FACHADAS VERDES INDIRETAS

POTENCIAL DE SOMBREAMENTO E ATENUAÇÃO SOLAR DE ESPÉCIES RUDERAIS DE CICLO CURTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ISADORA APARECIDA NOZAWA

FACHADAS VERDES INDIRETAS: POTENCIAL DE SOMBREAMENTO E ATENUAÇÃO SOLAR DE ESPÉCIES RUDERAIS DE CICLO CURTO

BAURU/SP
2024

ISADORA APARECIDA NOZAWA

FACHADAS VERDES INDIRETAS: POTENCIAL DE SOMBREAMENTO E ATENUAÇÃO SOLAR DE ESPÉCIES RUDERAIS DE CICLO CURTO

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

Orientador(a): Maria Solange Gurgel de Castro Fontes.

BAURU/SP
2024

Nozawa, Isadora Aparecida.
Fachadas verdes indiretas: potencial de sombreamento e atenuação solar de espécies ruderais de ciclo curto / Isadora Aparecida Nozawa. – Bauru, 2025
146 f. : il.

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientadora: Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

1. Fachadas verdes indiretas. 2. Trepadeiras ruderais. 3. Ciclo curto. 4. Potencial de sombreamento. 5. Atenuação solar. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design. II. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ISADORA APARECIDA NOZAWA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 13 dias do mês de dezembro do ano de 2024, às 14h30min, no(a) https://meet.google.com/mxs-xhtq-jcg, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ISADORA APARECIDA NOZAWA, intitulada **Fachadas verdes indiretas: potencial de sombreamento e atenuação solar de espécies ruderais de ciclo curto**. 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 Associada JULIANA OLIVEIRA BATISTA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Alagoas. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Mª Solange G. de C. Fontes

Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu percurso até aqui. Em especial, agradeço imensamente:

Aos meus pais, Miriam e Alexandre, e ao meu irmão, Gabriel, pelo amor incondicional e por sempre me apoiarem.

Aos meus tios, prima e avô, por todo o carinho e suporte.

À minha orientadora, Profª. Drª. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes, pela paciência, atenção, e, principalmente, por acreditar em mim e me proporcionar esta oportunidade.

À Mel, por me ajudar a cuidar das plantas e também pela companhia e cafezinhos durante os monitoramentos das fachadas.

Aos amigos que fiz na pós-graduação, em especial ao Antônio e Stella, por compartilhar comigo as angústias e alegrias ao longo desse período.

Ao Júlio, pelo companheirismo durante os monitoramentos e medições das fachadas, e por sempre estar disposto a me ajudar.

Ao Prof. Dr. Maximiliano dos Anjos Azambuja pela disposição em me auxiliar nas análises estatísticas.

Ao Guilherme e à Nicole, por me auxiliarem no monitoramento das fachadas.

Aos amigos de longa data, Letícia, Mylena, Linkia, Janaína, Isabela, João e Claudinha, por estarem sempre presentes e tornarem esse processo mais leve.

Aos amigos da graduação em Engenharia Ambiental por sempre me auxiliarem com o conteúdo perdido em razão das aulas e eventos exigidos pelo mestrado.

Todos foram e são especiais para mim, e este trabalho não seria possível sem o carinho e apoio de vocês!

“Try. Fail. But don’t fail to try”.
Stephen Kaggwa.

RESUMO

Os Sistemas de Jardins Verticais (SJVs) são definidos como qualquer forma de vegetação que se desenvolve em superfícies verticais, promovendo diversos benefícios, entre os quais se destaca a melhoria da qualidade térmica. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo principal analisar a viabilidade do uso de fachadas verdes indiretas, constituídas pelas seguintes plantas trepadeiras ruderais de ciclo curto: *Macroptilium lathyroides (L.) Urb*. (feijão de rolinha), *Melothria cucumis Vell*. (pepininho do mato) e *Momordica charantia L*. (melãozinho de São Caetano), como estratégia bioclimática de sombreamento e atenuação solar. As espécies foram cultivadas em jardineiras instaladas na face oeste de um espaço de transição localizado em um dos blocos do campus da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", em Bauru (SP). A partir disso, foi realizado o acompanhamento do desenvolvimento das espécies selecionadas, o cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV), a determinação do Potencial de Sombreamento (PSO), o monitoramento da radiação solar incidente e protegida, além da análise foliar (Área Foliar – AF, Índice de Área Foliar – IAF e Densidade da Área Foliar – DAF) das plantas. Os resultados indicaram que a *Momordica charantia L*. apresentou o melhor desempenho, necessitando de menos replantio de mudas. Essa espécie atingiu um PCV máximo de 98,57%, IAF de 5,34 e DAF de 16,18 m^2/m^3, com classificação do PSO como "ótimo" e atenuação solar média de 77,86%. Em relação à *Melothria cucumis Vell*., o PCV máximo alcançado foi de 90,48%, com IAF de 1,28 e DAF de 4,28 m^2/m^3, classificando o PSO como "bom" e apresentando atenuação solar média de 69,37%. Enquanto que a espécie *Macroptilium lathyroides (L.) Urb*. atingiu o PCV máximo de 90%, com IAF de 0,92 e DAF de 4,19 m^2/m^3, resultando de uma classificação do PSO como "bom" e uma atenuação solar média de 71,70%. Apesar das dificuldades no cultivo de duas espécies (*Melothria cucumis Vell*. e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb*.), os resultados foram promissores, demonstrando o potencial das plantas de ciclo curto para o uso em fachadas verdes, especialmente como uma estratégia eficaz quando se busca crescimento rápido e proteção temporária.

Palavras-chave: Fachadas Verdes Indiretas. Trepadeiras Ruderais. Ciclo Curto. Potencial de Sombreamento. Atenuação Solar.

ABSTRACT

Vertical Garden Systems (VGSs) are defined as any form of vegetation that develops on vertical surfaces, providing various benefits, among which the improvement of thermal quality stands out. In this context, the primary objective of this research was to analyze the feasibility of using indirect green façades composed of the following short-cycle ruderal climbing plants: *Macroptilium lathyroides (L.) Urb*. (Wild Bush Bean), *Melothria cucumis Vell*. (Wild Cucumber), and *Momordica charantia L*. (Bitter Melon), as a bioclimatic strategy for shading and solar attenuation. The species were cultivated in planters installed on the west-facing side of a transition space located in one of the buildings of the São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho" campus in Bauru (SP). The study involved monitoring the growth of the selected species, calculating the Green Coverage Percentage (GCP), determining the Shading Potential (SP), measuring incident and protected solar radiation, and performing leaf analysis (Leaf Area – LA, Leaf Area Index – LAI, and Leaf Area Density – LAD). The results indicated that Momordica charantia L. exhibited the best performance, requiring less replanting. This species achieved a maximum GCP of 98.57%, an LAI of 5.34, and an LAD of 16.18 m^2/m^3, with an SP classification of "excellent" and an average solar attenuation of 77.86%. Regarding *Melothria cucumis Vell.*, the maximum GCP reached was 90.48%, with an LAI of 1.28 and an LAD of 4.28 m^2/m^3, classifying its SP as "good" and presenting an average solar attenuation of 69.37%. Meanwhile, *Macroptilium lathyroides (L.) Urb*. attained a maximum GCP of 90%, with an LAI of 0.92 and an LAD of 4.19 m^2/m^3, resulting in an SP classification of "good" and an average solar attenuation of 71.70%. Despite challenges in cultivating two species (*Melothria cucumis Vell*. and *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*), the results were promising, demonstrating the potential of short-cycle plants for use in green façades, particularly as an effective strategy for rapid growth and temporary protection.

Keywords: Indirect Green Façades. Ruderal Climbers. Short Cycle. Shading Potential. Solar Attenuation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estrutura geral da dissertação com períodos de execução. 23

Figura 02 – Representações dos Jardins suspensos da Babilônia. 26

Figura 03 – Exemplo de uma *Turf house*. 27

Figura 04 – Esboços das patentes de Stanley Hart White. 29

Figura 05 – Parque aberto em Zurique, Suíça. 30

Figura 06 – Parque aberto em Zurique, Suíça. 30

Figura 07 – Jardins do Edifício Banco Safra. 31

Figura 08 – Jardins verticais no Minhocão. 32

Figura 09 – Jardins verticais na Av. 23 de maio. 32

Figura 10 – Jardins verticais após a implantação. 33

Figura 11 – Jardins verticais secos. 33

Figura 12 – Sistema modular ECOTELHADO. 34

Figura 13 – Módulos de concreto e cerâmica. 34

Figura 14 – Tipologias dos jardins verticais. 36

Figura 15 – Exemplo de uma fachada verde direta. 37

Figura 16 – Modelo com treliças modulares. 38

Figura 17 – Modelo de rede de cabos. 38

Figura 18 – Sistema treliçado (vista interna). 39

Figura 19 – Sistema treliçado (vista externa). 39

Figura 20 – Fachada verde indireta (vista interna). 40

Figura 21 – Sistema de tabuleiros. 41

Figura 22 – Sistema por vasos. 41

Figura 23 – Revestimento de plantio. 41

Figura 24 – Sacos flexíveis. 41

Figura 25 – Configurações avaliadas no experimento e posição dos equipamentos. 45

Figura 26 – Configurações avaliadas no experimento. 47

Figura 27 – Esquema gráfico da estrutura de sombreamento e as plantas utilizadas. 48

Figura 28 – Etapas metodológicas. 60

Figura 29 – Imagem das folhas, flores e vagem da *Macroptilium lathroides (L.) Urb*. 62

Figura 30 – Imagem das folhas, flores e frutos da *Melothria cucumis Vell*. 62

Figura 31 – Imagem das folhas, flores e frutos da *Momordica charantia L.* 62

Figura 32 – Localização da UNESP campus de Bauru, SP. 63

Figura 33 – Espaço de transição na FAAC. 64

Figura 34 – Estrutura das fachadas verdes. 64

Figura 35 – Dimensões da estrutura. 65

Figura 36 – Materiais da estrutura. 65

Figura 37– Indicação das espécies cultivadas em cada estrutura. 66

Figura 38 – Etapas principais do processo de determinação do FCV. 68

Figura 39 – Pontos estabelecidos e medição realizada na face interna e externa, respectivamente. 70

Figura 40 – Imagem original, após o tratamento para retirada dos ruídos e seleção das áreas. 71

Figura 41 – Histórico das ações relativas ao plantio e manutenção das fachadas verdes... 76

Figura 42 – Germinação das plantas em locais menores e o replantio nas jardineiras. 77

Figura 43 – Incidência de fungos na *Melothria cucumis vell.* 77

Figura 44 – Incidência de fungos no *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* 77

Figura 45 – *Melothria cucumis vell.* após a seca e perda de mudas plantadas. 78

Figura 46 – *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* após a seca e perda de suas folhas. 78

Figura 47– Pulgões encontrados na *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* 78

Figura 48 –Percevejos encontrados na folha da *Melothria cucumis vell.* 78

Figura 49 – Recobrimento máximo no 1° ciclo..... 79

Figura 50 – Recobrimento máximo no 2° ciclo..... 79

Figura 51 – Flor da *Momordica charantia L.* 79

Figura 52– Fruto da *Momordica charantia L.* 79

Figura 53 – Recobrimento máximo no 1° ciclo..... 80

Figura 54 – Recobrimento máximo no 2° ciclo..... 80

Figura 55 – Flor da *Melothria cucumis Vell.*..... 81

Figura 56 – Fruto da *Melothria cucumis Vell.* 81

Figura 57– Única vagem observada. 81

Figura 58 – Única flor observada. 81

Figura 59 – Recobrimento máximo no 1° ciclo..... 82

Figura 60 – Recobrimento máximo no 2° ciclo..... 82

Figura 61 – Insetos encontrados nas fachadas verdes. 83

Figura 62– PCV do primeiro ciclo da *Momordica charantia L.* 86

Figura 63 – PCV do primeiro ciclo da *Melothria cucumis Vell.*..... 87

Figura 64 – PCV do primeiro ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* 88

Figura 65 – Distribuição do PCV das espécies que compõem as fachadas no primeiro ciclo de plantio. 89

Figura 66 – PCV do segundo ciclo da *Momordica charantia L.* 90

Figura 67– PCV do segundo ciclo da *Melothria cucumis Vell.* 91

Figura 68 – PCV do segundo ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* 92

Figura 69 – Distribuição do PCV das espécies que compõem as fachadas no segundo ciclo de plantio. 93

Figura 70 – Fachada incidente: 1° medição.....96

Figura 71 – Fachada protegida: 1° medição. 96

Figura 72 – Gráfico da média da radiação solar dos pontos monitorados por horário.....99

Figura 73 –Estudo solar dos dias 10, 11, 12 e 14 de julho de 2023; e 03 de outubro de 2023. 101

Figura 74 –Estudo solar dos dias 19 e 29 de dezembro de 2023; e 08 e 09 de janeiro de 2024. 102

Figura 75 –Estudo solar dos dias 19 de abril de 2024; e 07, 08 e 09 de maio de 2024. 103

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Trabalhos do Grupo de Pesquisa que foram analisados. 51

Quadro 02 – Características do ambiente experimentos 52

Quadro 03 – Metodologia dos estudos..... 54

Quadro 04 – Ficha com características das Espécies e da Estrutura da Fachada Verde 84

Quadro 05– Especificações das condições dos dias de monitoramento da radiação solar 97

Quadro 06 – Duração dos ciclos das fachadas verdes. 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Índices para a determinação do PSO 69

Tabela 02 – Fatores aplicados para determinação do PSO..... 93

Tabela 03 - Fatores de Espessura Foliar (FEF) 94

Tabela 04 – Atenuação da radiação solar por espécie (%) 100

Tabela 05 – Área foliar média de cada espécie (cm^2)..... 106

Tabela 06 – Dados gerais das Fachadas Verdes com as espécies analisadas 106

Tabela 07 – Teste de Tukey 109

Tabela 08 – Síntese dos principais parâmetros ambientais analisados 111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF – Área Foliar.

ARS – Atenuação da Radiação Solar.

CE – Cargas Estruturais.

CT – Conforto Térmico.

DAF – Densidade da Área Foliar.

EEF – Espaçamento entre as Folhas.

EF - Espessura da Folhagem.

FCV – Fator de Cobertura Verde.

FEF – Fator de Espessura Foliar.

FES – Fator de Espaçamento das Folhas.

FTF – Fator do Tamanho da Folhagem.

IAF – Índice de Área Foliar.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

IT – Imagens Térmicas.

LA – Área Média de uma Folha Individual.

NI – Número Total de Folhas.

NUCAM – Núcleo de Conforto Ambiental.

PCV – Percentual de Cobertura Verde.

PSO – Potencial de Sombreamento.

QA – Área Total da Fachada Verde.

RS – Radiação Solar.

SJVs – Sistemas de Jardins Verticais.

TAR – Temperatura do Ar.

TBS – Temperatura de Bulbo Seco.

TBU – Temperatura de Bulbo Úmido.

TCA – Termo de Compromisso Ambiental.

TF - Tamanho das Folhas.

TG – Temperatura de Globo.

TRM – Temperatura Radiante Média.

TS – Temperatura de Superfície.

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

UR – Umidade Relativa do Ar.

V – Velocidade do Ar.

VFV – Volume da Fachada Verde.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20
1.1 Objetivos 22
1.1.1 Objetivo Geral 22
1.1.2 Objetivos Específicos 22
1.2 Estrutura Geral da Dissertação 22

2 A VEGETAÇÃO NAS CIDADES E O SISTEMA DE JARDIM VERTICAL 25
2.1 As Tipologias dos Sistemas de Jardim Vertical 35
2.2 Fachadas Verdes: Características e Mecanismos de Atuação 41
2.2.1 Estudos experimentais internacionais sobre Fachadas Verdes 44
2.2.2 Estudos nacionais sobre fachadas verdes: contribuições do Grupo de Pesquisa 50
2.3 Síntese da Revisão da Literatura 57

3 MATERIAIS E MÉTODOS 60
3.1 Seleção das espécies vegetais 61
3.2 Desenvolvimento, Construção, Plantio e Manutenção da Fachada Verde 63
3.3 Coleta de Dados e Cálculo dos Parâmetros Ambientais 66
3.3.1 Análise do Potencial de Sombreamento (PSO) 66
3.3.2 Medição da Radiação Solar 69
3.3.3 Área Foliar e Índice de Área Foliar (IAF) 70
3.3.4 Densidade da Área Foliar (DAF) 72
3.4 Análise Estatística 73

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
4.1 Monitoramento do Crescimento, Desenvolvimento e Manutenção das Espécies Vegetais Selecionadas 75
4.2 Cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV) e Determinação do Potencial de Sombreamento (PSO) 86
4.3 Monitoramento da Radiação Solar Incidente e Protegida 96
4.4 Análise Foliar das Espécies Selecionadas 106
4.5 Análise Estatística 109
4.6 Síntese dos Resultados Alcançados 109

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 114

REFERÊNCIAS 118

APÊNDICE 01 128

APÊNDICE 02 134

01

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Jardins Verticais (SJVs) são definidos como todas as formas de vegetação que crescem e se desenvolvem em superfícies delimitadas verticalmente e são classificados como intensivos (parede viva) e extensivos (fachada verde). Eles agem especialmente na escala micro e juntamente com outras estratégias da infraestrutura verde urbana, podem contribuir com a macro escala, na construção da cidade sustentável. Isso ocorre em função dos SJVs atuarem como estratégias de sombreamento e atenuação solar e, consequentemente, reduzirem o fluxo térmico nas edificações (Muñoz, 2019; Vox *et al.*, 2022), o que viabiliza a amenização de impactos ambientais negativos que amplificam o calor e alteram o clima urbano (ONU Brasil, 2015).

Os jardins verticais representam uma importante modalidade de infraestrutura verde urbana, com potencial para serem integrados à infraestrutura convencional, também chamada de infraestrutura cinza. No entanto, para que essa integração seja eficiente, é essencial um planejamento que identifique claramente os elementos e as funções que os jardins verticais devem desempenhar, garantindo que eles atendam às necessidades locais e forneçam os serviços ecossistêmicos desejados. Esse processo deve ser embasado por levantamentos detalhados, monitoramentos contínuos e uma análise cuidadosa dos custos em relação aos benefícios. Com isso, a incorporação de jardins verticais amplia o capital natural por meio da regeneração de funções ecológicas, como a purificação do ar, a regulação do microclima e o suporte à biodiversidade (Mascaró; Mascaró, 2010).

De acordo com Rupasinghe e Halwatura (2020), um Sistema de Jardim Vertical (SJV), dentro do conceito da “ecologização vertical”, é crucial para recriar a ligação entre o ser humano e a natureza, além de contribuir com a adaptação climática dos edifícios, tendo em vista, principalmente, a mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Em complementação, Ascione *et al.* (2020) evidenciam oportunidades passíveis de serem exploradas pelos SJVs, entre as quais merecem destaque: a capacidade de prolongar a vida útil dos materiais que integram as fachadas à qual atuam; a contribuição para a estética e biodiversidade do ambiente interno ou urbano e ainda, o agregamento de valor e diversidade às edificações presentes no mercado.

Quanto aos métodos de operação dos SJVs, Pérez *et al.* (2022) descrevem quatro efeitos distintos. O primeiro, sombreamento, refere-se à interceptação da radiação solar pela vegetação e pela estrutura que a compõe, sendo influenciado por variáveis como Potencial de Sombreamento (PSO), Índice de Área Foliar (IAF), orientação da fachada e tipo de substrato utilizado. Em seguida, o resfriamento, caracterizado pelo processo de evapotranspiração das plantas e substratos, é afetado pelo IAF, espécie da planta, condições climáticas, velocidade do vento e tipo de substrato aplicado. O terceiro efeito, isolamento, destaca-se pela capacidade de isolar e manter a temperatura do ambiente, variando de acordo com o IAF, cavidade de ar e tipo de substrato. Por fim, o quarto e último efeito é a barreira contra o vento, que se refere à modificação da sua direção, influenciada por variáveis como o IAF, a orientação da fachada e a velocidade do vento.

Em relação à tipologia fachada verde, objeto de estudo deste trabalho, existem pesquisas que comprovam a sua eficiência no desempenho térmico da edificação em função de diferentes aspectos de implantação da fachada e parâmetros da planta trepadeira empregada. Assim, destacam-se: a orientação da fachada (Coma *et al.*, 2020); a tipologia do jardim vertical (Coma *et al.*, 2017); e a seleção da espécie (Muñoz, 2019; Thomsit *et al.*, 2020). Sendo que este último determina parâmetros como a espessura da folhagem, tamanho das folhas e percentual de recobrimento (Scherer, 2014; Widiastuti *et al.*, 2018; Muñoz, 2019); o Índice de Área Foliar (Weerakkody *et al.*, 2017); e a Densidade da Área Foliar (Silva, 2018).

Neste contexto, ressalta-se que esta pesquisa faz parte de um trabalho mais amplo, que busca obter maior conhecimento de espécies de plantas trepadeiras para uso em fachadas verdes, no qual o seu diferencial, foi o de utilizar espécies ruderais, isso é, espécies que ocorrem de forma espontâneas em terrenos baldios, cercas, frestas de calçadas e muros (Neto; Maluf; Boscaine, 2016) de ciclo curto plantadas em jardineiras.

Além do mais, esta pesquisa buscou identificar as características específicas de cada espécie, e coletar parâmetros que constituem dados de entrada em programas para a simulação de desempenho de fachadas verdes, entre eles: Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF) e a Densidade da Área Foliar (DAF).

Por fim, a investigação de espécies de plantas trepadeiras e seu potencial de sombreamento e atenuação solar se mostra imprescindível, uma vez que as fachadas

verdes podem ser empregadas como uma estratégia passiva para otimizar o desempenho térmico e energético das edificações.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade do uso de fachadas verdes indiretas, constituídas por plantas trepadeiras ruderais de ciclo curto (*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, *Melothria cucumis Vell.* e *Momordica charantia L.*), como estratégia bioclimática de sombreamento e atenuação solar.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Monitorar o desenvolvimento das espécies ruderais de ciclo curto selecionadas em um clima Cwa (subtropical com inverno seco) quando utilizadas em jardineiras;
- Identificar e mensurar os parâmetros da vegetação (Área Foliar, Índice de Área Foliar e a Densidade da Área Foliar) que contribuem para a atenuação solar;
- Avaliar como o Potencial de Sombreamento (PSO) influencia a atenuação solar de cada fachada verde indireta.
- Contribuir para uma pesquisa mais ampla que avalia o potencial de uso de fachadas verdes com espécies nativas.

1.2 Estrutura Geral da Dissertação

A estrutura da dissertação está organizada em cinco capítulos (Figura 01), conforme a descrição a seguir.

O primeiro capítulo contextualiza o objeto de estudo, destaca suas características, justifica a sua importância e delimita os objetivos geral e específicos.

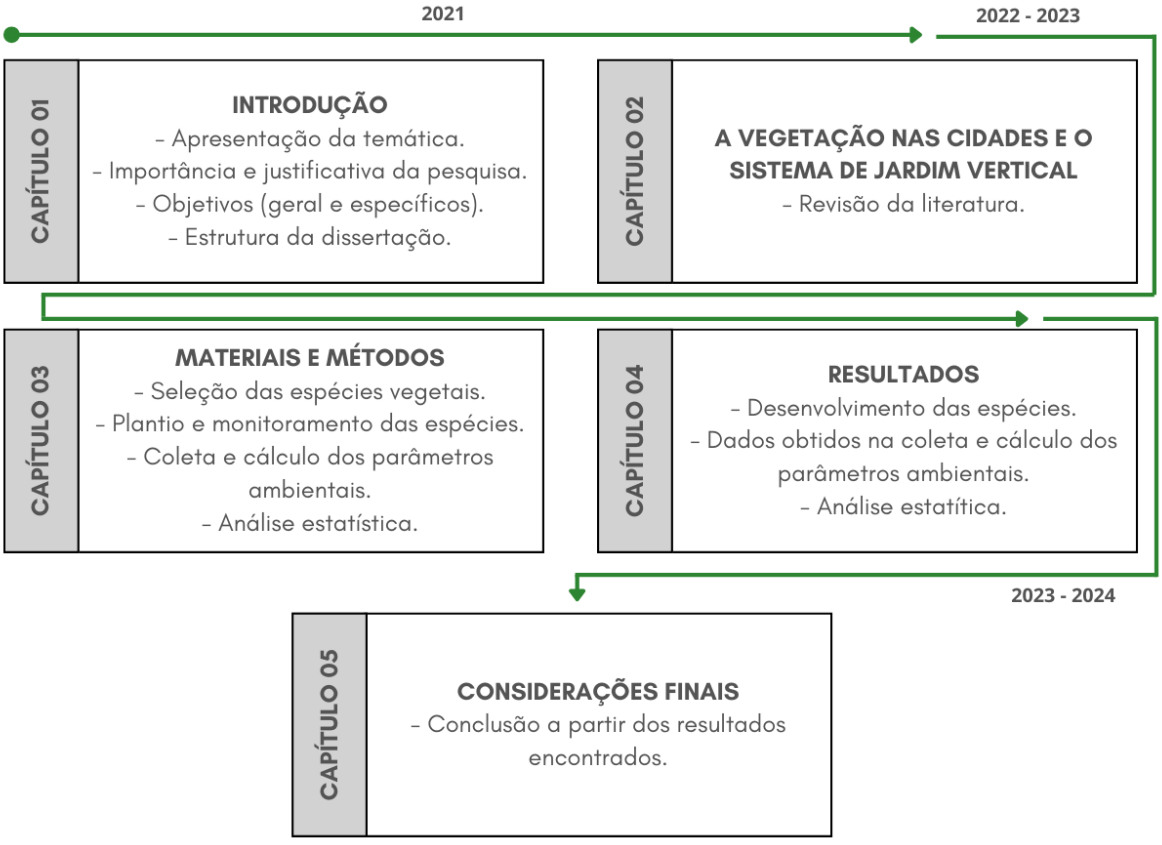
No segundo capítulo, o termo “jardim vertical” é abordado, com uma análise de suas variações tipológicas e dos mecanismos que sustentam seu funcionamento. Além disso, apresenta-se também o estudo de caso de alguns projetos publicados no exterior e os trabalhos conduzidos pelo grupo de pesquisa vinculados a este trabalho.

O terceiro capítulo detalha os materiais e metodologias empregadas no estudo, abordando os critérios de seleção das espécies, caracterizando os locais e métodos empregados no plantio e posterior monitoramento, além de expor também os procedimentos realizados para coleta e análise dos parâmetros ambientais escolhidos para a pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos pelos monitoramentos e medições realizadas, acompanhados de discussões sobre a capacidade de atenuação da radiação solar por cada uma das três espécies utilizadas nas fachadas verdes. Além disso, apresentam-se também as análises estatísticas.

Por fim, o quinto capítulo sintetiza as análises realizadas, apresentando as conclusões alcançadas pelo estudo.

Figura 01 – Estrutura geral da dissertação com períodos de execução



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

02 REVISÃO DA LITERATURA

2 A VEGETAÇÃO NAS CIDADES E O SISTEMA DE JARDIM VERTICAL

A vegetação é um elemento que sempre esteve presente na paisagem das cidades, sendo, em alguns casos, um marco na história urbana (Virtudes, 2016). De acordo com Mascaró e Mascaró (2010), a vegetação nas áreas urbanas desempenha um papel crucial ao facilitar a integração harmoniosa entre espaços construídos, jardins e parques, especialmente em regiões com climas tropicais e subtropicais úmidos. Isso molda a paisagem das cidades e revela a interação entre a ação humana e sua cultura, fator que confere a essas áreas uma identidade única.

O emprego estratégico da vegetação surge como uma recomendação essencial em projetos ambientais, com o fim de atenuar os efeitos das ilhas de calor e da poluição urbana, além de contribuir para a redução do consumo de energia e beneficiar a saúde da população nas áreas urbanas (Roaf; Crichton; Nicol, 2009). Essa abordagem não apenas fomenta um ambiente esteticamente agradável, mas também responde aos desafios ambientais contemporâneos, destacando a vegetação como um componente vital na busca por cidades mais sustentáveis e resilientes (Mascaró; Mascaró, 2010).

Apesar de uma copa de árvore equivaler a aproximadamente 300 m^2 de uma parede vegetada e dos serviços ambientais prestados por apenas duas árvores corresponderem a cerca de 1.500 m^2 de parede verde (Geraque, 2017), os Sistemas de Jardins Verticais (SJVs) oferecem uma solução viável para a incorporação de elementos verdes nas cidades. Embora os SJVs não possam substituir os espaços verdes tradicionais, essa tecnologia é valiosa em espaços reduzidos e densamente habitados, uma vez que podem ser aplicados em muros, cercas e edificações (Virtudes, 2016). Dessa forma, apesar dos locais para ajardinamento serem escassos na maioria das cidades, sempre há paredes nuas disponíveis (Gengo; Henkes, 2012).

Nesse cenário, os SJVs têm ganhado popularidade recentemente, sendo amplamente abordados em diversos estudos científicos (Muñoz, 2019). A origem exata dos jardins verticais não é datada com precisão, mas Scherer (2014) sugere que eles provavelmente surgiram quando as pessoas começaram a se estabelecer em habitações permanentes. Nesse período, espécies de plantas trepadeiras teriam se desenvolvido espontaneamente, crescendo verticalmente a partir da utilização das edificações como suporte, sem nenhum planejamento prévio dos moradores. Assim,

provavelmente, essas plantas eram vistas como uma praga, levando muitos a tentar removê-las.

Por outro lado, Sharp *et al.* (2008) defendem que os jardins verticais têm raízes centenárias, remontando aos Jardins Suspensos da Babilônia. Apesar de não haver evidências concretas da sua existência (Rodrigues, 2019), eles são considerados como o primeiro exemplo de jardim vertical registrado no mundo.

Concebidos pelo rei Nabucodonosor II (604-562 a.C.) e classificados como uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, os Jardins Suspensos da Babilônia são descritos como uma sucessão de grandes plataformas chamadas Zigurates. Com dimensões aproximadas de 400 x 400 pés de comprimento (121,92 m x 121,92 m) e 80 pés de altura (24,38 m), essas estruturas eram compostas por divisórias verdes e inúmeras tipologias de espécies vegetativas. Os jardins, ainda, incluíam pátios abobadados, elevados uns sobre os outros e assentados em colunas e solo, o que permitia também o plantio de árvores (Morelli, 2009; Rodrigues, 2019; Shuhaimi *et al.*, 2022), conforme mostram as representações apresentadas na Figura 02.

Figura 02 – Representações dos Jardins suspensos da Babilônia

Fonte: organizado pela autora adaptado de Fenollós (2023); Knap (2021); Academia Brasileira de Arte (s.d.); Gurney (2021).

A partir do século III a.C., os jardins verticais marcaram presença nas cidades do Mediterrâneo, onde o cultivo de videiras se destacava ao ocupar as treliças e as fachadas das edificações que compunham as vilas. Conforme explicam Scherer e Fedrizzi (2016), desde a introdução da videira na Europa Central pelos romanos, o amadurecimento das uvas na época correta para a produção de um bom vinho era um problema, uma vez que elas não recebiam calor solar suficiente. Entretanto, aos poucos, notou-se que, ao cultivá-las ao longo de muros de pedra e alvenarias, as uvas passaram a amadurecer mais rapidamente e adquirir um melhor sabor, o que impulsionou esse método de plantio.

Outro uso da tecnologia dos jardins verticais foi registrado na Islândia, onde os vikings, como forma de combater às condições climáticas extremas, utilizavam a turfa[1] para cobrir as paredes e telhados das residências, de modo a garantir o isolamento térmico. Essa tipologia de construção ficou conhecida como *Turf houses* (Figura 03), e no século XI, os vikings expandiram essa técnica construtiva para a América do Norte (Rocha, 2017).

Figura 03 – Exemplo de uma *Turf house*

Fonte: Field Study of the World, 2016.

Durante a Idade Média, os jardins verticais também eram vistos como símbolos de jardins secretos, nos quais as rosas adornavam as treliças presentes nos jardins de castelos e mansões. Nos séculos XVII e XVIII, com a expansão dessa tradição as trepadeiras começaram a ser utilizados nas fachadas das construções no Reino Unido e

[1] “Densa camada de tecido de várias plantas, especialmente de musgos do gênero *Sphagnum*, produzida pela decomposição de matéria orgânica saturada de água” (Michaelis, 2024, s.p.).

em países da Europa Central motivadas por interesses botânicos (Sharp *et al.*, 2008; Scherer, 2014).

Posteriormente, no final do século XIX, devido ao Movimento Cidade-Jardim, países como Inglaterra e Estados Unidos impulsionaram o uso dos SJVs na composição arquitetônica e as espécies trepadeiras passaram a ser implementadas em fachadas, pergolados e sistemas entrelaçados na integração entre edifício e jardins externos (köhler, 2008).

No início do século XX, a partir do movimento *Art Nouveau* "alemão" *Jugendsill*, o uso de jardins verticais como elemento funcional e de composição arquitetônica surgiu. Nessa época, os revestimentos vegetais em fachadas mantiveram-se comuns em alguns países da Europa, especialmente em cidades como Berlim e Munique, onde proprietários de edifícios de aluguel adotavam plantas trepadeiras como alternativa aos acabamentos tradicionais de alvenaria. Na Alemanha, essa prática se estendia aos moinhos, onde a vegetação era utilizada como um eficaz isolante térmico, protegendo o maquinário contra o superaquecimento (köhler, 2008; Scherer; Fedrizzi, 2016).

