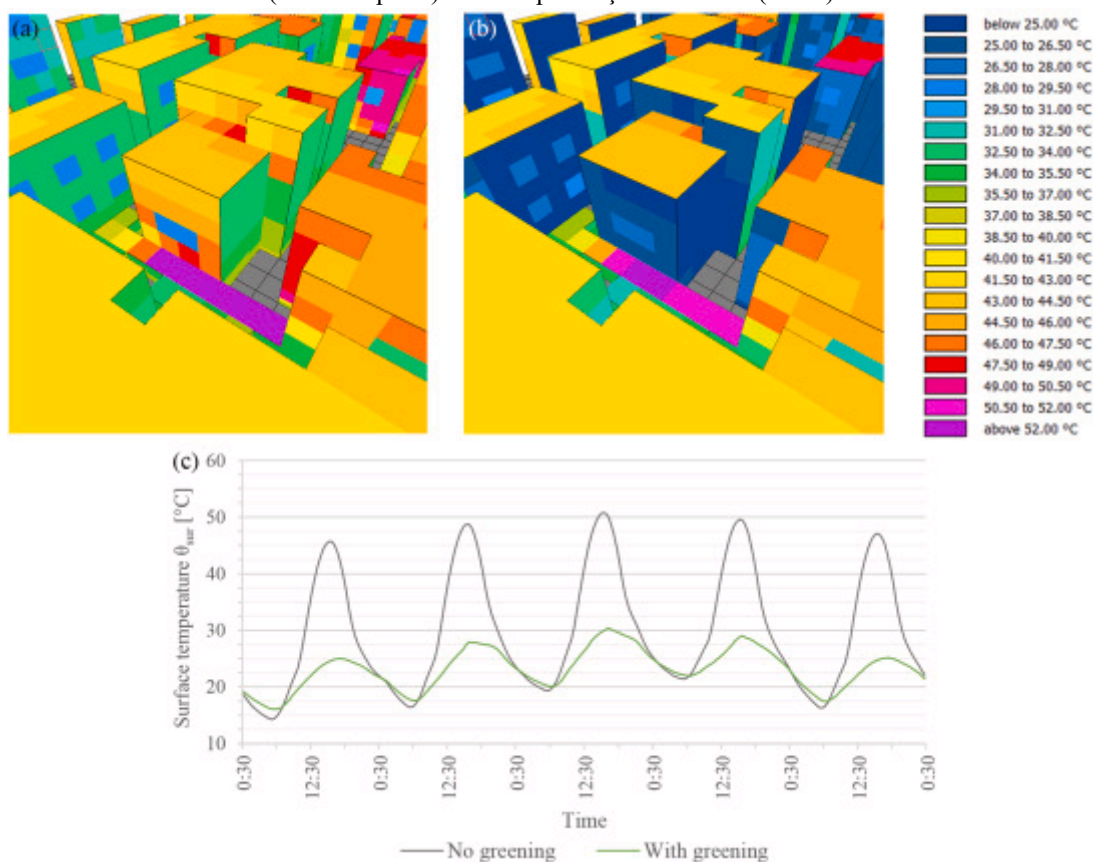
Figura 4: Geometria do modelo de validação obtida pelo software ENVI-met. (A-B) Globo utilizado para a mensuração experimental e seu posicionamento, (C) pontos de medidas do local, (D) Geometria do modelo de validação.



Fonte: Alsaad *et al.* (2022).

Os resultados dessa simulação mostraram que, embora tenha havido um impacto mínimo na temperatura do ar, houve uma redução significativa na Temperatura Radiante Média (Figura 5) e na temperatura interna do ar. Além disso, a vegetação influenciou a umidade relativa entre os edifícios e a velocidade do ar junto as folhas foi reduzida (Alsaad *et al.*, 2022).

Figura 5: Simulação da temperatura da superfície da parede em situações sem (A) e com (B) a fachada verde. (C) e gráfico representando a temperatura de superfície em horários pré-estabelecidos sem a fachada verde (linha em preto) e com a presença da fachada (verde).



Fonte: Alsaad *et al.* (2022).

O estudo de Convertino *et al.* (2022) examina de maneira aprofundada o impacto do Índice de Área Foliar - IAF no desempenho térmico de fachadas verdes em edifícios. A análise se concentra em um estudo de caso específico, considerando variáveis como a área foliar das plantas utilizadas nas fachadas verdes. Segundo Pérez *et al.*, 2022, o IAF traduz a capacidade da planta utilizada em servir como bloqueio da radiação solar e representa a densidade de folhas por m^2 . Esse parâmetro, que varia para cada espécie, é adimensional, com valores que variam de 0 (sem proteção) a 10 (maior

proteção). Trata-se, portanto, de um parâmetro crucial na eficácia das fachadas verdes em controlar as condições térmicas dos edifícios.

O estudo de Convertino *et al.* (2022) utiliza de experimentos reais para realizar simulações computacionais, examinando como diferentes valores de IAF influenciam a capacidade das fachadas verdes em fornecer sombreamento, reduzir a radiação solar direta sobre a superfície do edifício e melhorar a eficiência energética. Além disso, são consideradas as variações sazonais e climáticas, levando em conta as diferentes condições meteorológicas ao longo do ano. O experimento utilizado como base para as simulações foi feito em um clima mediterrâneo.

Ao analisar o desempenho térmico, o estudo aborda questões relacionadas à dissipação de calor, trocas convectivas e a capacidade das fachadas verdes em criar uma camada de isolamento adicional. Conclusões específicas são derivadas do estudo de caso, com contribuições importantes para otimizar o design e a implementação de fachadas verdes em edifícios, destacando a importância do IAF como uma variável determinante no alcance de benefícios térmicos significativos.

Além da utilização de *softwares*, alguns autores (Kenai *et al.*, 2020; Convertino, Vox e Schettini, 2019) utilizam de previsões matemáticas para melhor compreender os efeitos das fachadas verdes sob os parâmetros analisados. Kenai *et al.* (2020) realizam simulações numéricas do efeito energético de uma máscara solar criada por uma parede verde na performance térmica do envelope de um edifício em um clima temperado, com o objetivo de integrá-lo aos códigos de cálculo térmico. Neste contexto, os autores utilizaram-se de um modelo simplificado e validado com base em testes feitos em experimentos controlados que teve a incorporação de parâmetros externos (como condução, convecção e radiação) que influencia nas trocas de calor analisadas.

Após as primeiras validações da simulação matemática, os autores complementam, no mesmo estudo, cálculos que levam em consideração as características da planta selecionada, uma vez que esta é uma variável imprescindível para a fachada verde. Por fim, os autores observaram que o modelo matemático foi muito bem desenvolvido, com erro médio de cerca de 1 °C. Desse modo, o estudo destaca a eficácia do modelo na análise do impacto energético de uma máscara solar criada por uma parede verde, com resultados valiosos para a otimização do desempenho térmico de edifícios em climas temperados.

Convertino, Vox e Schettini (2019) descrevem os principais parâmetros relacionados ao fluxo de calor em fachadas verdes que podem ser usados em modelos

de simulação para prever as temperaturas em edifícios, utilizando as condições meteorológicas externas como entrada para o modelo. Os parâmetros de entrada incluem temperatura e umidade relativa do ar externo, radiação solar, velocidade e direção do vento, características das plantas e do edifício.

Nesse artigo, os autores descrevem a fachada verde por meio de uma representação esquemática, com quatro camadas definidas: a camada verde, a superfície externa da parede do edifício, a superfície interna da parede do edifício e o ar dentro do edifício. O equilíbrio energético foi definido para cada camada, e todos os termos envolvidos nas trocas de energia entre as camadas foram definidos como função da planta, das condições climáticas e das características construtivas da parede. As conclusões alcançadas podem ser incorporadas em modelos que simulam o microclima de edifícios, criando assim ferramentas especializadas voltadas especialmente para o planejamento de fachadas verdes.

Mela (2023) afirma a importância da construção de modelos matemáticos para o melhor conhecimento de jardins verticais. Dentre os benefícios de modelagem computacional por *softwares*, o desempenho térmico é de especial importância. Entretanto, como a autora mesmo pontua, para que a modelagem seja corretamente feita, faz-se necessário maior pesquisa de base para o entendimento das fachadas verdes de acordo com a espécie escolhida, clima, e outras variáveis em questão, ou seja, são necessários mais estudos experimentais. Abaixo, replica-se a tabela dos principais *softwares* utilizados para esta finalidade levantados por Mela (2023)(Tabela 1):

Tabela 1: Programas utilizados para simular jardins verticais

Método	Software	Referências
Simulação e modelagem paramétrica 53%	<i>DesignBuilder</i>	Scherer, M. J. (2014), Lin, H. <i>et al.</i> (2019), Li, Z. <i>et al.</i> (2019), Lesjak, V.; Pajek, L.; Košir, M. (2020), Parhizkar, H.; Khoraskani, R. A.; Tahbaz, M. (2020), Bano, P.; Dervishi, S. (2021)
	EnergyPlus	Stav, Y. Lawson, G. (2012), Susorova, I. <i>et al.</i> (2013), Scherer, M. J. (2014), Carlos, J. S. (2015), Larsen, S. F.; Filippin, C.; Lesino, G. (2014), Larsen, S. F.; Filippin, C.; Lesino, G. (2015), Dahanayake, K. W.D.; Kalani C.; Chow, Cheuk L. (2017), Olivieri, F. <i>et al.</i> (2017), Li, Z. <i>et al.</i> (2019), Assimakopoulos, M. N. <i>et al.</i> (2020), Lesjak, V.; Pajek, L.; Košir, M. (2020), Parhizkar, H.; Khoraskani, R. A.; Tahbaz, M. (2020), Arengi, A.; Perra, C.; Caffi, M. (2021), Bano, P.; Dervishi, S. (2021).

	Envi-met	Jänicke, B. <i>et al.</i> (2015), Li, J. <i>et al.</i> (2019), Peng, L. L. H. <i>et al.</i> (2020), Bandurski, K.; <i>et al.</i> (2020), Ornam, K. <i>et al.</i> (2021), Perera, T. A.N.T. <i>et al.</i> (2021), Li, J.; Zheng, B. (2022).
	SOLWEIG	Jänicke, B. <i>et al.</i> (2015)
	Ray Man	Jänicke, B. <i>et al.</i> (2015)
	TRNSYS	Djedjig, R.; Bozonnet, E.; Belarbi, R. (2015), Bandurski, K. <i>et al.</i> (2020), AzkorraLarrinaga, Z. <i>et al.</i> (2022)
	SOLENE	Malys, L.; Musy, M.; Inard, C. (2016)
	Solidworks	Widiastuti, R. Caesarendra, W.; Zaini, J. (2020), Widiastuti, R.; Caesarendra, W.; Zaini, J. (2019)
	IES VE	Bagheri, M. F. <i>et al.</i> (2021)
	CFD	Lin, H. <i>et al.</i> (2019), Widiastuti, R. Caesarendra, W.; Zaini, J. (2020), Widiastuti, R.; Caesarendra, W.; Zaini, J. (2019)
Modelagem algorítmico visual 16%	Matlab	Afshari, A. (2017), Pérez, G. <i>et al.</i> (2021)
	Simscape	Afshari, A. (2017)
Modelagem algorítmicoparamétrica 31%	<i>Rhinoceros + Grasshopper</i>	Li, X. S. <i>et al.</i> (2014), Allan, S.; Soon, T.; Kim, H. (2016), Olivieri, F. <i>et al.</i> (2017)
	<i>Revit + Energy Analysis</i>	Sudimac, B. S.; Ignjatovic, N. D. C.; Ignjatovic, D. M. (2018)
	<i>Revit + Dynamo</i>	Briscoe, D. (2014), Briscoe, D. (2018), Briscoe, D. (2020)

Fonte: Mela (2023)

Embora o parâmetro para a modelagem dos jardins verticais se altere dependendo do programa utilizado e dos objetivos da simulação, algumas entradas podem ser semelhantes. Melo (2023) estabelece os 21 principais *inputs*, separados entre propriedades físicas e térmicas. Dentre estes, destacam-se aspectos como altura da planta, densidade foliar, IAF, absorvância e transmitância solar. Entretanto, como discutido no trabalho, ainda há uma falta de estudos experimentais que tenham a extração destes dados de forma controlada e extraídas através de métodos precisos e controlados (Melo, 2023). Portanto, estudos experimentais que colem essas variáveis são de grande importância para, além do conhecimento acerca da planta de interesse e aplicação nas fachadas verde indireta, otimizar futuras modelagens computacionais sobre este tema.

2.3.2 Estudos de casos experimentais e reais

Os estudos de caso experimentais constituem outra abordagem para avaliar o desempenho térmico de fachadas verdes. Além da importância dos resultados quanto à atenuação solar, redução das temperaturas superficiais, entre outros, eles são essenciais para gerar parâmetros que servem de dados de entrada nos programas de simulação computacional.

Nessa abordagem, o trabalho de Muñoz (2019) buscou identificar parâmetros qualitativos que interferem na redução da radiação solar ao avaliar três diferentes espécies de trepadeiras (*Ipomoea horsfalliae*, *Passiflora edulis* e *Thunbergia grandiflora*), como mostra a Figura 6. Ela utilizou fachadas verde indiretas em estudo experimental desenvolvido em Bauru, cidade do interior de São Paulo. As variáveis mensuradas foram: temperatura do ar, de globo e umidade absoluta do ar e atenuação da radiação solar. Os dados sobre espessura da folhagem, tamanho das folhas, espaçamento entre elas e o Percentual de Cobertura Verde (PCV) permitiram o verificar o Potencial de Sombreamento (PSO) de cada espécie, ou seja, sua capacidade em atenuar a radiação solar incidente.

Figura 6: Plantas utilizadas no trabalho de Muñoz (2019). Da esquerda para a direita, temos: *Passiflora edulis*, *Ipomoea horsfalliae*, *Thunbergia grandiflora*. Dentre estas, a *Ipomoea horsfalliae* foi a planta que obteve maior Potencial de Sombreamento tanto em condições de tempos quentes e frios.

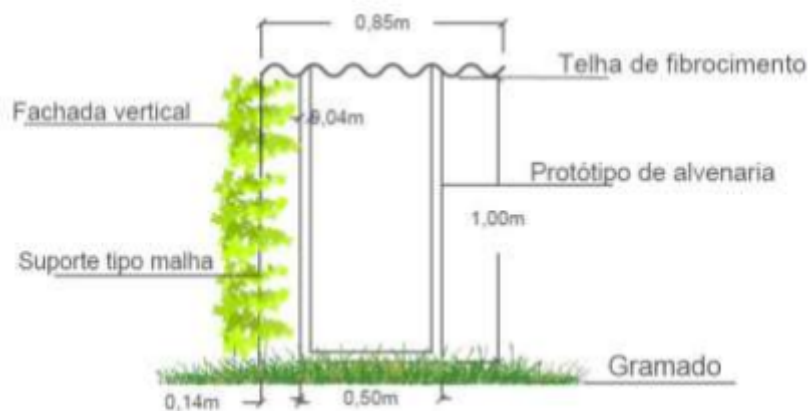


Fonte: Muñoz (2019).

