



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MURILO CRUCIOL BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TÉRMICA DE UM JARDIM VERTICAL DE
TIPOLOGIA PAREDE VIVA CONTÍNUA**

BAURU

2019



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MURILO CRUCIOL BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TÉRMICA DE UM JARDIM VERTICAL DE
TIPOLOGIA PAREDE VIVA CONTÍNUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", câmpus de Bauru, como requisito final para a obtenção do título de Mestre.

Orientador(a): Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

BAURU

2019

Cruciol-Barbosa, Murilo.

Avaliação da Influência Térmica de um Jardim
Vertical de Tipologia Parede Viva Contínua / Murilo
Cruciol Barbosa, 2019
169 f.

Orientadora: Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e
Comunicação, Bauru, 2019

1. Jardim vertical. 2. Sistema de Parede Viva. 3.
Influência Térmica. 4. Temperatura superficial. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de MURILO CRUCIOL BARBOSA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 26 dias do mês de agosto do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Auditório dos Programas de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES - Orientador(a) do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru, Professora Titular LUCILA CHEBEL LABAKI do(a) Departamento de Arquitetura e Construção / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de MURILO CRUCIOL BARBOSA, intitulada **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TÉRMICA DE UM JARDIM VERTICAL DE TIPOLOGIA PAREDE VIVA CONTÍNUA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES

Prof. Dr. MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA

Professora Titular LUCILA CHEBEL LABAKI

M. Solange G. de C. Fontes

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Lucila Chebel Labaki

AGRADECIMENTOS

A caminhada para chegar a este trabalho foi longa, difícil e por vezes desgastante. A ousadia em mudar de área e o desafio de aprender a reaprender, de se expor ao julgamento e de se provar merecedor. Por isso, agradeço primeiramente a Deus que esteve ao meu lado me dando força e me ensinando a ter paciência e fazer cada coisa no seu tempo.

Agradeço à Profa. Solange, que confiou em mim e me acompanhou ao longo dessa jornada compartilhando comigo as dificuldades e alegrias e sendo não apenas a minha orientadora, mas uma grande amiga e mãe. Deixo o pedido para que ela continue sendo essa pessoa maravilhosa e de coração imenso que entende o lado do aluno antes de exigir os números. Que Deus abençoe grandemente a sua vida, profa. Solange, e lhe dê em dobro todo o amor que você nos dá.

Agradeço, também, a minha amiga e patroa Eneida Rosa Lima que me incentivou desde o início a fazer este mestrado, sempre se mostrou interessada sobre a pesquisa e foi compreensiva com todas as vezes que precisei estar ausente no escritório.

Agradeço ao meu namorado João Henrique Pelissari que foi a minha fortaleza e me ajudou em tudo o que eu precisei desde o processo seletivo: Eu te amo. À Luiza, amiga que o mestrado me deu e que acreditou no tema jardins verticais e encarou junto comigo o desafio de entender mais essas tecnologias.

À UNESP que me concedeu toda a estrutura física necessária para a construção do experimento e à equipe de manutenção que resolveu prontamente todos os problemas relacionados à disponibilidade de água para irrigação.

Agradeço ao Prof. Dr. Maximiliano que me ajudou com a parte estatística e à Patrícia Malini e ao Fred por todo suporte com o jardim. E à minha família que mesmo distante e sem entender muito bem o que esse biólogo estava fazendo na Arquitetura e Urbanismo, me apoiaram e me incentivaram sempre.

Nós, jovens pesquisadores, precisamos de oportunidade e confiança. Agradeço a todos que me deram esses dois itens, vocês contribuíram para reacender o amor pela pesquisa de um futuro pesquisador e professor universitário.

OBRIGADO

RESUMO

O jardim vertical é todo sistema que permite o crescimento e o desenvolvimento da vegetação em superfícies verticalizadas. A parede viva é o tipo de jardim vertical que demanda maior tecnologia de produção e instalação e o seu modelo “parede viva contínua” é constituída por camadas (perfis metálicos, placas estruturantes, feltro, substrato e vegetação) que junto com uma cavidade de ar existente entre o jardim e a edificação funciona como uma proteção contra radiação solar incidente. A influência térmica da parede viva ocorre pela ação de quatro mecanismos que atuam em conjunto: sombreamento, isolamento térmico, barreira de vento e resfriamento evapotranspirativo. O mecanismo de sombreamento ocorre pela ação do sistema de jardim vertical que sombreia a superfície da parede e impede a incidência solar direta, sendo um dos mais importantes na influência térmica do jardim. Além disso, por meio do mecanismo evapotranspirativo, o jardim também influencia o microclima do seu entorno imediato. Assim, o presente projeto objetivou identificar o impacto de um jardim vertical de tipologia “parede viva contínua” na redução das temperaturas superficiais de uma parede e nos microclimas do seu entorno imediato (temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média), em diferentes condições de tempo. Para isso, foi construída um jardim experimental, com delimitação de uma parcela controle. Os resultados mostraram influência significativa do jardim sobre as temperaturas superficiais e o mecanismo de sombreamento foi responsável por uma redução na temperatura superficial externa de no máximo 9,4 °C e 10,6 °C e de 2,8 °C e 2,9 °C da temperatura superficial interna, para condição de tempo “frio e seco” e “quente e úmido”, respectivamente. O jardim também criou um amortecimento térmico para as temperaturas superficiais da parcela protegida em relação à parcela controle de até 8,4 °C e 8,6 °C para temperaturas superficiais externas e 2,7 °C para internas em condições de tempo “frio e seco” e “quente e úmido”, respectivamente. Além disso, o jardim influenciou o seu entorno imediato mantendo o ponto a 0,50 m dele com maiores valores de umidade absoluta e manteve as temperaturas do ar e radiante média menores durante o período sem incidência solar direta em relação à parede controle nos dois períodos de campanha de monitoramento.

Palavras Chaves: Jardim Vertical, Sistema de Parede Viva, Influência térmica, Temperatura superficial.

ABSTRACT

The vertical garden is any system that allows the growth and development of vegetation on vertical surfaces. The living wall is the typology of vertical garden that demands the most production and installation technology and its “continuous living wall” model consists of layers (metal profiles, structural plates, felt, substrate and vegetation) that together with an air cavity between the garden and the building acts as a protection against solar radiation. The thermal influence of the living wall occurs through the action of four mechanisms that act together: shading, thermal insulation, wind barrier and evapotranspiration cooling. The shading mechanism occurs by the action of the vertical garden system that shades the wall surface and prevents direct sunlight, being one of the most important in the thermal influence of the vertical garden. In addition, through the evapotranspiration mechanism, the vertical garden also influences the microclimate of its immediate surroundings. Thus, the present project aimed to identify the impact of a vertical garden of “continuous living wall” typology in the reduction of the surface temperatures of a wall and in the microclimates of its immediate surroundings (air temperature, absolute humidity and average radiant temperature), in different weather conditions. For this, an experimental garden was built, with delimitation of a control plot. The results showed a significant influence of the vertical garden on the surface temperatures and the shading mechanism was responsible for a reduction in the external surface temperature of maximum 9.4 ° C and 10.6 ° C and 2.8 ° C and 2.9. ° C of internal surface temperature, for “cold and dry” and “hot and humid” weather conditions, respectively. The garden has also created thermal damping for the protected plot surface temperatures relative to the control plot up to 8.4 ° C and 8.6 ° C for external surface temperatures and 2.7 ° C for internal in “cold and dry” and “hot and humid” weather conditions, respectively. In addition, the vertical garden influenced its immediate surroundings by keeping the point at 0.50 m from it with higher absolute humidity values and maintaining lower average air and radiant temperatures during the period without direct radiation in relation to the control wall in both periods of monitoring campaign.

Keywords: Vertical Garden, Living Wall System, Thermal Behavior, Surface Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Jardins verticais.....	21
Figura 2. Viadutos periféricos da Cidade do México.....	21
Figura 3. Edifício Santalaia.....	22
Figura 4. Jardins Verticais da Avenida 23 de Maio na cidade de São Paulo.....	22
Figura 5. Totens de Bromélias no Sítio Roberto Burle Marx.....	23
Figura 6. Edifício Bosco Verticale.....	25
Figura 7. Classificação dos sistemas de jardins verticais.....	26
Figura 8. Fachada Verde Direta.....	27
Figura 9. Fachada Verde Indireta- Rede de Cabos.....	27
Figura 10. Fachada Verde Indireta- Treliza Modular.....	28
Figura 11. Estrutura construtiva da parede viva contínua.....	30
Figura 12. Detalhe da estrutura final de uma parede viva contínua.....	30
Figura 13. Parede viva modular- Revestimento de Plantio.....	31
Figura 14. Revestimento de plantio em concreto fundido.....	32
Figura 15. Sistema de tabuleiros.....	33
Figura 16. Peças para o plantio da vegetação no sistema de tabuleiros.....	34
Figura 17. Parede viva de vasos de diferentes materiais.....	35
Figura 18. Formas de fixação dos vasos nas estruturas de sustentação.....	35
Figura 19. A parede viva é um ecossistema artificial.....	36
Figura 20. Equipe de manutenção em parede viva.....	39
Figura 21. Distribuição temporal dos trabalhos científicos sobre jardins verticais do tipo “parede viva” (PV)	41
Figura 22. Trocas térmicas no microclima da cavidade de ar.....	44
Figura 23. Sistema térmico resultante da interação entre jardim e ambiente construído e natural.....	45
Figura 24. Etapas Metodológicas.....	50
Figura 25. Planta da sala de exposições com jardins e praça lateral.....	51
Figura 26. Fachadas da sala de exposições.....	52
Figura 27. Projeto do jardim vertical experimental- Jardim instalado e parcelas amostrais delimitadas.....	52
Figura 28. Estrutura da Parede Viva Contínua.....	53
Figura 29. Diagrama de plantio inicial do jardim vertical.....	55
Figura 30. Esquema com a distribuição dos equipamentos em seus respectivos locais de medições na parede.....	57
Figura 31. Médias históricas e diárias das máximas e mínimas para condição de tempo “frio e seco”.....	63
Figura 32. Umidade relativa em condição de tempo “frio e seco”, disponibilizado pelo IPMET.....	63
Figura 33. Radiação solar direta em condição de tempo “frio e seco”, disponibilizado pelo IPMET e monitorado <i>in loco</i> por net radiômetro.....	63
Figura 34. Distribuição dos equipamentos de monitoramento das variáveis relacionadas com mecanismo de sombreamento.....	65
Figura 35. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018.....	66

Figura 36. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018.....	66
Figura 37. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018.....	66
Figura 38. Campo experimental às 09h15min com incidência solar nas parcelas.....	67
Figura 39. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 10/08/2018.....	71
Figura 40. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 11/08/2018.....	71
Figura 41. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 12/08/2018.....	71
Figura 42. Carga térmica das superfícies internas das parcelas com e sem jardim às 11h45min.....	75
Figura 43. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 10/08/2018.....	75
Figura 44. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 11/08/2018.....	76
Figura 45. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 12/08/2018.....	76
Figura 46. Distribuição dos equipamentos de monitoramento das variáveis relacionadas com a influência do jardim no entorno imediato.....	79
Figura 47. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018.....	80
Figura 48. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018.....	80
Figura 49. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018	80
Figura 50. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018.....	84
Figura 51. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018.....	84
Figura 52. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018.....	85
Figura 53. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018.....	87
Figura 54. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018.....	88
Figura 55. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018.....	88
Figura 56. Médias históricas e diárias das máximas e mínimas para condição de tempo “quente e úmido”.....	92
Figura 57. Umidade relativa em condição de tempo “quente e úmido”, disponibilizado pelo IPMET.....	92
Figura 58. Radiação solar direta em condição de tempo “quente e úmido”, disponibilizados pelo IPMET e monitorados <i>in loco</i> por net radiômetro.....	93

Figura 59. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019.....	94
Figura 60. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019.....	94
Figura 61. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019.....	95
Figura 62. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 18/03/2019.....	99
Figura 63. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 19/03/2019.....	99
Figura 64. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 20/03/2019.....	99
Figura 65. Campo experimental às 08h30min com incidência solar nas parcelas com e sem jardim.....	100
Figura 66. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 18/03/2019.....	103
Figura 67. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 19/03/2019.....	103
Figura 68. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 20/03/2019.....	104
Figura 69. Carga térmica das superfícies internas das parcelas com e sem jardim às 08h45min e às 12h45min.....	105
Figura 70. Temperatura do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 18/03/2019.....	106
Figura 71. Temperatura do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 19/03/2019.....	106
Figura 72. Temperatura do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 20/03/2019.....	106
Figura 73. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019.....	109
Figura 74. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019.....	109
Figura 75. Temperatura do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019.....	110
Figura 76. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019.....	113
Figura 77. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019.....	114
Figura 78. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019.....	114
Figura 79. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019.....	117
Figura 80. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019.....	117
Figura 81. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais variáveis monitoradas e mecanismos relacionados com sua variação.....	49
Quadro 2. Lista de materiais para plantio e manutenção da parede viva.....	55
Quadro 3. Relação dos equipamentos utilizados nas campanhas com jardim vertical.....	58
Quadro 4. Pontos amostrais que apresentaram diferença significativa para as médias da umidade absoluta.....	91
Quadro 5. Pontos amostrais que apresentaram diferença estatisticamente significativa das médias da umidade absoluta.....	121
Quadro 6. Síntese dos resultados para o mecanismo de sombreamento para ambas condições de tempo.....	122
Quadro 7. Síntese dos resultados para influência do jardim no entorno imediato para ambas condições de tempo.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Reduções das temperaturas superficiais externas e internas entre as parcelas.....	68
Tabela 2. Variação das temperaturas superficiais no período de medição.....	69
Tabela 3. Influência do jardim sobre a temperatura superficial externa da parcela protegida.....	70
Tabela 4. Influência do jardim sobre a temperatura superficial interna da parcela protegida.....	70
Tabela 5. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas.....	77
Tabela 6. Diferenças máximas dos valores de temperatura do ar entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.....	81
Tabela 7. Máximas, mínimas e variação no período de medição para temperatura do ar (°C)	82
Tabela 8. Diferenças entre as temperaturas máximas do ar em frente ao jardim em relação à parcela controle.....	83
Tabela 9. Máximas, mínimas e variação no período de medição para umidade absoluta do ar (g/Kg)	85
Tabela 10. Valores de Trm máximos, mínimos e variação no período de medição (°C)	89
Tabela 11. Diferenças máximas dos valores de temperatura radiante média entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.....	89
Tabela 12. Análise ANOVA para temperaturas do ar e umidade absoluta.....	90
Tabela 13. Influência do jardim sobre a temperatura superficial externa da parcela protegida.....	96
Tabela 14. Influência do jardim sobre a temperatura superficial interna da parcela protegida.....	96
Tabela 15. Reduções máximas das temperaturas superficiais externas e internas entre as parcelas.....	97
Tabela 16. Variação das temperaturas superficiais no período de medição.....	98
Tabela 17. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas.....	108
Tabela 18. Diferenças máximas dos valores de temperatura do ar entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.	111
Tabela 19. Máximas, mínimas e variação no período de medição para temperatura do ar (°C)	111
Tabela 20. Diferenças entre as temperaturas máximas do ar em frente ao jardim..	112
Tabela 21. Máximas, mínimas e variação no período de medição para umidade absoluta do ar (g/Kg)	114
Tabela 22. Valores de Trm máximos, mínimos e variação no período de medição (°C)	118
Tabela 23. Diferenças máximas dos valores de temperatura radiante média entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.....	119
Tabela 24. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas.....	121

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PVC: policloreto de vinila
PV: parede viva
R: troca de calor radiativa
C: troca de calor convectiva
Co: troca de calor por condução
Es: energia solar incidente no jardim
Tai: temperatura do ar interno
Tae: temperatura do ar externo
Tar: temperatura do ar
Trm: temperatura radiante média
V: velocidade do vento
Tg: temperatura de globo
 ϵ : emissividade
D: diâmetro de globo
Tsej: temperatura superficial externa do jardim
Tsi: temperatura superficial interna do jardim
Tsepp: temperatura superficial externa da parcela protegida
Tsipp: temperatura superficial interna da parcela protegida
Tsepc: temperatura superficial externa da parcela controle
Tsipc: temperatura superficial interna da parcela controle
Tarcav: temperatura do ar da cavidade
Tar local: temperatura do ar local
Tse: temperatura superficial externa
Tsi: temperatura superficial interna
PC: parcela controle
JV: jardim vertical
uA: umidade absoluta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	18
1.1.1 Objetivo Geral.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
1.2 Estrutura da Dissertação.....	19
2 JARDINS VERTICAIS	20
2.1 O Conceito de Jardim Vertical.....	23
2.2 Tipologias e Modelos de Jardins Verticais.....	24
2.2.1 Fachada Verde.....	25
2.2.2 Parede Viva.....	27
2.3 Funcionamento da Parede Viva	35
2.3.1 Problemas e Preocupações.....	38
2.4 Benefícios.....	39
2.5 Influência Térmica de Jardins Verticais de Tipologia Parede Viva.....	41
2.5.1 Estudos sobre a Influência Térmica das Paredes Vivas.....	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1 Caracterização Física e Climática do Local de Estudo.....	50
3.2 Projeto e Construção do Experimento.....	52
3.2.1 Construção e Manutenção da Parede Viva Contínua.....	54
3.3 Coleta de Dados.....	56
3.4 Análise dos Dados	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Monitoramento em Condições de Tempo Frio e Seco.....	62
4.1.1 Mecanismo de sombreamento.....	64
4.1.1.1 A Influência do Mecanismo de Sombreamento no Comportamento Térmico da Parcela com Jardim.....	65
4.1.1.2 Sistema Jardim-Parcela Protegida.....	70
4.1.1.3 A Influência Térmica do Sombreamento na Temperatura do Ar da Cavidade.....	75

4.1.1.4 Testes Estatísticos.....	77
4.1.2 Influência do Jardim Vertical no Entorno Imediato.....	78
4.1.2.1 Influência do Jardim Vertical na Temperatura do Ar (Tar).....	79
4.1.2.2 Influência do Jardim Vertical na Umidade Absoluta (uA).....	83
4.1.2.3 Influência do Jardim Vertical na Temperatura Radiante Média (Trm).....	87
4.1.2.4 Testes Estatísticos.....	90
4.2 Monitoramento em Condições de Tempo Quente e Úmido.....	91
4.2.1 Mecanismo de Sombreamento.....	93
4.2.1.1 A Influência do Mecanismo de Sombreamento no Comportamento Térmico da Parcela com Jardim.....	94
4.2.1.2 Sistema Jardim-Parcela Protegida.....	98
4.2.1.3 A Influência Térmica do Sombreamento na Temperatura do Ar da Cavidade.....	105
4.2.1.4 Testes Estatísticos.....	107
4.2.2 Influência do Jardim Vertical no Entorno Imediato.....	108
4.2.2.1 Influência do Jardim Vertical na Temperatura do Ar (Tar).....	109
4.2.2.2 Influência do Jardim Vertical na Umidade Absoluta (uA).....	113
4.2.2.3 Influência do Jardim Vertical na Temperatura Radiante Média (Trm).....	116
4.2.2.4 Testes Estatísticos.....	120
4.3 Síntese dos resultados para as Campanhas em Condições "Frio e seco" x "Quente e úmido".....	122
5 CONCLUSÃO.....	128
REFERÊNCIAS.....	131
APÊNDICE A.....	140
APÊNDICE B.....	142
APÊNDICE C.....	146
APÊNDICE D.....	148
APÊNDICE E.....	152
APÊNDICE F.....	154
APÊNDICE G.....	157
APÊNDICE H.....	158
APÊNDICE I.....	160
APÊNDICE J.....	163

1 INTRODUÇÃO

O jardim já foi local de lazer, religiosidade, estética e provisão medicinal, contudo, na maior parte da história ele existiu, predominantemente, como uma área horizontal (MARTINS; CARLOS, 2011). Essa característica começou a mudar a partir do século XX, quando a evolução tecnológica aliada à necessidade de uma arquitetura mais ambientalmente amigável proporcionou que o paisagismo se tornasse parte estrutural do elemento construído e deixasse de ser apenas o seu complemento, principalmente estético. Essas transformações, junto à falta de espaços horizontais gerada pelo adensamento urbano, contribuíram para que o jardim conquistasse as superfícies verticalizadas e se estabelecesse como um novo elemento paisagístico (MARTINS; CARLOS, 2011).

O jardim vertical trabalhado por paisagistas como Emilio Ambasz, Roberto Burle Marx e Patrick Blanc é conceituado como todo e qualquer sistema que permite o crescimento e o desenvolvimento de uma vegetação ao longo de uma superfície vertical (PECK et al., 1999; SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; SHIAH; KIM, 2011). Ele é classificado em dois tipos de acordo com as suas características construtivas: a fachada verde e a parede viva (*living wall*) (KOHLENER, 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

A fachada verde é o tipo mais simples e utiliza espécies de trepadeiras em estruturas de suporte que cobrem determinada superfície vertical (PÉREZ et al., 2011; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Enquanto que a parede viva demanda maior tecnologia de produção e instalação, pois os seus modelos são diferentes tipos de módulos fabricados em diversos materiais e tamanhos e que permitem o cultivo da vegetação ao longo das paredes (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Um desses modelos é a parede viva contínua que é constituída por módulos formados por sucessivas camadas de um feltro geotêxtil que permite o crescimento das raízes por toda a área do jardim vertical.

Dessa forma, contemporaneamente o jardim vertical adquiriu o seu caráter mais funcional e contribui, por exemplo, para a melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética da edificação, além de auxiliar na restauração do componente

natural no ambiente urbano e reestruturação do equilíbrio ecológico (FRANCIS; LORIMER, 2011; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016).

Os jardins verticais influenciam o desempenho térmico da edificação por meio de alterações das condições microclimáticas internas e do seu entorno imediato. Essas alterações ocorrem em função da ação de quatro mecanismos: 1- mecanismo de sombreamento, 2- mecanismo de isolamento térmico, 3- mecanismo de barreira contra as correntes de vento e 4- mecanismo de resfriamento por evapotranspiração (WONG et al. 2009; WONG, et al., 2010; PERINI et al., 2011; PÉREZ et al., 2011; PÉREZ et al., 2014).

O sombreamento consiste na interceptação da radiação pela estrutura do jardim vertical junto com a vegetação. Enquanto que o isolamento se refere à capacidade de dificultar a dissipação do calor do edifício por causa das várias camadas, seja da estrutura da tipologia utilizada, do substrato, do ar entre a estrutura do jardim e a parede da edificação, além da vegetação (PÉREZ et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016).

De acordo com Pérez et al. (2014), o mecanismo de barreira de vento se refere “a capacidade do jardim vertical em alterar o efeito do vento direto contra o edifício”. Por fim, o efeito de refrigeração por evapotranspiração ocorre devido à dissipação do calor absorvido pelas plantas e substrato através da perda de água pelo processo de evapotranspiração (CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016).

O uso dos jardins verticais como técnica para a economia passiva de energia deve ser de grande interesse por parte dos projetistas uma vez que a sociedade civil e o poder público priorizam, cada vez mais, produtos que agregam mais eficiência ao funcionamento do edifício e que sejam ecologicamente amigáveis. Assim, projetos que atendam às exigências de desempenho terão maior interesse pelos consumidores e os jardins verticais se destacam como solução técnica e estética.

Como os jardins verticais constituem novos sistemas de revestimento na construção, as pesquisas relacionadas aos seus comportamentos térmicos e suas influências no desempenho térmico da edificação tiveram um aumento em quantidade nos últimos anos, como os trabalhos desenvolvidos por Wong et al. (2010), Perini e Ottelé (2012), Bianco et al. (2017) e Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017). Porém, os seus efeitos ainda são pouco compreendidos, especialmente em climas

quentes, já que grande parte dos estudos é feita em locais com climas amenos (KOHLENER, 2008; OTTELÉ, 2011; PERINI et al, 2017)

Nesse contexto, o presente trabalho vem, portanto, contribuir com uma investigação acerca da influência térmica de um jardim vertical de tipologia parede viva contínua em clima do tipo Cfa, clima subtropical com verão quente, segundo classificação de Köppen. Essa tipologia foi utilizada pelo poder público da cidade de São Paulo como técnica de compensação ambiental, graças ao Decreto nº 55.994 de março de 2015, o qual permite a conversão de compensação ambiental em jardins verticais, telhados verdes e obras e serviços (SÃO PAULO, 2015).

Assim, ao tratar dessa tipologia, o estudo considera uma tecnologia recente e reproduz em experimento a mesma estrutura construtiva dos jardins verticais derivados de compensação ambiental da cidade de São Paulo, os quais utilizam placas ecológicas recicladas de Tetrapak® em sua estrutura. O trabalho considera o mecanismo térmico de sombreamento, levando em conta que esse é o mais importante no desempenho térmico dos jardins verticais (WONG et al., 2010; PÉREZ et al., 2014) e, além disso, verifica a sua influência no microclima do seu entorno imediato.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Identificar o impacto de um jardim vertical de tipologia “parede viva contínua” na redução das temperaturas superficiais de uma parede e nos microclimas do seu entorno imediato, em um clima Cfa (subtropical, com verão quente).

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as variações das temperaturas superficiais internas e externas da parede com e sem a influência do jardim, em condições de tempo frio e quente;
- Compreender o padrão do gradiente térmico do sistema jardim-parcela protegida;
- Comparar os microclimas em frente ao jardim e à parede controle em diferentes condições de tempo

- Contribuir com maior conhecimento sobre a influência do jardim vertical de tipologia “parede viva” em diferentes condições de tempo.

1.2 Estrutura da Dissertação

Este estudo está organizado em cinco seções: 1- Introdução; 2- Jardins Verticais; 3- Materiais e Métodos; 4- Resultados e Discussão; 5- Conclusão.

A primeira seção aborda a introdução com a contextualização do objeto de estudo, o seu funcionamento e a sua aplicabilidade. Além disso, destaca a justificativa, a contribuição e os objetivos desta pesquisa.

A revisão bibliográfica com a denominação de “Jardins Verticais” aborda inicialmente o conceito de jardim vertical, os diferentes tipos existentes, como funcionam e quais os potenciais usos e benefícios agregados. Em seguida, trata dos trabalhos que investigam a influência térmica do jardim vertical de tipologia “parede viva”, com o objetivo de entender quais mecanismos estão envolvidos e qual a eficiência na redução de entrada de carga térmica para o edifício. A revisão se baseou em levantamentos de trabalhos científicos e, pela ausência de bibliografia científica sobre o funcionamento e os tipos e modelos dos jardins verticais, também foram consultados manuais técnicos de instalação, vídeos institucionais e sites de empresas especializadas.

A busca por trabalhos científicos foi realizada em bases de dados internacionais como *Web of Science*TM e *Scopus*, e nas nacionais como Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BRASIL, 2018) e *P@rthenon* – Unesp. Diversos termos de busca foram utilizados nos idiomas português e inglês, de forma única e combinados, tais como: jardim vertical (*vertical garden*), sistema de vegetação vertical (*vertical greening system*), parede viva (*living wall*), parede verde (*green wall*), fachada verde (*green façade*), muro vivo, desempenho térmico (*thermal performance*) e comportamento térmico (*termal behavior*); e que estavam presentes no título, no *abstract* e nas palavras-chave dos trabalhos.

Essas terminologias foram sistematizadas de acordo com as suas características construtivas, seguindo a literatura. Assim, os termos “parede verde”, “sistemas de vegetação vertical” e “jardim vertical” foram considerados como

sinônimos e se referem ao conceito de jardim vertical, do qual se derivam os demais tipos e modelos.

A partir desse levantamento, os trabalhos foram analisados e organizados de forma que fosse possível sistematizar o conhecimento já produzido sobre jardins verticais, com diferentes abordagens e objetivos. Assim, foi possível construir a base teórica da pesquisa e desenvolver o projeto experimental.

A seção “Materiais e Métodos” descreve as etapas metodológicas: 1- revisão bibliográfica; 2- projeto e construção do jardim vertical experimental e delimitação da superfície controle (parcela sem jardim); 3- Monitoramento das variáveis microclimáticas, em condições de tempo frio e quente e 4- Análise comparativa entre os dados das parcelas monitoradas com e sem o jardim.

Em “Resultados e Discussão” são apresentados todos os resultados das campanhas realizadas nos períodos de tempo “frio e seco” e “quente e úmido”. A seção está organizada de forma a separar as análises sobre o mecanismo de sombreamento das influências no entorno imediato. No mecanismo de sombreamento estão as comparações e quantificações da influência do jardim nas temperaturas superficiais da parcela da parede protegida pelo jardim em relação à parcela sem vegetação (controle) e em sua temperatura do ar da cavidade de ar extra em relação à temperatura do ar local. Na parte sobre a influência do jardim no microclima do entorno são comparadas e quantificadas a influência nas temperaturas do ar, temperatura radiante média e umidade absoluta a diferentes distâncias do jardim e da parede controle. Testes estatísticos foram aplicados, ainda, para avaliar se as diferenças encontradas foram estatisticamente significativas.

A “Conclusão” aborda as considerações finais sobre as principais descobertas encontrados sobre a influência térmica do jardim vertical para condições de tempo “frio e seco” e “quente e úmido” e também traz sugestões para trabalhos futuros.

2 JARDINS VERTICAIS

Os jardins verticais conquistaram o mundo nas obras de Patrick Blanc (Figura 1); no edifício Consórcio Santiago, no Chile; nos pilares dos viadutos periféricos da Cidade do México (Figura 2) e no edifício Santalaia, na Colômbia, que possui mais de 3.100 metros quadrados, e é considerado o maior jardim vertical do mundo (Figura 3).

Figura 1. Jardins verticais.



Legenda: Caixa Fórum, Madrid. Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 2. Viadutos periféricos da Cidade do México.



Fonte: Modificada de Hillyer (2019).

Figura 3. Edifício Santalaia, Colômbia.



Legenda: Projeto de Paisajismo Urbano. (MARADEI, 2017)

No Brasil, eles podem ser vistos na cidade de São Paulo, especialmente na Avenida 23 de Maio, onde revestem os paredões das duas laterais da avenida e formam verdadeiros mosaicos vivos ao longo de seis quilômetros de extensão (Figura 4). Os jardins também estão presentes no Elevado João Goulart, em sete paredões nos edifícios adjacentes ao viaduto e que somam uma área de 5.000 m² de jardins (MOVIMENTO90, 2017). Portanto, é inegável que o jardim vertical já rompeu os limites da moda e se tornou um elemento paisagístico de destaque, além de ser mais uma alternativa de infraestrutura verde que se adapta a diversas escalas e que modifica a paisagem urbana.

Figura 4. Jardins Verticais da Avenida 23 de Maio na cidade de São Paulo



Fonte: Arquivo do autor (2018).

No entanto, os jardins verticais não surgiram recentemente e pesquisadores apontam as suas origens aos jardins suspensos da Babilônia (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010). As mansões e castelos romanos também tinham videiras e rosas trepadeiras que cresciam por paredes e treliças (SHARP et al., 2008; KOHLER, 2008). O movimento das cidades-jardim e os incentivos fiscais alemães contribuíram para uma intensa construção de telhados verdes e jardins verticais na Alemanha da década de 80 (KÖHLER, 2008). Enquanto que no Brasil, Roberto Burle Marx foi o primeiro paisagista a incluir os jardins verticais em seus projetos (SCHERER, 2014), como os totens de bromélias (Figura 5) presentes em seu sítio no Rio de Janeiro.

Figura 5. Totens de Bromélias no Sítio Roberto Burle Marx



Fonte: Arquivo do autor (2015).

Nesse contexto, os jardins verticais não são uma novidade em sua tipologia mais simples. Porém, foi com a técnica desenvolvida por Patrick Blanc, na virada do século XX para o século XXI, que esses elementos se popularizaram (BLANC, 2008; COSTA, 2011), o que levou ao desenvolvimento de diversos modelos e técnicas de construção, além de interesse por pesquisas sobre o seu funcionamento, sua aplicabilidade e desempenho.

2.1 O conceito de Jardim Vertical

Jardim vertical é todo e qualquer sistema que permite o crescimento e desenvolvimento de uma vegetação ao longo de uma superfície vertical (PECK et al., 1999; SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; SHIAH; KIM, 2011; OTTELÉ, 2011; MARCHI et al., 2015; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Loh (2008) o define como “A vegetação que cresce diretamente na fachada do edifício ou a vegetação que cresce em um sistema estrutural separado que pode ser independente e adjacente ou preso à parede”¹.

Segundo Cruciol-Barbosa e Fontes (2016), os autores que tratam sobre o conceito de jardim vertical focam “essencialmente sobre a característica construtiva do jardim e destacam o local aonde a planta irá se fixar, crescer, desenvolver e permitir a cobertura das superfícies verticais pela massa vegetativa”. Dessa forma, “o fator determinante para ser considerado um jardim vertical é a necessidade de a vegetação crescer e se desenvolver pela parede ou pela estrutura de suporte” (CRUCIOL-BARBOSA, FONTES, 2016) e que, para isso, essa vegetação pode ser plantada tanto no solo quanto em módulos de plantio (OTTELÉ, 2011).

Um exemplo que gera muita confusão é o edifício Bosco Verticale, em Milão (Figura 6). O edifício conta com jardins em todas as suas fachadas que formam o que os projetistas chamaram de “floresta vertical”. Porém, essa vegetação não se desenvolve e nem depende de qualquer estrutura vertical para o seu cultivo ou para o suporte de seu crescimento. São espécies arbóreas e arbustivas que foram plantadas em jardineiras construídas nas varandas dos apartamentos e que constituem uma técnica de plantio comum praticada em jardins horizontais sobre laje (Figura 6). Assim, a vegetação forma uma segunda pele no edifício, mas não se define como um jardim vertical.

Essa característica de árvores e arbustos revestirem o edifício já foi exemplificada por Chen e Wong (2009) e Safikhani et al. (2014), os quais reforçaram que esse tipo de técnica não é um método de construção de jardins verticais.

¹ Tradução literal do autor.

Figura 6. Edifício Bosco Verticale



Legenda: A- Espécies arbóreas e arbustivas nas jardineiras construídas nas varandas dos apartamentos. B- Detalhe do plantio em jardins sobre laje (PEDROTTI, 2015).

Em artigo de revisão, Cruciol-Barbosa e Fontes (2016) destacam que as definições apresentadas pela literatura não consideram a dimensão do sistema como item essencial para ser considerado um jardim vertical. Portanto, estão inclusos desde alguns vasilhinhos dispostos na parede até os extensos paredões verdes construídos em edifícios e avenidas.

A literatura relata as seguintes terminologias para se referir aos jardins verticais: parede viva (*living wall*) (LOH, 2008; WONG et al., 2010; PERINI et al., 2011; PERINI, OTTELÉ, 2014; RILEY, 2017), parede verde (*green wall*) (OTTELÉ, 2011; COMA et al., 2017; DJEDJIG, BELARBI, BOZONNET, 2017), sistema de vegetação vertical (*vertical greenery system*) (WONG et al., 2010; MARCHI et al., 2015), jardim vertical (*vertical garden*) (BLANC, 2008; DAVIS, HIRMER, 2015), muro vivo (CAETANO, 2014), fachada verde (*green façade*) (WONG et al., 2010; PEREZ et al. 2011; JESUS et al., 2017) e *biowall* (BUTKOVICH et al, 2008).

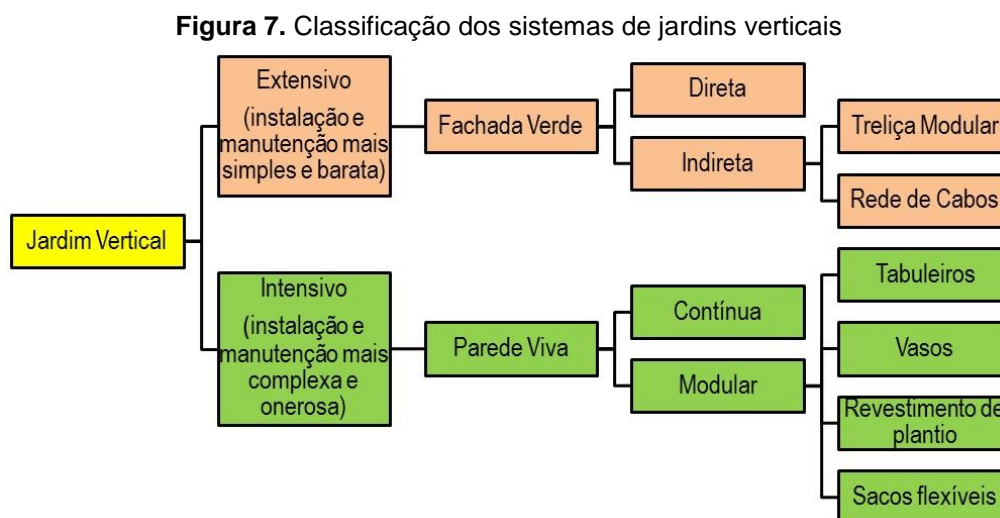
2.2 Tipologias e Modelos de Jardins Verticais

Os jardins verticais podem ser classificados em duas tipologias básicas: as fachadas verdes (*green façades*) e as paredes vivas (*living walls*) (SHARP et al., 2008; KOHLER, 2008; KONTOLEON, EUMORFOPOULOU, 2010; MANSO, CASTRO-

GOMES, 2015). Perez et al. (2011) acrescentam ainda as subdivisões extensivo e intensivo, baseadas em sua complexidade construtiva e de manutenção, enquanto Ottelé (2011) propõe uma classificação dos jardins verticais baseada no local onde as plantas estão enraizadas, ou seja, se elas estão enraizadas diretamente no chão ou em substratos artificiais e vasos.

A classificação proposta por Ottelé (2011) mescla tipos diferentes em uma mesma categoria porque ela não se baseia na característica construtiva do jardim, mas sim no desenvolvimento da planta.

A figura 7 mostra um esquema da classificação dos tipos e modelos de jardins verticais baseada em suas características construtivas.



Fonte: Adaptado de Manso e Castro-Gomes (2015).

2.2.1 Fachada Verde

A fachada verde compreende os modelos que utilizam espécies de trepadeiras que cobrem uma determinada superfície vertical. São jardins menos complexos de instalar, de baixo custo e, quando bem projetadas, demandam pouca manutenção (HUNTER et al., 2014; PERINI et al., 2013; SCHERER, 2014).

Esse tipo se divide em dois modelos: 1- quando a vegetação cresce e se desenvolve diretamente na parede é denominada de fachada verde direta (Figura 8); 2- quando a vegetação utilizar alguma estrutura de suporte como treliças, telas ou rede de cabos (Figura 9 e 10) é chamada fachada verde indireta (PERINI et al., 2011a; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; PÉREZ et al., 2011; MANSO; CASTRO-

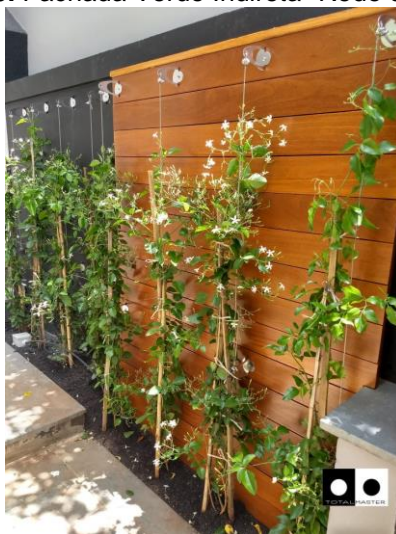
GOMES, 2015). A vegetação pode ser plantada diretamente no solo ou em jardineiras dispostas em diversas alturas ao longo da fachada (PÉREZ et al., 2014).

Figura 8. Fachada Verde Direta



Fonte: Manso e Castro-Gomes (2015).

Figura 9. Fachada Verde Indireta- Rede de Cabos



Fonte: Disponibilizada pela empresa Total Master Design (2019).

Figura 10. Fachada Verde Indireta- Treliza Modular



Fonte: Disponibilizada pela empresa Total Master Design (2019)

2.2.2 Parede Viva

A parede viva ou *living wall* se caracteriza como o tipo de jardim mais tecnológico e que permite o cultivo de uma enorme variedade de espécies, desde herbáceas forrageiras até arbustivas (SHARP et al., 2008; PERINI; OTTELÉ, 2012; MANSO, CASTRO-GOMES, 2015). Seus modelos consistem basicamente em diferentes tipos de módulos que são fabricados em diversos materiais, formas e tamanhos e que permitem o cultivo da vegetação ao longo de superfícies verticais (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; SHIAH; KIM, 2011; PÉREZ et al., 2011; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

O plantio da vegetação não acontece mais ao nível do solo, mas nesses módulos e a sua instalação ocorre por meio do seu empilhamento direto na parede ou em estruturas verticais de suporte. Dessa forma, a vegetação pode ser plantada no local de instalação ou já vir pré-plantada, o que diminui o tempo de instalação do jardim.

Por essa característica modular esse tipo possui duas vantagens quanto à instalação e cobertura da fachada: 1- a parede viva permite uma cobertura imediata da fachada ao término da instalação, seja pela sua estrutura ou pelas plantas e pode se adaptar a diferentes formas e alturas de fachada; 2- os módulos permitem o uso de uma maior quantidade de vegetação por metro quadrado, o que gera maior cobertura vegetal sem precisar esperar a vegetação crescer como ocorre na fachada

verde, além de permitir projetos com grande apelo estético (SHARP et al., 2008; PERINI; OTTELÉ, 2012; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Assim, essas duas vantagens também facilitam uma melhor integração do verde em edifícios mais altos.

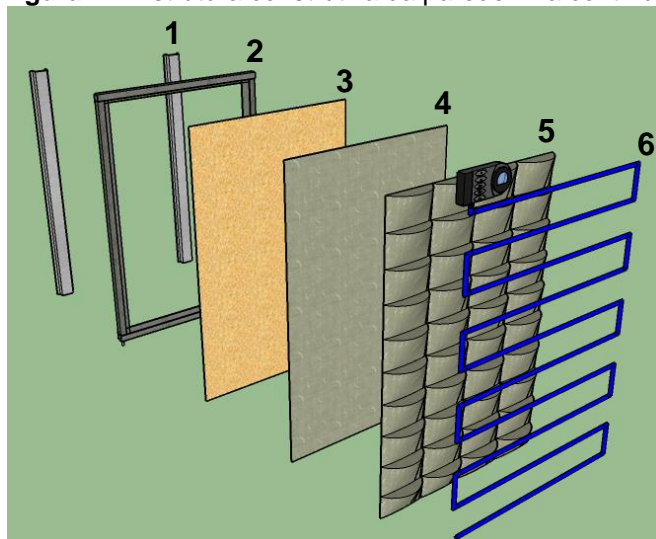
O tipo parede viva apresenta uma diversidade maior de modelos e são agrupados em dois subconjuntos: a parede viva contínua e a parede viva modular (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). O que diferencia, novamente, são características construtivas (o material e a conformação estrutural), mas ambos podem ser instalados como módulos e, geralmente, são sustentados por estruturas metálicas fixadas na parede.

A parede viva contínua, ou *Mur Végétal*, refere-se à tecnologia desenvolvida pelo botânico francês Patrick Blanc (SHARP et al., 2008; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015) e que foi adaptada por diversas empresas ao redor do mundo. Para sua construção são utilizados materiais leves e permeáveis e o termo “contínuo” refere-se à característica das raízes das plantas crescerem livremente por toda a estrutura do jardim.

Esse modelo é construído por uma sequência de camadas, assim descritas: 1- perfis metálicos que são fixados na fachada do edifício e que suportam o jardim, além de afastar a parede viva da construção, formando uma cavidade de ar entre o jardim e o edifício; 2- calhas de vedação e acabamento; 3- uma placa de PVC ou compensado ecológico (reciclado de embalagens Tetrapak®), que confere a impermeabilização do sistema e sustenta o meio de cultivo; 4 e 5- o meio de cultivo é formado por camadas de feltro geotêxtil, que são fixadas nas placas e 6- sistema de irrigação (Figura 11 e 12) (BLANC, 2008; VERTIA, 2012; MOVIMENTO90, 2017a).

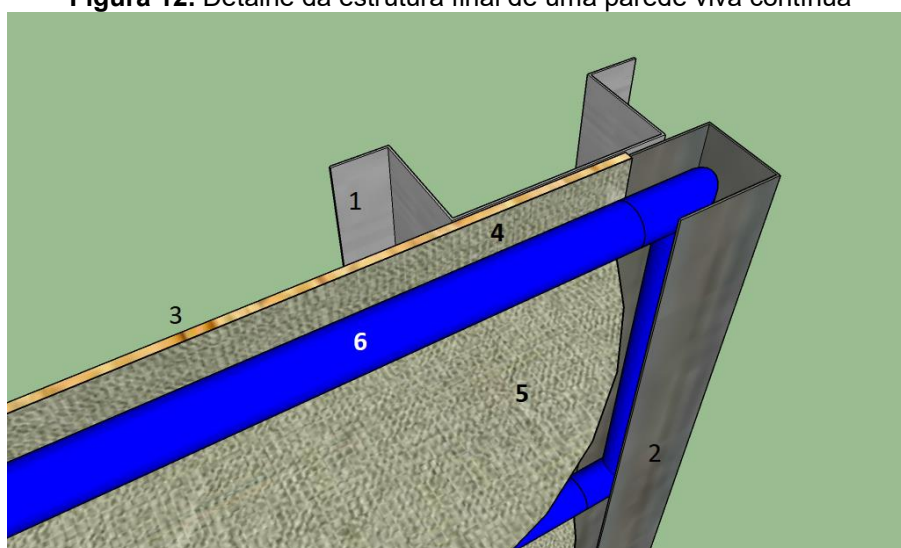
A vegetação é plantada entre as camadas do feltro que formam bolsinhas que dão suporte físico às mudas e são nutridas por um sistema de hidroponia (BLANC, 2008). Na hidroponia o substrato é praticamente inexistente e há um fluxo constante de solução nutritiva pelas raízes das plantas por meio do sistema de irrigação (BISCARO; OLIVEIRA, 2014).

Figura 11. Estrutura construtiva da parede viva contínua



Legenda: 1. Perfil metálico, 2. Calhas de vedação e drenagem, 3. Placa ecológica, 4 e 5 Camadas de geotêxtil e 6. Irrigação. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 12. Detalhe da estrutura final de uma parede viva contínua



Legenda: 1. Perfil metálico, 2. Calhas de vedação, 3. Placa ecológica, 4 e 5 Camadas de geotêxtil e 6. Irrigação. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Além da construção por meio de camadas de feltro, há outra técnica que também pode ser considerada uma parede viva contínua, que utiliza uma espuma própria para cultivo como meio de crescimento. Assim, cada bloco de espuma funciona como um módulo, onde a vegetação é plantada em rasgos feitos na espuma e se enraízam por todo o bloco. A estrutura metálica e a camada impermeável que sustentam todo o sistema também estão presentes (ANDERSON, 2011, p. 24).

A parede viva modular se refere aos módulos de blocos de cerâmica, blocos de concreto, módulos de plástico, vasos, tabuleiro de alumínio, entre outros. Ela pode

ser feita de materiais e dimensões diversas, cuja instalação pode ser diretamente na parede por meio de argamassa ou cada módulo ser empilhado e preso em estruturas de apoio (SHARP et al., 2008; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Alguns desses modelos, tais como os revestimentos de plantio, os tabuleiros plásticos e os sistemas de vasos, tem sido amplamente empregados nos projetos de jardins verticais a partir dos anos 2000. Cada um deles será detalhado a seguir, a partir de dados obtidos em sites e manuais de instalação disponibilizados pelas empresas que comercializam esses produtos.

Os blocos de concreto fundido e os blocos cerâmicos se destacam entre os revestimentos de plantio (Figura 13 e 14), termo dado pelos autores Manso e Castro-Gomes (2015) e que inclui os blocos que têm como característica construtiva o fato de serem fixados na parede como um revestimento comum. Eles não são autoportantes e, por isso, devem ser colados em uma superfície (GREEN WALL CERAMIC®, 201-) mesmo que sua instalação seja através de empilhamento ou por sistema de amarração.

Figura 13. Parede viva modular- Revestimento de Plantio



Legenda: Projeto autoral com blocos cerâmicos. Fonte: Arquivo do autor (2019).

Figura 14. Revestimento de plantio em concreto fundido



Legenda: Projeto autoral com blocos de concreto fundido. Fonte: Arquivo do autor (2018).