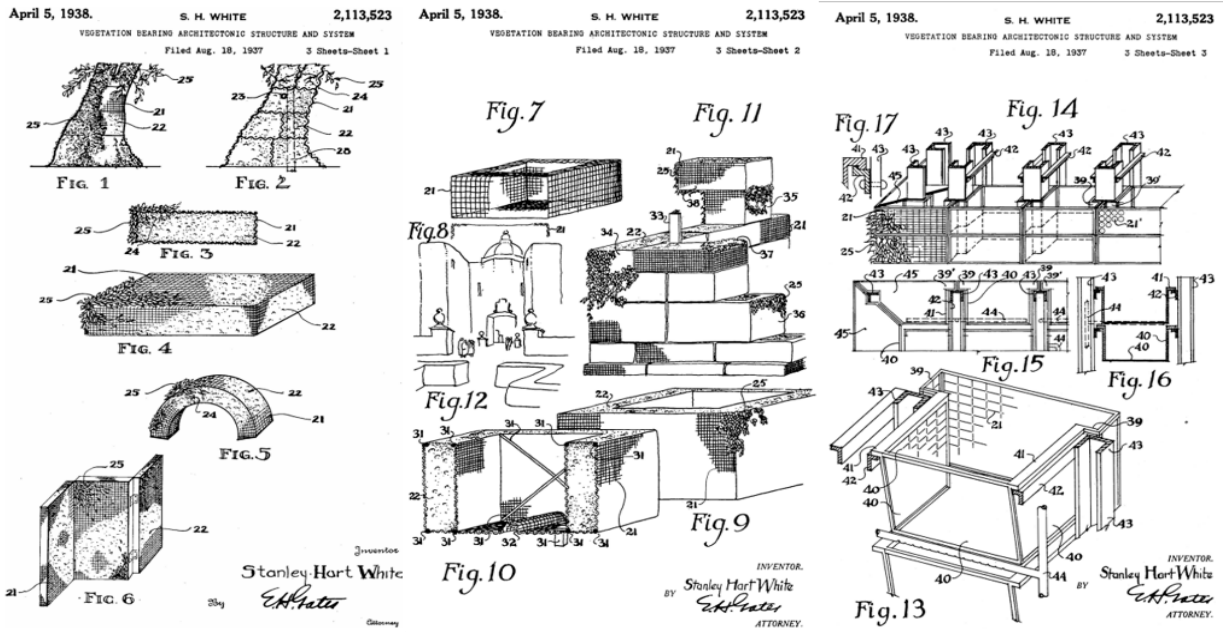
Em 1980, também na Alemanha, houve a implementação de novos regulamentos e campanhas de incentivo à instalação de jardins verticais. Devido à sua compatibilidade de instalação aos espaços mais reduzidos, eles foram incentivados como forma de combater os impactos negativos da expansão urbana e para proporcionar benefícios físicos e psicológicos aos cidadãos (Rodrigues, 2019). Essa tendência de incorporação de fachadas verdes nas edificações também se estendeu, mas em menor escala, na França (Scherer; Fedrizzi, 2016).

Cabe destacar que, apesar de todas as estruturas citadas até o momento, cujo objetivo era auxiliar a integração da vegetação em superfícies verticais, foi Stanley Hart White, professor de arquitetura paisagística na Universidade de Illinois Urbana-Champaign, o pioneiro a desenvolver uma abordagem mais estruturada e tecnológica para os jardins verticais. Assim, em 1938, ele patenteou a "*Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System*"[2], introduzindo uma inovação modular que permitia o cultivo de plantas em superfícies verticais por meio de "tijolos botânicos" (Figura 04). Com isso, sua invenção se destacou ao unir, de forma pioneira, arquitetura e

[2] "Estrutura e Sistema Arquitetônico Portador de Vegetação" (tradução nossa).

horticultura, oferecendo novas possibilidades para espaços urbanos limitados (Hindle, 2012).

Figura 04 – Esboços das patentes de Stanley Hart White



Fonte: organizado pela autora de Hindle (2012).

Com o decorrer do tempo, os SJVs espalharam-se globalmente, encontrando crescente aplicação tanto em ambientes urbanos quanto arquitetônicos. Assim, à medida que a tecnologia avançou, os métodos construtivos desses sistemas evoluíram e foram aprimorados e novos componentes foram introduzidos, tais como: os sistemas em cabo de aço inoxidável em 1988 e os painéis de treliças modulares em 1990 (Sharp *et al.*, 2008).

Outro destaque é o sistema de jardim vertical hidropônico desenvolvido pelo botânico francês Patrick Blanc, criado por volta dos anos 1980. Inspirado em uma de suas viagens, na qual estudou penhascos naturais, Blanc realizou diversas experiências com diferentes materiais e plantas até patentear, em 1988, a técnica que chamou de *Mur Végétal*. Em 2001, ele projetou seu primeiro jardim vertical no Hotel Pershing, em Paris, e, em 2004, cobriu o Museu Quai Branly com sua criação. Ao longo dos anos, seu trabalho ganhou impacto internacional, e, em 2005, sua técnica foi considerada uma das "50 invenções mais influentes" do ano (Scherer, 2014; Rodrigues, 2019).

Outra contribuição para o aprimoramento dos SJVs foi feita por Alan Darlington. Na década de 1990, o pesquisador desenvolveu, na Universidade de Guelph, no Canadá,

um sistema semelhante ao de Patrick Blanc, mas com uma tecnologia que promovia a redução do consumo de recursos e aumentava a autonomia dos espaços. Assim surgiram os Jardins Verticais com Biofiltros – um tipo de jardim vertical hidropônico projetado para remover partículas nocivas do ar, filtrando-as através das raízes das plantas que compõem o jardim (Rodrigues, 2019).

Todo esse progresso permitiu ampliar as possibilidades de aplicação dos SJVs, facilitando a integração desses sistemas em diversas estruturas, incluindo projetos que envolvem alturas consideráveis. Um exemplo notável é o parque aberto MFO em Zurique, Suíça (Figuras 05 e 06), construído em 2002, ele destaca a capacidade dos SJVs em proporcionar estruturas abertas e visualmente impactantes (Sharp *et al.*, 2008).

Figura 05 – Parque aberto em Zurique, Suíça

Fonte: Clemence, 2022.

Figura 06 – Parque aberto em Zurique, Suíça

Fonte: Clemence, 2022.

Em relação ao Brasil, Morelli (2009) explica que ao longo dos séculos XVII até o início do século XX, os jardins brasileiros seguiram a estética holandesa e portuguesa, uma vez que a partir da segunda metade do século XIX, os elementos românticos e o conceito de jardim pitoresco foram introduzidos no Rio de Janeiro pelo paisagista francês Auguste Marie François Glaziou. Posteriormente, no segundo quarto do século XX, o movimento renovador liderado por Atílio Correa Lima preparou o terreno para o destaque do renomado paisagista Roberto Burle Marx na década de 1960.

Dessa forma, Roberto Burle Marx, tornou-se o responsável por aplicar os conceitos de teto-jardim e jardim vertical no país entre os anos de 1930 e 1980, explorando intensivamente a vegetação nativa, como: bromélias, orquídeas e epífitos, investigando suas possibilidades estéticas e introduzindo-as em jardins verticais (Morelli, 2009; Oyama *et al.*, 2021). Conforme explica Mela (2023), o projeto do jardim do

Banco Safra (Figura 07), ao qual inseriu diferentes espécies tropicais em diferentes níveis de canteiros, foi a obra de Burle Marx responsável por propiciar o avanço do uso dos jardins verticalizados em contextos urbanos no Brasil.

Figura 07 – Jardins do Edifício Banco Safra

Fonte: Arquivo Arq, 2024.

A partir dos anos de 1970, no Brasil, os movimentos ambientalistas também influenciaram uma nova abordagem do conforto nas construções, que passou a incorporar aspectos ambientais como resposta ao estilo modernista predominante, caracterizado por edifícios de vidro inadequados ao clima tropical. Embora arquitetos como Oscar Niemeyer e Lúcio Costa tenham utilizado soluções como brise-soleils e cobogós para melhorar o conforto térmico, esse modelo foi simplificado ao longo do tempo, especialmente em áreas mais pobres. Com isso, técnicas vernaculares e a integração da vegetação nas construções, como em tetos e fachadas, tornaram-se essenciais para garantir sombreamento e conforto térmico (Kaimoti, 2022).

Influenciado pelo Movimento 90°[3] (Marcato; Paschoalin Filho, 2016) e pelo Decreto n° 55.994, de 10 de março de 2015[4], outro evento que marcou a aplicação dos jardins verticais no Brasil foi o Termo de Compromisso Ambiental (TCA) firmado entre a

[3] Com início em 2013, foi uma iniciativa social que visou aumentar a área verde em grandes metrópoles (Marcato; Paschoalin Filho, 2016).

[4] Este Decreto introduziu alterações no art. 4° do Decreto n°. 55.889, de 8 de maio de 2013, que regulamentava o Termo de Compromisso Ambiental, permitindo com que a Prefeitura Municipal de São Paulo pudesse converter em equivalente financeiro a compensação ambiental de remoção de árvores, e solicitar a construção de jardins verticais como forma de compensar o dano ambiental causado pelo manejo de árvores (Dias *et al.*, 2022).

Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente e a empresa T5-3 Morumbi Desenvolvimento Mobiliário Ltda. Esta parceria ocorreu entre os anos de 2015 e 2017 (Dias *et al.*, 2022).

O primeiro projeto resultante desse TCA foi o Edifício Huds, localizado em São Paulo, que contou com a implantação de 302,00 m^2 de parede viva instalada em 2015. Nesse mesmo período, outras cinco fachadas foram concluídas nos edifícios Mackenzie, Santa Filomena, Santos, Santa Cruz e Bonfim, todas ao longo do Elevado Presidente João Goulart, o Minhocão, no centro de São Paulo (Figura 08). Em 2017, também em São Paulo, houve a instalação de um muro verde na Avenida 23 de Maio (Figura 09) decorrente de outra compensação ambiental (Silva, 2018).

Figura 08 – Jardins verticais no Minhocão

Fonte: Movimento 90°, 2015.

Figura 09 – Jardins verticais na Av. 23 de maio

Fonte: Garcia, 2024.

Apesar da premissa positiva de implantar jardins verticais em empenas vazias de edifícios e muros, com o objetivo de promover a qualidade de vida dos cidadãos ao aumentar o contato com a natureza, essa prática gerou polêmicas quanto aos custos, à manutenção e aos benefícios, especialmente em comparação ao plantio de árvores (Dias *et al.*, 2022).

Assim, Silva (2018) esclarece que, enquanto uma muda para compensação ambiental, conforme os parâmetros exigidos pela Prefeitura de São Paulo, custa em média R$150,00, os jardins verticais implantados apresentaram um custo médio de R$800,00/m^2. Destaca-se também que o acordo firmado entre a Prefeitura e a empresa privada previa a manutenção desses sistemas por apenas seis meses. Portanto, após esse período, a responsabilidade passaria para a Prefeitura. Além disso, não houve garantia de vida útil dos SJVs, uma vez que, após três anos, os proprietários dos imóveis poderiam optar por mantê-los ou removê-los.

Como mencionado anteriormente, as árvores proporcionam mais serviços ecossistêmicos com uma menor quantidade de indivíduos, além de exigirem menos recursos do que os SJVs (Dias *et al.*, 2022). Diante de todos esses fatores, a implantação de jardins verticais como forma de compensação ambiental pela remoção de vegetação arbórea se mostrou uma prática inadequada (Silva, 2018).

A Figura 10 apresenta as fachadas logo após a implantação dos SJVs, enquanto a Figura 11 mostra a condição dessas estruturas aproximadamente cinco anos depois, destacando a vegetação seca como reflexo de problemas relacionados à falta de manutenção e investimento. Esses fatores, observados ao longo do processo de esverdeamento dos edifícios para o cumprimento do TCA em São Paulo, contribuíram significativamente para a deterioração da imagem dos SJVs, levando parte da população a percebê-los como ineficazes ou problemáticos (Silva, 2018).

Figura 10 – Jardins verticais após a implantação

Fonte: Grandi, 2022.

Figura 11 – Jardins verticais secos

Fonte: R7, 2024.

Apesar dos desafios observados, esses sistemas continuam sendo utilizados no Brasil. No contexto urbano, a vegetação vertical, principalmente composta por trepadeiras, tem sido amplamente empregada em diversos cenários. Em cidades como Campinas, por exemplo, trepadeiras com flores são frequentemente vistas em entradas de residências, cobrindo garagens, áreas de lazer e pergolados, utilizando tutores ou treliças como suporte. O uso das espécies *Fícus pumila* (unha-de-gato) e *Parthenocissus tricuspidata* (hera-japonesa), que não possuem flores, são predominantemente utilizadas para a cobertura de muros, sendo encontradas também na forração de fachadas de edificações (Morelli, 2009).

Em relação ao mercado dos jardins verticais no Brasil, Cruciol-Barbosa e Fontes (2016) expõem que os jardins verticais, da tipologia fachada verde, podem ser encontrados no mercado com o nome de “brise vegetal”. Construído pela empresa ECOTELHADO, esse sistema é formado por módulos compostos de fileiras de jardineiras metálicas dispostas ao longo da extensão da parede, com intervalos de altura regulares (Figura 12). Quanto ao sistema de paredes vivas, destacam-se no país os módulos feitos em concreto fundido e cerâmica (Figura 13).

Figura 12 – Sistema modular ECOTELHADO

Fonte: ECOTELHADO, 2024.

Figura 13 – Módulos de concreto e cerâmica

Fonte: Cruciol-Barbosa e Fontes, 2016.

Dentre os desafios enfrentados pelo mercado brasileiro de jardins verticais, Scherer, Alves e Redin (2018) e Kaimoti (2022) explicam que essa técnica construtiva ainda é pouca difundida nas edificações brasileiras devido à carência de estudos que abordem os seguintes aspectos: peso, custos, necessidade de contratação de profissionais que possuem conhecimento técnico adequado, possíveis patologias, tempo de vida dos materiais utilizados, irrigação e manutenção das plantas e estruturas (tanto da sustentação das espécies utilizadas quanto da própria edificação que recebe o envoltório).

Rodrigues (2017), por outro lado, adota uma visão otimista, argumentando que, do ponto de vista tecnológico, a melhoria dos componentes e a competitividade econômica podem contribuir para a redução de custos e a adaptação dos jardins verticais às realidades locais. Isso permitiria que um número maior de construções se beneficiasse, não apenas pelo apelo estético (uma das principais razões de uso), mas também pela necessidade de adequação ambiental em resposta às mudanças climáticas urbanas. Além disso, à medida que esses sistemas se disseminam, também

se tornarão mais acessíveis e poderão ser adotados como estratégias projetuais para integrar indivíduo, edificação e natureza, promovendo a melhoria da paisagem urbana e da qualidade de vida dos usuários.

2.1 As Tipologias dos Sistemas de Jardim Vertical

Conforme indicado pela própria nomenclatura, Cruciol-Barbosa e Fontes (2016) explicam que um Sistema de Jardim Vertical (SJV) é caracterizado pela capacidade da vegetação de crescer e se desenvolver verticalmente, seja em paredes ou em estruturas próprias específicas para esse fim. Dessa forma, esse sistema recobre essas superfícies por uma densa camada vegetal, criando uma camada verde contínua que contribui tanto para a estética quanto para a funcionalidade térmica, energética e ambiental das edificações (Pérez *et al.*, 2014).

Nesse contexto, devido à ausência de estudos referenciados que estabeleçam uma dimensão mínima para a definição de um SJV, pequenos quadros verdes internos até grandes edifícios envoltos por vegetação podem ser considerados como jardins verticais, sendo a dimensão apenas uma influenciadora de suas funções (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016).

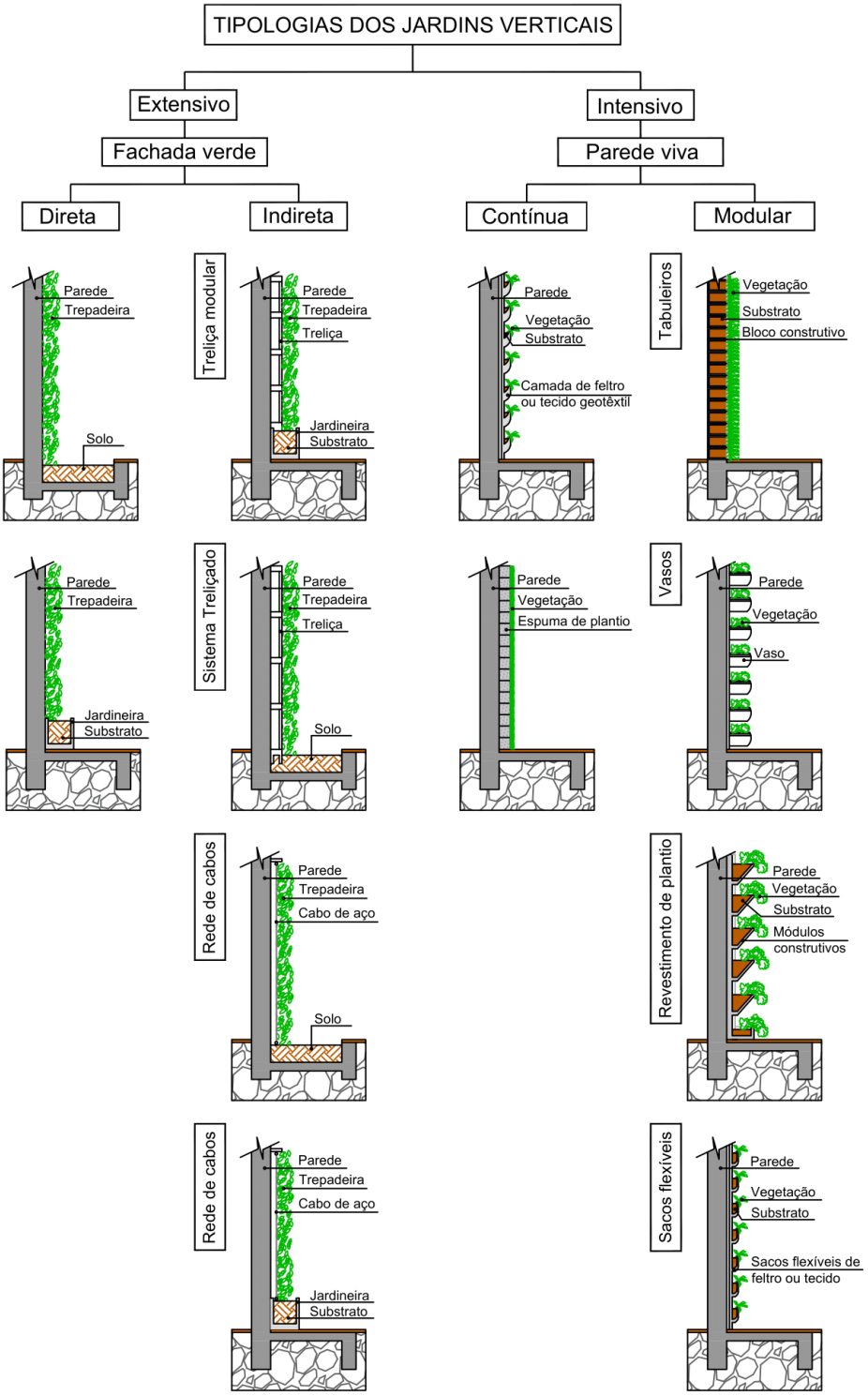
Assim, o termo “jardim vertical”, muitas vezes, pode ser considerado como abrangente, o que provoca confusões no uso da sua terminologia. Com isso, uma revisão da literatura pode mostrar diferentes nomenclaturas, entre as quais estão: fachadas verdes, paredes verdes, paredes vivas, “*biowall”,* paredes vegetadas, cortina verde, fachadas verdes de pele dupla e o sistema de janela verde para sombreamento (Manso; Castro-Gomes, 2015; Zheng; Dai; Tang, 2020; Karimi *et al.,* 2022; Mela, 2023).

Outras duas nomenclaturas que se destacaram foram: “*green window shading system*”, estudada por Zheng, Dai e Tang (2020), classificada como fachada verde indireta por usar trepadeiras em estruturas metálicas móveis; e “*wall vegetation*”, descrita por Karimi *et al.* (2022) como uma parede vegetada natural, sem necessidade de manutenção, onde plantas crescem em fissuras, especialmente em edifícios antigos.

Como forma de organizar os diferentes sistemas existentes de acordo com suas características construtivas, o termo “jardim vertical” é dividido em duas tipologias

principais: as fachadas verdes e as paredes vivas ou "*living walls*". Estas que são novamente subdivididas conforme sua complexidade construtiva e manutenção, como pode ser observado na Figura 14 (Manso; Castro-Gomes, 2015; Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016; Osmond; Sharifi, 2017).

Figura 14 – Tipologias dos jardins verticais



Fonte: elaborado pela autora com base nas informações de Manso e Castro-Gomes (2015); Cruciol-Barbosa e Fontes (2016); e Osmond e Sharifi (2017).

Considerado um sistema extensivo, a fachada verde tem como característica principal a facilidade na execução e a menor demanda de manutenção e investimento (Scherer, 2014). Além do mais, esse sistema pode ser plantado diretamente no solo ou em vasos e jardineiras, sendo que a cobertura da superfície vertical ocorre a partir do uso de espécies trepadeiras, quando as plantas crescem para cima; ou pendentes, que são as plantas que são colocadas a determinada altura e crescem para baixo (Manso; Castro-Gomes, 2015).

Diante das características apresentadas, a tipologia de fachadas verdes prevê, ainda, a sua subdivisão em dois modelos: direta e indireta.

A fachada verde direta (Figura 15) é aquela tradicional e que ocorre quando a vegetação se desenvolve diretamente na superfície delimitada verticalmente, dispensando a necessidade de uma estrutura de suporte. Entre as espécies mais comuns estão: a *Parthenocissus tricuspidata* (hera japonesa ou falsa-vinha), *Hedera Helix* (hera inglesa) e a *Ficus pumila* (unha-de-gato ou falsa-hera) (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016; Scherer; Alves; Redin, 2018).

Embora esse modelo seja fácil e rápido de instalar, Sousa (2020) e Karimi *et al.* (2022) alertam que a falta de uma estrutura de suporte resulta em um crescimento desordenado. Este fato, pode demandar mais tempo para que as plantas possam cobrir completamente a superfície vertical, sendo que a altura alcançada varia conforme a espécie de trepadeira, geralmente com um limite de cerca de 20 metros. Além disso, os autores ressaltam também que a ausência de proteção adequada na fachada pode levar à deterioração dos materiais que a constituem, exigindo reparos e manutenção.

Figura 15 – Exemplo de uma fachada verde direta

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Ao contrário das fachadas verdes diretas, as indiretas se destacam pelo uso de um sistema de suporte adjacente e por seu desenvolvimento independente da parede. Assim, quando há um espaço entre a fachada verde e o edifício, forma-se uma cavidade de ar que funciona como uma barreira isolante entre a folhagem e a estrutura da construção e por isso, ela pode ser encontrada na literatura como "*double skin green facade*" (fachadas verdes de pele dupla) (Muñoz *et al.*, 2019; Karimi *et al.*, 2022).

A fachada verde indireta se desdobra em dois modelos construtivos principais: treliças modulares e rede de cabos. As treliças modulares (Figura 16) consistem em módulos tridimensionais construídos com fio de aço galvanizado, formando painéis leves e rígidos, que podem ser empilhados para expandir a área de cobertura, o que possibilita a criação de formas variadas e, até mesmo, a formação de paredes independentes. Apesar desse modelo limitar a área de crescimento da vegetação, essa estrutura facilita a manutenção e controle (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016; Muñoz *et al.*, 2019).

Composto por cabos de aço interconectados e fixados na parede, o modelo de rede de cabos (Figura 17) apresenta uma flexibilidade superior às treliças modulares, além de permitir uma liberdade nos projetos em relação à dimensão. Essa característica possibilita que o jardim vertical alcance percentuais específicos de cobertura vegetal conforme necessário, e proporcione uma solução adaptável e personalizável (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016; Muñoz, 2019).

Figura 16 – Modelo com treliças modulares

Fonte: Kulekdjian, 2019.

Figura 17 – Modelo de rede de cabos

Fonte: Braun, 2014.

Outros modelos de fachadas verdes indiretas encontradas na literatura incluem também o sistema treliçado (Figuras 18 e 19). Composto por uma estrutura de suporte para o crescimento das trepadeiras e plantio direto no solo, a flexibilidade no uso de materiais e a capacidade de distanciamento em relação à edificação proporcionam uma abordagem adaptável e personalizável. Semelhante a esse sistema, outro modelo é a estrutura em malha ou tela, que consiste em uma estrutura muito leve, que pode ser composta por telas de cordas metálicas ou plástico (Pérez *et al.*, 2014; Muñoz, 2019).

Figura 18 – Sistema treliçado (vista interna)

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Figura 19 – Sistema treliçado (vista externa)

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

No que diz respeito às paredes vivas ou "*living walls*", essas são classificadas como um sistema intensivo e diferente do que ocorre nas categorias de fachada verde, esse sistema permite com que o plantio ocorra na própria estrutura. Assim, dentre suas características, Manso e Castro-Gomes (2015) citam: a rápida cobertura, mesmo quando aplicadas em grandes superfícies; o crescimento uniforme ao longo da superfície vertical; e a possibilidade de integração entre diversas espécies vegetais, o que promove a estética do ambiente onde são implantadas. Entre as espécies utilizadas, Scherer (2014) destaca a aplicação de plantas de pequeno porte, como as samambaias, bromélias e arbustos.

Ressalta-se, ainda, que esse sistema possui uma alta tecnologia nos processos de produção e instalação e, por isso, necessitam de um investimento financeiro maior.

Da mesma forma como ocorre com as fachadas verdes, as paredes vivas são subdivididas em dois modelos: o contínuo e o modular (Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016).

As paredes vivas contínuas referem-se à tecnologia desenvolvida por Patrick Blanc, botânico e paisagista francês, cujos seus projetos são reconhecidos mundialmente por introduzirem esse sistema de “muros vegetados”, como citado anteriormente (Figura 20). Construídas por feltros geotêxteis, este sistema é leve, permeável e permite com que as plantas cresçam e se desenvolvam nos substratos que são adicionados no espaço formado entre as camadas de feltro ou mesmo no material geotêxtil, por meio de técnicas hidropônicas. Outro material utilizado, que pode substituir os feltros geotêxteis, é a espuma própria para o cultivo de plantas (Silva, 2014; Pérez *et al.*, 2014; Cruciol-Barbosa; Fontes, 2016).

Figura 20 – Parede viva contínua desenvolvida por Patrick Blanc

Fonte: Blanc, 2013.

Em relação às paredes vivas modulares, as mesmas podem ser compostas por tabuleiros (Figura 21), vasos ou floreiras (Figura 22), revestimento de plantio (Figura 23) ou sacos flexíveis (Figura 24) e por isso, elas assumem diversas formas, tamanhos e materialidades. Desse modo, elas exigem um sistema construtivo diferente na aplicação de cada um desses módulos, para que a continuidade do sistema seja garantida ao longo da superfície (Manso; Castro-Gomes, 2015).

Conforme explica Cruciol-Barbosa (2019), além do apelo estético, o sistema modular possui duas principais vantagens que são: a cobertura imediata da fachada, em que as plantas podem se adaptar à diferentes formas e alturas de fachadas; e a maior

quantidade de vegetação por metro quadrado, sem que haja a necessidade de esperar o crescimento da vegetação.

Figura 21 – Sistema de tabuleiros

Fonte: Manzanero, s.d.

Figura 22 – Sistema por vasos

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Figura 23 – Revestimento de plantio

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Figura 24 – Sacos flexíveis

Fonte: Wolfenson, 2021.

2.2 Fachadas Verdes: Características e Mecanismos de Atuação

A fachada verde representa a tipologia mais tradicional de um jardim vertical. Conforme anteriormente especificado, a simplicidade decorre da sua composição, que consiste principalmente na espécie vegetal e na estrutura de suporte, esta última pode, inclusive, ser dispensada. Assim, as trepadeiras se sobressaem como protagonistas nas fachadas verdes, devido às suas características únicas, as quais exercem uma influência direta no desempenho dessas estruturas (Scherer; Alves; Redin, 2018).

Nesse cenário, Mascaró e Mascaró (2010) definem as trepadeiras como plantas flexíveis, desprovidas de caule resistente, e que crescem apoiadas em árvores, arbustos ou suportes. Inicialmente, seu desenvolvimento é mais lento, acelerando ao fixarem-se

em apoios, assim, o caule leve e flexível favorece o rápido crescimento, impulsionando a folhagem na busca de luz solar, o que resulta em mudanças na folhagem e distância entre os nós do caule.

Mascaró e Mascaró (2010) explicam também que a flexibilidade das trepadeiras decorre de sua natureza, que pode ser herbácea (com caules verdes, frágeis e flexíveis), semi-herbáceas ou lenhosa (com caules rígidos, secos e com aspecto lenhoso). Essa característica polimórfica torna as trepadeiras altamente versáteis em projetos paisagísticos, e faz com que elas possam ser aplicadas em pergolados, arcos e caramanchões para proteger espaços do sol, conforme exemplos históricos da sua origem. Além disso, as trepadeiras podem ser conduzidas em paredes e muros para ajardinamento, ou em telas e aramados, representando uma solução criativa e econômica para proporcionar privacidade em relação às residências vizinhas e ao espaço urbano.

Diante do exposto, na análise da estrutura de uma fachada verde torna-se evidente o papel fundamental e protagonista desempenhado pela vegetação no sucesso dos mecanismos de atuação. Um exemplo disso é a consideração do desempenho térmico, conforme destacado por Blanco, Schettini e Vox (2019), que abordam os seguintes parâmetros: o tipo de vegetação, bem como sua posição e dimensão; a taxa de cobertura vegetal; o Índice de Área Foliar (IAF); as características específicas da folhagem como orientação, dimensão, espessura e densidade, assim como suas características radiométricas e biológicas; e o crescimento médio, ao qual consideram a espessura, quantidade de água, densidade, substrato e as propriedades térmicas.

Em relação aos mecanismos de atuação das fachadas verdes, Pérez *et al*. (2022) descrevem quatro efeitos distintos: (I) sombreamento; (II) resfriamento evaporativo; (III) isolamento térmico; e (IV) barreira contra o vento, conforme exposto na Introdução deste trabalho. Em complementação, destaca-se também que a vegetação, por meio dos mecanismos de evapotranspiração, do sombreamento e isolamento térmico proporcionado pela folhagem, possibilita um balanço energético com a predominância de fluxos latentes, o que ajuda a umidificar o ar e a prevenir os extremos de temperatura (Sousa, 2020).

Além dos benefícios associados aos seus mecanismos de atuação, as fachadas verdes também têm impactos positivos no bem-estar social e psicológico humano.

Scherer (2014) destaca que a presença de áreas verdes nas áreas urbanas é significativa e benéfica, pois a natureza serve como um refúgio para as pessoas, e proporciona oportunidades para aliviar as pressões e tensões do cotidiano. A autora explica que a percepção ambiental, induzida pela presença de elementos naturais, pode contribuir para reconectar as pessoas às sensações de segurança que eram essenciais para a sobrevivência humana na pré-história, uma vez que esses elementos estão diretamente ligados a necessidades básicas como água, comida e segurança.

Assim, Scherer (2014) destaca estudos que revelam que edifícios com sistemas de vegetação integrada em suas coberturas ou paredes são preferidos significativamente pelos usuários. Essas estruturas são consideradas esteticamente atraentes e restauradoras, proporcionando uma qualidade afetiva mais positiva em comparação com edificações desprovidas de vegetação.

Outro aspecto importante, embora ainda pouco explorado, é a biodiversidade relacionada à fauna em fachadas verdes. Conforme apontado por Madre *et al.* (2015), as fachadas vegetadas lembram os habitats naturais verticais, oferecendo nutrientes e condições mais úmidas. Isso torna esses sistemas mais atrativos para os organismos, contribuindo para a biodiversidade urbana, uma vez que os mesmos são responsáveis por inúmeras funções e serviços ecossistêmicos, como: a decomposição, a polinização e o controle biológico.

Nesse contexto, Salisbury *et al.* (2023) realizaram um experimento cujo objetivo foi comparar os benefícios potenciais da biodiversidade em fachadas verdes associadas às espécies: *Hedera helix* (hera), *Parthenocissus tricuspidata* (trepadeira virgínia) e a *Pileostegia viburnoides* (hortência). A partir do desenvolvimento de dois anos das espécies, foram encontrados nas fachadas verdes um total de 1.703 invertebrados, como formigas, aranhas e lesmas. Isso demonstrou que as fachadas verdes apresentam os recursos necessários para a sobrevivência de uma série de grupos funcionais primários, como os herbívoros, predadores e detritívoros, o que indica que este tipo de ecologização pode suportar um bom equilíbrio ecológico dos organismos identificados.

Dessa forma, assim como apontado por Elgizawy (2016), as fachadas verdes são parte da solução para restauração dos habitats naturais, uma vez que contribuem para a biodiversidade e sistema ecológico. O autor destaca ainda a importância na

preferência de espécies nativas na composição das fachadas verdes, pois elas poderão ser mais específicas em suprir necessidades da fauna da região.

2.2.1 Estudos experimentais internacionais sobre Fachadas Verdes

Embora a vegetação seja uma solução eficiente para o bloqueio da radiação solar, sua eficácia é impactada por uma variedade de parâmetros. Portanto, realizar estudos nessa área é crucial para otimizar seu uso e compreender plenamente os mecanismos envolvidos (Sheweka; Mohamed, 2012). Além disso, as diversas metodologias para a avaliação desses parâmetros, junto com o tipo de clima e a localidade estudada, podem impactar diretamente os resultados. Isso ressalta a importância dos estudos de caso, sejam por simulações computacionais ou experimentos, como meio de identificar as melhores formas de avaliação (Muñoz, 2019).

Nesse contexto, são apresentados neste subitem alguns estudos experimentais que foram realizados em contextos internacionais.

O primeiro estudo selecionado foi realizado por Kokogiannakis *et al.* (2019), cujo objetivo foi avaliar o potencial de diferentes tipos de jardins verticais na redução das temperaturas das superfícies externas dos edifícios. Conduzido na Universidade de Nottingham em Ningbo, China, o local é caracterizado por apresentar verões quentes e úmidos e invernos frios e secos.

Para o experimento, foram montadas cinco células de teste com área útil de 0,95 m^2 (0,63 m x 1,50 m) cada, cujas paredes eram feitas de tijolos de alvenaria padrão com 80 mm de espessura, revestidas com uma camada de ladrilhos cerâmicos de 10 mm na face sul, destinada a receber a vegetação. As demais faces foram isoladas com poliestireno extrudado de 200 mm, com o fim de eliminar os fluxos de calor nas superfícies não vegetadas.

Em relação às configurações, foram analisados os seguintes cenários: BW - parede controle (sem uso da vegetação); IGF - fachada verde indireta a uma distância de 20 cm da parede; DGF - fachada verde direta; FLW - parede viva em camada de feltro; e PLW -parede viva com caixas de plantio (Figura 25). Todas as faces vegetadas estavam voltadas para o sul, com a utilização da espécie *Philodendron scandens* nas fachadas

verdes direta e indireta, enquanto as paredes vivas foram revestidas pela espécie *Peperomia obtusifolia*.