De acordo com Muñoz (2019), entre as três espécies utilizadas, a *Ipomoea horsfalliae* se destacou em relação ao rápido desenvolvimento, homogeneidade de cobertura, espessura foliar e maior percentual de atenuação solar em relação às demais analisadas.

Sousa (2021) comparou fachadas verdes com duas espécies de plantas trepadeira, *Pyrostegia venusta* e *Jasminum polyanthum*, no período de verão. Segunda a autora, as espécies foram escolhidas com base na adaptação ao clima tropical da cidade do experimento, resistência ao inverno, altura máxima possível, e estrutura de fixação da vegetação. O protótipo da fachada foi feito de acordo com a Figura 7, e aplicada na fachada norte da parede. As variáveis analisadas incluíram a temperatura do ar interna, externa e umidade relativa.

Figura 7: Protótipo lateral da fachada verde indireta construída no experimento de Sousa (2021), indicando todas as medidas relativas de base.



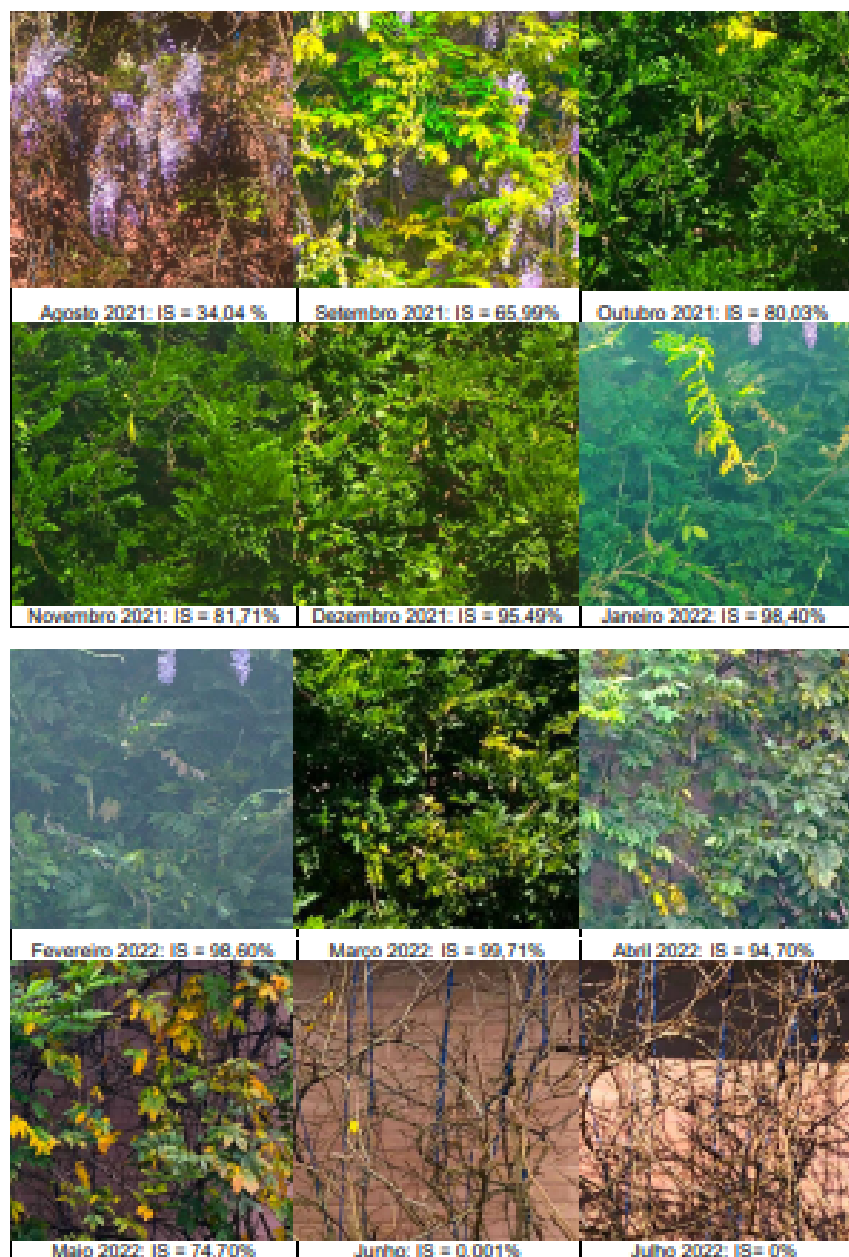
Fonte: Sousa (2021).

As conclusões de Sousa (2021) revelaram uma diferença de aproximadamente 2,4 °C na temperatura do ar do ambiente onde a fachada verde estava presente, em comparação com o ambiente sem essa estratégia de sombreamento, para ambas as plantas selecionadas, as quais não demonstraram diferenças significativas entre si. Ressalta-se que essa diferença de temperatura não foi observada diretamente na fachada, mas no ambiente interno com a influência do sombreamento da fachada verde. No entanto, como apontado pela autora, o estudo apresenta limitações, como a necessidade de realizar mais pesquisas envolvendo diferentes orientações e espécies trepadeiras, além de avaliar o desempenho em outras estações do ano.

Reis (2022) avaliou o índice de sombreamento de uma fachada verde instalada também em cidade de clima tropical, com a planta trepadeira *Wisteria floribunda*. A análise teve a duração de um ano e, portanto, em várias condições de tempo. O índice de sombreamento foi avaliado com base em registros fotográficos mensais, como mostrado na Figura 8, que evidencia quase 100% de sombreamento no verão, enquanto nas

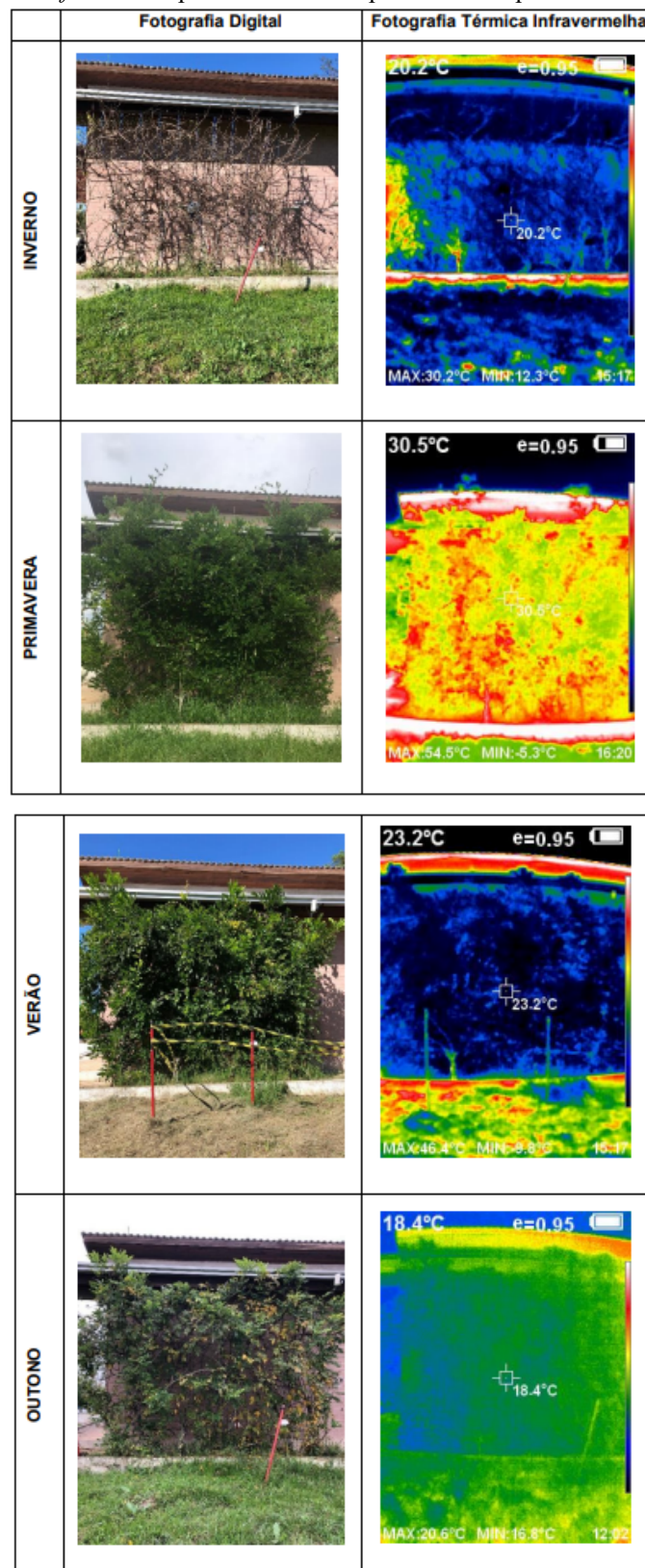
estações de outono e inverno esse índice foi nulo. Além do registro mensal, Reis (2022) também utilizou o monitoramento por termografia infravermelha (Figura 8-9).

Figura 8: Imagens fotográficas da fachada verde com a planta *Wisteria floribunda* para análise do índice de sombreamento.



Fonte: Reis (2022).

Figura 9: Registro de fotografia térmica infravermelha da fachada verde com a planta *Wisteria floribunda* para análise da amplitude de temperatura.

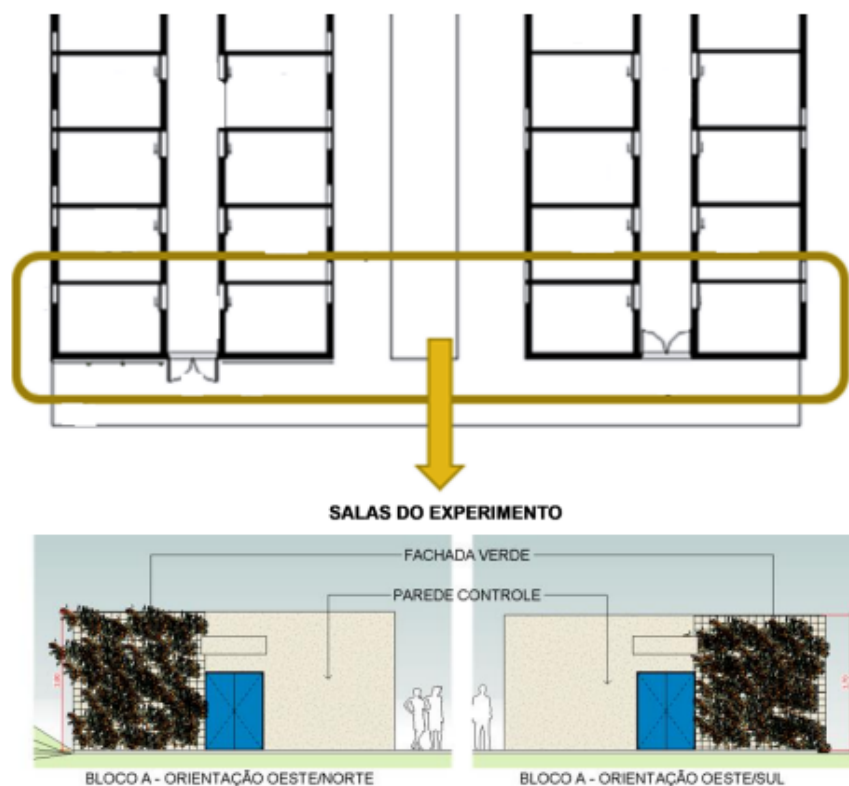


Fonte: Reis (2022).

De acordo com Reis (2022), o emprego da fachada verde indireta demonstrou uma variação mais significativa de temperatura tanto no ar ambiente quanto na superfície externa, com amplitudes de 5 °C e 13.25 °C, respectivamente. Além disso, ao correlacionar os dados obtidos neste estudo, Reis (2022) conclui que existe uma relação direta entre o potencial de sombreamento da fachada verde e a redução da temperatura local, destacando-se essa associação especialmente durante períodos mais quentes, como no verão.

Através de um estudo experimental, Padovan (2020) utilizou duas fachadas verdes constituídas pela planta trepadeira *Ipomoea horfalliae* para análise do desempenho térmico de dois ambientes de trabalho em um campus universitário em Ourinhos-SP, cidade de clima subtropical com verões quentes. O diferencial dessa pesquisa é que usou dois com influência de fachadas verdes e dois ambientes controle, ou seja, sem a influência das fachadas verdes, conforme mostra a Figura 10. Ressalta-se que, apesar das salas avaliadas terem posições opostas, as fachadas verdes foram implantadas na face oeste de ambas..

Figura 10: Desenho experimental considerando as salas do experimento e as orientações dos blocos

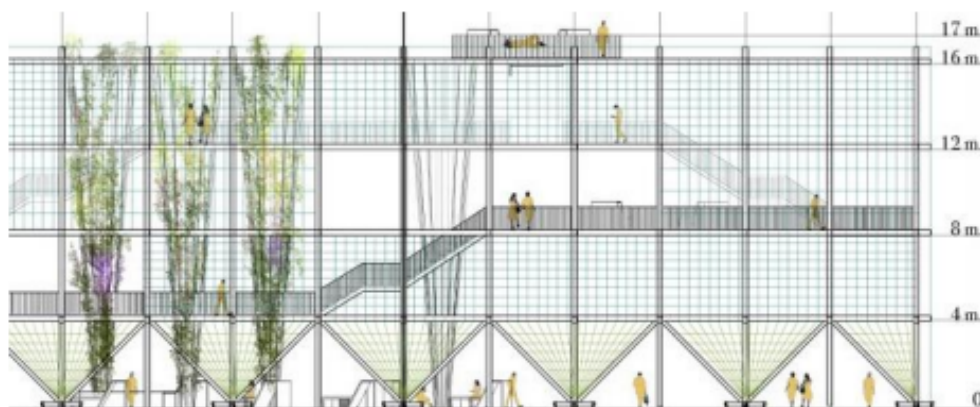


Fonte: Retirado de Padovan (2020).

Os resultados indicaram que as fachadas verdes extensivas podem ser uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho térmico em ambientes de trabalho (com redução térmica de aproximadamente 2 °C), mas a eficiência pode variar dependendo das condições específicas, como orientação da sala e características do ambiente. Estes achados contribuem para o entendimento mais amplo do impacto das fachadas verdes em contextos específicos, e podem contribuir para o design sustentável de edificações em regiões de clima quente.

Silva (2020) usou como modelo de estudo a análise de um parque em Zurich, Suíça, construído por fachadas verdes indiretas. A partir das observações, Silva (2020) propõe projetos para construção dessas fachadas no Instituto Superior de Agronomia, em Portugal. Essa transposição de observação de um caso real para a proposta de intervenção experimental é algo bastante interessante proposto pelo autor. O local de estudo escolhido por Silva (2020) é construído por estruturas de aço inoxidável para auxiliar no suporte das plantas (Figura 11), algumas das quais são plantas trepadeiras. Toda a estruturação do parque foi pensada para a manutenção das plantas, como a existência de um sistema próprio para a irrigação.

Figura 11: Fachada do parque baseada em uma estrutura de aço inoxidável para dar suporte às plantas



Fonte: Silva (2020).