O bloco de concreto fundido (Figura 14) possui um espaço em seu interior que serve de suporte para o substrato e a planta, e cujo *design* permite o empilhamento dos blocos, que formam colunas e linhas de plantio, nas quais cada módulo possui um espaço limitado para o desenvolvimento da vegetação. O excesso de água é drenado por dois furos existentes na face frontal. Cada bloco pesa cerca de 9,5 kg e são fixados nas paredes e entre si com argamassa ACII para ambientes internos e ACIII para ambientes externos, de acordo com o manual de instalação Ecobloco (201-).

O bloco cerâmico também apresenta um espaço em seu interior, para o substrato e a vegetação. De acordo com a empresa Green Wall Ceramic® (201-), os módulos devem ser assentados com argamassa ACIII e através de um sistema de amarração. Portanto, além do bloco padrão, são disponibilizadas meias peças para melhor estruturação do jardim vertical devido a este sistema de instalação. A argamassa é utilizada na colagem das peças na parede, entre os blocos e no rejunte.

Ao contrário do bloco de concreto, os de cerâmica não possuem fechamento lateral e, devido ao seu formato interno, são criadas canaletas contínuas de plantio, que são finalizadas com peças especiais de acabamento (GREEN WALL CERAMIC®, 201-). Essas peças fecham a lateral do jardim e de um lado protegem o sistema de irrigação, enquanto do outro evitam o escoamento de substrato e canalizam a drenagem da água excedente.

Esses dois modelos exigem a impermeabilização da parede que receberá o jardim vertical e os manuais de instalação destacam a importância de se utilizar um impermeabilizante específico para o assentamento de revestimentos (ECOBLOCO, 201-; GREEN WALL CERAMIC®, 201-). Os blocos cerâmicos também devem ser impermeabilizados no interior da canaleta de plantio, enquanto que os de concreto não apresentam nenhuma ressalva sobre isso, apenas a necessidade de um pedaço de manta geotêxtil para evitar o escoamento de terra pelos drenos (ECOBLOCO, 201-; GREEN WALL CERAMIC®, 201-).

O sistema de tabuleiro, comercializado no Brasil, é uma estrutura mais complexa, que possui vários elementos em sua composição, inclusive materiais que aparecem em outros modelos, como o feltro e o plástico (Figura 15). Sua principal característica construtiva é que cada módulo é conectado ao próximo por meio de um sistema de travas laterais (MANSO E CASTRO-GOMES, 2015; WALLGREEN®, 2015). A maior parte da estrutura é produzida em plástico reciclado com proteção contra raios ultravioleta e sua instalação forma nichos sequenciais onde a vegetação é plantada (WALLGREEN®, 2015).

Figura 15. Sistema de tabuleiros

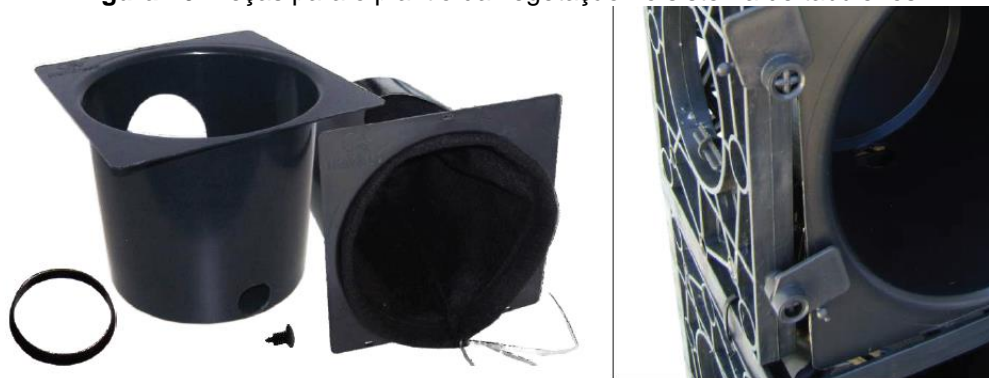


Fonte: Rangel (2014)

Para o plantio, são utilizadas outras quatro peças específicas: 1- o saco de feltro onde as mudas são plantadas e que tem a função de sustentar o substrato (pois o plantio é realizado na horizontal) e manter a umidade; 2- o vaso plástico horizontal que recebe este saco de feltro e tem a função de direcionar a entrada da irrigação e o

escoamento do excesso d'água; 3- travas de segurança que prendem os vasos nos nichos e 4- o anel de direcionamento que evita que a água da irrigação escorra pelas laterais do vaso (Figura 16) (WALLGREEN®, 2015a).

Figura 16. Peças para o plantio da vegetação no sistema de tabuleiros



Fonte: WallGreen® (2015a).

O fabricante destaca que qualquer tipo de parede pode receber o jardim, seja ela feita de alvenaria, madeira, metal ou *dry wall*. No entanto, é necessário utilizar parafusos adequados para fixação dos nichos. Nesse sistema as plantas ficam afastadas da parede e isoladas dentro dos vasos, porém é imprescindível a impermeabilização da parede (WALLGREEN®, 2015).

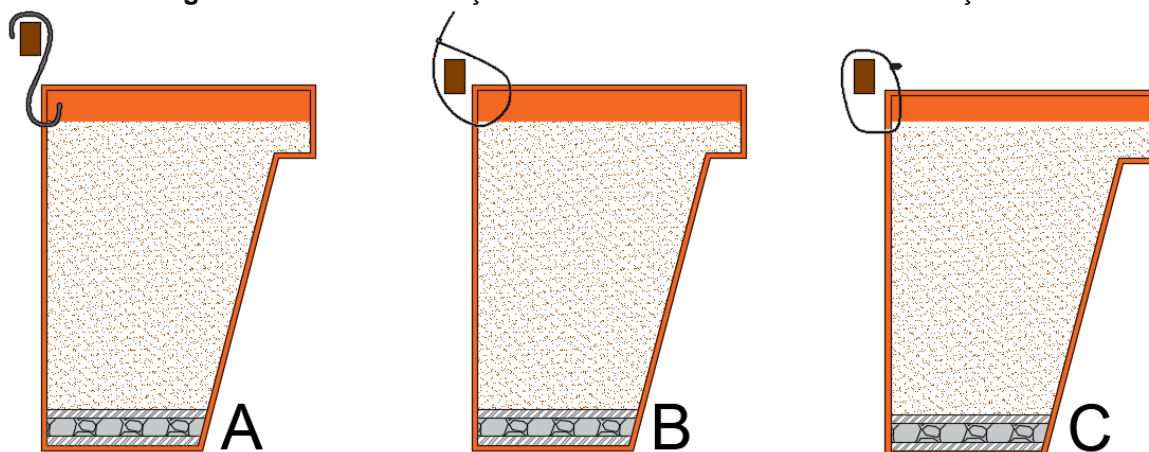
A parede viva de vasos se caracteriza pela sequência de vários vasos ou jardineiras, que podem ser fixos diretamente na parede ou em alguma estrutura de suporte (Figura 17). Estes vasos podem ser de cerâmica, metálicos ou de fibra de coco, mas o material mais usual é o plástico. Eles podem ter ganchos na face traseira (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015), serem presos por amarrações com arame ou presilhas plásticas ou até mesmo encaixados em parafusos ou ganchos fixados diretamente na parede (Figura 18). A impermeabilização da parede também é importante para este modelo de parede viva.

Figura 17. Parede viva de vasos de diferentes materiais



Fonte: O autor (2018).

Figura 18. Formas de fixação dos vasos nas estruturas de sustentação.



Legenda: A- gancho, B- abraçadeira, C- arame. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.3 Funcionamento da Parede Viva

A parede viva é um ecossistema artificial e, assim como na natureza, ela precisa que todas as suas partes funcionem corretamente para que haja o equilíbrio dinâmico do sistema e o desenvolvimento saudável da vegetação. O jardim precisa de recursos e energia para sobreviver (água, nutrientes, energia para funcionamento do sistema de irrigação) e gera resíduo (água excedente e resíduos de poda) (Figura 19). Assim, o perfeito funcionamento da parede viva está condicionado a um projeto que considere para todas as suas partes, desde a escolha do modelo adequado ao local de instalação até a manutenção posterior (PERINI et al., 2013). Caso haja falha de uma das partes, o jardim sofre as consequências.

Figura 19. A parede viva é um ecossistema artificial



Fonte: O autor.

Para a escolha do modelo de parede viva, é necessário verificar o tipo e a situação da fachada (PERINI et al., 2013), pois alguns modelos demandam serviços de alvenaria em sua instalação, enquanto outros são apenas parafusados. Além disso, é necessário verificar se a parede suporta o peso do jardim. Outro aspecto importante a se considerar é se a parede que vai receber o jardim possui ou não aberturas, pois isso influencia no projeto e determinadas estruturas não permitem flexibilidade quanto a isso.

A escolha correta da vegetação é fundamental para sobrevivência do jardim (SAFIKHANI et al., 2014), pois está intimamente ligada com o local de instalação, além de influenciar e ser influenciada pelo tipo de jardim vertical (PÉREZ et al., 2014). Além disso, critérios como o clima, ventilação, a necessidade hídrica, produção de biomassa, características de desenvolvimento e necessidade luminosa (pleno sol, meia-sombra ou sombra plena) influenciam diretamente na especificação vegetal (BOUVET; MONTACCHINI, 2007 apud PERINI et al., 2013; PÉREZ et al., 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Em relação a esse aspecto, a parede viva permite o cultivo de uma imensa variedade de espécies, o que permite ao paisagista a liberdade criativa de projetar jardins verticais com grande apelo estético por meio dos contrastes de cores e textura, padrões de forma das folhas e portes (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015), desde que se respeitem as exigências das plantas. Os trabalhos relacionados à parede viva especificam as espécies utilizadas, porém, são poucos os que foram realizados no Brasil e, por isso, os manuais botânicos disponibilizados pelas empresas

especializadas complementam a ausência de literatura científica sobre quais são mais indicadas para esse tipo de projeto. O apêndice A traz uma lista das espécies mais utilizadas em projetos de jardins verticais no Brasil.

Por estarem em um ambiente artificial, as plantas necessitam de aporte constante de água e nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento (OTELLÉ, 2011; SUSOROVA, 2015). Assim, a irrigação e fertilização são cruciais para o funcionamento do jardim. O sistema mais utilizado é o de irrigação por gotejo, a partir do uso de mangueiras que percorrem toda a extensão do jardim e de onde saem botões de gotejo que liberam água e nutrientes nas raízes das plantas de cada módulo. Em paredes vivas contínuas o número de gotejadores é menor, pois se aproveita a capilaridade do feltro para a distribuição da água (CRUCIOL-BARBOSA; FONTES, 2016).

A diferença de altura confere ao jardim uma exigência hídrica diferente, pois quanto mais alto, mais ele sofre com ação de ventos fortes e exposição solar, deixando-o mais seco. Assim, o cálculo da quantidade de água liberada além de levar em consideração essas questões, também deve verificar a diferença de necessidade hídrica de cada espécie (NETO, 2015) e evitar encharcamento ao longo do jardim, devido a ação da gravidade, pois, a água de locais mais altos desce para as áreas mais baixas do jardim e faz com que fique mais úmida que o necessário (CHENG; CHEUNG; CHU, 2010).

O meio de cultivo da parede viva é determinante no desenvolvimento das espécies. Dessa forma, as paredes vivas podem ser hidropônicas (BLANC, 2008), utilizar solo, substratos naturais (fibra de coco, xaxim) ou meio de cultivo artificial [espuma, feltro, *epiweb* (material plástico que retém umidade), entre outros] (CAÑERO; URRESTARAZU; SALAS, 2012; PERINI et al., 2013). A presença ou não de substrato interfere no peso final da parede viva que pode variar entre os diferentes modelos de 25 Kg até mais de 140 Kg por metro quadrado (RODRIGUES, 2017).

De acordo com Cruciol-Barbosa e Fontes (2016) “Ao considerar todos estes elementos do sistema, o jardim vertical terá um bom funcionamento e a manutenção será a mínima possível.” Destaca-se que, qualquer jardim vertical necessita de manutenção após a sua execução, para permitir o monitoramento do funcionamento de todos o sistema. Assim, quanto maior e mais complexa for a parede viva, mais frequente e onerosa será a sua manutenção.

2.3.1 Problemas e preocupações

Butkovich et al. (2008) trazem algumas das principais preocupações dos clientes antes de instalar um jardim vertical, como problemas com mofo ou umidade, presença de insetos, alergia ao pólen das plantas e manutenção. Ottelé (2011) destaca o medo que as pessoas têm dos possíveis danos à construção, quando utilizam fachadas verdes, mas ressalta que muitas vezes estes danos já existiam antes da implantação do jardim e que, na verdade, a vegetação protege a envoltória do edifício e evita problemas de umidade.

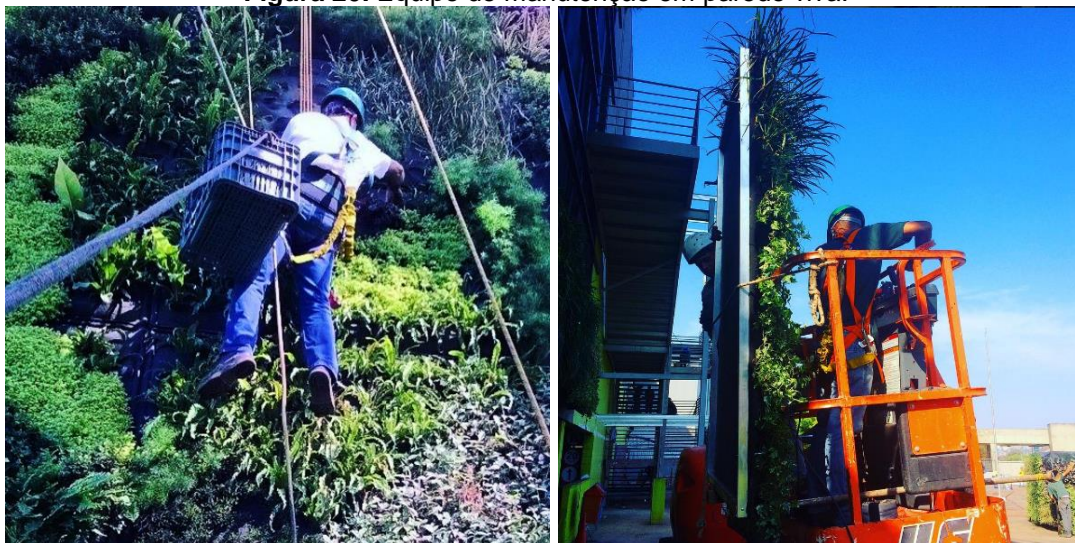
Sobre as paredes vivas são poucos os autores que falam sobre seus problemas, embora eles existam. Ottelé (2011) destaca como problemas as áreas de falhas na vegetação e o excesso de água de drenagem do jardim, que pode vazar pelas janelas do edifício. O autor reforça a importância de um sistema de irrigação bem planejado, de uma manutenção contínua e também da correta seleção das espécies. A manutenção é geralmente relacionada à vegetação e não ao sistema construtivo e consiste em podas de controle, adubação, controle de pragas e reposição de mudas, algo que acontece com certa frequência nas paredes vivas (OTTELÉ, 2011).

Susorova (2015) explica que os jardins verticais podem ser instalados em paredes novas ou reformadas. Porém, o projeto dessas paredes deve considerar os requisitos estruturais para suportar o peso do jardim. Esse autor destaca, ainda a necessidade de escolha das plantas, que deve ser apropriada para o tipo de jardim projetado e sugere a opção por espécies nativas da zona climática do local de implantação, além de considerar o crescimento e a densidade foliar.

As preocupações trazidas por Butkovich et al. (2008) também se repetem com a parede viva, mas ao considerar a questão da umidade, cada modelo apresenta um sistema de instalação diferente nos quais há uma preocupação com a impermeabilização da parede. Insetos e alergia ao pólen se resolvem com a escolha correta da vegetação. A manutenção também é constante e requer irrigação e fertilização contínua, vistorias na integridade da estrutura e sistemas anexos, além de precisar de equipe bem treinada, pois muitas vezes há necessidade do uso de guias ou até mesmo técnicas de alpinismo (Figura 20) (SUSOROVA, 2015).

Irwin (2015) considera que os problemas da parede viva podem ser de dois tipos: colapso do material ou mortalidade de plantas. A qualidade dos materiais construtivos é um fator essencial para o sucesso de uma parede viva, pois vasos ou jardineiras de plástico perdem o formato sob ação do sol forte, devido à dilatação do plástico e ressecam suas presilhas de fixação ou estruturas de manta que permitem proliferação de algas e condições anaeróbicas.

Figura 20. Equipe de manutenção em parede viva.



Fonte: Reproduzido do Instagram da empresa Vertigarden Brasil (2016).

Mortalidade de plantas está relacionada a fatores de cultivo como a quantidade de irrigação e fertilização, que devem estar de acordo com a necessidade fisiológica das espécies. Irwin (2015) ressalta que o encharcamento do substrato impede a respiração radicular e absorção de nutrientes, estimula a produção de toxinas na planta e a enfraquece, e é uma das principais causas de morte de plantas em jardim vertical. Doenças e idade também são causas de mortalidade das plantas, por isso é importante a manutenção e controle de pragas (IRWIN, 2015).

2.4 Benefícios

Sharp et al. (2008) afirmam que o uso de jardins verticais traz inúmeros benefícios em diferentes escalas e que estão relacionados com a área e densidade foliar, a escala do projeto e as condições do local. Segundo esses autores, os benefícios comuns a ambas as tipologias de jardins verticais podem ser divididos entre

públicos e privados. Peck et al. (1999) e Johnston e Newton (2004) classificam os benefícios em econômicos, sociais e ambientais.

Como benefícios públicos, os autores citam: 1- a redução do efeito de ilha de calor urbana que, em larga escala, uma vez que a vegetação resfria o entorno por meio da evapotranspiração e redução do albedo; 2- a melhoria da qualidade do ar, pois a vegetação absorve o dióxido de carbono e libera oxigênio pelo processo de fotossíntese, além de reter poluentes nas folhas e raízes (PERINI et al., 2013; MARCHI et al., 2015; SUSOROVA, 2015); 3- a melhoria estética da paisagem urbana, com a introdução do verde na cidade e a quebra da monotonia cinza das superfícies como o concreto (PERINI et al., 2013; BIANCO et al., 2017; BESIR, CUCE, 2018); 4- a retenção de água da chuva pela vegetação e substrato, que diminui o volume do escoamento superficial (PECK et al., 1999; CHENG, CHEUNG, CHUN, 2010; NISTOR et al., 2014); 5- o isolamento acústico que a vegetação proporciona que auxilia na redução da poluição sonora (SHARP et al., 2008; WONG et al., 2010a); 6- a criação de empregos para produção, instalação e manutenção dos jardins (SHARP et al., 2008) e 7- a criação de corredores verdes para integração das áreas verdes urbanas e incremento de biodiversidade (SHARP et al., 2008; COLLINS, SCHAAFSMA, HUDSON, 2017).

Na escala privada ou do edifício, o jardim vertical aumenta a eficiência energética da edificação. Há uma redução da temperatura do ar interna devido ao sombreamento e a evapotranspiração da vegetação. Além disso, o jardim também aumenta a resistência térmica da envoltória do edifício através da adição de camadas construtivas, o que diminui o fluxo de calor para o interior e faz com que o uso de energia elétrica para resfriamento seja menor (SHARP et al., 2008; WONG et al. 2009; WONG, et al., 2010; PERINI et al., 2011; PÉREZ et al., 2011; PÉREZ et al., 2014).

Ainda na escala do edifício, o jardim vertical traz proteção à estrutura e ajuda na conservação da alvenaria (SHARP et al., 2008); melhora a qualidade do ar interno ao absorver compostos orgânicos voláteis, aumentar a umidade e reduzir a concentração de dióxido de carbono (SHARP, et al., 2008; SUNAKORN; YIMPARYOON, 2011; TUDIWER, KORJENIC, 2017); auxilia no conforto acústico (AZKORRA et al., 2015); aproxima a natureza dos moradores, o que traz benefícios psicológicos e bem-estar (PECK et al., 1999) e permite integração com sistema de armazenagem de água da chuva e tratamento de águas cinza, a qual sai filtrada do

jardim e vai para cisternas, podendo ser reutilizada na própria irrigação ou em outras funções (MASI et al., 2016).

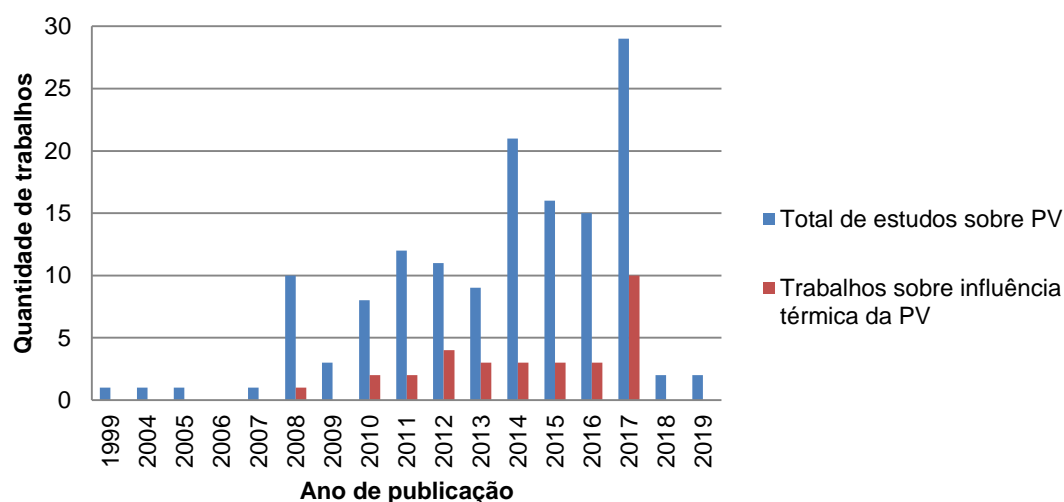
Esses benefícios estão alinhados com as premissas de uma arquitetura sustentável, na qual a tecnologia é utilizada nos projetos com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos edifícios e a qualidade ambiental urbana, o que gera conforto e saúde para a população, com um menor impacto ambiental (GONÇALVES; DUARTE, 2006; OTTELÉ, 2011).

2.5 Influência térmica de jardins verticais de tipologia parede viva

Os estudos experimentais sobre a influência térmica das paredes vivas são recentes e, segundo Wong et al. (2010) e Safikhani et al. (2014) seus efeitos térmicos carecem de informações em diferentes contextos climáticos. Köhler (2008) ressalta que há uma concentração de estudos na Alemanha, aspecto que justifica mais pesquisas em outros lugares do mundo. Perini et al. (2011a) e Chen e Wong (2009) destacam que as novas tecnologias de parede viva abrem um novo campo de investigação sobre as suas propriedades térmicas e a durabilidade dos materiais.

A Figura 21 mostra a quantidade de estudos com abordagens experimentais relacionados ao comportamento térmico da parede viva em relação ao total de trabalhos encontrados por essa revisão.

Figura 21. Distribuição temporal dos trabalhos científicos sobre jardins verticais do tipo “parede viva” (PV)



Fonte: O autor.

A parede viva se caracteriza como um material de revestimento, assim, esses jardins funcionam como uma segunda pele que envolve a edificação e será o primeiro sistema a se relacionar termicamente com o ambiente natural. Isso irá influenciar o desempenho térmico do edifício e poderá criar melhores condições de conforto térmico para os usuários no ambiente interno e urbano (WONG et al., 2010; MAZZALI et al., 2013; SORTE, 2016). A influência da parede viva no desempenho térmico da edificação pode levar a uma economia na demanda de energia elétrica para sistemas de condicionamento ambiental (PERINI et al., 2011; COMA et al., 2017; PÉREZ et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016; PERINI et al., 2017).

Perez et al. (2014) destacam quatro pontos principais que podem afetar o comportamento da parede viva como sistema passivo de economia de energia: 1- o modelo de parede viva utilizado para construção do jardim; 2- o clima que influencia o comportamento térmico do sistema e a escolha das espécies (fator limitante para o crescimento e desenvolvimento da vegetação); 3- a característica de perda foliar das plantas utilizadas e 4- os mecanismos térmicos de ação da parede viva.

Os mecanismos de ação do jardim são os responsáveis por influenciar o desempenho térmico da edificação e são eles: sombreamento, isolamento térmico, resfriamento por evapotranspiração e barreira de vento (WONG et al., 2010; PERINI et al., 2011; MAZZALI et al., 2013; PÉREZ et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016; COMA et al., 2017). Esses mecanismos acontecem em conjunto e, ao considerar as diferenças construtivas dos modelos de parede viva e das espécies utilizadas, cada mecanismo terá um efeito com diferentes intensidades (PÉREZ et al., 2014).

O sombreamento ocorre por meio da cobertura total da fachada pela estrutura construtiva da parede viva no momento da instalação (o que impede que a radiação solar incida diretamente na edificação) e pela presença da vegetação. As plantas sombreiam a estrutura do jardim e adicionam mais uma barreira contra a radiação direta, o que diminui as temperaturas superficiais e a consequente entrada de calor em direção ao ambiente interno da edificação (MAZZALI et al., 2013; PÉREZ et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016).

Perez et al. (2014) destacam que esse mecanismo é o mais significativo no comportamento térmico da parede viva e Ottelé (2011, p. 118) ressalta que a presença

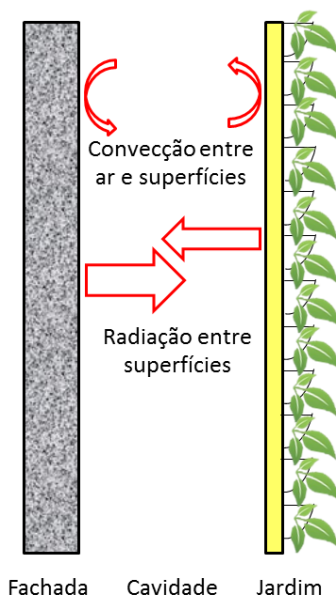
da vegetação sombreia as superfícies de concreto das edificação e, portanto, diminui a absorção de calor ao longo do dia. Assim, essas superfícies irradiam menos calor para o ambiente urbano e há um impacto positivo sobre os efeitos das ilhas de calor (OTTELÉ, 2011).

De acordo com Krusche et al. (1982 *apud* OTTELÉ, 2011), “do total de radiação que incide na vegetação, cerca de 5-30% é refletido, 5-20% é usado na fotossíntese, 10-50% é absorvido, 20-40% usado na transpiração e 5-30% é transmitido através das folhas.” A radiação que consegue passar pelos espaços da folhagem atinge à superfície da estrutura do jardim onde o mecanismo de isolamento térmico passa a agir conjuntamente com o sombreamento.

A parede viva é formada por várias camadas de diferentes materiais, assim, a vegetação, o substrato, a estrutura construtiva e a camada de ar que existe entre o jardim e a fachada adicionam ao sistema sucessivas resistências à entrada de calor para o edifício (PERINI et al., 2011) e o jardim torna-se um isolante térmico. Chen, Li e Liu (2013) relatam que no microclima da cavidade de ar existe troca térmica radiativa entre a superfície da parede protegida e a superfície interna da parede viva, além da troca térmica convectiva entre a superfície da parede e o ar da cavidade e entre o ar e a superfície da parede viva (Figura 22).

Chen, Li e Liu (2013) destacam, ainda, que o ar da cavidade pode ser a fonte de calor para as superfícies externa da parede protegida e interna da parede viva e que o jardim é o instrumento de resfriamento que retira calor tanto da parede, quanto da camada de ar. Além disso, registraram que a perda líquida de calor da superfície da parede protegida é maior quando essa cavidade de ar é selada, sem ventilação e sugerem que esse melhor efeito de resfriamento deve-se a trocas radiativas mais intensas entre as superfícies da parede protegida e da parede viva.

Figura 22. Trocas térmicas no microclima da cavidade de ar.

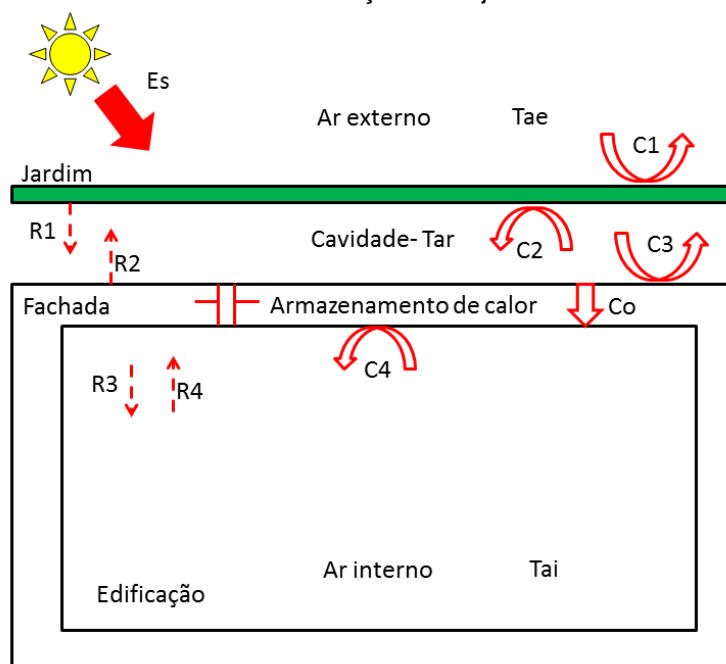


Fonte: Adaptado de Chen, Li e Liu (2013).

O resfriamento por evapotranspiração ocorre pela perda de água através da transpiração das plantas e da evaporação da água do substrato. Este mecanismo aumenta a umidade relativa e refresca o ambiente próximo ao jardim (OTTELÉ, 2011; PÉREZ et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016). A parede viva também funciona como uma barreira de vento, ao reduzir a velocidade do vento na superfície da envoltória do edifício e diminuir a troca de calor por convecção (PERINI et al., 2011; PÉREZ et al., 2014).

A Figura 23 ilustra o sistema térmico resultante da interação entre a parede viva e o ambiente natural e construído. As trocas térmicas ocorrem principalmente via condução, convecção e radiação (VOX et al., 2014; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2016). A radiação solar incidente é a fonte de energia do sistema e a vegetação é a primeira camada que bloqueia parte dessa energia total.

Figura 23. Sistema térmico resultante da interação entre jardim e ambiente construído e natural.



Legenda: R- trocas radiativas; C- trocas convectivas; Co- condução. Es- Energia solar incidente no jardim; T_{ai} - temperatura do ar interno; T_{ae} - temperatura do ar externo. Considerando cavidade selada.

Fonte: Adaptado de Vox et al. (2014).

2.5.1 Estudos sobre a influência térmica das paredes vivas

Em trabalho desenvolvido em Singapura, Wong et al. (2010) construíram oito paredes experimentais revestidas com diferentes estruturas de jardins verticais, com o objetivo de quantificar o efeito de sombreamento. As variáveis monitoradas durante o período de três dias foram as temperaturas superficiais e do ar. As paredes vivas apresentaram melhor desempenho térmico, com redução de temperatura superficial de até $11,6\text{ °C}$ e $3,3\text{ °C}$ na temperatura do ar a $0,15\text{ m}$ do jardim (WONG et al., 2010).

Safikhani et al. (2014a) utilizaram modelos experimentais em menor escala para avaliar o impacto térmico dos jardins verticais na Malásia. O experimento foi conduzido no período de três dias de céu limpo e ensolarado. As variáveis monitoradas foram temperatura do ar, umidade relativa do ar interna e externa e temperatura superficial interna e externa das fachadas. A parede viva apresentou melhor desempenho e reduziu a temperatura interna em até 4 °C , a temperatura do ar na cavidade de ar em 8 °C e a temperatura superficial externa em $6,3\text{ °C}$ (SAFIKHANI et al., 2014a).

Na Itália, Mazzali et al. (2013) avaliaram três paredes vivas com o objetivo de quantificar o desempenho térmico dos jardins. Medidas de temperatura superficial, temperatura interna e externa do ar, umidade relativa interna e externa, velocidade do vento, fluxo de calor e radiação foram monitoradas nas três paredes verdes e em paredes nuas para efeito de comparação. Estes pesquisadores encontraram uma diferença de até 20 °C de temperatura superficial entre parede viva e controle. Com relação aos fluxos de calor, a parede vegetada apresenta uma oscilação de valores entre -18 W/m² e 30 W/m², enquanto o fluxo de calor na parede sem vegetação oscila entre -90 W/m² e 100 W/m². Os autores explicam que esta diferença em termos de entrada e saída de energia na parede é principalmente devido ao efeito de bloqueio da vegetação contra a radiação solar (MAZZALI et al., 2013).

Bianco et al. (2017) utilizaram células-teste para avaliar o comportamento térmico de uma parede viva no inverno e no verão italiano. Para o inverno, os pesquisadores observaram uma média de temperatura do ar interno de 23,4 °C enquanto a temperatura do ar externo era de 8,8 °C, e uma redução de perda de calor de 63% comparado com a parede sem vegetação. Para o verão, a parede viva reduziu o pico da temperatura superficial externa em 23 °C, com uma diferença média de 7 °C.

Chen, Li e Liu (2013) fizeram um experimento na China com a parede viva na face Oeste e monitoraram as temperaturas superficiais; as temperaturas do ar internas, externas e da cavidade existente entre fachada e jardim vertical; a radiação solar e velocidade do vento. Eles compararam a parede com e sem vegetação. O estudo evidenciou uma diferença máxima de temperatura superficial externa entre essas paredes de 20,8°C e de temperatura superficial interna de 7,7°C. Esses autores e Perini et al. (2011) são os únicos que consideraram a interferência da parede viva na velocidade do vento e o quanto isso influencia no seu desempenho térmico.

Para Chen, Li e Liu (2013), a parede viva é o instrumento que retira calor da parede e da cavidade de ar, portanto, quanto menor a cavidade, maior a eficiência térmica, pois menor é a ventilação e a troca de calor por convecção. No entanto, como a troca de calor radiante é inversamente proporcional ao tamanho da cavidade, Perini et al. (2011) propõem que o mais sensato é que deva existir uma espessura ideal (40-60 mm), que otimize a redução das trocas térmicas. Como barreira de vento, o trabalho de Perini et al. (2011) encontrou uma redução de 0,46 m/s na velocidade do

vento e uma variação de 5 °C a menos da temperatura superficial da parede com o jardim.

No Brasil, Caetano (2014) estudou a influência de paredes vivas na envoltória de uma edificação em período de primavera-verão e observou uma redução de 15-30 °C na temperatura superficial externa da parede e de 7-12 °C na temperatura superficial interna. A parede viva estabilizou as temperaturas superficiais internas e externas entre 20-25 °C e houve um atraso térmico médio de 4h com amortecimento médio de 10 °C no horário mais quente para fachada norte. Enquanto que Lima Júnior (2014) investigou uma parede viva em célula teste na cidade de Curitiba, no período de inverno, e observou uma diferença média de 5,9 °C na temperatura superficial externa e uma diferença máxima de 2,4 °C para fachada norte.

Poucos trabalhos investigam especificamente a influência da parede viva no seu entorno imediato. Tan, Wong e Steve (2014) avaliaram os valores das temperaturas do ar em frente aos jardins verticais, as temperaturas superficiais da parede atrás dos jardins e as temperaturas de globo para estimar as temperaturas radiantes médias a diferentes distâncias. O objetivo desses autores foi quantificar o efeito da parede viva na temperatura radiante média em seu entorno imediato. A parede estudada foi dividida em três partes, duas delas com jardins e uma sem. Os resultados mostraram um acréscimo de 6,7 °C na temperatura superficial externa com a remoção de uma das paredes vivas. Com os dois jardins o pico de temperatura radiante foi de 10,9°C e ocorreu às 15h, mas quando uma delas foi retirada, o pico foi maior (12,9°C) e ocorreu mais tarde (TAN; WONG; STEVE,2014). Os autores destacam que estes resultados podem ajudar os projetistas na hora de tomar decisões para alcançar um melhor conforto térmico no entorno imediato.

Cañero, Urrestarazu e Salas (2012) pesquisaram a influência de paredes vivas em seu entorno imediato em ambiente interno. Os autores monitoraram a temperatura do ar e umidade relativa e observaram uma redução média de 4 °C, com máxima de 6 °C para a temperatura do ar, graças à evapotranspiração. Houve também um aumento de 15% da umidade relativa no local com parede viva de feltro geotêxtil. Urrestarazu et al. (2016) também monitoraram uma parede viva interna e sua influência nas condições microclimáticas e encontrou reduções da temperatura do ar de 0,8-4,8 °C a diferentes distâncias do jardim, em que a temperatura próxima ao jardim sempre foi menor que a temperatura do ambiente.

Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015) utilizaram modelos em escala reduzida para avaliar a influência da parede viva em um canyon urbano. A variável de interesse foi a temperatura radiante média e encontraram uma diferença de até 4 °C menor no canyon com paredes vivas. Em outro estudo, os mesmos autores analisaram o comportamento do jardim em condições de verão e inverno, e encontraram uma redução do pico de temperatura superficial externa da fachada de 15 °C no verão. O jardim reduziu 97% do ganho e 30% da perda de calor no verão, enquanto no inverno houve redução de 40% de ganho e 80% de perda de calor (DJEDJIG; BELARBI; BOZONNET, 2017)

O mecanismo de sombreamento é o mais estudado, seja isolado ou combinado com outros. Mazzali et al. (2013) destacam que o sombreamento leva a uma redução da temperatura superficial externa da parede e, conseqüentemente, a uma diminuição do fluxo de calor que atravessa a mesma e do consumo de energia elétrica para resfriamento no período quente. A temperatura superficial é a principal variável ligada ao mecanismo de sombreamento, seja ela externa ou interna às estruturas ou substrato do jardim e externa e interna da parede, conforme Quadro 1 (CHENG; CHEUNG; CHUN, 2010; WONG et al., 2010; PERINI et al., 2011; CAÑERO; URRESTARAZU; SALAS, 2012; CHEN; LI; LIU, 2013; MAZZALI et al., 2013; SAFIKHANI et al., 2014a; TAN; WONG; STEVE, 2014; HAGGAG; HASSAN; ELMASRY, 2014; CAETANO, 2014; LIMA JUNIOR, 2014; DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2015; VICTORERO et al., 2015; MANSO; CASTRO-GOMES, 2016; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2017; COMA et al., 2017; BIANCO et al., 2017; RAZZAGHMANESH; RAZZAGHMANESH, 2017; DJEDJIG; BOZONNET; BELARBI, 2017; OTTELÉ; PERINI, 2017; PERINI et al., 2017).

No entanto, a temperatura superficial só não é monitorada nos estudos que avaliaram exclusivamente o impacto do jardim vertical em seu entorno imediato em um ambiente interno (CAÑERO; URRESTARAZU; SALAS, 2012; URRESTARAZU et al., 2016), cujo mecanismo da evapotranspiração é o mais importante. Nesses estudos, não houve o cálculo da taxa de evapotranspiração das plantas e do substrato, mas apenas o impacto deste mecanismo na variação da temperatura do ar e da umidade relativa, e são os únicos que esclarecem a influência desse mecanismo.

Quadro 1. Principais variáveis monitoradas e mecanismos relacionados com sua variação.

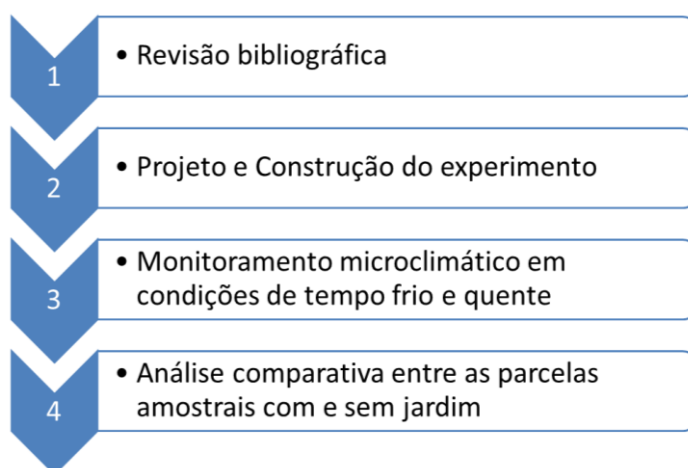
Variáveis Monitoradas	Mecanismos relacionados
Temperatura do ar externa	Barreira de vento/ Resfriamento evapotranspirativo
Velocidade do vento	Barreira de vento
Umidade relativa externa	Resfriamento evapotranspirativo
Temperatura superficial folhagem	Sombreamento/ Resfriamento evapotranspirativo
Temperatura superficial substrato	Sombreamento/ Resfriamento evapotranspirativo
Temperatura superficial estrutura	Sombreamento/ Resfriamento evapotranspirativo
Temperatura superficial interna <i>living wall</i>	Sombreamento/ Resfriamento evapotranspirativo/ Isolamento
Temperatura do ar da cavidade	Sombreamento/ Isolamento
Temperatura superficial externa parede	Sombreamento/ Isolamento
Temperatura superficial interna parede	Sombreamento/ Isolamento
Temperatura do ar interna	Sombreamento/ Resfriamento evapotranspirativo/ Isolamento
Fluxo de calor	Sombreamento/ Isolamento/ Resfriamento evaporativo

O mecanismo de isolamento térmico é tratado de diferentes formas entre os autores. Perini et al. (2011) estabeleceram modelos para cálculo de resistência térmica dos jardins verticais; Bianco et al. (2017) calcularam transmitância e condutância da parede viva; Mazzali et al. (2013) utilizaram fluxímetros para medir a quantidade de fluxo de calor que penetra o ambiente interno e depois compara com uma parede sem vegetação, e também com os valores monitorados e os calculados; Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) calcularam a transferência de calor através da parede com e sem o jardim. Embora os trabalhos busquem compreender e quantificar a taxa de fluxo de calor que atravessa o jardim, não há uma padronização de como esse mecanismo deva ser investigado, o que dificulta a comparação e reprodutibilidade dos estudos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo deste trabalho que é “Identificar o impacto de uma parede viva contínua na redução das temperaturas superficiais de uma fachada e nos microclimas do seu entorno imediato.”, esta pesquisa seguiu quatro etapas metodológicas, conforme mostra Figura 24. A revisão bibliográfica forneceu suporte teórico e metodológico para a construção de uma parede viva e o desenvolvimento de levantamento de dados necessários para identificar a influência térmica dessa tipologia de jardim vertical.

Figura 24. Etapas Metodológicas



3.1 Caracterização física e climática do local de estudo

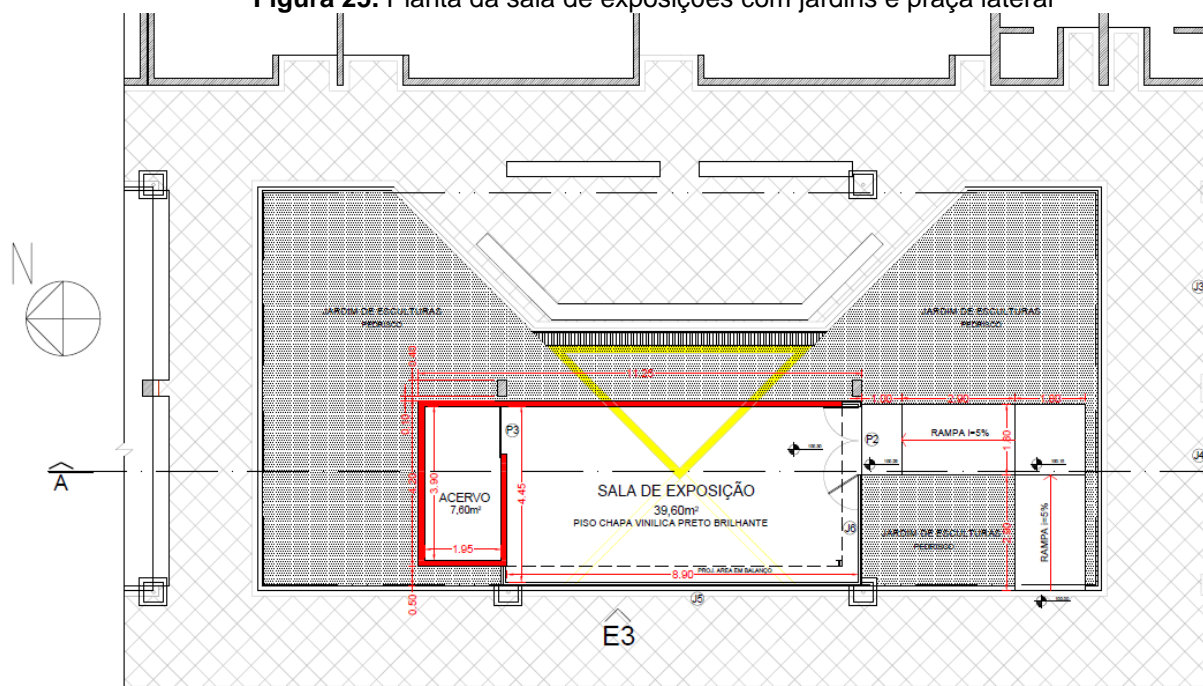
A pesquisa foi conduzida no campus da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), situado na cidade de Bauru (Lat. 22°18’54” Sul, Long. 49°03’39” Oeste e altitude média de 530m), cidade do centro oeste paulista e caracterizada por clima Cfa (clima subtropical, com verão quente), segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

A parede viva foi construída em uma fachada Leste de uma edificação localizada no pátio interno da Central de Laboratórios da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC) e funciona como uma sala para exposições e eventos dos cursos de Artes Visuais e Arquitetura e Urbanismo (Figura 25). A sala não possui uso contínuo e fica fechada na maior parte do tempo e, portanto, sem produção de

calor antropogênico. Assim, o calor no ambiente interno é devido à transmitância dos materiais dos fechamentos (paredes e cobertura).

O edifício possui as fachadas Leste e Norte construídas em alvenaria de meio tijolo cerâmico do tipo baiano, rebocadas e pintadas de branco (absortância de 0,20); enquanto que as fachadas Sul e Oeste são de vidro. As fachadas Oeste e Norte são totalmente protegidas da radiação solar direta por estarem integradas a um espaço de circulação coberto e por vegetação, respectivamente (Figura 26). A fachada Leste recebe radiação solar direta a partir das 08h e é voltada para um espaço de convívio dos estudantes. Esse espaço não possui cobertura e, junto com a superfície externa da parede branca da sala de exposições, gera desconforto térmico e ofuscamento aos usuários (Figura 26).

Figura 25. Planta da sala de exposições com jardins e praça lateral



Fonte: Retirado do projeto executivo do arquiteto Fernando Arrivabene para a Central de Laboratórios da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC) (2009).

Figura 26. Fachadas da sala de exposições.



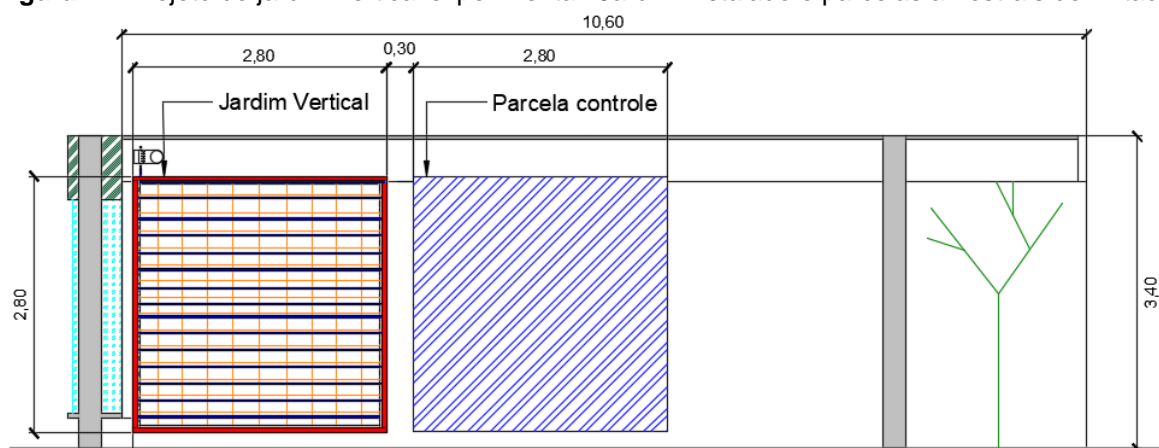
Legenda: A- as fachadas Oeste (sombreada) e Sul (entrada do pavilhão). B- as fachadas Leste (voltada para a praça) e Norte (sombreada pela cobertura e árvore). 1- Destaque para a praça. Fonte: O autor.