Figura 25 – Configurações avaliadas no experimento e posição dos equipamentos

Fonte: organizado pela autora de Kokogiannakis *et al.* (2019).

O Percentual de Cobertura Verde (PCV) foi calculado por meio do processamento das imagens no *software* ImageJ, onde verificou-se que as paredes vivas (FLW e PLW) preencheram 100% das fachadas, enquanto a fachada verde indireta (IGF) e direta (DGF) cobriram 60-62% e 66-68%, respectivamente.

Em relação às medições de temperatura, elas foram realizadas a cada 10 minutos durante 18 dias completos no mês de julho de 2014 (3 a 13; 18 a 20; e 23 a 26), com a utilização de 21 Termopares, posicionados, conforme a Figura 25. Dados complementares de velocidade e direção do vento, umidade relativa e precipitação acumulada foram obtidos da estação meteorológica local, enquanto a radiação solar

global e difusa foi mensurada por meio de um piranômetro. Durante o período de monitoramento, a temperatura média diária variou de 24,5°C a 31,7°C e a radiação solar global foi de 735 a 1.043 W/m^2.

Dentre os resultados alcançados pela pesquisa, destaca-se a capacidade dos jardins verticais em manter a superfície mais fria em comparação à parede controle (BW). Conforme descrito por Kokogiannakis *et al.* (2019), quando a parede controle (BW) atinge uma temperatura de 3°C acima da temperatura do ar, a parede viva em camada de feltro (FLW) permanece 6°C mais fria, seguida pela parede viva com caixas de plantio (PLW) com 5°C a menos, a fachada verde direta (DGW) com 3,5°C a menos e a fachada verde indireta (IGF) com 3°C a menos.

Além disso, as diferenças mínimas e máximas entre as temperaturas médias diárias das superfícies cobertas por vegetação sempre se mantiveram abaixo da temperatura da superfície da parede de controle (BW). Essas diferenças foram de: 1,9°C-4,8°C para a parede viva em camada de feltro (FLW), 1,4°C-3,8°C para a parede viva com caixas de plantio (PLW), 0,6°C-2,4°C para a fachada verde direta (DGW) e 1,1°C-1,8°C fachada verde indireta (IGF).

No experimento conduzido por Convertino *et al.* (2022), o objetivo foi avaliar o efeito de resfriamento fornecido por uma fachada verde em função da variação do Índice de Área Foliar (IAF).

Realizado na Universidade de Bari, em Valenzo, Itália, onde o clima é classificado como temperado ameno (Cfa), este trabalho foi realizado em um edifício de 4,20 m de comprimento, 1,5 m de largura e 2,00 m de altura, cujas paredes são compostas por tijolos convencionais de 0,20 m de espessura e revestidas por gesso branco.

Para fins de comparação, foram organizadas três configurações na face sul da edificação: uma parede de controle (sem vegetação) e duas fachadas verdes indiretas, ambas posicionadas a 0,15 m de distância da parede do edifício, sendo uma plantada em vaso e a outra diretamente no solo (Figura 26). Em ambas as fachadas verdes foi utilizada a espécie perene *Rhyncospermum jasminoides,* que apresentou crescimento ascendente sustentado por uma rede de ferro.

Figura 26 – Configurações avaliadas no experimento

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

As medições foram realizadas durante o verão, entre os dias 9 e 15 de agosto de 2020, sob condições de céu limpo. Durante esse período, foram utilizados diversos equipamentos, entre os quais se destacam: o piranômetro, utilizado para medição da radiação solar; o sensor HygroClip-S3, que mediu a temperatura e a umidade relativa do ar; e os termistores, responsáveis pela medição da temperatura das superfícies com e sem vegetação.

Durante o período analisado, a temperatura do ar externo variou de 19,7°C a 36,8°C, enquanto a umidade relativa do ar ficou entre 29,3% e 90,5%. O valor máximo registrado da radiação solar atingiu 854,00 W/m^2, enquanto o IAF de 4,11 foi obtido a partir de um estudo anterior realizado por alguns dos autores deste experimento analisado, intitulado "*Evaluation of the cooling effect provided by a green façade as nature-based system for buildings*" (Convertino *et al.*, 2021).

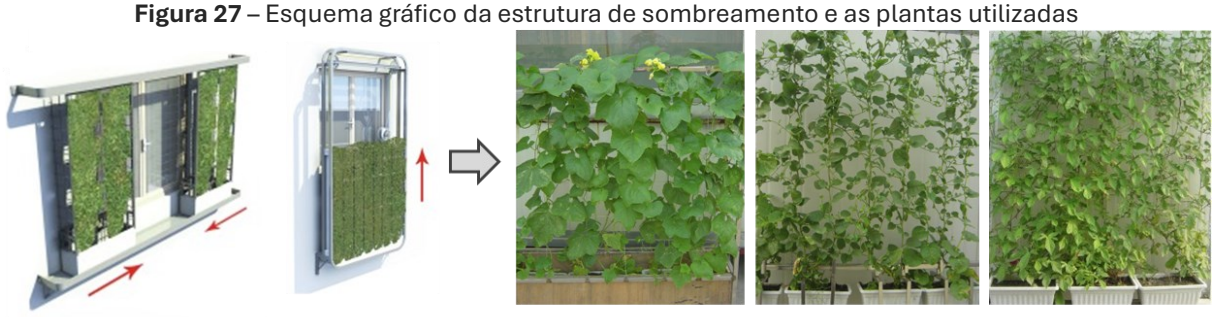
Destaca-se que o IAF deste estudo anterior foi mensurado por dois métodos: direto e indireto. No método direto, uma área representativa de 0,20 m x 0,20 m foi definida, e as folhas presentes nessa área foram coletadas, contadas e analisadas quanto à sua área utilizando técnicas de imagem digital. O *software* GIMP foi empregado para a segmentação e reconhecimento de pixels. Esse procedimento foi repetido para 20 folhas amostradas de tamanhos variados, a fim de obter um valor médio de área foliar. Os dados resultantes foram utilizados para calcular o IAF com base no número de folhas e na área foliar média das amostras (Convertino *et al.*, 2021).

O método indireto (não destrutivo) consiste na análise da radiação solar transmitida pelo dossel, onde a transmissividade solar é expressa como uma função exponencial do IAF. A lei de extinção de Beer-Lambert foi aplicada para relacionar a radiação solar incidente e transmitida, considerando o coeficiente de extinção, que depende das características geométricas da planta e da orientação do dossel em relação à luz solar. A combinação dessas abordagens ofereceu uma avaliação abrangente do IAF, contribuindo para a compreensão da dinâmica do dossel e suas interações com o ambiente. Os valores do IAF calculados pelo método indireto apresentaram uma redução de até 46,5% em comparação aos valores obtidos pelo método direto, que resultou em um IAF de 4,11 (Convertino *et al.*, 2021).

Com base no valor do IAF de 4,11 obtido nesse estudo realizado anteriormente, os autores calcularam a transmissividade solar média variando o IAF entre 1 e 10. A partir dessa análise, constatou-se que, na configuração real do experimento (IAF de 4,11), a cada aumento de uma unidade no IAF, a transmissividade solar diminuía em 54%. Assim, o aumento mais significativo ocorreu quando o IAF variou de 1 para 2, resultando em um aumento de aproximadamente 31,05% no efeito de sombreamento solar. Contudo, essa influência permaneceu significativa, isso é, com um aumento superior a 1% no efeito de sombreamento solar até o IAF de 6.

Em uma abordagem distinta dos estudos anteriores, Zheng, Dai e Tang (2020) propuseram o projeto de um sistema que integrava a estrutura de uma fachada verde indireta convencional a um mecanismo deslizante (Figura 27).

Figura 27 – Esquema gráfico da estrutura de sombreamento e as plantas utilizadas



Projeto Idealizado

Projeto Experimental

Fonte: organizado pela autora de Zheng, Dai e Tang (2020).

Denominado pelos autores como "*green window shading system*" (sistema de sombreamento de janela verde), esse sistema era composto por jardineiras preenchidas

por substratos, onde a planta trepadeira era suportada por uma rede de arame. Assim, o módulo de plantio foi fixado a um trilho, permitindo a alternância entre sombreamento e não sombreamento da janela. A partir disso, o objetivo do estudo foi analisar a redução do consumo de energia de resfriamento ao aplicar esse sistema de sombreamento nas janelas do edifício selecionado, além de estabelecer a correlação entre o coeficiente de sombreamento e a taxa de cobertura.

O experimento foi conduzido na Universidade de Chongqing na cidade de Chongqing, China, cujo clima da região é caracterizado por um verão quente, onde a temperatura do ar pode alcançar até 43°C.

Para o experimento, foram utilizadas duas salas idênticas, cada uma com uma área útil de 5,76 m^2 (2,4 m x 2,4 m) e altura de 2,5 m. Ambas as salas possuíam condicionadores de ar com potência de 1.080 W e capacidade de resfriamento de 3.250 W, além de uma janela de vidro transparente com espessura de 6 mm, voltada para o oeste, medindo 1,2 m x 1,2 m, com peitoril a 1 m do chão. As paredes tinham espessura de 50 mm e eram compostas por placas sanduíche de isolamento térmico, feitas de espuma de polietileno.

Em relação ao sistema de sombreamento, foram analisadas três espécies de trepadeiras bastante cultivadas na região: "*dishcloth gourd*", "*morning glory*" e a "*malabar spinach*". Conforme mencionado acima, elas foram cultivadas em jardineiras preenchidas com substrato e contaram com uma rede de suporte de dimensões de 1,3 m x 1,4 m, suficiente para cobrir as janelas.

As medições foram realizadas em períodos diversos e organizadas em três etapas: (1) consumo de energia para resfriamento e fluxo de calor nas janelas; (2) coeficiente de sombreamento nas janelas; e (3) rastreamento solar do coeficiente de sombreamento. Para esses processos, foram utilizados os seguintes equipamentos: piranômetro; medidor de aquisição de dados; sensor de fluxo de calor; termopar; e painéis fotovoltaicos (100 mm x 60 mm) posicionados de modo a ocupar uma área total de 540 mm x 580 mm. Conforme explicam os autores, o uso dos painéis fotovoltaicos representou uma nova técnica de medição, cujo objetivo foi obter o coeficiente de sombreamento local, tendo em vista que a radiação solar pôde ser medida indiretamente através da conversão da energia solar em energia elétrica.

Os resultados indicaram que na presença do sistema de vegetação proposto houve uma redução no coeficiente de correlação entre o consumo de energia para resfriamento e a radiação solar, de 0,94 para 0,61. Da mesma forma, o coeficiente de correlação entre o consumo de energia para resfriamento e a diferença de temperatura interna-externa também reduziu de 0,92 para 0,79.

Dentre as espécies analisadas, o sistema com a "*dishcloth gourd*" apresentou os melhores resultados. Com uma taxa de cobertura de 80%, o coeficiente de sombreamento foi de 0,28 e o consumo de energia para resfriamento, bem como o fluxo de calor através do vidro da janela, foram reduzidos em 11,5% e 64,8%, respectivamente.

Os autores também observaram que, durante o período de radiação solar mais intensa no ambiente, houve uma melhoria no desempenho de sombreamento (menor coeficiente de sombreamento). Além disso, esse menor coeficiente foi registrado para ângulos de incidência solar oblíquos, entre 14h e 16h, aumentando à medida que a orientação solar se aproximava do Oeste.

2.2.2 Estudos nacionais sobre fachadas verdes: contribuições do Grupo de Pesquisa

Os estudos aqui selecionados estão vinculados ao Grupo de Pesquisa "Núcleo de Conforto Ambiental" (NUCAM), da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauru, estado de São Paulo; e é coordenado pela Professora Doutora Maria Solange Gurgel de Castro Fontes. Esses estudos sobre a temática de Sistemas de Jardins Verticais (SJVs) tiveram início em 2017, com os trabalhos pioneiros: "Avaliação da Influência Térmica de um Jardim Vertical de Tipologia Parede Viva Contínua" (Cruciol-Barbosa, 2019) e "Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras" (Muñoz, 2019).

No entanto, este subitem analisa todos os trabalhos sobre a tipologia das fachadas verdes publicados pelo Grupo de Pesquisa, cujo objetivo é proporcionar uma visão abrangente dos estudos desenvolvidos pelo grupo. Além disso, pretende-se evidenciar como este projeto contribuirá para o avanço dessas investigações, integrando novos dados e perspectivas dentro da temática. Os trabalhos analisados estão organizados no Quadro 01.

Quadro 01 – Trabalhos do Grupo de Pesquisa que foram analisados.

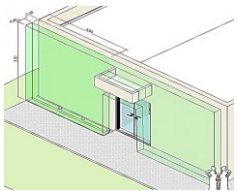
Nº	Autores	Título	Local de Publicação
01	Muñoz (2019)	Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras	P@thernon UNESP
02	Silveira, Padovan e Fontes (2019)	Fachada verde e conforto térmico em escritório universitário	Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades
03	Padovan (2020)	Desempenho térmico de jardins verticais extensivos: estudo com uso da trepadeira *Ipomoea horsfalliae*	P@thernon UNESP
04	Marchioretto, Pereira Junior, Nozawa e Fontes (2023)	Fachadas verdes: potencial de sombreamento e atenuação solar da espécie *Merremia dissecta*	XVII Encontro Nacional de Conforto Térmico no Ambiente Construído | XIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
05	Pereira Junior (2024)	Atenuação da radiação solar por fachadas verdes indiretas com diferentes camadas: estudo com a espécie *Distimake dissectus* (Jacq.) A. R. Simões & Stapies	P@thernon UNESP
06	Oliveira (2024)	Potencial de crescimento, sombreamento e atenuação solar de fachadas verdes com plantas trepadeiras nativas: estudo de caso com a espécie *Ipomoea cairica*	XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP

Fonte: organizado pela autora, 2024.

Esses trabalhos focaram na tipologia de fachada verde indireta e foram conduzidos de forma experimental, com exceção do estudo de Silveira, Padovan e Fontes (2019), que utilizou modelagem computacional. Quanto aos locais de realização, os estudos de Muñoz (2019), Marchioretto *et al*. (2023) e Oliveira (2024) ocorreram em um espaço de transição na fachada oeste da Central de Laboratórios Didáticos da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC) no campus de Bauru (SP). O experimento de Pereira Junior (2024) também foi conduzido em um espaço de transição, mas foi implantado na face nordeste de uma residência localizada na zona rural da cidade de Promissão (SP). Enquanto que as pesquisas de Silveira, Padovan e Fontes (2019) e Padovan (2020) foram realizadas nas fachadas externas (norte/oeste e sul/oeste) de dois blocos de escritórios situados no Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos (UNIFIO), em Ourinhos (SP).

O Quadro 02 apresenta informações sobre o clima, o local de plantio (solo ou vaso), a estrutura de suporte da vegetação e as espécies analisadas.

Quadro 02 – Características do ambiente experimentos

Nº	Clima	Plantio	Estrutura de suporte	Espécie	Local de Publicação
01	Cfa - subtropical com verão quente	Vaso	Treliça de bambu: 1,00 m (largura), 0,05 m (espessura e 2,10 m (altura). Jardineira em fibra de vidro: 1,00 m (comprimento), 0,50 m (largura) e 0,60 m (altura)	*Thunbergia grandiflora (Roxb. Ex Rottl.) Roxb.* (tumbérgia azul); *Ipomoea horsfalliae Hook*. (ipomea rubra); e *Passiflora edulis Sims* (maracujá azedo)	
02	Am - verões quentes e invernos frio e seco	Solo	Fachada verde simulada: 3,60 m (largura) e 3,80 m (altura). Cavidade de ar: 30 cm	*Wisteria Floribunda* (Glicínia), sendo que os dados de resistência térmica (R), espessura, emissividade, absortividade radiação global e radiação visível foram retirados de Scherer (2014)	
03	Cfa - subtropical com verão quente	Solo	Tela POP em aço galvanizado: 3,60 m (largura) e 3,80 m (altura). Cavidade de ar: 20 cm	*Ipomoea horsfalliae* (Ipomeia rubra)	
04	Subtropical com verão quente	Vaso	Treliça de bambu: 1,00 m (largura), 0,05 m (espessura e 2,10 m (altura). Jardineira em fibra de vidro: 1,00 m (comprimento), 0,50 m (largura) e 0,60 m (altura)	*Merremia dissecta*	
05	Aw – clima tropical com inverno seco	Solo	Barras de ferro com tela POP: 0,80 m (largura) e 2,40 m (altura). Uso de duas a uma distância de 0,30 m na fachada dupla	*Distimake dissectus* (Jacq.) A.R. Simões & Staples[5]	
06	Cfa - subtropical com verão quente	Solo	Treliça com tela POP soldada: 0,75 m (largura) e 2,40 m (altura). Uso de duas a uma distância de 0,15 m na fachada dupla	*Ipomoea cairica L. (Sweet)*	

Fonte: organizado pela autora, 2024.

[5] Nova nomenclatura botânica dada à *Merremia dissecta* (Petrongari; Simões, s.d.).

Em relação aos cuidados no cultivo das espécies, Muñoz (2019) destaca que as jardineiras foram preparadas com bidim, seixos de argila expandida e terra vegetal misturada com vermiculita e fosfato supersimples. Após o plantio de três mudas em cada jardineira, foi aplicado o adubo NPK 02-05-05 (proporção 1/1). A irrigação foi automatizada, programada inicialmente para ocorrer duas vezes ao dia (às 7h e às 19h), ajustando-se conforme as condições das espécies e o clima.

Muñoz (2019) explica, ainda, que realizou o acompanhamento do desenvolvimento das espécies semanalmente nos dois primeiros meses e quinzenalmente no restante do tempo. Mensalmente, foram feitas adubações de crescimento com NPK 30-9-10 e de manutenção com NPK 13-5-13. Embora não tenha sido necessário replantio ou troca de mudas, a espécie *Passiflora edulis Sims* (maracujá azedo) necessitou a pulverização com os defensivos Inseticom e Spurion®, após sofrer um ataque de lagartas e ácaro vermelho. Já a poda só foi necessária na espécie *Ipomoea horsfalliae Hook*. (ipomea rubra).

A estrutura organizada por Muñoz (2019) foi reutilizada no estudo de Marchioretto *et al*. (2023), que consistiu no plantio de três mudas em uma das jardineiras, sem necessidade de reposição. Após o plantio, os autores informam que houve uma adubação adicional realizada pelo biólogo paisagista Murilo Cruciol Barbosa. A irrigação foi realizada manualmente, variando de uma a duas vezes por semana. O monitoramento do desenvolvimento das espécies ocorreu semanalmente, com podas sendo realizadas a cada 15 dias ou semanalmente, conforme necessário.

No estudo de Padovan (2020), foram plantadas 8 mudas em cada uma das fachadas, cultivadas diretamente no solo, este que foi classificado como Latossolo Vermelho. Para o plantio, as covas foram preenchidas com uma mistura composta por 80% de solo natural da localidade e 20% de húmus enriquecido com adubo NPK 04-14-08. Após o plantio, a superfície foi coberta com cascas vegetais de eucalipto, com o intuito de proteger o solo e reter a umidade. Além disso, as plantas receberam um reforço adicional de adubo NPK 04-14-08 e após 7 meses, um suprimento de nitrogênio (ureia) para promover um maior vigor na folhagem. O autor também explica que o monitoramento do desenvolvimento das espécies ocorreu semanalmente, enquanto a irrigação foi automatizada, programada para duas regas diárias (às 6h e às 18h), sendo ajustada conforme as condições das espécies e as variações climáticas.

Pereira Junior (2024) também expõe que o monitoramento do desenvolvimento das espécies ocorreu semanalmente, onde a rega ocorreu de forma manual por duas vezes na semana. Para a composição das fachadas, foram plantadas uma muda na fachada simples e duas na fachada dupla.

O estudo de Oliveira (2024) também comparou o desempenho entre fachadas simples e duplas. Para isso, foram utilizadas três mudas na fachada simples e seis na fachada dupla, cultivadas diretamente no solo misturado com substrato (terra vegetal). Durante os monitoramentos semanais, as mudas foram irrigadas manualmente de uma à duas vezes por semana. Além disso, houve a condução dos ramos da trepadeira nas estruturas de suporte e a poda dos ramos excedentes, conforme a necessidade.

O Quadro 03 organiza a metodologia aplicada nos estudos, detalhando o período de medição, os parâmetros analisados e os equipamentos/ *softwares* utilizados.

Quadro 03 – Metodologia dos estudos

Nº	Período do Experimento	Parâmetros Analisados	Equipamentos/ *Softwares*
01	Janeiro de 2018 a janeiro de 2019 (medições em 03 dias frios e quentes)	PSO, PCV (FCV), FTF, FES, FEF, ARS, Tar, UR, TG, Tbs, Tbu, V, TRM, RS, IT	Datalogger de temperatura e umidade, Termohigrômetro, medidor da radiação solar INSTRUTHERM®, Termômetro Digital, Câmera Térmica, Net-radiômetro | Rayman, AutoCAD, Conforto 2.0, Excel e Past®
02	01 de fevereiro a 30 de junho e 01 de agosto a 22 de dezembro	CT	Sketchup e Energyplus v.8.9.0
03	24, 25, 26, 27 e 28 de janeiro e 27 de abril a 01 de maio de 2020	PSO, PCV (FCV), FTF, FES, FEF, Tar, UR, TG, V, TS, IT	Datalogger HOBO®, Datalogger Testo® 175, Anemômetro Digital, Termômetro Infravermelho, Câmera Termográfica | CoreDraw Grafic Suite®
04	Julho de 2019 a julho de 2021 (medições nos dias 26 e 27 de julho e 10 de agosto de 2021)	PCV (FCV), RS, ARS	Medidor da radiação solar INSTRUTHERM® | Sketchup, PAST STATISTICAL ANALYSIS
05	Setembro de 2022 a junho de 2023 (medições nos dias 22 e 25 de março e 05 e 06 de junho de 2023)	PSO, PCV (FCV), FTF, FES, FEF, RS, ARS, AF, DAF, IAF, CE	Medidor da radiação solar INSTRUTHERM® | Sketchup, ImageJ, R Statistical Software
06	Outubro de 2023 a abril de 2024 (medições nos dias 19 e 20 de dezembro de 2023; 08 e 09 de janeiro e 14 e 15 de março de 2024	PSO, PCV (FCV), FTF, FES, FEF, RS, ARS, AF, DAF, IAF, CE	Medidor da radiação solar INSTRUTHERM® | AutoCAD

Legenda: Potencial de Sombreamento (PSO), Percentual de Cobertura verde (PCV), Fator de Cobertura Verde (FCV), Fator do Tamanho da Folhagem (FTF), Fator de Espaçamento das Folhas (FES), Fator de Espessura Foliar (FEF), Atenuação da Radiação Solar (ARS), Temperatura do Ar (Tar), Umidade Relativa do Ar (UR), Temperatura de Globo (TG), Temperatura de Bulbo Seco (Tbs), Temperatura de Bulbo Úmido (Tbu), Velocidade do Ar (V), Temperatura Radiante Média (TRM), Radiação Solar (RS), Imagens Térmicas (IT), Conforto Térmico (CF), Temperatura da Superfície (TS), Área Foliar (AF), Densidade da Área Foliar (DAF), Índice de Área Foliar (IAF) e Cargas Estruturais (CE).

Fonte: organizado pela autora, 2024.

Em relação aos resultados, o estudo de Muñoz (2019) destaca que, dentre as espécies analisadas, a *Passiflora edulis Sims* (maracujá azedo) apresentou o crescimento mais rápido, alcançando um Percentual de Cobertura Vegetal (PCV) de 54,1% em apenas dois meses. O PCV máximo de 80,03% foi atingido ao final de um ano após o plantio. Apesar dos resultados positivos, a autora destaca que essa espécie foi afetada por ataques de pragas, o que resultou em uma redução de 7,6% no PCV.

A *Ipomoea horsfalliae Hook*. (ipomeia rubra) alcançou o maior PCV entre as espécies, atingindo 89,5% ao final de um ano. Em contrapartida, a *Thunbergia grandiflora (Roxb. Ex Rottl.) Roxb*. (tumbérgia azul) registrou o menor PCV, com 65,08%, considerando o mesmo período de mediação.

Os dados de PCV influenciaram diretamente o Potencial de Sombreamento (PSO) e a capacidade de atenuação solar das espécies. A *Ipomoea horsfalliae* foi classificada com um PSO "ótimo" de 0,81, apresentando uma atenuação máxima de radiação solar de 87% em condições de tempo frio e de 94% em tempo quente. As espécies *Passiflora edulis* e *Thunbergia grandiflora* apresentaram valores de PSO de 0,68 e 0,65, respectivamente, classificados como "bom". Em condições de tempo frio, as atenuações máximas foram de 74% para *Passiflora edulis* e 60% para *Thunbergia grandiflora*, enquanto em tempo quente, esses valores se igualaram aos observados para a *Ipomoea horsfalliae*.

O uso das fachadas verdes também contribuiu para a melhoria microclimática. Em comparação com o ponto de controle, sem influência de vegetação, observou-se uma redução máxima de 4°C na temperatura do ar em condições de tempo frio e de 2,8°C em tempo quente. A temperatura radiante média também foi reduzida em até 19°C no frio e 11,2°C no calor, auxiliada pelo sombreamento do piso e pela consequente diminuição da temperatura superficial. Além disso, houve um aumento máximo de 2,7 g/Kg na umidade absoluta do ar durante o inverno, especialmente próximo à fachada verde com *Passiflora edulis* (maracujá), que manteve valores superiores ao controle em todas as medições realizadas em condições de tempo frio.

A modelagem computacional realizada por Silveira, Padovan e Fontes (2019) também evidenciou uma melhora significativa no desempenho térmico do ambiente. Os resultados indicaram que a fachada verde, utilizada como estratégia de sombreamento, contribuiu para um aumento de até 39% na eficiência térmica dos ambientes analisados

e um incremento de 9% no conforto térmico durante o período de uso da edificação estudada.

No estudo de Padovan (2020), após 8 meses de plantio, a fachada verde da sala sul/oeste apresentava um PCV de 76,8% e PSO de 0,76 classificado como “bom”., enquanto a sala Norte/Oeste apresentou um PCV de 65,5% e PSO de 0,50 classificado como “regular”. Esses resultados contribuíram para a eficiência na diminuição das temperaturas superficiais externas, cujas reduções médias foram de 2,2ºC (7,6% de resfriamento) e de 2,0ºC (6,8% de resfriamento) nas superfícies das salas norte/oeste e sul/oeste, respectivamente, em relação às superfícies controle. Durante o período de incidência da radiação solar direta nas fachadas, o sombreamento proporcionado pela vegetação foi mais expressivo, pois a diferença das temperaturas superficiais das salas protegidas e controle foram de 7,7ºC (18,9% de resfriamento) e de 5,6ºC (14,4% de resfriamento) nas superfícies orientadas ao norte/oeste e sul/oeste, respectivamente.

Em relação ao estudo conduzido por Marchioretto *et al.* (2023) e Pereira Junior (2024), ambos utilizaram a mesma espécie. Sendo que Marchioretto *et al.* (2023) realizou o plantio em jardineiras, enquanto Pereira Junior (2024) fez o plantio diretamente no solo, testando-a tanto em uma fachada de camada simples quanto em uma fachada de camada dupla.

Nesse contexto, a fachada verde cultivada em jardineira apresentou um PCV máximo de 92,63% seis meses após o plantio, enquanto a fachada verde em solo alcançou, em cinco meses, um PCV máximo de 98,83% e 99,57% para as configurações de camada simples e dupla, respectivamente. Assim, a atenuação solar obtida no estudo de Pereira Junior (2024) foi ligeiramente superior, com a camada simples apresentando uma atenuação média de 94,86% e a camada dupla de 95,08%. Já no estudo de Marchioretto *et al.* (2024), a atenuação solar variou de 82,14% a 90,64% nos pontos superiores (onde a vegetação era mais densa) e de 62,78% a 76,41% nos pontos inferiores (onde a vegetação era mais escassa).

Por se tratar de uma dissertação, Pereira Junior (2024) complementou seus dados calculando outras variáveis relevantes. Desse modo, a área foliar da espécie foi de 64,11 cm^2, com DAF de 4,34 m^2/m^3 e IAF de 3,46 para a camada simples, e DAF de 3,73 m^2/m^3 e IAF de 4,00 para a camada dupla.

Em um estudo semelhante, mas utilizando outra espécie de trepadeira, Oliveira (2024) também realizou um comparativo entre fachadas de camada simples e dupla em solo. A partir disso, o PCV máximo de ambas as fachadas foi atingido quatro meses após o plantio, com 98,4% para a camada simples e 99% para a camada dupla. Já a atenuação solar máxima ocorreu às 16h, quando a fachada simples atenuou 81,50% e a camada dupla, 82,70%. Dados complementares também foram calculados, onde a área foliar da espécie foi de 52 cm^2, com DAF de 28,69 m^2/m^3 e IAF de 8,78 para a camada simples, enquanto a camada dupla apresentou DAF de 30,74 m^2/m^3 e IAF de 9,48.

Por fim, os estudos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa buscaram avaliar diferentes espécies, reconhecendo a importância da vegetação para o desempenho do sistema, uma vez que seus parâmetros influenciam diretamente sua eficácia. Com o tempo, as pesquisas foram sendo complementadas com a investigação de novas variáveis, como DAF e IAF. Nesse contexto, o presente trabalho também pretende contribuir, não apenas para o acervo do Grupo de Pesquisa, mas para o conhecimento na temática de SJVs, analisando três espécies de trepadeiras de caráter ruderal e de ciclo curto (anual ou bianuais).

2.3 Síntese da Revisão da Literatura

A revisão de literatura revela que os Sistemas de Jardins Verticais (SJVs), embora mecanismos antigos, evoluíram e tornaram-se uma infraestrutura verde fundamental para o esverdeamento urbano. Apesar de não substituírem as árvores em suas funções ecológicas, os SJVs apresentam vantagens significativas em ambientes com espaço limitado, promovendo a biodiversidade e melhorando o desempenho térmico.

Em complementação, os SJVs são classificados em duas tipologias principais: o sistema extensivo (fachadas verdes), que utiliza substratos leves e plantas do tipo trepadeiras, requerendo menos manutenção; e o sistema intensivo (paredes vivas), que abriga uma variedade maior de espécies, incluindo plantas maiores que demandam cuidados mais frequentes, fatores estes que implicam em um maior investimento.

Em conclusão, os estudos experimentais sobre o desempenho dos SJVs, tanto em nível nacional quanto internacional, destacam suas contribuições significativas,

principalmente para o desempenho térmico e energético dos ambientes. Essas investigações analisam diferentes espécies e tipologias de SJVs, abrangendo desde sistemas extensivos a intensivos, e verificam como essas variáveis influenciam a eficiência e a eficácia dos jardins verticais. Tais estudos são essenciais para o desenvolvimento de diretrizes que potencializem os benefícios ambientais e sociais desses sistemas, garantindo sua integração eficaz no planejamento urbano sustentável.

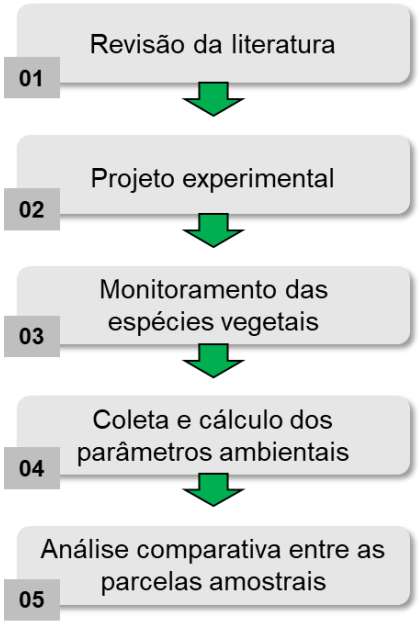
Portanto, a continuidade da pesquisa sobre o tema e a implementação de SJVs nos ambientes, seja ele interno ou externo, representam um passo importante na construção de cidades mais verdes e resilientes.

03 MATERIAIS E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, o trabalho foi desenvolvido em cinco etapas metodológicas, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 – Etapas metodológicas



Fonte: elaborada pela autora, 2023.

A revisão da literatura consistiu em aprofundar e embasar teoricamente a pesquisa, fornecendo informações detalhadas sobre os aspectos de construção e funcionamento dos jardins verticais, em especial sobre a tipologia da fachada verde indireta. Além disso, essa etapa identificou os desafios que esses sistemas enfrentam, mas também destacou suas contribuições para os ambientes em que são implantados, bem como os parâmetros ambientais que têm maior impacto no desempenho quanto à atenuação solar, redução das temperaturas superficiais, do ambiente interno e entorno imediato.

A segunda etapa diz respeito ao projeto experimental, através do detalhamento dos critérios utilizados para a seleção das espécies vegetais, o local de implantação das fachadas verdes e os procedimentos realizados no preparo do plantio também estão descritos.

A terceira etapa consistiu em monitorar o desenvolvimento das espécies vegetais ao longo da estrutura das fachadas, com descrição dos cuidados e manutenções realizadas ao longo desse período.

Na quarta etapa, foi realizada a coleta de dados necessários ao cálculo dos seguintes parâmetros ambientais: Percentual de Cobertura Verde (PCV), Espessura da Folhagem (EF), Área Foliar (AF), Índice da Área Foliar (IAF), Densidade da Área Foliar (DAF), Atenuação Solar (AS) e Potencial de Sombreamento (PSO).

Por fim, a quinta etapa se refere aos testes estatísticos realizados com o fim de compreender a existência de diferenças significativas entre os dados de radiação solar coletados na fachada incidente (sem vegetação) e protegida (com vegetação). Essa comparação também foi aplicada entre as diferentes fachadas verdes, para verificar a existência de diferenças significativas entre as espécies.

3.1 Seleção das espécies vegetais

A seleção apropriada da espécie vegetal é crucial para o sucesso do desempenho térmico apresentado de qualquer Sistema de Jardim Vertical (SJV), uma vez que cada uma delas possui características botânicas e morfológicas específicas, conforme destacado por Mela (2023).