Dentre as vantagens observadas pelo autor, destacam-se a grande variedade de plantas na construção dessa fachada verde, o que permite potencializar as características positivas de cada uma delas, ao mesmo tempo que permite “diluir” os aspectos negativos. Dentre as espécies utilizadas, a *Wisteria japonica*, que atinge grande altura e por “compensar” o pouco desenvolvimento das demais.

Silva (2020) também propôs intervenções similares no Instituto Superior de Agronomia (Universidade de Lisboa), localizado na Tapada da Ajuda, uma zona

definida como clima temperado mediterrâneo de verão quente. Como resultado, o autor concluiu que é possível transpor as características do modelo estudado, a partir da análise do parque ecológico, para o ambiente de Lisboa. Ainda, com algumas inovações associadas ao sistema de irrigação e emissores específicos, os autores concluem que ainda há espaço para otimizar a qualidade dessas áreas.

No caso do estudo desenvolvido por Padovan (2020), mencionado anteriormente ao de Silva (2020), o autor utilizou uma edificação existente para a construção do experimento.

Rayner, Raynor e Williams (2010) utilizam como base de seu estudo o efeito da fachada verde existente na “Council House 2” no centro de Melbourne, na Austrália. Em sua descrição, os autores descrevem que a fachada verde, cujo plantio se iniciou em 2006, é composto por 5 espécies diferentes de plantas: *Clematis aristata*, *Kennedia rubicunda*, *Kennedianigricans*, *Pandorea pandorana*, e *Trachelospermum jasminoides*. De forma um pouco diferente dos artigos anteriores, este traz os aspectos pelos quais houve uma falha nessa fachada verde, principalmente ocasionada pela falta de cobertura vegetal que fora consequência da morte de todas as espécies de plantas. No artigo, os pesquisadores descrevem todos os principais motivos para isso, que incluem falha no sistema de irrigação, má seleção de plantas, qualidade das plantas, problemas de substrato do recipiente e problemas na instalação e estabelecimento.

A partir da Tabela 2 é possível observar que essa fatalidade ocorreu em 60,9% das plantas utilizadas, cujo pior desempenho foi da espécie *Kennedia nigricans* (cujas falhas foram observadas em 34 das 41 plantas utilizadas considerando as variáveis de morte da planta ou insucesso na cobertura vegetal). O maior desempenho foi observado na espécie *Pandorea pandorana*, em que apenas uma (1) das dezesseis (16) plantas utilizadas falhou nas mesmas variáveis.

Tabela 2: Resumo das falhas nas plantas utilizadas no estudo real da “Council House 2”, indicando a espécie e respectiva quantidade de morte de planta (*Plant death*), pouca cobertura vegetal (*Poor cover*) e falha total da planta (*Plant failure*).

Species	No. planted ¹	Plant Death		Poor Cover		Plant Failure	
		No.	%	No.	%	Total No.	Total %
<i>Clematis aristata</i>	14	10	71.4	1	7.1	11	78.6
<i>Kenmedia nigricans</i>	41	22	53.6	12	29.3	34	82.9
<i>Kenmedia rubicunda</i>	51	15	29.4	11	21.6	26	50.9
<i>Pandorea pandorana</i>	16	1	6.2	0	0	1	6.2
<i>Trachelospermum jasminoides</i>	42	22	52.4	6	14.3	28	66.6
Total	164	70	42.6	30	18.3	100	60.9

¹ At August, 2006

Fonte: Rayner, Raynor e Williams (2010).

Uma das principais conclusões tiradas desse estudo é que deve avaliar os sistemas e materiais. Os autores discutem que é necessário que as fachadas verdes sejam acompanhadas, desde a concepção até o total estabelecimento, por profissionais com conhecimento técnico para garantir o sucesso e otimização do desempenho térmico..

Rayner, Raynor e Williams (2010) reforçam que as características das plantas também têm grande peso para o sucesso da fachada verde. Os autores citam, ainda, a necessidade de dados empíricos disponíveis sobre taxas de crescimento e biomassa, valores de triagem ou cobertura, força de fixação, além de tolerâncias ambientais). Embora as pesquisas sobre desempenho de fachadas verdes tenham ganhado força nos últimos anos, a conclusão dos autores reforça ainda mais a necessidade de testes experimentais e de simulação para melhor compreensão das variáveis que interferem diretamente no sucesso das fachadas verdes.

2.4. CARACTERÍSTICAS E ESPÉCIES UTILIZADAS NAS FACHADAS VERDES

As fachadas verdes se utilizam de plantas trepadeira ou pendente, definida como “plantas que utilizam naturalmente a estrutura de outras plantas ou outras estruturas como apoio para se desenvolverem” (Refati, 2020; Barbosa; Fontes, 2016). Elas utilizam esses apoios para alcançar a luz solar, buscar sustentação e se expandir em direção ao ambiente circundante. Esse tipo de crescimento é uma adaptação notável que permite que essas plantas otimizem seu acesso aos recursos e sua capacidade de se reproduzir. Além disso, as plantas que se desenvolvem dessa forma tendem a criar cenários visualmente interessantes, com formas únicas e emaranhados naturais que adicionam uma beleza única aos ambientes em que habitam.

A partir dos estudos sobre desempenho térmico de fachadas verdes, fica cada vez mais evidente que a escolha do tipo da vegetação é essencial, pois interfere no tipo de recobrimento, na espessura da folhagem e, conseqüentemente, afeta no potencial de sombreamento, conforme descreve Munõz *et al.* (2019).

Além disso, cada espécie de trepadeira possui peculiaridades quanto a adaptação ao tipo de clima e também à luminosidade, com diferentes necessidades de insolação para o bom desenvolvimento e crescimento. Portanto, essa adaptação constitui um aspecto muito importante a ser considerado no momento de escolha das espécies, visto que aquelas com características de sol pleno não poderão ser instaladas em ambientes que recebam pouca luz, assim como aquelas que são características de meia sombra não poderão ficar expostas ao sol durante todo o dia (Munõz, 2019).

Koyama *et al.* (2013) elencam algumas características das plantas que requerem observação, tais como seu comprimento, a quantidade total de folhas, a porcentagem de cobertura, a taxa de transpiração foliar e a transmitância solar. Além disso, ao selecionar a vegetação com base nessas características, é essencial levar em consideração a temperatura da superfície da parede, a radiação solar global e a temperatura ambiente do local que será implantado.

Refati (2020) discute que os resultados podem diferir dependendo do tipo de folha e sua facilidade de movimentação e quantidade de camadas. Portanto, quanto menor e mais densa as folhas da trepadeira, mais significativo podem ser seus efeitos baseados no fenômeno da evapotranspiração.

Em suas subclassificações, as plantas trepadeiras podem ser do tipo herbáceas ou lenhosas. Para as fachadas verdes as mais indicadas são as do tipo herbácea, pois possuem um caule do tipo trepador volúvel, muito ramificado e de formato cilíndrico. Segundo Refati (2020), essas trepadeiras herbáceas utilizam sua estrutura ou caule principal dando voltas ao redor do suporte da fachada verde indireta e, por isso, esse suporte deve ser montado a uma distância próxima a edificação.

Diversas espécies de plantas trepadeiras têm sido utilizadas em pesquisas sobre fachadas verdes com o fim de observar o potencial de cada espécie na atenuação da radiação solar e seus conseqüentes benefícios. De forma geral, é importante a escolha da espécie em função das características de seu crescimento, assim como da capacidade de movimentação de suas folhas e quantidade de camadas formadas (Refati, 2020).

Para identificar as espécies de trepadeiras mais utilizadas no Brasil, foi conduzida uma pesquisa de teses e dissertações na Biblioteca Digital Brasileira de

Dissertações e Teses (BDTD) em 11 de dezembro de 2023, utilizando as seguintes palavras-chave: "jardim vertical", "jardins verticais", "fachada verde" e "fachadas verdes". Os resultados da busca revelaram a existência de 97 trabalhos relacionados à pesquisa sobre "jardim vertical", entre eles, 29 trabalhos sobre "fachadas verdes".

A aplicação dos critérios de exclusão (1, trabalhos duplicados; 2, trabalhos desprovidos das palavras-chave nos títulos, resumos e palavras-chave; 3, trabalhos que não abordavam fachadas verdes) resultou em 10 trabalhos especificados na Tabela 3.

Tabela 3: Espécies de planta trepadeiras utilizadas no Brasil para uso em fachadas verdes

Referência	Espécies utilizadas	Clima	Orientação solar
Morelli, 2009	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Hera-japonesa)	Tropical continental	Norte
Valesan, 2009	<i>Ficus pumila</i> (Unha de gato) e <i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Hera-japonesa)	Subtropical úmido	Dado não disponível
Morelli, 2016	<i>Thunbergia grandiflora</i> (Tumbérgia azul); <i>Jasminum azoricum</i> L. (Jasmim-dos-açores)	Tropical de altitude	Leste, Norte e Oeste
Sorte, 2016	<i>Arrabidaea pulchra</i> ; <i>Banisteriopssis anisandra</i> (Cipó prata) e <i>Cissus erosa</i> (Cipó de fogo)	Tropical, inverno seco	Quatro orientações
Pérez Gallardo, N. (2017)	<i>Thunbergia grandiflora</i> (Tumbérgia azul)	Tropical de altitude	Norte e Oeste
Silva, P.W.S. (2018)	Dado não disponível	Subtropical	Sudeste
Muñoz, L.S. (2019)	<i>Ipomoea horsfalliae</i> (Ipomeia rubra); <i>Passiflora edulis</i> (Maracujá azedo) e <i>Thunbergia grandiflora</i> (Tumbérgia azul)	Subtropical, verão quente	Oeste
Padovan, L.D.G. (2020)	<i>Ipomoea horsfalliae</i> (Ipomeia rubra)	Subtropical, verão quente	Oeste
Sousa, L.R. de (2020)	Dado não disponível	Dado não disponível	Oeste
Albernard, R.S. (2021)	<i>Wisteria sp</i> (Glicínia)	Temperado úmido	Oeste

Fonte: Elaborado pelo autor

Entre os trabalhos destaca-se a diversidade de espécies de trepadeiras utilizadas em diferentes condições climáticas e orientações solares. Das espécies mencionadas, observa-se que *Thunbergia grandiflora* foi a mais recorrentemente empregada em projetos de fachadas verdes, sendo citada em três trabalhos (Morelli, 2016; Pérez, 2017 e Muñoz, 2019).

Morelli (2016) utilizou a *Thunbergia grandiflora* em conjunto com *Jasminum azoricum* L. (Jasmim-dos-açores), destacando-se em um contexto de clima tropical de altitude, com orientações solares para leste, norte e oeste; Pérez (2017) também usou a *Thunbergia grandiflora* em fachadas verdes, associada a um clima tropical de altitude, com orientações solares para norte e oeste; Muñoz, 2019 utilizou a mesma espécie e comparou com mais outras duas espécies, a *Ipomoea horsfalliae* (Ipomeia rubra) e a *Passiflora Edulis* (Maracujá azedo).

A utilização da espécie *Thunbergia grandiflora* por diferentes autores e contextos climáticos sugere sua relevância e adaptação a diversas condições, consolidando-a como uma escolha frequente em projetos de fachadas verdes.

2.5 ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

Uma das vantagens bioclimáticas do jardim vertical é a atenuação da radiação solar, uma vez que esse fenômeno ocorre pela barreira formada pela folhagem e, como consequência, a diminuição das temperaturas das superfícies em contato. Essa atenuação é, portanto, diretamente relacionada com a densidade e a homogeneidade da cobertura vegetal (Munõz; Fontes, 2022). Munõz *et al* (2023) corrobora com essa questão ao desenvolver estudo com a trepadeira *Ipomeia rubra*, demonstrando uma atenuação da radiação solar, especialmente nas regiões da fachada verde indireta com maior homogeneidade.

Outros pesquisadores também discutiram o efeito da fachada verde indireta na atenuação da radiação solar. Koyama *et al.* (2013) demonstraram uma redução da temperatura interna de edifícios a partir da atenuação da radiação solar em mais de 0.1 kW m², com redução máxima de 7,9 °C durante períodos de tempo quente. Essa melhoria microclimática do ambiente interno é influenciada pela densidade da vegetação, embora alguns autores defendam uma maior influência do efeito do sombreamento e, conseqüente, atenuação da radiação solar (Ochoa, 1999; Bass; Baskaram, 2003).

O efeito de sombreamento é crucial para a atenuação da radiação solar e, portanto, a determinação do Índice de Área Foliar (IAF) de extrema importância (Domurath; Schroeder, 2008). Para a determinação do IAF é necessário calcular a área foliar, que pode ser feita por diferentes métodos, como o uso de fotografias, scanners a

laser ou instrumentos específicos para medição de folhas. O IAF pode variar ao longo do tempo devido ao crescimento das plantas, à queda de folhas ou ao desenvolvimento de novas folhas.

Para a obtenção do IAF desejado, Domurath e Schroeder (2008) defendem uma automatização em todos os processos quanto possível para que haja um melhor controle no crescimento das plantas. Em situações de sombreamento, o IAF pode ser influenciado pela competição por luz (plantas com maior IAF tem maior vantagem competitiva), além da geração de respostas dinâmicas para otimizar a captura da luz solar.

Widiastuti *et al.* (2017) demonstraram que há uma relação direta entre a densidade da fachada verde (nesse estudo, do tipo direta) para o efeito de resfriamento, chegando a um potencial de redução de 6,7 °C na temperatura interna em uma plantação em local de clima quente. Ainda, quanto maior a densidade das folhas, os pesquisadores observaram um maior bloqueio na circulação de ar.

Em síntese, as fachadas verdes emergem como elementos fundamentais na busca por estratégias bioclimáticas. Além de conferirem valor estético aos ambientes urbanos, essas estruturas desempenham um papel crucial na atenuação da radiação solar, impactando positivamente o desempenho e conforto térmico das edificações.

No âmbito do estudo experimental proposto para esta pesquisa, focado na influência de diferentes camadas de fachadas verdes indiretas, utilizando a planta trepadeira *Distimake dissectus*, analisamos fachadas de camada simples e dupla, buscou-se compreender o potencial de atenuação solar proporcionado por essas fachadas. Para isso, foram considerados diferentes parâmetros como Percentual de Cobertura Verde, Densidade Foliar, Índice de Área Foliar e peso da vegetação. Estes parâmetros, explorados de maneira interdisciplinar, visam oferecer contribuições valiosas para o aprimoramento do *design* e implementação de fachadas verdes indiretas, reforçando sua importância como estratégias bioclimáticas e contribuindo com dados de entrada em programas de simulação computacional para desempenho térmico de fachadas verdes.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos da pesquisa, foi realizada, inicialmente, uma revisão bibliográfica com o conceito de jardins verticais, suas tipologias, formas de fixação junto às fachadas, características e espécies adequadas, estudos por simulação computacional e outros experimentais, especialmente os que analisaram desempenho térmico dessa estratégia. Na segunda etapa, foi desenvolvido o projeto experimental, com a seleção da planta trepadeira, local de implementação e construção de duas fachadas verdes indiretas: uma de camada simples e outra dupla.

Após a implantação das duas fachadas, foi realizado o monitoramento do desenvolvimento da espécie, medição da radiação solar incidente e protegida, da espessura e área da folhagem e a determinação do Percentual de Cobertura Verde (PCV), área foliar, densidade e Índice de Área Foliar (IAF).