3.2 Projeto e construção do experimento

O experimento consta de um jardim vertical de tipologia “parede viva contínua”, que é caracterizada por uma estrutura composta por várias camadas que aumentam a resistência à entrada de calor para o interior do edifício e permitem um livre desenvolvimento radicular da vegetação por toda a superfície do jardim.

Assim, a parede viva experimental foi projetada conforme apêndice B e instalada sobre a fachada Leste da sala de exposições, a qual possui 10,60 m de comprimento por 3,40 m de altura e é voltada para o espaço de convívio. O experimento é composto por duas parcelas amostrais (com e sem jardim) de áreas iguais de 2,80m de comprimento por 2,80m de altura (Figura 27). As parcelas serão referenciadas nos resultados como: parcela protegida e parcela controle para influência do mecanismo de sombreamento e como jardim e parcela controle para influência no entorno imediato.

Figura 27. Projeto do jardim vertical experimental- Jardim instalado e parcelas amostrais delimitadas

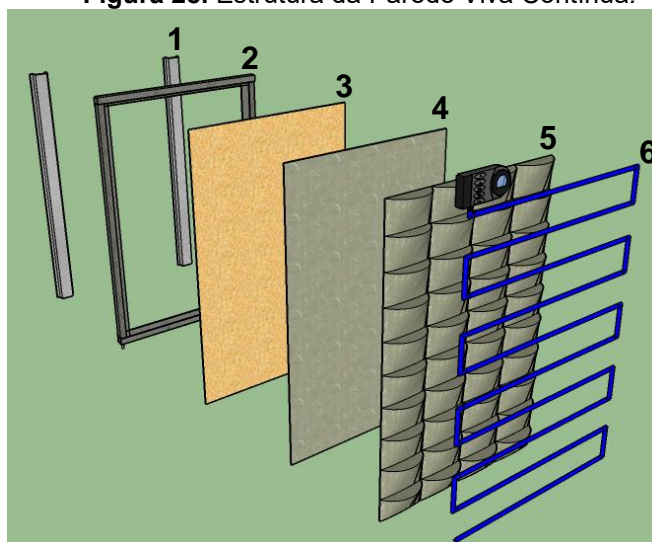


Legenda: Elevação representando a instalação do jardim experimental na fachada Leste e a delimitação das parcelas amostrais. Medida em metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

O termo “Jardim” fará referência ao sistema completo (estrutura, substrato e vegetação). Esse sistema todo é sustentado por caibros de madeira presos à parede que afastam o jardim do edifício e criam uma camada de ar de sete centímetros de espessura. Nesses caibros são fixados os módulos feitos com placas ecológicas impermeáveis derivadas de reciclados Tetrapak® e camadas de manta geotêxtil. Essa estrutura é vedada e protegida em todo o seu perímetro por calhas metálicas que impedem avarias e recolhem a água excedente da irrigação (Figura 28). A vegetação é plantada entre as camadas de manta em forma de bolsões e crescem livremente por entre elas.

A escolha pela parede viva contínua levou em consideração que a estrutura provê uma cobertura de 100% da parede ao término de sua execução, a facilidade de instalação e o ótimo desempenho quanto ao desenvolvimento da vegetação, o que reflete em menor necessidade de manutenção com trocas de plantas e melhor cobertura vegetal. Por fim, a escolha também se baseou no fato de ser a tecnologia mais comum quando aplicada em escala urbana, como nos projetos de requalificação ambiental urbana do Elevado João Goulart (REOLOM, 2015) e da Avenida 23 de Maio na cidade de São Paulo (CRUCIOL-BARBOSA; FONTES, 2018).

Figura 28. Estrutura da Parede Viva Contínua.



Legenda: 1. Caibro de madeira, 2. Calhas de vedação e drenagem, 3. Placa ecológica, 4 e 5 Camadas de geotêxtil e 6. Irrigação. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os apêndices B e C mostram o detalhamento do projeto da estrutura do jardim experimental e o apêndice D traz imagens do passo a passo da instalação. Algumas

modificações tiveram que ser feitas para que fosse possível o acesso à cavidade de ar existente entre a parede e o jardim para a acomodação dos equipamentos de medição. Essas modificações incluem a substituição dos perfis metálicos de sustentação de dois centímetros de espessura por caibros de madeira pinus de sete centímetros; a vedação com calhas metálicas em toda a lateral dessa estrutura de caibros, além da vedação já prevista no restante da estrutura e uma abertura central que funciona como uma porta e permite o acesso à cavidade.

A substituição dos perfis metálicos pelos caibros de pinus de no máximo sete centímetros de espessura e a vedação lateral dessa estrutura respeitou a orientação de Chen, Li e Liu (2013) e Pérez et al. (2014). Esses autores alertam que, quanto menor e mais selada for a cavidade de ar, em relação à entrada de correntes de ar externas, melhor é o desempenho térmico do jardim.

O uso de placas ecológicas de reciclados Tetrapak® é inédito em trabalhos desse tipo no Brasil e busca uma maior sustentabilidade do projeto, sem perder a característica impermeabilizante e estrutural que essa camada confere ao jardim. Além disso, essa placa também apresenta certa resistência ao fogo, sendo classificada na classe D (em uma escala de A a E, sendo A com maior resistência), segundo ensaio técnico disponibilizado pelo fabricante.

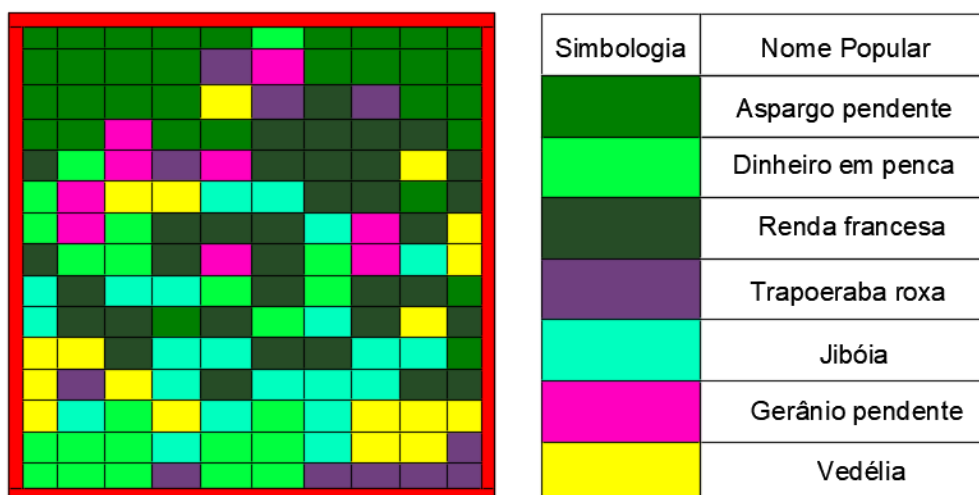
3.2.1 Construção e Manutenção da Parede Viva Contínua

O jardim foi construído em dezembro de 2017 com a instalação da estrutura e plantio da vegetação. Assim, as plantas tiveram oito meses para se adaptar e crescer até a realização da primeira campanha de medições, em agosto de 2018.

As espécies escolhidas inicialmente foram aspargo pendente (*Asparagus densiflorus* (Kunth) Jessop 'Sprengeri'), trapoeraba-roxa (*Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt), gerânio-pendente (*Pelargonium peltatum* (L.) L'Hér), dinheiro-em-penca (*Callisia repens* (Jacq.) L.), renda-francesa (*Rumohra adiantiformis* (G. Forst) Ching), vedélia (*Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski) e jibóia-variegata (*Epipremnum pinnatum* (L.) Engl) (LORENZI; SOUZA, 2008). A escolha das espécies se baseou em inventários florísticos disponibilizados por empresas especializadas (SKYGARDEN, 2015; MOVIMENTO90, 2017b). A Figura 29 traz o diagrama de plantio inicial desse projeto, com opção pelo plantio em mosaico (com as espécies misturadas) para uma

cobertura mais rápida pela vegetação. Quanto mais biodiverso é o jardim, melhor é a cobertura vegetal, pois o crescimento desigual entre as mudas faz com que exista uma contribuição entre elas com sombreamento, proteção mecânica e resistência às pragas.

Figura 29. Diagrama de plantio inicial do jardim vertical
Tabela de Plantio



Legenda: Elevação representando o plano inicial de plantio das espécies no jardim experimental.

Para o plantio foi utilizado substrato orgânico para jardinagem, enriquecido com adubo super simples e vermiculita. O adubo super simples é rico em fósforo, cálcio e enxofre, nutrientes que auxiliam no enraizamento das plantas. A vermiculita foi utilizada com objetivo de aumentar a retenção de água nesse solo (Quadro 2).

Quadro 2. Lista de materiais para plantio e manutenção da parede viva

Item	Descrição
Substrato orgânico	Composição de bagaço de cana, palha de café, turfa, rocha calcárea, esterco, cinzas, resíduos orgânicos. Marca: Genesolo- GenFértil. CTC 90.
Adubo super simples	Fertilizante superfosfato simples para estimular enraizamento.
Vermiculita	Vermiculita fina para retenção de água no solo.
Forth Jardim	Fertilizante de manutenção com fórmula balanceada para reposição nutricional de plantas.
Forth Enraizador	Fertilizante utilizado na implantação de jardins, para estimular rápida formação de raízes.
Fertilizante Foliar Hydro Fert	Fertilizante para adubação foliar com fórmula rica em nitrogênio (30-09-10) auxiliando na formação e fortalecimento das folhas e ramos.
Temporizador	Temporizador de irrigação com 1 saída de água. Marca: Orbit.
Mangueira e gotejo	Tubo cego para irrigação de 17 mm e botões de gotejo de vazão. Marca: Netafim.

Defensivo	Inseticida INSETICOM 10 PM, do tipo pó molhável, com Lambda-Cialotrina 10% como ingrediente ativo. Marca Insetimax
------------------	--

Fonte: GENFÉRTIL (201-); AGROSOLO (2017); FORTH JARDIM (2017); INSETIMAX (2017).

Após o plantio, foi necessário o monitoramento e manutenção do jardim para que as plantas se desenvolvessem bem e de forma sadia. Assim, foram aplicados adubos e suplementos para as mudas e, posteriormente, para a reposição nutricional das plantas. As doses seguiram as instruções do fabricante e a frequência de aplicação foi de 15 em 15 dias de forma pulverizada, ou seja, foliar. Essa técnica de adubação foi possível pelo tamanho do jardim, mas para jardins maiores, recomenda-se o uso de fertirrigação. Um controle de pragas (formigas, cochonilhas, pulgões) também foi realizado (Quadro 2).

A maior parte das espécies se desenvolveu com crescimento vegetativo vigoroso, porém, somente a espécie *Callisia repens* apresentou problemas por volta de março de 2018 com mortalidade e necessidade de reposição de algumas mudas. Assim, em abril de 2018 houve uma pequena reforma com substituição de algumas plantas mortas por novas mudas de renda-francesa e singônio (*Syngonium angustatum* Schott) e uma redistribuição de mudas já existentes. Em julho de 2018 houve uma segunda e última troca de plantas mortas da espécie *C. repens* e *S. trilobata* por gerânios e lambari-prateado (*Tradescantia zebrina* Heynh. ex Bosse) (Apêndice E e F).

Todo o jardim recebeu um sistema automatizado de irrigação com temporizador que controla o tempo e a quantidade de vezes que a irrigação é acionada e sistema de mangueiras com botões gotejadores para cada bolsa/planta (Quadro 2). A irrigação foi programada em duas vezes por dia com o tempo entre 08 a 15 minutos, de acordo com a necessidade hídrica em função das condições de tempo ao longo do ano.

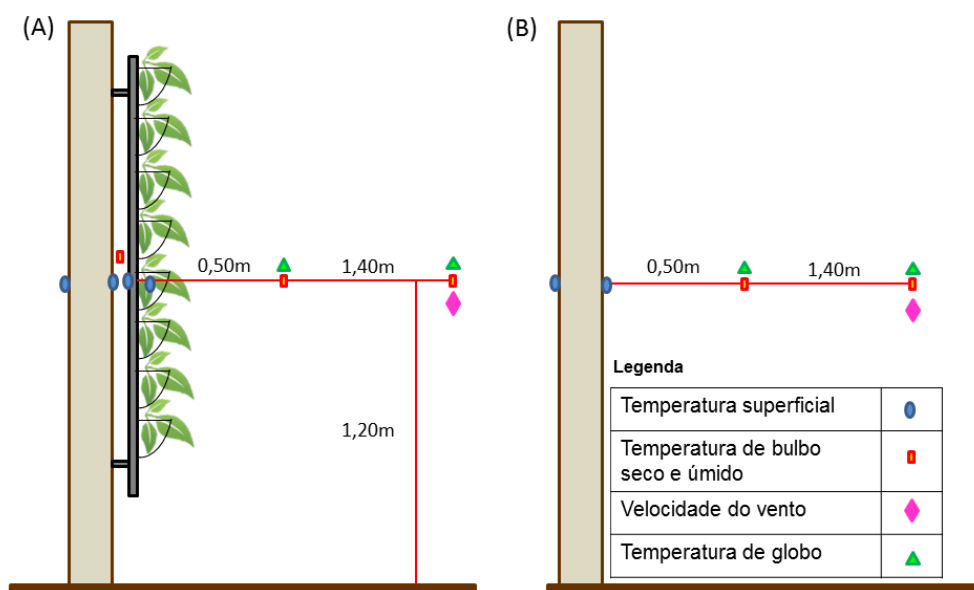
3.3 Coleta de Dados

A pesquisa de campo teve como principais referências os trabalhos desenvolvidos por Wong et al. (2010); Perini et al. (2011); Mazzali et al. (2013); Chen, Li e Liu (2013); Tan, Wong e Steve (2014); Caetano (2014); Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) e foi realizada em 2 campanhas: 1º- Medição com jardim

vertical em condições de tempo frio e seco (nos dias 10,11 e 12 de agosto de 2018) e 2º- Medição com jardim vertical em condições de tempo quente e úmido (nos dias 18,19 e 20 de março de 2019).

A figura 30 mostra a distribuição dos equipamentos em ambas as parcelas amostrais e as respectivas variáveis monitoradas em cada ponto.

Figura 30. Esquema com a distribuição dos equipamentos em seus respectivos locais de medições na parede.



Legenda: (A)- com jardim e (B) – sem jardim

Nessas campanhas foram monitoradas: 1º- condições microclimáticas externas locais e a 0,50 e 1,40m do centro da parede com e sem o jardim (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo e velocidade do ar); 2º- Temperaturas superficiais internas e externas da parede com e sem o jardim; 3º- Temperaturas superficiais da superfície interna e externa do jardim; 4º- temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido na cavidade de ar formada entre a parede e o jardim; 5º- radiação solar direta incidente na superfície vertical.

Além dessas variáveis, também foram registradas fotos com câmera térmica nas faces interna e externa de ambas as parcelas para realização de análises qualitativas da carga térmica das superfícies das parcelas. As fotos foram tiradas a cada uma hora, a partir das 08h45min, com uma câmera térmica Flir E6 e após seguir os procedimentos de calibração exigidos pelo equipamento. Dessa forma, foram

utilizados valores de emissividades de 0,90 para a parede branca e 0,94 para a vegetação, segundo Çengel e Ghajar (2012, p. 28) O quadro 3 traz as especificações dos equipamentos utilizados nessas campanhas e suas características.

Quadro 3. Relação dos equipamentos utilizados nas campanhas com jardim vertical.

Variáveis	Equipamentos
Temperatura superficial (superfície interna e externa da parede e do jardim)	Termômetro digital portátil Instrutherm. Modelo TH-1000 com 5 pontos de medição. Escala -40 °C – 199,9 °C. Precisão +/- 0,5 °C. Sensor tipo K com 20 mm comp. X 5 mm diâmetro. Precisão 0,5%
Temperatura de globo externa (em frente às parcelas com e sem jardim)	Datalogger Modelo: HOBO H8 Pro Series. Faixa de temperatura: -40 °C - +100 °C. Precisão de tempo: aprox. ±1 minuto p/ semana (±100 ppm a +20 °C). Sensor externo com globo cinza (Ø 4 cm; Emissividade 0,95).
Temperatura de bulbo seco e bulbo úmido externas e da cavidade de ar	Datalogger Modelo: HOBO H8 Pro Series. Faixa de temperatura: -40 °C - +100 °C. Precisão de tempo: aprox. ±1 minuto p/ semana (±100 ppm a +20 °C). Sensor externo adaptado para bulbo úmido.
Temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo das condições microclimáticas locais.	Datalogger de temperatura e umidade (Modelo: Testo 175-H1). Precisão: canal interno +2% HR (0...+100%HR), + 0,5°C (-20...+70°C); canal externo +0,2 °C (-25...+70 °C). Sonda externa com globo cinza (Ø 4 cm; Emissividade 0,95)
Velocidade do vento	Anemômetro Digital tipo Concha Impac. Modelo AM-4220. Velocidade máx. 35 m/s. Precisão =/- 2% + 0,2 m/s
Imagens térmicas	Câmera Térmica Flir E6 (Faixa de temperatura -20° a 250°C, Precisão: ± 2% ou 2°C, Modos de medição: 3 modos, Ponto (central); área (min/máx.); isoterma (acima/abaixo)).
Radiação solar direta e difusa (net-radiômetro fixado na estação meteorológica móvel)	Net-radiômetro Kipp & Zonen modelo CNR-1. Precisão: ±10% em dias ensolarados. Datalogger Campbell modelo CR1000. Precisão em tempo real +/- 3 min por ano.

O apêndice G mostra as fotos dos equipamentos que foram utilizados. As medições, a cada 15 minutos, foram realizadas durante três dias de tempo estável e em duas condições de tempo (período quente e úmido e período frio e seco). A escolha dos dias de medição teve como base a série histórica do clima local que permitiu estabelecer as condições limites para os dois períodos de coleta de dados.

Os equipamentos relacionados com as parcelas foram posicionados alinhados ao centro de cada uma, além disso, as parcelas estão distantes 30 cm uma da outra com o objetivo de evitar a influência do efeito de borda (Apêndice H). O restante da parede não foi utilizado, pois recebe sombra de um pilar e de uma treliça metálica.

O monitoramento das variáveis microclimáticas locais foi feito com datalogger de temperatura e umidade mantido em um tripé a 4m de distância do campo experimental. Além disso, medidas de radiação solar foram realizadas com auxílio do

net-radiômetro, posicionado entre as duas parcelas com os sensores paralelos à parede de forma a registrar a radiação solar direta que chega à superfície verticalizada.

Todos os sensores de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e globo foram protegidos com abrigos térmicos adequados para evitar superaquecimento e os equipamentos foram disponibilizados pelo NUCAM (Núcleo de Conforto ambiental do DAUP/FAAC/UNESP).

3.4 Análise dos dados

Os dados obtidos pelos monitoramentos foram organizados em planilhas e separados de acordo com a influência térmica (sombreamento e entorno imediato) que a respectiva variável estava envolvida. A partir disso, eles foram tratados e analisados sob a forma de gráficos e testes estatísticos.

Os registros das temperaturas superficiais externas e internas da parede permitiram a análise da intensidade do mecanismo de sombreamento de toda a estrutura do jardim sobre a parede da edificação. Enquanto que a temperatura superficial externa do jardim (ponto de medição na superfície da manta) permitiu identificar a intensidade do sombreamento apenas da vegetação em relação à superfície externa da parcela controle (CAETANO, 2014).

Os gráficos de variação das temperaturas superficiais internas e externas da parede com e sem jardim permitiram verificar o quanto o mecanismo de sombreamento influenciou na redução de entrada de calor da parcela protegida. Os dados das temperaturas superficiais internas e externas do jardim permitiram, ainda, analisar o comportamento térmico do sistema jardim-fachada e identificar se existe um gradiente padrão diário na variação desses parâmetros.

Para avaliar a influência da parede viva no entorno imediato, foram analisadas as variáveis: temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média a diferentes distâncias das parcelas com e sem jardim. A temperatura radiante média foi calculada por meio do programa Conforto 2.0.2 (RUAS, 2002), que utiliza a equação 1, a partir dos dados de temperatura de globo, temperatura do ar e velocidade do ar. Quantificar a influência da parede viva na temperatura radiante

média é fundamental, pois é um importante parâmetro que influencia na sensação térmica dos usuários que frequentam o espaço de convívio em frente ao jardim.

$$T_{rm} = \left[(T_a + 273,15)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} \times (T_g - T_a) \right]^{0,25} - 273,15 \quad (1)$$

Onde:

T_{rm} : temperatura radiante média;

T_a : temperatura do ar;

v : velocidade do vento;

T_g : temperatura de globo

Emissividade do globo $\varepsilon = 0,95$;

Diâmetro do globo $D = 0,04$ m;

Coeficiente de convecção médio do globo = $1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}$ (Nikolopoulou *et al.*, 1999);

As temperaturas de bulbo seco (temperatura do ar) e de bulbo úmido foram utilizadas para o cálculo da umidade absoluta e os resultados diários para as três variáveis (temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média) foram tratados sob a forma de gráficos de linhas. Esses gráficos permitiram uma análise comparativa e compreensão da influência térmica da parede viva em seu entorno imediato em relação à parcela controle.

Após essas análises, os dados foram submetidos a testes estatísticos. Assim, de acordo com o objetivo deste trabalho, desejou-se avaliar se as diferenças entre as médias das variáveis microclimáticas (temperatura superficial externa e interna da parcela com e sem jardim; temperatura o ar e umidade absoluta do entorno imediato em frente às parcelas com e sem jardim) foram estatisticamente significativas ou não.

As condições para aplicação de testes paramétricos exigem a verificação simultânea das seguintes condições: 1- Teste de Normalidade e 2- Teste da homogeneidade das variâncias. Os resultados apresentaram forte indicativo de distribuição normal e variância constante, considerando-se que foram realizados tratamentos paramétricos para os dados e aplicação de análise de variância do tipo ANOVA. Com isso, foi possível aplicar o Teste de Tukey, para verificar as

comparações de médias entre as amostras de tamanhos iguais, ao nível de significância de 0,05. Utilizou-se o software SPSS Statistics na avaliação dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos nas campanhas de medição microclimáticas, as discussões sobre as influências térmicas encontradas e a comparação estatística das variáveis relacionadas com os mecanismos térmicos. Para isso, a seção está dividida em três partes, que representam as condições de tempo analisadas (“frio e seco” e “quente e úmido”) e a síntese desses resultados com análise comparativa entre elas. Os resultados são apresentados de acordo com o mecanismo térmico de sombreamento e a sua influência no entorno imediato nessas duas condições de tempo.

4.1 Monitoramento em condições de tempo frio e seco

A campanha de monitoramento microclimático em condições de tempo frio e seco ocorreu nos dias 10,11 e 12 de agosto de 2018, período em que o Centro de Meteorologia de Bauru (IPMET) registrou temperaturas mínimas e máximas de 7,4 °C e 24,3 °C, respectivamente. Os dados históricos locais de temperatura para o mês de agosto apresentam uma variação média de 14,3 °C a 27,4 °C; dessa forma, os dias de monitoramento microclimático encontram-se abaixo dos valores mínimos e máximos históricos (Figura 31.). A umidade relativa variou no período de medição (das 08h às 17h45min) entre 24,9% e 81%, com queda contínua no período da manhã e atingiu os seus menores valores entre 15h e 16h (Figura 32). A incidência solar nas parcelas com e sem jardim é demonstrada no apêndice I. A caracterização das condições locais de exposição à radiação solar foi comparada com os dados de radiação do IPMET (Figura 33).

Figura 31. Médias históricas e diárias das máximas e mínimas para condição de tempo “frio e seco”

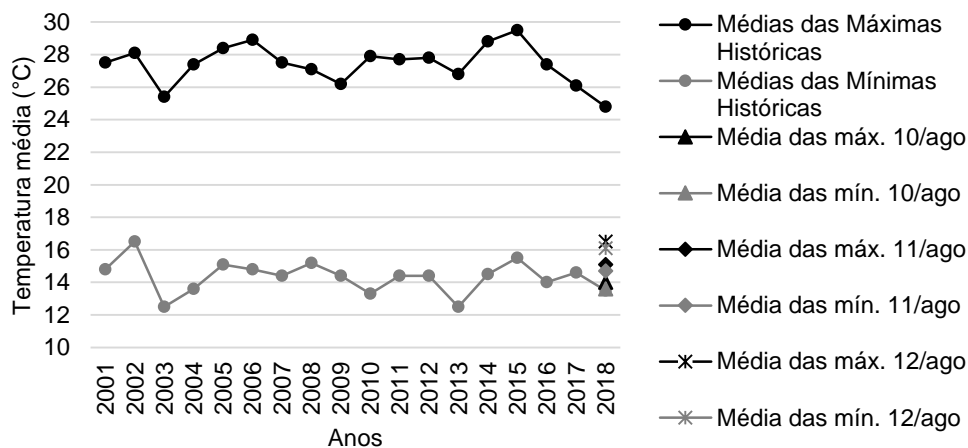


Figura 32. Umidade relativa em condição de tempo “frio e seco”, disponibilizados pelo IPMET

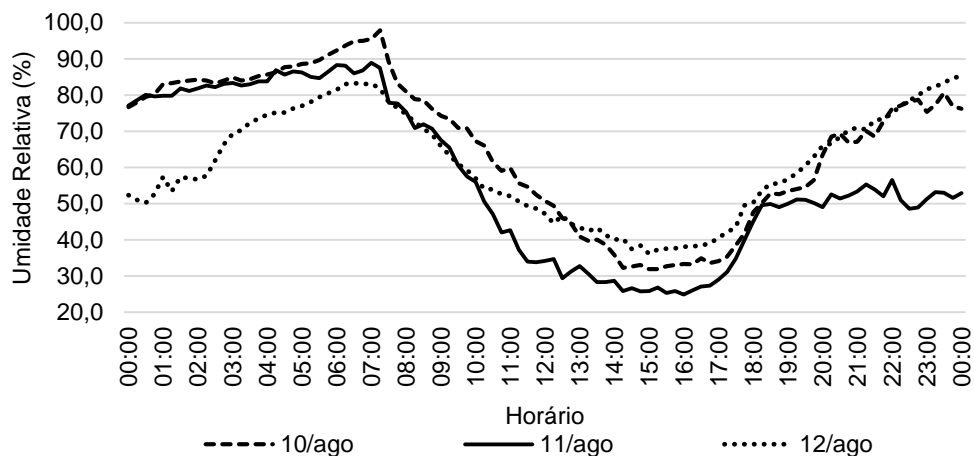
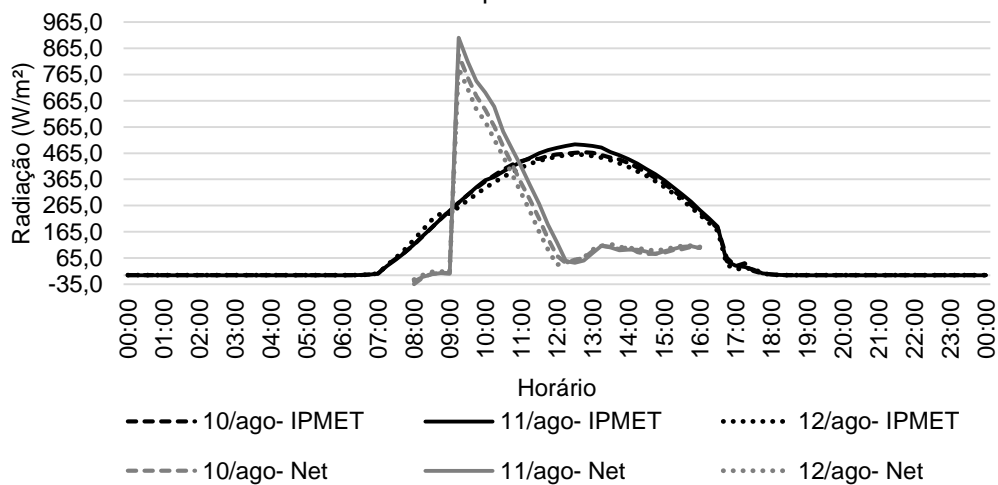


Figura 33. Radiação solar direta em condição de tempo “frio e seco”, disponibilizado pelo IPMET e monitorado *in loco* por um net radiômetro



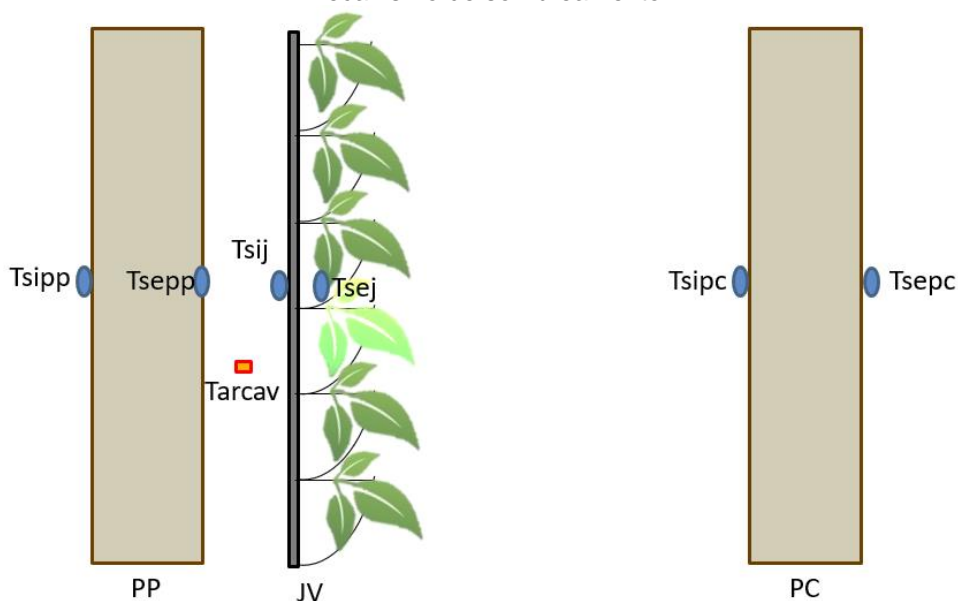
A radiação incidente na parede foi monitorada por um net-radiômetro com sensores paralelos à parede e apresentou os maiores valores no período da manhã, com picos às 09h15min em todos os dias de monitoramento e valor máximo de 905 w/m². Após os picos, mesmo com a incidência direta de radiação, houve uma queda progressiva e, à tarde, os valores registrados representam a radiação refletida e irradiada pelo entorno do local e pela abóbada celeste. Os picos de radiação incidente na parede ocorreram antes que os picos de radiação registrado pelo IPMET (12h30min) e foram maiores, com uma diferença entre os seus máximos de 406,1 W/m².

4.1.1 Mecanismo de Sombreamento

O jardim, composto pela vegetação, substrato e estrutura, sombreia e protege a parede da edificação contra a radiação solar incidente. Dessa forma, uma menor quantidade de energia térmica atinge a parede e, conseqüentemente, há uma redução do fluxo de calor que entra em direção aos ambientes internos. Assim, as principais variáveis que se relacionam com o mecanismo de sombreamento são as temperaturas superficiais externa e interna da parcela protegida pelo jardim vertical, juntamente com a temperatura do ar da cavidade, conforme demonstrado no quadro 1 da revisão bibliográfica (página 47).

O monitoramento de temperatura superficial foi realizado em seis pontos: 1- temperatura superficial externa do jardim (Tsej); 2- temperatura superficial interna do jardim (Tsi); 3- temperatura superficial externa da parcela protegida (Tsepp); 4- temperatura superficial interna da parcela protegida (Tsipp); 5- temperatura superficial externa da parcela controle (Tsepc); 6- temperatura superficial interna da parcela controle (Tsipc) e a temperatura do ar da cavidade (Tarcav), conforme Figura 34.

Figura 34. Distribuição dos equipamentos de monitoramento das variáveis relacionadas com mecanismo de sombreamento



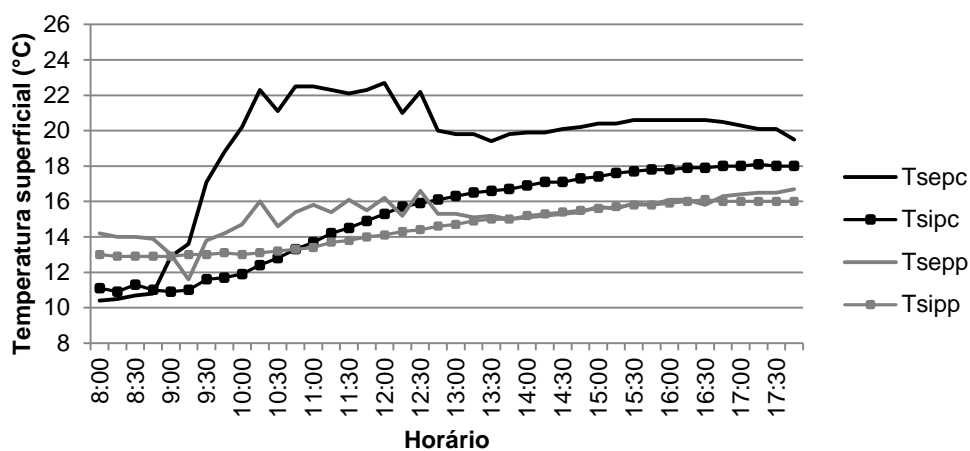
Legenda: PP: parcela protegida; JV: jardim vertical; PC: parcela controle.

Os resultados são apresentados em três linhas de investigação: 1- a influência do jardim nas temperaturas superficiais da parcela protegida, 2- o gradiente de temperaturas formado ao longo do sistema “jardim-parcela” e 3- a influência do sombreamento na temperatura do ar da cavidade.

4.1.1.1 A influência do mecanismo de sombreamento no comportamento térmico da parcela protegida.

Os resultados obtidos para as parcelas protegida e controle mostraram um comportamento térmico semelhante nos três dias de monitoramento, conforme mostrado pelas figuras 35, 36 e 37.

Figura 35. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018



Legenda: Tsepc: Temp. superficial externa da parcela controle; Tsipc: Temp. superficial interna da parcela controle; Tsepp: Temp. superficial externa da parcela protegida; Tsipp: Temp. superficial interna da parcela protegida.

Figura 36. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018

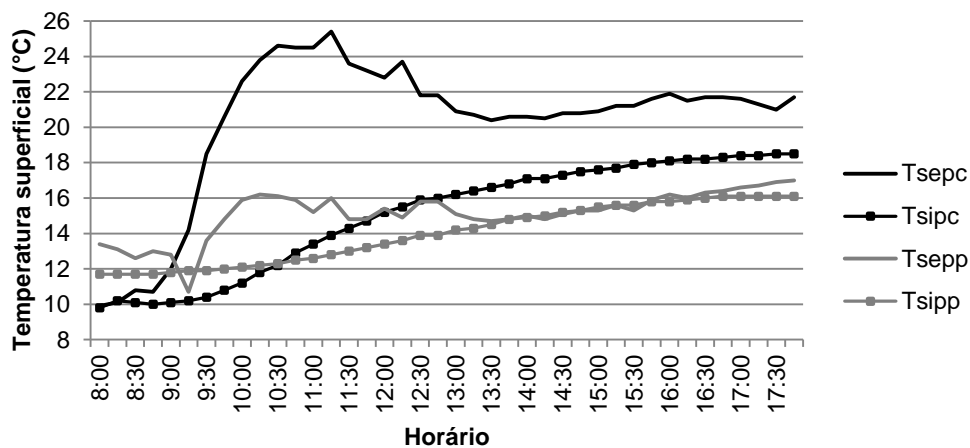
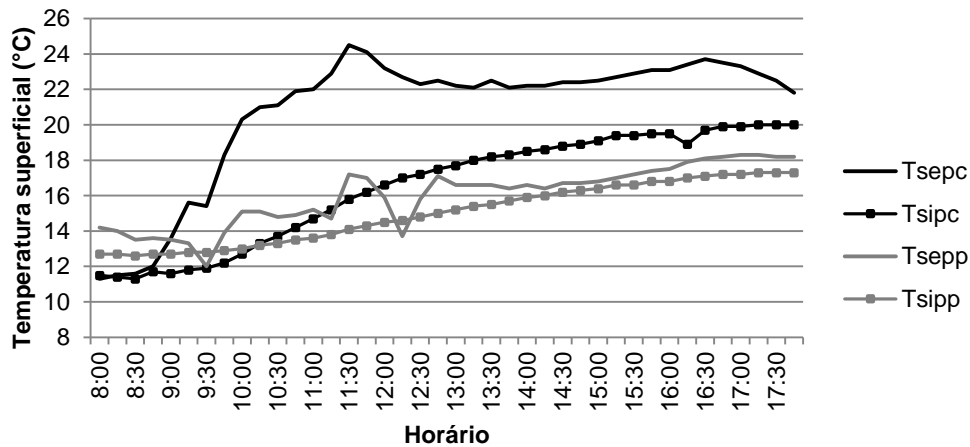


Figura 37. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018

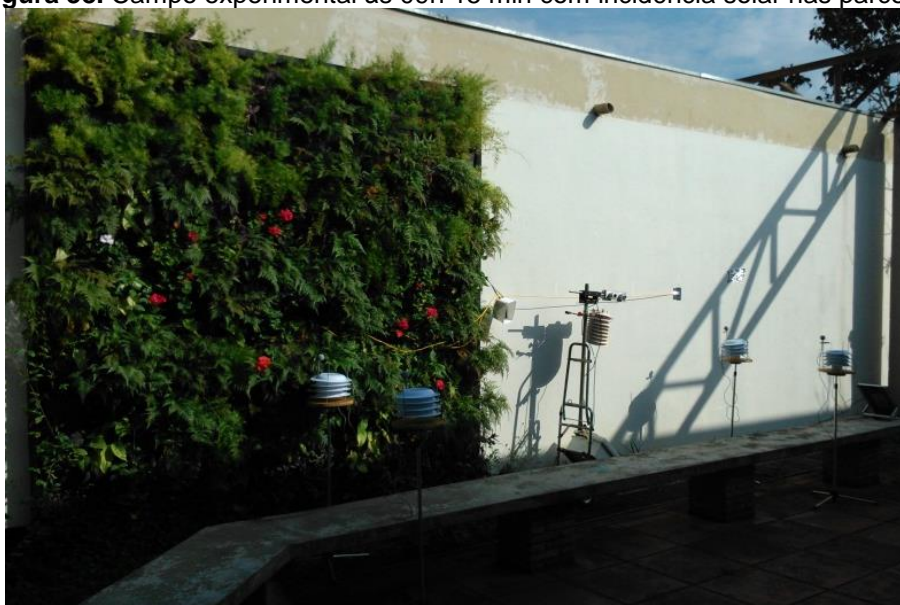


O jardim vertical influenciou o comportamento térmico da parede da edificação de forma que a parcela protegida sempre iniciou o dia com as temperaturas superficiais internas e externas mais altas em relação às da parcela controle. No período da manhã foram registrados picos de temperatura superficial externa para as parcelas protegida e controle de 14,2 °C e 13,6 °C, respectivamente, e picos de temperaturas superficiais internas de 13 °C e 11,7 °C, respectivamente. As diferenças de temperaturas entre as parcelas atingiram 3,8 °C entre as superficiais externas e de 1,9 °C entre as internas.

Essas diferenças mostram que no início da manhã, com as temperaturas mais frias do período de inverno, o jardim funcionou como um isolante térmico e influenciou o comportamento térmico da parcela protegida ao permitir a perda de calor acumulado de forma mais lenta em relação à parcela controle.

Essas diferenças se mantiveram até as 09h15min, a partir desse horário há uma primeira inversão e a temperatura superficial externa da parcela controle (T_{sepp}) aumenta de forma drástica e passa a apresentar sempre os valores máximos até o fim do período de medição. Essa inversão coincidiu com o horário em que ocorre o pico de radiação solar e esse aumento da T_{sepp} aconteceu mesmo com a característica de cor branca da parede (alta refletância). Isso mostra que a parcela sem jardim absorveu mais energia térmica, enquanto que o jardim funcionou como um escudo para a parcela protegida contra a intensa radiação solar (Figura 38).

Figura 38. Campo experimental às 09h 15 min com incidência solar nas parcelas



Fonte: Arquivo do autor.

As temperaturas superficiais internas aumentaram de forma mais lenta e a inversão entre elas ocorreu um pouco mais tarde, o que demonstra a transferência de calor para dentro da edificação através da parede. Essa inversão aconteceu entre 10h15min e 10h45min e, após às 11h, as temperaturas superficiais internas da parcela controle também alcançaram valores superiores às temperaturas superficiais externas da parcela protegida e permaneceram assim até o final do período de medições.

As diferenças máximas entre as temperaturas superficiais externas das parcelas protegida e controle aconteceram entre 10h45min e 12h15min, enquanto que, entre as temperaturas superficiais internas ocorreram após às 15h30min nos três dias de medição, e com a parcela protegida pelo jardim apresentando os menores valores. As diferenças entre elas alcançaram um valor máximo de 9,4 °C para as temperaturas externas e de 2,8 °C para as temperaturas internas (Tabela 1).

Esses resultados revelam que, com a incidência solar direta, o jardim vertical protegeu a parcela da parede de forma a deixar as suas temperaturas superficiais mais baixas que as da parcela controle. Essa influência térmica ocorreu ao longo de todo o período de medição, mesmo após a parede não receber mais radiação direta.

Tabela 1. Reduções das temperaturas superficiais externas e internas entre as parcelas

Dias monitorados	Reduções máximas		Reduções médias	
	Tse (°C)	Tsi (°C)	Tse (°C)	Tsi (°C)
10/08/2018	7,1	2,1	4,7	1,5
11/08/2018	9,4	2,4	5,7	1,8
12/08/2018	8,2	2,8	5,2	2,0

Legenda: Tse: Temperatura superficial externa; Tsi: Temperatura superficial interna.

Esses resultados são consequência do sombreamento criado pelo sistema de parede viva (estrutura e vegetação do jardim), e estão em concordância com outros estudos similares. Por exemplo, em condições de inverno na cidade de Curitiba, Brasil, Lima Júnior (2014) encontrou uma redução média de 5,9 °C e 5,1 °C para temperatura superficial externa e interna, respectivamente. Na França, Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2017) registraram uma redução de 3 °C – 5 °C durante o dia para a temperatura superficial externa da parede com jardim.

Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) também encontraram que, para dias frios, a parede sem proteção apresenta temperatura superficial externa mais alta

que a parede com jardim e que a temperatura superficial interna é sempre maior para a parede sem proteção. Para a temperatura superficial externa, Perini et al. (2011) encontraram uma diferença de 5 °C a menos para a parede protegida pelo jardim. Chaorenkit e Yiemwattana (2017) verificaram uma redução média de 3 °C na temperatura superficial externa da parede protegida pelo jardim para o período de inverno.

Destaca-se aqui que poucos trabalhos investigaram a influência térmica do jardim vertical de parede viva em condições de inverno. Além disso, geralmente os trabalhos foram desenvolvidos em climas bem mais amenos como o mediterrâneo e o oceânico, com características diferentes do encontrado na cidade de Bauru- SP.

O jardim também reduziu as variações das temperaturas superficiais internas e externas nos três dias de medição. A parcela protegida apresentou variação média de 5,9 °C e de 4,1 °C para temperaturas superficiais externas e internas, respectivamente. Enquanto que, a variação média da parcela controle atingiu 13,7° C para temperaturas superficiais externas e 8,2 °C para as internas, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Variação das temperaturas superficiais no período de medição

Dias amostrais	Parcela controle		Parcela protegida	
	ΔT_{se} (°C)	ΔT_{si} (°C)	ΔT_{se} (°C)	ΔT_{si} (°C)
10/08/2018	12,3	7,2	5,1	3,2
11/08/2018	15,5	8,7	6,3	4,4
12/08/2018	13,2	8,7	6,3	4,7
Variação Média	13,7	8,2	5,9	4,1

Legenda: Tse: Temperatura superficial externa; Tsi: Temperatura superficial interna.

Interessante perceber que as temperaturas superficiais externas da parcela protegida atingiram os seus picos somente no final do dia, a partir das 17h15min com uma variação de 16,7 °C - 18,3 °C entre os dias monitorados. Enquanto que a parcela controle apresentou picos de temperatura superficial externa entre 11h15 min e 12h com valores máximos variando de 22,7 °C - 25,4 °C. Dessa forma, destaca-se que o sistema de parede viva proporcionou um atraso térmico para as temperaturas superficiais externas da parcela protegida de até 06h30min em relação à parcela controle e criou um amortecimento térmico máximo de 8,4 °C (Tabela 3).

Tabela 3. Influência do jardim sobre a temperatura superficial externa da parcela protegida

Dias amostrais	Parcela controle (picos)	Parcela protegida (picos)	Amortecimento térmico diário
10/08/2018	22,7 °C às 12h	16,7 °C às 17h45min	6 °C
11/08/2018	25,4 °C às 11h15min	17 °C às 17h45min	8,4 °C
12/08/2018	24,5 °C às 11h30min	18,3 °C às 17h15min	6,2 °C
Atraso térmico médio de 06h			Amortecimento médio de 6,9 °C

As temperaturas superficiais internas da parcela protegida pelo jardim apresentaram seus picos a partir das 16h30min com variação de 16,1 °C – 17,3 °C; enquanto que, os picos de temperatura superficial interna da parcela controle ocorreram a partir das 17h15 min com valores variando de 18,1 °C – 20 °C. Ou seja, o jardim vertical do tipo parede viva reduziu a quantidade de energia térmica transferida através da parede (redução máxima de 2,7 °C), mas permitiu um pico interno 45 minutos antes em relação à parcela controle (Tabela 4), no período monitorado.

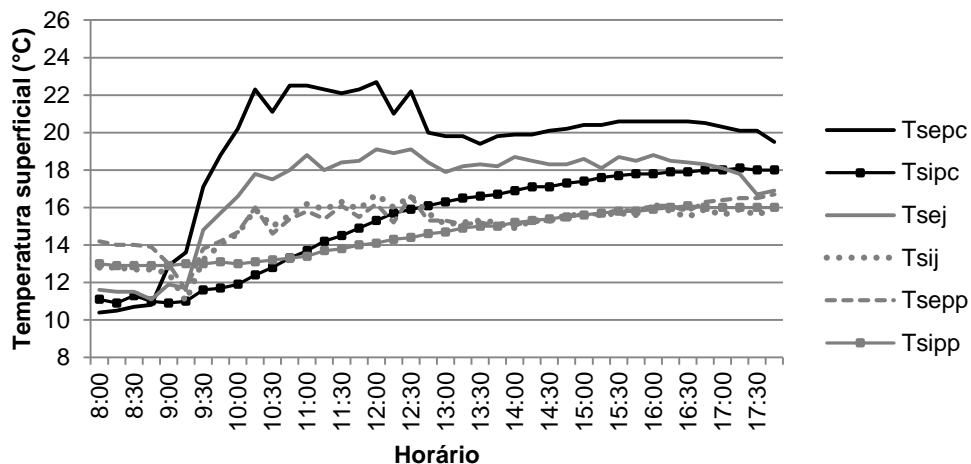
Tabela 4. Influência do jardim sobre a temperatura superficial interna da parcela protegida

Dias amostrais	Parcela controle (picos)	Parcela protegida (picos)	Amortecimento térmico diário
10/08/2018	18,1 °C às 17h15min	16,1 °C às 16h30min	2 °C
11/08/2018	18,5 °C às 17h30min	16,7 °C às 16h45min	2,4 °C
12/08/2018	20 °C às 17h15min	17,3 °C às 17h15min	2,7 °C
			Amortecimento térmico médio de 2,4 °C

4.1.1.2 Sistema jardim-parcela protegida

As figuras 39, 40 e 41 mostram o comportamento dos pontos de monitoramento ao longo da estrutura do jardim e das superfícies externa e interna da parcela da parede protegida. Os resultados evidenciam um padrão no comportamento térmico do sistema, no qual as temperaturas superficiais do jardim e da parcela protegida só são maiores que as da parcela controle no início da manhã, enquanto ainda não há incidência solar direta.