Um aspecto particular é o ciclo de vida das plantas, que determina o tempo dedicado à semeadura, germinação, crescimento, frutificação, produção de sementes e, finalmente, o término de seu ciclo. Este ciclo pode ser categorizado em três principais tipologias: as anuais, com ciclos iguais ou inferiores a 12 meses; as plantas perenes, cujos ciclos excedem 24 meses; e as bianuais, cujos ciclos ocorrem entre 12 e 24 meses, conforme definido pela EMBRAPA (2003).

Nesse cenário, a escolha de espécies de ciclo curto (anuais ou bianuais) pode ser uma estratégia mais adequada quando se deseja um crescimento rápido e uma proteção temporária. Outra alternativa é planejar a substituição dessas espécies, por exemplo, por questões estéticas. Assim, as fachadas verdes com espécies de ciclo curto podem atuar como dispositivos dinâmicos de proteção solar que respondem às mudanças das condições de tempo sazonais (Ip; Lam; Miller, 2010).

Diante o exposto, foi utilizado como critério de decisão que a espécie aplicada na fachada verde fosse uma planta trepadeira (característica essencial para que a mesma consiga aderir à estrutura de apoio) de ciclo curto, proposta do trabalho para

analisar a aplicabilidade dessa característica em um SJV e espécies ruderais (espontâneas), devido a facilidade de obtenção de sementes e cultivo.

A partir desses critérios foram selecionadas as seguintes espécies: *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (feijão de rolinha), *Melothria cucumis Vell.* (pepininho do mato) e *Momordica charantia L.* (melãozinho de São Caetano), cujas imagens são apresentadas nas Figuras 29, 30 e 31, respectivamente.

Figura 29 – Imagem das folhas, flores e vagem da *Macroptilium lathroides (L.) Urb*.

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 30 – Imagem das folhas, flores e frutos da *Melothria cucumis Vell*.

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 31 – Imagem das folhas, flores e frutos da *Momordica charantia L*.

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

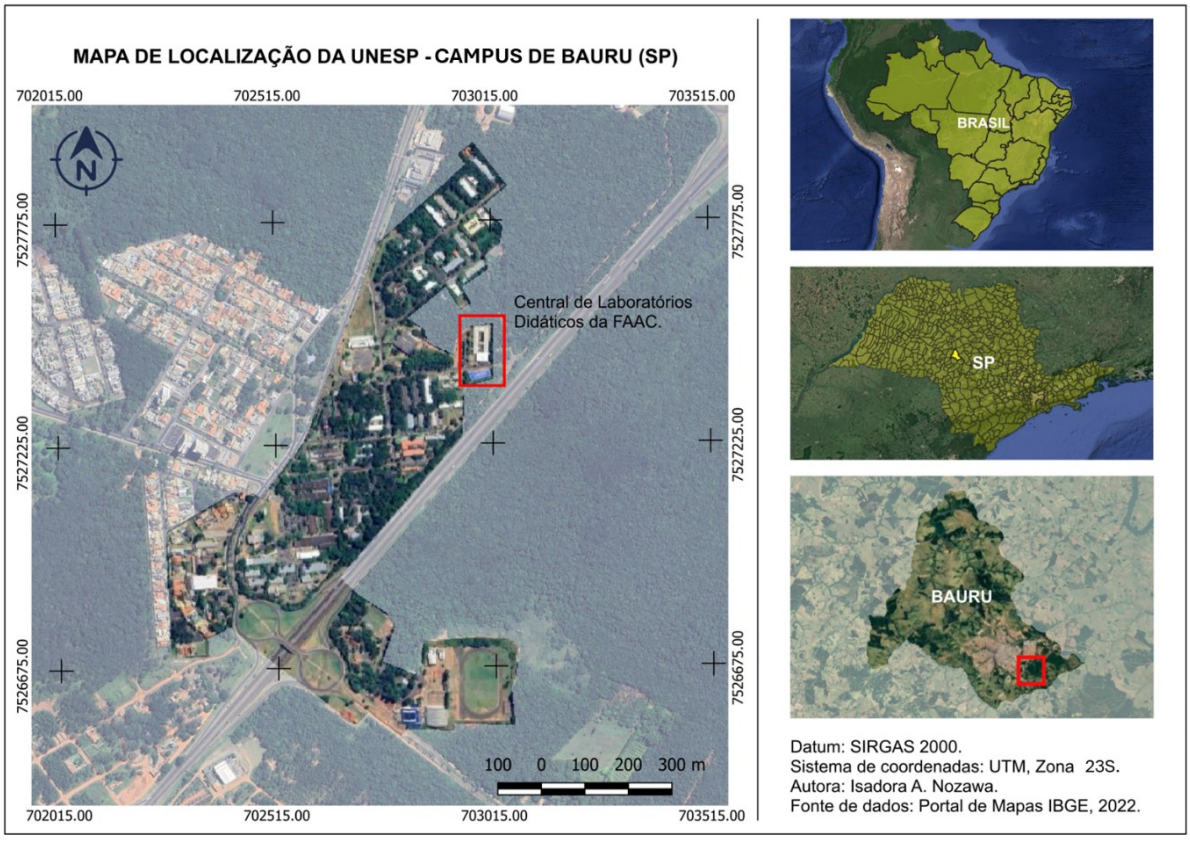
Ressalta-se que, originalmente, o estudo previa a análise da espécie *Ipomea grandifolia* (corda de viola). Contudo, devido à dificuldade desta planta de se desenvolver

em jardineira, a mesma foi substituída pela *Melothria cucumis Vell*. Então, as sementes da *Melothria cucumis Vell*. foram adquiridas através do projeto "Colecionando Frutas[6], enquanto as sementes das demais espécies utilizadas no estudo, o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* e a *Momordica charantia L.*, foram obtidas em terrenos baldios localizados no município de Bauru e Presidente Prudente, respectivamente.

3.2 Desenvolvimento, Construção, Plantio e Manutenção da Fachada Verde

O experimento foi realizado dentro do campus da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", localizado no município de Bauru, estado de São Paulo (Figura 32). O clima do local é do tipo Cwa (subtropical com inverno seco), segundo a classificação de Köppen-geiger (Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, 2024) cuja temperatura média anual é de 23°C nos meses mais frios e 26°C nos meses mais quentes.

Figura 32 – Localização da UNESP campus de Bauru, SP



Fonte: elaborada pela autora, 2023.

[6] Link para acesso ao projeto: https://www.colecionandofrutas.com.br/.

As três estruturas das fachadas verdes indiretas utilizadas foram reaproveitadas do estudo de Muñoz (2019) e estão voltadas para a face oeste de um espaço de transição que circunda o pátio do edifício da Central de Laboratórios Didáticos da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC), conforme ilustram as Figuras 33 e 34.

Figura 33 – Espaço de transição na FAAC

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 34 – Estrutura das fachadas verdes

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

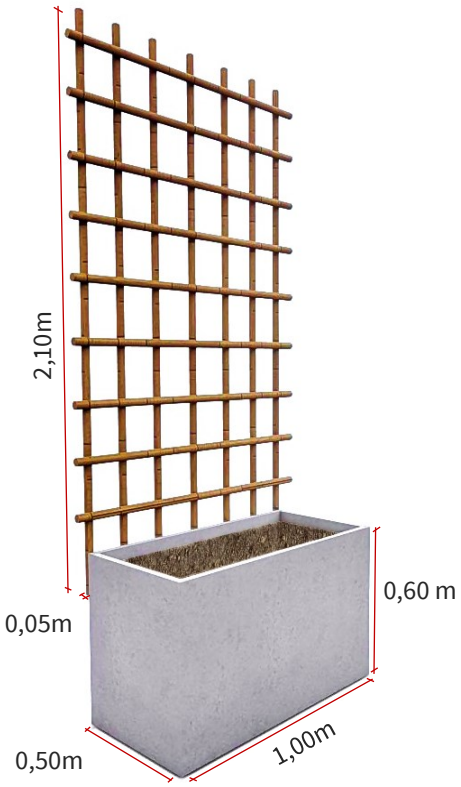
Em relação à sua composição, a infraestrutura é composta por três jardineiras em fibra de vidro com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,60 metros (comprimento, largura e altura), sendo cada uma delas provida de treliça construída de bambu da espécie *Phylostachys aurea*, cuja dimensão é de 1,00 x 0,05 x 2,10 metros (comprimento, largura e altura). A Figura 35 demonstra as dimensões da estrutura.

Os materiais de preenchimento também foram reaproveitados do estudo de Muñoz (2019), sendo cada uma das jardineiras composta por: 25 quilos de argila expandida do tipo graúda e uma camada de manta bidim, ambos para auxiliar na filtração da água e drenagem; e cerca de 138,9 quilos de terra vegetal que foram misturadas com vermiculita e superfosfato simples, com o objetivo de reter a umidade e aumentar a quantidade de fósforo, respectivamente. A Figura 36 ilustra as camadas dos materiais da jardineira e a estrutura de bambu.

Antes do plantio em 01 de setembro de 2022, foi realizada uma limpeza cuidadosa nas três jardineiras, para a remoção de todas as raízes remanescentes das espécies previamente utilizadas por Muñoz (2019) e Marchioretto *et al.* (2023).

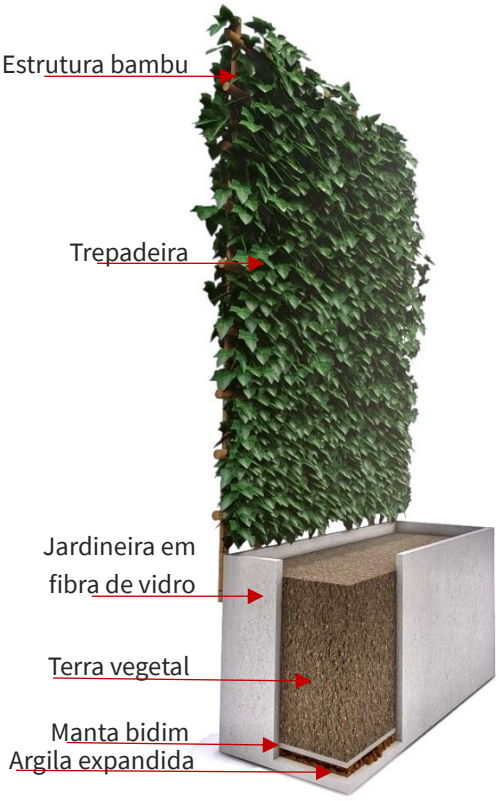
Adicionalmente, foi feita a adição uniforme de 20 quilos de terra vegetal em cada uma das jardineiras, preparando adequadamente o solo para o novo plantio.

Figura 35 – Dimensões da estrutura



Fonte: elaborada pela autora, 2023.

Figura 36 – Materiais da estrutura



Fonte: elaborada pela autora, 2023.

Após o plantio, a irrigação foi realizada manualmente duas vezes por semana, pois o sistema automatizado existente na estrutura dos vasos, reaproveitado do estudo de Muñoz (2019), apresentou diversos problemas de desempenho.

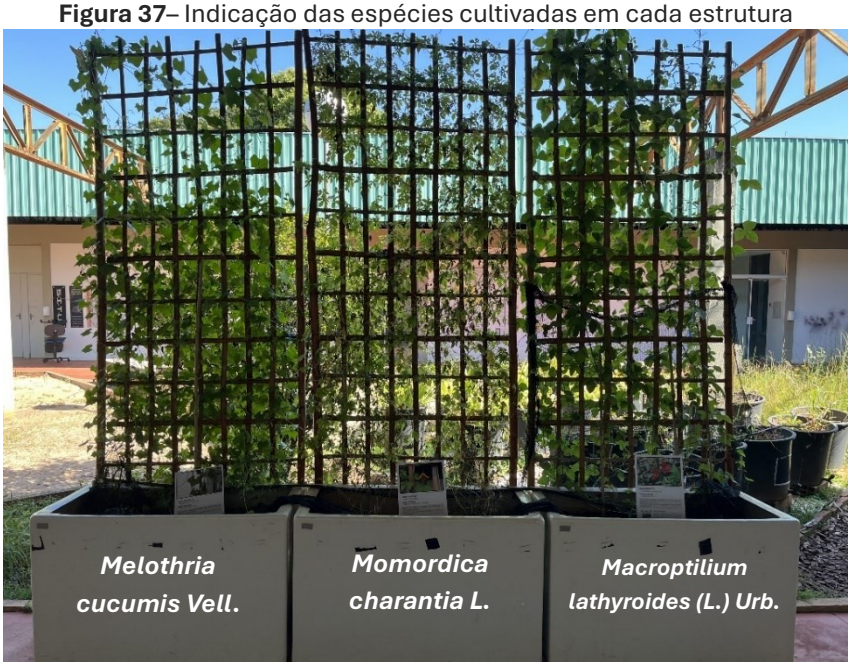
Devido ao ciclo curto das espécies selecionadas e às adversidades observadas no estudo, foram necessários dois ciclos de plantio. No primeiro ciclo, o monitoramento ocorreu quinzenalmente, em função das dificuldades de adaptação e crescimento das plantas, o que demandou um maior cuidado. No segundo ciclo, as espécies demonstraram melhor adaptação e crescimento mais acelerado, o que permitiu a redução do monitoramento para uma frequência mensal. Esse segundo ciclo teve como objetivo principal ampliar as medições da radiação solar, visando assegurar a robustez e a precisão dos dados coletados.

Nesses monitoramentos foram realizados registros fotográficos que permitiram o acompanhamento do desenvolvimento das espécies, a verificação da necessidade de

manutenções e a existência de pragas. Além disso, as observações contribuíram para a elaboração de uma “Ficha com características das Espécies e da Estrutura da Fachada Verde”. Adaptada da “Ficha Botânica” apresentada no trabalho de Mela (2023), essa ficha organizou as informações coletadas referentes à morfologia, à adaptação, ao desenvolvimento, à manutenção, ao impacto visual, aos desafios e às limitações de cada espécie cultivada.

A Figura 37 indica os locais de plantio de cada espécie selecionada.

Figura 37– Indicação das espécies cultivadas em cada estrutura



Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

3.3 Coleta de Dados e Cálculo dos Parâmetros Ambientais

A forma de coleta de dados e cálculo dos parâmetros ambientais para a análise do Potencial de Sombreamento (PSO), da radiação solar incidente e protegida nas fachadas verdes, da Área Foliar, do Índice de Área Foliar (IAF) e da Densidade da Área Foliar (DAF) está descrita nos subitens 3.3.1 a 3.3.4.

3.3.1 Análise do Potencial de Sombreamento (PSO)

A análise do Potencial de Sombreamento (PSO) foi realizada a partir da metodologia aplicada por Muñoz (2019). Esse aspecto qualitativo resulta da habilidade

da trepadeira em atenuar a radiação solar, em função dos seguintes parâmetros: PCV (Percentual de Cobertura Verde), EF (Espessura da Folhagem), TF (Tamanho das Folhas) e EEF (Espaçamento entre as Folhas). Assim, esses parâmetros são convertidos em porcentagem e aplicados na Equação 01.

Ainda de acordo com Muñoz (2019), os valores de PSO variam de 0 a 1,0 e seguem a seguinte classificação: 0 a 0,20 (péssimo); 0,21 a 0,40 (ruim); 0,41 a 0,60 (regular); 0,61 a 0,80 (bom); e 0,81 a 1,00 (ótimo).

$$PSOesp. = \frac{FCV+FEF+FTF+FES}{4} \quad (1)$$

Em que:

$PSO_{esp.}$ – Potencial de Sombreamento da Espécie;

FCV – Fator de Cobertura Verde;

FEF – Fator de Espessura da Folhagem;

FTF – Fator do Tamanho das Folhas;

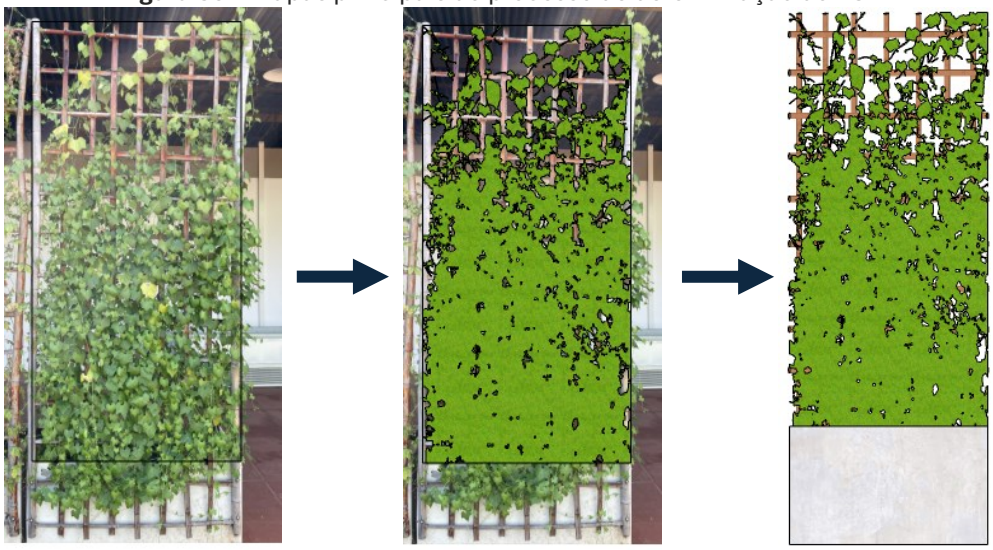
FES – Fator de Espaçamento das Folhas.

Dada a Equação 01, o FCV (Fator de Cobertura Verde) foi obtido a partir do Percentual de Cobertura Verde (PCV), calculado por meio da adaptação da metodologia aplicada por Scherer (2014) e Muñoz (2019). Então, a partir do uso do *software SkechUp* v.19.0.685 (2019), a área correspondente à estrutura de bambu das fachadas verdes foi delimitada por meio da ferramenta *Line*. Em seguida, os registros fotográficos realizados durante os monitoramentos foram importados para o *software* e a sua escala foi ajustada através da ferramenta *Scale*. Posteriormente, a área correspondente à vegetação era contornada com o uso da ferramenta *Freehand* e a partir desse processo, a área de vegetação era evidenciada e passível de ser mensurada através do comando *Area* → *Material*.

A partir da área obtida, expressa em metros quadrados, e aplicação de uma regra de três simples, utilizando a área total da estrutura que corresponde a 2,10 m^2 e que representa 100%, foi possível calcular o PCV. Com base nesse valor, foi determinado o FCV, cujo coeficiente varia de 0 a 1, onde o valor 1 representa 100% de PCV.

A Figura 38 ilustra as etapas principais que compuseram esse processo.

Figura 38 – Etapas principais do processo de determinação do FCV



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

O FEF (Fator de Espessura Foliar) foi mensurado nos mesmos dias em que foram realizadas as medições da radiação solar, posicionando a trena no centro da estrutura de bambu. Conforme explica Muñoz (2019), essa posição é indicada porque se destaca como a área mais uniforme da vegetação. Após esse procedimento, os valores obtidos foram classificados da seguinte forma: 0,30 para espessuras de até 45 cm, 0,70 para espessuras de 46 cm a 90 cm e 1,0 para espessuras acima de 91 cm.

A determinação do FTF (Fator do Tamanho das Folhas) envolveu a atribuição de valores específicos a depender da dimensão das folhas. Dessa forma, atribuiu-se o valor de 1,0 para folhas de tamanho grande (superiores a 15 cm), 0,70 para folhas médias (de 5 cm a 15 cm) e 0,30 para folhas pequenas (inferiores a 5 cm), conforme indicado por Mascaró e Mascaró (2010).

O cálculo do Fator de Espaçamento das Folhas (FES) foi estabelecido de forma empírica, com base em observações realizadas durante os períodos de monitoramento e no acompanhamento das espécies. Esse fator é determinado pela percepção do pesquisador, conforme a metodologia descrita por Muñoz (2019). A autora explica que não existem referências bibliográficas ou métodos previamente estabelecidos para a definição do FES.

Portanto, foram atribuídos os seguintes valores para o fator, conforme o espaçamento observado entre as folhas: 0,30 para espaçamento grande (superior a 10 cm); 0,70 para espaçamento médio (entre 5 cm e 10 cm); e 1,0 para espaçamento

pequeno (inferior a 5 cm). Com isso, essa classificação permite a padronização do FES com base em critérios observacionais, facilitando a aplicação e interpretação em estudos semelhantes.

A Tabela 01 apresenta a síntese dos valores atribuídos aos fatores.

Tabela 01 - Índices para a determinação do PSO.

FATORES	ÍNDICES	CLASSIFICAÇÃO
Fator de Cobertura Verde (FCV)	0 a 1,00	0 a 100%
Fator de Espessura Foliar (FEF)	0,30	≤ 45 cm
	0,70	46 a 90 cm
	1,00	> 91
Fator do Tamanho das Folhas (FTF)	0,30	≤ 4,9 cm
	0,70	5 a 15 cm
	1,00	> 16 cm
Fator de Espaçamento das Folhas (FES)	0,30	> 10 cm
	0,70	5 a 10 cm
	1,00	< 5 cm
Potencial de Sombreamento (PSO_{esp})	0 a 0,20	Péssimo
	0,21 a 0,40	Ruim
	0,41 a 0,60	Regular
	0,61 a 0,80	Bom
	0,81 a 1,00	Ótimo

Fonte: organizado pela autora com base nas informações de Munõz (2019).

3.3.2 Medição da Radiação Solar

A medição da radiação solar incidente (face voltada ao ambiente externo, sem a influência da vegetação) e protegida (face voltada ao ambiente interno, com a influência da vegetação) nas fachadas verdes também seguiu a metodologia aplicada por Muñoz (2019), em que foram estabelecidos 5 pontos na face externa e interna de cada uma das fachadas verdes. Posteriormente, a radiação solar foi quantificada em cada ponto através do instrumento Instrutherm MES-100[7] (escala: 2.000 W/m^2, resolução: 1 W/m^2, precisão: tipicamente ±10 W/m^2), a cada hora, das 13 às 16h, em condições de tempo frio e quente (Figura 39). Ao final, foram totalizadas 8 (oito) medições para cada uma das fachadas verdes.

[7] Este instrumento é um medidor de radiação solar portátil que avalia a intensidade da radiação solar que atinge uma superfície específica em tempo real, sem a capacidade de armazenar dados para análise posterior.

Figura 39 – Pontos estabelecidos e medição realizada na face interna e externa, respectivamente

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

As condições de tempo, referentes aos valores de temperatura do ar (TAR) e umidade relativa do ar (UR) foram adquiridos na plataforma digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), Estação de Bauru A705.

3.3.3 Área Foliar e Índice de Área Foliar (IAF)

A diversidade de folhas, com suas variadas formas e cores, ressalta a importância de parâmetros como a Área Foliar e o Índice de Área Foliar (IAF) nos estudos de Sistemas de Jardins Verticais (SJVs), amplamente utilizados em simulações computacionais. Esses parâmetros podem afetar positivamente ou negativamente o desempenho térmico e energético de um SJV (Yu; Hien, 2006).

A Área Foliar foi calculada conforme a metodologia de Vale (2018), enquanto o Índice de Área Foliar (IAF) foi mensurado por meio de uma adaptação do método de Weerakkody *et al.* (2017).

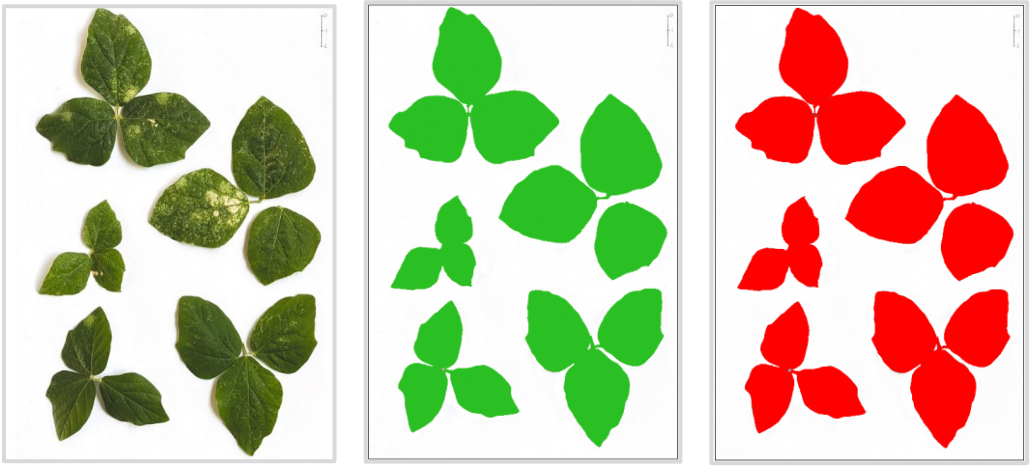
Então, para a mensuração da Área Foliar, foram coletadas aleatoriamente 300 folhas de cada espécie, distribuídas em 100 folhas da parte superior, 100 da parte intermediária e 100 da parte inferior (Pérez *et al.*, 2017). Em seguida, as folhas foram dispostas sobre papel sulfite, onde uma escala gráfica de 2 cm foi desenhada, e escaneadas digitalmente (Vale, 2018).

Após o escaneamento, as imagens foram inseridas no *software* Adobe Photoshop (2015) e processadas utilizando as seguintes ferramentas: *Magic wand* para selecionar as áreas a serem tratadas e *Erase* e *Brush* para delimitar e destacar as regiões das folhas. Ressalta-se que, esse procedimento é importante para as próximas etapas, uma vez que ele é responsável por remover os ruídos da imagem, que podem ser identificados como irregularidades na coloração das folhas, resultantes da pigmentação natural ou presença de fungos, por exemplo.

Assim, as imagens tratadas foram importadas para o *software ImageJ* v. 1.54g (2023) e, por meio do comando *Image* → *Type*, ajustadas para 8 bits. Em seguida, utilizando os comandos: *Image* → *Adjust* → *Threshold*, as áreas à serem medidas foram delineadas. Foi necessário, ainda, traçar uma linha sobre a escala de 2 cm, com a utilização da ferramenta *Straight*, seguida do comando *Analyse* → *Set scale* para estabelecer a escala no *software*. Logo após, com a ferramenta *Wand*, foi possível selecionar o contorno das folhas escaneadas para a mensuração da área por meio do comando *Analyse* → *Measure*. As áreas foram expressas em cm^2, sendo necessário convertê-las para m^2. Ao final, as áreas de todas as folhas foram somadas e divididas por 300 para obtenção da área média foliar de cada uma das espécies (Vale, 2018).

A Figura 40 mostra a imagem original das folhas escaneadas no papel sulfite A4, seguida da imagem após o tratamento realizado no *software Adobe Photoshop* (2015) e como ficam a seleção das áreas da superfície das folhas para mensuração no *software ImageJ* v. 1.54g (2023). O escaneamento das folhas coletadas encontra-se exposto no Apêndice 01.

Figura 40 – Imagem original, após o tratamento para retirada dos ruídos e seleção das áreas



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Em relação ao IAF, o mesmo foi determinado por meio da Fórmula 02 definida por Weerakkody *et al.* (2017).

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

Em que:
IAF – Índice de Área Foliar;
La – Área Média de uma folha individual (m^2);
NI – Número Total de Folhas;
Qa – Área Total da Fachada Verde (m^2).

Dessa forma, a área média de uma folha (La) foi determinada conforme o procedimento detalhado anteriormente, ao qual utilizou a média calculada com base em 300 folhas por espécie. Em seguida, cada fachada verde foi "destruída" para a contagem do número total das folhas (NI). O valor de Qa representa a área total de cada uma das fachadas verdes, correspondente a 2,10 m^2.

Conforme explicam Susorova *et al.* (2013), os valores do IAF variam de 1 para plantas menores com folhas pequenas; 3, geralmente arbustos e 7, índice máximo de densidade, associada a florestas densas. Enquanto Pérez *et al.* (2017) expõem que o IAF irá depender do tipo e da fase de crescimento da planta, cujos valores variam de 0 a 10.

3.3.4 Densidade da Área Foliar (DAF)

O parâmetro da Densidade da Área Foliar (DAF) é crucial para a avaliação eficiente do desempenho térmico das fachadas verdes. Isso se deve ao fato de que este parâmetro apresenta uma relação inversa significativa com a transmitância de luz natural que incide sobre o ambiente. Além disso, o conhecimento desse fator desempenha um papel essencial no projeto da estrutura e constitui uma entrada essencial para a incorporação da vegetação em modelos computacionais (Scherer, 2014; Silva, 2018).

O cálculo da DAF, que é referente à quantidade de área foliar por volume da estrutura, foi determinada pela Equação 04 por meio da metodologia utilizada por Silva (2018).

$DAF = \frac{NI\ x\ La}{VFV}$ (4)

Em que:

DAF – Densidade da Área Foliar (m^2/m^3);

NI – Número Total de Folhas;

La – Área Média das Folhas (m^2);

VFV– Volume da Fachada Verde (m^3).

3.4 Análise Estatística

A análise estatística foi conduzida para verificar se havia diferenças significativas na atenuação da radiação solar das fachadas verdes, além da comparação entre as três fachadas, com o fim de identificar diferenças significativas entre as espécies.

Dessa forma, os dados de radiação solar incidente (sem o efeito da fachada verde) e protegida pela vegetação, foram organizados no *software* Microsoft Excel v. 2101 (2016). Posteriormente, esses dados foram transferidos para o *software* PAST® para a realização do Teste de Tukey.

04 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados alcançados referentes ao monitoramento do desenvolvimento das espécies vegetais selecionadas, ao cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV), ao Potencial de Sombreamento (PSO), à determinação da radiação solar incidente e protegida pelas fachadas verdes, à análise foliar (dados da Área Foliar, Índice de Área Foliar e Densidade da Área Foliar) das espécies, e aos testes estatísticos para averiguar diferenças significativas na eficiência de atenuação solar entre as três fachadas verdes.

4.1 Monitoramento do Crescimento, Desenvolvimento e Manutenção das Espécies Vegetais Selecionadas

O monitoramento das espécies ocorreu em dois momentos distintos: o primeiro ciclo com monitoramento quinzenal e o segundo ciclo mensalmente. Essa abordagem permitiu um acompanhamento contínuo do desenvolvimento das fachadas verdes ao longo do tempo, além de possibilitar a execução das manutenções necessárias.

A Figura 41 ilustra o período de abrangência de cada ciclo, bem como as ações realizadas nas fachadas verdes. Nela, observa-se que foi necessário realizar o plantio de mudas nas jardineiras por diversas vezes, principalmente durante o primeiro ciclo. Isso ocorreu, pois, apesar de serem espécies ruderais, comumente encontradas em terrenos baldios ou áreas de mata, todas elas apresentaram dificuldade de germinação nas jardineiras do estudo que serviram de suporte de fixação das trepadeiras analisadas. Fato este que resultou na substituição de uma das espécies, no caso a *Ipomea grandifolia* (corda de viola) pela *Melothria cucumis Vell* (pepininho do mato), conforme citado no capítulo anterior.

Diante das adversidades encontradas, tornou-se necessário realizar o plantio em um espaço de menor escala, com o fim de garantir um cuidado mais individualizado e um monitoramento mais atento de cada espécie (Figura 42). Assim, somente após a germinação e o desenvolvimento inicial adequado, as plantas foram transplantadas para as jardineiras definitivas do estudo. Esse processo continuou até o encerramento do

estudo, como forma de garantir com que as espécies fossem repostas na área de estudo sempre que necessário.

Figura 41 – Histórico das ações relativas ao plantio e manutenção das fachadas verdes

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Figura 42 – Germinação das plantas em locais menores e o replantio nas jardineiras

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Além das dificuldades anteriormente mencionadas, a Figura 41 revela que a presença de gatos no campus da universidade também impactou negativamente o crescimento das mudas, uma vez que os animais pisoteavam e cavavam o solo das jardineiras. Como resultado, foi necessária a instalação de telas de proteção em todas as jardineiras.

Outras complicações, mas que foram restritas às espécies *Melothria cucumis Vell.* e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, incluem: a presença de fungos, que prejudicaram a qualidade de suas folhas (Figuras 43 e 44); o período seco e a consequente perda significativa de folhagem (Figuras 45 e 46), conforme observado nos monitoramentos de 24/02/2023, 16/03/2023 e 27/03/2023, além da infestação de pulgões e percevejos (Figuras 47 e 48).

Essas dificuldades ocorreram exclusivamente durante o primeiro ciclo, evidenciando que tanto a *Melothria cucumis Vell.* quanto o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* foram as espécies mais afetadas em comparação com a *Momordica charantia L.*

Figura 43 – Incidência de fungos na *Melothria cucumis vell.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 44 – Incidência de fungos no *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 45 – *Melothria cucumis vell.* após a seca e perda de mudas plantadas

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 46 – *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* após a seca e perda de suas folhas

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 47– Pulgões encontrados na *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 48 –Percevejos encontrados na folha da *Melothria cucumis vell.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Diante do exposto, a espécie que melhor se adaptou às jardineiras da estrutura foi a *Momordica charantia L.* (melãozinho de São Caetano), uma vez que ela não apresentou nenhuma praga ou doença durante o seu desenvolvimento e não necessitou de reposição de mudas em nenhum dos dois ciclos de plantio. De acordo com Nepomoceno e Pietrobon (2018), os extratos do fruto, caule e folhas dessa espécie apresentam atividades antifúngicas, podendo atuarem como inseticidas naturais e no controle de fungos do solo.

Nesse cenário, o primeiro ciclo da *Momordica charantia L.* iniciou efetivamente no dia 20 de outubro de 2022 com o plantio de 15 mudas semeadas em 10 de setembro de 2022. Quatro meses após a semeadura, no monitoramento de 13 de janeiro de 2023, foram observadas as primeiras flores e frutos. Posteriormente, no monitoramento realizado em 12 de junho de 2023, nove meses após a sua semeadura, foi constatado o início do processo de senescência foliar. Assim, logo após as medições da radiação solar, realizadas em julho, o primeiro ciclo da espécie foi concluído no dia 05 de agosto de 2023.

Em 18 de agosto de 2023, o segundo ciclo foi iniciado com o plantio de 8 mudas, complementado em 02 de setembro de 2023 com mais 22 mudas, onde todas foram semeadas em 19 de julho de 2023. As primeiras flores e frutos foram registrados durante o monitoramento de 04 de dezembro de 2023, e o ciclo foi concluído em 09 de janeiro de 2024, após as últimas medições da radiação solar.

As Figuras 49 a 52 ilustram as condições da fachada verde no recobrimento máximo alcançado em cada um dos dois ciclos da *Momordica charantia L.*, bem como as flores e frutos que resultam do seu cultivo.