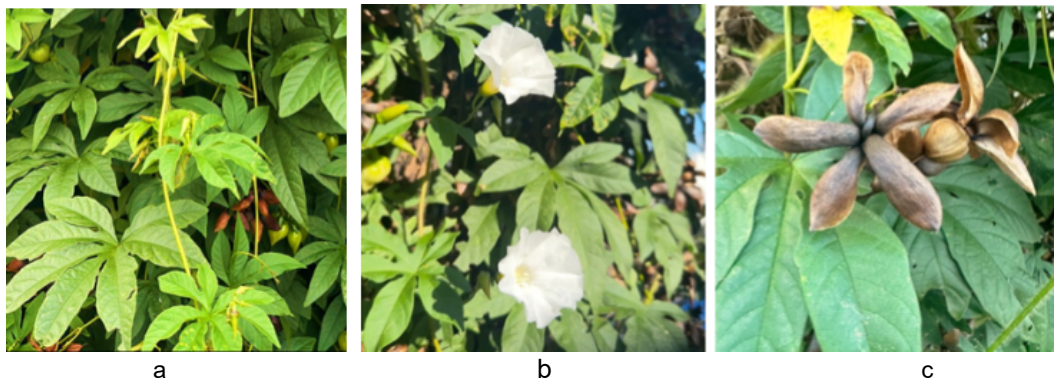
3.1 ESPÉCIE DE TREPadeira SELECIONADA.

Para o estudo experimental foi selecionada a planta trepadeira *Distimake dissectus*, pertencente à família Convolvulacea, que é uma espécie nativa do Brasil, com ocorrência nos principais domínios fitogeográficos do país, como Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica e Pampa (Simão-Bianchini; Ferreira, 2015; Lorenzi, 2008).

A espécie foi selecionada devido ao seu crescimento vigoroso, capacidade de se espalhar rapidamente, se adaptar a climas quentes, além de ser uma espécie resiliente a períodos de seca (Paz; Pigozzo, 2013). Além disso, é encontrada na região com crescimento espontâneo, podendo ser denominadas daninhas ou invasoras, dependendo do contexto (Lorenzi, 2008).

As folhas possuem em média 7 segmentos (Figura 12a); as flores apresentam formato de trombeta na coloração branca, não possuem odor, suas pétalas são unidas (gamopétalas) e floração ocorre durante todo ano (Figura 12b); as sementes são ornamentadas com coloração acastanhada, conhecidas como flor de madeira (Figura 12c).

Figura 12: Detalhes da *Distimake dissectus* : a) folhas; b) sementes; c) flores e botão



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024)

3.2 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO, ESTRUTURA E MANUTENÇÃO DA FACHADA VERDE

O experimento foi construído em um rancho residencial em Promissão (Figura 13), cidade pertencente ao município brasileiro do estado de São Paulo. Localiza-se a uma latitude $21^{\circ}32'12''$ sul e a uma longitude $49^{\circ}51'29''$ oeste, estando a uma altitude de 426 metros cujo, segundo Köppen-Geiger, a classificação climática é do tipo Aw - clima tropical, com inverno seco. Em Promissão, a estação chuvosa é caracterizada por temperaturas quentes, abafadas e predominância de céu encoberto, enquanto a estação seca apresenta temperaturas amenas e céu quase sem nuvens. Durante o ano, a temperatura oscila entre 17 e 31 °C, sendo raras as ocasiões em que fica abaixo de 12 °C ou acima de 36 °C (Weatherspark, 2021).

Figura 13: Local de implantação da fachada verde indireta



Fonte: Autor (2024)

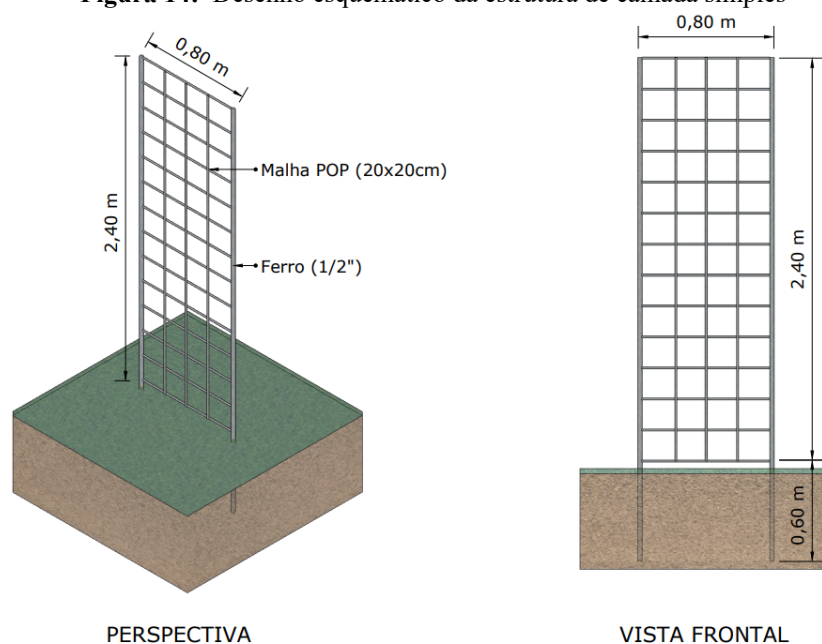
O experimento foi construído com um suporte de camada simples composto por duas barras de ferro com dimensões de 3,0 x 0,80 m, e espessura de 1/2 polegadas. Essas barras foram amarradas juntas utilizando uma malha pop de 20 x 20 cm, a partir da altura de 60 cm da barra de ferro, sendo que esses 60 cm foram enterrados no solo (Figura 14).

Para a camada dupla, o processo de construção foi semelhante, porém duplicando a estrutura, mas com um travamento e uma cavidade de 30 cm entre as duas estruturas (Figura 15). As estruturas foram instaladas na face nordeste da residência, a uma distância de 0,80m da parede, com um espaçamento de 2,40 m entre elas.

Em 03 de agosto de 2022, foi plantada uma muda de maior porte da trepadeira junto adjacente à estrutura simples e duas mudas de menor porte ao lado da estrutura dupla. Após o plantio, essa diferença de tamanho ocasionou, inicialmente, maior desenvolvimento na fachada simples. Realizou-se monitoramento semanal do desenvolvimento da fachada verde indireta, totalizando um período de monitoramento de 10 meses, de setembro de 2022 a junho de 2023.

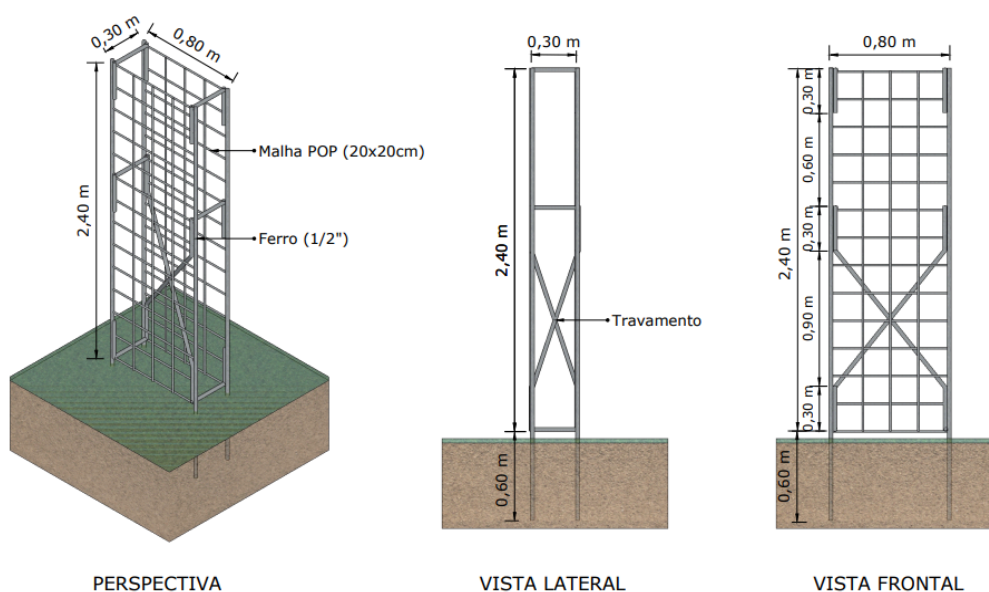
A manutenção constou de rega manualmente duas vezes por semana, simultaneamente ao monitoramento para avaliação do crescimento, detecção de pragas e captura de registros fotográficos (Figura 16).

Figura 14: Desenho esquemático da estrutura de camada simples



Fonte: Autor, 2024.

Figura 15: Desenho esquemático da estrutura de dupla camada



Fonte: Autor, 2024.

Figura 16: Imagem das fachadas da estrutura das fachadas verdes



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

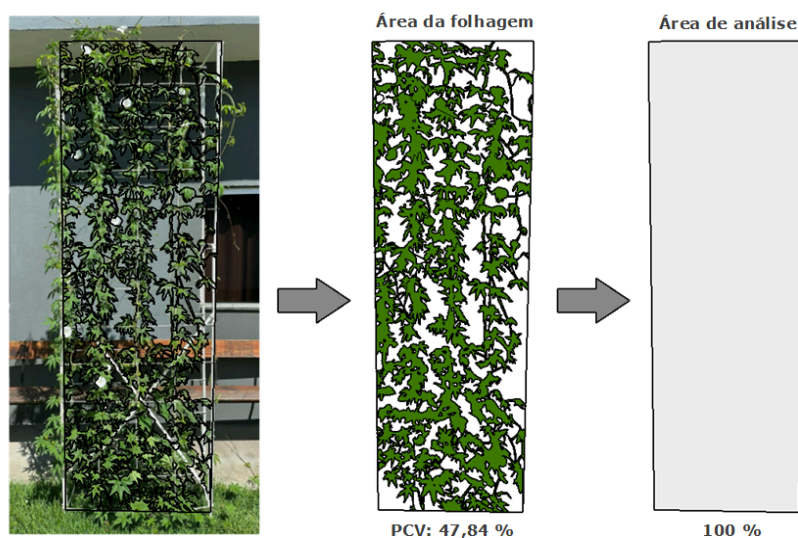
3.3 CÁLCULO DO PERCENTUAL DE COBERTURA VERDE (PCV)

O cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV) foi baseado na metodologia utilizada por Scherer (2014) e Munõz (2019), com pequenas adaptações. Para isso, foram utilizados registros fotográficos mensais e o software *SketchUp*® (2021) para criar imagens digitais. As imagens mensais foram importadas e a escala foi ajustada. Em seguida, foram traçadas linhas sobre a estrutura utilizando a ferramenta linha e

"mão livre", e a vegetação foi contornada para determinar a área coberta pela folhagem (Figura 17).

Após obter o desenho sobre a foto, apenas os contornos da estrutura foram separados para determinar a área total. A área verde ocupada pela vegetação foi multiplicada por 100 e em seguida foi então dividida pela área total da estrutura, obtendo assim o PCV da planta trepadeira *Distimake dissectus*. Esse processo foi repetido mês a mês até a trepadeira atingir a cobertura máxima.

Figura 17: Vetorização da área de análise e criação da máscara sobre a área da folhagem



Fonte: Autor, 2024.

3.4 ESPESSURA DA FACHADA VERDE

As medições da espessura da folhagem de cada fachada verde foram realizadas após ambas alcançarem o limite máximo de cobertura vegetal. Essas medições foram realizadas utilizando uma fita métrica, em três pontos distintos localizados a 0,20 m, 1,40 m e 2,20 m acima do nível do solo (Tabela 4).

Tabela 4: Espessura da folhagem nas fachadas verdes (m)

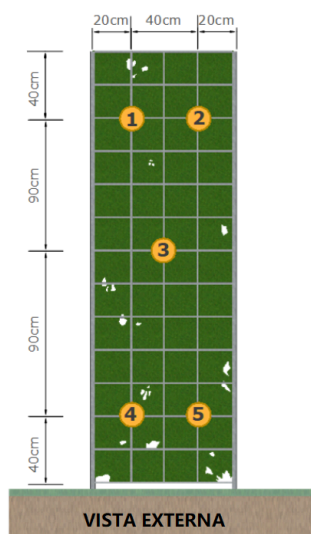
Distância do solo	Fachadas Verdes	
	Simplex	Dupla
0,20	0,60	0,90
1.20	0,90	1,10
2.20	0,90	1,20

Fonte: Autor, 2023

3.5 MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR PARA DETERMINAÇÃO DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR DA FACHADA VERDE INDIRETA

A determinação da intensidade da radiação solar incidente e protegida pela vegetação ocorreu por meio de registros em 5 pontos da fachada verde, tanto na face externa quanto interna (Figura 18), com base no método descrito no trabalho de Munõz (2019). Utilizou-se um medidor de radiação solar da marca Instrutherm MES-100 (escala: 2000 W/m², resolução: 1 W/m², precisão: tipicamente ± 10 W/m²) (Figura 19). As medições foram realizadas nos dias 22 e 25 de março de 2023, bem como nos dias 05 e 06 de junho do mesmo ano, caracterizados por condições de tempo quente. Cada medição ocorreu a intervalos de meia hora durante o período de exposição solar, que ocorreu sem interferência de sombras apenas entre 13h e 16h (Figura 20), com o equipamento perpendicular às estruturas das fachadas

Figura 18- Pontos de medição solar para monitoramento da radiação



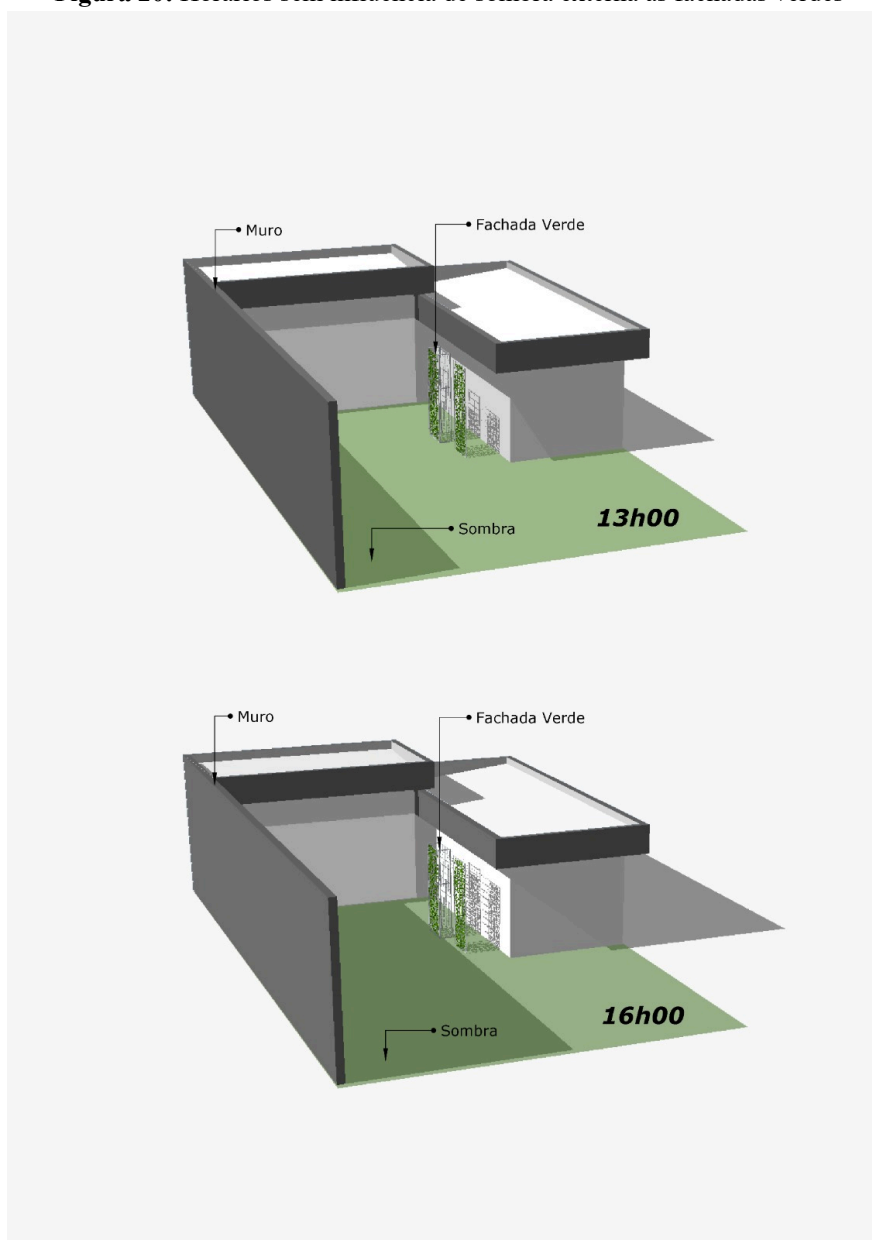
Fonte: Imagem elaborada pelo autor, 2024

Figura 19- Aparelho medidor de radiação solar



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024

Figura 20: Horários sem influência de sombra externa às fachadas verdes



Fonte: Autor, 2024.