Figura 39. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 10/08/2018



Legenda: Tsepc: Temp. superficial externa da parcela controle; Tsipc: Temp. superficial interna da parcela controle; Tsej: Temp. superficial externa do jardim vertical; Tsij: Temp. superficial interna do jardim; Tsepp: Temp. superficial externa da parcela protegida; Tsipp: Temp. superficial interna da parcela protegida.

Figura 40. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 11/08/2018

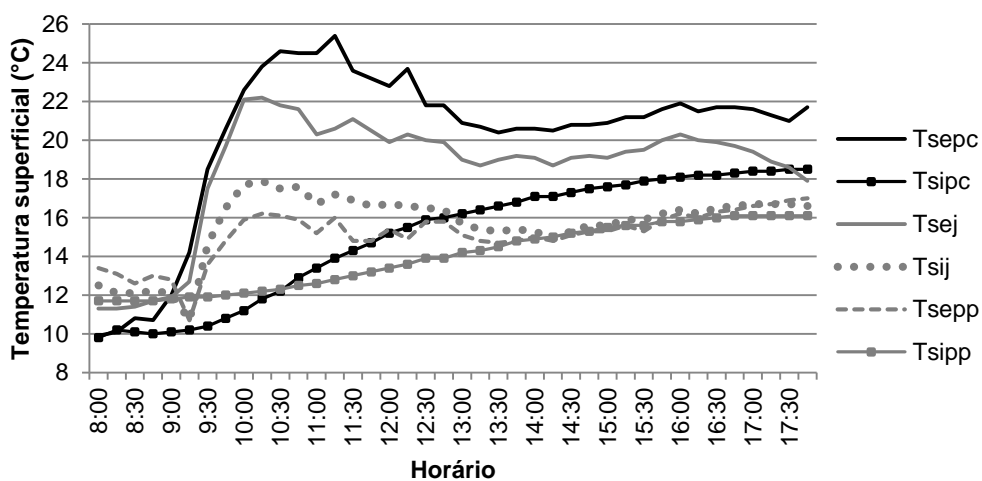
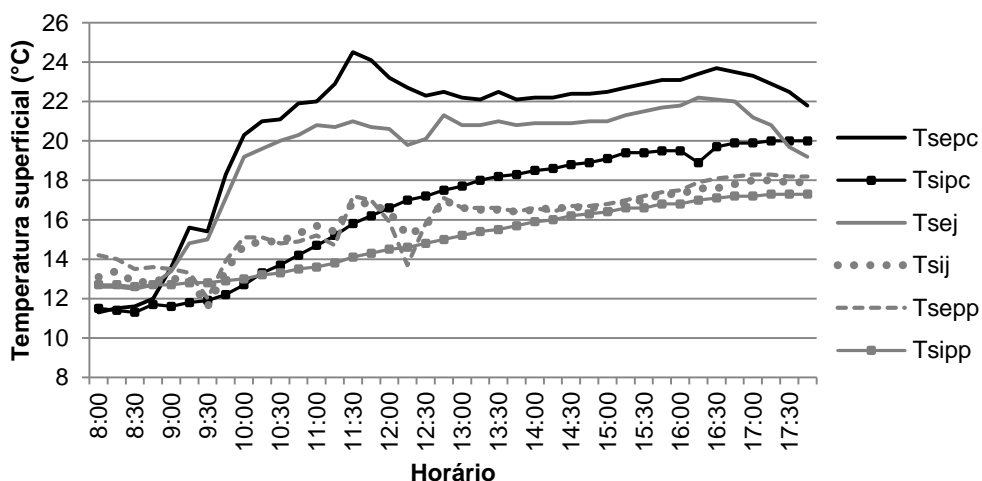


Figura 41. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 12/08/2018



A partir do momento em que a radiação solar incidiu na parede viva, os resultados mostraram um gradiente de valores de temperatura nos três dias de medição. Assim, o sistema jardim-parcela manteve todas as suas temperaturas superficiais menores em relação às temperaturas superficiais externas da parcela controle até o final do período de medições (17h45min).

O gradiente térmico formado inicia com a temperatura superficial externa da parcela controle, seguida da temperatura superficial externa do jardim e, após as 12h, a temperatura superficial interna da parcela controle foi superior à superficial interna do jardim e às superficiais externa e interna da parcela protegida. As temperaturas superficiais internas do jardim foram maiores que as superficiais externas da parcela protegida e as temperaturas superficiais internas da parcela protegida registraram os menores valores.

Destaca-se que a temperatura superficial externa do jardim apresentou reduções máximas de 3,5 °C - 4,8 °C menor que a temperatura superficial externa da parcela controle, ao longo dos três dias amostrais. Essas diferenças ocorreram graças à vegetação que forma a primeira camada de sombreamento do sistema e que, ao analisar apenas as diferenças entre os picos das temperaturas superficiais externas ($T_{sej} \times T_{sepc}$), contribuiu para um amortecimento térmico médio de 3 °C.

Assim, ao considerar que o sistema completo do jardim vertical proporcionou um amortecimento térmico médio de 6,9 °C (Tabela 3, página 66) para a temperatura superficial externa da parcela protegida em relação à temperatura superficial externa da parcela controle, o sombreamento da vegetação contribuiu, portanto, com quase 50% desse valor. Essa constatação demonstra a importância da vegetação na influência térmica do jardim sobre a parcela protegida.

Ressalta-se, ainda, que não houve um horário padrão na ocorrência dos picos da temperatura superficial externa do jardim, o que mostra que a vegetação não teve influência no atraso térmico, mas sim, no amortecimento em relação à temperatura superficial externa da parcela controle.

Os resultados deste estudo, mesmo que em menor magnitude, vão ao encontro do trabalho de Bianco et al. (2017). Esses autores também registraram uma redução na temperatura superficial dos módulos de plantio protegidos pela vegetação de até 8 °C, para condições de inverno.

A temperatura superficial externa do jardim foi, em média, 2,7 °C maior que a temperatura superficial externa da parcela protegida. Resultado que também está de acordo com o encontrado por Perini et al. (2011), os quais verificaram que a temperatura superficial da estrutura do jardim, protegida pela folhagem é, em média, 2 °C maior que a superficial externa da parede protegida pelo jardim. Wong et al. (2010) destacam que a maior redução da temperatura superficial é verificada onde tem maior densidade foliar e que a temperatura do substrato protegido pela vegetação sempre é menor que a temperatura superficial externa da parede sem jardim.

A temperatura superficial externa do jardim começou a diminuir a partir das 16h e ficou menor que a temperatura superficial interna da parcela sem jardim a partir das 17h. Essa redução pode ser justificada pela ausência de radiação direta e pela transferência da carga térmica acumulada através da estrutura do jardim, como pode ser observado pelo aumento das temperaturas superficiais internas, do sistema parede viva, e externas e internas da parcela protegida.

Verifica-se que as temperaturas superficiais do sistema variaram em pares e de acordo com a sua proximidade e microclimas que estavam em contato. Dessa forma, a temperatura superficial externa do jardim acompanhou o comportamento de variação da temperatura superficial externa da parcela controle, assim como, a temperatura superficial interna do jardim variou junto com a superficial externa da parcela protegida e, por fim, as temperaturas superficiais internas variaram juntas. Esse padrão de variação demonstra como as camadas construtivas da parede viva sombreiam e incrementam resistência térmica ao sistema, o qual funciona como um isolante que protege e impede a influência direta da radiação solar nas superfícies mais internas do jardim e externas da parcela protegida.

A transferência de calor pela estrutura do jardim segue o sentido do gradiente térmico (do ponto mais quente para o ponto mais frio) e acontece por meio do processo de condução. Assim, o calor é transferido desde a superfície externa da manta e aquece a sua superfície interna que é voltada para a cavidade de ar. A partir desse ponto, as trocas ocorrem entre a superfície do jardim e a superfície da parede por radiação e entre a superfície do jardim e o ar da cavidade por convecção (CHEN; LI; LIU, 2013).

As temperaturas superficiais internas do jardim (T_{sij}) apresentaram valores geralmente maiores em relação às superficiais externas da parcela protegida (T_{sepp}),

com diferença máxima de 2,1 °C. As temperaturas superficiais externas da parcela protegida foram maiores que as suas internas após as 09h15min e essa diferença se manteve até às 13h15min. A partir desse horário não houve incidência direta da radiação solar no jardim e as temperaturas superficiais (interna e externa) dessa parcela se aproximaram, com diferenças médias de 0,3 °C até o final da tarde.

A partir das 17h, a temperatura superficial externa da parcela protegida mostrou uma leve tendência a aumentar, provavelmente por consequência do fluxo de calor vindo do jardim vertical e das trocas térmicas existentes na cavidade de ar. Esse fluxo de calor, por meio das quedas das temperaturas superficiais externas e internas do jardim, identifica a perda de calor para o microclima da cavidade, enquanto que ocorre o aumento simultâneo da temperatura superficial externa da parcela protegida.

Após os resultados quantitativos, uma análise qualitativa foi realizada por meio de fotos térmicas das superfícies externas e internas de cada parcela. O apêndice J mostra imagens comparativas durante o período de medição e é possível visualizar claramente a comprovação dos resultados descritos.

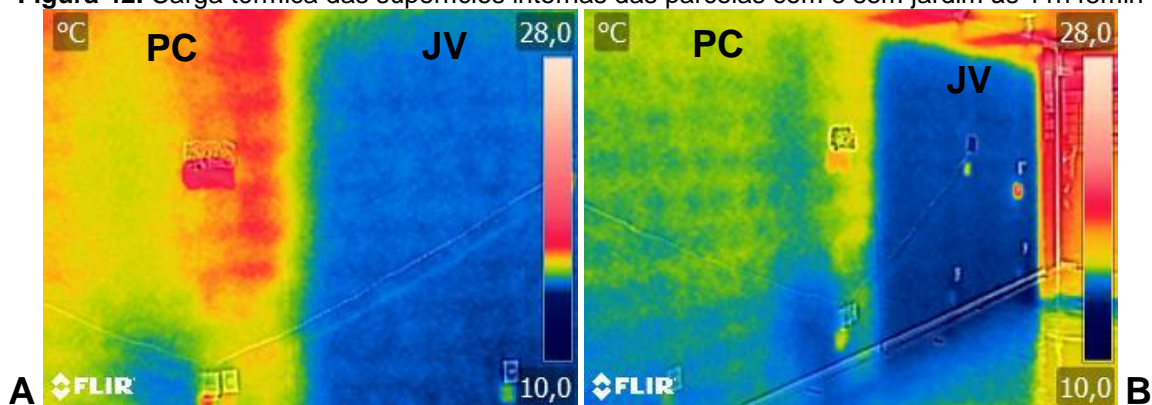
As superfícies externas de ambas as parcelas apresentaram um comportamento térmico muito parecido. No início da manhã tanto o jardim quanto a parcela controle parecem apresentar uma mesma temperatura, a qual aumenta com a incidência solar direta. Às 10h45min, percebe-se vários pontos de aquecimento no jardim causado por falhas na cobertura vegetal juntamente com o ângulo de incidência solar e que contrastam com as áreas de menor calor onde a folhagem estava mais densa e uniforme. A parcela controle atingiu temperaturas superficiais mais elevadas, exceto em locais influenciados pela sombra da treliça metálica.

Com o fim da incidência solar direta, a superfície do jardim registrou menor quantidade de calor em relação à parcela controle, a qual continuou aquecida ao longo do período da tarde, como pode ser visto nas imagens das 16h45min e 17h45min (Apêndice J). Há uma mancha de aquecimento em torno do jardim que contrasta com a sua superfície vegetada.

As superfícies internas do jardim mostraram menor carga térmica que as internas da parcela controle e mostraram aumento de valores apenas ao final do dia, que confirmam os resultados quantitativos. A Figura 42 mostra a diferença de carga térmica das superfícies internas das parcelas amostrais às 11h45min e fica clara a

influência térmica do sombreamento do jardim vertical sobre a parcela protegida, o qual amortece a entrada de energia térmica para o ambiente interno e reduz as suas temperaturas superficiais.

Figura 42. Carga térmica das superfícies internas das parcelas com e sem jardim às 11h45min



Legenda: A- ampliação do contraste de carga térmica entre parcela controle e parcela com jardim. B- vista à distância das parcelas. PC: parede controle; JV: jardim vertical.

4.1.1.3 A influência térmica do sombreamento na temperatura do ar da cavidade

A implantação do jardim vertical criou um espaçamento de sete centímetros entre ele e a parede do edifício. Assim, surgiu uma cavidade de ar que aumenta a capacidade de isolamento térmico do sistema, enquanto é influenciada pelo mecanismo de sombreamento. As figuras 43, 44 e 45 mostram a influência desse mecanismo nas temperaturas do ar dessa cavidade.

Figura 43. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 10/08/2018

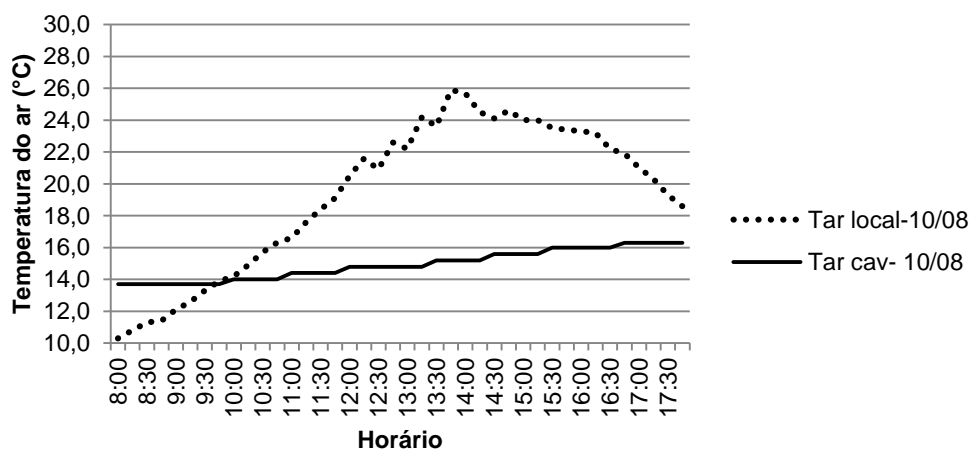


Figura 44. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 11/08/2018

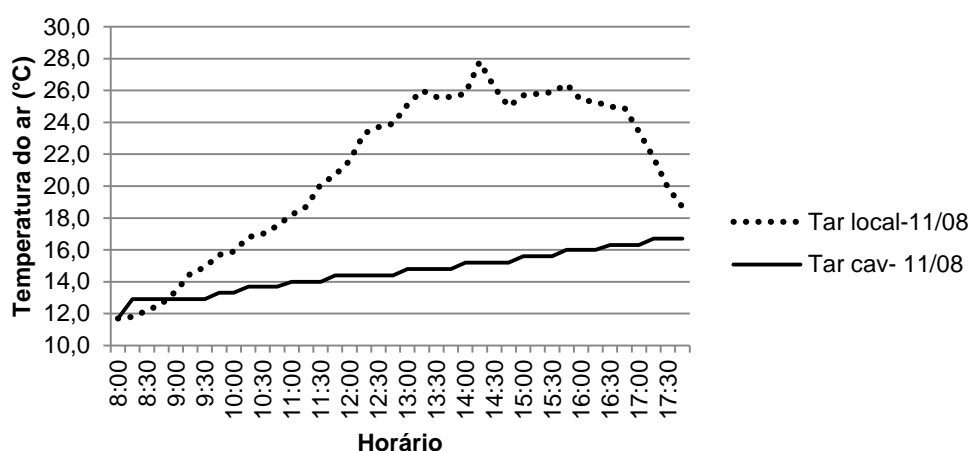
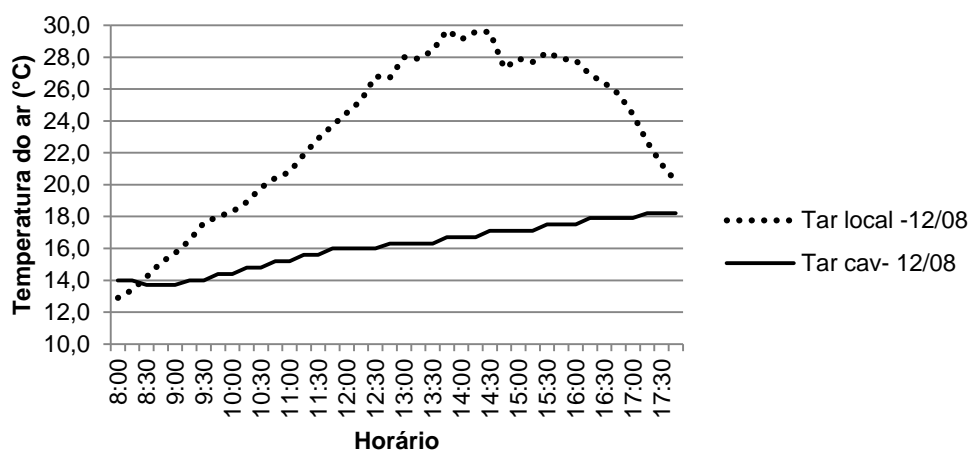


Figura 45. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 12/08/2018



Observa-se que o jardim contribuiu para manter a temperatura do ar na cavidade mais quente no início da manhã em comparação com a temperatura do ar local, com diferença máxima de 3,4 °C. A partir da incidência solar direta, o jardim impediu o aumento brusco na temperatura do ar da cavidade, que aumentou aos poucos, com períodos de estabilidade e com variação de 11,7 °C – 18,2 °C entre os três dias de medição, enquanto que a temperatura do ar local variou de 10,3 °C – 29,7 °C.

As diferenças máximas aconteceram no período da tarde e o sistema de parede viva contribuiu para reduzir a temperatura do ar da cavidade em até 13 °C. Esses resultados vêm ao encontro do trabalho de Ottelé e Perini (2017) que

encontraram uma redução de 4,6 °C na temperatura do ar da cavidade em condições de inverno.

A manutenção de valores de temperaturas do ar menores na cavidade, associada à falta de ventilação, contribui para a redução do fluxo térmico que passa do ar da cavidade para a superfície da parcela protegida e, conseqüentemente, para o ambiente interno.

4.1.1.4 Testes Estatísticos

Após a análise descritiva da influência térmica do mecanismo de sombreamento na parcela protegida pelo jardim, os dados de temperaturas superficiais externas e internas de ambas as parcelas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey, com o fim de testar se as diferenças observadas são estatisticamente significativas.

A ANOVA permite identificar se existem diferenças entre as médias das variáveis investigadas em relação aos dois tratamentos (com e sem jardim). Assim, para o mecanismo de sombreamento, os conjuntos de dados monitorados nos três dias mostraram que havia homogeneidade de variância e distribuição normal, resultando em um valor $p = 0,000$, o que indica diferença entre as médias, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas

		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Razão F	Valor p
Temperatura superficial externa	Entre tratamentos	1360,832	5	272,166	32,802	,000
	Dentro do tratamento	1941,533	234	8,297		
	Total	3302,366	239			
Temperatura superficial interna	Entre tratamentos	143,059	5	28,612	5,149	,000
	Dentro do tratamento	1300,378	234	5,557		
	Total	1443,437	239			

O Teste de Tukey foi adotado para comparar os conjuntos de dados entre as parcelas com objetivo de identificar onde ocorrem essas diferenças entre as médias.

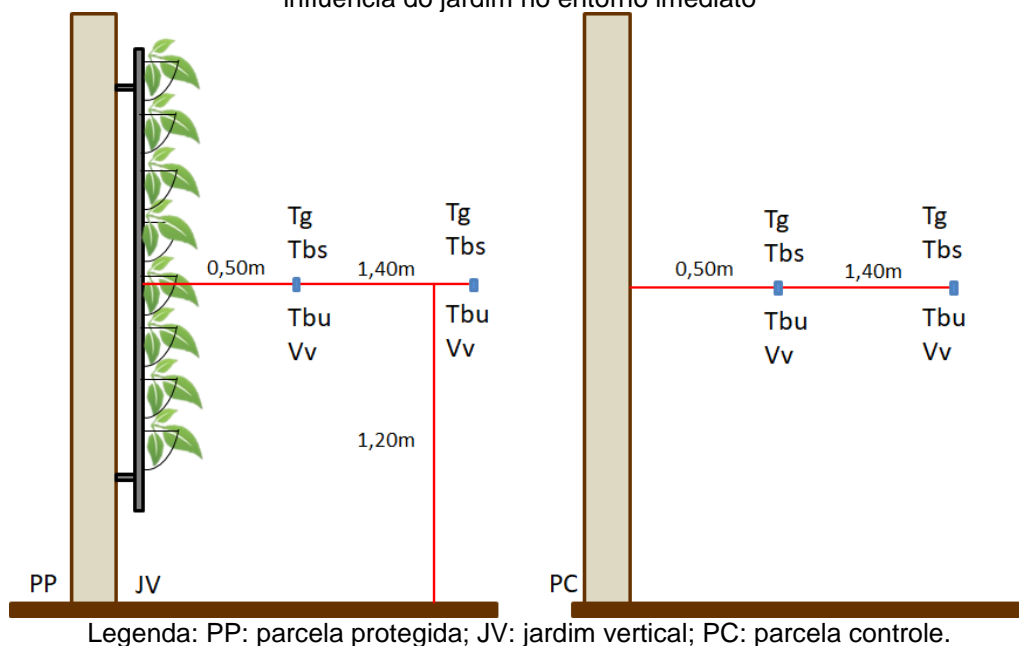
Para o mecanismo de sombreamento, os resultados do teste indicaram que, com nível de significância de 5% ($p= 0,05$), houve diferença significativa entre as parcelas para ambos os tratamentos (com e sem jardim) e para as temperaturas superficiais externas e internas. Para temperatura superficial externa houve diferença significativa entre todos os dias amostrais e entre ambos os tratamentos (com e sem jardim) para as temperaturas superficiais externas. Para as temperaturas superficiais internas, houve diferença significativa entre os valores da parcela com jardim dos dois primeiros dias amostrais (menores T_{sipp} da amostra) em relação aos valores da parcela sem jardim no dia 12 de agosto (maiores T_{sipc} da amostra).

Dessa forma, comprova-se que além de o jardim vertical possuir influência sobre as temperaturas superficiais da parcela protegida, as diferenças encontradas para as temperatura superficiais entre as parcelas foram estatisticamente significativas.

4.1.2 Influência do jardim vertical no entorno imediato

Neste item serão apresentados os resultados sobre a influência do jardim vertical nas variáveis microclimáticas do seu entorno imediato, a partir das seguintes variáveis monitoradas: 1- temperatura de bulbo seco e bulbo úmido (T_{bs}/T_{bu}); 2- temperatura de globo (T_g) e 3- velocidade do vento (V_v) em 4 pontos de monitoramento a 0,50 m e 1,40 m das parcelas (Figura 46). A apresentação dos resultados está subdividida em três partes relacionadas a cada variável: temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média.

Figura 46. Distribuição dos equipamentos de monitoramento das variáveis relacionadas com a influência do jardim no entorno imediato



4.1.2.1 Influência do jardim vertical na temperatura do ar (T_{ar})

A influência do jardim vertical no entorno imediato foi investigada por meio do monitoramento de três variáveis: temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média. Cada variável foi analisada separadamente por meio de comparação entre os pontos amostrais fixados em frente às duas parcelas. Após a comparação descritiva, seguiu-se com testes estatísticos para verificar se as diferenças médias foram estatisticamente significativas para dados de temperatura do ar e umidade, ou seja, se o jardim apresentou impacto real nessas duas variáveis de conforto térmico. As figuras 47, 48 e 49 apresentam os resultados para a temperatura do ar no entorno imediato a diferentes distâncias (0,50 m e 1,40 m) para as parcelas com e sem jardim.

Figura 47. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018

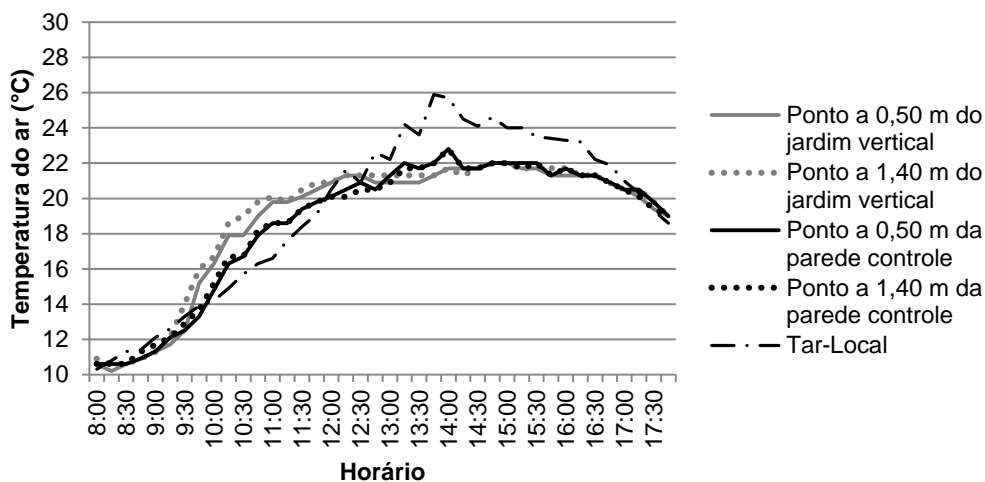


Figura 48. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018

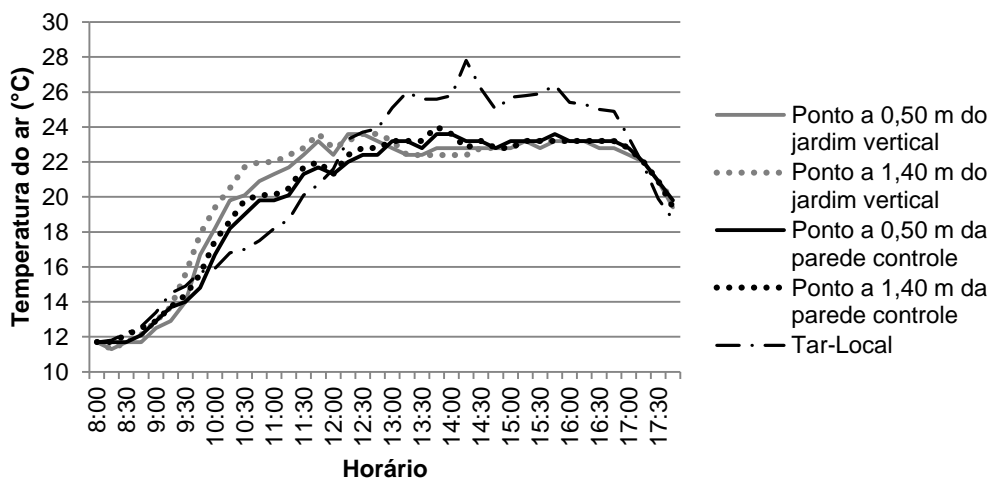
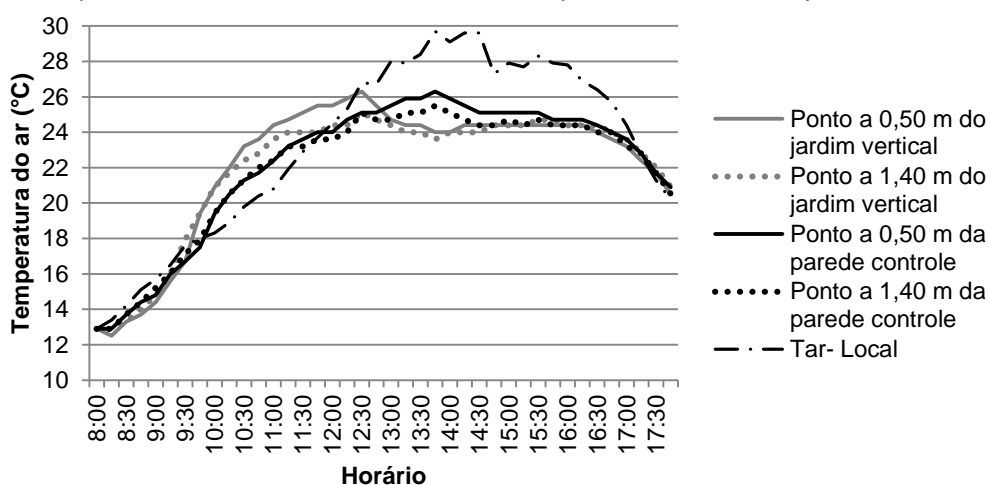


Figura 49. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018



Percebe-se que os pontos monitorados apresentaram um comportamento similar nos três dias de medições e que não houve grande diferença ao comparar as

distâncias de 0,50 m com 1,40 m de cada parcela. Os valores variaram com uma diferença máxima registrada de 1,5 °C entre 0,50 e 1,40 m do jardim e de 0,8 °C entre 0,50 e 1,40 m da parcela controle.

No início das medições, os valores de temperatura do ar em frente ao jardim foram sempre mais baixos em comparação com dados em frente à parcela controle e às temperaturas locais. Essa diferença se manteve até o horário de incidência solar direta nos pontos de medição, entre 09h15 min e 09h30min. A partir desse horário, ocorreu a primeira inversão e as temperaturas do ar foram mais elevadas em frente ao jardim em comparação com a parcela controle e com as temperaturas locais. No período de incidência solar direta nas parcelas, todos os pontos amostrais registraram valores de temperatura do ar mais altos em relação à temperatura do ar local.

A partir das 12h30min, as temperaturas do ar a 0,50 m e 1,40 m do jardim começaram a diminuir e entre 12h45min e 13h ocorreu uma segunda inversão. Assim, sem a radiação solar direta, os pontos monitorados em frente ao jardim tenderam a manter a temperatura do ar sempre mais baixa em relação à parcela controle e à temperatura local.

Ao comparar os pontos de mesma distância entre as duas parcelas (tabela 6), as maiores diferenças de temperatura do ar foram de 2,3 °C para os pontos a 0,50 m e a 1,40 m. A diferença de 2,3 °C a 0,50 m de distância foi registrada no dia 12 de agosto e foi o único dia em que a diferença máxima ocorreu com a temperatura do ar em frente ao jardim menor que a da parcela controle. Enquanto que, para os pontos a 1,40 m, essa diferença máxima ocorreu com a temperatura do ar do jardim maior que a da parcela controle.

Tabela 6. Diferenças máximas dos valores de temperatura do ar entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.

	ΔT °C 0,50 m	ΔT °C 1,40 m	ΔT °C jardim
10/08/2018	1,9 (jd > pc)	2,3 (jd > pc)	1,5 (0,50 < 1,40)
11/08/2018	1,9 (jd > pc)	2,3 (jd > pc)	1,6 (0,50 < 1,40)
12/08/2018	2,3 (jd < pc)	1,9 (jd < pc)	1,5 (0,50 > 1,40)

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parede controle

Os pontos em frente ao jardim tiveram as suas diferenças máximas sempre no período da manhã (09h30min e 11h45min). Enquanto que, os pontos entre as parcelas não apresentaram padrão no horário, pois durante dois dias as diferenças

máximas ocorreram no período da manhã e um dia no meio da tarde. Porém, em ambas as distâncias, as diferenças máximas aconteceram juntas, ou seja, no mesmo horário.

Interessante perceber que no dia 12 de agosto, mesmo com as temperaturas do ar no entorno imediato apresentarem um comportamento padrão em relação aos dias anteriores, as suas diferenças máximas ocorreram com registros de temperatura em frente ao jardim menores em relação à parcela controle, após o período de incidência solar direta. Houve também uma diferença de padrão entre os pontos posicionados em frente ao jardim e, entre os dias monitorados, o dia 12/08 foi o que apresentou as maiores temperaturas diárias, segundo os dados coletados pela estação meteorológica do IPMET.

As variações no padrão de comportamento térmico dessa variável indicam a necessidade de maiores campanhas de medição para identificar se essas variações se repetem, ou mesmo se existe um limiar de diferença de temperatura do ar entre as parcelas e entre a temperatura de ar local, a partir do qual o jardim possui influência direta e eficaz no seu entorno para a melhoria das condições de conforto térmico.

A tabela 7 apresenta os valores máximos, mínimos e a variação de temperatura no período de medições para os três dias monitorados. Percebe-se que, ao contrário da temperatura superficial, o jardim vertical não diminuiu a variação de temperatura no seu entorno imediato, pois os pontos em frente ao jardim mostraram variações maiores que os pontos em frente à parede controle para ambas as distâncias. Além disso, o jardim vertical manteve as temperaturas mínimas menores em relação às mínimas da parcela controle.

Tabela 7. Máximas, mínimas e variação no período de medição para temperatura do ar (°C).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT
10/08/2018	22	10,2	11,8	22	10,6	11,4	22	10,6	11,4	22,8	10,6	12,2
11/08/2018	23,6	11,3	12,3	23,6	11,7	11,9	23,6	11,3	12,3	23,6	11,7	11,9
12/08/2018	26,3	12,5	13,8	26,3	12,9	13,4	25,1	12,9	12,2	25,5	12,9	12,6

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle

De uma maneira geral, os picos de temperatura do ar em frente ao jardim aconteceram 1h15 min antes que os da parcela controle, e com a influência da radiação solar direta. A tabela 8 mostra as diferenças entre os picos das parcelas para cada ponto e dia monitorado e evidencia que a 0,50m não houve variação entre

as parcelas. Enquanto que, a 1,40 m foi registrada uma diferença máxima de 0,8 °C entre os pontos e a parcela controle sempre apresentou os maiores valores. Os picos dos pontos em frente ao jardim (0,50 m e 1,40 m) ocorreram juntos e com o mesmo valor, atingindo máximo de 26,3 °C no dia 12 de agosto.

Tabela 8. Diferenças entre as temperaturas máximas do ar em frente ao jardim em relação à parcela controle

	ΔT (°C)	
	Ponto a 0,50 m	Ponto a 1,40 m
10/08/2018	0	0,8
11/08/2018	0	0
12/08/2018	0	0,4

Em condições de tempo frio, apenas dois trabalhos compararam a influência do jardim vertical do tipo parede viva na temperatura do ar do entorno. Perini et al. (2011) destacam que não encontraram diferenças significativas para a temperatura do ar a 0,10 m das parcelas. Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) registraram, para uma parede oeste, diferenças máximas de 2,6 °C a menos para o jardim em ambas as distâncias de 0,50 m e 1,0 m. Eles ressaltam que os valores foram muito próximos entre as parcelas na maior parte do monitoramento e, em horários específicos, com incidência direta de radiação solar, o jardim registrou uma diferença máxima de 4,6 °C maior em relação à parede controle para ambas as distâncias.

Assim, as diferenças máximas encontradas por este estudo (2,3 °C) foram próximas às registradas por Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) (2,6 °C) em ambas as distâncias e bem inferiores às diferenças registradas por eles em horários específicos de incidência solar direta. Da mesma forma, houve a ausência de um padrão nos dias de monitoramento e ausência de manutenção das temperaturas do ar em frente ao jardim sempre menores em relação às da parcela controle.

4.1.2.2 Influência do jardim vertical na umidade absoluta (uA)

A umidade absoluta do ar também foi calculada a partir dos dados de temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido que foram monitoradas em frente às parcelas com e sem jardim. A umidade absoluta variou entre os quatro pontos amostrais e nos três dias de medição de 6,7 a 16,2 g/Kg, o que reforça a

característica seca do período da campanha de medições. As figuras 50, 51 e 52 mostram os resultados registrados para umidade absoluta.

Figura 50. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018

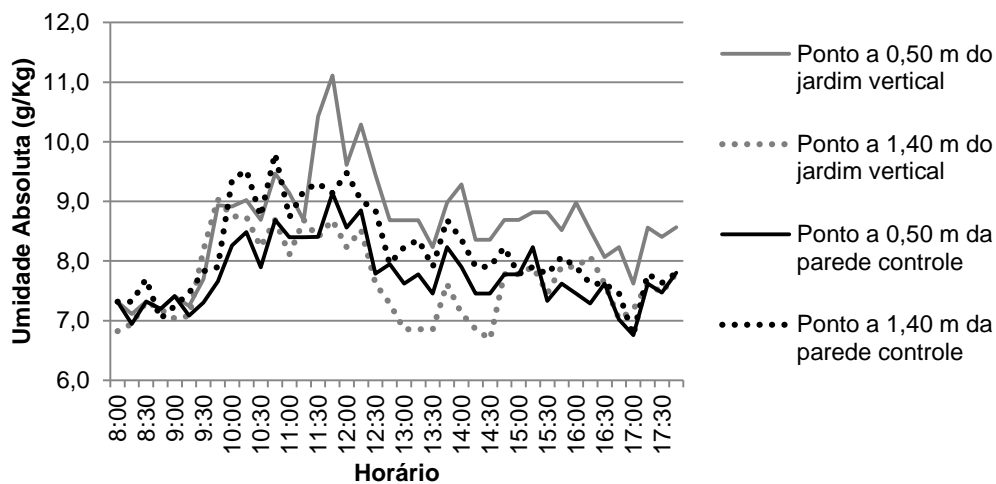


Figura 51. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018

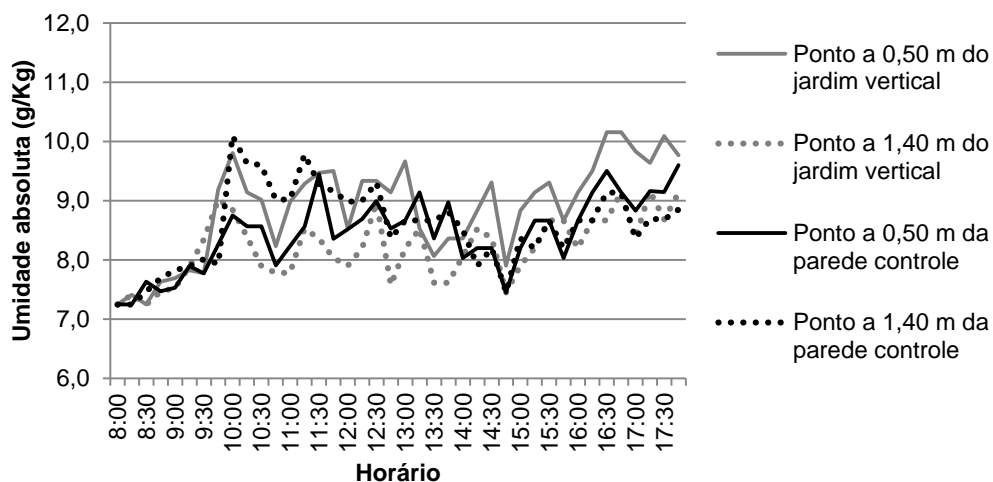
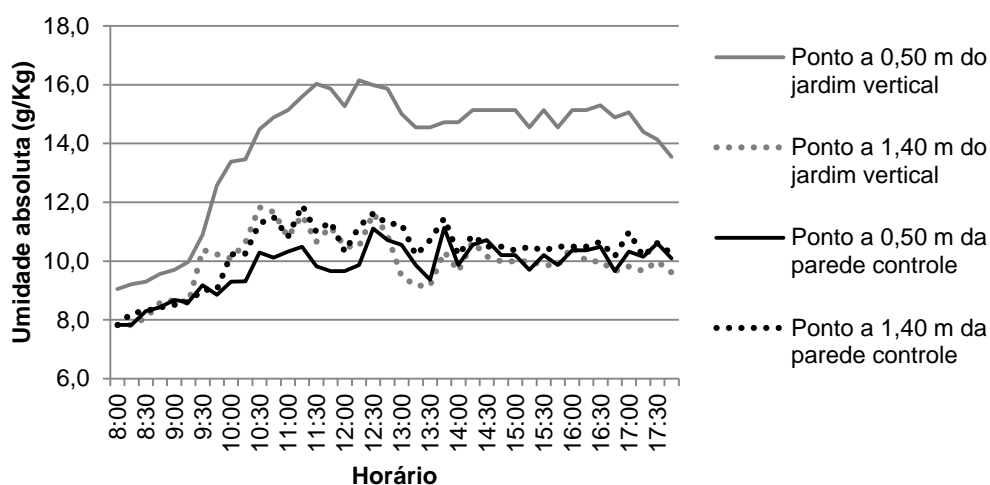


Figura 52. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018



A umidade absoluta se comportou de forma que o ponto a 0,50 m do jardim registrou, na maior parte das vezes e ao longo de todo o período de monitoramento, os maiores valores em relação aos demais pontos amostrais. Além de registrar as máximas umidades absolutas, o ponto a 0,50 m do jardim também registrou os maiores valores mínimos e a maior variação de umidade ao longo do período de medição (Tabela 9). Além disso, a 0,50 m das parcelas, os resultados mostram que houve grandes diferenças entre as parcelas com diferença máxima de 6,3 g/Kg a mais para o ponto em frente ao jardim.

Tabela 9. Máximas, mínimas e variação no período de medição para umidade absoluta do ar (g/Kg).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA
10/08/2018	11,1	7,1	4	9,1	6,8	2,3	9	6,7	2,3	9,8	6,8	3
11/08/2018	10,2	7,2	3	9,6	7,2	2,4	9,2	7,2	2	10,1	7,2	2,9
12/08/2018	16,2	9	7,2	11,1	7,8	3,3	11,8	7,8	4	11,9	7,8	4,1

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle; uA: umidade absoluta.

Ao comparar os pontos a 0,50 m das duas parcelas, verifica-se que: os picos ocorreram sempre após as 11h45min e, em média, 30 minutos antes no jardim vertical; as diferenças máximas entre as parcelas variaram de 1,1 a 6,3 g/Kg, não ocorreram sempre no mesmo período e não seguiram padrão de diferença de horário de ocorrência.

O ponto a 1,40 m do jardim registrou, nos três dias de medições, os menores valores de umidade absoluta em relação ao ponto a 1,40 m da parcela controle. Além disso, em diversos momentos a umidade absoluta a 1,40 m do jardim foi a menor entre

todos os pontos. A 1,40 m da parede controle também houve o registro de alguns valores superiores de umidade absoluta em relação ao ponto a 0,50 m do jardim. Os valores máximos e as diferenças máximas também não apresentaram padrão de horário de ocorrência para os pontos a 1,40 m das parcelas.

Em frente ao jardim, o ponto a 0,50 m sempre registrou os maiores valores de umidade absoluta, e as diferenças máximas variaram de 1,6 a 5,7 g/Kg entre os dias monitorados.

Esse comportamento da umidade absoluta pode ser explicado como o resultado do processo de evapotranspiração das plantas e do substrato, que aumenta a quantidade de vapor d'água no ar, porém, esse vapor d'água fica restrito à proximidade do jardim e depende da ventilação para ser levado a maiores distâncias. Nos dias de medição, a velocidade do ar foi em média 0 m/s e, dessa forma, não houve ventilação o suficiente para distribuir o vapor d'água advindo da evapotranspiração do jardim para o seu entorno. Dessa forma, a simples presença do jardim não necessariamente aumentou a umidade absoluta do ar a uma distância próxima de 1,40m, ou seja, não houve influência direta do jardim nessa variável do seu entorno imediato. Assim, há a dependência de ventilação para que haja uma influência do jardim nos valores de umidade absoluta no seu entorno imediato.

Essa concentração de vapor d'água a 0,50 m do jardim, ao longo de todo o período de medição pode explicar, também, o comportamento da temperatura do ar. Durante o período de incidência solar direta a temperatura do ar próxima ao jardim é maior que a temperatura do ar do entorno da parcela controle. Isso se deve, provavelmente, à concentração de partículas de vapor d'água que estão suspensas no ar parado entre a folhagem do jardim e que absorvem a radiação direta e aquecem o ar, tornando o microclima do seu entorno imediato mais quente em relação ao da parcela controle. Com a ausência de ventilação, esse vapor não é levado para longe e não há renovação de ar nessa camada da vegetação, o que mantém as temperaturas mais altas próximo ao jardim.

Os resultados para a umidade absoluta demonstram que são necessários mais dias de medição para uma melhor compreensão do padrão de comportamento dessa variável a diferentes distâncias e para a comparação entre as parcelas. Da mesma forma, para entender a relação existente entre a umidade absoluta e a temperatura do ar no entorno imediato do jardim.

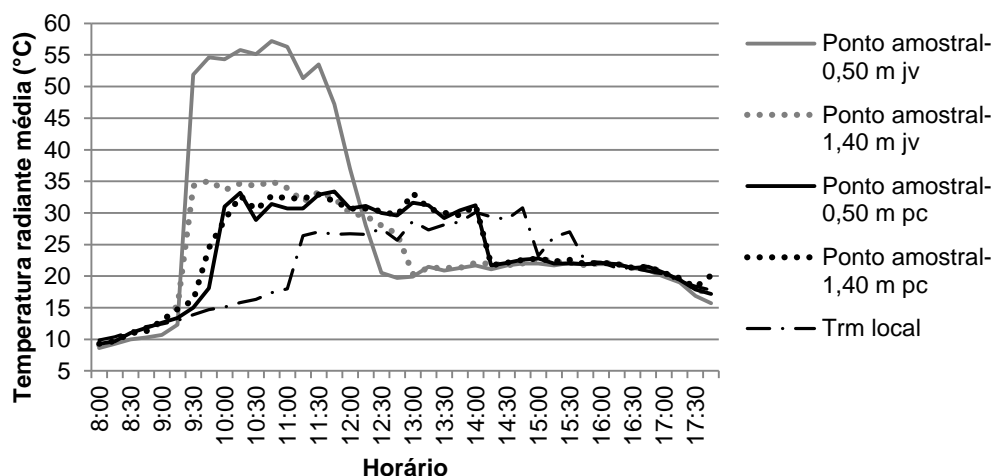
Mesmo assim, os trabalhos que investigam e discutem especificamente a influência da parede viva na umidade absoluta são escassos e, portanto, os resultados obtidos nessa etapa de condições de tempo “frio e seco” são inéditos e, portanto, sem referências para comparação e discussão.

4.1.2.3 Influência do jardim vertical na temperatura radiante média (Trm)

Os resultados da influência do jardim vertical nas temperaturas radiantes médias a diferentes distâncias das parcelas amostrais são apresentados pelas figuras 53, 54 e 55.

As temperaturas radiantes médias foram menores para os pontos em frente às parcelas com e sem jardim em relação ao ponto local, no início das medições. Porém, com a incidência solar direta houve uma inversão e os pontos amostrais mostraram valores superiores em relação ao ponto local até às 14h, horário em que não há mais influência da radiação direta em nenhum dos pontos amostrais.

Figura 53. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 10/08/2018



Legenda: Jv: jardim vertical; Pc: Parcela controle (sem jardim)

Figura 54. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 11/08/2018

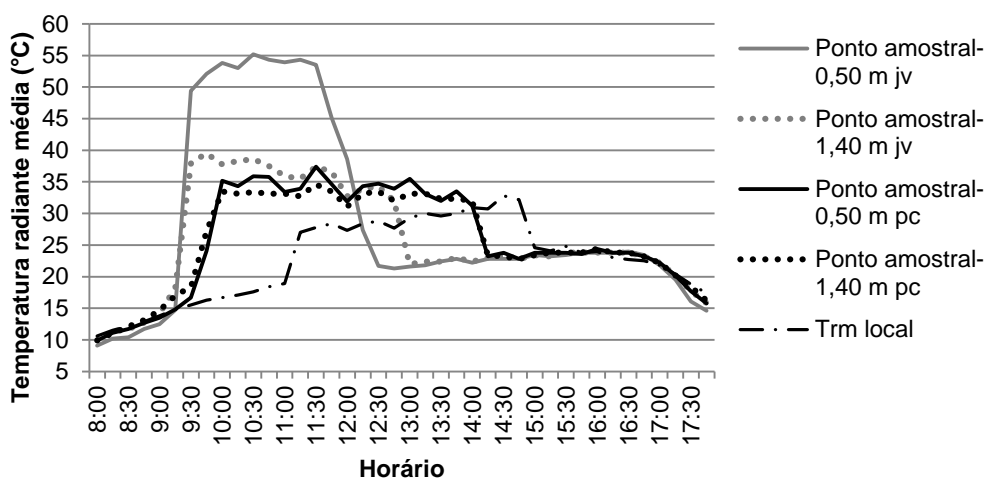
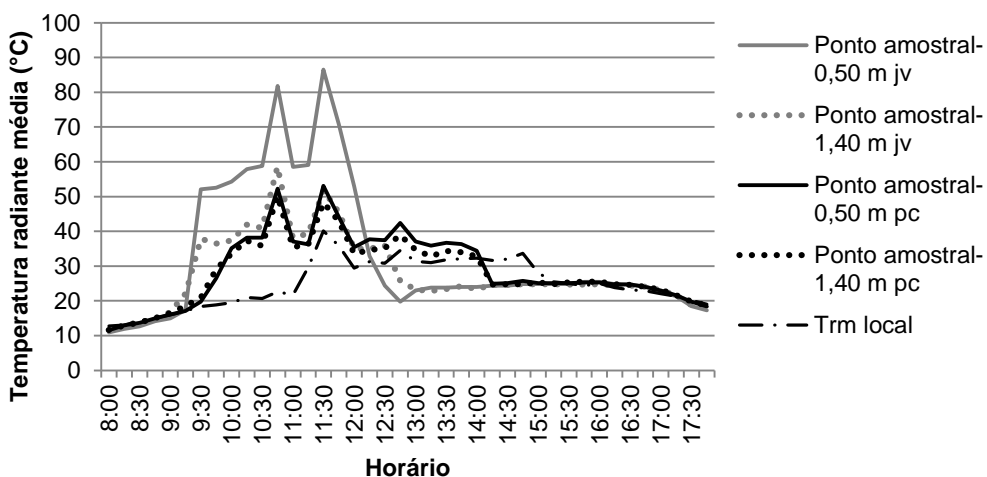


Figura 55. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 12/08/2018



Os resultados mostraram dois momentos de inversão bem definidos no comportamento térmico das temperaturas radiantes médias ao longo dos dias de medição. A primeira inversão ocorreu entre 09h15min e 09h30min, horário em que houve o pico de radiação solar direta na região de medição em ambas as parcelas. A partir desse horário, as temperaturas radiantes médias de ambos os pontos em frente ao jardim foram sempre superiores que as da parcela controle e do ponto local até o horário da segunda inversão, que ocorreu entre 12h15min e 12h45 min.