Figura 49 – Recobrimento máximo no 1° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 50 – Recobrimento máximo no 2° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Figura 51 – Flor da *Momordica charantia L.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 52– Fruto da *Momordica charantia L.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Em relação à *Melothria cucumis Vell.* (pepininho do mato), devido às dificuldades enfrentadas pela espécie, considera-se que o seu primeiro ciclo iniciou de fato em 30 de março de 2023, com o plantio mais expressivo de 20 mudas semeadas em 14 de fevereiro de 2023. Suas primeiras flores e frutos foram observadas no monitoramento de 12 de junho de 2023, cerca de quatro meses após a sua semeadura, enquanto a senescência foliar foi verificada em 19 de setembro de 2023.

O primeiro ciclo de *Melothria cucumis Vell.* foi concluído em 02 de outubro de 2023 (oito meses após a semeadura). No mesmo dia, iniciou-se o segundo ciclo da espécie, com o plantio de sementes coletadas dos frutos encontrados durante o desmonte da fachada verde. Esse processo resultou na germinação de 20 mudas diretamente na jardineira utilizada no estudo. Quatro meses depois, em 22 de fevereiro de 2024, surgiram as primeiras flores, seguidas pelos primeiros frutos em 05 de março de 2024. A senescência foliar foi observado em 19 de abril de 2024, sendo este ciclo finalizado em 09 de maio de 2024, com a conclusão das medições de radiação solar. As Figuras 53 a 56 ilustram a condição da fachada verde no recobrimento máximo alcançado em cada um dos dois ciclos da *Melothria cucumis Vell.*, bem como as flores e frutos resultantes do seu cultivo.

Figura 53 – Recobrimento máximo no 1° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 54 – Recobrimento máximo no 2° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Figura 55 – Flor da *Melothria cucumis Vell.*

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 56 – Fruto da *Melothria cucumis Vell.*

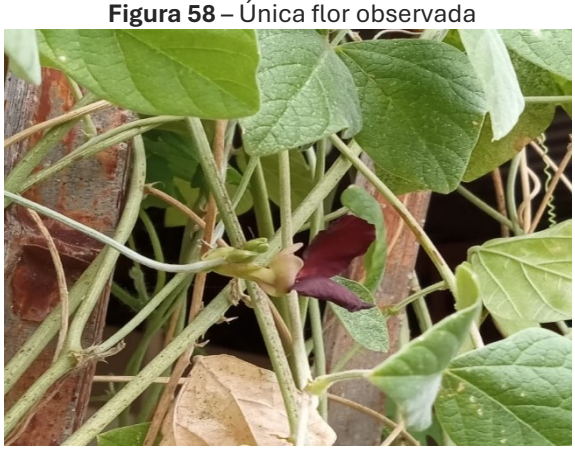
Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Quanto ao *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (feijão de rolinha), o ciclo de crescimento teve início efetivo em 20 de outubro de 2022, com o plantio de 16 mudas semeadas em 10 de setembro de 2022. Diferente das outras espécies, um ano após a semeadura, em 13 de setembro de 2023, observou-se apenas uma única vagem (Figura 57) e, posteriormente, uma flor em 27 de novembro de 2023 (Figura 58). Com isso, presume-se que outras vagens e flores possam ter surgido, já que a floração antecede o aparecimento das vagens. Neste mesmo dia, notou-se também a senescência foliar, que foi mais tardia em comparação com as demais espécies, durando um ano e dois meses. Essa característica indica que a espécie é bianual (EMBRAPA, 2003).

Figura 57– Única vagem observada

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 58 – Única flor observada



Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

O término do primeiro ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* foi marcado pelo desmanche da fachada verde em 19 de dezembro de 2023. O segundo ciclo começou em 22 de fevereiro de 2024, com o plantio de 11 mudas semeadas em dezembro de 2023. Durante este ciclo, não foram observadas vagens ou flores até a

conclusão das medições de radiação solar e o desmanche da fachada verde em 09 de maio de 2024. As Figuras 59 e 60 ilustram a condição da fachada verde no recobrimento máximo alcançado em cada um dos dois ciclos do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

Figura 59 – Recobrimento máximo no 1° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Figura 60 – Recobrimento máximo no 2° ciclo

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Além das observações do desenvolvimento das espécies selecionadas, os monitoramentos realizados permitiram analisar as contribuições de cada uma delas ao ambiente em que estavam inseridas. Assim, a *Melothria cucumis Vell.* e a *Momordica charantia L.*, por serem frutíferas, demonstraram grande potencial para a produção vertical de alimentos, com frutificação ocorrendo logo após quatro meses da semeadura das mudas. A atração de insetos pelas espécies também foi constatada, sendo mais intensa nas plantas com floração abundante e duradoura, como *Melothria cucumis Vell.* e *Momordica charantia L.*

A Figura 61 mostra os registros fotográficos dos insetos encontrados, sendo identificados diversos polinizadores, como besouros, abelhas, mariposas e borboletas, e também espécies peçonhentas, como aranhas e percevejos. Destaca-se que, devido à rápida movimentação de alguns indivíduos, a captura de todas as espécies observadas foi dificultada.

Figura 61 – Insetos encontrados nas fachadas verdes

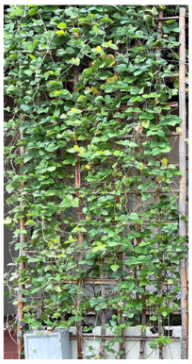
Fonte: arquivo pessoal da autora, 2024.

Todas as informações alcançadas pelos acompanhamentos e observações realizadas ao longo do estudo foram organizadas e expostos no Quadro 04, que apresenta uma “Ficha com características das Espécies e da Estrutura da Fachada Verde”. Essa ficha traz uma adaptação da “Ficha Botânica” elaborada por Mela (2023), adicionando, além das características botânicas de cada espécie, informações sobre elas nos projetos de arquitetura e paisagismo. De acordo com esta autora, estas informações são importantes no direcionamento de projetos e orientações para manutenção e cultivo das plantas.

Quadro 04 – Ficha com características das Espécies e da Estrutura da Fachada Verde

CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES				
PARÂMETROS		**ESPÉCIES**		
DESCRIÇÃO GERAL	Nome científico	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*	*Melothria cucumis Vell.*	Momordica charantia L.
	Nome popular	Feijão de rolinha.	Pepininho do mato.	Melãozinho de São Caetano.
	Grupo	Angiosperma.		
	Família	Leguminosae (Fabaceae).	Cucurbitaceae A. Juss.	Cucurbitaceae A. Juss.
	Hábito de crescimento	Trepadeira.		
	Tempo de vida	Anual ou bianual.	Anual.	Anual.
	Origem	Nativa e não endêmica do Brasil.	Naturalizada, não endêmica do Brasil.	Naturalizada e não endêmica do Brasil.
	Potencial	Flores comestíveis e uso medicinal.	Frutos comestíveis.	Frutos comestíveis e uso medicinal.
AMBIENTAÇÃO	Domínios Fitogeográficos	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal.	Cerrado, Mata Atlântica.	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal.
	Tipo de vegetação	Caatinga, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga.	Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial).	Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial).
	Clima	Equatorial, Semiárido, Tropical e Subtropical.	Tropical e Subtropical.	Equatorial, Tropical, Subtropical e Semiárido (mais raro).
	Ambiente	Pleno Sol.	Pleno Sol ou Meia Sombra.	Pleno Sol.
	Local de plantio	Solo ou vaso.		
	Solos indicados	Para o estudo as espécies se desenvolveram em um solo rico em matéria orgânica, contudo, por se tratarem de plantas ruderais, elas possuem a capacidade de se desenvolverem em ambientes perturbados ou degradados.		
FOLHAGEM	Forma de crescimento	Volúvel.	Volúvel com gavinhas.	Volúvel com gavinhas.
	Cor das folhas	Verdes.		
	Tipo e forma das folhas	Trifoliolada.	Simples; Cordiformes a ovalado-cordadas.	Simples; Palmatilobadas ou palmatipartidas.
	Tamanho das folhas	Até 15cm.	Até 7cm.	Até 10cm.
	Imagem da folha			
FLORAÇÃO	Tempo para floração	01 ano e 02 mês.	04 meses.	o4 meses.
	Cor da flor	Marsala/ avermelhada.	Amarela.	Amarela.
	Odor	Sem odor.	Com odor.	Com odor.
	Forma da flor e pétalas	Papilonácea; Cinco pétalas (composta por: estandarte, alas e quilha cocleada).	Actinomorfa; Cinco pétalas livres (dialipétalas).	Actinomorfa; Cinco pétalas livres (dialipétalas).
	Tamanho das flores	Cerca de 2cm.	Cerca de 1cm.	Cerca de 1,50cm.
	Imagem das flores			

Continua...

FRUTIFICAÇÃO	Tempo para frutificação	01 ano.	04 meses.	04 meses.
	Tamanho dos frutos	Cerca de 15cm.	Cerca de 7cm.	Cerca de 7cm.
	Imagem dos frutos			
PROPAGAÇÃO	Formas de propagação	Sementes.		
	Época de propagação	Inverno, Outono, Primavera, Verão.		
	Crescimento	Rápido.		
	Imagem das sementes			
MANUTENÇÃO	Regas	Duas vezes na semana e três vezes na semana nos dias mais quentes.		
	Podas	Não foi necessário.		
	Pragas e doenças	Lagartas nas sementes; Percevejos e doenças fúngicas nas folhas.	Percevejos e doenças fúngicas nas folhas.	Não apresentou.
CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA				
ASPECTOS CONSTRUTIVOS	Tipos de estrutura	Grades, alambrados, treliças, sistema de cabos (cabos de aço), tela pop. Devido ao caráter de ciclo curto, ela não é indicada para sistemas de pérgolas ou caramanchão.		
	Impacto visual	Todas as três espécies demonstraram ser eficazes no cobrimento das fachadas, oferecendo um impacto visual positivo quando plenamente desenvolvidas. No entanto, como se tratam de espécies de ciclo curto, é crucial um planejamento adequado para a reposição. Isso se deve ao fato de que, com o tempo, as folhas tendem a ficar amareladas e eventualmente caem, o que pode resultar em um impacto visual negativo.		
	Peso estrutural total	758,00g (343,00g da folhagem e 415,00g dos galhos e frutos).	1 kg e 347,00g (493,00g da folhagem e 854,00g dos galhos e frutos).	2 kg e 700,00g (1.072,00g da folhagem e 1.628,00g dos galhos e frutos)
	Observações	As espécies podem enfrentar dificuldades de adaptação. Para facilitar esse processo, recomenda-se iniciar o cultivo em espaços menores e, após a germinação, realizar o replantio para o espaço definitivo.		
	Imagem das fachadas			

Observação: ressalta-se aqui que todas as informações são referentes aos monitoramentos e observações realizadas ao longo do estudo. Sendo assim, em caso de replicação, à depender de outras variáveis como clima e local de implantação, esses dados podem ser diferentes.

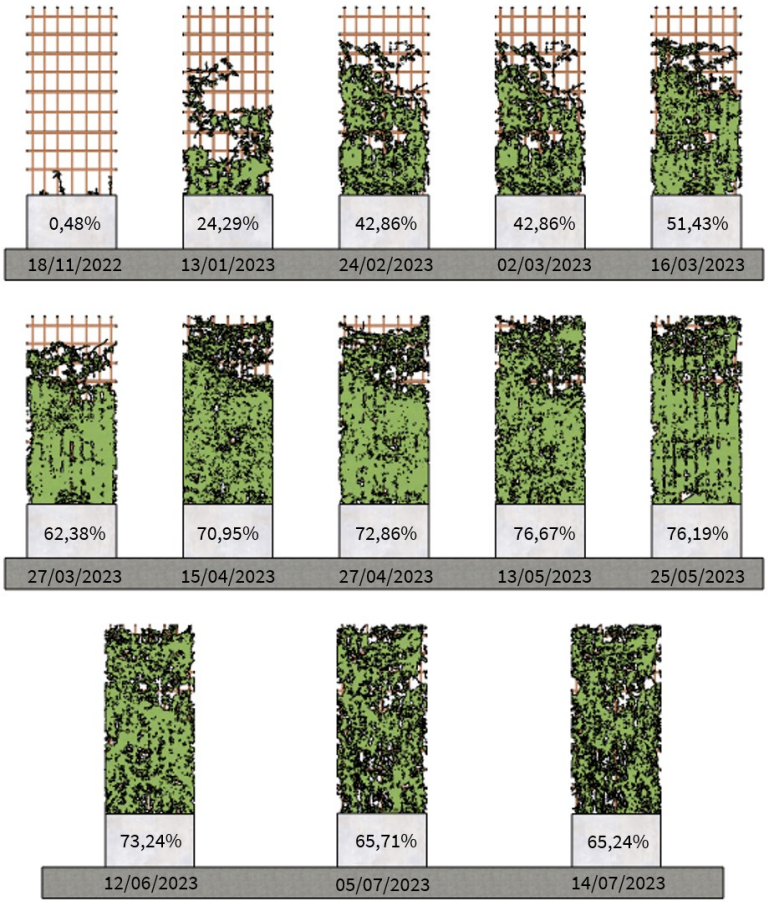
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

4.2 Cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV) e Determinação do Potencial de Sombreamento (PSO)

Para aprimorar os processos de monitoramento para garantir a manutenção eficiente e saudável dos cultivos das espécies, também foram efetuados registros fotográficos que possibilitaram o cálculo do Percentual de Cobertura Verde (PCV) de cada espécie ao longo dos dois ciclos de desenvolvimento.

Considerando o primeiro ciclo de monitoramento, a espécie *Momordica charantia L.* (melãozinho de São Caetano) foi a primeira a se desenvolver, apresentando um crescimento mais acentuado nos primeiros meses, especialmente entre o quarto e o quinto mês, período em que cresceu cerca de 18,57%. No quinto mês, a espécie já ocupava 42,86% da fachada e no sexto mês, a cobertura já ultrapassava os 50%, atingindo o PCV máximo de 76,67% em maio (oitavo mês após a semeadura). Posteriormente, o PCV começou a diminuir, sinalizando o fim do ciclo da planta. A Figura 62 expõe o PCV da *Momordica charantia L.* durante o primeiro ciclo.

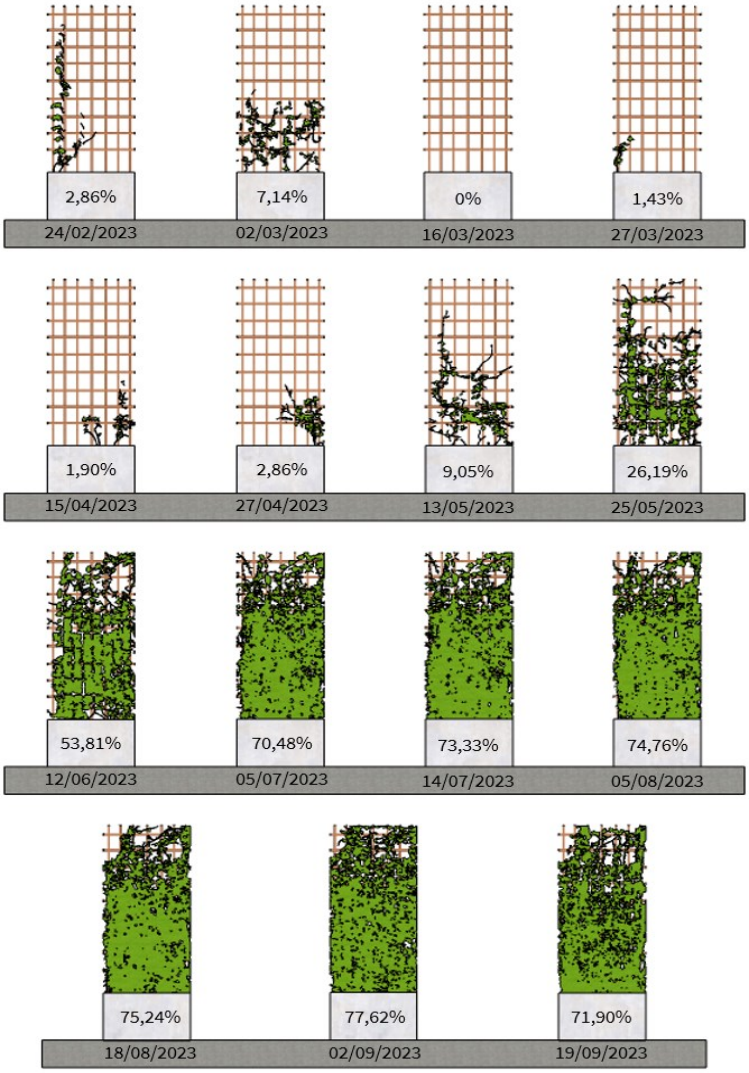
Figura 62– PCV do primeiro ciclo da *Momordica charantia L.*



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Para o primeiro ciclo da *Melothria cucumis Vell.* (pepininho do mato) (Figura 63), o início oficial foi considerado em 30 de março de 2023, devido às adversidades enfrentadas pela espécie e ao fato de que, nesta data, ocorreu o plantio mais significativo de mudas, conforme exposto anteriormente. A partir desta data, o crescimento da espécie manteve-se constante, com um aumento de 24,29% nos três primeiros meses, e, no quarto mês, já cobria mais de 50% da fachada. O maior PCV foi registrado no monitoramento de 2 de setembro de 2023, quando o índice de cobertura atingiu 77,62%. No monitoramento seguinte, em 19 de setembro de 2023, observou-se o início da senescência foliar, com uma perda superior a 5%.

Figura 63 – PCV do primeiro ciclo da *Melothria cucumis Vell.*

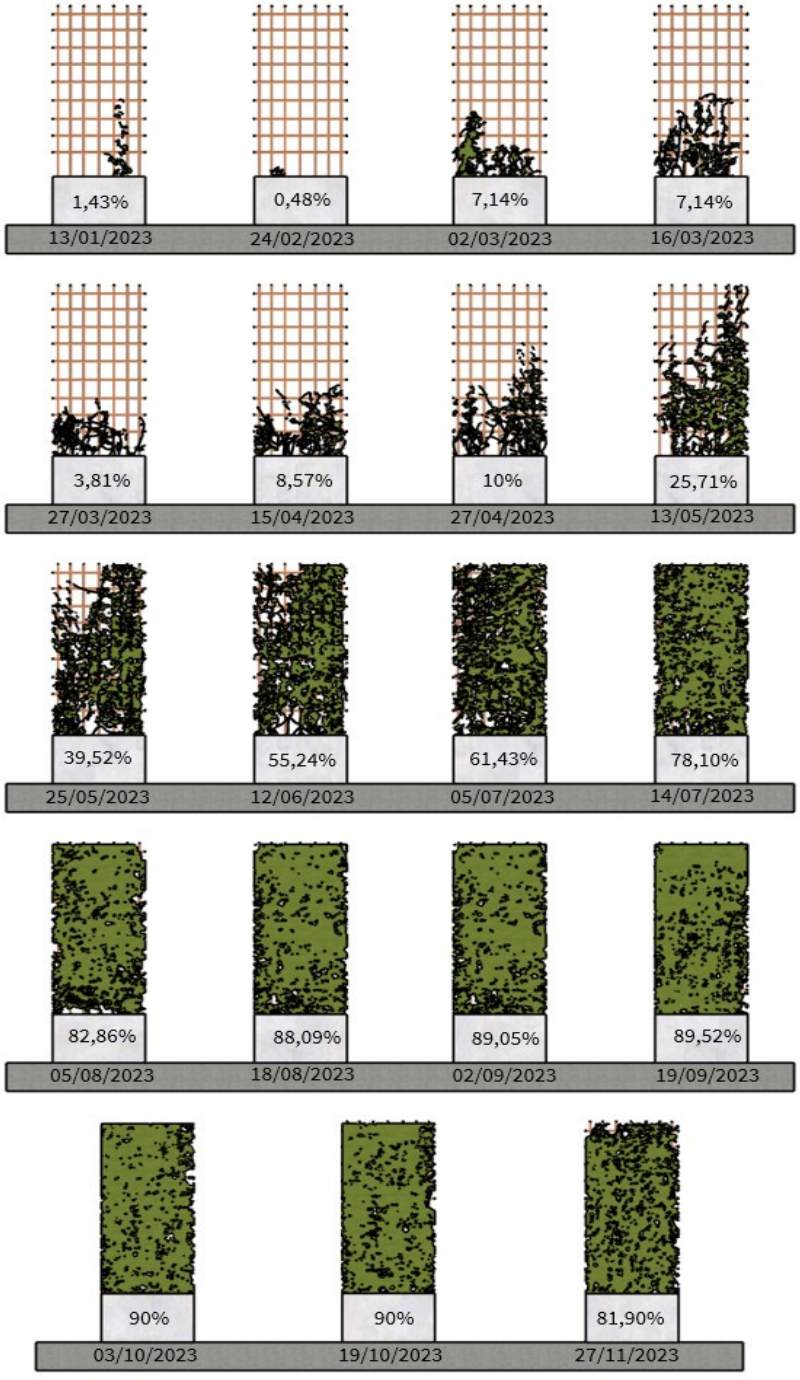


Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Em relação ao primeiro ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (feijão de rolinha) (Figura 64), o mesmo enfrentou três secas com queda de folhas em 24/02/2023,

16/03/2023 e 27/03/2023, resultando em uma redução de 0,95%, estabilidade e uma queda de 3,33% no PCV, respectivamente. Após essas adversidades, a espécie passou a se desenvolver de forma consistente, com recobrimento de 55,24% em 12 de junho de 2023 (nove meses após a semeadura) e atingindo um PCV máximo de 90% em 3 de outubro de 2023 (um ano e um mês após a semeadura). A senescência foliar foi observada no mês seguinte com uma queda de 8,10% do PCV.

Figura 64 – PCV do primeiro ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*



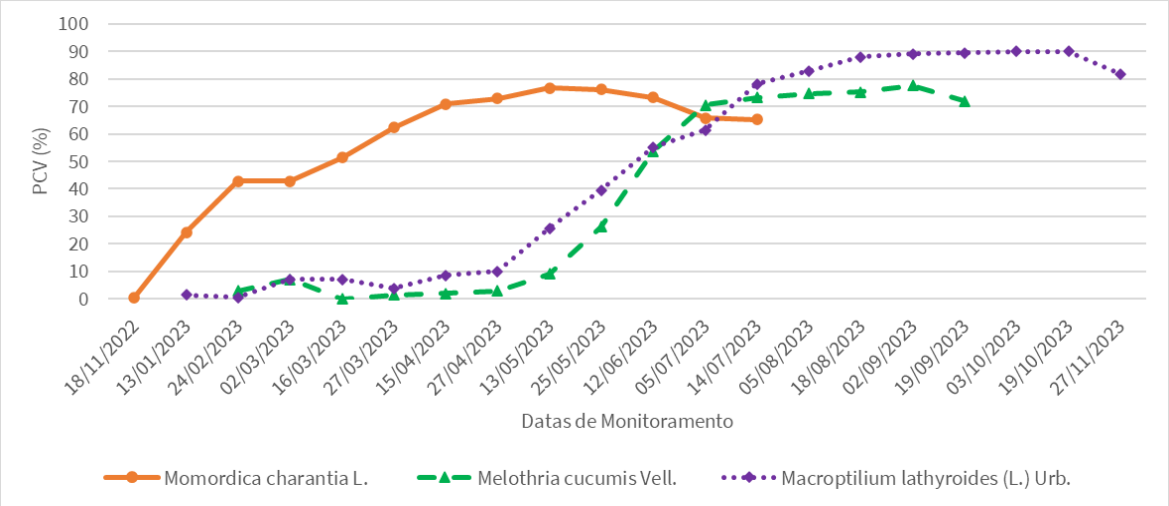
Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Os dados obtidos de PCV no primeiro ciclo estão organizados na Figura 65, que apresenta as 20 medições realizadas ao longo de um ano aproximadamente. Observa-se o desenvolvimento mais regular e constante de *Momordica charantia L.* em comparação às demais espécies analisadas, esta foi a primeira a se adaptar ao plantio em jardineira.

Dessa forma, verifica-se que o crescimento desta espécie foi maior nos primeiros meses, enquanto as demais, *Melothria cucumis Vell.* e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* apresentaram um crescimento mais expressivo a partir do monitoramento do dia 27 de abril de 2023, dois e sete meses após a semeadura de suas mudas, respectivamente. Isso é o reflexo das dificuldades de adaptação previamente mencionadas dessas duas espécies.

A partir da Figura 65 é possível visualizar a diferença na duração dos ciclos das espécies. Assim, o primeiro ciclo da *Momordica charantia L.* durou cerca de 08 meses, onde a sua semeadura ocorreu em 10/09/2023 e a senescência foliar foi observada em 25/05/2023. Enquanto o ciclo da *Melothria cucumis Vell.* durou cerca de 07 meses, com o plantio expressivo decorrente da semeação em 19/07/2023 e início da senescência foliar em 19/09/2023. Por fim, o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* apresentou um ciclo que durou cerca de 01 ano e 04 meses, onde a primeira semeadura ocorreu em 10/09/2022 e a senescência foliar iniciou em 27/11/2023.

Figura 65 – Distribuição do PCV das espécies que compõem as fachadas no primeiro ciclo de plantio



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

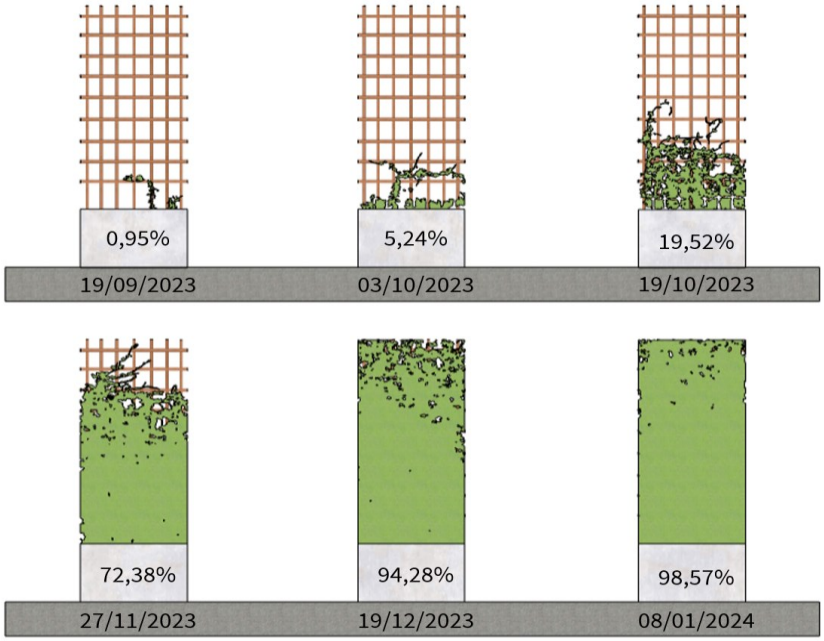
Ao contrário do que ocorreu no primeiro ciclo, em que as espécies da *Melothria cucumis Vell.* e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* apresentaram problemas de adaptação

nas jardineiras, o segundo ciclo foi estável, sem a presença de adversidades em nenhuma das espécies analisadas.

Nesse cenário, o PCV da *Momordica charantia L.* no segundo ciclo (Figura 66) foi mais expressivo em comparação ao primeiro ciclo, atingindo mais de 70% em menos de cinco meses após a semeadura. Dois meses depois, em janeiro de 2024, data das últimas medições de radiação solar, a fachada verde apresentou um PCV de 98,57%, valor este 21,90% menor do que o encontrado no primeiro ciclo.

Isso pode ser relacionado ao maior número de mudas utilizado no segundo ciclo, que foi o dobro em comparação ao primeiro ciclo (30 mudas utilizadas no segundo ciclo e 15 no primeiro ciclo). Essa diferença destaca a característica da espécie de apresentar uma folhagem mais "rala"[8], com o PCV sendo diretamente influenciado pela quantidade de mudas utilizadas. Ao contrário de outras espécies utilizadas em outros estudos, como o desenvolvido por Muñoz (2019), no qual foram utilizadas apenas três mudas de cada uma das espécies (*Passiflora edulis*, *Ipomoea horsfalliae* e *Thunbergia grandiflora*), que alcançaram PCVs de 80,03%, 89,50% e 65,08%, respectivamente. Outro estudo relevante é o de Marchioretto *et al.* (2023), que também utilizou apenas três mudas e obteve um PCV máximo de 92,63%.

Figura 66 – PCV do segundo ciclo da *Momordica charantia L.*



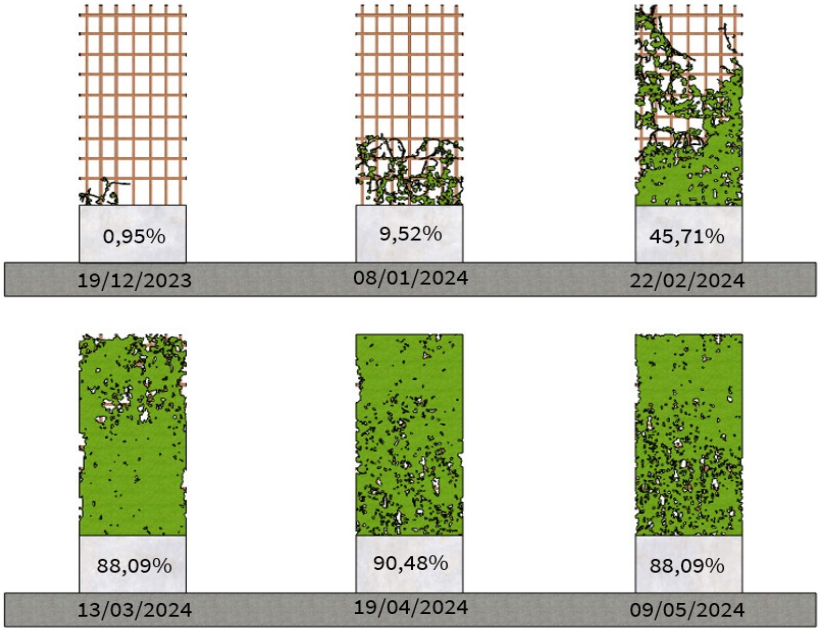
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

[8] A característica "rala" refere-se a uma cobertura vegetal dispersa, com folhagem menos compacta e distribuição irregular ao longo dos suportes.

O segundo ciclo da *Melothria cucumis Vell.* (Figura 67) destacou-se pela semeadura direta na jardineira, o que não ocorreu no primeiro ciclo, quando foi necessário o replantio de mudas por diversas vezes. Com um desenvolvimento constante, cinco meses após a semeadura, em 2 de setembro de 2023, o PCV já alcançava 88,09%, atingindo seu pico de 90,48% no mês seguinte, 12,86% a mais que no primeiro ciclo.

Assim como observado na *Momordica charantia L.*, o aumento de 13 mudas (23 no primeiro ciclo e 36 no segundo) pode ter influenciado positivamente a porcentagem final, uma vez que também se trata de uma folhagem mais "rala".

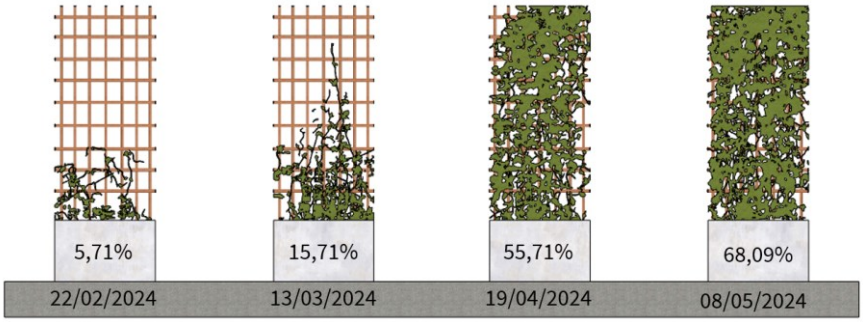
Figura 67– PCV do segundo ciclo da *Melothria cucumis Vell.*



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Diferentemente das outras espécies, o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb* foi plantado com menos mudas no segundo ciclo (apenas 15, comparado as 22 do primeiro ciclo). Ainda assim, seu desenvolvimento foi significativo, cobrindo 55,71% da fachada quatro meses após a semeadura e atingindo um PCV máximo de 68,09% no quinto mês (Figura 68). Esse percentual poderia ter sido maior, considerando que a espécie é bianual e, no primeiro ciclo, o PCV máximo foi alcançado somente após um ano e um mês de crescimento, cerca de oito meses a mais que no segundo ciclo. No entanto, o segundo ciclo foi interrompido no quinto mês para a realização das medições da radiação solar incidente e protegida pela fachada.

Figura 68 – PCV do segundo ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A Figura 69 apresenta os dados obtidos de PCV no segundo ciclo, que incluiu 06 monitoramentos das espécies *Momordica charantia L.* e *Melothria cucumis Vell.*, e 04 monitoramentos da *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* A análise dos dados mostra que a ausência de adversidades durante o cultivo resultou em um crescimento contínuo de todas as espécies.

Assim, a adaptação mais eficiente das espécies no segundo ciclo pode ser atribuída à melhora da qualidade do solo, promovida pelo primeiro ciclo de plantio. Neste contexto, o solo das jardineiras que estavam sem uso desde julho de 2021 após o experimento de Marchioretto *et al.* (2023), provavelmente foram enriquecidas com nutrientes durante o primeiro ciclo, favorecendo o desenvolvimento mais vigoroso no segundo ciclo.