3.5 CÁLCULO DA ÁREA FOLIAR (AF), DENSIDADE (DAF) E DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

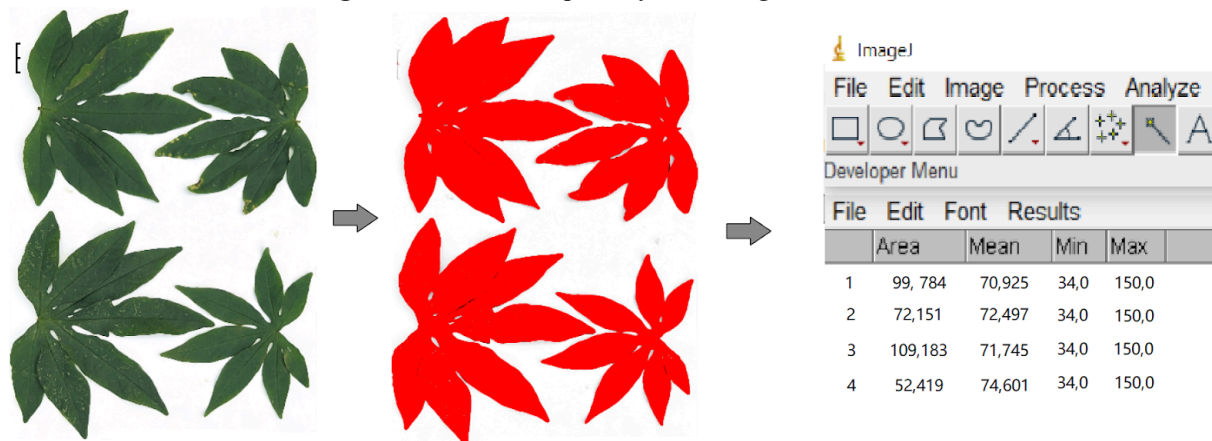
O cálculo da Área Foliar (AF), Densidade de Área Foliar (DAF) e do índice de área foliar (IAF) foi realizado através do método destrutivo baseado no trabalho de Weerakkody, *et al.* (2017) e Silva, 2018.

Para calcular a AF, inicialmente foram retiradas 102 folhas, quantidade de amostra escolhida por ser superior a 100 e ser divisível por 3, sendo 34 folhas da

camada inferior, média e superior da fachada verde e em seguida posicionadas sobre folhas sulfite de tamanho A4, que possuíam dois riscos de 1 cm para criar uma escala quando escaneadas (Figura 11). Após escanear todas as folhas, foi utilizado o *software ImageJ* para determinar as áreas dessas folhas. Dentro do *software*, a imagem importada foi modificada para 8 bits. Para definir a área das folhas, foi realizado o ajuste *Threshold*. Em seguida, foi posicionada uma linha com a utilização da ferramenta Segmento sobre o risco de 1 cm feito na folha A4, com objetivo de ajustar a escala através dessa medição em *Analyse > Set Scale > Known distance*.

Para finalizar, foi usada a ferramenta *Wand Tool* sobre cada folha para selecionar individualmente. Assim, cada área das 102 folhas foram medidas clicando em *Analyse > Measure* (Figura 21).

Figura 21: Área foliar pelo *Software ImageJ*.



Fonte: Autor, 2024.

Após essa etapa, todas as folhas de ambas fachadas verdes foram cuidadosamente coletadas e contabilizadas individualmente, com o fim de obter o número total de folhas. Esse procedimento permitiu determinar a Densidade Área Foliar através da fórmula proposta por Silva (2018).

$$DAF = \frac{NI \times La}{VFV} \quad (1)$$

Em que:

DAF - Densidade da Área foliar

NI - Número Total de Folhas

La - Área média das folhas

VFV - Volume da Fachada verde

Além disso, foi possível calcular o Índice de Área Foliar utilizando a fórmula proposta por Weerakkody, *et al.* (2017):

$$IAF = \frac{NI \times La}{Qa} \quad (2)$$

Em que:

IAF - Índice de Área Foliar

NI - Número Total de Folhas

La - Área Média das Folhas

Qa - Área da superfície (área da fachada verde)

3.6 CARGAS ESTRUTURAIIS

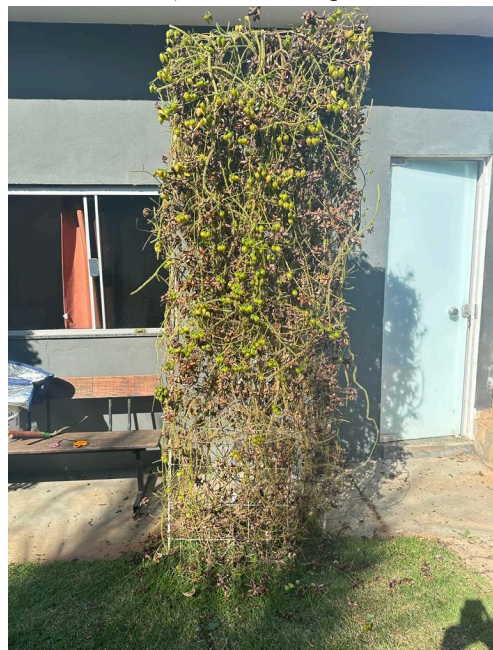
O conhecimento do peso da trepadeira é fundamental para dimensionar as cargas estruturais e garantir um desenvolvimento pleno sem riscos de colapso da estrutura de fixação. Neste estudo, foram realizados os seguintes procedimentos: i) retirada de todas as folhas verdes da estrutura, que foram posteriormente pesadas; ii) retirada de todos os botões, que também foram pesados; iii) retirada de todas as sementes, que também foram pesadas; iv) retirada de todos os ramos e galhos secos, que também foram pesados (Figuras 22 e 23).

A partir da soma dos pesos dos itens mencionados, foi possível obter o peso da trepadeira tanto na camada simples quanto na camada dupla. Além disso, com base no trabalho de Mela (2023), também foram calculados os pesos das folhas verdes em condições de umidade, simulando situações de chuva. Para isso, as folhas verdes foram molhadas e o excesso de água foi removido antes de serem pesadas para determinar o peso das folhas úmidas.

Figura 22: Fachada verde: a) Trepadeira *Distimake dissectus* inteira; b) *Distimake dissectus* sem as folhas verdes; c) Trepadeira sem as folhas verdes e botões; d) Ramos da trepadeira.



a



b



c



d

Fonte: Autores, 2024.

Figura 23: Partes da trepadeira: a) folhas; b) botões; c) sementes; d) ramos.



a



b



c



d

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados na ordem cronológica do desenvolvimento da pesquisa, conforme descrição a seguir: monitoramento da espécie para avaliar seu crescimento e atratividade para animais e insetos. A partir da análise desse crescimento, foi possível calcular o Percentual de Cobertura Verde (PCV), avaliar a atenuação da radiação solar e, por fim, determinar a Área Foliar (AF), a Densidade de Área Foliar (DAF), o Índice de Área Foliar (IAF) e o peso da vegetação exercido na estrutura.

4.1 CRESCIMENTO E MONITORAMENTO DA *Distimake dissectus*

Através do monitoramento do desenvolvimento da trepadeira *Distimake dissectus* foram observadas variações nas taxas de crescimento, fenologia de floração e produção de sementes. Após um período de três meses a partir do plantio, realizado em 3 de agosto de 2022, surgiram os primeiros botões florais.

Além do rápido crescimento, a fachada verde apresentou espessuras de folhagem que variou de 0,60 e 0,90 m para a camada simples e de 0,90 e 1,20 m da camada dupla (Figura 24). Esses valores nas espessuras contribuíram para as diferenças na atenuação da radiação solar.

Figura 24: Imagens com a espessura da fachada verde de camada dupla (a) e das medições da espessura máxima da camada dupla (b) e da camada simples.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

As duas fachadas atraíram insetos tais como lagartas, borboletas (Figura 25a), além de pássaros como beija-flores (Figura 25b) e pombas. Devido à alta densidade da vegetação na parte superior da dupla camada, foi local escolhido para uma pomba fazer um ninho (Figura 25c).

Figura 25: Atratividade de insetos e pássaros nas fachadas verdes:: Presença de borboletas na flor da *Distimake dissectus* (a); Presença de Beija flor na *Distimake dissectus* (b) e Ninho na parte superior da trepadeira (c).



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

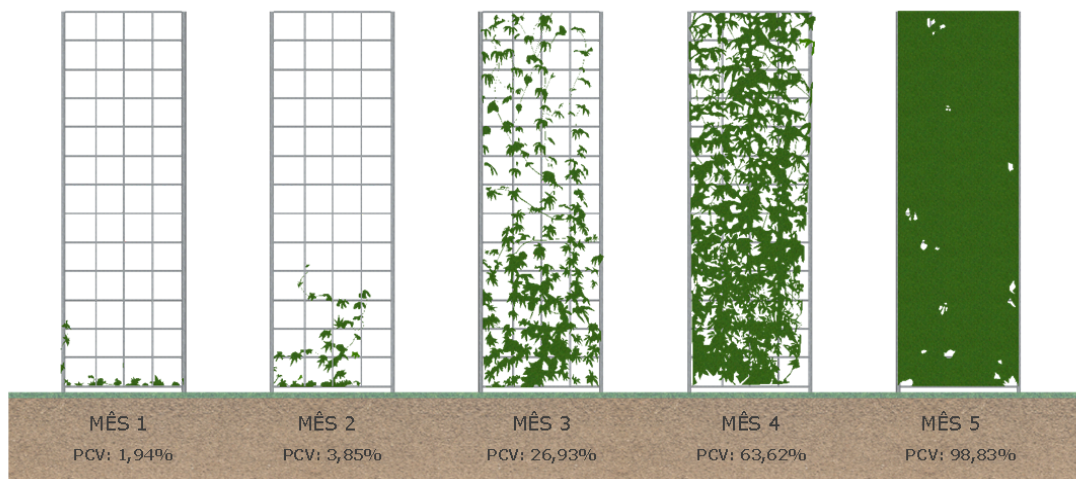
4.2. CÁLCULO DO PERCENTUAL DE COBERTURA VERDE (PCV)

Através de registros fotográficos mensais, foi possível visualizar o crescimento e a Porcentagem de Cobertura Verde da espécie (Figura 26). Essas imagens foram transformadas em desenhos, apresentados nas figuras 27 e 28, que evidenciam o crescimento das trepadeiras utilizadas na fachada de camada simples e na dupla, respectivamente, entre o mês de setembro de 2022 a janeiro de 2023. Observa-se um crescimento acelerado, que atingiu o máximo de PCV em apenas 5 meses (Figuras 27 e 28).

Figura 26: Crescimento da trepadeira ao longo dos meses: a) camada simples; b) camada dupla

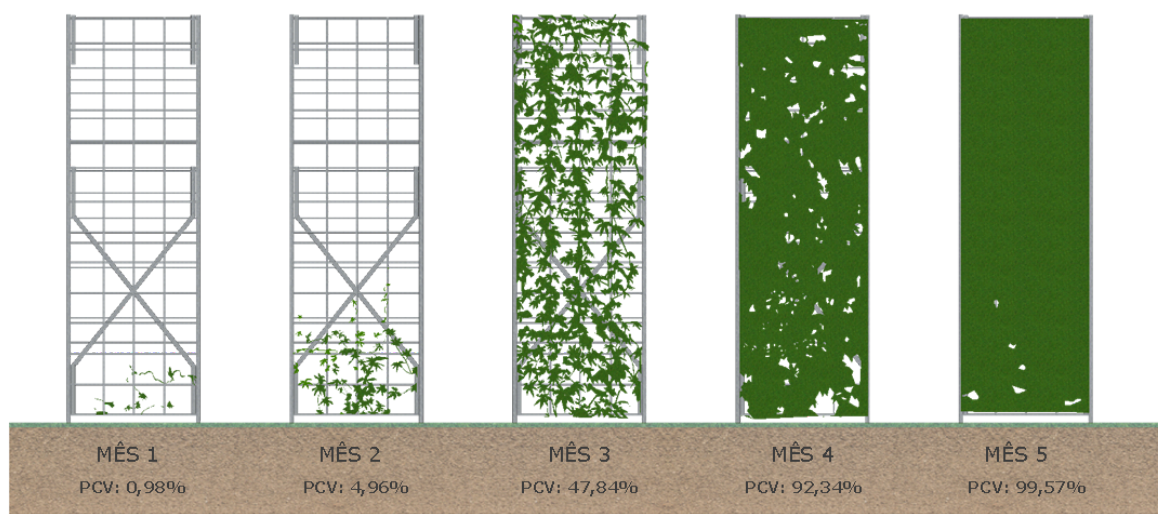
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 27: Imagens computadorizadas da evolução do crescimento da *Distimake dissectus* indireta na camada simples.