Os pontos em frente ao jardim atingiram picos máximos de 86,5 °C para 0,50 m e 58,6 °C para 1,40 m durante a manhã (tabela 10). O jardim também influenciou a temperatura radiante do seu entorno imediato de forma a manter variações térmicas muito maiores ao longo do período de medições para ambas as distâncias em relação

à parede controle (tabela 10). Destaca-se que esses picos podem ter sido influenciados, também, pela presença de um banco de concreto que absorve e irradia grande quantidade de calor próximo às parcelas.

Tabela 10. Valores de Trm máximos, mínimos e variação no período de medição (°C).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT
10/08/2018	57,2	8,6	48,6	33,4	9,3	24,1	35,1	9,1	26	33,1	9,3	23,8
11/08/2018	55,2	9,1	46,1	35,9	9,9	26	39,5	9,9	29,6	34,6	9,9	24,7
12/08/2018	86,5	10,9	75,6	53,1	11,6	41,5	58,6	11,6	47	50,2	11,6	38,6

Legenda: Jv: jardim vertical; Pc: Parcela controle

Ao longo do período de medições, as parcelas mostraram diferenças máximas de 36,9 °C e de 19,6 °C para os pontos a 0,50 m e a 1,40 m, respectivamente (tabela 11). Para os pontos em frente ao jardim, as temperaturas foram maiores para o ponto a 0,50 m com uma diferença máxima de 34,6 °C.

Tabela 11. Diferenças máximas dos valores de temperatura radiante média entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.

	ΔT °C 0,50 m	ΔT °C 1,40 m	ΔT °C jardim
10/08/2018	36,9 (jd > pc)	18,1 (jd > pc)	22,4 (0,50 > 1,40)
11/08/2018	32,7 (jd > pc)	19,6 (jd > pc)	18,8 (0,50 > 1,40)
12/08/2018	32,3 (jd > pc)	16,9 (jd > pc)	34,6 (0,50 > 1,40)

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle

Com a segunda inversão, as Trm dos pontos em frente ao jardim demonstraram uma queda vertiginosa a partir das 11h30 min e o ponto a 0,50 m atingiu os menores valores. A partir desse momento, os pontos localizados em frente à parede controle registraram as maiores Trm e em comparação com o jardim tiveram diferenças máximas de 22,6 °C e 13,1 °C para 0,50 m e 1,40 m, respectivamente.

No período da tarde, sem a radiação solar direta, os pontos monitorados registraram pouca variação entre si e tenderam a estabilizar as temperaturas radiantes médias no intervalo entre 20 °C - 25 °C para ambas as parcelas até o final do período de medições.

Os trabalhos que investigam e discutem especificamente a influência da parede viva no entorno imediato são escassos e são realizados ou em condições de verão ou em ambiente internos, sem a interferência da radiação solar direta. As exceções são os trabalhos de Perini et al. (2011) e Razzaghmanesh e

Razzaghmanesh (2017) que pesquisaram a influência da parede viva somente na temperatura do ar do entorno, em condições de inverno. Dessa forma, os resultados obtidos nessa etapa de condições de tempo frio e seco são inéditos e sem referências para comparação e discussão.

4.1.2.4 Testes Estatísticos

Após a análise descritiva da influência térmica do jardim vertical nas variáveis microclimáticas do entorno imediato, os dados de temperatura do ar e umidade absoluta também foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey, com o fim de testar se as diferenças observadas são estatisticamente significativas.

Os dados de temperatura do ar coletados nos três dias de monitoramento foram agrupados em dois conjuntos: Temperatura do ar com jardim e temperatura do ar sem jardim. A tabela 12 mostra que o teste ANOVA resultou em um valor $p = 0,933$, o que indica que não existe diferença entre as médias.

Tabela 12. Análise ANOVA para temperaturas do ar e umidade absoluta

		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Razão F	Valor p
Temperatura do ar	Entre tratamentos	7,377	3	2,459	,144	,933
	Dentro do tratamento	8126,460	476	17,072		
	Total	8133,837	479			
Umidade absoluta	Entre tratamentos	272,481	3	90,827	29,343	,000
	Dentro do tratamento	1473,413	476	3,095		
	Total	1745,895	479			

Os dados de umidade absoluta também foram agrupados em dois conjuntos: umidade absoluta com jardim e umidade absoluta sem jardim. A tabela 12 mostra que o teste ANOVA resultou em um valor $p = 0,000$, o que indica que existe diferença entre as médias. Em seguida, a aplicação do teste de Tukey permitiu identificar que apenas a 0,50 m os pontos tiveram diferenças significativas, conforme demonstrado no quadro 4.

Quadro 4. Pontos amostrais que apresentaram diferença significativa para as médias da umidade absoluta

Umidade absoluta		
	0,50 m Sem jardim	1,40 m Sem jardim
0,50 m Com jardim		
1,40 m Com jardim		

Legenda: Pintado de vermelho- diferença entre médias com nível de significância de 5%.

Conforme discutido no tópico 4.1.2.2 (página 83), a umidade absoluta demonstrou um comportamento atípico e, para melhores conclusões, essa variável deve ser investigada em campanhas de medições maiores.

4.2 Monitoramento em condições de tempo quente e úmido

A campanha de monitoramento microclimático em condições de tempo quente e úmido ocorreu nos últimos dias de verão (18,19 e 20 de março de 2019), período em que o Centro de Meteorologia de Bauru (IPMET) registrou temperaturas mínimas e máximas de 20,6 °C e 31,6 °C, respectivamente. Os dados históricos de temperatura para o mês de março da cidade de Bauru apresentam uma variação média de 19 °C - 29 °C; dessa forma, os dias de monitoramento microclimático demonstraram temperaturas acima dos valores mínimos e máximos históricos (Figura 56). Ressalta-se que as condições de tempo nos dias de monitoramento se mantiveram ideais, mas que, apenas no último dia ocorreu uma mudança repentina com chuva no final do período de monitoramento e, por isso, a finalização das medições foi antecipada.

A umidade relativa variou no período de medições dos três dias (das 08h às 17h45min) entre 49,7% e 99,3%, com queda contínua no período da manhã e atingiu os seus menores valores entre 14h e 15h30min (Figura 57).

Figura 56. Médias históricas e diárias das máximas e mínimas para condição de tempo “quente e úmido”

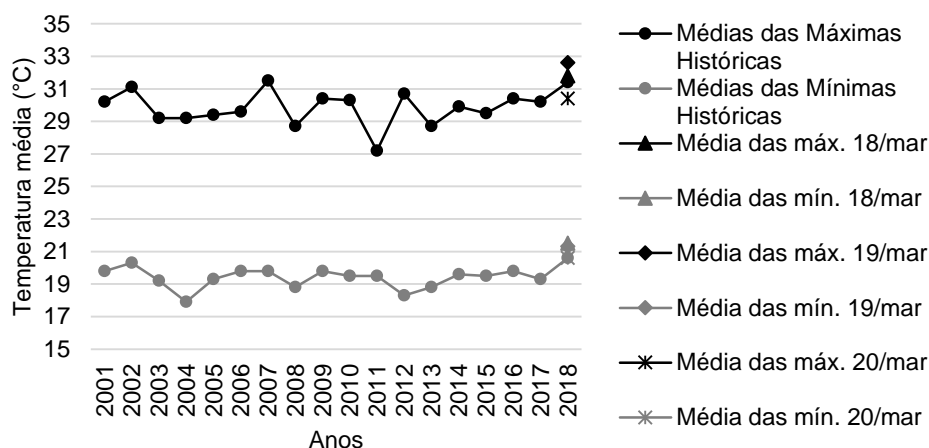
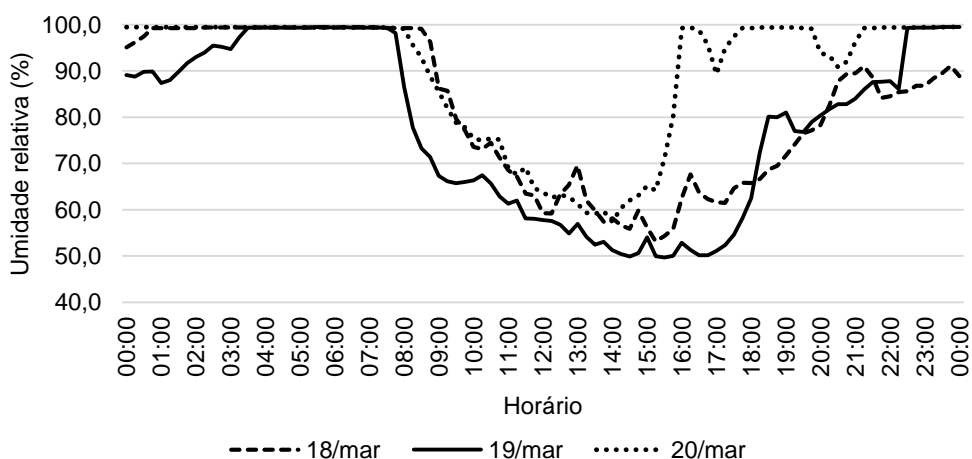
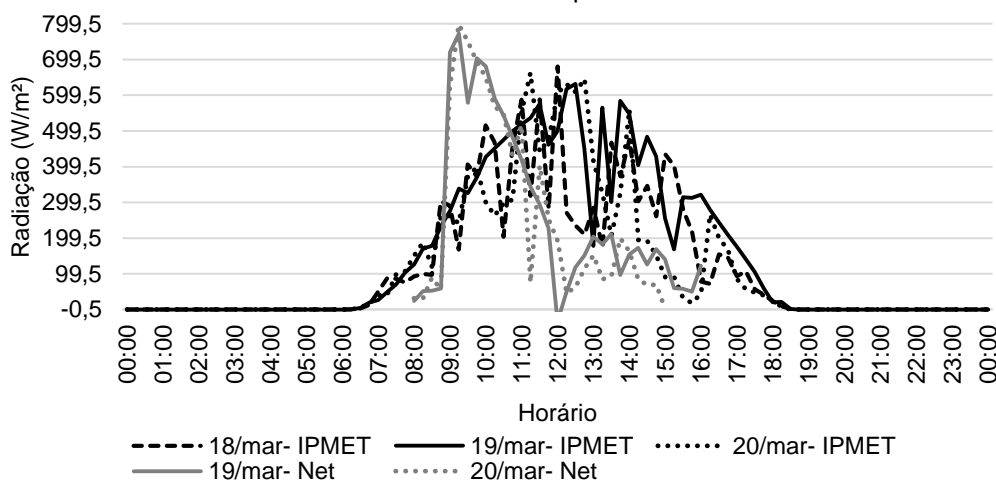


Figura 57. Umidade relativa em condição de tempo “quente e úmido”, disponibilizados pelo IPMET



A caracterização das condições locais de exposição à radiação solar foi comparada com os dados de radiação do IPMET (Figura 58). A radiação incidente na parede foi monitorada por net-radiômetro com sensores paralelos à parede, porém, o equipamento apresentou problemas no primeiro dia de monitoramento e precisou ser retirado mais cedo no último dia, devido às pancadas de chuva; dessa forma, os dados desse monitoramento ficaram restritos a um dia e meio. A incidência do sol nas parcelas amostrais é demonstrado pelo apêndice I.

Figura 58. Radiação solar direta em condição de tempo “quente e úmido”, disponibilizados pelo IPMET e monitorados *in loco* por net radiômetro



A radiação no local do experimento apresentou os maiores valores no período da manhã, com picos às 09h15min em todos os dias de monitoramento e valor máximo de 797,9 w/m². Após esses picos, mesmo com a incidência de radiação houve uma queda progressiva e, à tarde, os valores registrados foram menores e representam a radiação refletida e irradiada pelo entorno do local e pela abóbada celeste. Nota-se que o pico de radiação incidente na parede ocorre antes que o pico de radiação registrado pelo IPMET (11h15min – 12h30min) e que os picos atingiram valores superiores, com uma diferença entre os máximos de 118,1 W/m².

4.2.1 Mecanismo de Sombreamento

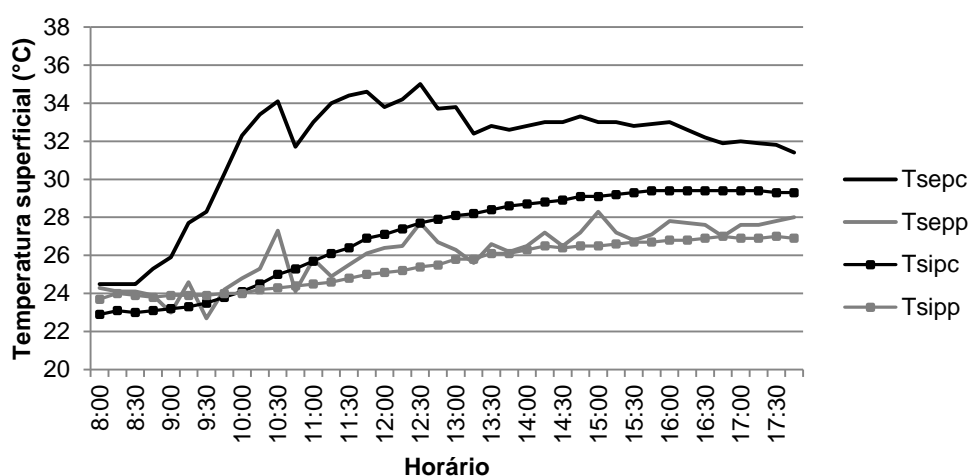
O monitoramento de temperatura superficial foi realizado em seis pontos: 1- temperatura superficial externa do jardim (Tsej); 2- temperatura superficial interna do jardim (Tsj); 3- temperatura superficial externa da parcela protegida (Tsepp); 4- temperatura superficial interna da parcela protegida (Tsipp); 5- temperatura superficial externa da parcela controle (Tsepc); 6- temperatura superficial interna da parcela controle (Tsipc) e a temperatura do ar da cavidade (Tarcav), conforme Figura 34, p. 61.

Os resultados são apresentados em três linhas de investigação: 1- a influência do jardim nas temperaturas superficiais da parcela protegida, 2- o gradiente de temperaturas formado ao longo do sistema “jardim-parcela” e 3- a influência do sombreamento na temperatura do ar da cavidade.

4.2.1.1 A influência do mecanismo de sombreamento no comportamento térmico da parcela com jardim.

Os resultados obtidos para as parcelas com e sem jardim mostraram um comportamento térmico semelhante nos três dias de monitoramento, conforme mostrado pelas figuras 59, 60 e 61.

Figura 59. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019



Legenda: Tsepc: superficial externa da parcela controle; Tsipc: superficial interna da parcela controle; Tsepp: superficial externa da parcela protegida; Tsipp: superficial interna da parcela protegida.

Figura 60. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019

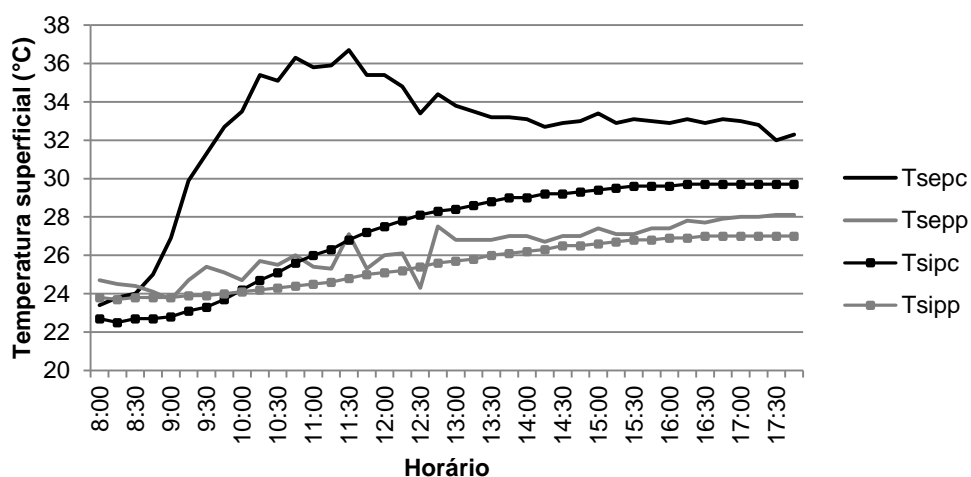
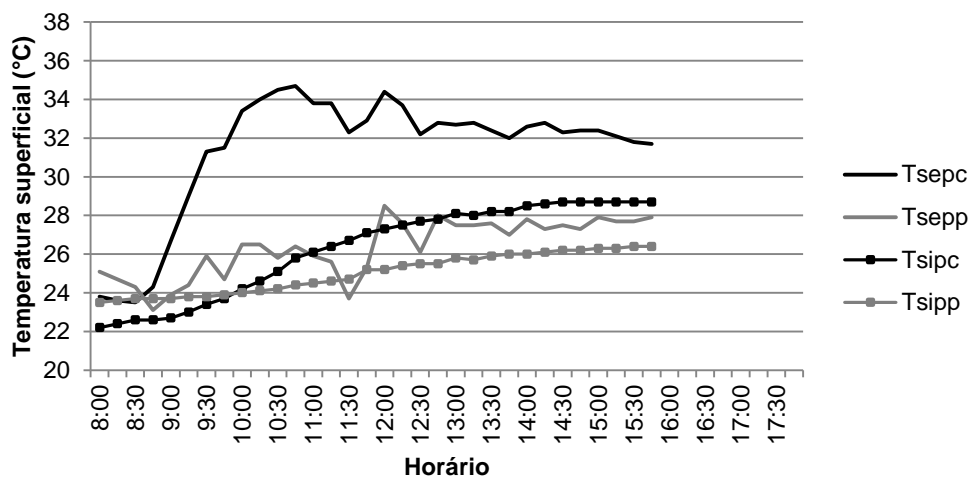


Figura 61. Temperaturas superficiais das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019



No período da manhã, as temperaturas superficiais externas da parcela protegida foram maiores em relação à parcela controle apenas até as 08h45min, a partir desse horário houve uma inversão entre as temperaturas superficiais externas e a parcela protegida pelo jardim passou a registrar sempre os menores valores. Essa inversão ocorreu antes do horário de pico de radiação solar e o aumento da temperatura superficial externa da parcela controle aconteceu mesmo com a característica de alta refletância da parede branca. Isso ocorre em razão da quantidade de radiação absorvida que contribuiu para aquecer a parcela controle, enquanto que o jardim funcionou como um escudo para a parcela protegida.

Houve apenas um dia de monitoramento em que o jardim contribuiu para manter tanto a temperatura superficial interna quanto a externa da parcela protegida com valores menores que a externa da parcela controle no início do período de monitoramento.

Os picos de temperatura superficial externa da parcela controle ocorreram ainda no período de incidência solar direta, entre 11h30min - 12h e com variações de 34,4 °C - 36,7 °C nos dias monitorados. Enquanto que os picos para a parcela protegida ocorreram sempre após os da parcela controle, porém em horários variados, no começo, meio ou final da tarde e com variação de 28,1 °C - 28,5 °C. Assim, o sistema de jardim vertical do tipo parede viva influenciou a parcela protegida de forma a proporcionar um atraso térmico para as temperaturas superficiais externas de até 06h em relação à parcela controle e contribuiu para um amortecimento térmico máximo de 8,6 °C (Tabela 13).

Tabela 13. Influência do jardim sobre a temperatura superficial externa da parcela protegida

Dias amostrais	Parcela controle (picos)	Parcela protegida (picos)	Amortecimento térmico diário
18/03/2019	34,6 °C às 11h45min	28,3 °C às 15h	6,3 °C
19/03/2019	36,7 °C às 11h30min	28,1 °C às 17h30min	8,6 °C
20/03/2019	34,4 °C às 12h	28,5 °C às 12h	5,9 °C
Atraso térmico médio de 03h		Amortecimento médio de 6,9 °C	

As temperaturas superficiais internas aumentaram de forma mais lenta, e a parcela protegida registrou os maiores valores em relação à parcela controle no início da manhã. A inversão entre elas ocorreu um pouco mais tarde e coincidiu em todos os dias de monitoramento às 10h. Após esse horário, a parcela controle também apresentou valores superiores às temperaturas superficiais externas da parcela protegida e permaneceu assim até o final do período de medições.

As temperaturas superficiais internas de ambas as parcelas apresentaram os seus picos ao final dos períodos de monitoramento. Porém, a parcela protegida pela parede viva atingiu os seus valores máximos sempre após a parcela controle e com uma variação de 26,4 °C – 27 °C, enquanto que a parcela controle variou de 28,7 °C – 29,7 °C. Assim, o jardim também reduziu a quantidade de energia térmica transferida através da parede (amortecimento máximo de 2,7 °C) e atrasou o pico interno em até 1h em relação à parcela controle (Tabela 14).

Tabela 14. Influência do jardim sobre a temperatura superficial interna da parcela protegida

Dias amostrais	Parcela controle (picos)	Parcela protegida (picos)	Amortecimento térmico diário
18/03/2019	29,4 °C às 15h45min	27 °C às 16h45min	2,4 °C
19/03/2019	29,7 °C às 16h15min	27 °C às 16h30min	2,7 °C
20/03/2019	28,7 °C às 14h30min	26,4 °C às 15h30min	2,3 °C
Atraso térmico médio de 45min		Amortecimento térmico médio de 2,5 °C	

As diferenças máximas entre as temperaturas superficiais externas das parcelas com e sem jardim aconteceram entre 10h30min e 11h15min, enquanto que, entre as temperaturas superficiais internas ocorreram entre 13h45min e 15h45min nos três dias de medição e com a parcela protegida pelo jardim apresentando sempre os menores valores. As diferenças entre essas parcelas alcançaram um máximo de 10,6 °C para as temperaturas externas e 2,9 °C para as temperaturas internas (Tabela 15).

Tabela 15. Reduções máximas das temperaturas superficiais externas e internas entre as parcelas

Dias monitorados	Reduções máximas		Reduções Médias	
	Tse (°C)	Tsi (°C)	Tse (°C)	Tsi (°C)
18/03/2019	9,1	2,7	5,6	1,5
19/03/2019	10,6	2,9	6,2	1,7
20/03/2019	8,7	2,5	4,0	1,0

Legenda: Tse: Temperatura superficial externa; Tsi: Temperatura superficial interna.

Esses resultados encontrados para o mecanismo de sombreamento estão em concordância com outros estudos realizados em condição de tempo “quente e úmido”. O trabalho de Caetano (2014), realizado em Campinas, SP, também identificou uma redução na temperatura superficial externa de 15 °C – 30 °C e na interna de 7 °C – 12 °C. Wong et al. (2010) também investigaram esse mecanismo em vários tipos de jardins verticais e os resultados mostraram a melhor eficiência para a parede viva de contínua com uma redução de temperatura superficial externa máxima de 10,9 °C.

Chen, Li e Liu (2013) encontraram reduções de temperatura superficial de 20 °C e 7,7 °C para externa e interna, respectivamente. Na Itália, Mazzali et al. (2013) investigaram três paredes vivas e registraram a uma redução máxima pela parede viva de 20 °C para temperatura superficial externa, enquanto que Safikhani et al. (2014a) registraram reduções de 6,3 °C e 4 °C para temperaturas superficiais externa e interna, respectivamente. O trabalho de Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) também destaca uma diferença máxima de 1,7 °C a menos para temperatura superficial interna em uma parede protegida pela parede viva e em condições de tempo quente.

Os resultados encontrados demonstram a intensidade do mecanismo de sombreamento do sistema de parede viva contínua, cuja proteção da parcela da parede contra a radiação incidente direta contribui para deixar as suas temperaturas superficiais externas e internas mais baixas que a parcela controle. Novamente, essa influência térmica por meio do mecanismo de sombreamento ocorreu ao longo de todo o período de medição, mesmo após a parede não receber mais radiação direta.

O jardim também reduziu as variações das temperaturas superficiais internas e externas nos três dias de medição. A parcela protegida pelo jardim apresentou variação média de 4,7 °C e de 3,2 °C para temperaturas superficiais externas e internas, respectivamente. Enquanto que, a variação média da parcela controle atingiu

11,3° C para temperaturas superficiais externas e 6,7 °C para as internas, ao longo do período de monitoramento e conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16. Variação das temperaturas superficiais no período de medição

Dias amostrais	Parcela controle		Parcela protegida	
	ΔT_{se} (°C)	ΔT_{si} (°C)	ΔT_{se} (°C)	ΔT_{si} (°C)
18/03/2019	10,1	6,5	4,4	3,3
19/03/2019	13,3	7,2	4,4	3,3
20/03/2019	10,6	6,5	5,4	2,9
Variação Média	11,3	6,7	4,7	3,2

Legenda: Tse: Temperatura superficial externa; Tsi: Temperatura superficial interna.

Assim, o sistema de parede viva contínua influenciou a parcela protegida de forma a estabilizar a temperatura superficial externa em uma média de 26 °C e a interna em torno de 25 °C, enquanto que a parcela controle manteve as suas temperaturas superficiais em uma média de 31,5 °C e 26,5 °C para externa e interna, respectivamente.

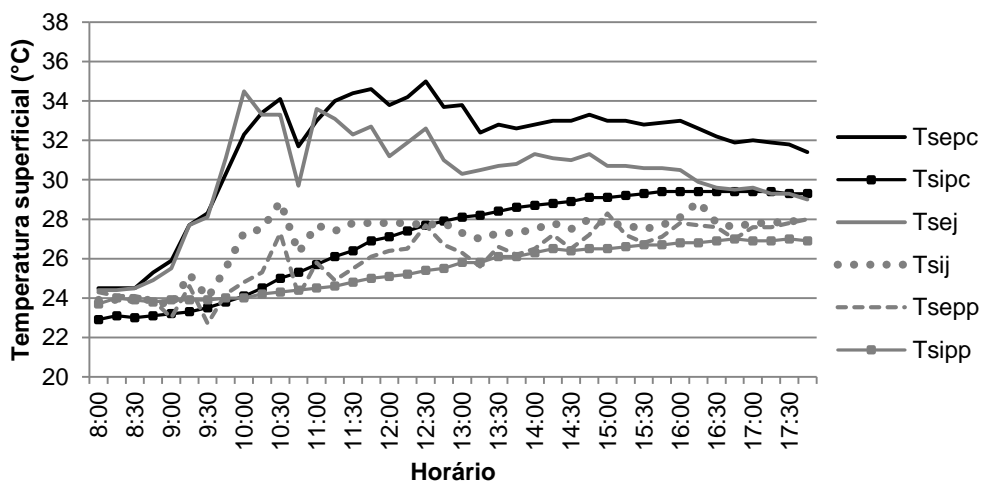
Tan, Wong e Steve (2014) e Caetano (2014) também verificaram que a parede viva reduz a variação térmica diária das temperaturas superficiais, além de estabilizar tanto a interna quanto a externa no intervalo de 20 °C - 25 °C (CAETANO, 2014).

Essa redução na variação térmica diária se reflete em uma melhoria do desempenho térmico do edifício, pois o jardim manteve as temperaturas superficiais da parcela protegida em valores menores em relação à parcela controle, protegendo-a da radiação solar incidente e evitando a entrada de calor para o ambiente interno. No entanto, a redução da variação térmica vai refletir em uma maior vida útil da parede que recebeu o jardim, pois há uma menor movimentação da estrutura da parede devido às variações térmicas e, assim, demandará menos gastos com manutenção (WONG et al., 2010).

4.2.1.2 Sistema jardim-parcela protegida

As figuras 62, 63 e 64 mostram o comportamento dos pontos de monitoramento ao longo da estrutura do jardim e das superfícies externa e interna da parcela da parede protegida.

Figura 62. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 18/03/2019



Legenda: Temperaturas: Tsepc: superficial externa da parcela controle; Tsipc: superficial interna da parcela controle; Tsej: superficial externa do jardim vertical; Tsij: superficial interna do jardim; Tsepp: superficial externa da parcela protegida; Tsipp: superficial interna da parcela protegida.

Figura 63. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 19/03/2019

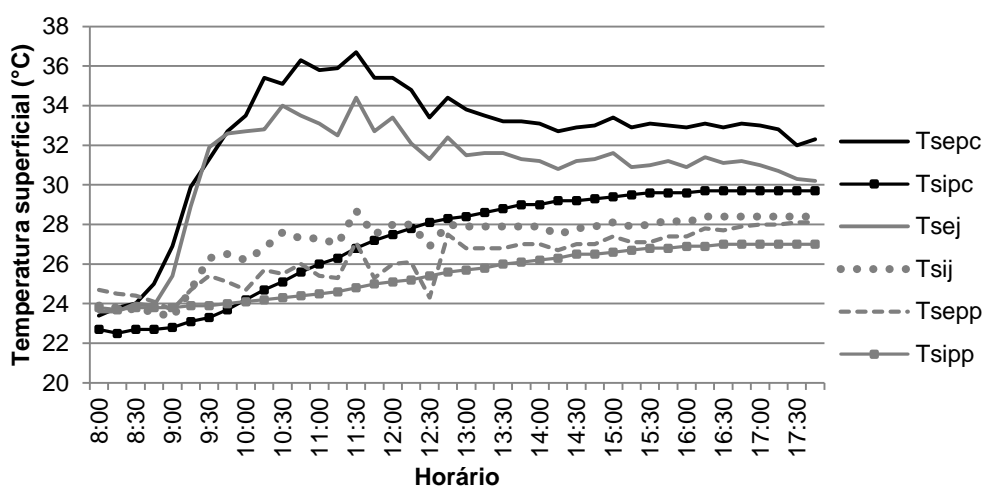
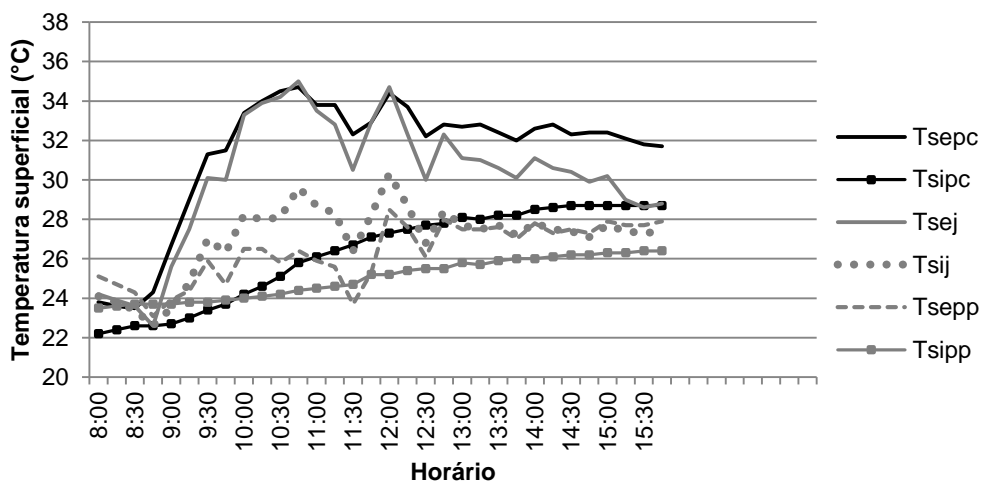


Figura 64. Temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada dia 20/03/2019



Os resultados mostram que no início da manhã todas as temperaturas superficiais do jardim e da parcela protegida podem ser maiores que as temperaturas superficiais da parede controle, porém somente até as 08h30min, horário em que já há incidência solar direta nas parcelas (Figura 65).

Figura 65. Campo experimental as 08h30min com incidência solar nas parcelas com e sem jardim



Fonte: Arquivo do autor.

A partir do momento em que a radiação solar incidiu na parede viva, os resultados mostraram uma padronização do gradiente de valores de temperatura nos três dias de medição. O sentido desse gradiente dos valores maiores para os menores, no sistema jardim-parcela protegida, é representado pela seguinte sequência, que também, indica o sentido de entrada do fluxo de calor em direção ao ambiente interno: T_{sej} , T_{sij} , T_{sepp} e T_{sipp} .

Novamente é possível notar que as temperaturas superficiais do sistema variaram em pares e de acordo com a proximidade entre pontos e com os microclimas que estavam em contato. Dessa forma, a temperatura superficial externa do jardim acompanhou o comportamento de variação da temperatura superficial externa da parede controle, assim como, a temperatura superficial interna do jardim variou junto com a superficial externa da parede protegida e, por fim, as temperaturas superficiais internas variaram juntas.

A repetição desse padrão de variação e desse gradiente térmico para condição de tempo quente e úmido reforça como as camadas construtivas da parede viva sombreiam e incrementam resistência térmica ao sistema, o qual funciona como um isolante que protege e impede a influência direta da radiação solar incidente nas superfícies mais interna do jardim e externa da parcela de parede protegida

Após às 08h30min, o sistema jardim-parcela protegida manteve a temperatura superficial interna do jardim e as superficiais externa e interna da parcela protegida menores em relação às temperaturas superficiais externas da parcela controle ao longo do restante do período de monitoramento. Essas temperaturas também foram menores que a temperatura superficial interna da parcela controle a partir das 12h15min.

Destaca-se que os picos da temperatura superficial externa do jardim ocorreram no período da manhã, entre 10h – 11h30min e, em média, 1h antes que a parcela controle e com uma diferença máxima entre elas de 2,7 °C, com a superfície do jardim registrando menor temperatura. Porém, a superfície externa do jardim nem sempre manteve este comportamento térmico, pois no dia 20 de março, o jardim registrou uma diferença de temperatura superficial externa de 0,6 °C maior em relação à parcela controle.

O comportamento térmico da temperatura superficial externa do jardim em relação à parcela controle pode ser explicada pela sua exposição direta à radiação solar. Assim, o jardim depende exclusivamente da densidade e distribuição da cobertura vegetal para sombrear e impedir a incidência solar na estrutura do jardim e, conseqüentemente, o aumento de sua temperatura superficial externa.

Com isso, a vegetação contribuiu com reduções máximas de 2,8 °C - 3,5 °C na temperatura superficial externa do jardim em relação à temperatura superficial externa da parcela controle. Enquanto que a variação de temperatura no período de medição não demonstrou uma padronização, ou seja, cada dia monitorado houve um comportamento diferente, cujo jardim variou mais que a parcela controle, menos e no mesmo valor.

Wong et al. (2010) também encontraram esse mesmo comportamento entre as temperaturas superficiais externas do jardim e da parede controle, porém com diferenças muito maiores. Para esses autores, o jardim do tipo parede viva apresentou as menores temperaturas superficiais externas (temperatura no substrato) durante o

dia, com uma diferença máxima de 9 °C em relação à parede controle. Porém, na maior parte das vezes, os valores do jardim se aproximaram dos da parede controle e a variação diária também foi tão alta quanto a da parede controle.

Victorero et al. (2015) encontraram que a temperatura externa do jardim (temperatura do substrato) sempre foi menor em relação à parede controle metálica, com uma diferença máxima de 30 °C. Os autores justificam essa diferença tão grande pelo sombreamento e evapotranspiração da vegetação (VICTORERO et al., 2015).

As diferenças encontradas no presente estudo ocorreram graças à vegetação que forma a primeira camada de sombreamento do sistema e que, ao analisar apenas as diferenças entre os picos das temperaturas superficiais externas ($T_{sej} \times T_{sepc}$), contribuiu para um amortecimento térmico médio de 0,7 °C.

Dessa forma, ao considerar que o sistema de parede viva proporcionou um amortecimento térmico médio de 6,9 °C (Tabela 13, página 93) para a temperatura superficial externa da parcela protegida em relação à temperatura superficial externa da parcela controle, o sombreamento da vegetação contribuiu, portanto, com cerca de 10% desse valor. Ressalta-se, também, que com os picos da temperatura superficial externa do jardim sempre ocorreram no período da manhã e antes que o pico da parcela controle. Assim, os resultados mostraram que a vegetação do sistema contribuiu para adiantar os horários de ocorrência das máximas. Porém, contribuiu para um menor amortecimento térmico em relação à temperatura superficial externa da parcela controle. Esse comportamento não foi discutido por nenhum trabalho analisado na revisão bibliográfica.

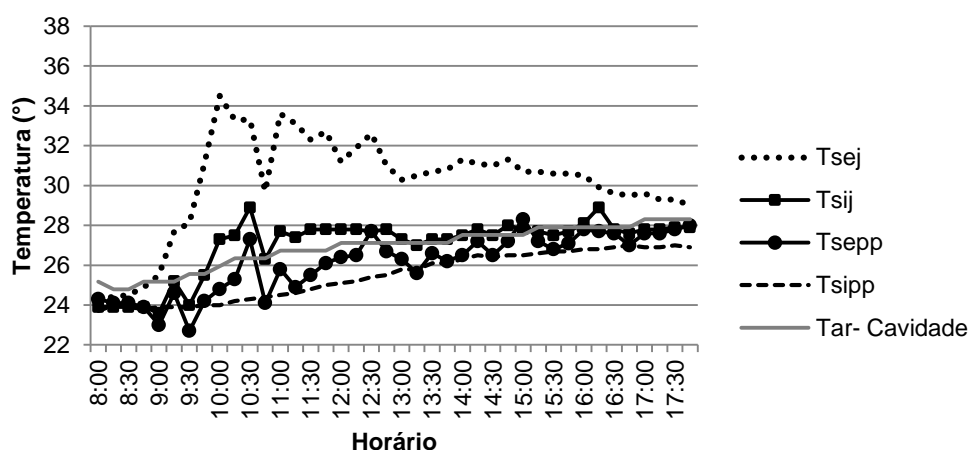
As temperaturas superficiais internas do jardim (T_{sij}) apresentaram valores geralmente maiores em relação às superficiais externas da parcela protegida (T_{sepp}), com diferença máxima de 3,2 °C. A partir das 17h, a T_{sepp} mostrou uma leve tendência a aumentar, provavelmente por consequência do fluxo de calor vindo do jardim vertical em virtude das trocas térmicas que ocorrem entre superfície interna da parede viva, cavidade do ar e parcela protegida. Esse fluxo de calor, por meio das quedas das temperaturas superficiais externas e internas do jardim, identifica a perda de calor para o ambiente da cavidade de ar, enquanto que ocorre o aumento simultâneo da temperatura superficial externa da parcela protegida.

A transferência de calor pela estrutura do jardim ocorre por condução a partir da superfície externa da manta até a superfície interna que é voltada para a cavidade

de ar, conforme o sentido do gradiente térmico. Em seguida, as trocas ocorrem entre a superfície do jardim e a superfície da parede por radiação e entre a superfície do jardim e o ar da cavidade por convecção (CHEN; LI; LIU, 2013).

A partir dessas considerações, foram produzidos gráficos que relacionam as temperaturas superficiais com a temperatura do ar da cavidade com o fim de verificar se a variação existente entre as temperaturas superficiais interna do jardim e externa da parcela protegida refletiram em alteração na temperatura do ar da cavidade (Figura 66,67 e 68).

Figura 66. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 18/03/2019



Legenda: Tsej: Temp. superficial externa do jardim vertical; Tsij: Temp. superficial interna do jardim; Tsepp: Temp. superficial externa da parcela protegida; Tsipp: Temp. superficial interna da parcela protegida.

Figura 67. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 19/03/2019

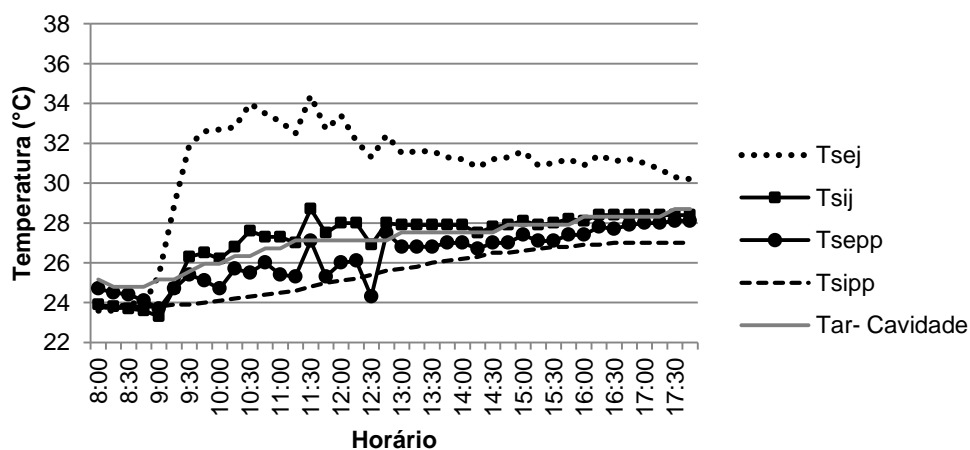
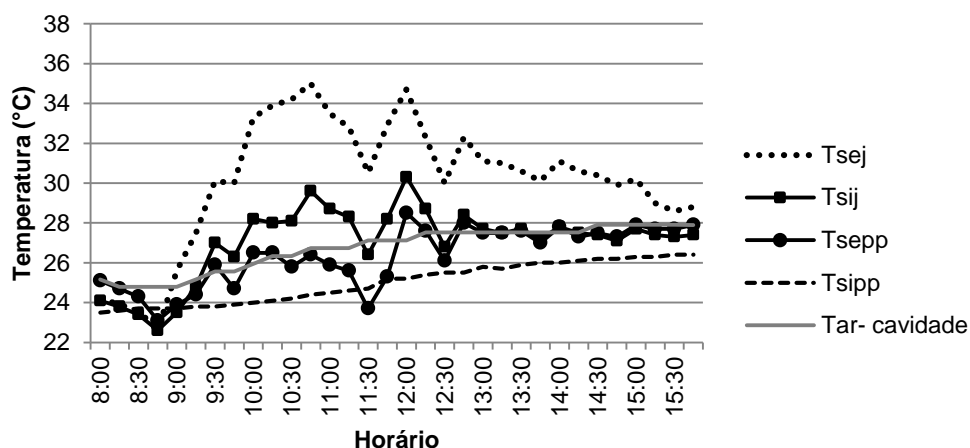


Figura 68. Relação entre temperaturas superficiais ao longo do sistema jardim-fachada e temperatura do ar da cavidade no dia 20/03/2019



Os gráficos mostram que, mesmo com uma variação mais intensa entre as temperaturas superficiais, essa variação não se refletiu na temperatura do ar da cavidade, uma vez que se manteve com pouca variação e com períodos de estabilidade. Ou seja, os resultados mostram que em horários cujas temperaturas superficiais diminuíram ou aumentaram abruptamente não houve um aumento ou diminuição consecutivos e de mesma intensidade da temperatura do ar que poderia ocorrer por meio de trocas térmicas convectivas. Porém, nota-se a relação entre as curvas de temperaturas superficiais, em que a partir das variações nos valores das temperaturas superficiais (externa e interna) do jardim e da temperatura superficial externa da parcela protegida ocorre o aumento gradual da temperatura superficial interna da parcela protegida.

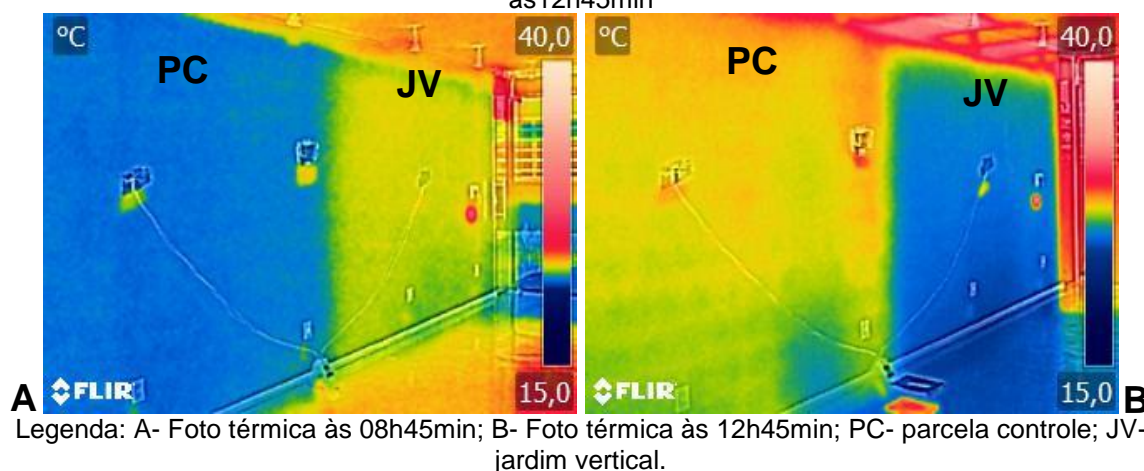
Dessa forma, pode-se inferir que os processos de trocas térmicas através do sistema jardim-parcela protegida ocorre de forma mais intensa por meio dos processos de condução e radiação, e a radiação é o principal processo de troca térmica no ambiente da cavidade de ar entre o jardim e a parcela protegida. Destaca-se que a cavidade de ar foi selada pela estrutura construtiva com o fim de impedir convecção e troca térmica com o ar ambiente, conforme orientado pelo trabalho de Chen, Li e Liu (2013).

A análise qualitativa por meio das fotos em condição de tempo “quente e úmido” (Apêndice J) permite visualizar o comportamento térmico das superfícies externas e internas das parcelas com e sem jardim e confirma os resultados quantitativos descritos anteriormente. A superfície externa do jardim demonstra

menores cargas térmicas ao longo de todo o período de medição em relação à parcela controle. Com a incidência da radiação solar direta é possível observar os pontos de aquecimento onde a cobertura da vegetação estava menos uniforme (maior quantidade em relação ao período “frio e seco”, devido à problemas com a irrigação no início de janeiro) e que a superfície do jardim demonstra menor carga térmica ao longo do período da tarde em relação à parcela controle.

As superfícies internas também confirmam os resultados ao ilustrar que a parcela com jardim começa o dia com maior carga térmica, mas que, com a radiação solar direta, ocorreu uma inversão e a parcela controle passa a apresentar a superfície mais aquecida até o final do período de medição. A Figura 69 ilustra essa inversão e a diferença de carga térmica das superfícies internas das parcelas com e sem jardim, em dois horários de monitoramento. Além disso, também deixa clara a influência térmica do sombreamento do jardim vertical sobre a parcela protegida que amortece a entrada de energia térmica para o ambiente interno e reduz as suas temperaturas superficiais.

Figura 69. Carga térmica das superfícies internas das parcelas com e sem jardim às 08h45min e às 12h45min



4.2.1.3 A influência térmica do sombreamento na temperatura do ar da cavidade

A cavidade de ar aumenta a capacidade de isolamento térmico do sistema, enquanto é influenciada pelo mecanismo de sombreamento. As figuras 70, 71 e 72 mostram a influência desse mecanismo nas temperaturas do ar dessa cavidade.