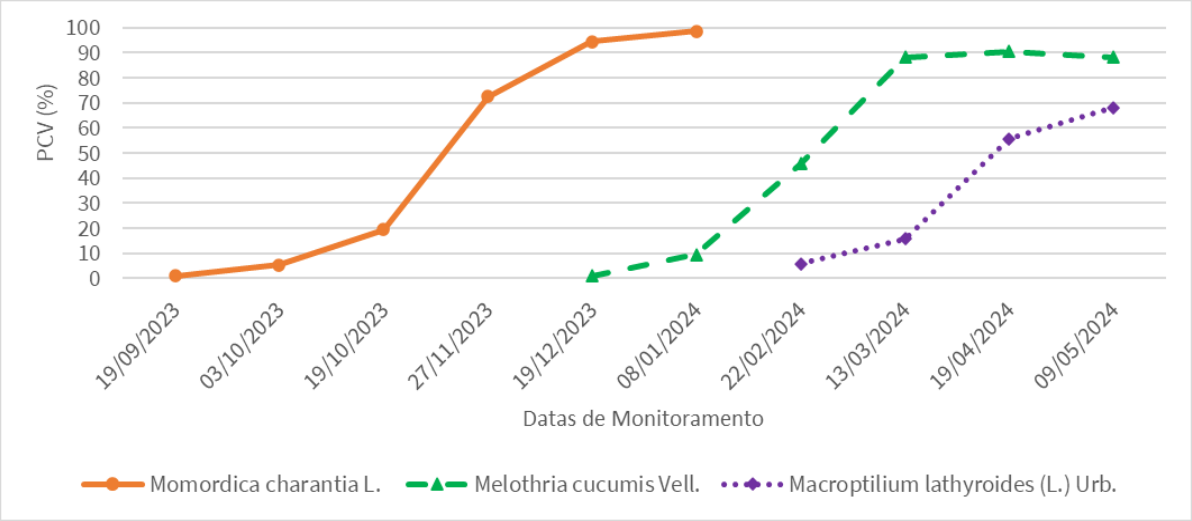
Conforme explica Cherubin (2022), a presença de vegetação proporciona diversos benefícios físicos, químicos e biológicos ao solo. As raízes das plantas desempenham um papel essencial na formação de bioporos, que facilitam a circulação de água e ar e contribuem para a descompactação do solo. Além disso, a vegetação promove a ciclagem de nutrientes, a incorporação de biomassa, a regulação do fluxo hídrico e o aumento da biodiversidade no solo.

Todos esses fatores resultam diretamente na melhoria da qualidade do solo e na adaptação das espécies, contribuindo também para a regulação de pragas e doenças. À exemplo disso, Cherubin (2022) destaca o potencial das espécies leguminosas, como o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, que é crucial para a fixação de nitrogênio, enriquecendo o solo de forma natural.

Essas contribuições são importantes, uma vez que, como apontado por Lepsch (2011), as plantas requerem micro e macronutrientes, além de consumirem água,

oxigênio e gás carbônico. Desse modo, para que haja um crescimento adequado, é fundamental que todos os elementos do solo estejam presentes em quantidades, formas e ambientes apropriados.

Figura 69 – Distribuição do PCV das espécies que compõem as fachadas no segundo ciclo de plantio



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Com base nos Percentuais de Cobertura Vegetal (PCV) alcançados por cada espécie estudada, foi possível determinar o Fator de Cobertura Verde (FCV) e, subsequentemente, calcular o Potencial de Sombreamento (PSO) alcançado no primeiro e segundo ciclo. A Tabela 02 apresenta os valores obtidos para cada índice, por espécie, necessários ao cálculo do PSO. Ressalta-se que, para o cálculo desses valores, foi considerado o melhor cenário apresentado por cada espécie.

Tabela 02 – Fatores aplicados para determinação do PSO

Espécie	*Melothria cucumis Vell.*	*Momordica charantia L.*	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*
Primeiro Ciclo			
Fator de Cobertura Verde (FCV)	0,78	0,77	0,90
Fator de Espessura da Folhagem (FEF)	0,30	0,30	0,30
Fator de Tamanho das Folhas (FTS)	0,70	0,70	1,00
Fator de Espaçamento das Folhas (FES)	0,70	0,70	0,70
Potencial de Sombreamento (PSO)	0,62	0,62	0,72
Classificação PSO	**Bom**	**Bom**	**Bom**
Segundo Ciclo			
Fator de Cobertura Verde (FCV)	0,90	0,99	0,68
Fator de Espessura da Folhagem (FEF)	0,30	0,70	0,30
Fator de Tamanho das Folhas (FTS)	0,70	0,70	1,00
Fator de Espaçamento das Folhas (FES)	0,70	1,00	0,30
Potencial de Sombreamento (PSO)	0,65	0,85	0,57
Classificação PSO	**Bom**	**Ótimo**	**Regular**

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

A partir dos valores apresentados na Tabela 02, todas as espécies foram inicialmente classificadas com um Potencial de Sombreamento (PSO) como "bom". No entanto, no segundo ciclo, observaram-se variações: o PSO da *Melothria cucumis Vell.* manteve a classificação de "bom", enquanto o PSO da *Momordica charantia L.* melhorou para "ótimo", e o da *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* regrediu para "regular".

Devido à característica mais “ralas” dessas espécies, verifica-se que o fator que mais contribuiu negativamente no cálculo de PSO das três espécies foi o Fator de Espessura Foliar (FEF), que se manteve sempre abaixo de 45 cm (Tabela 03). A única exceção ocorreu no segundo ciclo da *Momordica charantia* L., cujo aumento na quantidade de mudas plantadas levou a um incremento significativo na espessura foliar, resultando em um índice de 0,70. Esse aumento, aliado à melhoria do Fator de Cobertura Verde (FCV), contribuiu para a classificação do PSO da espécie como "ótimo".

Tabela 03 - Fatores de Espessura Foliar (FEF)

Espécie	*Melothria cucumis Vell.*	*Momordica charantia L.*	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*
Primeiro Ciclo			
Fator de Espessura Foliar (FEF)	37cm	33cm	29cm
Segundo Ciclo			
Fator de Espessura Foliar (FEF)	30cm	47cm	22cm

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Ao contrário do que ocorreu com a *Momordica charantia L.*, o aumento no número de mudas da *Melothria cucumis Vell.* no segundo ciclo não resultou em uma elevação no FEF. Contudo, esse aumento contribuiu para a melhora do FCV, elevando o valor do PSO de 0,62 no primeiro ciclo para 0,65 no segundo. Assim, a classificação de “bom” foi mantida em ambos os ciclos.

Em relação ao *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, observou-se que foi a única espécie cujo PSO regrediu em relação ao primeiro ciclo. Esse declínio está diretamente relacionado ao Fator de Espaçamento entre as Folhas (FES), que diminuiu devido ao aumento da distância entre as folhas. Esse fato impactou negativamente o FCV, reduzindo o índice geral de sombreamento. O FEF também diminuiu no segundo ciclo, entretanto, não o suficiente para alterar o índice que já era de 0,30 no primeiro ciclo.

Ressalta-se ainda, que esse resultado pode ser atribuído ao menor número de mudas plantadas no segundo ciclo, além do fato de que este ciclo foi interrompido mais

rapidamente para a finalização das medições de radiação solar, conforme descrito anteriormente.

Em comparação a outros estudos, os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Muñoz (2019) para a *Thunbergia grandiflora*, cuja classificação do PSO foi reclassificada de “bom” (0,65) para “regular” (0,57) entre os períodos de tempo frio e quente, respectivamente. Neste caso, o impacto negativo foi atribuído à diminuição do FEF e FCV.

Em relação a outras espécies analisadas por Muñoz (2019), a *Passiflora edulis* apresentou um PSO classificado como “bom” (0,68) em tempo frio e “bom” (0,75) em tempo quente. Comparando com os resultados deste estudo, o PSO medido em tempo frio foi semelhante ao da *Melothria cucumis Vell.*, que apresentou um valor de 0,65 no segundo ciclo. Enquanto que o PSO em tempo quente foi próximo ao do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, que teve um valor de 0,72 no primeiro ciclo.

Quanto à *Ipomoea horsfalliae*, Muñoz (2019) encontrou um PSO “ótimo” (0,81) em tempo frio e “ótimo” (0,89) em tempo quente. Esses resultados estão bastante próximos aos da *Momordica charantia L.*, que obteve um PSO de 0,85 no segundo ciclo.

Padovan (2020) também analisou o PSO da *Ipomoea horsfalliae* em duas fachadas de um edifício educacional. A fachada verde oeste/norte (O/N) obteve um PSO classificado como “regular” (0,50), enquanto a fachada verde oeste/sul (O/S) apresentou um PSO “bom” (0,76). As diferenças em relação aos resultados de Muñoz (2019) podem ser atribuídas a variações nos aspectos da folhagem, como FES, FEF e FCV, bem como a fatores externos, como local de plantio, orientação da fachada, condições climáticas, cuidados e manutenção.

Destaca-se também que o PSO “regular” da fachada oeste/norte calculado por Padovan (2020) foi inferior ao do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, que, no segundo ciclo, também foi classificado como “regular”, mas com uma pontuação de 0,57. Essa pontuação foi alcançada mesmo com o ciclo do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* tendo sido interrompido durante seu pleno desenvolvimento.

Diante do exposto, os dados de PSO das espécies estudadas indicam uma competitividade direta tanto com espécies perenes, como quando elas são plantadas em solo. No entanto, devido à folhagem mais dispersa e irregular ao longo dos suportes,

a variação no número de mudas utilizadas na composição da fachada verde pode impactar diretamente os valores desses índices.

4.3 Monitoramento da Radiação Solar Incidente e Protegida

Os monitoramentos da radiação solar incidente nas fachadas verdes (ambiente externo) e protegidas por elas (ambiente interno) foram realizados sob condições meteorológicas diversas, durante o primeiro e o segundo ciclo. Os dados foram coletados a cada hora, das 13h às 16h, em cada uma das três fachadas verdes e em cinco pontos pré-estabelecidos, conforme ilustra as Figuras 70 e 71.

Figura 70 – Fachada incidente: 1° medição

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

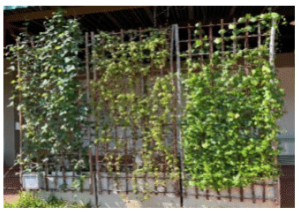
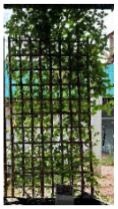
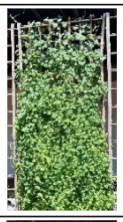
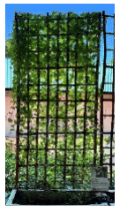
Figura 71 – Fachada protegida: 1° medição

Fonte: arquivo pessoal da autora, 2023.

Dessa forma, a medição da radiação solar foi realizada 08 vezes em cada uma das fachadas verdes, em dias variados dentro do período compreendido entre 10 de julho de 2023 a 09 de maio de 2024. Devido às adaptações enfrentadas por cada espécie durante o plantio, nem sempre foi possível coletar os dados de todas elas no mesmo dia.

O Quadro 05 detalha as datas de ocorrência das medições de radiação solar, juntamente com dados climáticos como temperatura (ºC) e umidade relativa do ar (%), registrados pelo INMET (2024), nos dias monitorado; descrição das condições de céu típico com base em dados de nebulosidade, conforme a ABNT NBR 15.215-2/2021; e a lista as espécies vegetais analisadas, acompanhadas pelo PCV obtido em cada dia.

Quadro 05– Especificações das condições dos dias de monitoramento da radiação solar.

MONITORAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR						
Data	**Hora**	**T (°C)**	**UR (%)**	**NBR 15.215-2/2021**	**Espécie Analisada | PCV**	**Imagem da Fachada Incidente e Protegida**
10/07/2023	13h 14h 15h 16h	25,8 27,1 27,5 28	58% 50% 46% 44%	Céu parcialmente encoberto.	*Melothria cucumis Vell.* (73,33%); *Momordica charantia L.* (65,24%); *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (78,10%)	 Fachada Incidente Fachada Protegida
11/07/2023	13h 14h 15h 16h	29,6 30,1 29,6 29,2	34% 31% 31% 32%	Céu claro.		
12/07/2023	13h 14h 15h 16h	27,1 29,2 28,6 28,7	40% 35% 35% 32%	Céu parcialmente encoberto.		
14/07/2023	13h 14h 15h 16h	18,2 18,4 19,1 19	47% 41% 40% 38%	Céu claro.		
03/10/2023	13h 14h 15h 16h	31,9 33 34,1 32,9	53% 46% 44% 46%	Céu parcialmente encoberto.	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (90%)	Fachada Incidente  Fachada Protegida
19/12/2023	13h 14h 15h 16h	31,7 33,2 33,9 34,3	41% 34% 33% 30%	Céu claro.	*Momordica charantia L.* (94,28%);	 Fachada Incidente Fachada Protegida
20/12/2023	13h 14h 15h 16h	30,9 31,8 33,9 33,7	38% 31% 24% 27%	Céu claro.		
08/01/2024	13h 14h 15h 16h	33,8 34,9 35,6 36,1	40% 37% 37% 34%	Céu claro.	*Momordica charantia L.* (98,57%);	Fachada Incidente Fachada Protegida
09/01/2024	13h 14h 15h 16h	31,6 33,3 33,6 33,2	51% 48% 45% 43%	Céu claro.		
19/04/2024	13h 14h 15h 16h	25 25,8 26,6 26,6	62% 59% 53% 51%	Céu claro.	*Melothria cucumis Vell.* (90,48%);	Fachada Incidente  Fachada Protegida
07/05/2024	13h 14h 15h 16h	31,5 31,6 31,3 29,7	42% 42% 41% 47%	Céu parcialmente encoberto.	*Melothria cucumis Vell.* (88,09%); *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (68,09%)	Fachada Incidente Fachada Protegida
08/05/2024	13h 14h 15h 16h	30,5 31,6 31,3 29,8	41% 39% 37% 42%	Céu parcialmente encoberto.		
09/05/2024	13h 14h 15h 16h	30,8 31,5 31,8 30,8	38% 30% 32% 35%	Céu parcialmente encoberto.		Fachada Incidente Fachada Protegida

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Conforme explicam Silva e Jatobá (2017), as variáveis climáticas, como temperatura e umidade relativa do ar, exercem uma influência direta sobre a qualidade da vegetação, afetando os processos biológicos das plantas (envolvem funções vitais), como a fotossíntese, a transpiração e a absorção de nutrientes. Assim, a temperatura e a umidade do ar afetam significativamente os seus processos fisiológicos, ou seja, os mecanismos internos que regulam o funcionamento das células e tecidos das plantas e que garantem a sua sobrevivência, crescimento e resposta ao ambiente.

Durante os 13 dias em que foram realizados os monitoramentos da radiação solar, a amplitude térmica registrada foi de 17,9°C. A temperatura máxima de 36,1°C (em 8 de janeiro de 2024 às 16h), enquanto a temperatura mínima de 18,2°C (em 14 de julho de 2023 às 13h). Esses dias corresponderam às maiores e menores temperaturas observadas durante os horários de medição, respectivamente. Além disso, a temperatura média mais alta foi de 30,5°C, observada às 15h, seguida de 30,2°C às14h com 30,1°C e de 29,1°C às 13h.

Em relação à umidade relativa do ar, a variação durante os dias de monitoramento foi de 38%. A umidade máxima, de 62%, foi registrada no dia 19 de abril de 2024, às 13h, enquanto a mínima, de 24%, ocorreu em 20 de dezembro de 2023, às 15h. A umidade relativa média mais alta foi de 45% às 13h, e diminuiu gradualmente, registrando 40% às 14h e cerca de 38% às 15h e 16h.

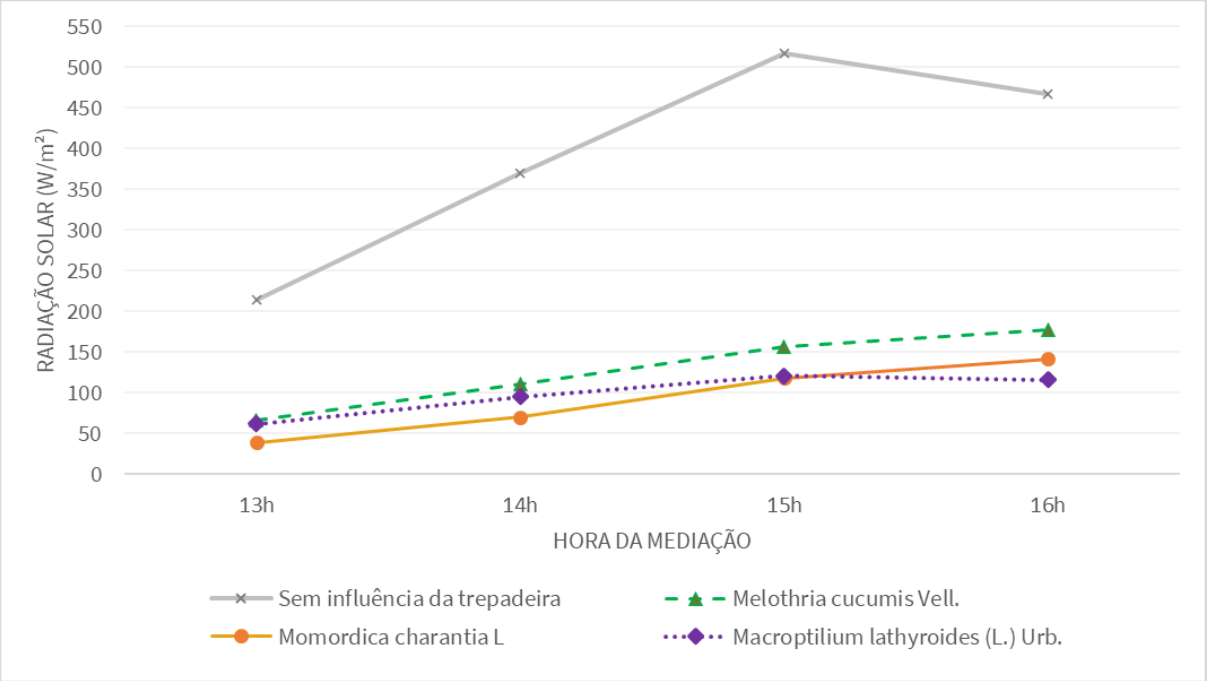
Outro parâmetro monitorado foi a condição do céu, que foi apresentado no Quadro 05. Assim, durante 7 dias de monitoramento a classificação foi de "céu claro", e em 6 dias "céu parcialmente encoberto". Conforme as definições da ABNT NBR 15.215-2 (2021) e as explicações de Sorte (2016), a distinção entre "céu claro" e "céu parcialmente encoberto" baseia-se na quantidade de nuvens e no efeito dessas na radiação solar. Em condições de céu claro, com baixa nebulosidade, a radiação solar incide mais intensamente sobre a superfície, predominando a dispersão de comprimentos de onda curtos, o que confere ao céu sua característica cor azul. Enquanto que em condições de céu parcialmente encoberto, a presença de nuvens reduz a radiação solar direta, atuando como elementos de absorção e reflexão, o que diminui sua dispersão e altera a luminância atmosférica.

Quanto às condições das fachadas verdes nos dias de monitoramento, os PCV observados foram os seguintes: 73,33% (em 04 dias), 90,48% (em 01 dia) e 88,09% (em

03 dias) da espécie *Melothria cucumis Vell.;* 65,24% (em 04 dias), 94,28% (em 02 dias) e 98,57% (em 02 dias) da espécie *Momordica charantia L.;* e 78,10% (em 04 dias), 90% (em 01 dia) e 68,09% (em 03 dias) da espécie *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

A Figura 72 apresenta valores da radiação solar média obtidos nos cinco pontos de cada fachada verde, no período das 13h às 16h. Todos esses dados foram registrados ao longo dos 13 dias de monitoramento e estão detalhados no Apêndice 02.

Figura 72 – Gráfico da média da radiação solar dos pontos monitorados por horário



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A partir da análise dos dados apresentados na Figura 72, observa-se que a radiação solar na face externa, sem a influência das fachadas verdes, variou de 213,64 W/m^2 às 13h, subindo para 369,67 W/m^2 às 14h, com pico de 517,55 W/m^2 às 15h, e diminuindo para 467,36 W/m^2 às 16h. Com a influência das fachadas verdes, os valores variaram de 39,27 W/m^2 às 13h até 176,75 W/m^2 às 16h, cujo valor mais baixo e o mais alto registrados foram das fachada verde composta pela espécie *Momordica charantia L.* e *Melothria cucumis Vell.,* respectivamente.

Os dados coletados demonstram a eficiência das fachadas verdes no bloqueio da radiação solar, visto que todas registraram valores menores em comparação à face externa, sem a influência delas. A maior diferença foi observada às 15h, com a espécie *Momordica charantia L.*, que alcançou uma redução de 399,05 W/m^2. A menor diferença ocorreu às 13h, com *Melothria cucumis Vell.,* com atenuação de 146,74 W/m^2. Assim, a

fachada composta pela *Momordica charantia L.* foi a mais eficiente na redução da radiação solar, seguida pelo *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* e *Melothria cucumis Vell.*

Em complementação, com base nos dados de radiação solar coletados, a atenuação solar foi calculada para todas as espécies, conforme apresentado na Tabela 04. É importante ressaltar que fatores externos, como a posição solar ao longo do dia e o acúmulo de temperatura nos elementos construtivos do entorno, conforme destacado por Muñoz (2019), podem influenciar os resultados de atenuação registrados para cada espécie, uma vez que esses elementos podem alterar a dinâmica da radiação incidente e a eficiência de bloqueio proporcionada pelas trepadeiras.

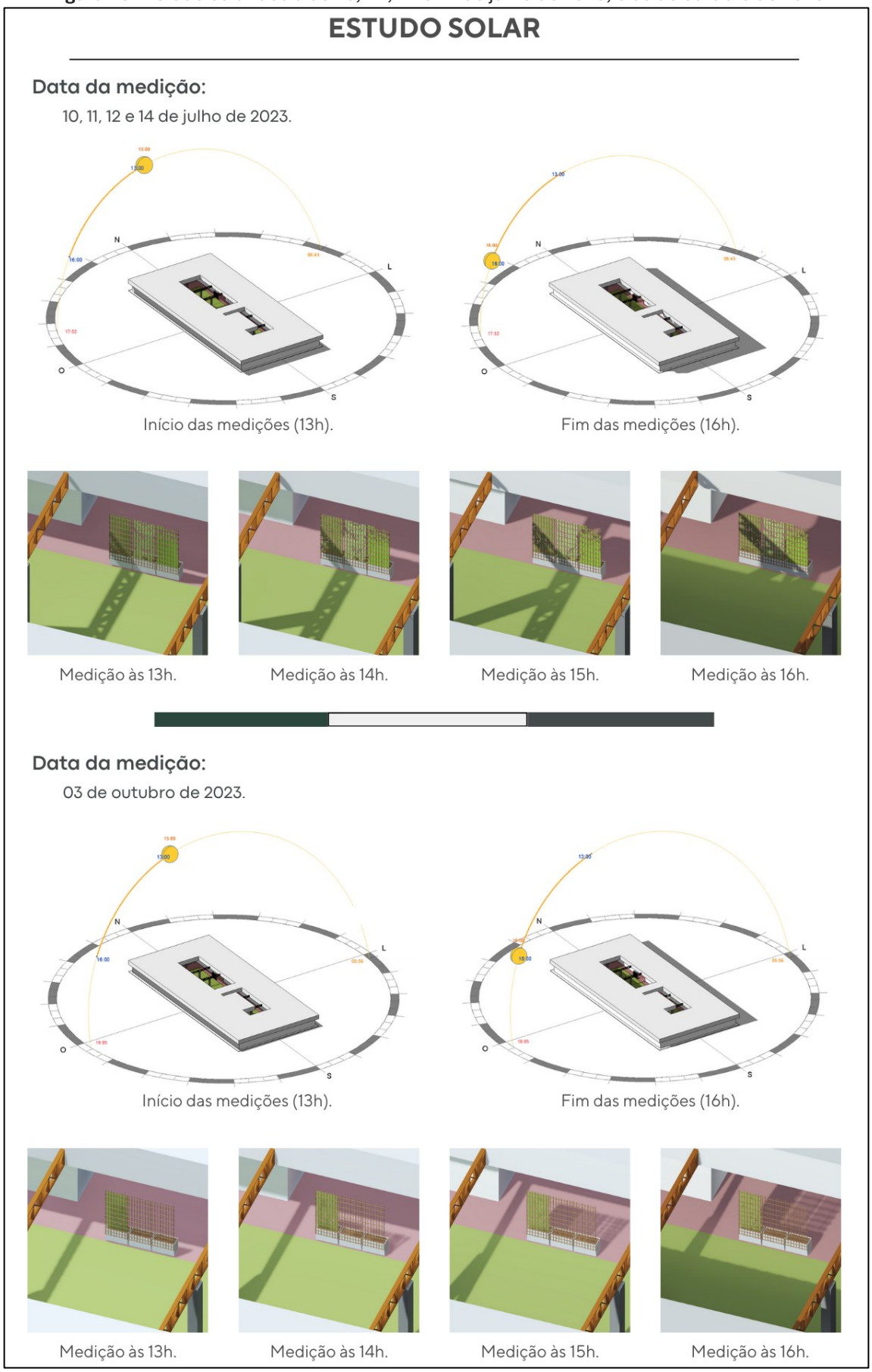
Como forma de complementar essa análise, as Figuras 73 a 75 mostram o estudo solar da incidência solar nas fachadas verdes, levando em consideração os dias e horários específicos das medições de radiação solar. Essa análise permitiu identificar a influência de uma viga da estrutura do edifício, que incidiu sobre as fachadas verdes em determinados dias e horários, e interferiu nos resultados alcançados pelas medições da radiação solar.

Tabela 04 – Atenuação da radiação solar por espécie (%).

ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR ESPÉCIE (%)						
Espécies	**Pontos**	**13H**	**14H**	**15H**	**16H**	**Média**
Melothria cucumis Vell.	P1	74,09	73,29	65,97	62,44	**68,95**
	P2	73,02	65,62	72,89	60,06	**67,90**
	P3	69,41	73,74	70,60	63,12	**69,22**
	P4	64,82	75,03	72,88	63,16	**68,97**
	P5	72,81	71,63	75,97	66,81	**71,81**
	Média	**70,83**	**71,86**	**71,66**	**63,12**	**69,37**
Momordica charantia L.	P1	77,91	76,30	76,75	64,84	**73,95**
	P2	81,97	77,17	77,68	73,81	**77,66**
	P3	80,55	82,86	76,91	84,20	**81,13**
	P4	84,87	85,11	78,97	85,87	**83,71**
	P5	83,30	79,64	70,30	58,10	**72,84**
	Média	**81,72**	**80,22**	**76,12**	**73,36**	**77,86**
Macroptilium lathyroides (L.) Urb.	P1	73,55	80,36	81,22	78,21	**78,34**
	P2	70,15	79,62	81,96	80,27	**78,00**
	P3	63,20	67,39	62,62	71,13	**66,09**
	P4	62,76	75,28	78,18	54,92	**67,79**
	P5	69,81	61,62	73,37	68,30	**68,28**
	Média	**67,89**	**72,85**	**75,47**	**70,57**	**71,70**

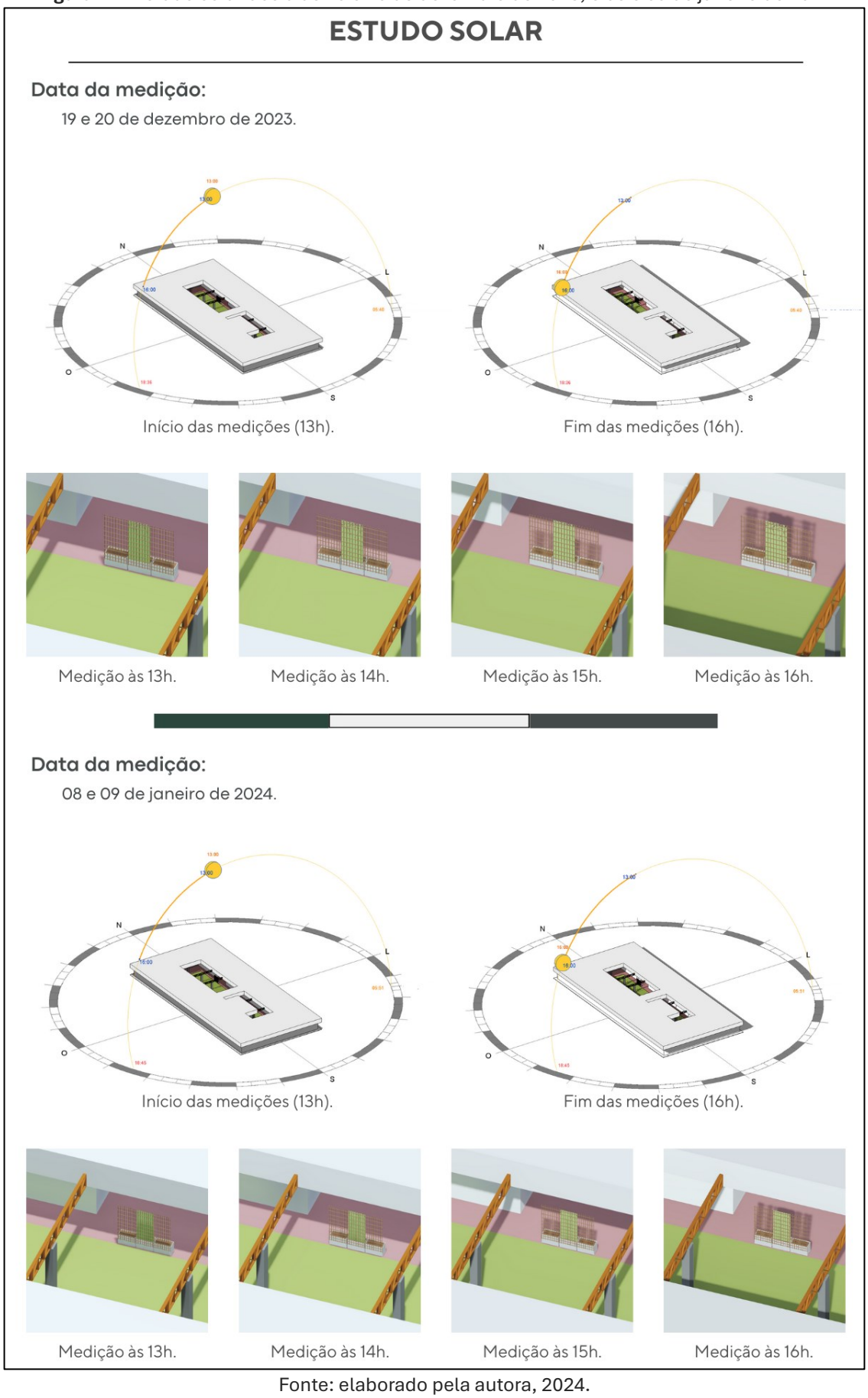
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Figura 73 –Estudo solar dos dias 10, 11, 12 e 14 de julho de 2023; e 03 de outubro de 2023



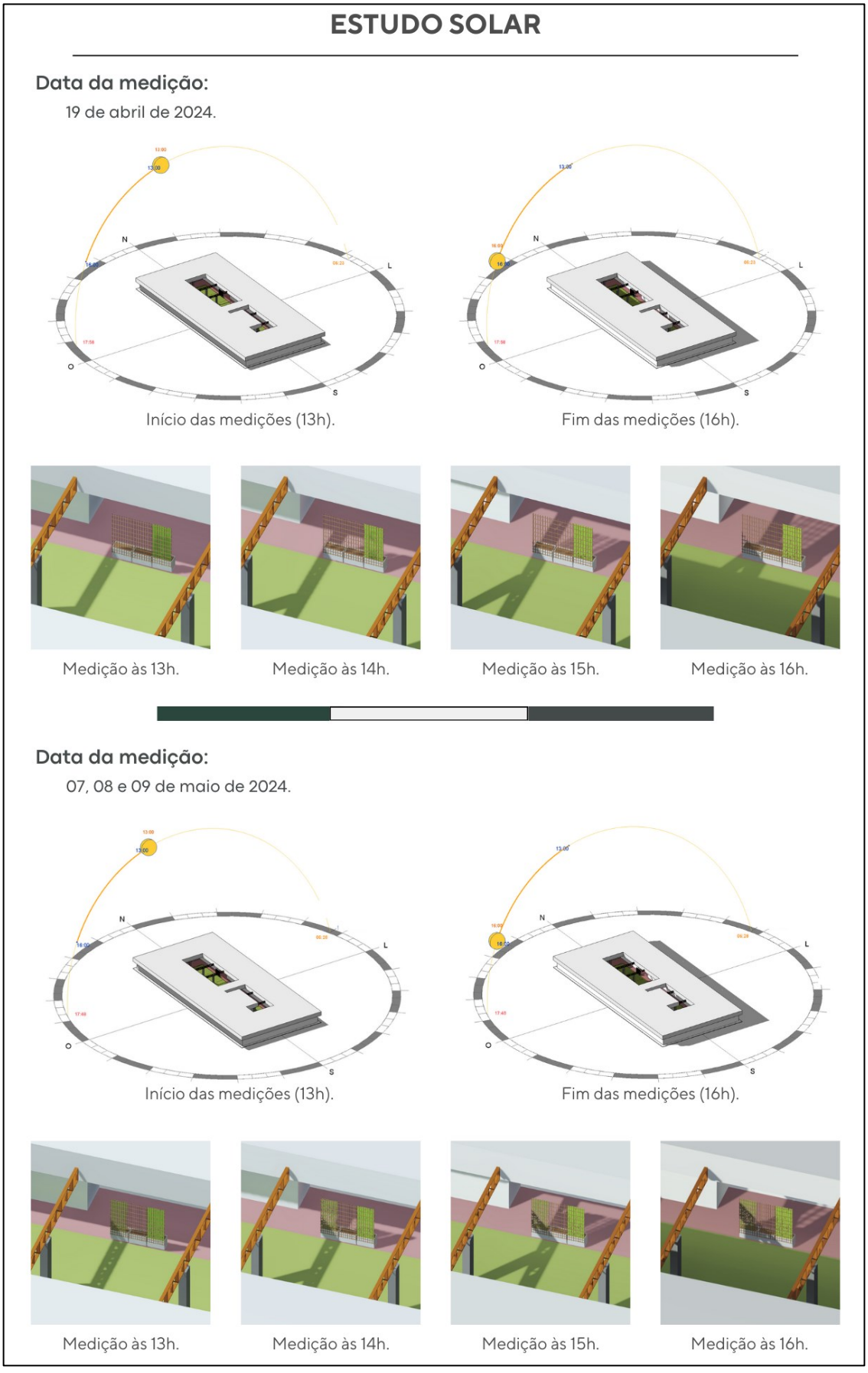
Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Figura 74 –Estudo solar dos dias 19 e 29 de dezembro de 2023; e 08 e 09 de janeiro de 2024



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Figura 75 –Estudo solar dos dias 19 de abril de 2024; e 07, 08 e 09 de maio de 2024



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Nesse contexto, a fachada verde com a espécie *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* foi a mais afetada pelo sombreamento, uma vez que sete dos oito monitoramentos realizados nesta fachada evidenciou a influência da sombra da viga. Com isso, nos dias 10, 11, 12 e 14 de julho de 2023, nos horários iniciais (13h e 14h), a sombra afetou os pontos inferiores às 15h, atingiu tanto os pontos inferiores quanto o central; e também impactou o ponto central e os dois superiores às 16h. Enquanto que nos monitoramentos de 7, 8 e 9 de maio de 2024, entre 13h e 15h, a sombra da viga influenciou os pontos inferiores e central, alcançando os pontos superiores às 16h.