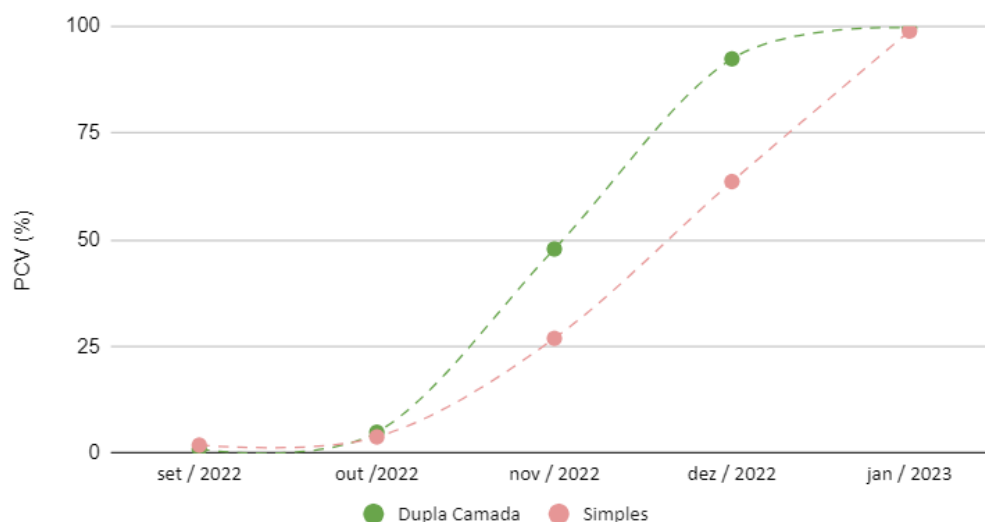
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Figura 28: Imagens computadorizadas da Evolução do crescimento da *Distimake dissectus* indireta na camada dupla.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Entre os experimentos, a camada dupla apresentou crescimento e PCV mais rápidos em comparação com a camada simples (Gráfico 1). Isso ocorreu devido ao plantio de duas mudas da espécie na camada dupla, enquanto apenas uma foi plantada na camada simples. Além disso, foi observado que o maior crescimento da espécie ocorreu entre o terceiro e o quarto mês. Na camada simples, houve um aumento de 36,69% na PCV, enquanto na camada dupla o aumento foi de 44,50%.

Gráficos 1: Valores de PCV e o crescimento ao longo dos meses.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.3 MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR

O monitoramento da radiação solar foi realizado nos dias 22 e 25 de março e 05 e 06 de junho de 2023, em condições de tempo quente, em 5 pontos distintos com intervalos de 30 minutos, das 13 às 16. Nesses dias, a temperatura variou entre 25°C e 30°C, segundo dados disponibilizados pelo *site* Weatherspark (disponível em <https://pt.weatherspark.com/y/29941/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Promiss%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>, acesso em 08/08/2023).

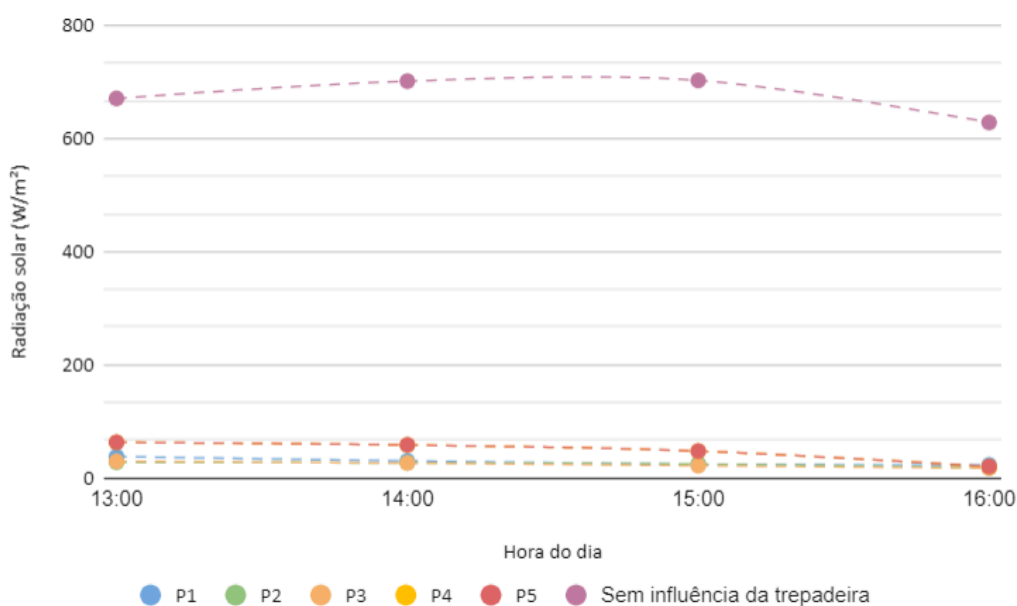
Com base nas médias dos valores de radiação solar obtidos (Apêndice B), foi possível calcular a atenuação da radiação solar e gerar médias por pontos e horários (Tabela 5). De acordo com esses dados, o ponto P3 apresentou a maior atenuação da radiação solar na camada simples, com uma média de 96,37%, enquanto o ponto P2 apresentou a maior atenuação na camada dupla, com uma média de 97,31%.

O ponto P4 teve a menor atenuação da radiação solar tanto na camada simples, com média de 92,11%, quanto na camada dupla, com média de 91,26%. Destaca-se que, em ambas as estruturas, os pontos superiores apresentaram maior atenuação da radiação solar em comparação aos pontos inferiores. Isso pode ser atribuído à maior espessura da folhagem e, conseqüentemente, maior densidade foliar na parte superior em comparação com a parte inferior.

Esse resultado demonstra que a densidade foliar é um parâmetro importante de determinação nos estudos sobre desempenho de fachadas verdes e exerce um papel fundamental na atenuação solar.

Ao comparar as médias das duas camadas por horário, observa-se que a camada dupla apresenta uma média ligeiramente mais alta em relação à atenuação da radiação solar. Isso ocorre especificamente em função do ótimo desempenho da trepadeira utilizada, que já na camada simples apresenta alta porcentagem de atenuação solar. Assim, na camada dupla de vegetação, o desempenho é similar em termos de porcentagem, apenas 0,22% melhor em comparação com a camada simples.

Gráficos 2: Diferença da radiação solar nos pontos com e sem influência da trepadeira



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Tabela 5: Atenuação de radiação solar para as fachadas simples e dupla nos diferentes pontos de medição

Hora	Tipo	Atenuação solar nos pontos de medição					
		P1	P2	P3	P4	P5	Média
13:00	Simples	94,36%	96,03%	95,63%	90,39%	93,13%	93,91%
13:00	Dupla camada	92,51%	96,39%	95,05%	88,16%	91,88%	92,80%
13:30	Simples	95,55%	95,57%	96,13%	89,97%	92,41%	93,93%
13:30	Dupla camada	96,06%	97,13%	96,77%	90,23%	91,41%	94,32%
14:00	Simples	95,74%	96,26%	96,21%	91,73%	93,59%	94,71%
14:00	Dupla camada	95,30%	97,35%	97,03%	91,06%	94,32%	95,01%
14:30	Simples	95,95%	95,72%	96,20%	91,78%	93,85%	94,70%
14:30	Dupla camada	96,75%	97,05%	97,01%	89,05%	92,49%	94,47%
15:00	Simples	96,62%	96,60%	97,12%	93,15%	95,21%	95,74%
15:00	Dupla camada	97,70%	97,65%	97,02%	92,48%	93,90%	95,75%
15:30	Simples	97,03%	96,21%	97,07%	94,15%	93,66%	95,63%
15:30	Dupla camada	97,62%	97,60%	97,60%	93,72%	96,01%	96,51%
16:00	Simples	95,45%	96,17%	96,21%	93,58%	95,82%	95,45%
16:00	Dupla camada	97,89%	98,01%	98,13%	94,12%	95,25%	96,68%
Média	Simples	95,81%	96,08%	96,37%	92,11%	93,95%	94,86%
Média	Dupla camada	96,26%	97,31%	96,94%	91,26%	93,61%	95,08%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A Tabela 6 apresenta dados comparativos entre resultados obtidos neste trabalho, com a fachada verde de camada simples, com os desenvolvidos por Muñoz (2019), ambos em cidades do estado de São Paulo (Promissão e Bauru). Verifica-se que, apesar de todas as espécies terem grande potencial de atenuação solar, o desempenho quanto da espécie *Distimake dissectus*, em relação *Passiflora edulis*, *Ipomoea horsfalliae* e *Thunbergia grandiflora*. é superior.

Tabela 6: Porcentagem de atenuação solar em espécies de trepadeira

Autores	Espécie	Atenuação (%)
Autor (2024)	<i>Distimake dissectus</i>	94,9
Muñoz (2019)	<i>Ipomoea horsfalliae</i>	94,0
	<i>Passiflora edulis</i>	92,0
	<i>Thunbergia grandiflora</i>	90,0

Fonte: Os autores (2024).

Destaca-se que a dissertação de Muñoz (2019) foi o primeiro trabalho orientado pela Professora Doutora Maria Solange Gurgel de Castro Fontes sobre desempenho de fachadas verdes, cuja ênfase foi identificar o Potencial de Sombreamento (PSO) de cada uma das três espécies avaliadas. Enquanto que outro trabalho orientado, o desenvolvido por Padovan (2020), se concentrou na influência térmica de fachadas verdes no ambiente interno e que utilizou a espécie *Ipomoea horsfalliae*, uma das utilizadas por Muñoz (2019). Atualmente, a pesquisa desenvolvida pela professora, com orientações de Iniciação científica e de Mestrado, continua a explorar o desempenho de fachadas verdes, mas agora com espécies nativas do Brasil, objetivando, ainda, determinar parâmetros da vegetação que são utilizados em programas de simulação computacional sobre desempenho de Fachadas verdes..

4.3.1 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada com intuito de identificar diferenças significativas para a radiação solar externa e interna, além da existência de diferenças significativas entre a atenuação solar das fachadas de camadas simples e dupla, que é o objetivo geral desta pesquisa.

As análises estatísticas da influência da fachada verde simples e dupla foram conduzidas adotando $\alpha = 0,05$ e realizadas utilizando o *R Statistical Software* (R version 4.3.2 (2023-10-31 ucrt); R Core Team (2023)).

Foram realizados testes de comparação estatístico com a radiação em frente às fachadas verdes e as protegidas. A Tabela 7 apresenta as principais estatísticas dos dados obtidos nos 4 dias avaliados. Como pode-se observar, os dados não seguem a distribuição Normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk (com 95% de confiança). Este comportamento também é percebido através do Histograma de distribuição apresentado na Figura 29.

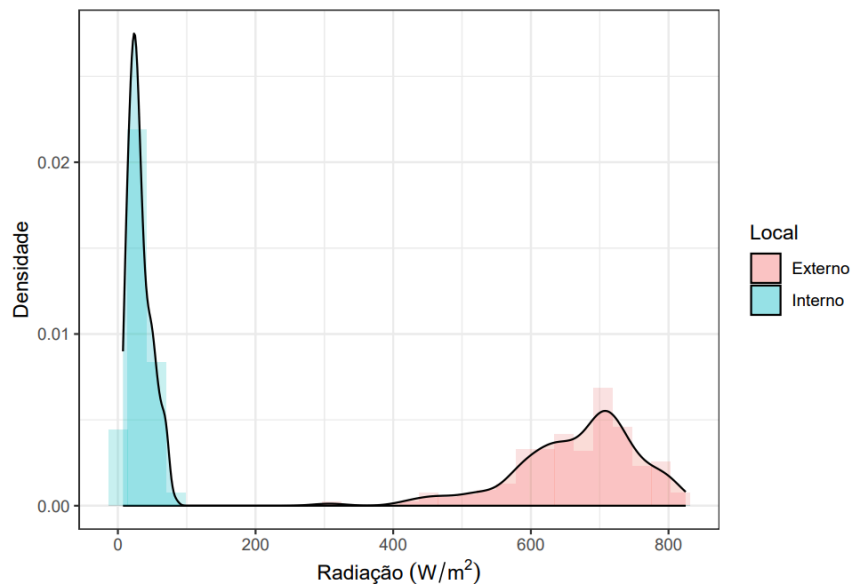
Tabela 7: Estatísticas gerais das medidas de Radiação nos quatro dias, nos cinco pontos de mensuração, separados por local.

Local	Média	Desvio Padrão	Conf.	Normalidade
Externo	667.39179	88.93675	10.462570	0
Interno	32.28107	16.70407	1.965077	0

NOTA: Conf. se refere a Intervalo de Confiança estimado com 95% de confiança

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Figura 29: Histograma de distribuição do conjunto de dados separado por Local.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

O teste F de homogeneidade de variâncias tem como resultado p-valor = 0. Portanto, as variâncias não são equivalentes. Como os dados não seguem, pelo menos aproximadamente, a distribuição Normal utilizar o teste t de Student pode retornar resultados equivocados.

Portanto, aplicando o teste Mann-Whitney de comparação de par de médias para dados que destoam da distribuição Normal, podemos afirmar que houve diferença significativa entre a Radiação medida na parte Interna (32.2810714 ± 1.9650766) e na parte Externa ($667.3617857 \pm 10.4625696$) segundo o teste de Mann-Whitney (p-valor = 3.564847×10^{-93}) nos dias avaliados.

Com base nos dados analisados, utilizar fachada verde (Simples ou Dupla) reduz significativamente a incidência da radiação solar.

Através da tabela 8 é possível observar que os dados também não seguem a distribuição Normal, quando comparamos a fachada dupla com a fachada simples.

Tabela 8: Estatísticas gerais das medidas de Radiação entre fachada dupla e simples.

Local	Média	Desvio Padrão	Conf.	Normalidade
Dupla	30.82286	18.23128	3.046483	6e-07
Simples	33.73929	14.94646	2.497584	0e+00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Portanto, aplicando o teste de comparação de par de médias para dados que destoam da distribuição Normal, pode-se afirmar que houve diferença significativa entre a Radiação medida na parte interna da fachada Simples (33.7392857 ± 2.4975835) e na fachada Dupla (30.8228571 ± 3.0464832) segundo o teste de Mann-Whitney (p-valor = 0.0195323) nos quatro dias avaliados.

Portanto, ao assumir a distribuição não normal dos dados, os resultados comprovam que “existem diferenças entre o potencial de atenuação solar em fachadas verdes indiretas de camadas simples e dupla, constituídas pela planta trepadeira *Distimake dissectus*”. Resultados que respondem ao objetivo geral desta pesquisa.

4.4 ÁREA FOLIAR, DENSIDADE FOLIAR E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Este item apresenta os resultados dos cálculos da Área Foliar em cm^2 das folhas da espécie *Distimake dissectus*, a Densidade de Área Foliar (DAF) e Índice de Área Foliar (IAF). Para os estudos experimentais, esses resultados ajudam no entendimento do potencial de sombreamento da espécie, e para os de simulação computacional tem uma contribuição significativa, pois constituem dados de entrada dos principais programas utilizados para análise de desempenho térmico das fachadas verdes.