Figura 70. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 18/03/2019

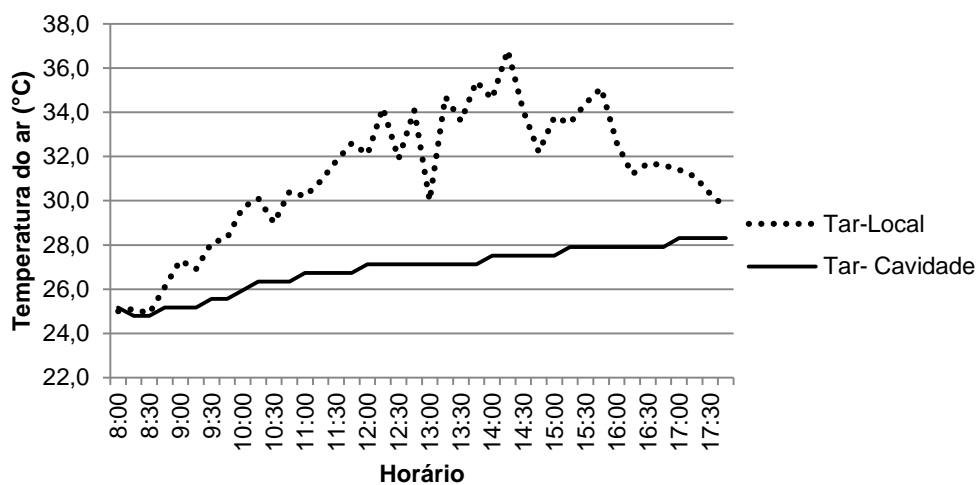


Figura 71. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 19/03/2019

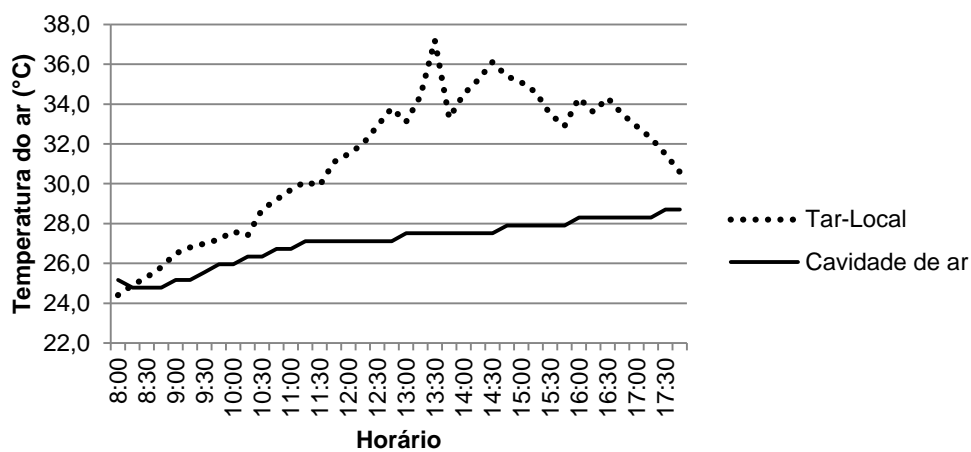
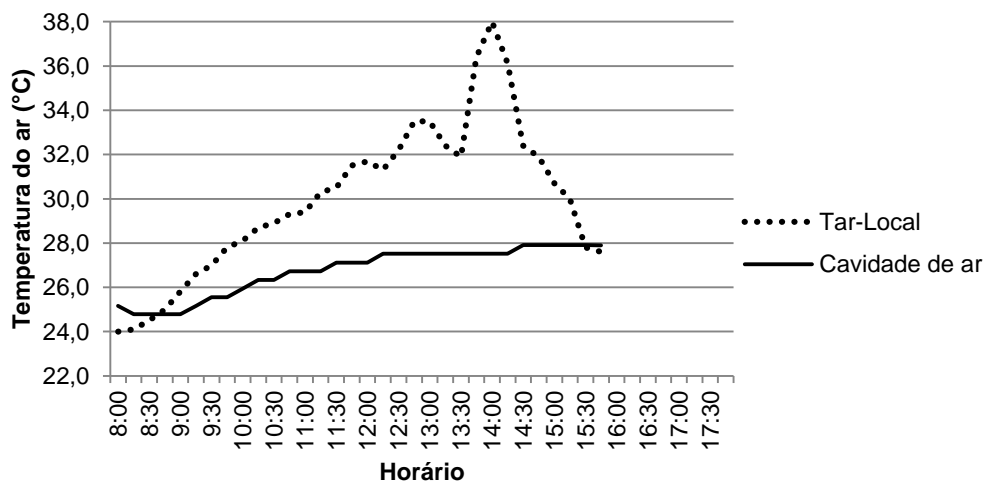


Figura 72. Temperaturas do ar da cavidade em comparação com as temperaturas do ar locais dia 20/03/2019



Observa-se que o jardim contribui para manter a temperatura do ar mais quente no início da manhã em comparação com a temperatura do ar local, com diferença máxima de 1,2 °C. A partir do momento em que há incidência solar direta, o jardim impede que ocorra um aumento brusco na temperatura do ar da cavidade. Assim, ela aumenta aos poucos, com períodos de estabilidade e com variação de 24,8 °C – 28,7 °C entre os três dias de medição, enquanto que a temperatura do ar local teve variação de 24 °C - 38 °C.

As diferenças máximas aconteceram no período da tarde e o sistema de parede viva contribuiu para reduzir a temperatura do ar da cavidade em até 10,5 °C. Esses resultados vêm ao encontro do trabalho de Safikhani et al. (2014a) que encontraram uma redução de 8 °C na temperatura do ar da cavidade em condições de verão.

A manutenção de valores de temperaturas do ar menores na cavidade, associada à falta de ventilação, contribui para a redução do fluxo térmico que passa do ar da cavidade para a superfície da parcela protegida e, conseqüentemente, para o ambiente interno.

4.2.1.4 Testes Estatísticos

Os dados de temperaturas superficiais externas e internas de ambas as parcelas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey, com o objetivo de verificar se as diferenças observadas entre as parcelas foram estatisticamente significativas.

O teste ANOVA para os conjuntos de dados monitorados nos três dias resultou em um valor $p = 0,000$, resultado que indica diferença entre as médias, conforme Tabela 17.

Tabela 17. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas

		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Razão F	Valor p
Temperatura superficial externa	Entre tratamentos	1775,815	1	1775,815	291,998	,000
	Dentro do tratamento	1350,117	222	6,082		
	Total	3125,931	223			
Temperatura superficial interna	Entre tratamentos	129,626	1	129,626	34,347	,000
	Dentro do tratamento	837,824	222	3,774		
	Total	967,450	223			

Os resultados do Teste de Tukey indicaram que, com nível de significância de 5% ($p= 0,05$), houve, novamente, diferença significativa entre todas as amostras e entre ambos os tratamentos (com e sem jardim) para as temperaturas superficiais externas. Para as temperaturas superficiais internas houve diferença significativa entre os valores da parcela controle do dia 19 de agosto (maiores Tsipp amostrados) com os valores da parcela protegida de todos os três dias amostrais.

Dessa forma, o jardim vertical também possui influência sobre as temperaturas superficiais da parcela protegida em condições de tempo “quente e úmido” e as diferenças encontradas entre as temperaturas superficiais das duas parcelas foram significativas.

4.2.2 Influência do jardim vertical no entorno imediato

Neste item serão apresentados os resultados da influência do jardim vertical nas variáveis microclimáticas do seu entorno imediato. Foram monitoradas as seguintes variáveis: 1- temperatura de bulbo seco e bulbo úmido (Tbs/Tbu); 2- temperatura de globo (Tg) e 3- velocidade do vento (Vv) em 4 pontos de monitoramento a 0,50 m e 1,40 m das parcelas (Figura 46, p. 76). A apresentação dos resultados está subdividida em três partes relacionadas a cada variável: temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média.

4.2.2.1 Influência do jardim vertical na temperatura do ar (Tar)

A influência do jardim vertical no entorno imediato foi investigada por meio do monitoramento de três variáveis: temperatura do ar, umidade absoluta e temperatura radiante média. Cada variável foi analisada separadamente por meio de comparação entre os pontos amostrais fixados em frente de cada parcela. Após a comparação descritiva, seguiu-se com testes estatísticos para verificar se as diferenças médias foram significativas para dados de temperatura do ar e umidade, ou seja, se o jardim apresentou impacto real nessas duas variáveis de conforto térmico. As figuras 73, 74 e 75 apresentam os resultados para a temperatura do ar no entorno imediato a diferentes distâncias (0,50 m e 1,40 m) para ambas as parcelas com e sem jardim.

Figura 73. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019

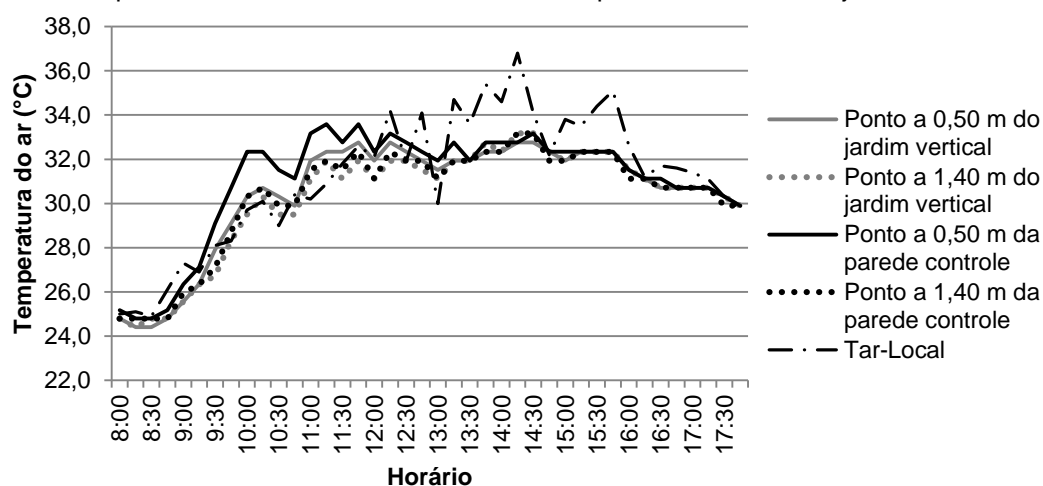


Figura 74. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019

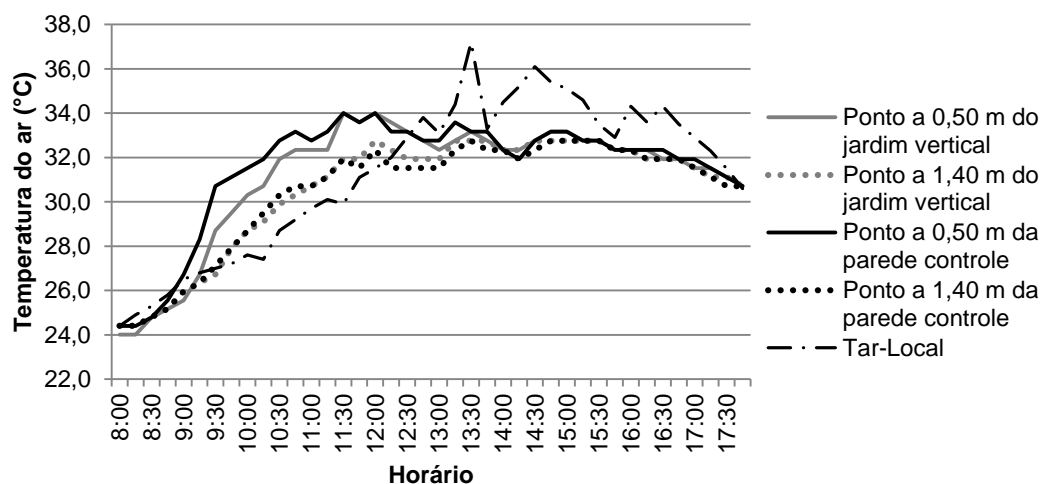
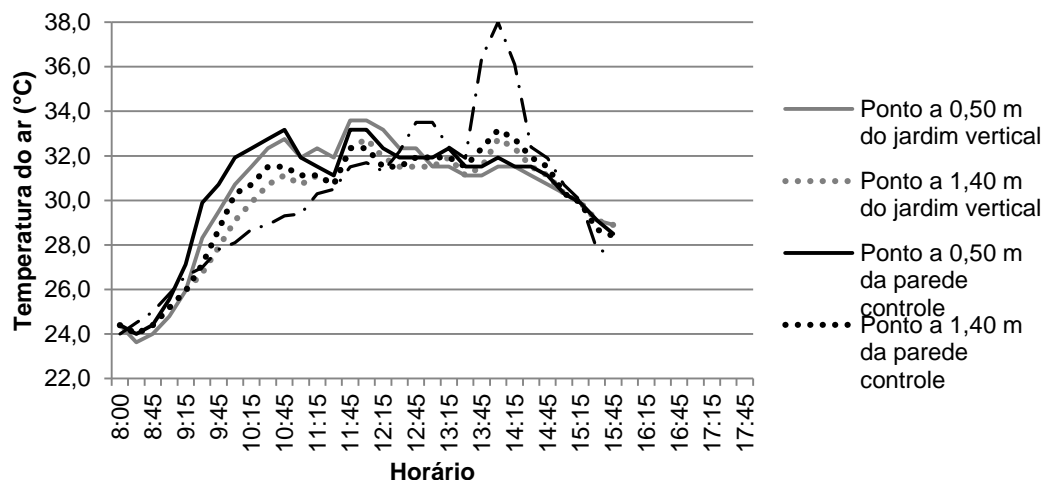


Figura 75. Temperaturas do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019



Percebe-se que os pontos monitorados apresentaram um comportamento similar nos três dias de medições, com uma pequena variação no dia 20. Em todos os dias de monitoramento, a temperatura do ar local apresentou valores maiores que os pontos amostrais, porém a partir da incidência solar direta ocorre uma inversão e durante todo o período da manhã a temperatura do ar local registrou os menores valores em relação aos pontos em frente às parcelas. Com o fim da incidência solar direta, as temperaturas dos pontos amostrais começaram a diminuir e tornaram-se menores que a temperatura do ar local, além disso, as temperaturas dos pontos em frente às parcelas se aproximaram no período da tarde e tiveram pouca diferença entre si (máxima de 0,8 °C), o que demonstra que a influência do jardim no seu entorno é mais perceptível em situações com a incidência solar direta.

Durante o monitoramento, os valores de temperatura do ar dos pontos em frente ao jardim sempre foram mais baixos em comparação com a parcela controle, com uma pequena variação no dia 20, onde das 11h15min às 12h45min, o ponto a 0,50m do jardim registrou temperaturas superiores em relação à parede controle.

Ao comparar os pontos de mesma distância entre as duas parcelas, as diferenças máximas de temperatura do ar foram de 2 °C para os pontos a 0,50 m e de 1,2 °C a 1,40 m de distância e sempre ocorreram no período da manhã. Todas as diferenças máximas encontradas para o ponto a 0,50 m de distância tiveram a temperatura do ar do jardim menor que a da parcela controle (tabela 18). Enquanto que, para os pontos a 1,40 m, houve diferença máxima em que a temperatura do ar do jardim foi maior que a da parcela controle.

Tabela 18. Diferenças máximas dos valores de temperatura do ar entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.

	ΔT °C	ΔT °C	ΔT °C jardim
	0,50 m	1,40 m	
18/03/2019	2,0 (jd < pc)	0,8 (jd < pc)	1,2 (0,50 > 1,40)
19/03/2019	2,0 (jd < pc)	0,8 (jd > pc)	2,1 (0,50 > 1,40)
20/03/2019	1,6 (jd < pc)	1,2 (jd < pc)	1,6 (0,50 > 1,40)

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle

Os pontos em frente ao jardim tiveram as diferenças máximas sempre no período da manhã (09h30min - 11h30min), com valor máximo de 2,1 °C e sempre o ponto a 0,50 m registrou os maiores valores. Verifica-se que os pontos em frente ao jardim apresentaram inversões bem definidas e constantes nos três dias de monitoramento: após as 09h15min, com a incidência de radiação solar, o ponto a 0,50 m começou a apresentar temperaturas do ar superiores às do ponto a 1,40 m. Após as 13h, quando a radiação solar não mais incidia diretamente no jardim, ocorreu a segunda inversão e as temperaturas do ar a 0,50 m do jardim diminuíram e ficaram iguais ou menores às temperaturas do ar a 1,40 m, na maioria dos horários monitorados.

A tabela 19 apresenta os valores máximos, mínimos e a variação no período de medições para os três dias monitorados. Percebe-se que, ao contrário da temperatura superficial, o jardim vertical não contribuiu para diminuir a variação de temperatura no seu entorno imediato, pois os pontos em frente ao jardim mostraram variações maiores que os pontos em frente à parcela controle para ambas as distâncias.

Tabela 19. Máximas, mínimas e variação no período de medição para temperatura do ar (°C).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT
18/03/2019	32,8	24,4	8,4	33,6	24,8	8,8	33,2	24,4	8,8	33,2	24,8	8,4
19/03/2019	34	24	10	34	24,4	9,6	32,8	24,4	8,4	32,8	24,4	8,4
20/03/2019	33,6	23,6	10	33,2	24	9,2	32,8	24	8,8	33,2	23,6	9,6

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parede controle

Além disso, o jardim manteve as temperaturas mínimas menores a 0,50 m em relação às mínimas da parcela controle. Porém, a 1,40 m os valores mínimos não seguiram esse padrão e foram menores, iguais ou maiores em relação à parcela controle. Embora a parcela com jardim tenha registrado menores temperaturas do ar em relação à parcela controle para ambas as distâncias, a tabela 19 mostra que os

valores máximos em frente ao jardim não seguiram um padrão de sempre apresentar valores menores em relação aos da parcela controle.

Os picos de temperatura a 0,50 m do jardim aconteceram em mais de um horário, após as 11h30min e, em média, 45 min depois que os da parcela controle e enquanto existia radiação solar direta. Enquanto que os picos de temperatura a 1,40 m do jardim também ocorreram em mais de um horário, após as 12h e em média 1h45min antes dos picos da parcela controle.

A tabela 20 mostra as diferenças entre os picos das parcelas para cada ponto e dia monitorado e evidencia que a 1,40 m praticamente não houve diferença entre as parcelas. Enquanto que, a 0,50 m foi registrada uma diferença máxima de 0,8 °C entre os pontos, mas nem sempre a parcela controle apresentou os maiores valores.

Tabela 20. Diferenças entre as temperaturas máximas do ar em frente ao jardim

	ΔT (°C)	
	Ponto a 0,50 m	Ponto a 1,40 m
18/03/2019	0,8	0
19/03/2019	0	0
20/03/2019	0,4	0,4

Poucos trabalhos fazem a análise da influência do jardim vertical em seu entorno imediato a diferentes distâncias. Wong et al. (2010) investigaram a temperatura do ar a 0,60 m do jardim e encontraram maior influência para a parede viva contínua, a qual conseguiu uma redução máxima de 0,8 °C na temperatura do ar. Os autores consideraram que a essa distância a influência no jardim na temperatura do ar não é significativa, porém, encontraram reduções maiores em distâncias mais próximas do jardim.

Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) também investigaram essa variável a 0,50 m e 1,0 m do jardim e da parede controle e não identificaram diferença significativa entre as parcelas, mesmo com uma diferença máxima de 1,6 °C e 1,8 °C a menos para a parede viva a 0,50 m e 1,0 m, respectivamente. Os autores concluíram que não há efeito refrigerador a essas distâncias e atribuíram esse resultado à maior umidade relativa em condição de tempo “quente e úmido”.

Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015) investigaram a influência da parede viva em um cânion urbano utilizando modelos em pequena escala. Nesse estudo, o cânion controle estava separado do cânion com jardim vertical, a dimensão era menor e era

um ambiente mais fechado em comparação com o local do experimento conduzido por este trabalho. Com essas características, os autores registraram redução máxima de 1,5 °C na temperatura do ar a 0,60 m do jardim, em relação ao cãnyon controle.

Dessa forma, mesmo com a redução da temperatura do ar, os resultados encontrados no presente estudo demonstram que é necessário um maior tempo de campanhas de medição para identificar se a variação encontrada no comportamento da temperatura do ar se repete constantemente e se a influência térmica no seu entorno imediato realmente não é significativa para condições de tempo quente e úmido. Assim, variações em torno das máximas e mínimas e na amplitude térmica serão melhor definidas e será possível quantificar mais precisamente a magnitude da influência térmica do jardim no entorno.

4.2.2.2 Influência do jardim vertical na umidade absoluta (uA)

A umidade absoluta do ar também foi monitorada em frente às parcelas com e sem jardim e variou entre os quatro pontos amostrais e nos três dias de medição de 15,9 a 30,4 g/Kg, conforme mostram as figuras 76,77 e 78.

Figura 76. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019

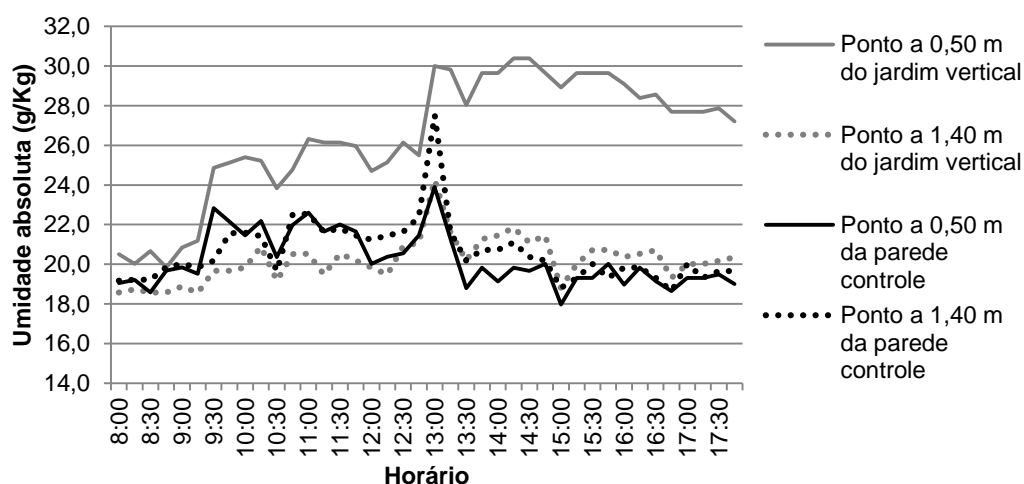


Figura 77. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019

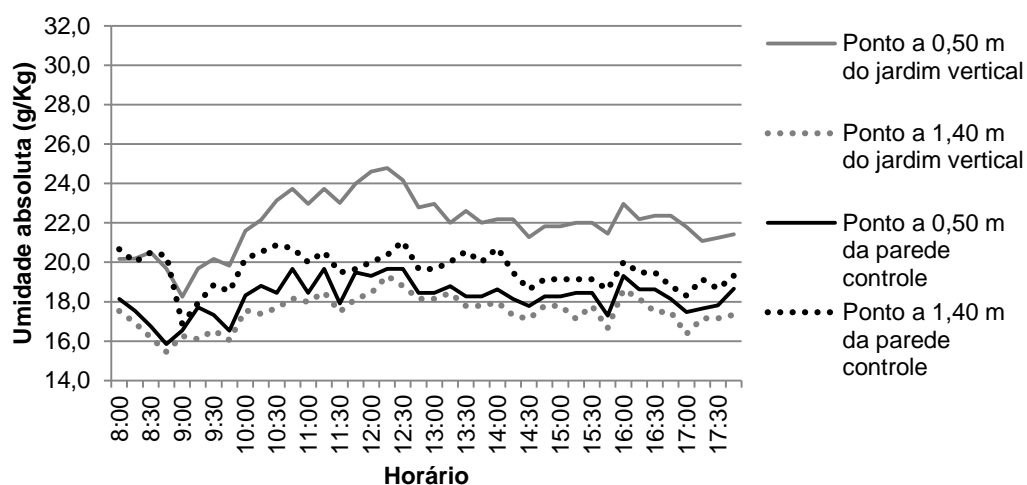
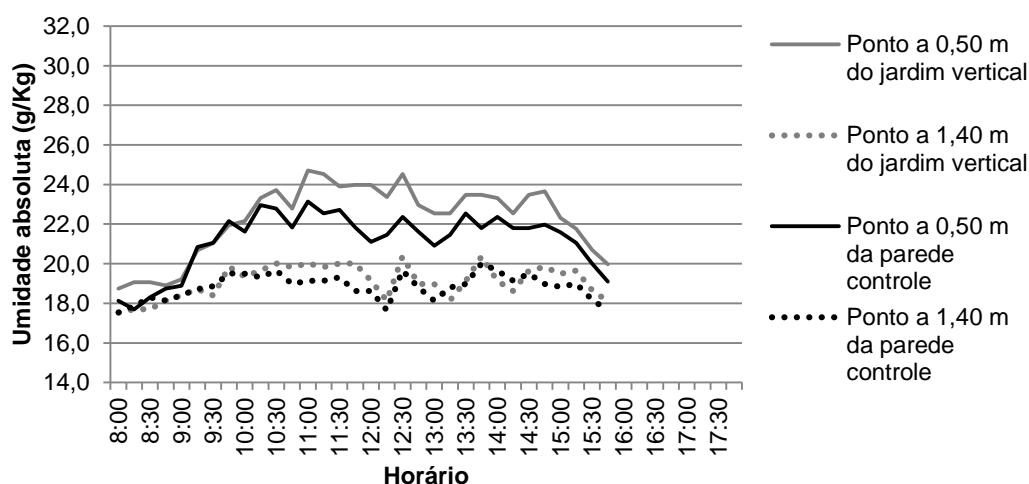


Figura 78. Umidade absoluta do ar no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019



A umidade absoluta se comportou de forma que o ponto a 0,50 m do jardim registrou, na maior parte das vezes, os maiores valores em relação aos demais pontos amostrais. Além de registrar valores máximos para essa variável, o ponto a 0,50 m do jardim também registrou os maiores valores mínimos e a maior variação de umidade ao longo do período de medição (Tabela 21).

Tabela 21. Máximas, mínimas e variação no período de medição para umidade absoluta do ar (g/Kg).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA	Máx.	Mín.	ΔuA
18/03/2019	30,4	19,8	10,5	23,9	18,6	5,3	24,3	18,6	5,7	27,5	19,2	8,4
19/03/2019	24,8	18,3	6,5	19,7	15,9	3,8	19,3	15,4	3,9	21,1	16,9	4,2
20/03/2019	24,5	18,7	5,8	23,1	17,7	5,4	20,4	17,5	2,8	20	17,5	2,5

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle; uA: umidade absoluta.

Ao comparar os pontos a 0,50 m das duas parcelas, os picos de umidade absoluta em frente ao jardim ocorreram sempre após as 12h e, em média, 01h15min após o pico da parcela controle. Ou seja, a umidade absoluta próxima à vegetação atingiu o seu máximo no final do período de incidência de radiação direta e, também, apresentou picos com valores superiores aos da parcela controle, com uma diferença máxima entre picos de 6,5 g/Kg.

As diferenças máximas dos pontos a 0,50 m das parcelas não ocorreram sempre no mesmo período e não seguiram padrão de horário de ocorrência. Para essa distância foram registradas diferenças máximas de 2,9 a 11 g/Kg ao longo do período de medição.

Entre os pontos a 1,40 m das parcelas os resultados mostraram um comportamento diferente para cada dia de monitoramento, sem um padrão entre eles. O ponto a 1,40 m da parcela controle apresentou valores superiores aos pontos a 0,50 m da parcela controle e 1,40 m do jardim e, também, houve o registro de alguns valores superiores em relação ao ponto a 0,50 m do jardim.

O ponto a 1,40 m do jardim mostrou uma tendência de registrar os menores valores de umidade absoluta em relação ao ponto de mesma distância da parcela controle e, também, os menores valores entre todos os pontos de monitoramento. As diferenças máximas entre eles variaram de 1,4 g/Kg (com maior umidade para o jardim) a 4,9 g/Kg (com maior umidade para a parcela controle). Os valores máximos ocorreram sempre juntos ou com uma diferença de 15 minutos entre eles, com o ponto em frente ao jardim com pico antecipado, mas não apresentaram um padrão no horário de ocorrência. Da mesma forma, as diferenças máximas também não tiveram um padrão quanto ao horário.

Entre os pontos em frente ao jardim, a 0,50 m sempre apresentou os maiores valores e suas diferenças máximas variaram de 5,2 a 10,1 g/Kg nos três dias de monitoramento.

Esse comportamento da umidade absoluta, novamente, pode ser explicado como o resultado do processo de evapotranspiração das plantas e do substrato, que aumenta a quantidade de vapor d'água no ar, porém, esse vapor d'água fica restrito à proximidade do jardim e depende da ventilação para ser levado a maiores distâncias. Como a velocidade do ar nos dias de medição foi em torno de 0 m/s, em média, não houve ventilação o suficiente para distribuir o vapor d'água advindo da

evapotranspiração do jardim para o seu entorno. Dessa forma, a simples presença do jardim não aumentou, necessariamente, a umidade absoluta do ar a uma distância próxima de 1,40m, ou seja, não houve influência direta do jardim nessa variável do seu entorno imediato para condições de tempo quente e úmido.

Os resultados para a umidade absoluta nos pontos a 1,40 m das parcelas demonstram que são necessários mais dias de medição para uma melhor compreensão do comportamento dessa variável a maiores distâncias e para a comparação entre as parcelas. Mesmo assim, os trabalhos que investigam e discutem especificamente a influência da parede viva no entorno não utilizam a umidade absoluta e, portanto, os resultados obtidos nessa etapa de condições de tempo “quente e úmido” são inéditos e não possuem referências para comparação e discussão.

4.2.2.3 Influência do jardim vertical na temperatura radiante média (T_{rm})

Os resultados da influência do jardim vertical nas temperaturas radiantes médias a diferentes distâncias das parcelas amostrais são apresentadas pelas figuras 79, 80 e 81.

As temperaturas radiantes médias foram maiores para os pontos em frente às parcelas com e sem jardim em relação ao ponto local ao longo de todo o período de monitoramento, mesmo sem a incidência solar direta. Os resultados mostraram de forma mais clara dois pontos de inversão no comportamento térmico das temperaturas radiantes médias dos pontos amostrais a 0,50 m das parcelas ao longo dos dias de medição.

Figura 79. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 18/03/2019

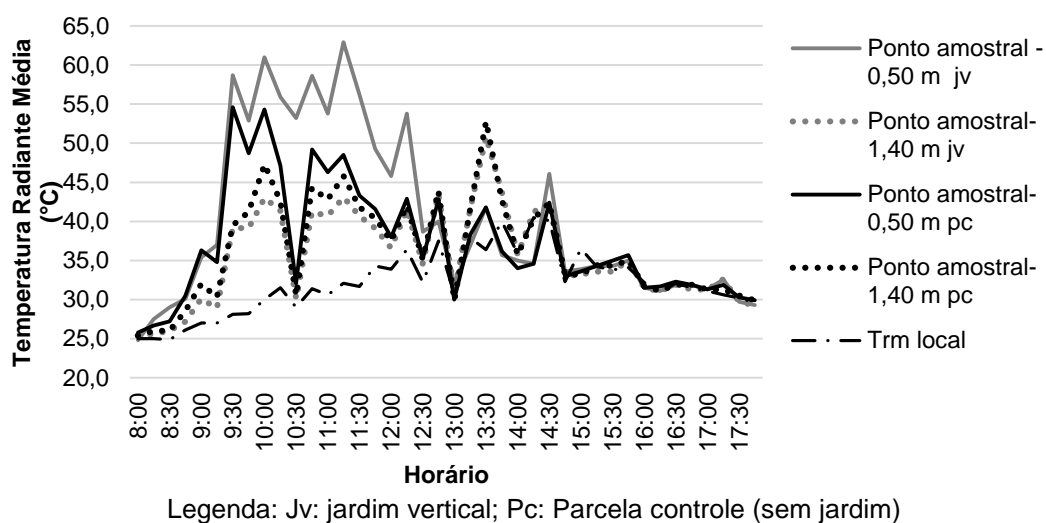


Figura 80. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 19/03/2019

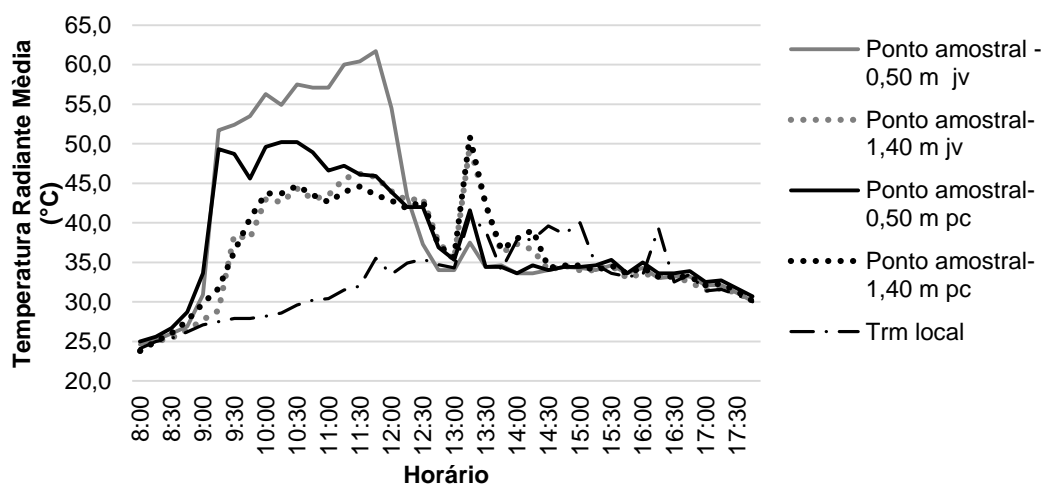
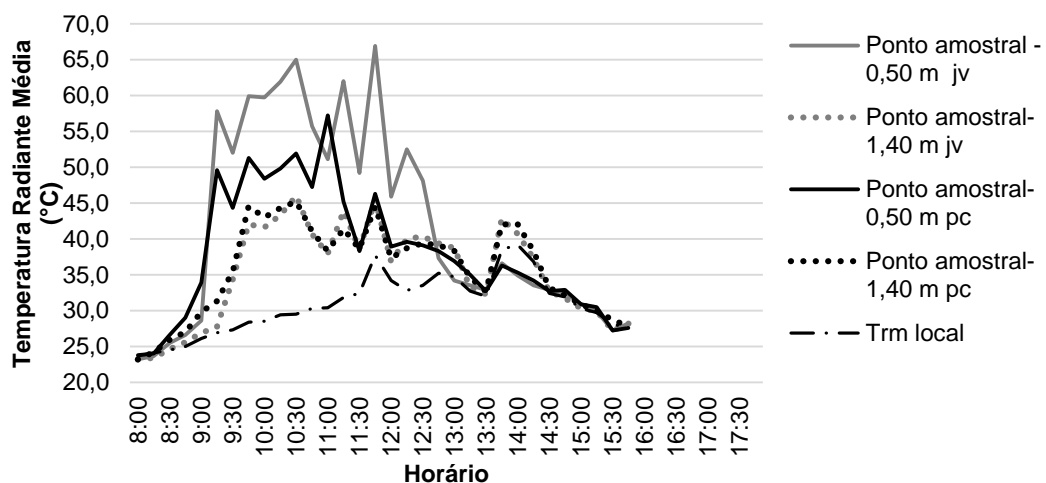


Figura 81. Temperatura radiante média no entorno imediato das parcelas com e sem jardim no dia 20/03/2019



A primeira inversão ocorreu sempre às 09h15min, horário em que houve o pico de radiação solar direta na região de medição em ambas as parcelas. A partir desse horário, o ponto a 0,50 m do jardim apresentou valores superiores aos da parcela controle até o horário da segunda inversão, que ocorreu entre 12h15min e 12h30min. Com a segunda inversão, o ponto a 0,50 m do jardim tendeu a registrar temperaturas menores ou iguais às da parcela controle, porém, em alguns horários mesmo sem a incidência solar direta, o ponto em frente ao jardim também registrou valores superiores aos da parcela controle. Entre as inversões, o ponto em frente ao jardim atingiu picos que variaram de 61,7 a 66,9 °C (Tabela 22) e aconteceram, em média, 1h10min após os picos da parcela controle, sempre com a incidência solar direta.

A 1,40 m das parcelas não foi possível identificar inversões. O ponto em frente ao jardim mostrou uma tendência de registrar valores menores em relação aos da parcela controle durante todos os dias e em ambos os períodos com e sem incidência solar direta. Dessa forma, os dados sugerem que o jardim pode contribuir na redução da Trm a maiores distâncias e, ao considerar que o local de investigação é uma área de estar dos estudantes, essa redução pode refletir diretamente no conforto térmico deles. Os picos de Trm de ambas as parcelas ocorreram juntos, sem diferença de horário, sob incidência solar direta e em períodos diferentes.

Os pontos em frente ao jardim atingiram valores máximos de 66,9 °C para 0,50 m e 50,8 °C para 1,40 m (tabela 22). O jardim também influenciou a temperatura radiante do seu entorno imediato de forma a manter variações térmicas muito maiores ao longo do período de medições para o ponto a 0,50 m em relação à parede controle (tabela 22). Para o ponto a 1,40 m, a variação da temperatura em frente ao jardim foi menor em relação à parcela controle durante dois dias. Destaca-se que esses picos também podem ter sido influenciados pelo banco de concreto que absorve e irradia grande quantidade de calor próximo às parcelas.

Tabela 22. Valores de Trm máximos, mínimos e variação no período de medição (°C).

	0,50 m jd			0,50 m pc			1,40 m jd			1,40 m pc		
	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT	Máx.	Mín.	ΔT
18/03/2019	62,9	24,8	38,1	54,3	25,8	28,5	50,8	25,4	25,4	52,8	25,4	27,4
19/03/2019	61,7	24,6	37,1	50,2	25	25,2	49,7	23,8	25,9	50,9	23,8	27,1
20/03/2019	66,9	23,2	43,7	57,2	23,8	33,4	46	23,2	22,8	45,2	23,2	22

Legenda: Jv: jardim vertical; Pc: Parcela controle

Ao longo do período de medições, as parcelas mostraram diferenças máximas de 21,1 °C e de 4,3 °C para os pontos a 0,50 m e a 1,40 m, respectivamente (tabela 23). Destaca-se que as diferenças máximas registradas para os pontos a 1,40 m das parcelas foram sempre com o ponto em frente ao jardim menor que a parcela controle. Para os pontos em frente ao jardim, as temperaturas foram maiores para o ponto a 0,50 m com uma diferença máxima que variou de 21,5 a 23,1 °C, com alguns momentos de temperaturas menores que a 1,40 m no período sem incidência solar direta.

Tabela 23. Diferenças máximas dos valores de temperatura radiante média entre os pontos de medição das parcelas com e sem jardim e entre os pontos em frente ao jardim.

	ΔT °C 0,50 m	ΔT °C 1,40 m	ΔT °C jardim
18/03/2019	21,1 (jd > pc)	4,3 (jd < pc)	23,1 (0,50 > 1,40)
19/03/2019	15,8 (jd > pc)	2,8 (jd < pc)	22,8 (0,50 > 1,40)
20/03/2019	20,6 (jd > pc)	3,6 (jd < pc)	21,5 (0,50 > 1,40)

Legenda: Jd: jardim vertical; Pc: parcela controle

Após o horário de incidência solar direta nos pontos amostrais, os valores de temperatura radiante média diminuíram e apresentaram pouca diferença entre si, com o jardim apresentando os menores valores em relação à parcela controle, com diferença média de 0,3 °C para 0,50 m e 0,2 °C para 1,40 m.

Para condição de tempo quente, apenas os trabalhos de Tan, Wong e Steve (2014) e Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015) trazem uma investigação sobre a influência da parede viva sobre a temperatura radiante média. Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015) encontraram uma diminuição de 4 °C na temperatura de um cânion teste revestido por jardim vertical, enquanto que Tan, Wong e Steve (2014) realizaram monitoramentos com duas paredes vivas e, em seguida, após a retirada de uma delas, identificaram um aumento máximo na temperatura radiante média de 12,8 °C para 0,50 m do jardim e de até 6,4 °C para distâncias maiores. Além desse aumento, o pico da temperatura aconteceu mais tarde, quando retiraram uma parede viva.

Os resultados encontrados por Tan, Wong e Steve (2014) mostram que a área do jardim vertical interfere na sua eficiência e influência na Trm do entorno imediato. A retirada de um dos jardins e conseqüente diminuição da área com vegetação levou a um aumento da Trm em diferentes distâncias, com maior impacto a 0,50 m. Além disso, os autores realizaram o experimento em um local aberto e que não era uma

área de uso e convívio social como a área trabalhada pelo presente estudo. Dessa forma, não houve a interferência de qualquer elemento construído próximo ao experimento.

O tamanho do jardim experimental do presente estudo pode ter influenciado no fato de não ter ocorrido uma redução das Trm na distância de 0,50 m. Além disso, o local de monitoramento é uma área de convívio social, com bancos de concreto a 0,45 m de altura do chão e 1 m do jardim, e que está recebendo a mesma radiação solar direta que as parcelas experimentais, que irradia calor e interfere nos valores das Trm.

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que é necessária uma área maior de jardim para que ele tenha uma eficiência na redução da temperatura radiante média do seu entorno imediato. Principalmente porque o local possui elementos que podem contribuir no aumento das Trm e reduzir a influência positiva do jardim na amenização térmica, que é o que se espera que ocorra para condições de tempo quente e úmido.

4.2.2.4 Testes Estatísticos

Após a análise descritiva da influência térmica do jardim vertical nas variáveis microclimáticas do entorno imediato, os dados de temperatura do ar e umidade absoluta também foram agrupados em dois conjuntos (parcela com e sem jardim) e submetidos aos dois métodos estatísticos: a análise de variância (ANOVA) e o Teste de Tukey, com o fim de testar se as diferenças observadas são estatisticamente significativas.

A tabela 24 mostra que o teste ANOVA resultou em um valor $p = 0,105$, o que indica que não existe diferença entre as médias para a temperatura do ar.

Tabela 24. Análise ANOVA para temperaturas superficiais externas e internas

		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Razão F	Valor p
Temperatura do ar	Entre tratamentos	45,079	3	15,026	2,061	,105
	Dentro do tratamento	3236,526	444	7,289		
	Total	3281,605	447			
Umidade absoluta	Entre tratamentos	1507,954	3	502,651	121,382	,000
	Dentro do tratamento	1838,637	444	4,141		
	Total	3346,591	447			

Para a umidade absoluta, o teste ANOVA resultou em um $p=0,000$, que indica a existência de diferenças significativas. Ao aplicar o teste de Tukey, a umidade absoluta em condição de tempo “quente e úmido” apresentou diferenças significativas entre as parcelas para ambas as distâncias de 0,50 m e 1,40 m, conforme demonstrado no quadro 5.

Quadro 5. Pontos amostrais que apresentaram diferença estatisticamente significativa das médias da umidade absoluta

Umidade absoluta		
	0,50 m Sem jardim	1,40 m Sem jardim
0,50 m Com jardim		
1,40 m Com jardim		

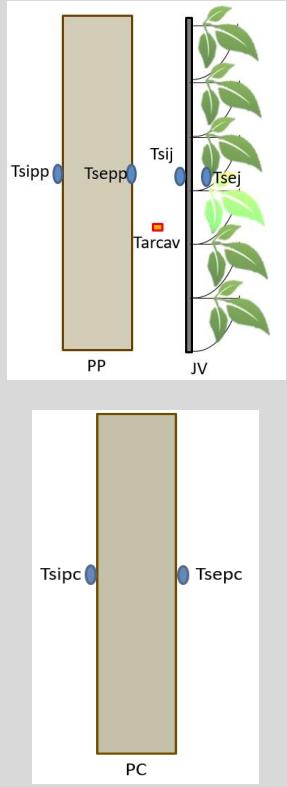
Legenda: Pintado de vermelho- diferença entre médias com nível de significância de 5%.

Porém, conforme tratado pelo tópico 4.2.2.2 (página 113), a umidade absoluta também demonstrou comportamento anômalo para monitoramento em condição de tempo “quente e úmido”, o que exige um campanha de medição maior e com melhores equipamentos para coleta de dados.

4.3 Síntese dos resultados para as Campanhas em Condições "Frio e seco" x "Quente e úmido"

Os quadros 6 e 7 expõem as sínteses dos resultados para o mecanismo de sombreamento e para a influência térmica no entorno imediato para as campanhas de monitoramento em condições de tempo "frio e seco" e "quente e úmido".

Quadro 6. Síntese dos resultados para o mecanismo de sombreamento para ambas condições de tempo

Sombreamento			
		Frio e Seco	Quente e Úmido
<p>A Influência do Mecanismo de Sombreamento no Comportamento Térmico da Parcela protegida pelo Jardim</p> 	Início da manhã	Sempre $T_{sj} > T_{spc}$. ΔT_{se} : 3,8 °C ΔT_{si} : 1,9 °C	Nem sempre $T_{sj} > T_{spc}$
	Com influência Radiação solar direta	Ocorre as inversões das temperaturas superficiais internas e externas entre as parcelas.	Ocorre as inversões das temperaturas superficiais internas e externas entre as parcelas.
	Diferenças máximas entre parcelas	$T_{spp} < T_{spc}$ ΔT_{se} : 9,4 °C ΔT_{si} : 2,8 °C	$T_{spp} < T_{spc}$ ΔT_{se} : 10,6 °C ΔT_{si} : 2,9 °C
	Variação diária de temperatura (redução média)	O jardim reduz as variações diárias. T_{sepp} : 7,8 °C T_{sipp} : 4,1 °C	O jardim reduz as variações diárias. T_{sepp} : 6,6 °C T_{sipp} : 3,5 °C
	Valores máximos-amortecimento térmico (sempre $J_v < P_c$)	T_{sepp} : Máximo: 8,4 °C Médio: 6,9 °C T_{sipp} : Máximo: 2,7 °C Médio: 2,4 °C	T_{sepp} : Máximo: 8,6 °C Médio: 6,9 °C T_{sipp} : Máximo: 2,7 °C Médio: 2,5 °C
	Atraso térmico médio	T_{sepp} : 06h	T_{sepp} : 03h T_{sipp} : 45 min
Sistema jardim-parcela protegida	Início da manhã	Sempre $T_{sj} > T_{spc}$	Nem sempre $T_{sj} > T_{spc}$
	Radiação solar direta	Cria-se gradiente de temperaturas ao longo do sistema jardim-parcela:	Cria-se gradiente de temperaturas ao longo do sistema jardim-parcela:

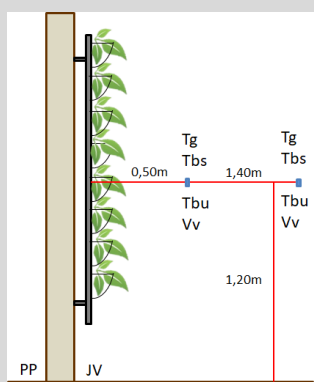
		Tsej > Tsij > Tsepp > Tsipp Tsepc > Tsipc > sistema	Tsej > Tsij > Tsepp > Tsipp Tsepc > Tsipc > sistema
	Diferenças máximas entre Tse das parcelas	Ocorrem com Tsej < Tsepc ΔTse máxima: 4 °C	Ocorrem com Tsej < Tsepc ΔTse máxima: 3,5 °C
	Valores máximos das Tse- Amortecimento térmico (Jv < Pc)	Máximo: 3,6 °C Médio: 3 °C	Máximo: 2,7 °C Médio: 0,7 °C
	Contribuição da vegetação	Contribui com cerca de 50% do amortecimento médio de todo o sistema.	Contribui com cerca de 10% do amortecimento médio de todo o sistema.
	Amortecimento e Atraso térmico	Vegetação influencia no amortecimento, mas não no atraso.	Vegetação influencia no amortecimento, mas não no atraso.
A influência térmica do sombreamento na temperatura do ar da cavidade	Início da manhã	Tar cav > Tar local	Tar cav > Tar local
	Radiação solar direta	Tar cav < Tar local	Tar cav < Tar local
	Redução máxima Tar cav x Tar local	Tar cav: 13 °C	Tar cav: 10,5 °C
	Variação nos três dias de medição	Tar cav: 11,7 – 18,2 °C Tar local: 10,3 – 29,7 °C	Tar cav: 24,8 – 28,7 °C Tar local: 24 – 38 °C

Legenda: Tsj: temperaturas superficiais do jardim; Tspc: temperaturas superficiais da parcela controle; Tse: temperaturas superficiais externas; Tsi: temperaturas superficiais internas; Tspp: temperaturas superficiais da parcela protegida; Tsepp: temperatura superficial externa da parcela protegida; Tsipp: temperatura superficial interna da parcela protegida; Tsej: temperatura superficial externa do jardim; Tsij: temperatura superficial interna do jardim; Tsepc: temperatura superficial externa da parcela controle; Tsipc: temperatura superficial interna da parcela controle; Tar cav: temperatura do ar da cavidade; Tar local: temperatura do ar local.