Como resultado, a atenuação solar apresentada pela fachada verde composta pelo *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* alcançou o valor de 71,70%, sendo o valor máximo de 75,47% registrado às 15h. Os pontos inferiores tiveram o melhor desempenho, com P1 apresentando 78,34% e o P2, 78%.

A fachada verde com maior eficiência de atenuação solar foi a composta pela *Momordica charantia L.*, que alcançou um valor médio de 77,86%. A atenuação máxima foi registrada às 13h, quando atingiu 81,72%, e diminuiu gradualmente ao longo do dia até atingir 73,36% às 16h. Entre os pontos monitorados as variações de atenuação solar foram mínimas, e a atenuação máxima atenuação foi de 83,71% no P4 (inferior) e a mínima de 73,95% no P1 (superior), o que resultou em uma diferença de 9,76%.

Apesar da elevada eficiência de atenuação solar dessa espécie, o estudo solar (Figura 74) também apontou que o sombreamento proporcionado pela viga da estrutura teve influência nos monitoramentos realizados nos dias 10, 11, 12 e 14 de julho de 2023. Observou-se que tanto o ponto central quanto os inferiores foram afetados pela sombra projetada pela viga do edifício.

Ao contrário do que ocorreu com as demais fachadas, a fachada verde composta pela *Melothria cucumis Vell.* não foi atingida pelo sombreamento proporcionado pela viga da estrutura. Assim, esta fachada apresentou a pior atenuação solar, com 69,37%, apenas 2,33% a menos do que a atenuação solar apresentada pela fachada verde composta pelo *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* Além do mais, a fachada composta pela *Melothria cucumis Vell.* apresentou atenuações solares médias bem próximas a do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.,* com exceção do monitoramento realizado às 16h, horário em que foi registrado 7,45% de diferença.

Os resultados obtidos indicaram uma atenuação solar média de 69,37% para *Melothria cucumis Vell.*, 77,86% para *Momordica charantia L.* e 71,70% para *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* Comparando esses valores com os de Pereira Júnior (2024), que reportou uma atenuação solar de 94,86% para uma fachada verde de camada simples, as diferenças foram de 25,49% para *Melothria cucumis Vell.*, 17% para *Momordica charantia L.* e 23,16% para o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

No estudo de Marchioretto *et al.* (2023), os autores organizaram os percentuais de atenuação solar por pontos. Dessa forma, nos pontos inferiores (áreas com menor cobertura vegetal), a atenuação solar variou de 62,78% a 76,41%, enquanto que nos pontos superiores (áreas com maior cobertura vegetal) a variação foi de 82,14% a 90,64%. A comparação entre os resultados do presente trabalho com os de Marchioretto *et al.* (2023), revelou diferenças que variaram de: 12,77% a 21,27% para a espécie *Melothria cucumis Vell.*; 4,28% a 12,78% para a *Momordica charantia L.*; e 10,44% a 18,94% para o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*

Nesse cenário, é importante ressaltar que, no estudo de Pereira Junior (2024), as espécies foram cultivadas diretamente no solo, o que pode ter contribuído para um maior Percentual de Cobertura Vegetal (PCV), atingindo 98,83%. No entanto, no estudo de Marchioretto *et al.* (2023), que utilizaram a mesma espécie em vasos, os autores encontraram um PCV máximo de 92,63%. Essa diferença sugere que o local de cultivo (solo ou vaso) exerce influência significativa na eficácia da cobertura vegetal e, consequentemente, na atenuação solar. Outros fatores, tais como localização, orientação das fachadas e condições específicas no momento da medição (dia e horário), também podem ter influenciado nessas diferenças.

Por fim, os resultados deste estudo também apresentaram uma tendência semelhante àqueles encontrados por Muñoz (2019), que observou atenuações de 74% para *Passiflora edulis Sims*, 80% para *Ipomoea horsfalliae Hook.*, e 61% para *Thunbergia grandiflora (Roxb. Ex Rottl.) Roxb.* Esses valores sugerem que, embora existam variações entre espécies, os níveis de atenuação solar observados em fachadas verdes compostas por espécies ruderais de ciclo curto podem ser consistentes, especialmente quando comparados em condições similares de cobertura e manejo.

4.4 Análise Foliar das Espécies Selecionadas

Conforme apresentado na metodologia, a área foliar das três espécies utilizadas nas fachadas verdes indiretas foi determinada a partir da área média de 300 folhas, que foram selecionadas aleatoriamente em três partes distintas (superior, central e inferior), conforme especificado por Pérez *et al.* (2017). A Tabela 05 mostra os resultados alcançados para cada uma das espécies, com as áreas médias das folhas em cada uma das partes, além da área média total das folhas.

Tabela 05 – Área foliar média de cada espécie (cm^2).

Espécie	Área média inferior	Área média central	Área média superior	Área média total
Melothria cucumis Vell.	7,89	7,05	10,45	8,46
Momordica charantia L.	15,04	13,79	14,27	14,37
Macroptilium lathyroides (L.) Urb.	26,68	39,49	32,02	32,73

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Assim, verifica-se que o *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* possui maior Área Foliar, em relação às demais espécies, com um valor total de 32,73 cm^2, sendo que a folha com a menor área apresentou 5,56 cm^2 e a maior foi de 100,86 cm^2. Em seguida, a *Momordica charantia L.* com uma Área Foliar média total de 14,37 cm^2, cujas áreas foliares variam de 2,72 cm^2 a 56,28 cm^2; e por último, a *Melothria cucumis Vell.* com uma área foliar total de 32,73 cm^2 e uma variação de 0,08 cm^2 a 23,13 cm^2.

Outro parâmetro calculado foi o Índice de Área Foliar (IAF) e Densidade da Área Foliar (DAF) das três diferentes fachadas verdes, cujos valores estão organizados espécies. Estes dados estão organizados na Tabela 06 que apresenta, ainda, o número de folhas e peso da folhagem, galhos e frutos obtidos.

Tabela 06 – Dados gerais das Fachadas Verdes com as espécies analisadas.

Fachadas Verdes	Nº de folhas	IAF	DAF
Melothria cucumis Vell.	3.189	1,28	4,28 m^2/m^3
Momordica charantia L.	7.807	5,34	16,18 m^2/m^3
Macroptilium lathyroides (L.) Urb.	591	0,92	4,19 m^2/m^3

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Observa-se que, a fachada verde com a espécie *Momordica charantia L.* foi a que apresentou o maior IAF (5,34) e DAF (16,18 m^2/m^3). O segundo melhor resultado foi

alcançado pela composta da espécie *Melothria cucumis Vell.,* cujo IAF foi de 1,28 e o DAF de 4,28 m^2/m^3. Enquanto que a fachada verde com a espécie *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* apresentou um IAF de 0,92 e DAF de 4,19 m^2/m^3.

A partir desses resultados é possível observar que, apesar de apresentar a maior Área Foliar, o IAF da fachada verde composta da trepadeira *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* é menor, devido ao menor número de folhas em relação às demais espécies. Esses parâmetros físicos são importantes, uma vez que influenciaram diretamente na capacidade de sombreamento e atenuação solar promovida por cada espécie.

Apesar do IAF de 0,92 ser menor que os demais encontrados na literatura, Cameron *et al.* (2014) explicam que um IAF de 1, teoricamente, já pode indicar o recobrimento total da fachada por uma camada de folhas. Contudo, na prática, como as folhas podem se sobrepor ou deixar áreas expostas, o valor de IAF igual a 1 não irá garantir que essa cobertura seja uniforme. Nessa perspectiva, os autores expõem que um IAF menor que 1, dependendo das condições, pode proporcionar maior sombreamento, especialmente se a folhagem estiver distribuída de maneira mais homogênea ou se o formato das folhas contribuir para a melhor eficiência no sombreamento.

Para fins de comparação, outro estudo que investigou o IAF foi o realizado por Convertino *et al.* (2022), que analisaram a influência do IAF no desempenho térmico das fachadas, conforme mencionado no subitem 2.2.1. Esses autores fizeram simulações computacionais e consideraram um IAF de 4,11, conforme estudo prévio, e comprovaram uma correlação positiva entre o IAF e o efeito de sombreamento solar. Assim, os resultados indicaram que o aumento do IAF de 1 para 2 proporcionou uma elevação significativa no sombreamento (31,05%). Esse efeito foi observado como significativo, com aumentos superiores a 1,00% até o IAF de 6. A partir desse ponto, incrementos adicionais no IAF resultaram em ganhos mínimos no sombreamento, sugerindo que a influência do IAF se torna menos expressiva após esse valor.

Ao utilizar um modelo matemático, Susorova *et al.* (2013) também analisaram como os parâmetros físicos (como o IAF) e fisiológicos das plantas influenciam o desempenho térmico das fachadas. Ao considerar uma variação do IAF de 0 a 4, foi observado que, para cada incremento unitário no IAF, a transferência de calor através da parede foi reduzida em cerca de 5%. Nesse intervalo de IAF, a presença da camada vegetal também resultou em uma redução das temperaturas de superfície da fachada

entre 0,8°C e 13,1°C, uma diminuição do fluxo de calor entre 2 W/m^2 e 33 W/m^2, e uma variação no valor R (resistência do material à passagem de calor) de 0,07 m^2K/W a 0,50 m^2K/W.

Pérez *et al*. (2017), ao adotarem uma abordagem distinta dos demais autores, mensuraram o IAF da espécie *Parthenocissus tricuspidata* tanto por métodos diretos quanto indiretos. No método direto, a fachada (uma estrutura dupla voltada para o leste) foi dividida em três níveis: inferior, médio e superior, com valores de IAF de 3,9, 3,2 e 2,1, respectivamente, embora o número de folhas fosse maior nas camadas superiores. No método indireto, utilizando também uma fachada dupla orientada para o leste, os valores de IAF para os níveis inferior, médio e superior foram de 3,4, 3,5 e 3,3, respectivamente. Esses dados de IAF contribuíram para uma redução de até 34% no consumo de energia elétrica para resfriamento, além de uma diminuição de até 15°C na temperatura da superfície do edifício.

Em complemento, ao comparar esses resultados com os de Wolter *et al*. (2009), que estudaram a espécie *Hedera helix*, Pérez *et al*. (2017) observaram uma discrepância nos valores de IAF reportados por esses autores, que variaram entre 7 e 8,51 para as fachadas leste e sul, respectivamente. Os autores sugeriram que essa diferença pode ser atribuída às distintas características fisiológicas distintas das espécies, uma vez que a *Hedera helix* é perene, enquanto *Parthenocissus tricuspidata* é caducifólia, ou seja, perde suas folhas em determinadas épocas do ano.

Dentre as pesquisas do NUCAM (Núcleo de Conforto Ambiental), Pereira Junior (2024) e Oliveira (2024) também calcularam os valores de IAF, DAF e Área Foliar em estudos com fachadas de camada simples e duplas. Assim, a espécie pesquisada por Pereira Junior (2024) apresentou uma Área Foliar de 64,11 cm^2, sendo que na fachada simples foi obtido um IAF de 3,46 e DAF de 4,34 m^2/m^3, com a contagem de 1.037 folhas. Enquanto que, na fachada dupla o IAF foi de 4,00 e o DAF de 3,73 m^2/m^3, com o número total de 1.198 folhas. A espécie de Oliveira (2024) apresentou uma área de 51,97 cm^2, em que foi encontrado um IAF de 8,78 e DAF de 28,68 m^2/m^3 na fachada simples, com 3.040 folhas; e na fachada dupla, o IAF foi de 9,48 e o DAF de 30,74 m^2/m^3, com 3.258 folhas.

A comparação desses resultados com os obtidos neste estudo indica que o número de folhas influencia positivamente os valores de IAF e DAF. Contudo, é

importante considerar que características fisiológicas e a distribuição da folhagem também podem afetar diretamente esses índices.

4.5 Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi realizada através do Teste de Tukey, o qual permitiu verificar a existência de diferenças significativas entre as espécies. Os resultados expostos na Tabela 07 evidenciam que a diferença mais significativa ocorreu entre as fachadas de *Momordica charantia L.* e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*, com significância (Sig.) de 0,954. A *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* também apresentou uma diferença expressiva em relação a *Melothria cucumis Vell.* (Sig. = 0,406). Em contrapartida, a diferença menos significativa foi observada entre a *Momordica charantia L.* e a *Melothria cucumis Vell.* Essas diferenças, mais ou menos significativas, podem estar associadas à variação do PCV e dos parâmetros foliares específicos de cada espécie (IAF, DAF e AF).

Tabela 07 – Teste de Tukey.

(I) Espécie	(J) Espécie	Diferença Média (I – J)	Erro Padrão	sig.
Melothria cucumis Vell.	*Momordica charantia L.*	35,52813	17,11716	,162
	Macroptilium lathyroides (L.) Urb.	26,59687	17,11716	,406
	Sem vegetação	-264,23458	13,97610	,000
Momordica charantia L.	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*	-8,93125	17,11716	,954
	Sem vegetação	-299,76271	13,97610	,000
Macroptilium lathyroides (L.) Urb.	Sem vegetação	-290,83146	13,97610	,000

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

4.6 Síntese dos Resultados Alcançados

A pesquisa revelou desafios e resultados significativos no cultivo de espécies ruderais em fachadas verdes plantadas em jardineiras. Assim, adversidades como pisoteio por gatos, pragas e fungos foram enfrentadas, o que implicou em medidas corretivas, como a instalação de telas protetoras e novos plantios frequentes de mudas,

principalmente das espécies: *Melothria cucumis Vell.* e *Macroptilium lathyroides (L.) Urb,* como forma de garantir melhor desenvolvimento.

Em questão de desempenho, a espécie *Momordica charantia L.* foi a que melhor se desenvolveu, apresentando resistência contra pragas e doenças que afetaram as outras espécies, além de não ter necessitado de reposição de mudas. Além disso, juntamente com a espécie *Melothria cucumis Vell.*, demonstram um grande potencial para produção vertical de alimentos, sendo que suas flores e frutos atraíram diversos polinizadores, incluindo abelhas e borboletas, destacando seu valor ecológico.

O Quadro 06 apresenta o tempo de duração de cada um dos dois ciclos (da semeadura até a senescência foliar) conduzidos na pesquisa.

Quadro 06 – Duração dos ciclos das fachadas verdes.

Período	*Melothria cucumis Vell.*	*Momordica charantia L.*	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*
1° Ciclo (semeadura)	14 de fevereiro de 2023	10 de setembro de 2022	10 de setembro de 2022
1° Ciclo (senescência)	19 de setembro de 2023	12 de junho de 2023	27 de novembro de 2023
Duração total do 1° Ciclo	**07 meses.**	**09 meses.**	**01 ano e 02 meses.**
2° Ciclo (semeadura)	02 de outubro de 2023	19 de julho de 2023	09 de dezembro de 2023
2° Ciclo (senescência)	09 de maio de 2024	09 de janeiro de 2024	09 de maio de 2024
Duração total do 2° Ciclo	**07 meses.**	**06 meses (ciclo interrompido para as medições).**	**05 meses (ciclo interrompido para as medições).**

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Quanto aos parâmetros ambientais analisados, a Tabela 08 apresenta os principais valores alcançados por cada uma das espécies, em relação ao Percentual de Cobertura Verde (PCV), o Potencial de Sombreamento (PSO), a Atenuação Solar, a Área Foliar, a Densidade da Área Foliar (DAF) e o Índice de Área Foliar (IAF).

Os resultados apresentados indicam que a espécie que se destacou novamente foi *Momordica charantia* L., a qual atingiu um PSO classificado como "ótimo" e um PCV expressivo de 98,57% alcançado no primeiro ciclo. Em contrapartida, a *Melothria cucumis Vell*. também apresentou dados consistentes, mantendo um PSO "bom" e um PCV máximo de 90,48% obtido no segundo ciclo, embora tenha apresentado a menor

atenuação solar, com apenas 69,37%. Por sua vez, o *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb. demonstrou uma redução no PSO, passando de "bom" para "regular" devido à interrupção de seu ciclo para a realização das medições da radiação solar. O PCV máximo desta espécie foi de 90% alcançado durante o primeiro ciclo, o que auxiliou a espécie de alcançar uma atenuação solar de 71,70%.

Ressalta-se que o PSO, desenvolvido por Muñoz (2019), se refere a um valor que traduz de forma qualitativa a capacidade de uma fachada verde com determinada espécie em atenuar a radiação solar. Assim, ao comparar os resultados do PSO obtido para cada espécie e sua atenuação solar, é possível observar que a determinação do PSO é válida.

Dessa forma, com base nos intervalos de classificação atribuídos ao PSO, todos os valores obtidos de atenuação da radiação solar se enquadram na categoria “boa”, o que destaca a eficácia das fachadas verdes analisadas na redução da radiação incidente.

Tabela 08 – Síntese dos principais parâmetros ambientais analisados.

Parâmetros	*Melothria cucumis Vell.*	*Momordica charantia L.*	*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.*
PCV (1° Ciclo)	77,62%	76,67%	90%
PCV (2° Ciclo)	90,48%	98,57%	68,09%
PSO (1° Ciclo)	0,62 “bom”	0,62 “bom”	0,72 “bom”
PSO (2° Ciclo)	0,65 “bom”	0,85 “ótimo”	0,57 “regular”
Atenuação Solar (média)	69,37% “boa”	77,86% “boa”	71,70% “boa”
Área Foliar (média)	8,46cm^2	14,37cm^2	32,73cm^2
DAF	4,28 m^2/m^3	16,18 m^2/m^3	4,19 m^2/m^3
IAF	1,28	5,34	0,92

Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Destaca-se, ainda, que fatores como a orientação solar, a estrutura e os materiais da edificação podem ter influenciado os resultados obtidos. No entanto, levando em conta as características experimentais do estudo realizado em uma edificação real, esses dados são relevantes para a validação dos resultados em um contexto prático. Essa abordagem permite uma compreensão mais precisa da eficácia

das espécies em condições reais de aplicação, fornecendo informações valiosas para futuras intervenções em projetos de sombreamento e vegetação em ambientes urbanos.

Por fim, os resultados obtidos indicam que todas as espécies analisadas apresentam um "bom" potencial de sombreamento e uma “boa” atenuação da radiação solar para o ambiente em que são implantadas. Além disso, as análises estatísticas confirmaram essa diferença, ao comparar fachadas com e sem vegetação, reforçando a importância da presença de fachadas verdes como elementos de mitigação da incidência solar nas edificações.

05 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa destaca, inicialmente, através de uma revisão bibliográfica, a relevância dos Sistemas de Jardins Verticais (SJVs), que, embora sejam mecanismos antigos, evoluíram e se tornaram essenciais para a infraestrutura verde urbana, uma vez que podem ser instalados até em espaços reduzidos. Assim, constituem estratégias bioclimáticas ao reduzirem a radiação solar incidente nas edificações e, consequentemente, mitigar os impactos térmicos, seja nas temperaturas superficiais externas e internas, na redução do fluxo de calor para o interior e perda de calor interno, e eficiência térmica e energética dos ambientes.

No entanto, a eficiência desses sistemas depende de vários aspectos. Em relação às fachadas verdes, verifica-se que a escolha da espécie de planta trepadeira exerce influência significativa no desempenho quanto a capacidade de atenuar a radiação solar incidente, em função das suas características físicas, fisiológicas e de manutenção. Nesse contexto, ao explorar os potenciais usos das espécies ruderais de ciclo curto (*Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (feijão de rolinha), *Melothria cucumis Vell*. (pepininho do mato) *e Momordica charantia L*. (melãozinho de São Caetano)), na composição de fachadas verdes indiretas, destacam-se os seguintes resultados:

- Diferentes desafios e adversidades, especialmente das espécies: *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* e *Melothria cucumis Vell.*, que por apresentarem dificuldades de adaptação no cultivo em jardineira, exigiram o replantio de mudas, além de cuidados especiais com para o combate ao ataque de pragas e fungos;

- O monitoramento das espécies (observações quinzenais (1° ciclo) e mensais (2° ciclo)) e levantamento fotográfico revelaram que entre os parâmetros analisados, a espécie *Momordica charantia L*. foi a que apresentou o melhor desempenho, com Percentual de Cobertura Verde (PCV) de 76,67% (1° ciclo) e 98,57% (2° ciclo) e Potencial de Sombreamento (PSO) de “bom” e “ótimo” no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Os valores de Índice de Área Foliar (IAF) e Densidade da Área Foliar (DAF) foram de 5,34 e 14,37 m^2/m^3,

respectivamente, resultando em uma boa atenuação solar equivalente a 77,86%.

- A *Melothria cucumis Vell.* obteve o segundo melhor desempenho, com PCV máximo de 77,62% e PSO classificado como “bom” no primeiro ciclo. No segundo ciclo, o PSO manteve-se “bom” e o PCV subiu para 90,48%. Os valores de IAF e DAF foram de 1,28 e 4,28 m^2/m^3, proporcionando uma boa atenuação solar de 69,37%.

- A fachada verde composta com a espécie *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* também apresentou uma boa atenuação solar de 71,70%. Seus parâmetros foram: IAF de 0,92, DAF de 4,19 m^2/m^3, PCV de 90% e PSO “bom” no primeiro ciclo, e PCV de 68,09% e PSO “regular” no segundo ciclo, interrompido ao final das medições (antes da sua senescência foliar).

- Os valores calculados para os parâmetros físicos AF, IAF e DAF para as espécies avaliadas são contribuições significativas da pesquisa, que poderão subsidiar estudos de simulação computacional de desempenhos de fachadas verdes.

Por fim, mesmo diante das dificuldades encontradas, todas as espécies apresentaram resultados positivos que demonstram sua viabilidade na composição de fachadas verdes, visando o seu potencial de sombreamento e atenuação da radiação solar. No entanto, ressalta-se que por serem de ciclo curto, as fachadas verdes com essas espécies requerem renovações mais constantes, mas que podem ser programadas para protegerem uma superfície em determinada época do ano.

Como futuras contribuições ou desdobramentos da pesquisa, são recomendadas as seguintes sugestões:

- Avaliar o desenvolvimento e desempenho térmico de espécies ruderais de ciclo curto com plantio em solo;
- Analisar o impacto microclimático interno dos ambientes protegidos com espécies ruderais de ciclo curto;

- Analisar as temperaturas superficiais das fachadas verdes constituídas com espécies ruderais de ciclo curto, em camada simples e dupla, e seu impacto nas temperaturas superficiais e desempenho térmico dos ambientes.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ACADEMIA BRASILEIRA DE ARTE (ABRA). **Jardins Suspensos da Babilônia.** Disponível em: https://abra.com.br/artigos/jardins-suspensos-da-babilonia/. Acesso em: 18 set. 2024.

ADOBE PHOTOSHOP. Versão: cc 2015. Adobe Systems Incorporated, 2015.

ARQUIVO ARQ. **Edifício Banco Safra – Consolação.** Disponível em: https://arquivo.arq.br/projetos/banco-safra. Acesso em: 28 ago. 2024.

ASCIONE, F.; MASI, R. F.; MASTELLONE, M.; RUGGIERO, S.; VANOLI, G. P. Green walls, a critical review: knowledge gaps, design parameters, thermal performance and multi-criteria design approaches. **Energies**, v. 13, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.215-2:** Iluminação natural – Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial natural. Rio de Janeiro, 2021.

BRAUN, Z. **Criando Jardins Verticais e fachadas verdes com cabos de aço:** edifício residencial e hotel Stadthaus M1/ Barkow Leibinger. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/933380/criando-jardins-verticais-e-fachadas-verdes-com-cabos-de-aco/5e3db3733312fd4a13000570-criando-jardins-verticais-e-fachadas-verdes-com-cabos-de-aco-foto. Acesso em: 27 ago. 2024.

BLANCO, I.; SCHETTINI, E., VOX, G. Predictive model of surface temperature difference between green façades and uncovered wall in mediterranean climatic area. **Applied Thermal Engineering**, v. 163, 2019.

BLANC, P. **L'Oasis d'Aboukir, Paris, Hymne à la Biodiversité.** Disponível em: https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/loasis-daboukir-paris. Acesso em: 25 ago. 2024.

CAMERON, R. W. F.; TAYLOR, J. E.; EMMETT, M. R. What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling Properties of green walls. **Building and Environment**, v. 73, 2014.

CHERUBIN, M. R. (Org.). **Guia Prático de Plantas de Cobertura:** aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022.

CLEMENCE, P. **Zurich's MFO park.** Disponível em: https://www.everettpotter.com/2020/05/zurichs-mfo-park/. Acesso em: 05 ago. 2024.

COMA, J.; CHÀFER, M.; PÉREZ, G.; CABEZA, L. F. How internal heat loads of buildings affect the effectiveness of vertical greenery systems? An experimental study. **Renewable Energy**, v. 151, 2020.

COMA, J.; PÉREZ, G.; GRACIA, A.; BURÉS, S.; URRESTARAZU, M.; CABEZA, L. F. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades. **Building and Environment**, v. 111, 2017.

CONVERTINO, F.; SCHETTINI, E.; BLANCO, I.; BIBBIANI, C.; VOX, G. Effect of leaf area index on green facade termal performance in buildings. **Sustainabillity**, v. 14, 2022.

CONVERTINO, F.; VOX, G.; SCHETTINI, E. Evaluation of the cooling effect provided by a green façade as nature-based system for buildings. **Building and Envronment,** v. 23, 2021.

CRUCIOL-BARBOSA, M. **Avaliação da influência térmica de um jardim vertical de tipologia parede viva contínua.** 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.

CRUCIOL-BARBOSA, M.; FONTES, M. S. G. C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção,** Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 114-124, 2016.

DIAS, C. A. A.; LUCCHESI, G. P.; TSUCHIYA, T. A.; CONTI, D. de M. Políticas públicas e sustentabilidade: uma análise da compensação ambiental por meio de jardins verticais no município de São Paulo. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável,** v. 8, 2022.

ECOTELHADO. **Brise Vegetal.** Disponível em: https://ecotelhado.com/sistema/brise-vegetal/. Acesso em: 24 ago. 2024.

ELGIZAWAY, E. M. Improving sustainability concept in developing countries: the effect of green facades in landscape ecology. **Procedia Environmental Sciences**, v. 34, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manejo integrado de plantas daninha.** Brasília: Embrapa Cerrados, 2003.

FENOLLÓS, J. L. M. **Os Jardins Suspensos da Babilônia.** Disponível em: https://www.nationalgeographic.pt/historia/os-jardins-suspensos-babilonia_3665. Acesso em: 04 set. 2024.

FIELD STUDY OF THE WORLD. **Turf houses, the traditional green buildings of iceland.** Disponível em: https://www.fieldstudyoftheworld.com/turf-houses-traditional-green-buildings-iceland/. Acesso em: 04 set. 2024.

GARCIA, E. **Verba gasta em muro verde da 23 de maio plantaria 500 árvores por mês:** Prefeitura paga R$107 mil à empresa para manutenção do jardim vertical da avenida. Apesar da beleza, o corredor verde tem baixo impacto ambiental. Disponível em: https://noticias.r7.com/sao-paulo/verba-gasta-em-muro-verde-da-23-de-maio-plantaria-500-arvores-por-mes-30112019/. Acesso em: 27 ago. 2024.

GERAQUE, E. **Muro verde de Doria na av. 23 de Maio só teria valor ecológico com 1.500km.** Disponível em: https://www.nossasaopaulo.org.br/2017/05/04/muro-verde-de-doria-na-av-23-de-maio-so-teria-valor-ecologico-com-1-500-km/. Acesso em: 12 ago. 2024.

GENGO, R. de C.; HENKES, J. A. A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental,** v. 1, 2012.

GRANDI, D. **Minhocão:** O último jardim seguirá no entorno do elevado, por iniciativa do condomínio responsável. Disponível em: https://exame.com/brasil/remocao-dos-jardins-verticais-do-minhocao-custara-r-657-mil/. Acesso em: 27 ago. 2024.

GURNEY, T. **Seven Wonders of the world.** Disponível em: https://www.thehistoryofart.org/architecture/seven-wonders-of-the-world/. Acesso em: 27 ago. 2024.

HINDLE, R. L. A vertical Garden: origins of the Vegetation-Bearing Architetonic Structure and System (1938). **Studies in the history of gardens & designed landscapes**, v. 32, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estação: Bauru A705.** Disponível em: https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A705. Acesso em: 10 jul. 2024.

IP, K.; LAM, M.; MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. **Building and Environment**, v. 45, 2010.

IMAGEJ. Versão: 1.54g. National Institute of Mental Health (NHI), 2023.

KAIMOTI, N. L. de A. **Desenvolvimento de metodologia para escolha de plantas apropriadas para implementação de cortinas verdes.** 2022. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2022.

KARIMI, K.; FARROKHZAD, M.; ROSHAN, G.; AGHDASI, M. Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas. **Energy and Buildings**, v. 262, 2022.

KNAP, F. **Wikiart: visual art encyclopedia.** Disponível em: https://www.wikiart.org/en/ferdinand-knab/hanging-gardens-of-babylon-1886. Acesso em: 26 out. 2023.

KÖHLER, M. Green facades – a view back and some visions. **Urban Ecosystems,** v. 11, 2008.

KOKOGIANNAKIS, G.; DARKWA, J.; BADEKA, S.; YILIN, L. Experimental comparison of green facades with outdoor test cells during a hot humid season. **Energies and Buildings**, v. 185, 2019.

KULEKDJIAN, F. **Edifício MA 4519/ Arqtipo.** Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/917828/edificio-ma-4519-arqtipo. Acesso em: 25 ago. 2024.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MADRE, F.; CLERGEAU, P.; MACHON, N.; VERGNES, A. Building biodiversity: vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages. **Global Ecology and Conservation**, v. 3, 2015.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: a review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 41, 2015.

MANZANERO, J. **De la fachada al vallado vegetal en un solo passo.** Disponível em: https://ecoesmas.com/de-la-fachada-al-vallado-vegetal-en-un-solo-paso/. Acesso em: 25 ago. 2024.

MARCATO, A.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Utilização de empena verde na melhoria do ambiente no entorno do elevado Presidente João Goulart/SP: o caso do Edifício Huds. *In:* Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 5, 2016, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: São Paulo, 2016.

MARCHIORETTO, J.; PEREIRA JUNIOR, A. C.; NOZAWA, I. A.; FONTES, M. S. G. C. Fachadas Verdes: potencial de sombreamento e atenuação solar da espécie *Merremia dissecta*. *In:* Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído | Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído de São Paulo, 17 | 13, 2023, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: São Paulo, 2023.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana.** 3 ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2010.

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

MICHAELIS. **Turfa.** Disponível em: https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/turfa#:~:text=Ecol%20Densa%20camada%20de%20tecido,de%20carv%C3%A3o%20e%20como%20fertilizante. Acesso em: 20 set. 2024.

MICROSOFT EXCEL. Versão: 2101. Microsoft Corporation, 2016.

MORELLI, D. D. O. **Paredes verdes:** vegetação como qualidade ambiental no espaço construído. 2009. Dissertação (Metrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MOVIMENTO 90°. **Primeiro jardim vertical nos arredores do Minhocão está prestes a ser construído – Vista de cima do Minhocão:** Jardins verticais nas empenas dos edifícios. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/772898/primeiro-jardim-vertical-nos-arredores-do-minhocao-esta-prestes-a-ser-concluido/55e5d53fe58ece031300028b-primeiro-jardim-vertical-nos-arredores-do-minhocao-esta-prestes-a-ser-concluido-imagem. Acesso em: 24 ago. 2024.

MUNIZ, H. J. T. **Projeto Colecionando Frutas.** Disponível em: https://www.colecionandofrutas.com.br/. Acesso em: 03 out. 2023.

MUÑOZ, L. S.; CRUCIOL-BARBOSA, M; FONTES, M. S. G. C.; FARIA, J. R. G. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção,** Campinas, SP, v. 10, p. e019013, 2019.

MUÑOZ, L. S. **Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta:** estudos com diferentes espécies de trepadeiras. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.

NEPOMOCENO, T. A. R.; PIETROBON, A. J. Aspectos gerais do melão de São Caetano (*Momordica charantia L.*). *In:* Semana Acadêmica de Agronomia, 12., 2018, Santa Maria. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2018. p.111 - 114.

NETO, M. J.; MALUF, A. C. D.; BOSCAINE, T. F. Plantas ruderais com potencial alimentício. *In:* Agroecol, 2, 2016. **Anais [...].** Dourados: UFMS, 2016.

OLIVEIRA, J. R. de. Potencial de crescimento, sombreamento e atenuação solar de fachadas verdes com plantas trepadeiras nativas: estudo com a espécie *Ipomoea cairica*. *In:* Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 36, 2024. **Anais [...].** Bauru: UNESP, 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) BRASIL. **ODS:** 13 ação contra a mudança global do clima. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13. Acesso em: 01 jul. 2023.

OSMOND, P.; SHARIFI, E. **Guide to urban cooling strategies.** Low carbono living (CRC), 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318982885_Guide_to_Urban_Cooling_Strategies. Acesso em: 27 out. 2023.

OYAMA, L. S.; PAGLIARINI, M. K.; BUSCHIERI, C. M.; SANTOS, P. L. F. dos; CASTILHO, R. M. M. de. Vertical gardens: manufacturing materials proposal. **Research, Society and Development,** v. 10, 2021.

PADOVAN, L. D. G. **Desempenho térmico de jardins verticais extensivos:** estudo com uso da trepadeira *Ipomoea horsfalliae*. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2020.

PAST STATISTICAL ANALYSIS. Versão: 4.03. Oyvind Hammer, 2001.

PEREIRA JUNIOR, A. C. **Atenuação da radiação solar por fachadas verdes indiretas com diferentes camadas:** estudo com a espécie *Distimake dissectus* (Jacq.) A. R. Simões & Staples. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2024.

PÉREZ, G.; COMA, J.; CHÀFER, M.; CABEZA, L. F. Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green facade. **Building and Environment**, v. 207, 2022.