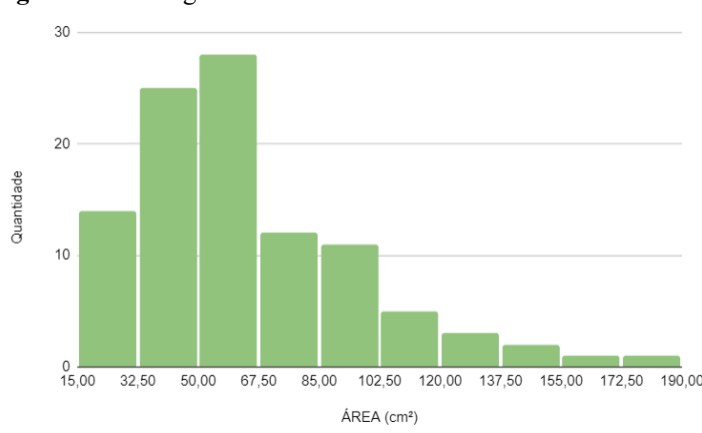
4.4.1. Área foliar

Para determinação da Área Foliar foram selecionadas e escaneadas 102 folhas para medir suas áreas (Apêndice C), . Em seguida foi calculada a média das áreas das folhas através do software *imageJ*, resultando em uma área média de $64,11 \text{ cm}^2$ (Tabela 9). A análise do histograma revelou que as áreas das folhas variaram entre $15,50 \text{ cm}^2$ a $185,32 \text{ cm}^2$. Além disso, foi observado que a maioria das folhas (28 folhas) apresentou uma área entre 50 cm^2 e $67,50 \text{ cm}^2$, enquanto apenas uma folha teve uma área entre $172,5 \text{ cm}^2$ e 190 cm^2 (Figura 30).

Tabela 9: Amostras de Área Foliar.

ÁREA FOLIAR (cm ²)							
Folha (n)	Área (cm ²)	Folha (n)	Área (cm ²)	Folha (n)	Área (cm ²)	Folha (n)	Área (cm ²)
1	35,72	27	58,41	53	101,67	79	72,90
2	25,01	28	100,15	54	15,50	80	86,57
3	63,25	29	62,32	55	31,79	81	33,04
4	40,12	30	19,34	56	159,94	82	26,68
5	39,96	31	64,85	57	45,44	83	71,40
6	49,21	32	61,75	58	73,77	84	62,73
7	26,91	33	61,35	59	54,19	85	78,02
8	59,86	34	54,92	60	51,46	86	36,16
9	74,49	35	60,82	61	69,04	87	99,78
10	38,65	36	92,02	62	33,93	88	72,15
11	48,59	37	72,95	63	127,73	89	109,18
12	46,95	38	73,08	64	89,95	90	52,41
13	58,33	39	145,39	65	66,14	91	48,90
14	53,63	40	37,03	66	99,90	92	51,17
15	44,63	41	65,95	67	77,07	93	32,71
16	26,93	42	185,32	68	88,99	94	104,19
17	29,29	43	128,96	69	34,53	95	44,79
18	109,82	44	31,02	70	76,90	96	72,65
19	54,82	45	64,52	71	66,82	97	51,10
20	65,98	46	48,01	72	104,56	98	123,61
21	22,46	47	48,20	73	47,38	99	38,10
22	89,66	48	100,55	74	17,05	100	47,85
23	66,45	49	47,70	75	85,09	101	22,18
24	28,77	50	55,27	76	147,99	102	108,22
25	21,46	51	48,22	77	38,14	MÉDIA = 64,11 cm²	
26	54,73	52	65,87	78	58,17		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Figura 30: Histograma de área das folhas da *Distimake dissectus*

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

4.4.2 Densidade de Área Foliar

Após o método destrutivo, foi possível calcular a densidade foliar tanto para a estrutura simples quanto para a dupla camada. Para a estrutura simples foram contabilizadas 1037 folhas e para camada dupla 1198 folhas, ou seja, apenas 161 folhas a mais. Em relação a espessura média das fachadas foi obtido 0,80 m para a fachada simples e 1,05 m para a fachada dupla.

Esses dados permitiram o cálculo da densidade segundo fórmula de Sousa (2018):

$$DAF = \frac{NI \times La}{VFV} \quad (1)$$

$$\text{Camada simples: } DAF = \frac{NI \times La}{VFV} = \frac{1037 \times 0,006411}{2,40 \times 0,80 \times 0,80} = 4,34 \text{m}^2/\text{m}^3$$

$$\text{Camada dupla: } DAF = \frac{NI \times La}{VFV} = \frac{1198 \times 0,006411}{2,4 \times 0,80 \times 1,07} = 3,73 \text{m}^2/\text{m}^3$$

Em que:

DAF - Densidade da Área foliar

NI - Número Total de Folhas

La - Área média das folhas

VFV = Volume da Fachada verde

De acordo com esses resultados, observou-se que a densidade da fachada dupla foi inferior à da camada simples. Isso ocorreu, pois apesar da fachada dupla ocupar um volume maior (2,05 m³) que a fachada simples (1,54 m³), a quantidade de folhas a mais não foi significativa, como anteriormente mencionado.

4.4.3 Índice de Área Foliar (IAF)

Ao considerar a média de área foliar de 0,006411 m² e o número total de folhas presentes na área da estrutura de 1,92 m² (2,40 m x 0,80 m), foi possível calcular o IAF tanto para a fachada verde simples quanto para a de dupla camada, utilizando a fórmula proposta por Weerakkody, *et al.* (2017):

$$IAF = \frac{NI \times La}{Qa} \quad (2)$$

Em que:

IAF - Índice de Área Foliar

NI - Número Total de Folhas

La - Área Média das Folhas

Qa - Área da superfície (área da Fachada verde)

$$\text{Camada Simples: } IAF = \frac{1037 \times 0,006411}{2,4 \times 0,80} = 3,46$$

$$\text{Camada Dupla: } IAF = \frac{1198 \times 0,006411}{2,4 \times 0,80} = 4,00$$

O IAF um pouco mais elevado para a camada dupla representa um maior poder de atenuação solar. No entanto, como já mencionado no item 4.3, a espécie utilizada (*Distimake dissectus*) possui um ótimo desempenho na camada simples em relação à atenuação solar (94,86%). Por isso, não é recomendado o uso de fachada verde com camada dupla com a espécie analisada..

4.5 CARGAS ESTRUTURAIS

Aproveitando o método destrutivo utilizado para determinar os parâmetros anteriormente descritos (DF e IAF), também foi determinado o peso das duas fachadas verdes avaliadas. Para isso, foram coletados e pesados individualmente as folhas, sementes, botões, ramos, galhos e folhas secas (Tabela 10).

As plantas das estruturas simples e dupla apresentaram peso seco (logo após a desfolha) de 8,86 Kg e de 9,82 Kg, respectivamente. Quando umedecidas, o peso da camada simples totalizou 9,44 Kg e o da camada dupla 10,58 Kg. Ambas as estruturas apresentaram pesos próximos devido a pouca diferença nas quantidades vegetativas das fachadas. Resultando em peso seco de 4,6 kg/m² na camada simples e 5,1 kg/m² na camada dupla.

Tabela 10: Quantidade e peso da fachada verde.

Tipo	Folhas verdes		Folhas molhadas	Sementes		Botões		Ramos	Galhos e folhas secas	Peso Total seco(g)
	Quantidade	Peso (g)	Peso (g)	Quantidade	Peso (g)	Quantidade	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	
Simple s	1037	849	1431	1697	1309	636	2081	3428	1192	8859
Dupla	1198	927	1679	2047	1502	629	1852	4360	1183	9824

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados obtidos com o estudo experimental com fachadas verdes indiretas, com camadas simples e dupla, constituídas pela trepadeira *Distimake dissectus*, foi possível identificar seu grande potencial de sombreamento e de atenuação solar. Além disso, o seu rápido desenvolvimento, facilidade de manutenção e beleza de sua floração, conferem a essa trepadeira pouco conhecida, uma notável qualidade paisagística.

Quanto ao seu desenvolvimento, os dados do Percentual de Cobertura Verde (PCV) apresentaram valores superiores a 98% a partir do quinto mês, ou seja, um excelente recobrimento da estrutura de suporte e, conseqüente, capacidade de sombreamento. Esse potencial de sombreamento contribuiu para uma atenuação da radiação solar de 94,9% na camada simples e 95,1 % na camada dupla. Essa excelente atenuação da radiação solar também está relacionada ao parâmetro de Índice de Área Foliar, que atingiu de 3,5 na camada simples e 4,0 na camada dupla.

Em relação à análise estatística dos dados, foi comprovado a eficiência das fachadas verdes quanto a atenuação solar, assim como a existência de diferenças significativas entre ambas. Apesar dessas diferenças, da fachada verde de camada simples em relação a de dupla camada, para a espécie analisada recomenda-se o uso da fachada simples, pois sozinha já consegue uma excelente atenuação solar e, portanto, considerada uma ótima estratégia passiva para mitigar a incidência de radiação solar nas superfícies de edificações ou mesmo em espaços de transição (varandas, corredores, entre outros).

Outra importante conclusão da pesquisa se refere ao peso da trepadeira, que é crucial para dimensionar as cargas na estrutura da fachada verde e, conseqüentemente, contribuir para sua estabilidade. Assim, para uma fachada de camada simples com a espécie analisada, o peso seco é de 4,6 kg/m². No entanto, com a interferência da água da chuva ou mesmo da irrigação sobre a folhagem, esse peso tende a aumentar de no mínimo 0,30 kg para cada m² de fachada verde.

Além de resultados numéricos gerados pelo estudo experimental, outra grande contribuição da pesquisa está relacionada ao detalhamento das metodologias utilizadas para a determinação da Área Foliar (AF), Densidade Área Foliar (DAF), Índice de Área Foliar (IAF), com base em diferentes autores. Esses parâmetros são essenciais aos

estudos de desempenho térmico de fachadas verdes através da abordagem computacional, uma vez que constituem dados de entrada para programas de simulação.

Para próximos estudos experimentais, recomenda-se seguir os mesmos procedimentos metodológicos para testar outras espécies. Para o caso da DAF e IAF, sugere-se ainda, determiná-los nas porções inferiores, médias e superiores da fachada verde, assim como monitorar de forma independente a atenuação solar nessas partes, uma vez que o crescimento da planta trepadeira não é homogêneo na estrutura de suporte.

6. REFERÊNCIAS

ALBERNARD, Renata Serafin de et al. Análise da influência do uso de cortina verde no comportamento térmico em habitação de interesse social em Santa Maria, RS. 2021.

ALLAN, S.; KIM, H. A study of workflow for simulations of vertical greenery systems. **Architecture Research**, v. 6, p. 142-153, 2016.

ALSAAD, Hayder et al. The potential of facade greening in mitigating the effects of heatwaves in Central European cities. **Building and Environment**, v. 216, p. 109021, 2022.

ASSIMAKOPOULOS, Margarita-Niki et al. Green wall design approach towards energy performance and indoor comfort improvement: A case study in Athens. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3772, 2020.

BANO, Polikseni; DERVISHI, Sokol. The impact of vertical vegetation on thermal performance of high-rise office building facades in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 236, p. 110761, 2021.

BANDURSKI, Karol et al. The Green structure for outdoor places in dry, hot regions and seasons—Providing HUMAN THERMAL COMFORT in sustainable Cities. **Energies**, v. 13, n. 11, p. 2755, 2020.

BARBOSA, Murilo Cruciol; DE CASTRO FONTES, Maria Solange Gurgel. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 2, p. 114-124, 2016.

BASS, Brad; BASKARAN, Bas. Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. 2003.

BOBY, Neha Mary; DASH, Shanta Pragyan; SHETTY, Deepika. A Study On The Efficacy Of Green Walls In Indian Perspective. **PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology**, v. 17, n. 9, p. 7461-7478, 2020.

BRISCOE, D. Living Wall. Information Workflow and Collaboration. Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference. **Anais...** v 1, p.207 – 202, 2018.

BRISCOE, D. Living wall: Digital design and implementation. **Journal of Digital Landscape Architecture**, n. 5, p. 646–653, 2020.

BRISCOE, D. Parametric Planting Green Wall System Research + DESIGN USING BIM. ACADIA 2014. **Anais...**2014

CARLOS, Jorge S. Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. In: **Building simulation**. Tsinghua University Press, 2015. p. 3-11.

CONVERTINO, Fabiana et al. Effect of leaf area index on green facade thermal performance in buildings. *Sustainability*, v. 14, n. 5, p. 2966, 2022.

CRUCIOL-BARBOSA, M. **Avaliação da influência térmica de um jardim vertical de tipologia parede viva contínua**. 2019. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru.

DAHANAYAKE, KWD Kalani C.; CHOW, Cheuk Lun. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. **Energy and Buildings**, v. 138, p. 47-59, 2017.

DOMURATH, N.; SCHROEDER, F.-G. Vertical hydroponics for urban areas. In: **International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics** 843. 2008. p. 249-254.

FREEWAN, Ahmed A.; JARADAT, Neda'a M.; AMAIREH, Ikrima A. Optimizing shading and thermal performances of vertical green wall on buildings in a hot arid region. **Buildings**, v. 12, n. 2, p. 216, 2022.

JAAFAR, Badruzaman et al. Impact of vertical greenery system on internal building corridors in the tropic. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 105, p. 558-568, 2013.

JÄNICKE, Britta et al. Evaluating the effects of façade greening on human bioclimate in a complex urban environment. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

KAYANO, Thiago Youzi Kussaba et al. COBERTURA E FACHADA VERDE:: ANÁLISE DE EPISÓDIO CLIMÁTICO REPRESENTATIVO DE FRIO EM CÉLULAS DE TESTES. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 8, n. 2, p. 89-100, 2018.

KONTOLEON, K. J.; EUMORFOPOULOU, E. A. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. **Building and environment**, v. 45, n. 5, p. 1287-1303, 2010.

KOYAMA, Takuya et al. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. **Building and Environment**, v. 66, p. 96-103, 2013.

LARSEN, Silvana Flores; FILIPPÍN, Celina; LESINO, Graciela. Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software. **Solar Energy**, v. 121, p. 56-67, 2015.

LARSEN, Silvana Flores; FILIPPÍN, Celina; LESINO, Graciela. Thermal simulation of a double skin façade with plants. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1763-1772, 2014.

LEE, Louis SH; JIM, Chi Yung. Subtropical summer thermal effects of wire-rope climber green walls with different air-gap depths. **Building and Environment**, v. 126, p. 1-12, 2017.

LESJAK, Valentina; PAJEK, Luka; KOŠIR, Mitja. Indirect green façade as an overheating prevention measure. **Gradevinar**, v. 72, p. 569-583, 2020.

LI, Zhilei et al. The effectiveness of adding horizontal greening and vertical greening to courtyard areas of existing buildings in the hot summer cold winter region of China: A case study for Ningbo. **Energy and Buildings**, v. 196, p. 227-239, 2019.

LIN, Hankun et al. Green façade effects on thermal environment in transitional space: Field measurement studies and computational fluid dynamics simulations. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5691, 2019.

LORENZI, Harri . Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MELA, Débora. Geometria para fachadas verdes aplicando a modelagem algorítmico-paramétrica: estudos com diferentes espécies trepadeiras. 2023. 179 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2023.

MORELLI, Denise Damas de Oliveira. Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído. 2009. Dissertação (mestrado). Curso de Pós - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MUÑOZ, L. S. Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras. 2019. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, Bauru, 2019a.

MUÑOZ, Luiza Sobhie et al. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019013-e019013, 2019.

MUÑOZ, S.; FONTES, M. Potencial de sombreamento de jardim vertical: atenuação da radiação solar de fachada verde indireta. 2022.