Os resultados para o mecanismo de sombreamento demonstraram a influência do jardim vertical sobre as temperaturas superficiais da parcela protegida e no seu comportamento térmico para ambas as condições de tempo. O jardim funcionou como um escudo que protegeu a parcela da parede contra a incidência solar direta e a entrada de calor para o ambiente interno. Em ambas as condições de tempo, o jardim reduziu as temperaturas superficiais da parcela protegida com redução máxima de até 10,6 °C e 2,9 °C em condição “quente e úmida” para temperatura externa e interna, respectivamente. Além disso, o jardim sempre reduziu a variação térmica diária, alcançando 7,8 °C em condição “fria e seca” e gerou um amortecimento e um atraso térmico em comparação com a parcela controle.

A vegetação também é parte constituinte do sistema e tem efeito sobre o mecanismo de sombreamento como um todo. Para condições de frio, a vegetação contribuiu com cerca de 50%, enquanto que em condição quente, essa contribuição foi de 10% no amortecimento térmico médio total do sistema sobre a temperatura superficial externa. Essa redução no amortecimento térmico para condição de tempo “quente e úmido” deve-se a problemas com a irrigação que gerou falhas na cobertura vegetal. O sombreamento também reduziu a temperatura do ar da cavidade em ambas as condições de tempo e atingiu redução máxima de 13 °C. Com temperaturas menores, a camada de ar entre o jardim e a parcela protegida melhora a capacidade de isolamento térmico do sistema como um todo e contribui para reduzir as perdas e ganhos de calor da edificação.

Quadro 7. Síntese dos resultados para influência do jardim no entorno imediato para ambas condições de tempo

Influência no entorno imediato			
		Frio e Seco	Quente e Úmido
<p>Temperatura do ar (Tar)</p> 	Início da manhã	Tar jv < Tar pc e Tar local	Tar jv < Tar pc e Tar local
	Com influência da Radiação solar direta	Ocorre 1ª Inversão: Tar jv > Tar pc e Tar local	Ocorre 1ª Inversão: Tar local < Tar jv e Tar pc Tar jv < Tar pc Tar jv > Tar local
	Após incidência solar direta	2ª Inversão Tar local > Tar jv e Tar pc Tar jv < Tar pc	2ª Inversão Tar local > Tar jv e Tar pc Tar jv < Tar pc
	Variação diária	0,50 m: O jardim não reduziu as variações diárias. 1,40 m: redução média de 0,6 °C na variação diária	Não houve padrão na influência do jardim sobre a variação diária da Tar nos pontos a 0,50 m e 1,40 m
	Valores máximos (redução máxima entre picos- Jv < Pc)	0,50 m: sem diferença; 1,40 m: 0,8 °C	0,50 m: 0,8 °C; 1,40 m: 0,4 °C
	Influência no horário dos picos de temperatura (tempo médio)	0,50 m: 1h15min antes no jardim 1,40 m: 1h20min antes no jardim	0,50 m: 45min depois no jardim 1,40 m: 1h45min antes no jardim

	Diferenças máximas entre parcelas	0,50 m: 2,3 °C (Jv < Pc) 1,40 m: 2,3 °C (Jv > Pc)	0,50 m: 2 °C (Jv < Pc) 1,40 m: 1,2 °C (Jv < Pc)
Umidade absoluta (uA)	Ponto com maior umidade absoluta	0,50 m do jardim	0,50 m do jardim
	Diferenças máximas entre as parcelas	0,50 m: 6,3 g/Kg (Jv > Pc) 1,40 m: 1,8 g/Kg (Pc > Jv)	0,50 m: 11 g/Kg (Jv > Pc) 1,40 m: 4,9 g/Kg (Pc > Jv)
	Valores máximos (diferença máxima entre picos)	0,50 m: 5 g/Kg (Jv > Pc) 1,40 m: 0,9 g/Kg (Jv < Pc)	0,50 m: 6,5 g/Kg (Jv > Pc) 1,40 m: 3,3 g/Kg (Jv < Pc)
	Influência no horário dos picos (tempo médio)	0,50 m: sempre após as 11h45min e, em média, 30 min antes no jardim 1,40 m: sem padrão	0,50 m: sempre após as 12h e, em média, 1h15min antes no controle 1,40 m: sempre após 12h
Influência do jardim vertical na temperatura radiante média (Trm)	Início da manhã	Trm parcelas < Trm local Trm jv < Trm pc	Trm parcelas > Trm local Trm jv < Trm pc
	Com influência da Radiação solar direta	1ª Inversão Trm parcelas > Trm local Trm jv > Trm pc	1ª Inversão Trm parcelas > Trm local Trm jv > Trm pc
	Ausência de radiação solar direta	2ª Inversão (após 12h) Trm jv < Trm pc 3ª inversão (após 14h) Trm parcelas < Trm local	2ª Inversão (após 12h) Trm jv < Trm pc 3ª inversão: não ocorre
	Diferenças máximas entre as parcelas	0,50 m: 36,9 °C (Jv > Pc) 1,40 m: 19,6 °C (Jv > Pc)	0,50 m: 21,1 °C (Jv > Pc) 1,40 m: 4,3 °C (Jv < Pc)
	Valores Máximos (diferença máxima entre picos)	0,50 m: 33,4 °C (Jv > Pc) 1,40 m: 8,4 °C (Jv > Pc)	0,50 m: 11,5 °C (Jv > Pc) 1,40 m: 2 °C (Jv < Pc)
	Variação nos três dias de medição	Jardim não contribuiu para reduzir a variação diária para ambos os pontos amostrais	Jardim não contribuiu para reduzir a variação diária para 0,50 m, mas reduziu a variação para 1,40 m.

Legenda: Jv: jardim vertical; Pc: parcela controle; Tar jv: temperatura do ar em frente ao jardim vertical; Tar pc: temperatura do ar em frente a parcela controle; Tar local: temperatura do ar no campo experimental; Trm parcelas: temperaturas radiantes médias em frente as duas parcelas; Trm local: temperaturas radiantes médias no campo experimental; Trm jv: temperaturas radiantes médias em frente ao jardim vertical; Trm pc: temperaturas radiantes médias em frente à parcela controle.

A temperatura do ar mostrou comportamento diferente entre as campanhas de medição. No período de frio e com a incidência de radiação solar direta, os pontos em frente ao jardim registraram temperaturas superiores aos pontos da parcela controle. Enquanto que no período quente e úmido, os pontos em frente ao jardim registraram, na maioria das vezes, temperaturas do ar sempre inferiores aos pontos da parcela controle. Ainda na condição de tempo “quente e úmido” o jardim reduziu os valores máximos em 0,8 °C na distância de 0,50 m e 0,4 °C para 1,40 m. No entanto, em condição de tempo frio e seco, a 0,50 m o jardim não teve influência nos picos e a 1,40 m reduziu 0,8 °C.

Esses resultados são positivos, pois se espera maior aquecimento no período frio e maior amenização no período quente. Porém, os testes estatísticos mostraram não haver diferenças significativas para a condição de tempo “quente e úmido”, mesmo com diferenças máximas entre as parcelas de até 2 °C.

A umidade absoluta apresentou comportamento anômalo em ambas as campanhas e o ponto a 1,40 m do jardim registrou os menores valores, inclusive em comparação com a parcela controle. O que contrasta com os resultados do ponto a 0,50 m do jardim, que sempre registrou os maiores valores de umidade para ambas as condições de tempo.

A temperatura radiante média também apresentou comportamentos diferentes entre as campanhas. Em condição “frio e seco” houve padrões claros de horários e dependência da radiação solar direta, assim, as inversões ocorreram sempre entre 09h15min e 12h30min entre as parcelas. Enquanto que em condição de tempo “quente e úmido”, somente os pontos a 0,50 m das parcelas mostraram padrão claro de inversões, que ocorreram também entre 09h15min e 12h30min. Dos valores máximos, o ponto a 0,50m do jardim sempre registrou os maiores em ambas condições de tempo e atingiu 86,5 °C no tempo frio e 66,9 °C no tempo quente. Enquanto que o ponto a 1,40 m do jardim registrou os menores valores máximos no tempo quente, mas no frio se manteve superior aos pontos da parcela controle.

Os resultados demonstraram que o jardim pode influenciar o microclima do seu entorno imediato, principalmente em distâncias mais curtas (0,50 m). Porém, essa influência muitas vezes não se mostrou com um comportamento padronizado entre os dias de medição para ambas as condições de tempo e para as três variáveis analisadas. Por isso, mesmo que os resultados demonstrem diferenças estatísticas significativas entre eles, sugere-se que, para esse efeito, sejam realizadas campanhas com maior número de dias. Assim, será possível entender melhor as variações em torno dos valores máximos e mínimos, suas diferenças, horários de picos e influência a maiores distâncias entre as parcelas.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo identificar o impacto de uma parede viva contínua na redução das temperaturas superficiais de uma parede e nos microclimas do seu entorno imediato, em diferentes condições de tempo. Para atingir esse objetivo, uma parede viva contínua experimental foi construída em uma fachada leste de um edifício que funciona como sala de exposições e que é voltada para uma área de convívio social dos estudantes. A abordagem envolveu um experimento em situação real com o monitoramento do jardim e de uma parcela controle em diferentes condições de tempo e sem o isolamento dos elementos construídos do seu entorno imediato.

Os resultados evidenciam que o jardim vertical de tipologia “parede viva contínua” influenciou de forma significativa o comportamento térmico da parcela protegida de modo a reduzir as temperaturas superficiais externas (máximo de 9,4 °C e 10,6 °C) e internas (máximo de 2,8 °C e 2,9 °C), além de reduzir as variações térmicas ao longo do período de monitoramento para as condições de tempo “frio e seco” e “quente e úmido”, respectivamente. A parede viva também proporcionou um amortecimento e um atraso térmico das temperaturas superficiais externa e interna em relação à parcela controle, em ambas as condições de tempo.

Essa influência é resultado do mecanismo de sombreamento do sistema de parede viva como um todo (estrutura, substrato e vegetação), o qual bloqueia a incidência direta de radiação solar sobre a parcela protegida e impede a entrada de calor para o ambiente interno. A sucessão de camadas construtivas acrescentou resistência à entrada do fluxo de calor e proporcionou uma redução nas temperaturas superficiais externas e internas no jardim e na parcela protegida, além da formação de um padrão no gradiente térmico ao longo do sistema jardim-parcela protegida.

A vegetação cumpriu papel importante no sombreamento da estrutura construtiva da parede viva contínua e reduziu as suas temperaturas superficiais externas nas duas campanhas de monitoramento. Além disso, a vegetação contribuiu, em média, com 50% e 10% do amortecimento térmico médio total da parede viva sobre a temperatura superficial externa da parcela protegida, em condição de tempo “frio e seco” e “quente e úmido”, respectivamente. O mecanismo de sombreamento não apenas contribuiu na redução das temperaturas superficiais, mas também da

temperatura do ar presente na cavidade entre a parcela protegida e o jardim, a qual registrou uma redução máxima de 13 °C.

Os resultados relacionados ao mecanismo de sombreamento concordam com a literatura, mesmo que os estudos tenham sido conduzidos em diferentes climas e abordagens experimentais. Assim, os achados deste contribuem com para maior conhecimento da influência térmica da parede viva em um clima Cfa (subtropical, com verão quente). Ressalta-se que esse tipo de investigação nesse clima, que caracteriza bo aparte do interior do Estado de São Paulo, ainda não havia sido estudado. Esse fato pode contribuir com novas perspectivas no uso das paredes vivas em projetos arquitetônicos e paisagísticos com o fim não apenas estético, mas também de melhoria do conforto térmico e eficiência energética dos edifícios.

Quanto ao impacto da parede viva nos microclimas do seu entorno imediato, os resultados mostraram que houve uma influência na temperatura do ar de forma diferente entre as campanhas e contribuiu na sua redução em relação à parcela controle. Porém, mesmo com diferenças máximas de 2,3 °C, essa influência não se mostrou estatisticamente significativa para temperatura do ar.

O jardim influenciou de forma mais intensa a umidade absoluta no ponto amostral a 0,50 m do jardim, o qual apresentou os maiores valores. Em relação a temperatura radiante média foi verificado que o jardim tem melhor influência no período sem radiação solar direta, no qual os pontos amostrais em frente ao jardim registraram melhor desempenho. Destaca-se que, até o momento, os resultados obtidos para umidade absoluta e temperatura radiante média para condições de tempo “frio e seco” são inéditos.

A investigação da influência da parede viva em seu entorno imediato em área externa é escassa. Além disso, algumas limitações deste trabalho são importantes de destacar: 1- o tamanho do jardim pode interferir na magnitude da sua influência térmica e, aqui, o jardim cobriu apenas uma parcela da fachada leste. Dessa forma, a sua influência no entorno poderia ser maior com a ampliação da sua área; 2- o experimento foi conduzido em um local de uso cotidiano e a existência de um banco de concreto próximo às parcelas pode ter interferido nos resultados a partir da irradiação de calor absorvido; 3- as campanhas de monitoramento foram realizadas durante três dias típicos para condições de tempo “frio e seco” e “quente e úmido” e

percebe-se que, para o entorno imediato, essa quantidade de dias precisa ser aumentada para melhor definição de padrões no comportamento das variáveis.

No entanto, a influência da parede viva contínua mostrou grande eficiência sobre as temperaturas superficiais da parcela protegida e, por isso, mais estudos experimentais devem ser conduzidos para um maior entendimento da sua influência não apenas nas temperaturas superficiais em diferentes climas, mas também, no espaço externo. Assim, sugere-se que futuros trabalhos considerem:

- A investigação da influência térmica dos diferentes componentes construtivos da parede viva: a- somente a estrutura; b- estrutura + substrato; c- jardim completo com vegetação;
- A influência térmica no entorno imediato com a duplicação da área do jardim;
- A influência térmica do jardim no comportamento térmico da parcela protegida e no entorno imediato com a interferência da irrigação ao longo do período de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROSOLO. *Fertilizantes*. 2017. Disponível em: <https://www.agrosolo.com.br/fertilizantes2>. Acesso em 11 nov 2018
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v.22, n. 6,p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, McRae. *Embrace the Vertical: Design and Planning for Greenwalls in Buildings*. Saint Paul, Minnesota. 2011.
- AZKORRA, Z.; PÉREZ, G.; COMA, J.; CABEZA, L.F.; BURES, S.; ALVARO, J.E.; ERKOREKA, A.; URRESTARAZU, M. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*. v.89, p.46-56, 2015.
- BESIR, A.B.; CUCE, E. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 82, p.915-939, Turquia, 2018.
- BIANCO, L.; SERRA, V.; LARCHER, F.; PERINO, M. Thermal behaviour assessment of a novel vertical greenery module system: first results of a long-term monitoring campaign in an outdoor test cell. *Energy Efficiency*, v.10, p. 625-638, 2017.
- BISCARO, Guilherme Augusto; OLIVEIRA, Alessandra Conceição de. Fertilização. In: BISCARO, G.A.(Org.). *Sistemas de Irrigação Localizada*. Dourados: Ed. UFGD, 2014. Cap.4.
- BLANC, P. *The Vertical Garden: A scientific and artistic approach*. 2008. Disponível em: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>. Acesso em: 31 jul. 2015.
- BRASIL, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, 2018. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind>. Acesso em: 19 ago 2017.
- BUTKOVICH, K., GRAVES, J., MCKAY, J, SLOPACK, M. *An Investigation into the Feasibility of Biowall Technology*. 2008.
- CAETANO, F.D.N. Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios. 2014. 117f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014
- CAÑERO, F.R.; URRESTARAZU, L.P.; SALAS, A.F. Assessment of the cooling potential of an indoor living wall using different substrates in a warm climate. *Indoor and Built Environment*, Espanha, v.21, p.642-650, 2012.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Introdução e conceitos básicos. In: *Transferência de Calor e Massa*. 4.ed. Porto Alegre: Amgh Editora, 2012.cap.1, p.28.

CHAROENKIT, S. YIEMWATTANA, S. Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: A review. *Building and Environment*. Tailândia, v.105, p.82-94, 2016.

CHAROENKIT, S.; YIEMWATTANA, S. Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. *Building and Environment*, v. 115, p. 67-79, 2017.

CHEN, Q., LI, B., LIU, X. An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, China, v. 61, p. 298-307, 2013.

CHEN, Y., WONG, N.H. Thermal impact of strategic landscaping in cities: a review. *Advances in Building Energy Research*, v.3, p.237-260, Singapura, 2009.

CHENG, C.Y.; CHEUNG, K.K.S.; CHU, L.M. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment*, Hong Kong, v.45, n. 8, p.1779-1787, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.005>

COLLINS, R; SCHAAFSMA, M.; HUDSON, M.D. The value of green walls to urban biodiversity. *Land Use Policy*. v. 64, p.114-123. 2017

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, p. 228-237, 2017.

COSTA, C. S. Jardins Verticais – uma oportunidade para as nossas cidades? *Arquitextos*, São Paulo, ano 12, n. 133.06, Vitruvius, jul. 2011. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.133/3941>. Acesso em 31 jul. 2015.

CRUCIOL-BARBOSA, Murilo; FONTES, Maria Solange G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 114-124, jun. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8646304>. Acesso em: 30 nov. 2016.

DAVIS, M.M.; HIRMER, S. The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the 'Penman Monteith Equation'. *Building and Environment*. v. 92, p.135-141. 2015.

DJEDJIG, R.; BOZONNET, E.; BELARBI, R. Experimental study of the urban microclimate mitigation potencial of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 10, p.34-44, 2015.

DJEDJIG, R; BELARBI, R; BOZONNET, E. Experimental study of green walls impacts on buildings in summer and winter under an oceanic climate. *Energy and Buildings*, França, v. 150, p. 403-411, 2017.

ECOBLOCO. *Passo-a-passo para construção e instalação de jardins verticais*. [201-]. Disponível em <http://ecoblocobauru.com.br/novo/produtos-e-servicos/>. Acesso em 05 jul 2017.

FORTHJARDIM. *Produtos*. 2017. Disponível em: <https://forthjardim.com.br/produtos>. Acesso em 11 nov 2018.

FRANCIS, R.A.; LORIMER, J. Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*. v. 92, p. 1429-1437. 2011.

GENFÉRTIL©. *Produtos*. [201-]. Disponível em: <http://genfertil.com.br/produtos/>. Acesso em 11 nov 2018.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e Ensino. *Ambiente Construído*, Brasil, v. 6, p. 51-81, 2006.

GREEN OVER GREY. *LEED® Credits*. 2009. Disponível em: <http://www.greenovergrey.com/green-wall-benefits/leed-credits.php>. Acesso em 12 jul 2017.

GREEN WALL CERAMIC®. *Stand Expo Revestir 2016*. 2016. Disponível em: <http://www.greenwallceramic.com.br/album/66>. Acesso em 08 abr. 2016.

GREENWALL CERAMIC®. *Checklist para acompanhamento da montagem do sistema Greenwall Ceramic*. [201-]. Disponível em: http://www.greenwallceramic.com.br/arquivos/check_list.pdf. Acesso em 28 jun 2017.

GREENWALLS™. *Greenwalls panel*. 2017. Disponível em: <https://www.greenwalls.com/greenwalls-panel>. Acesso em 14 jan 2019.

HAGGAG, M.; HASSAN, A.; ELMASRY, S. Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*, Emirados Árabes, v.82, p. 668-674, 2014.

HILLYER, M. These are the World Economix Forum's Technology Pioneers of 2019. *World Economic Forum*, 2019. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2019/07/meet-the-tech-pioneers-at-the-vanguard-of-science-and-innovation/?fbclid=IwAR3-Qjg6dRAUqwZ7zHr0mdRv1Ueblvih_wJYjefCRVJrhxxUHI6q-Nj3xj4. Acesso em 20 jul 2019.

HUNTER, A. M.; WILLIAMS, S. G. N.; RAYNER, J. P.; AYE, L.; HES, D.; LIVESLEY, S. J. Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, Austrália, v. 63, p. 102-113, 2014.

INSETIMAX. 2017. Disponível em: <http://www.insetimax.com.br/site/>. Acesso em 11 nov 2018.

IRWIN, G. *Living Wall Breakdown – Material & Flora Relationship*. Greenroofs.com. Disponível em <https://www.greenroofs.com/content/articles/145-Living-Wall-Breakdown-Material-and-Flora-Relationship.htm#.V5UlaOsrLIV>. Acesso em: 21 jul. 2016.

JESUS, M.P.; LOURENÇO, J.M.; ARCE, R.M.; MACIAS, M. Green façades and *in situ* measurements of outdoor building thermal behavior. *Building and Environment*. v. 119, p.11-19, Portugal, 2017.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. *Building Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Greater London Authority. Londres, 2004.

KÖHLER, M. Green facades- a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, Neubrandenburg, v.11, p. 423-436, 2008.

KONTOLEON, K.J.; EUMORFOPOULOU, E.A. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*. v. 45, n.5, p. 1287-1303, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013>

LIMA JUNIOR, J.E. Avaliação da influência de um sistema de fachada viva: o estudo de caso da planta *Sphagneticola trilobata* em condições de inverno de Curitiba. 2014. 128f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

LOH, S. Living Walls – A Way to Green the Built Environment. *Environment Design Guide*, TEC 26. 2008. Disponível em:
<http://www.environmentdesignguide.com.au/pages//content/tec--technology/tec-26-living-walls--a-way-to-green-the-built-environment.php>. Acesso em 21 jul 2016.

LORENZI, H., SOUZA, H.M. *Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 1088p.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Covilhã, v. 41, p. 863-871, 2015.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J.P.; Thermal analysis of a new modular system for green walls. *Journal of Building Engineering*, v. 7, p.53-62, 2016.

MARADEI, G. O maior jardim vertical do mundo está na Colômbia. *Casa Vogue*, 2017. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/Arquitetura/Edificios/noticia/2017/05/o-maior-jardim-vertical-do-mundo-esta-na-colombia.html>. Acesso em 14 jan 2019.

MARCHI, M; PULSELLI, R.M.; MARCHETTINI, N; PULSELLI, F.M; BASTIANONI, S. Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*. v.306,p. 46-56, 2015.

MARTINS, A.M.T.; CARLOS, J.S. From the horizontal garden to the vertical garden: an architectural and environmental perspective of green facades usage. *International Conference on Engineering*. Portugal, 2011.

MASI, F.; BRESCIANI, R; RIZZO, A.; EDATHOOT, A; PATWARDHAN, N; PANSE, D.; LANGERGRABER, G. Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, Pune, n.06.2, 2016.

MAZZALI, U., PERON, F., ROMAGNONI, P., PULSELLI, R.M., BASTIANONI, S. Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate. *Building and Environment*, Itália, v.64, p. 57-66, 2013.

MOVIMENTO90. *Botânica*. 2017b. Disponível em: <http://movimento90.com/botanica/>. Acesso em 07 ago 2017.

MOVIMENTO90. *Manual de construção de jardins verticais*. 2017a. Disponível em: <https://www.movimento90.com/faq>. Acesso em 15 dez 2018.

MOVIMENTO90. *Rede social Facebook*. 2017. Disponível em: https://www.facebook.com/movimento90/photos/a.433828210037711/1302274586526398/?type=3&__xts__%5B0%5D=68.ARBVCKsQRMNi9pG9k1T3xxj0NCCJILbiPPQ7GqFrF4u7qJDmWnYmn-mdYQ3lQuJpTo5-DrKviao22P5i5Av4IAtFdF7DM6iaN_D-LOI8RqLMXczwE-RGF5Tp87BvjM9ExSBYyMI0XX6pN1qWChp-iMWY-XtOheenKY_ya_6SBkvAemlmyEJK4_o21Xvv61Cu1T6xvC2T3o7MTxGhmorbtabxuGKPPPtQ5Cr34E7pSML_N3ETXTSRVDBaclDzDrSeps7eJ_Bfeu_fAHY_OBw_iVCT1eQl1lz86j5_Iz609dn_wmHvAL5PDQ8gnEi5D3_FNr4&__tn__=-R. Acesso em 15 dez 2018.

NETO, J. G. *Irrigação para Paredes Verdes*. Rain Bird. 2015. Disponível em: <http://rainbirdrj.com.br/irrigacao-para-paredes-verdes/#.V5UIVusrLIV>. Acesso em: 21 jul. 2016.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Improvements to the globe thermometer for outdoor use. *Architectural Science Review*. v. 42, p. 27-34, 1999.

NISTOR, R.; KOHLER, M.; DUMITRAS, A.; DIRJA, M.; BOANCA, P. Researches regarding the water loss from substrates of vertical Garden systems placed in exterior. *Agriculture-Science and Practice*. v.1, p.137-142. 2014.

OTTELÉ, M. *The Green Building Envelope: Vertical Greening*. 2011. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Geociências) - Universidade de Delft, Delft. 2011. p.24. Disponível em https://issuu.com/mccaren/docs/embrace_the_vertical?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true. Acesso em: 07 jun. 2016.

OTTELÉ, M; PERINI, K. Comparative experimental approach to investigate the thermal behavior of vertical greened façades of buildings. *Ecological Engineering*, Holanda, v. 108, p. 152-161, 2017.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M.E.; BASS, B. *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada*. Peck and associates, Canadian Mortgage and Housing Corporation Research Report, 1999. Disponível em: <https://www03.cmhc-schl.gc.ca/catalog/productDetail.cfm?cat=40&itm=11&lang=en&sid=ZYuIEH1IoSulplX9bgEqcj6CncmsY2pQ2MIPTThOT3ESnN8%20Zk8lfWhw1WbpugndPX&fr=1480623042742>. Acesso em 26 jul 2016.

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*, Espanha, v. 39, p. 139-165, 2014.

PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GOZÁLEZ, J.M.; CABEZA, L.F. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, Barcelona, v. 88, n. 12, p. 4854-4859, 2011.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, Genoa, v. 46, n. 11, p. 2287-2294, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Journal of Ecology*, Genoa, v.1, n. 1, p.1-8, 2011a. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2011.11001>

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems*, Genoa, v. 16, n. 2, p. 265-277, 2013.

PERINI, K; BAZZOCCHI, F; CROCI, L; MACGLIOCCO, A; CATTANEO, E. The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, Itália, v.143, p. 35-42, 2017.

PERINI, K; OTTELE, M. Designing green façades and living wall systems for sustainable constructions. *Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. v. 9, p.31-46. 2014.

PERINI, K; OTTELE, M. Vertical greening systems: contribution to thermal behavior on the building envelope and environmental sustainability. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. v.165. 2012.

RANGEL, J. *Kit WallGreen Eco*. 2014. Disponível em: <http://sustentarqui.com.br/produtos/kit-wallgreen-eco/>. Acesso em 08 abr. 2016.

RAZZAGHMANESH, M., RAZZAGHMANESH, M. Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia. *Building and Environment*, Australia, v.112, p. 45-62, 2017.

REOLOM, M. *Jardins verticais e telhados verdes vão servir em SP como compensação ambiental*. *O Estado de S.Paulo*, São Paulo, 12 mar 2015. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,jardins-verticais-e-telhados-verdes-vaio-servir-em-sp-como-compensacao-ambiental,1648993> Acesso em 10 out 2016.

RILEY, B. The state of art of living walls: Lessons learned. *Building and Environmet*. v.114, p.219-232, França, 2017.

RODRIGUES, L.A. Técnicas e Tecnologias para Implementar Paredes Verdes Externas em Edifícios Residenciais e Comerciais na Cidade de São Paulo. 2017. 148f. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. 2017.

RUAS, A. C. Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

SAFIKHANI, T., ABDULLAH, A.M., OSSEN, D.R., BAHARVAND, M. Thermal impacts of vertical greenery systems. *Environmental and Climate Technologies*. Malásia, 2014a

SAFIKHANI, T.; ABDULLAH, A.M.; OSSEN, D.R.; BAHARVAND, M. A review of energy characteristic of vertical greenery systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Johor, v.40, p. 450-462, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006182>

SÃO PAULO (Estado). *Decreto nº 55.994*, de 10 de março de 2015. Introduz alterações no artigo 4º do Decreto nº 53.889, de 08 de maio de 2013, que regulamenta o termo de compromisso ambiental- TCA. Diário Oficial, São Paulo, SP, 11 de mar. de 2015.

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

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:http://www.greenroofs.net/components/com_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%20908b.pdf. Acesso em: 25 mar. 2016.

SHIAH, K.; KIM, J. *An Investigation into the Application of Vertical Garden at the New SUB Atrium*. University of British Columbia, novembro 2011.

SKYGARDEN®. *Parede verde e jardins verticais*. 2015 Disponível em:

<http://www.skygarden.com.br/index.php/paredes-verdes/instalada>. Acesso em 07 ago 2017.

SORTE, P.D. Simulação Térmica de paredes verdes composts de vegetação nativa do cerrado. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.

SUNAKORN, P. YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. *Procedia Engineering*. Tailândia, v. 21, p. 34-41, 2011.

SUSOROVA, I. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In: PACHECO-TORGAL, F; LABRINHA, J. A.; CABEZA, L. F.; GRANQVIST, C.-G. (Org.). *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs*. Chicago: Elsevier, 2015. p. 127-153.

TAN, C.L., WONG, N.H., STEVE, K.J. Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment. *Landscape and Urban Planning*, v. 127, p. 52-64, Singapura, 2014.

TOTAL MASTER DESIGN. *Rede social Instagram*. 2019. Disponível em <https://www.instagram.com/totalmasterdesign/>. Acesso em 22 jul 2019.

TUDIWER, D; KORJENIC, A. The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade. *Energy and Buildings*. v. 135, p.10-19, Austria, 2017.

URRESTARAZU, L.P.; CAÑERO, R.F.; FRANCO, A.; EGEA, G. Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions. *Ecological Engineering*, v. 90, p. 120-124, 2016.

VERTIA GREEN DESIGN. *Funcionamento/poda/irrigação/tratamentos*. 2012.

Disponível em: <http://www.vertiadesign.com.br/comoe.php>. Acesso em 10 set 2016.

VERTIGARDEN BRASIL. *Vertigarden Jardins Verticais*. 2016. Disponível em:

https://www.instagram.com/vertigarden_brasil/. Acesso em 12 jul 2017.

VICTORERO, F.; VERA, S.; BUSTAMANTE, W.; TORI, F.; BONILLA, C.; GIRONÁS, J.; ROJAS, V. Experimental study of the thermal performance of living walls under semiarid climatic conditions. *Energy Procedia*, v.78, p.3416-3421, 2015.

VOX, G.; SCHETTINI, E.; CAMPIOTTI, C. A.; VIOLA, C.; ALONZO, G.; BLANCO, I.; MUGNOZZA, G. S. Building climate control by means of passive systems. In: International conference of agricultural engineering. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*, Zurique, p. 1-8, 2014.

WALLGREEN®. *Plantas*. 2015a. Disponível em: <http://www.wallgreen.com.br/downloads.html>. Acesso em 15 out 2016.

WALLGREEN®. *Pré-requisito de implantação*. 2015. Disponível em: <http://www.wallgreen.com.br/downloads.html>. Acesso em 15 out 2016.

WONG, N.H., TAN, A.Y.K., TAN, P.Y., WONG, N.C. Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings*. Singapura, v. 41, p.1401-1408, 2009.

WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P.Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N.C.. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, Singapura, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.

WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; TAN, P.Y.; WONG, N.C. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, Singapura, v. 45, p. 411-420, 2010a.

ZYLBERKAN, M. Plano prevê troca de dívida ambiental pelo plantio de árvores no Minhocão. *Folha de S. Paulo*, 13 out 2018. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/10/plano-preve-troca-de-divida-ambiental-pelo-plantio-de-arvores-no-minhocao.shtml>. Acesso 15 dez 2018.

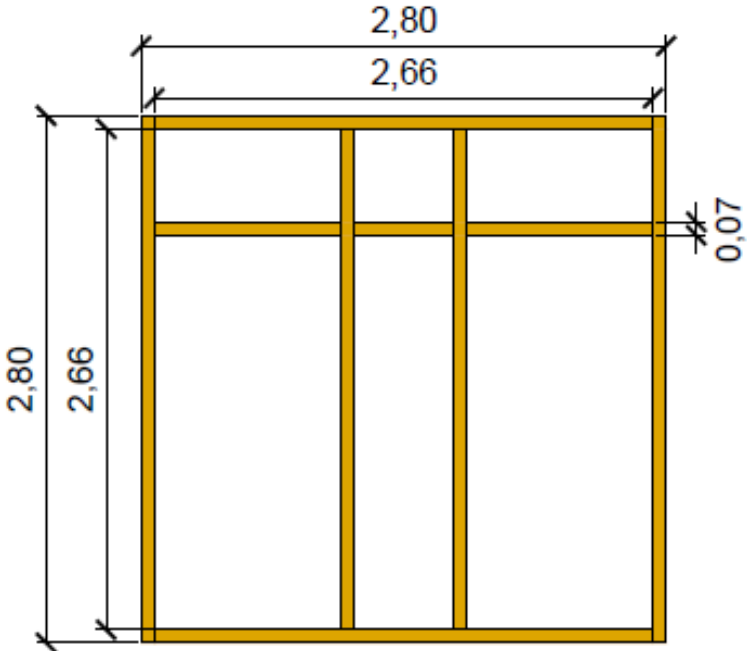
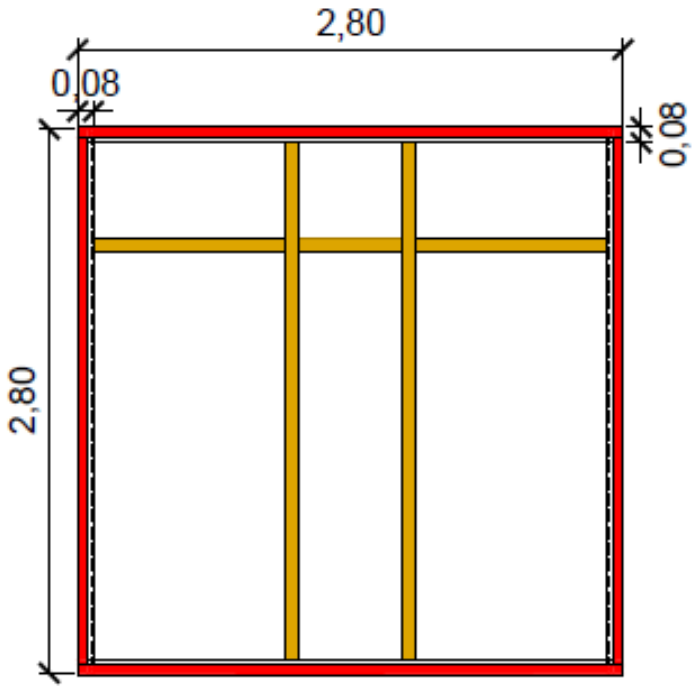
APÊNDICE A- LISTA DE ESPÉCIES UTILIZADAS EM PAREDES VIVAS

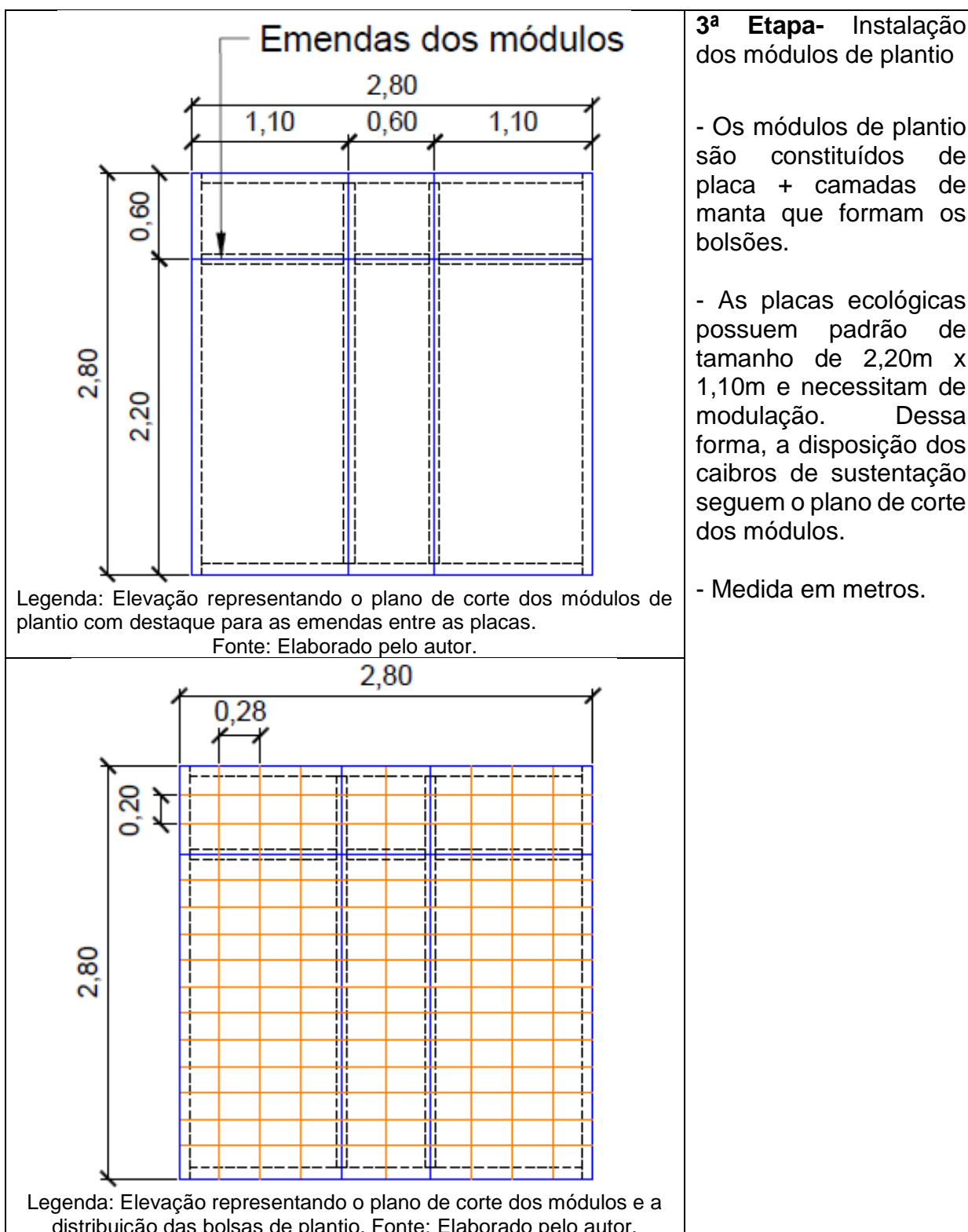
NOME POP.	NOME CIENTÍFICO	LUZ	CONSUMO DE ÁGUA	HÁBITO
Lambari-prateado	<i>Tradescantia zebrina</i> Henh.	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea prostrada
Xanadu	<i>Philodendron xanadu</i> Croat, Mayo & J. Boos.	Sombra/meia sombra	Médio	Arbusto
Guiambê	<i>Philodendron bipinnatifidum</i> Schott. Ex Endl.	Sombra/meia sombra	Baixo	Arbusto escandente
Costela-de-adão	<i>Monstera deliciosa</i> Liebm.	Sombra/meia sombra	Médio	Semi- herbácea ascendente
Samambaia-paulista	<i>Nephrolepis pectinata</i> (Willd.) Schott.	Sombra/meia sombra	Alto	Herbácea
Clorofito	<i>Chlorophytum comosum</i> (Thumb.) Jacques	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea
Peperômia-variegata	<i>Peperomia obtusifolia</i> (L.) A.Dietr.	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea
Maranta-pavão	<i>Calathea makoyana</i> E.Morren	Sombra	Alto	Herbácea rizomatosa
Curculigo	<i>Curculigo capitulata</i> (Lour.) Kuntze	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea rizomatosa
Columéia-batom	<i>Aeschynanthus lobianus</i> Hook.	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea epífita
Ripsális	<i>Rhipsalis bacifera</i> (J.S.Muell.) <u>Stearn</u>	Sombra	Baixo	Herbácea epífita
Lírio-da-paz	<i>Spathiphyllum wallisii</i> Regel	Sombra	Médio	Herbácea perene
Antúrio	<i>Anthurium andraeanum</i> Linden	Sombra/meia sombra	Médio	Semi- herbácea

Jibóia	<i>Epipremnum pinnatum</i> (L.) Engl.	Sombra/meia sombra	Médio	Semi- herbácea
Peperômia- melancia	<i>Peperômia argyreia</i> (Hook. F.) E. Morren	Sombra/meia sombra	Médio	Herbácea
Singônio	<i>Syngonium angustatum</i> Schott.	Sombra/meia sombra	Baixo	Semi- herbácea ascendente
Asplênio	<i>Asplenium nidus</i> L.	Sombra	Médio	Herbácea
Renda- francesa	<i>Rumohra adiantiformis</i> (G.Forst.) Ching.	Sombra/meia sombra/sol	Baixo	Herbácea
Trapoeeraba- roxa	<i>Tradescantia pallida</i> var. <i>purpurea</i> (Boom) Hook.	Sol pleno	Baixo	Herbácea prostrada
Aspargo- pendente	<i>Asparagus densiflorus</i> (Kunth) Jessop	Sol pleno	Baixo	Herbácea rizomatosa
Barba-de- serpente	<i>Liriope muscari</i> (Decne.) L.H.Bailey	Sol pleno	Médio	Herbácea
Brilhantina	<i>Pilea microphylla</i> (L.) Liebm.	Sol pleno	Baixo	Herbácea
Dinheiro- em-penca	<i>Callisia repens</i> (Jacq.) L.	Sol pleno	Baixo	Herbácea reptante
Lavanda	<i>Lavandula dentata</i> L.	Sol pleno	Baixo	Herbácea
Capim- barba-de- bode	<i>Eragrotis curvula</i> (Schrad.) Nees	Sol pleno	Baixo	Herbácea rizomatosa
Gerânio- pendente	<i>Pelargonium peltatum</i> (L.) L'Hér.	Sol pleno	Baixo	Herbácea

Fonte: LORENZI, SOUZA (2008); SKYGARDEN® (2015); MOVIMENTO90 (201-).

APÊNDICE B- PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DA PAREDE VIVA CONTÍNUA

Projeto para a Construção da Parede Viva Contínua	
 <p>Fonte: Elaborado pelo autor.</p>	<p>1ª Etapa- sistema de caibros.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disposição do sistema de suporte e afastamento do jardim da parede. - Os caibros são aparafusados na alvenaria e possuem sete centímetros de espessura. - Medida em metros.
 <p>Fonte: Elaborado pelo autor.</p>	<p>2ª Etapa- Instalação das calhas de vedação.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalação das calhas laterais, superior e inferior nos caibros. - Medida em metros.

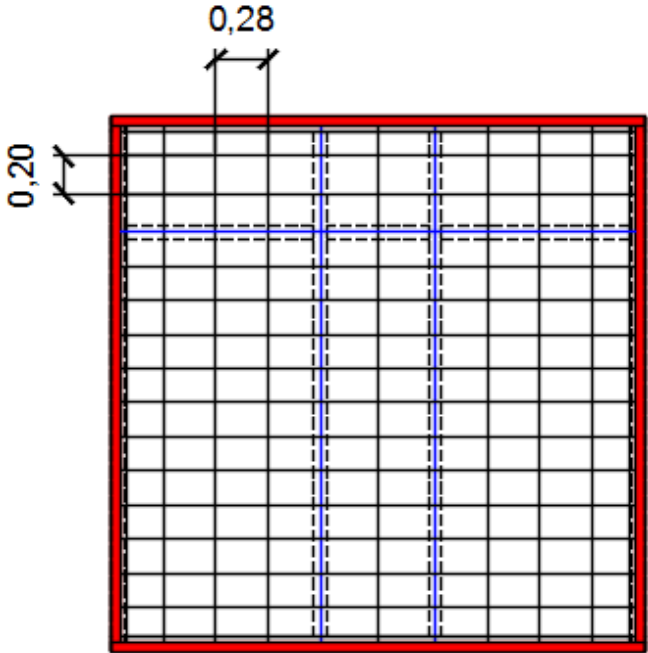
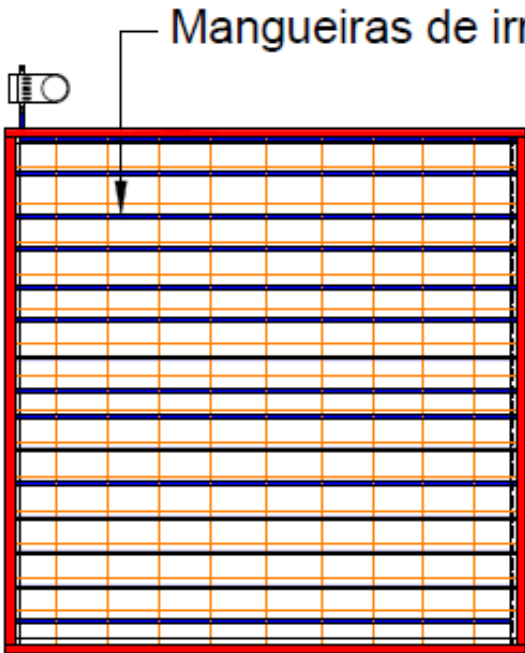


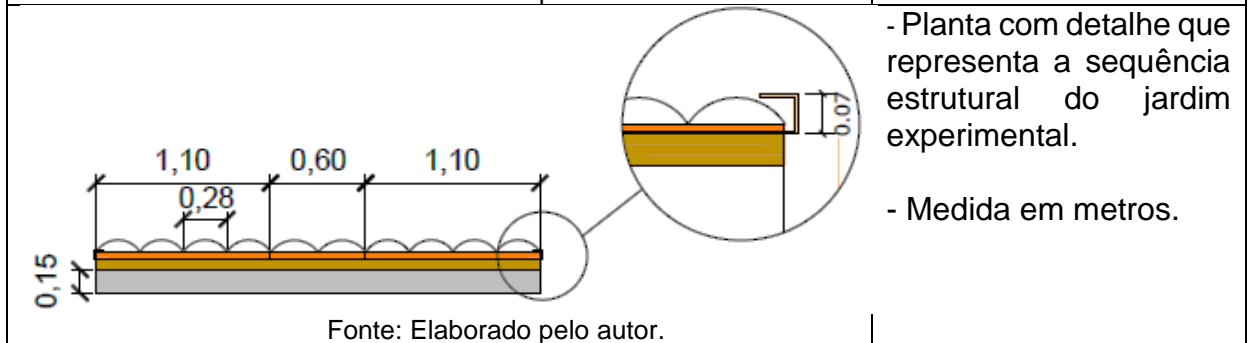
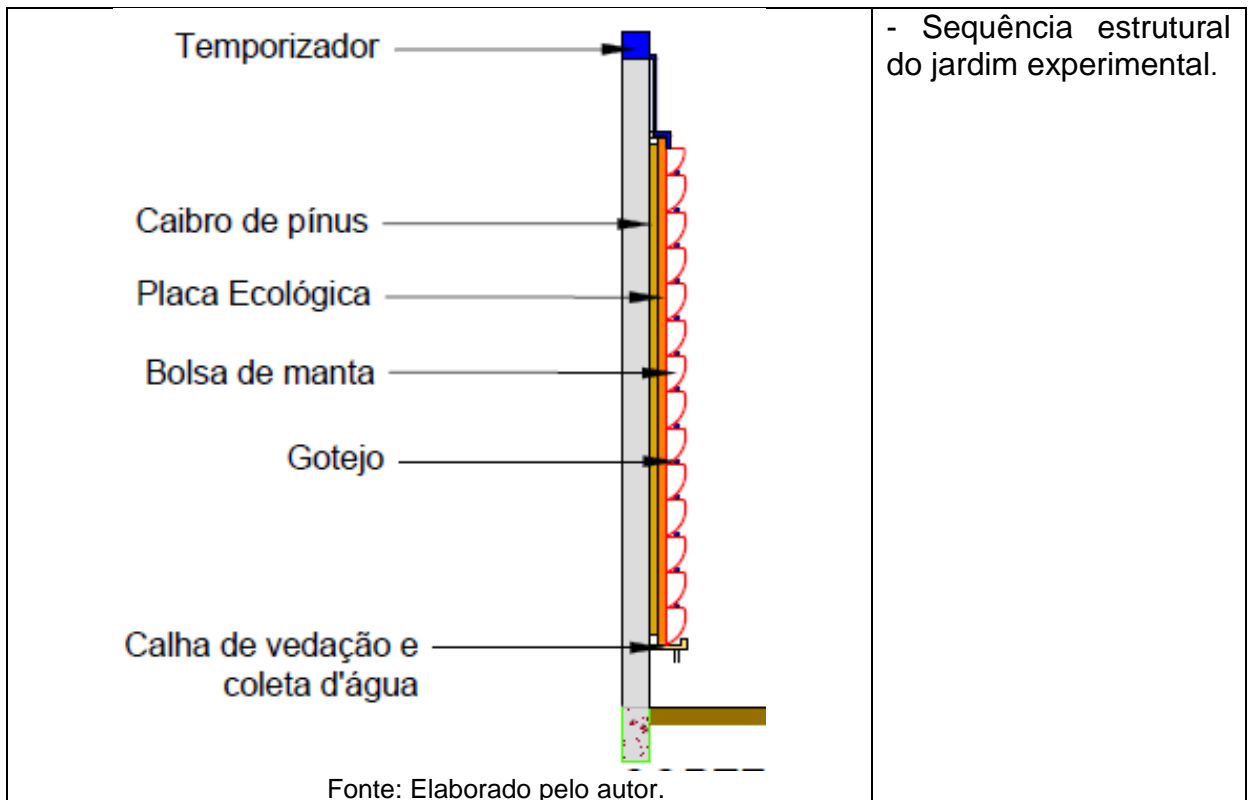
3ª Etapa- Instalação dos módulos de plantio

- Os módulos de plantio são constituídos de placa + camadas de manta que formam os bolsões.