PÉREZ, G.; COMA, J.; MARTORELL, I.; CABEZA, L. F. Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, 2014.

PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; CABEZA, L. F. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf área index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, v. 187, 2017.

PETRONGARI, F. S.; SIMÕES, A. R. ***Distimake dissectus* (Jacq.) A.R. Simões & Staples.** Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/BemVindoConsultaPublicaConsultar.do?invalidatePageControlCounter=&idsFilhosAlgas=&idsFilhosFungos=&lingua=&grupo=&familia=null&genero=&especie=&autor=&nomeVernaculo=&nomeCompleto=CONVOLVULACEAE+Distimake+dissectus+(Jacq.)+A.R.+Sim%C3%B5es+&+Staples&formaVida=null&substrato=null&ocorreBrasil=QUALQUER&ocorrencia=OCORRE&endemismo=TODOS&origem=TODOS&regiao=QUALQUER&estado=QUALQUER&ilhaOceanica=32767&domFitogeograficos=QUALQUER&bacia=QUALQUER&vegetacao=TODOS&mostrarAte=SUBESP_VAR&opcoesBusca=TODOS_OS_NOMES&loginUsuario=Visitante&senhaUsuario=&contexto=consulta-publica. Acesso em: 24 set. 2024.

QGIS. Versão 3.30.1. QGIS Development Team, 2023.

R7. **Em SP, retirada de jardins verticais do Minhocão expõe fracasso de corredor verde:** Remoção custará R$657,2 mil com projeto que prometia 40 intervenções. Último remanescente seguirá no entorno do elevado. Disponível em: https://noticias.r7.com/sao-paulo/em-sp-retirada-de-jardins-verticais-do-minhocao-expoe-fracasso-de-corredor-verde-24102022/. Acesso em: 07 set. 2024.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas:** um guia de sobrevivência para o século XXI. Tradução de Alexandre Salvaterra. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROCHA, G. C. **Jardins verticais em áreas urbanas – intervenção em viadutos:** Estudo de caso Viaduto B (Sarah Kubitschek). 2017. Monografia (Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

RODRIGUES, L. A. **Técnicas e tecnologias para implementar paredes verdes externas em edifícios residenciais e comerciais na cidade de São Paulo.** 2017. Dissertação (Mestrado em Habitação, Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2017.

RODRIGUES, R. S. R. **Jardins verticais:** utilização para fins terapêuticos. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagista) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.

RUPASINGHE, H. T.; HALWATURA, R. U. Benefits of implementing vertical greening in tropical climates. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 53, 2020.

SALISBURY, A.; BLANUSA, T.; BOSTOCK, H.; PERRY, J. N. Careful plant choice can deliver more biodiverse vertical greening (green façades). **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 89, 2023.

SCHERER, M. J.; ALVES, T. S.; REDIN, J.; Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de Arquitetura IMED,** v. 7, 2018.

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

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Arquitetura e paisagismo vertical: alternativa estética e de qualificação ambiental. **Vitruvius,** v.188, n.03, 2016.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Bauru.** Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/areas-protegidas/estacoes-experimentais/bauru/#:~:text=Clima%3A%20Clima%20do%20tipo%20CWa,mais%20quentes%2026%C2%B0C. Acesso em: 20 jan. 2023.

SHARP, R.; SABLE, J.; BERTRAM, F.; MOHAN, E.; PECK, S. **Introduction to Green Walls:** technology, benefits & design. *In:* Green Roofs for Healty Cities, 2008. Disponível em: https://www.calameo.com/read/00135160798c31a1b7998. Acesso em: 25 jul. 2023.

SHEWEKA, S. M.; MOHAMED, N. M. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. **Energy Procedia**, v. 18, 2012.

SHUHAIMI, N. D. A. M.; ZAID, Z. M.; ESFANDIARI, M.; LOU, E.; MAHYUDDIN, N. The impact of vertical greenery system on building termal performance in tropical climates. **Journal of Building Engineering,** v. 45, 2022.

SILVA, A. F.; JATOBÁ, L. **Estrutura e dinâmica atual de paisagens.** Ananindeua: Itacaiúnas, 2017.

SILVA, P. W. S. **O impacto das fachadas verdes nos microclimas urbanos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SILVEIRA, G. W. P. de; PADOVAN, L. D. G.; FONTES, M. S. G. de C. Fachada verde e conforto térmico em escritório universitário. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades,** v. 7, 2019.

SKETCHUP. Versão: 19.0.685. Trimble, 2019.

SORTE, P. D. B. **Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do cerrado.** 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUSA, L. R. **Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2020.

SUSOROVA, I.; ANGULO, M.; BAHRAMI, P.; STEPHENS, B. A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall termal performance. **Building and Environment**, vol. 67, p. 1-13, set. 2013.

THOMSIT, F. T.; ESSAH, E. A.; HADLEYC, P.; BLANUSA, T. The impact of green facades and vegetative cover on the temperature and relative humidity within model buildings. **Building and Environment**, v. 181, 2020.

VALE, V. S. **Área Foliar com ImageJ.** YouTube, 26 de outubro de 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oAjxZxdct4A. Acesso em: 25 nov. 2023.

VIRTUDES, A. Benefits of greenery in contemporary city. *In:* Earth and Environmental Science, 44, 2016, São Francisco. **Conference Proceedings** [...] São Francisco: IOP Science, 2016.

VOX, G.; BLANCO, I.; CONVERTINO, F.; SCHETTINI, E. Heat transfer reduction in Building envelope with green façade system: A year-round balance in Mediterranean climate conditions. **Energy & Buildings**, v. 274, 2022.

WEERAKKODY, U.; DOVER, J. W.; MITCHELL, P.; REILING, K. 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**, vol. 17, 2017.

WIDIASTUTI, R.; CAESARENDRA, W.; PRIANTO, E.; BUDI, W. S. Study of the leaves densities as parameter for effectiveness of energy transfer on the green facade. **Buildings**, v. 8, 2018.

WIKIART VISUAL ART ENCYCLOPEDIA. **Hanging Gardens of Babylon.** Disponível em: https://www.wikiart.org/en/ferdinand-knab/hanging-gardens-of-babylon-1886. Acesso em: 26 out. 2023.

WOLDER, S; DIEBEL, J.; SCHROEDER, G. Development of hydroponic systems for urban facade greenery. **ISHS Acta Horticulturae,** 843, 2009.

WOLFENSON, H. **Jardim vertical: como montar e que plantas usar? Via movimento 90°.** Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/880962/como-sao-montados-os-jardins-verticais/59d54ec0b22e38daca00000e-como-sao-montados-os-jardins-verticais-imagem. Acesso em: 25 ago. 2024.

YU, C.; HIEN, W. N. A green experiment conducted in the tropical climate. *In:* 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2006, Genveva. **Anais [...].** Suiça: PLEA, 2006.

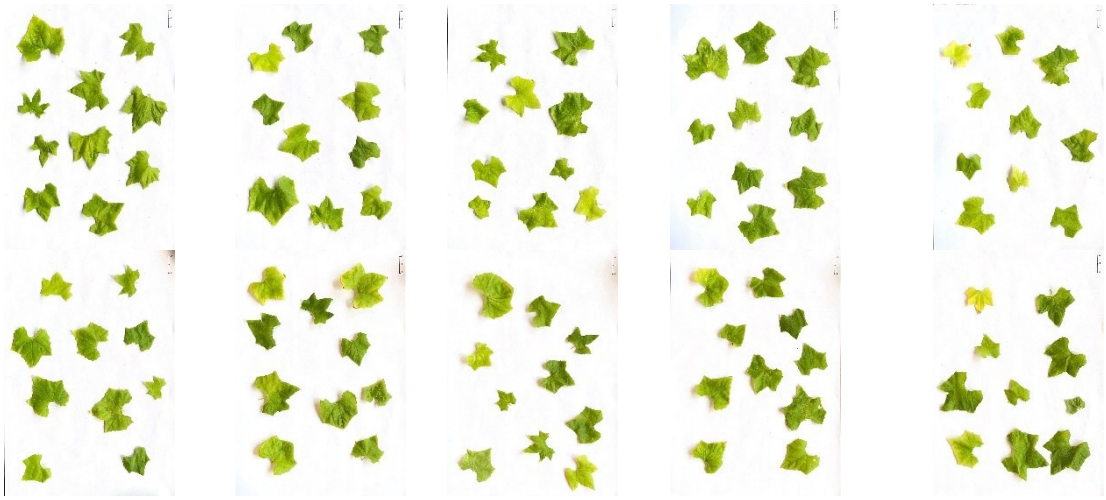
ZHENG, X.; DAI, T.; TANG, M. An experimental study of vertical greenery systems for window shading for energy saving in summer. **Journal of Cleaner Production**, v. 259, 2020.

APÊNDICES

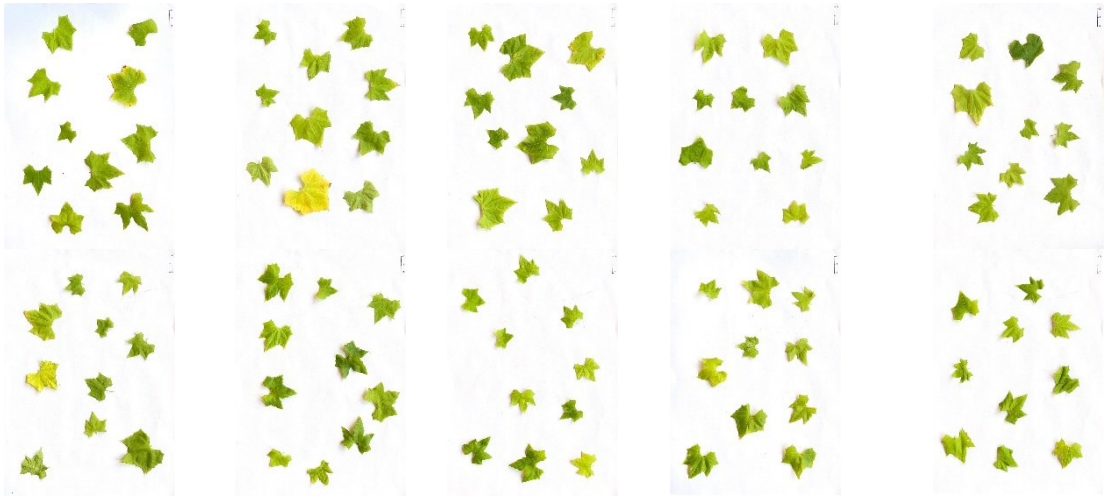
APÊNDICE 01
Folhas Escaneadas

Folhas Escaneadas da *Melothria cucumis Vell*. (Pepininho do Mato).

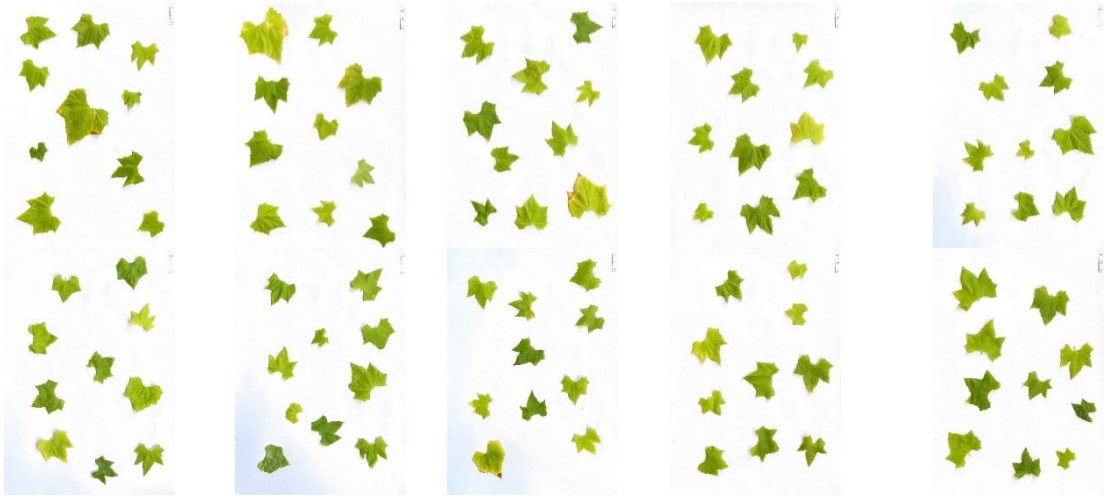
Folhas Superiores



Folhas Intermediárias



Folhas Inferiores



Folhas Escaneadas da *Momordica charantia L.* (Melãozinho de São Caetano).

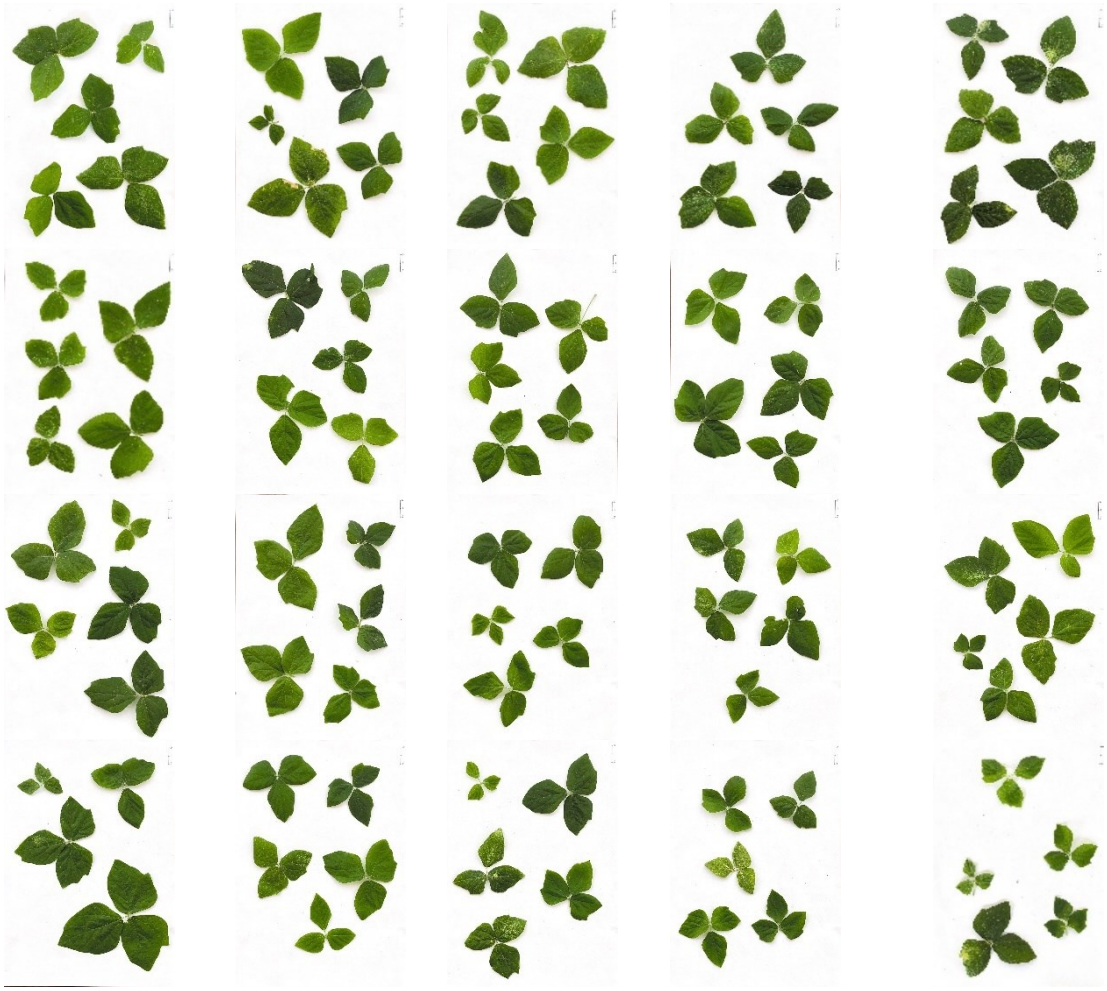
Folhas Superiores

Folhas Intermediárias

Folhas Inferiores

Folhas Escaneadas do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (Feijão de Rolinha).

Folhas Superiores



Folhas Intermediárias

Folhas Inferiores

APÊNDICE 02

Valores da Radiação Solar Coletados

Dados de Radiação Solar da *Melothria cucumis Vell*. (Pepininho do Mato).

Monitoramento do dia 10 de julho de 2023.

13h - 25,8°C e umidade 58%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	87,6	193,7
2	67,2	210,3
3	49,8	174,9
4	47,1	173,4
5	50,4	180,2
Média	60,42	186,5

14h - 27,1°C e umidade 50%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	129,4	158
2	68,4	147,6
3	74,6	254
4	67	265,7
5	52,5	165,7
Média	78,38	198,2

15h - 27,5°C e umidade 46%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	92,8	256,7
2	82,4	241,9
3	96,9	312,6
4	68,4	279,9
5	69,4	299,3
Média	81,98	278,08

16h - 28°C e umidade 44%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	138,5	189
2	118,7	231,4
3	183,4	203,5
4	36,5	129,9
5	37,7	169,5
Média	102,96	184,66

Monitoramento do dia 11 de julho de 2023.

13h - 29,6°C e umidade 34%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	63,7	355,1
2	56	361,4
3	42,7	283,4
4	43,1	232,3
5	54,5	271,9
Média	52	300,82

14h - 30,1°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	118,7	506,2
2	231,9	472,9
3	75,3	433,7
4	80	414,3
5	104	436,2
Média	121,98	452,66

15h - 29,6°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	118,4	531,6
2	186,9	609,1
3	109,2	418,4
4	114,2	461,5
5	111,4	508
Média	128,02	505,72

16h - 29,2°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	105,5	528,9
2	153,5	580,3
3	126,5	514,7
4	74,9	116,1
5	126,1	557,3
Média	117,3	459,46

Monitoramento do dia 12 de julho de 2023.

13h - 27,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	67,8	206,5
2	53,6	149,7
3	39,8	179,3
4	41,2	180
5	59	205,9
Média	52,28	184,28

14h - 29,2°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	128,1	528,6
2	272,2	439,1
3	79,7	352
4	88,2	414,2
5	102,4	385,6
Média	134,12	423,9

15h - 28,6°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	473,3	622,3
2	121,7	559,7
3	299,1	514,8
4	118,4	517,4
5	130,8	518,7
Média	228,66	546,58

16h - 28,7°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	460,7	567
2	505	612,9
3	180,7	427,2
4	92,8	353,6
5	108	532,5
Média	269,44	498,64

Monitoramento do dia 14 de julho de 2023.

13h - 18,2°C e umidade 47%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	55,4	228,9
2	57,2	220,7
3	51,6	105,4
4	46,6	159,3
5	54,9	156,8
Média	53,14	174,22

14h - 18,4°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	150,9	456,9
2	101,6	486,1
3	102,7	289,5
4	95,9	355,5
5	109,8	375,3
Média	112,18	392,66

15h - 19,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	391,2	573,3
2	329,2	599,3
3	155,7	453,1
4	113,9	451,2
5	114,9	553,3
Média	220,98	526,04

16h - 19°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	400,3	689,1
2	544	746,5
3	445	663,4
4	125,8	295,1
5	121	716
Média	327,22	622,02

Monitoramento do dia 19 de abril de 2024.

13h - 25°C e umidade 62%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	71,2	241,7
2	71,5	274,4
3	88,8	232,3
4	100,9	276
5	83,5	218,7
Média	83,18	248,62

14h - 25,8°C e umidade 59%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	105,7	395
2	91,2	332,4
3	122,8	482,8
4	114,8	523,6
5	119,9	459,5
Média	110,88	438,66

15h - 26,6°C e umidade 53%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	121,1	692,1
2	105,2	594,5
3	153,1	627,9
4	148,3	582,4
5	134,1	626,8
Média	132,36	624,74

16h - 26,6°C e umidade 51%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	150,7	719,6
2	133,3	795,5
3	244,4	751,2
4	482,9	746,7
5	704,2	740,5
Média	343,1	750,7

Monitoramento do dia 07 de maio de 2024.

13h - 31,5°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	59,7	261,1
2	72,1	266,8
3	87,4	223,6
4	97,1	242
5	59,3	224,6
Média	75,12	243,62

14h - 31,6°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	64,4	471,1
2	107,7	416,7
3	129	461,1
4	120,8	479,9
5	125,5	302
Média	109,48	426,16

15h - 31,3°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	110,1	528,3
2	164,2	570,7
3	93,9	588,3
4	88,5	553
5	78	586,8
Média	106,94	565,42

16h - 29,7°C e umidade 47%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	129,7	599
2	83,9	603
3	113,4	595,5
4	94,5	541,6
5	95,9	609,3
Média	103,48	589,68

Monitoramento do dia 08 de maio de 2024.

13h - 30,5°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	63,4	231,1
2	70,2	205,3
3	81,1	261,7
4	90,1	213
5	69,6	249,6
Média	74,88	232,14

14h - 31,6°C e umidade 39%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	104,2	414,2
2	106,8	435,8
3	136,1	529,9
4	126,7	438,2
5	117,8	462,3
Média	118,32	456,08

15h - 31,3°C e umidade 37%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	114,9	623,3
2	119,9	598,8
3	125,3	676,1
4	130,1	679,4
5	120,7	633,3
Média	122,18	642,18

16h - 29,8°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	126,1	658,1
2	133,7	635,9
3	117,5	669,3
4	115,4	612
5	122,7	661
Média	123,08	647,26

Monitoramento do dia 09 de maio de 2024.

13h - 30,8°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	67,8	352,8
2	70,5	232,3
3	74	223,6
4	134	229,8
5	74,6	352,5
Média	84,18	278,2

14h - 31,5°C e umidade 30%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	83,2	382
2	86,6	370,8
3	115,1	378,3
4	128,4	400
5	111,6	387,1
Média	104,98	383,64

15h - 31,8°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	131,7	737,9
2	135,6	819,2
3	227,2	695,4
4	357,7	677
5	294	657,5
Média	229,24	717,4

16h - 30,8°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	28,6	149,7
2	40,6	82,3
3	19,4	53,6
4	24,7	48
5	23,8	49
Média	27,42	76,52

Dados de Radiação Solar da *Momordica charantia L.* (Melãozinho de São Caetano).

Monitoramento do dia 10 de julho de 2023.

13h - 25,8°C e umidade 58%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	46,8	137,4
2	51,9	183,8
3	51,1	92,5
4	40,4	157,8
5	31,3	203,5
Média	44,3	155

14h - 27,1°C e umidade 50%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	44,5	165,8
2	41,8	135,6
3	29,8	106,8
4	44,8	103,9
5	38,9	140
Média	39,96	130,42

15h - 27,5°C e umidade 46%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	64	207,4
2	51,3	182,8
3	44,2	201,4
4	57,5	164
5	52,3	195,2
Média	53,86	190,16

16h - 28°C e umidade 44%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	64,6	175,1
2	68,1	265
3	31,6	185,9
4	43,6	96,3
5	42,4	112,8
Média	50,06	167,02

Monitoramento do dia 11 de julho de 2023.

13h - 29,6°C e umidade 34%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	44,2	264,8
2	37,1	221,6
3	37,4	269,5
4	34,4	271,9
5	32,2	246,9
Média	37,06	254,94

14h - 30,1°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	81,2	335,9
2	76,8	365,5
3	77,3	403,3
4	65	448,8
5	62,8	375,6
Média	72,62	385,82

15h - 29,6°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	105,7	505,4
2	97,4	501,2
3	167,4	522,7
4	84,8	348,6
5	85,3	481,9
Média	108,12	471,96

16h - 29,2°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	142,7	478,8
2	109,6	554,9
3	54,6	177,6
4	33,8	360,8
5	56,6	47,5
Média	79,46	323,92

Monitoramento do dia 12 de julho de 2023.

13h - 27,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	39,2	130,3
2	36,9	250,8
3	39,5	174,2
4	35,1	272,2
5	27,6	153,3
Média	35,66	196,16

14h - 29,2°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	62,6	333,5
2	49,2	372,1
3	92,4	368,4
4	71,8	405,4
5	47,2	373,4
Média	64,64	370,56

15h - 28,6°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	130,6	623,8
2	127,5	561,2
3	109,8	513,9
4	231,6	495,6
5	236,1	519
Média	167,12	542,7

16h - 28,7°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	451,2	597,2
2	120,1	542
3	75,8	467,2
4	51	61,1
5	497,3	461,3
Média	239,08	425,76

Monitoramento do dia 14 de julho de 2024.

13h - 18,2°C e umidade 47%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	30,7	147
2	41,9	162,8
3	36,2	96
4	35,9	82,9
5	31,5	145,3
Média	35,24	126,8

14h - 18,4°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	75,5	344,9
2	91,5	320,5
3	91,3	264,2
4	67,9	293,1
5	171,6	356
Média	99,56	315,74

15h - 19,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	121,9	532,2
2	130,2	594,5
3	304,1	521,2
4	63,2	56
5	412	509,8
Média	206,28	442,74

16h - 19°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	270,3	662,2
2	286,9	695,3
3	153,9	675,3
4	51,3	139,7
5	616,7	604,9
Média	275,82	555,48

Monitoramento do dia 19 de dezembro de 2023.

13h - 31,7°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	52,9	283
2	51,9	340,4
3	34,2	203,2
4	28,8	184,6
5	35,7	179,9
Média	40,7	238,22

14h - 33,2°C e umidade 34%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	111,3	460,1
2	125,2	520,6
3	57,2	393,8
4	49,2	412,2
5	56,9	444,7
Média	79,96	446,28

15h - 33,9°C e umidade 33%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	135,3	604
2	138	645,7
3	95,9	587,1
4	80,3	547,3
5	108,9	556,1
Média	111,68	588,04

16h - 34,3°C e umidade 30%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	150	743,2
2	207,7	718,1
3	106,8	688,8
4	96	671,2
5	116,9	709,5
Média	135,48	706,16

Monitoramento do dia 20 de dezembro de 2023.

13h - 30,9°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	57,8	237,2
2	57,2	249,9
3	40	200,8
4	32,1	248,4
5	41,3	251,2
Média	45,68	237,5

14h - 31,8°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	124,4	404,8
2	110,4	389,1
3	62,9	467,5
4	52,9	434,3
5	73	350,8
Média	84,72	409,3

15h - 33,9°C e umidade 24%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	164,8	639,9
2	128,1	542,8
3	93,6	537,2
4	76,2	552,3
5	93,1	590,7
Média	111,16	572,58

16h - 33,7°C e umidade 27%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	227,4	723,7
2	153,5	698,1
3	115,4	734
4	82,4	648,3
5	118,2	675,3
Média	139,38	695,88

Monitoramento do dia 08 de janeiro de 2024.

13h - 33,8°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	48,3	216,8
2	42,5	281,5
3	27,6	229,8
4	23,9	206,2
5	39,2	207,6
Média	36,3	228,38

14h - 34,9°C e umidade 37%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	98,6	397,8
2	81,4	359,1
3	37,5	417,8
4	34,2	342,2
5	56,3	368,1
Média	61,6	377

15h - 35,6°C e umidade 37%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	145,6	572,7
2	127,9	542,2
3	62,6	600,4
4	56,1	590,8
5	94,7	558
Média	97,38	572,82

16h - 36,1°C e umidade 34%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	159,8	534,8
2	143,2	569,5
3	78,8	740,3
4	65,5	734,4
5	103,9	687,9
Média	110,24	653,38

Monitoramento do dia 09 de janeiro de 2024.

13h - 31,6°C e umidade 51%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	52,5	269,7
2	51,9	368,1
3	33	271
4	25,3	267,9
5	33,3	241,9
Média	39,2	283,72

14h - 33,3°C e umidade 48%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	90,9	464,9
2	74,3	387,4
3	37,8	414,8
4	31,8	365,5
5	46	305,6
Média	56,16	387,64

15h - 33,6°C e umidade 45%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	130	606,1
2	119,9	552,7
3	65,8	601,3
4	53,4	588,7
5	77	493,5
Média	89,22	568,46

16h - 33,2°C e umidade 43%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	148,8	677,9
2	140,5	651,9
3	77,9	727,6
4	62,5	729
5	97,1	636,2
Média	105,36	684,52

Dados de Radiação Solar do *Macroptilium lathyroides (L.) Urb.* (Feijão de Rolinha).

Monitoramento do dia 10 de julho de 2023.

13h - 25,8°C e umidade 58%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	58,4	205,4
2	68,2	227,1
3	47,5	93,5
4	78,3	98
5	60,7	121
Média	62,62	149

14h - 27,1°C e umidade 50%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	37,1	170,8
2	54,2	112,8
3	48,6	102,7
4	63,2	141,1
5	48,6	117,5
Média	50,34	128,98

15h - 27,5°C e umidade 46%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	48	232,9
2	63,7	217,2
3	52,8	133,4
4	58,2	185,2
5	52,5	171,7
Média	55,04	188,08

16h - 28°C e umidade 44%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	50,4	148,5
2	63,4	165,7
3	48,9	210,9
4	60,8	200
5	40,7	119,1
Média	52,84	168,84

Monitoramento do dia 11 de julho de 2023.

13h - 29,6°C e umidade 34%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	55,1	249,7
2	63,7	242,2
3	33	185,6
4	59,1	307,9
5	58,8	223,4
Média	53,94	241,76

14h - 30,1°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	87	464,6
2	85,3	492,1
3	76,1	350,4
4	62,8	370,2
5	76,4	316,4
Média	77,52	398,74

15h - 29,6°C e umidade 31%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	92,2	524,9
2	96,3	599,9
3	111	237,5
4	98,9	494,6
5	94,4	525,1
Média	98,56	476,4

16h - 29,2°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	67,5	53,4
2	142,3	559,4
3	72,3	100,3
4	98,6	532,3
5	65,9	41,8
Média	89,32	257,44

Monitoramento do dia 12de julho de 2023.

13h - 27,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	50,7	132,7
2	56,3	325
3	35	56,1
4	62,2	183,3
5	53,8	147,7
Média	51,6	168,96

14h - 29,2°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	53,1	376,4
2	69,6	382,4
3	63,2	321,4
4	84,1	273,8
5	211,3	317,6
Média	96,26	334,32

15h - 28,6°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	103,6	613,7
2	94,2	557
3	93,5	457,4
4	131,4	423,7
5	139,7	508
Média	112,48	511,96

16h - 28,7°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	71,4	490,5
2	157,8	585,7
3	291,3	461,9
4	318,5	444,5
5	79,1	69
Média	183,62	410,32

Monitoramento do dia 14 de julho de 2023.

13h - 18,2°C e umidade 47%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	45,1	138,3
2	51,3	262,6
3	44,3	66,9
4	69,9	57,8
5	44,3	231,9
Média	50,98	151,5

14h - 18,4°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	61,3	430,2
2	86,8	527,7
3	283	210,4
4	93,5	283,9
5	262,7	378,3
Média	157,46	366,1

15h - 19,1°C e umidade 40%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	77,6	507,4
2	91,3	640,3
3	105,8	246,9
4	100,4	207,1
5	86,4	601,9
Média	92,3	440,72

16h - 19°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	73,3	663,5
2	93,3	661,4
3	130,5	565,9
4	793	508,5
5	59,7	29,4
Média	229,96	485,74

Monitoramento do dia 03 de outubro de 2023.

13h - 31,9°C e umidade 53%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	47,5	288,3
2	41,2	110,5
3	48,6	287,4
4	66,1	336,9
5	47,1	226,9
Média	50,1	250

14h - 33°C e umidade 46%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	90,4	498,8
2	78,8	651
3	91,6	472,8
4	111,3	574,1
5	84,1	406,1
Média	91,24	520,56

15h - 34,1°C e umidade 44%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	121	625,6
2	70,5	539,3
3	96,6	645,5
4	113,9	701,2
5	122,2	528,9
Média	104,84	608,1

16h - 32,9°C e umidade 46%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	185,5	664,4
2	108,7	669,9
3	169,6	641,6
4	153	727,6
5	143,8	620
Média	152,12	664,7

Monitoramento do dia 07 de maio de 2024.

13h - 31,5°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	59,1	130,2
2	84,4	163,1
3	91,3	216,2
4	67,3	173,2
5	65	217,5
Média	73,42	180,04

14h - 31,6°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	94,4	391,3
2	108,1	450,1
3	114,9	340
4	84,7	346,6
5	86,5	411,1
Média	97,72	387,82

15h - 31,3°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	136,7	579,3
2	127,5	615,6
3	145,4	675,2
4	134,6	614,1
5	136,7	638,9
Média	136,18	624,62

16h - 29,7°C e umidade 47%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	113,9	575
2	94,5	605,8
3	65,5	495,2
4	73,4	561,2
5	90,4	442
Média	87,54	535,84

Monitoramento do dia 08 de maio de 2024.

13h - 30,5°C e umidade 41%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	60,1	171,3
2	80,3	202,1
3	82,6	181
4	64,1	179,7
5	61,7	221
Média	69,76	191,02

14h - 31,6°C e umidade 39%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	94,8	396
2	102,4	426,6
3	89,1	472
4	82,3	405,5
5	89,8	364,4
Média	91,68	412,9

15h - 31,3°C e umidade 37%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	110,1	624,5
2	123,7	614,3
3	100,1	534,6
4	103,3	621,7
5	95,1	629,1
Média	106,46	604,84

16h - 29,8°C e umidade 42%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	117,8	563,6
2	101,6	620,8
3	106,5	606,7
4	123,1	622,6
5	108,4	560,8
Média	111,48	594,9

Monitoramento do dia 09 de maio de 2024.

13h - 30,8°C e umidade 38%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	64,3	348,9
2	95,7	280,3
3	98	218,4
4	68,4	100,9
5	82,7	180,8
Média	81,82	225,86

14h - 31,5°C e umidade 30%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	83	332,5
2	107,7	357,6
3	105,8	405,4
4	98,3	357
5	99,6	187,2
Média	98,88	327,94

15h - 31,8°C e umidade 32%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	128,5	645,2
2	142,7	704,8
3	514,1	331
4	109	645,7
5	415,2	680,2
Média	261,9	601,38

16h - 30,8°C e umidade 35%.		
Pontos	**Interior (W/m²)**	**Exterior (W/m²)**
1	24,4	72,6
2	18,8	85,9
3	16,8	40,3
4	20,3	42,8
5	23,6	47,2
Média	20,78	57,76