OCHOA DE LA TORRE, José Manuel. La vegetación como instrumento para el control microclimático. Universitat Politècnica de Catalunya, 1999.

OLIVIERI, Francesca et al. An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. **Energy and Buildings**, v. 150, p. 132-148, 2017.

PADOVAN, Leonardo Diba Gonçalves. Desempenho térmico de jardins verticais extensivos: estudo com uso da trepadeira *Ipomoea Horsfalliae*. 2020.

PARHIZKAR, Hooman; KHORASKANI, Roham Afghani; TAHBAZ, Mansoureh. Double skin façade with Azolla; ventilation, indoor air quality and thermal performance assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119313, 2020.

PAZ, J. R. L.; PIGOZZO, C. M. Biologia floral e polinização de *Distimake dissectus* var. *edentada* (Meisn.) O'Donnell (Convolvulaceae) em um fragmento urbano de Mata Atlântica, Bahia. **Lundiana: International Journal of Biodiversity**, v. 11, n. 1, p. 9-16, 2013.

PENG, Lilliana LH et al. Cooling effects of block-scale facade greening and their relationship with urban form. **Building and Environment**, v. 169, p. 106552, 2020.

PÉREZ, Gabriel et al. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 39, p. 139-165, 2014.

PEREZ, Gabriel et al. Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green facade. **Building and Environment**, v. 207, p. 108497, 2022.

PÉREZ, Gabriel et al. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy conversion and management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.

PERINI, Katia et al. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. **Building and environment**, v. 46, n. 11, p. 2287-2294, 2011..

PERINI, Katia et al. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. **Urban Ecosystems**, v. 16, p. 265-277, 2013.

POKORNY, Jan et al. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*, v. 5, n. 4, p. 311-336, 2010.

RAYNER, J. P. et al. Façade greening: A case study from Melbourne, Australia. **Acta horticulturae**, v. 881, p. 709-713, 2010.

REIS, Anelise Jung. Índice de sombreamento da wisteria floribunda usada em um sistema de fachada verde. 2022.

REFATI, Kassiana Kamila Pagnoncelli et al. **Cortina verde com diferentes espécies trepadeiras e os efeitos termo-higrométricos em um ambiente**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VAN RENTERGHEM, Timothy et al. The potential of building envelope greening to achieve quietness. **Building and Environment**, v. 61, p. 34-44, 2013.

VAN RENTERGHEM, Timothy; BOTTELDOOREN, Dick. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. **Building and environment**, v. 44, n. 5, p. 1081-1087, 2009.

RIBEIRO, L. R.; SCHERER, M. J.; RODRIGUES, M. A. Jardim Vertical de Feltro Automotivo: Uma solução sustentável e acessível para essa estratégia bioclimática. *Arquitetura e urbanismo: soluções precedentes e aplicáveis a problemas atuais / Organizadora Jeanine Mafra Migliorini*. p. 79-93, 2020.

RUOCCO, Pedro Pimentel; DA SILVA, Priscila Weruska Stark; MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento. TELHADOS E FACHADAS VERDES SÃO ELEMENTOS DE ABSORÇÃO ACÚSTICA?. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 17, n. 1, p. 1073-1078, 2018.

SAFIKHANI, Tabassom et al. Thermal impacts of vertical greenery systems. **Environmental and Climate Technologies**, v. 14, n. 1, p. 5-11, 2014.

SCHERER, M. J. **Cortinas verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética de edificações**. 2014. Tese (doutorado). Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHERER, Minéia Johann; ALVES, Thales Severo; REDIN, Janaína. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 7, n. 1, p. 84-101, 2018.

SCHERER, Minéia Johann; FEDRIZZI, Beatriz Maria. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2, p. 49-61, 2014.

SHARP, Randy et al. Introduction to Green Walls: technology, benefits & design. **Green roofs for healthy cities**, p. 5-24, 2008.

SHEWEKA, Samar Mohamed; MOHAMED, Nourhan Magdy. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. **Energy Procedia**, v. 18, p. 507-520, 2012.

SHUHAIMI, Nur Dinie Afiqah Mohammad et al. The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103429, 2022.

SILVA, Manuel Barros. **Sustentabilidade das Fachadas Verdes Indiretas na Zona de Lisboa. Reflexão E Melhoramento**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa (Portugal).

SILVA, Priscila Weruska Stark da. **O impacto das fachadas verdes nos microclimas urbanos**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SIMÃO-BIANCHINI, R.; FERREIRA, P. P. A. 2015 Merremia in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB7099>. Acesso em: 25 mar. 2023.

SORTE, Pedro Dias Boa. **Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do Cerrado**. 2016.

SOUSA, R. B. d. **Jardins Verticais: um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado**. Porto: Universidade Lusófona Mestrado, 2012.

SOUSA, Maysa de Castro. **Fachada verde “a influência no conforto térmico entre espécies de trepadeiras”**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

STAV, Yael; LAWSON, Gillian. Vertical vegetation design decisions and their impact on energy consumption in subtropical cities. **The sustainable city VII: urban regeneration and sustainability [WIT Transactions on Ecology and the Environment, Volume 155]**, p. 489-500, 2012.

SUDIMAC, Budimir S.; ČUKOVIĆ-IGNJATOVIĆ, Nataša D.; IGNJATOVIĆ, Dušan M. Experimental study on reducing temperature using modular system for vegetation walls made of perlite concrete. **Thermal Science**, v. 22, n. Suppl. 4, p. 1059-1069, 2018.

SUSOROVA, I.; ANGULO, M.; BAHRAMI, P.; BRENT S. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. **Building and Environment**, v. 67, p. 1–13, 2013.

VALESAN, Mariene. **Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com Pele-Verde em Porto Alegre**. 2009.

WANG, Puyi et al. Vertical Greening Systems: Technological Benefits, Progresses and Prospects. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 12997, 2022.

WEERAKKODY, Udeshika et al. Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. **Urban forestry & urban greening**, v. 27, p. 173-186, 2017.

WIDIASTUTI, Ratih et al. Study on the leaves densities as parameter for effectiveness of energy transfer on the green facade. **Buildings**, v. 8, n. 10, p. 138, 2018.

WIDIASTUTI, Ratih; CAESARENDRA, Wahyu; ZAINI, Juliana. Observation to building thermal characteristic of green façade model based on various leaves covered area. **Buildings**, v. 9, n. 3, p. 75, 2019.

WIDIASTUTI, Ratih; ZAINI, Juliana; CAESARENDRA, Wahyu. Field measurement on the model of green facade systems and its effect to building indoor thermal comfort. **Measurement**, v. 166, p. 108212, 2020.

WONG, Nyuk Hien et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and environment**, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.

WONG, Irene; BALDWIN, Andrew 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.

WeatherSpark. Clima característico em Promissão, Brasil durante o ano. 2021.

Disponível em:

<https://pt.weatherspark.com/y/29941/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Promiss%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: ago. 2023.

SKETCHUP. Versão: 21.1.279. Trimble, 2021

YANG, Hong Seok; KANG, Jian; CHOI, Min Sung. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building and Environment**, v. 50, p. 44-55, 2012.

APÊNDICE A - TABELAS DE VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E PROTEGIDA

22 de março de 2023											
Hora	Tipo	Interno (W/m ²)					Externo (W/m ²)				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
13h00	Simple s	36,1	28,4	30,2	58,4	41,6	580,2	690,2	570,6	600,3	570,2
	Dupla	72,6	30,2	28,4	57,6	48,3	480,6	530	460,8	501,3	506,7
13h30	Simple s	30,4	25,3	32,5	65,3	49,6	610	570,3	630,8	624,3	641,3
	Dupla	48,2	31,2	28,3	50,8	61,4	580,3	601,3	530,4	601,3	537,3
14h00	Simple s	36,2	26,4	24,3	61,7	52,3	650,3	617,3	580,3	688,6	701,3
	Dupla	58,3	25,3	24,1	49,3	48,3	604,3	660,3	684,8	630,8	673,3
14h30	Simple s	38,4	38,6	28,3	70,1	52,8	656,3	670,3	604,8	613,4	780,1
	Dupla	30,2	30,3	26,4	61,3	52,7	650,2	660,3	530,4	532,1	593,5
15h00	Simple s	28,4	33,5	29,3	60,7	31,1	720,1	725,3	700	670,3	720,8
	Dupla	27,3	26,8	27,3	52,4	52,3	706,2	704,8	630,2	660,4	630,1
15h30	Simple s	19,2	36,2	31,7	50,3	50,2	725,1	690,3	715,4	740,7	621,1
	Dupla	25,1	25,3	20,3	40,1	36,7	701,3	700,4	570,3	640,3	670,5
16h00	Simple s	34,1	36,2	23,8	48,3	22,1	438,1	467,4	440,1	413,5	300,7
	Dupla	15,3	13,4	12,4	25,4	27,6	440,7	478,3	460,7	420,8	314,1
MÉDIA	Simple s	31,8	32,1	28,6	59,3	42,8	625,7	633,0	606,0	621,6	619,4
	Dupla	39,5	26,0	23,8	48,1	46,7	594,8	619,3	552,5	569,5	560,7
		7	7	9	3	6	0	4	1	7	9

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

25 de março de 2023											
Hora	Tipo	Interno (W/m ²)					Externo (W/m ²)				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
13:00	Simple s	38,2	30,4	34,6	69,6	36,8	660,2	655,3	610,4	600,3	645,1
	Dupla	52,3	26,4	31,2	70,1	53,1	570,2	570,4	570,3	525,7	527,3
13:30	Simple s	29,3	40,7	29,4	70,6	49,1	650,2	670,3	645,1	626,3	660,4
	Dupla	19,3	12,3	16,7	46,2	38,2	570,6	598,6	585,4	579,3	603,1
14:00	Simple s	31,2	35,2	34,5	70,6	45,3	709,2	764,3	670,5	679,4	702,4
	Dupla	40,7	19,6	24,2	62,1	41,8	640,4	660,4	634,6	701,5	692,1
14:30	Simple s	30,1	40,5	33,1	70,1	51,2	640,2	662,1	578,3	645,2	632,1
	Dupla	35,2	24,1	23,4	68,1	42,1	690,1	633,2	584,3	557,3	633,4
15:00	Simple s	20,1	21,3	21,4	65,3	43,6	652,3	640,3	698,1	786,1	746,3

	Dupla	22,1	19,4	22,1	58,6	46,7	802,4	746,3	656,3	741,3	807,3
15:30	Simple s	27,1	35,8	21,1	64,4	46,3	761,3	701,2	704,6	800,1	512,6
	Dupla	25,3	21,6	20,7	50,4	34,6	741,3	706,5	681,3	627,6	776,1
16:00	Simple s	24,2	18,3	26,8	62,4	31,9	615,7	698,8	480,7	681,3	750,7
	Dupla	20,1	20,3	14,4	49,2	26,5	726,3	760,7	715,5	648,1	690,4
MÉDI A	Simple s	28,6	31,7	28,7	67,6	43,5	669,9	684,6	626,8	688,4	664,2
	Dupla	30,7	20,5	21,8	57,8	40,4	677,3	668,0	632,5	625,8	675,6
		1	3	1	1	3	3	1	3	3	7

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

5 de junho de 2023											
Hora	Tipo	Interno (W/m ²)					Externo (W/m ²)				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
13:00	Simple s	56,1	27,4	24,6	76,1	56,3	718,2	681,2	734,3	701,9	630,8
	Dupla	24,5	15,3	27,5	83,5	42,4	689,1	737,1	715,6	619,2	625,1
13:30	Simple s	32,2	28,3	21,2	59,8	42,5	679,3	710,2	792,2	619,5	587,9
	Dupla	13,4	16,7	15,8	72,3	52,3	616,8	710,3	701,4	625,4	592,3
14:00	Simple s	30,2	22,3	20,1	40,9	33,6	730,5	716,4	731,1	635,7	640,4
	Dupla	13,1	13,7	16,4	70,1	32,2	784,4	780,2	694,1	649,5	639,3
14:30	Simple s	23,4	19,2	16,3	27,6	27,9	747,3	761,8	750,5	456,8	519,8
	Dupla	12,6	15,4	10,1	54,3	43,8	739,7	719,8	801,8	504,3	570,8
15:00	Simple s	23,4	19,5	12,7	27,6	29,2	749,8	772,4	803,4	641,7	770,2
	Dupla	9,3	12,1	17,3	46,5	39,9	789,4	745,2	819,2	657,2	723,4
15:30	Simple s	22,4	18,3	13,4	34,6	27,8	751,2	762,3	794,9	722,1	719,7
	Dupla	9,6	11,2	10,4	39,2	20,6	794,3	701,7	804,5	725,2	723,4
16:00	Simple s	27,3	19,4	12,5	14,3	13,9	760,4	748,2	701,2	704,8	683,7
	Dupla	7,4	9,3	9,7	36,4	22,5	734,2	712,9	728,9	709,4	702,2
MÉDI A	Simple s	30,7	22,1	17,3	40,1	33,0	733,8	736,1	758,2	640,4	650,4
	Dupla	12,8	13,3	15,3	57,4	36,2	735,4	729,6	752,2	641,4	653,7
		4	9	1	7	4	1	0	1	6	9

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

06 de Junho de 2023											
Hora	Tipo	Interno (W/m ²)					Externo (W/m ²)				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
13:00	Simple s	19,2	22,3	26,1	45,8	39,1	705,3	715,1	824,9	732,1	701,5
	Dupla	14,2	14,1	34,5	69,2	43,5	671,5	694,2	798,1	764,5	715,9
13:30	Simple s	25,2	23,5	24,3	56,8	48,9	705,2	731,9	785,9	649,8	615,2
	Dupla	13,1	13,4	18,5	66,9	45,2	682,9	710,8	742,5	601,9	582,9

14:00	Simple s	21,4	21,2	24,8	58,3	44,6	725,8	712,9	810,1	801	687,2
	Dupla	7,9	12,4	16,7	67,1	33,1	704,1	607,1	759,9	807,2	741,9
14:30	Simple s	17,6	19,8	18,3	27,4	27,8	700,2	723,6	702,1	601,1	634,9
	Dupla	11,1	9,5	12,4	56	43,3	709,1	742,2	725,4	601,9	631,7
15:00	Simple s	23,1	22,5	21,2	34,5	35,1	680,9	720,1	791,3	601,8	672,1
	Dupla	10,2	9,8	16,7	42,9	28,9	721,1	704,3	796,9	598,1	602,1
15:30	Simple s	19,1	18,5	20,6	26,1	28,4	711,1	772,8	791,4	691,3	648,2
	Dupla	9,3	9,5	13,4	33,9	18,9	711,8	704,6	789,3	623,9	591,9
16:00	Simple s	22,4	17,4	16,9	19,6	20,9	769,4	737,2	711,5	698,8	673,1
	Dupla	8,4	8,3	10,7	33,5	21,9	714,2	705,9	734,1	705,4	694,2
MÉDI A	Simple s	21,1	20,7	21,7	38,4	35,0	714,0	730,5	773,9	682,3	661,7
	Dupla	10,6 0	11,00	17,5 6	52,7 9	33,5 4	702,1 0	695,5 9	763,7 4	671,8 4	651,5 1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

APÊNDICE B - FOLHAS ESCANEADAS















