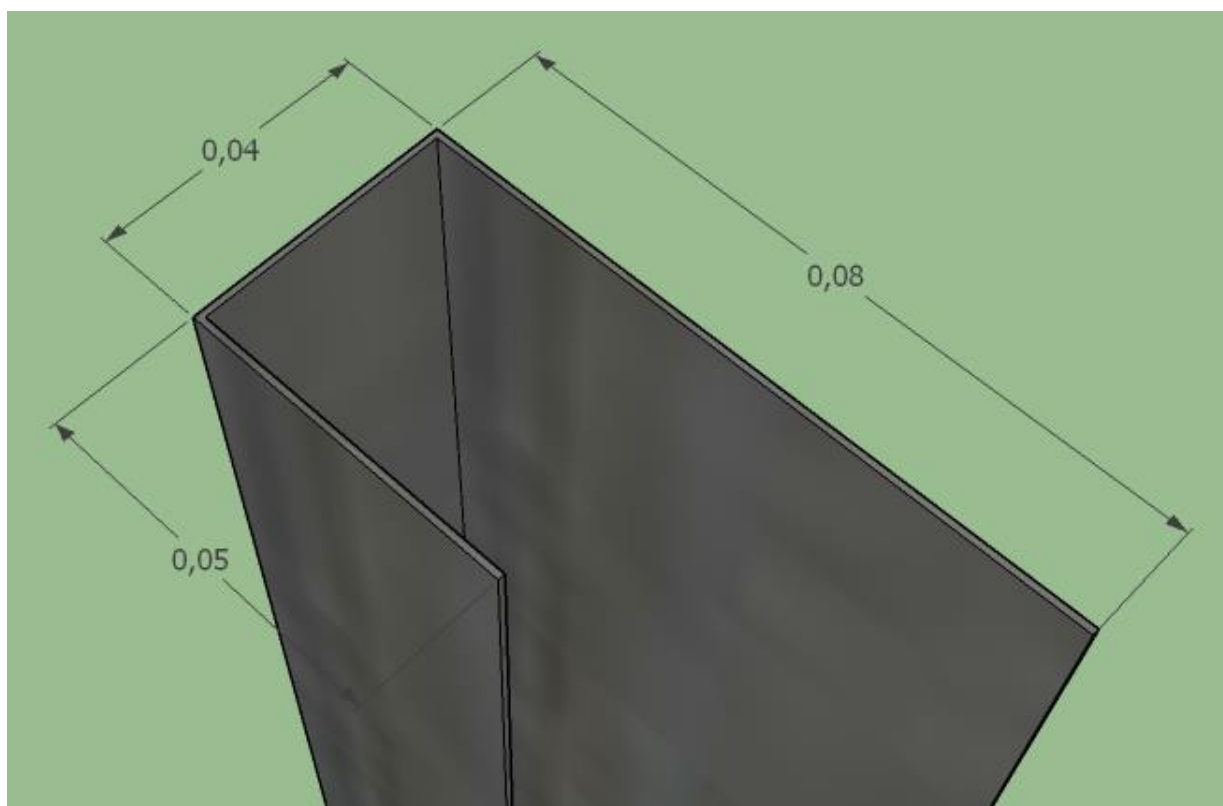
- As placas ecológicas possuem padrão de tamanho de 2,20m x 1,10m e necessitam de modulação. Dessa forma, a disposição dos caibros de sustentação seguem o plano de corte dos módulos.

- Medida em metros.

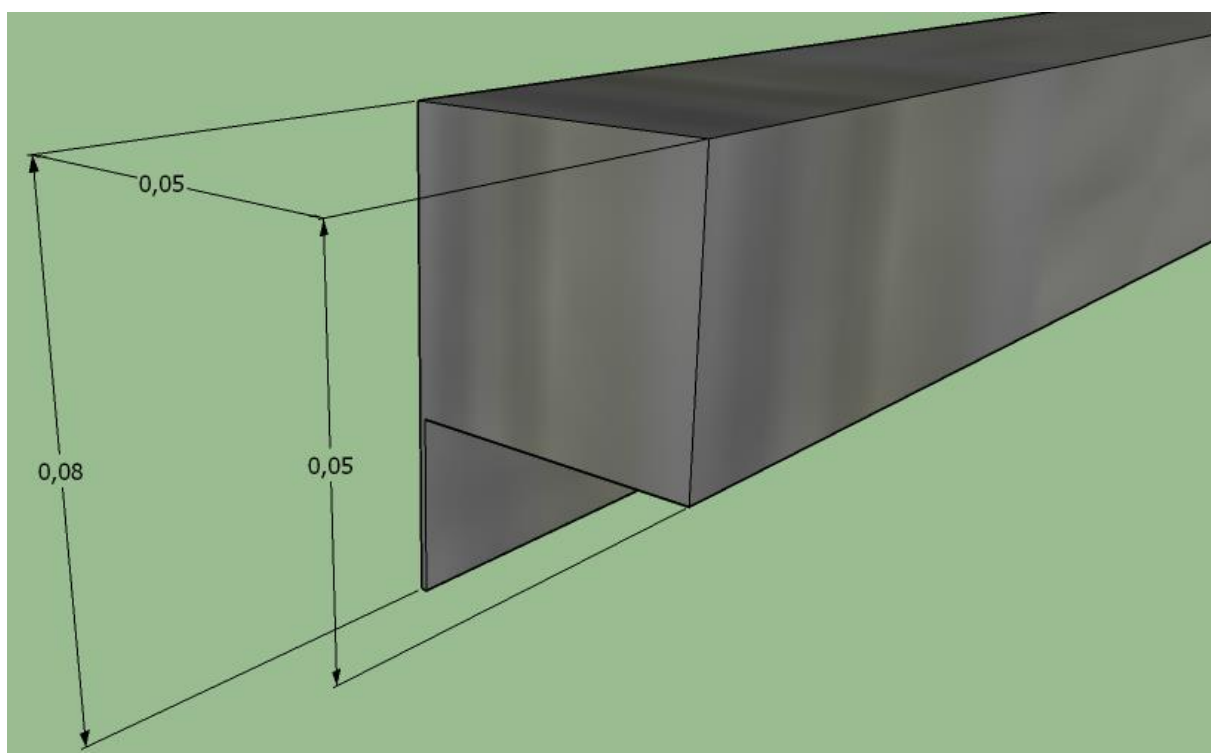
 <p>0,28</p> <p>0,20</p> <p>Fonte: Elaborado pelo autor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Instalação final dos módulos de plantio com as calhas de vedação. - Medida em metros.
 <p>Mangueiras de irrigação</p> <p>Fonte: Elaborado pelo autor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Instalação da irrigação com destaque para as mangueiras que passam por todo o jardim. - Medida em metros.



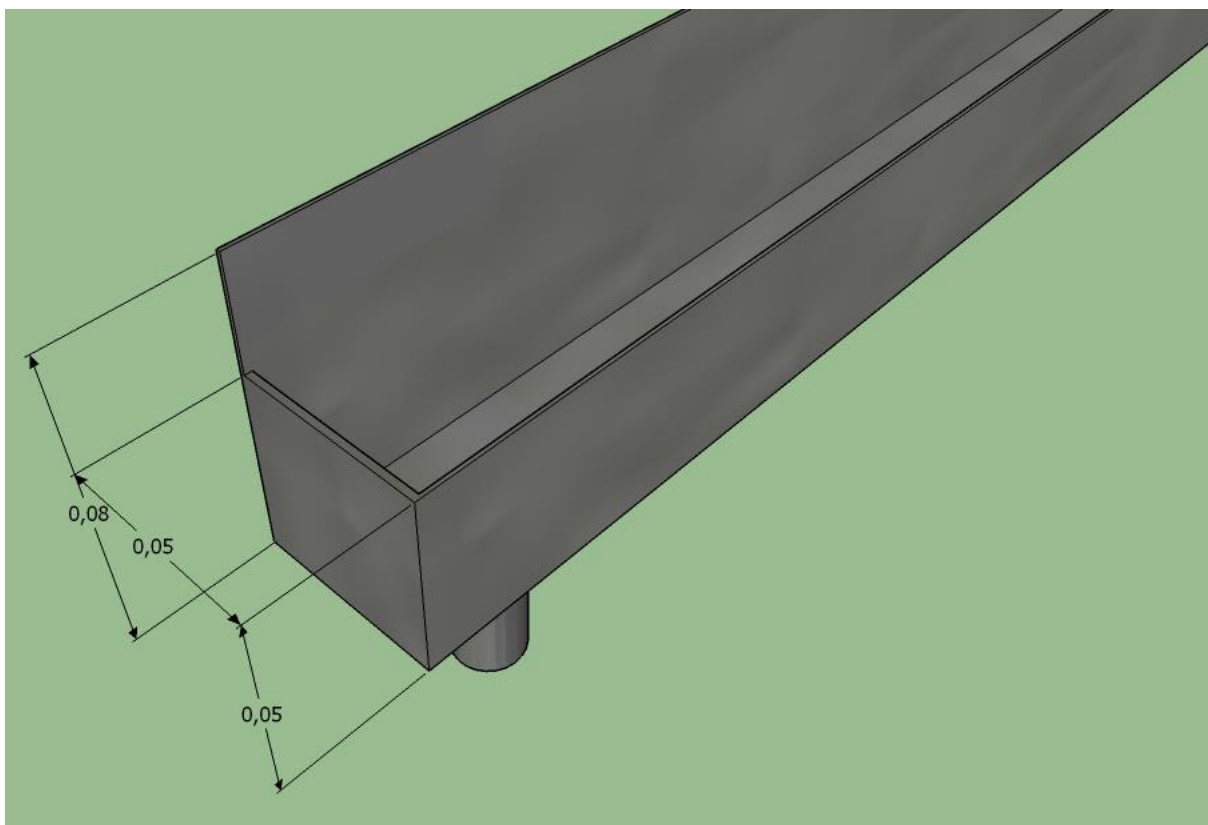
APÊNDICE C- DETALHES DAS CALHAS DE VEDAÇÃO



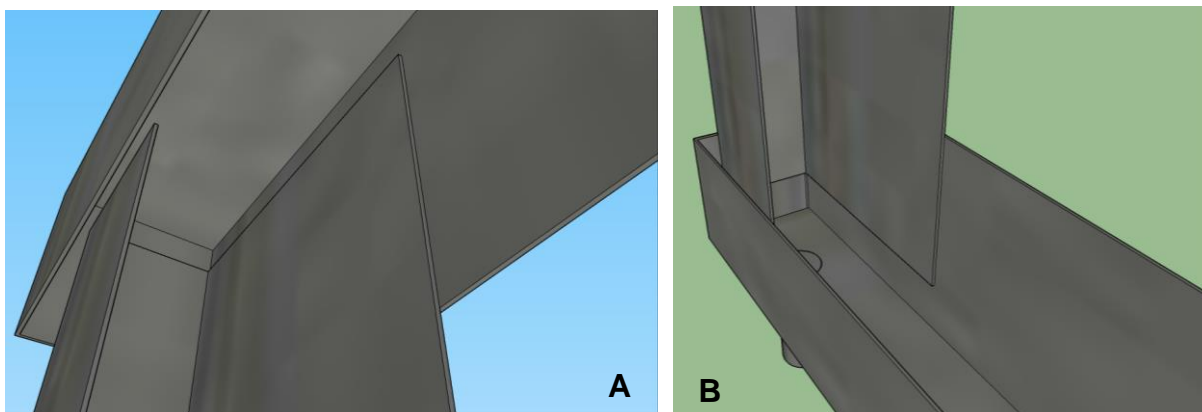
Legenda: Detalhes da calha lateral. Calha metálica de zinco com a base mais larga parafusada nos caibros. A dobra abraça a estrutura formada pela placa ecológica e as camadas de manta, funcionando como uma proteção contra avarias e acabamento final. Fonte: O autor.



Legenda: Detalhes da calha superior. Calha metálica de zinco com base mais larga parafusada nos caibros. A calha superior e inferior se encaixa por cima e por baixo das laterais. Fonte: O autor.





Legenda: Detalhes da calha inferior. Calha metálica de zinco com base mais larga parafusada nos caibros. A calha inferior conta com dreno e deve-se considerar caída para drenagem da água excedente da irrigação. Fonte: O autor.



Legenda: Detalhes dos encaixes das calhas laterais na calha superior (A) e inferior (B). Todas são parafusadas nos caibros e recebem, também, os módulos de plantio. Fonte: O autor.

APÊNDICE D- SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA DA PAREDE VIVA CONTÍNUA

CONSTRUÇÃO	
1- Alinhamento e nivelamento dos caibros	
2- Instalação dos caibros que sustentam o jardim e afastam o sistema da parede	

3- Instalação dos módulos (placa Tetrapak® + manta) que formam as bolsas de plantio.



4- Instalação da porta de acesso à cavidade de ar

4.1- Detalhe das dobradiças e travas da porta

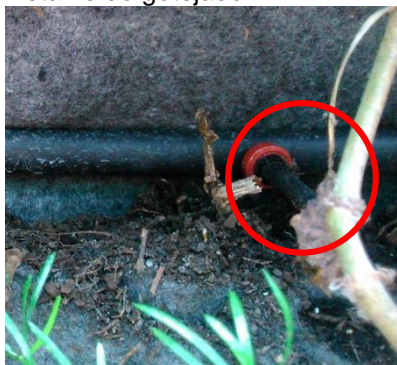


5- Estrutura de sustentação e plantio pronta



6- Instalação do sistema de irrigação

6.1- Detalhe do gotejador

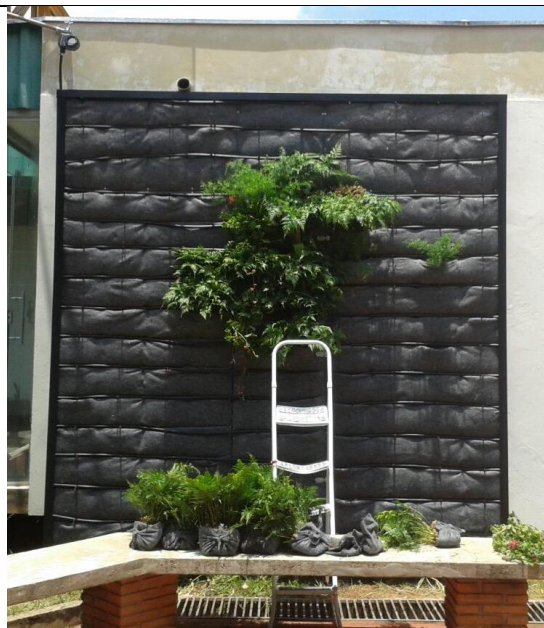


PLANTIO

7- Preparo das mudas



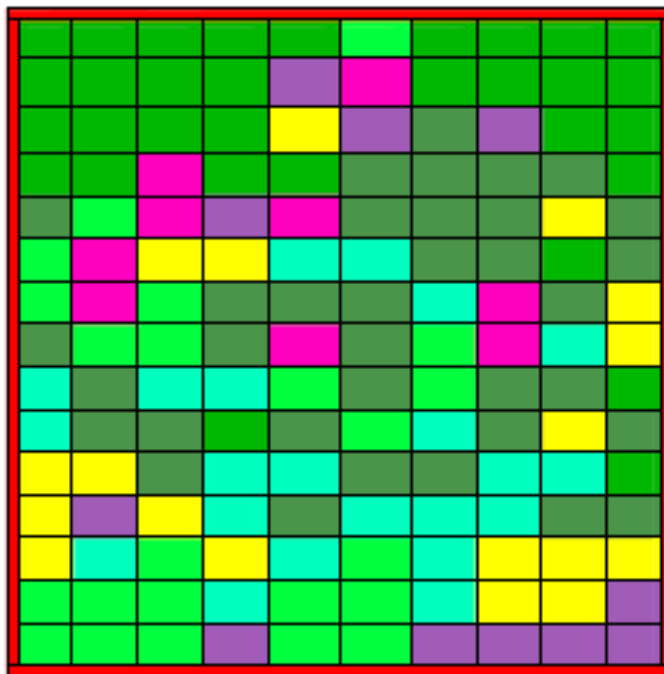
8- Plantio



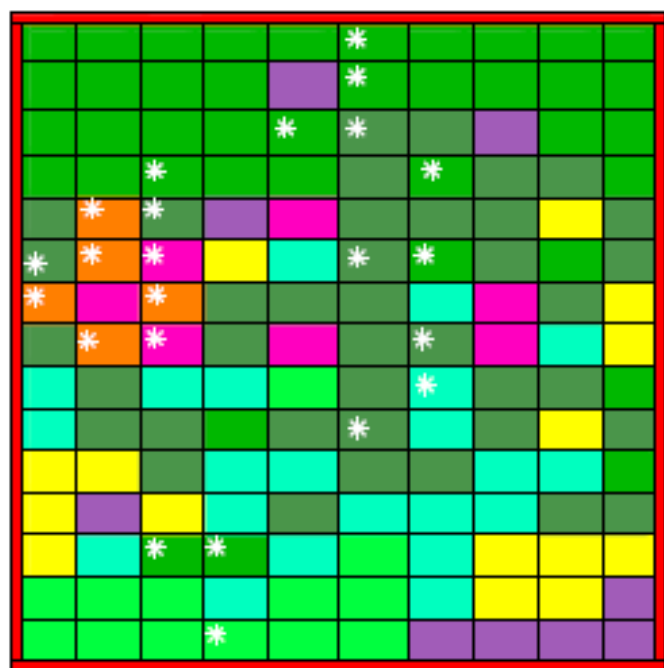
9- Parede viva pronta



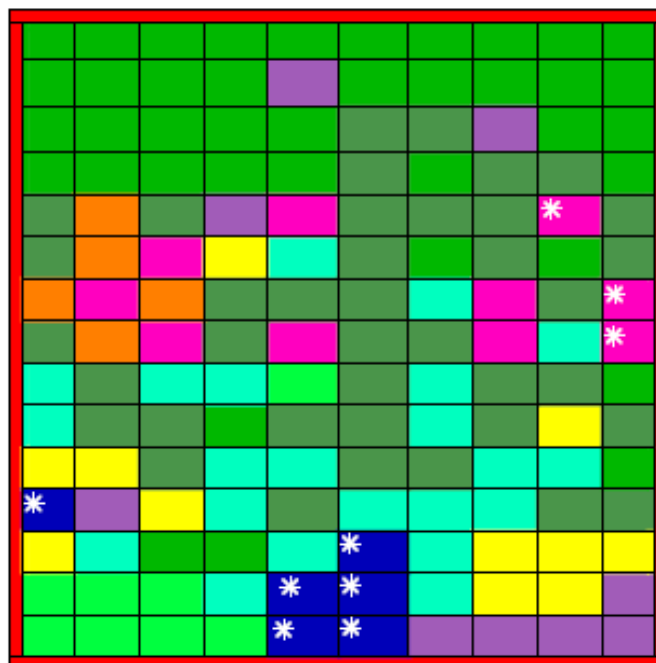
APÊNDICE E- SEQUÊNCIA DE DIAGRAMAS DE PLANTIO



Legenda: Elevação representando o plano inicial de plantio das espécies no jardim experimental.
Fonte: O autor.













Legenda: Elevação representando o plano de plantio após a primeira reforma em abril de 2018 do jardim experimental. Os asteriscos destacam os locais onde houve substituição e redistribuição de mudas. Fonte: O autor.



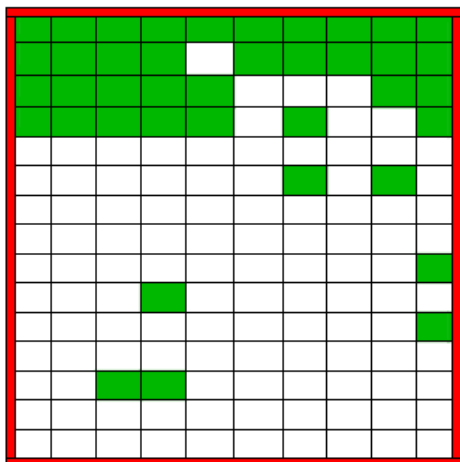
Legenda: Elevação representando o plano de plantio após a segunda reforma em julho de 2018 do jardim experimental. Os asteriscos destacam os locais onde houve substituição de mudas. Fonte: O autor.

Tabela Plantio

Simbologia	Nome Popular	Nome Científico	Altura	Especificação
	Aspargo pendente	<i>Asparagus densiflorus</i>	0,30 m	cua
	Aspargo pendente	<i>Asparagus densiflorus</i>	0,15 m	caixa c 15 unid
	Dinheiro em penca	<i>Callisia repens</i>	0,10 m	caixa c 15 unid
	Renda francesa	<i>Rumohra adiantiformis</i>	0,30 m	cua
	Trapoeraba roxa	<i>Tradescantia pallida</i>	0,20 m	caixa c 15 unid
	Jibóia	<i>Epipremnum pinnatum</i>	0,30 m	cua
	Gerânio pendente	<i>Pelargonium peltatum</i>	0,30 m	cua
	Vedélia	<i>Sphagneticola trilobata</i>	0,15 m	caixa c 15 unid
	Lambari- prateado	<i>Tradescantia zebrina</i>	0,15 m	caixa c 15 unid
	Singônio	<i>Syngonium angustatum</i>	0,15 m	caixa c 15 unid

Legenda: Tabela descritiva das espécies utilizadas no jardim experimental com sua altura e especificação de muda. Fonte: O autor.

APÊNDICE F- INVENTÁRIO FLORÍSTICO



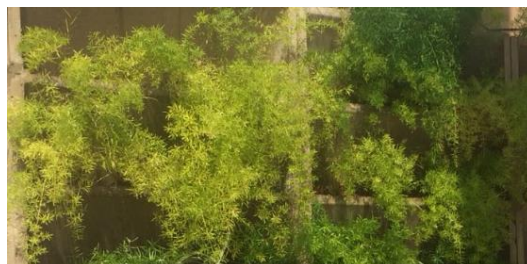
Família botânica: Asparagaceae

Nome científico: *Asparagus densiflorus* (Kunth) Jessop 'Sprengeri'

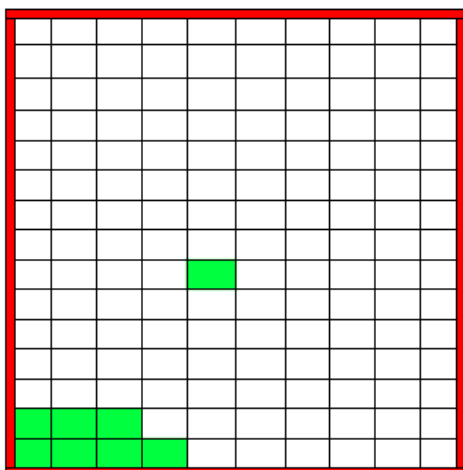
Nome popular: Aspargo-pendente

Hábito: Herbácea rizomatosa

Luminosidade: Pleno sol



Fonte: o autor.



Família botânica: Commelinaceae

Nome científico: *Callisia repens* (Jacq.) L.

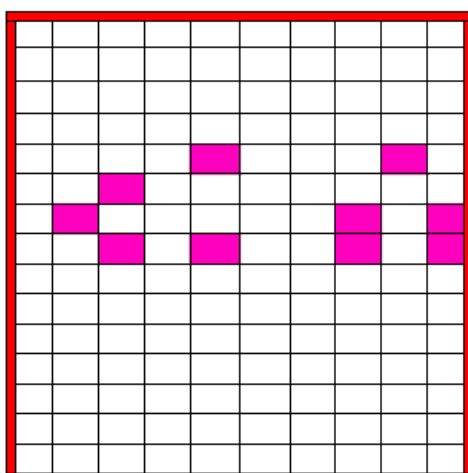
Nome popular: Dinheiro-em-penca

Hábito: Herbácea reptante

Luminosidade: Meia-sombra e sol pleno



Fonte: O autor.



Família botânica: Geraniaceae

Nome científico: *Pelargonium peltatum* (L.) L'Her

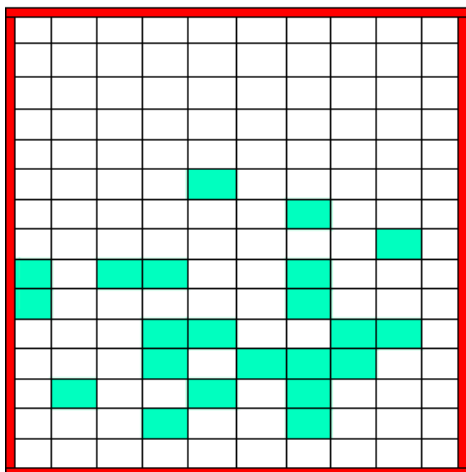
Nome popular: Gerânio- pendente

Hábito: Herbácea perene

Luminosidade: Sol pleno



Fonte: O autor.



Família botânica: Araceae

Nome científico: *Epipremnum pinnatum* (L.) Engl

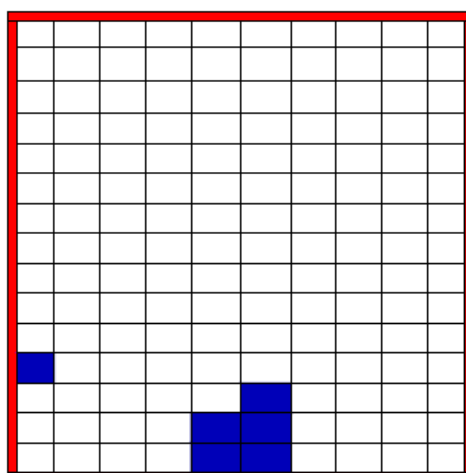
Nome popular: Jibóia

Hábito: Semi-herbáceo

Luminosidade: Meia-sombra e pleno sol.



Fonte: O autor.



Família botânica: Commelinaceae

Nome científico: *Tradescantia zebrina* Heynh. ex Bosse

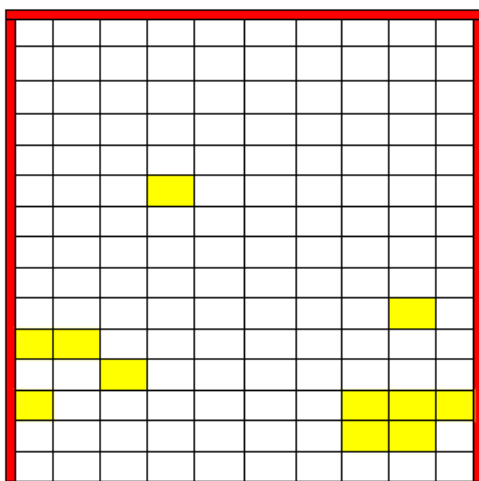
Nome popular: Lambari- prateado

Hábito: Herbácea prostrada

Luminosidade: Meia-sombra e sombra plena



Fonte: O autor.



Família botânica: Compositae

Nome científico: *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski

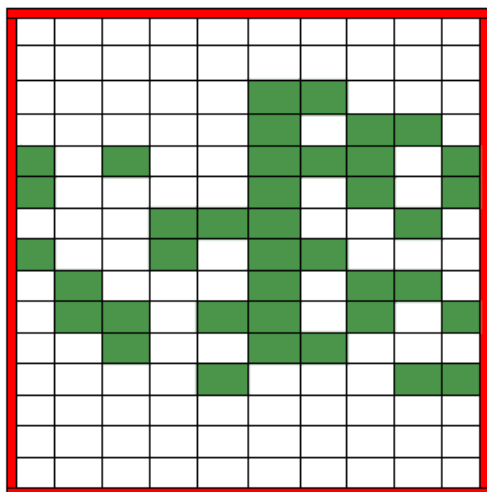
Nome popular: Vedélia

Hábito: Herbácea prostrada estolonífera

Luminosidade: Meia-sombra e pleno sol



Fonte: O autor.



Família botânica: **Dryopteridaceae**

Nome científico: *Rumohra adiantiformis* (G. Forst) Ching

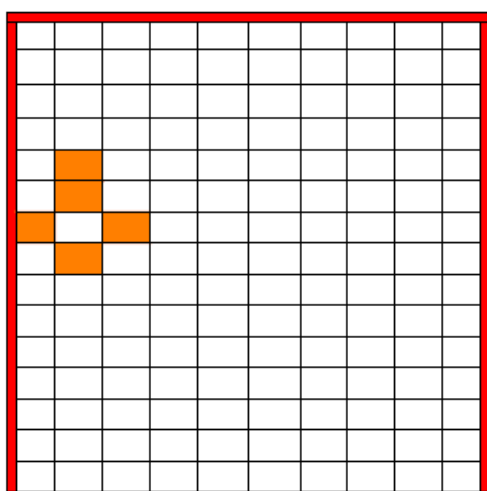
Nome popular: Renda-francesa

Hábito: Samambaia herbácea com rizomatosa

Luminosidade: Meia-sombra e sol pleno



Fonte: O autor.



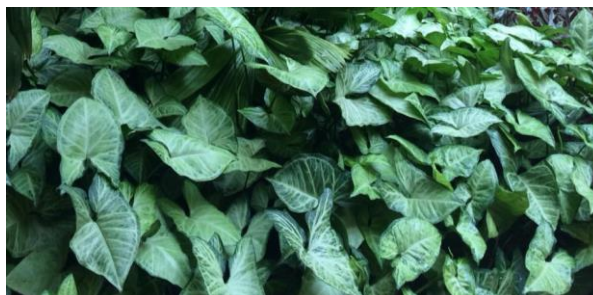
Família botânica: **Araceae**

Nome científico: *Syngonium angustatum* Schott

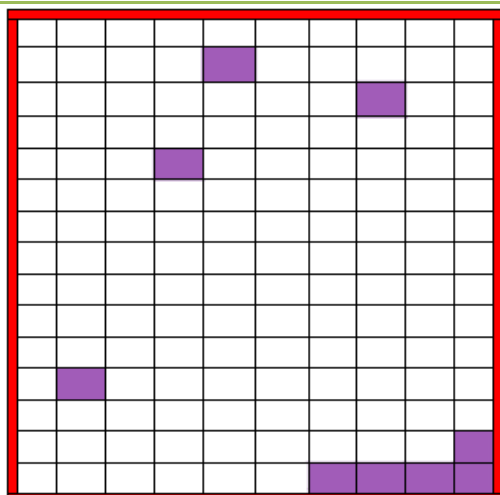
Nome popular: Singônio

Hábito: Semi-herbácea ascendente

Luminosidade: Meia-sombra e sol pleno



Fonte: O autor.



Família botânica: **Commelinaceae**

Nome científico: *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt

Nome popular: Trapoeraba-roxa






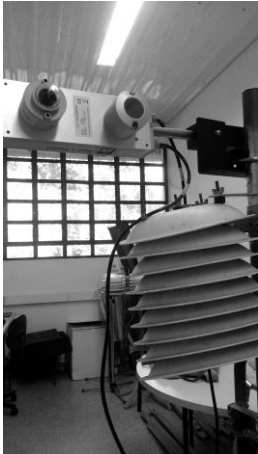
Hábito: Herbácea prostrada

Luminosidade: Sol pleno



Fonte: o autor.

APÊNDICE G- EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS MONITORAMENTOS MICROCLIMÁTICOS

<p>Temperatura superficial (superfície interna e externa da parede e do jardim)</p> 	<p>Temperatura de globo externa (em frente às parcelas com e sem jardim) e Temperatura de bulbo seco, bulbo úmido externas e da cavidade de ar</p> 
<p>Temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo das condições microclimáticas locais.</p> 	<p>Velocidade do vento</p> 
<p>Imagens térmicas</p> 	<p>Radiação solar direta e difusa (net-radiômetro fixado na estação meteorológica móvel)</p> 

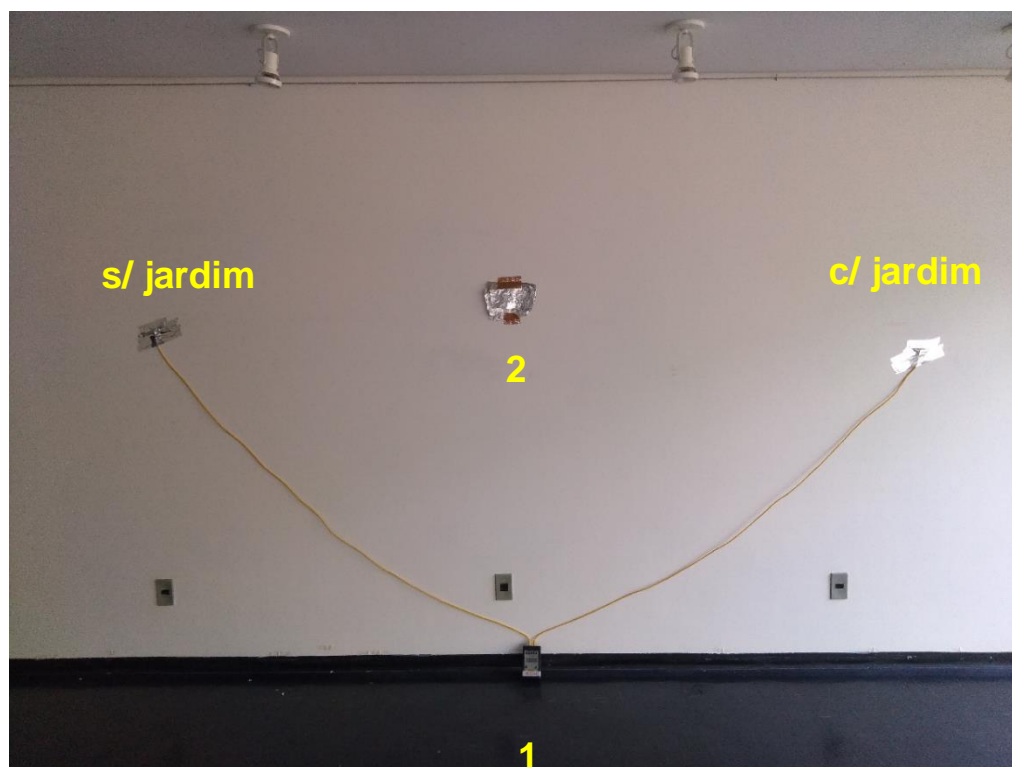
APÊNDICE H- MONTAGEM DOS CAMPOS EXPERIMENTAIS



Legenda: Campo experimental externo. 1- Tripés com datalogger HOBO para temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo; 2- estação meteorológica móvel com net-radiômetro paralelo à parede; 3- tripé com datalogger TESTO para temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo do local; 4- termômetro digital Instrutherm com sensores tipo K para temperatura superficial. Foto tirada às 12h. Fonte: O autor.



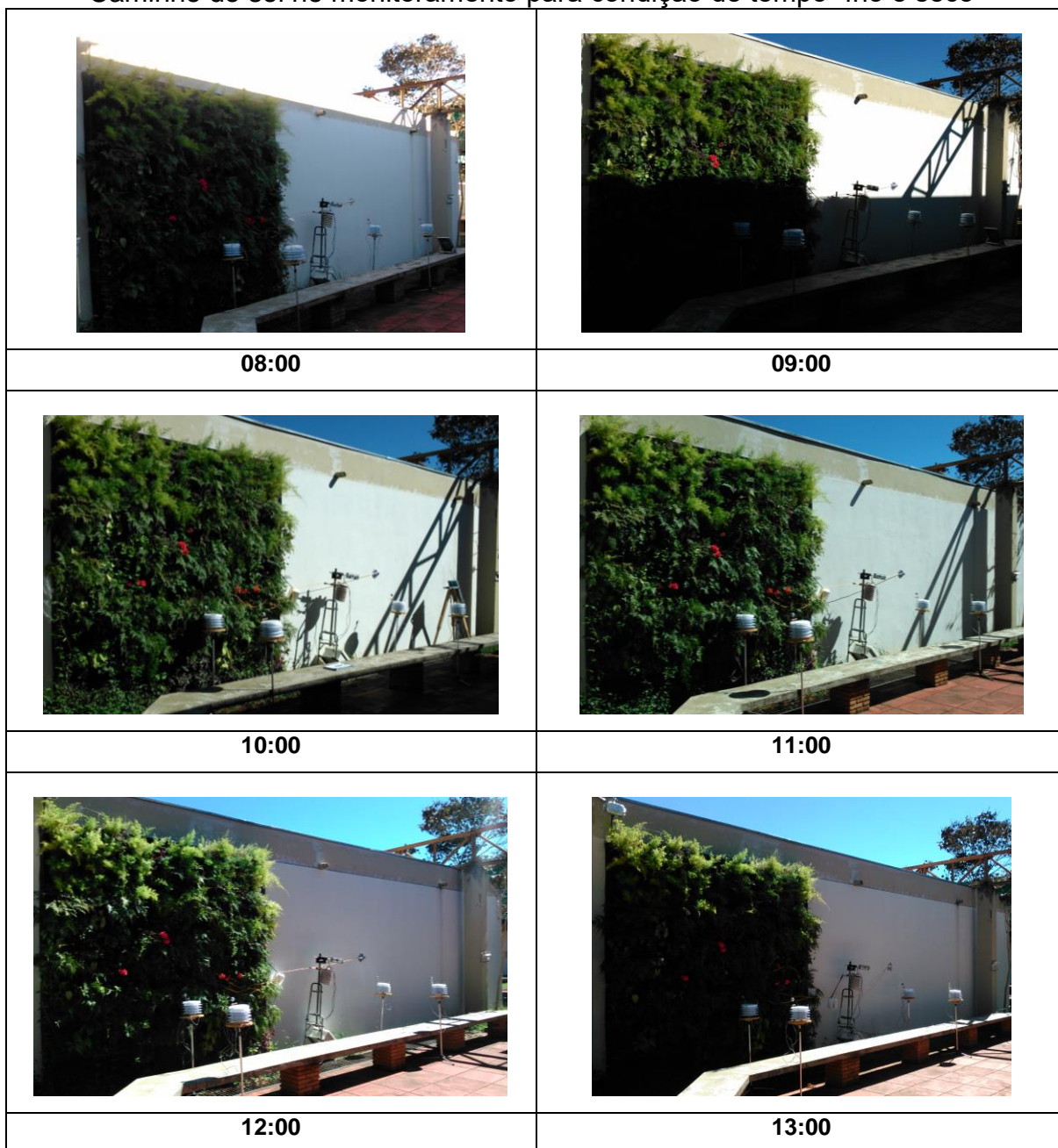
Legenda: A- Parcela com jardim vertical. 1- Tripés com datalogger HOBO para temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo; 2- Sensores tipo K para temperatura superficial posicionados na superfície externa do jardim, interna da placa impermeabilizante e na parede externa protegida pelo jardim. B- Parcela sem jardim vertical. 1- Tripés com datalogger HOBO para temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo; 2- estação meteorológica móvel com net-radiômetro paralelo à parede e 3- termômetro digital Instrutherm com sensores tipo K para temperatura superficial. Fotos tiradas às 13h. Fonte: O autor.

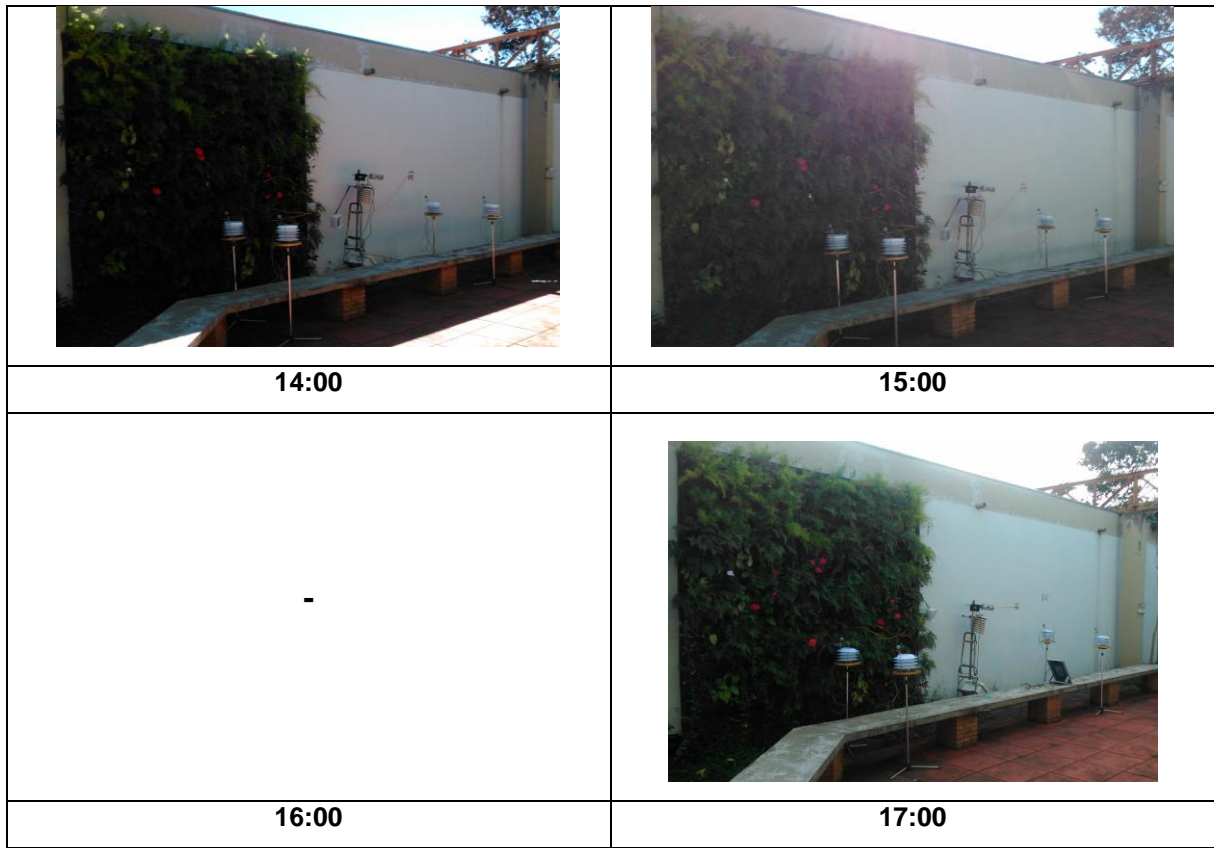


Legenda: Campo experimental interno. 1- termômetro digital Instrutherm com sensores tipo K para temperatura superficial, sendo esses posicionados na superfície da parede interna atrás da parcela com e sem jardim; 2- Papel alumínio para calibração da câmera térmica. Foto tirada às 17h. Fonte: O autor.

APÊNDICE I- CAMINHO DO SOL NAS PARCELAS AMOSTRAIS EM AMBAS CAMPANHAS DE MONITORAMENTO







Caminho do sol no monitoramento para condição de tempo “frio e seco”



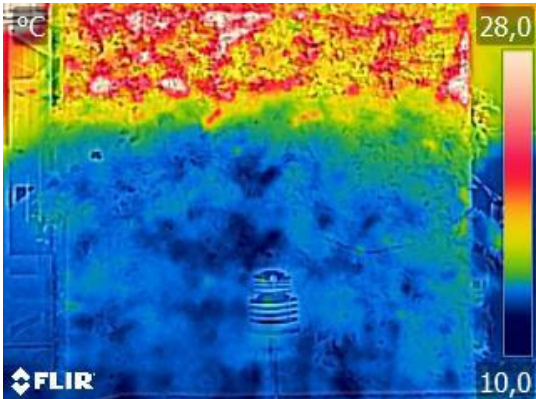
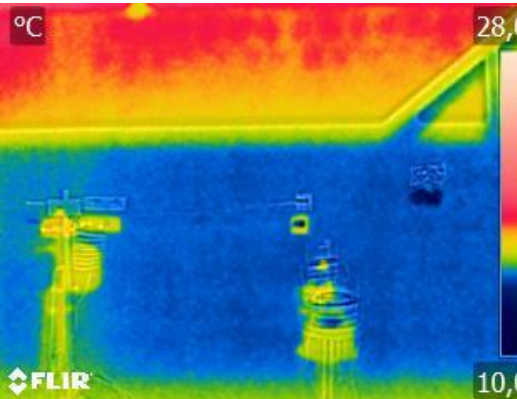
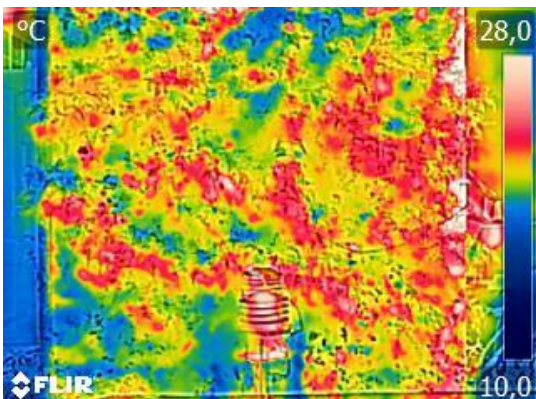
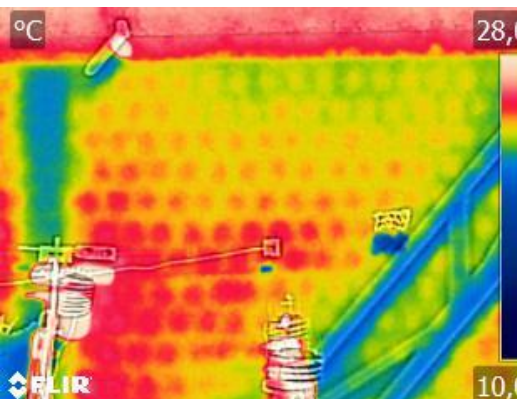
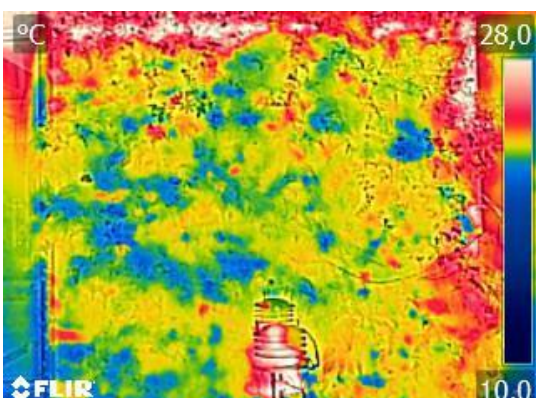
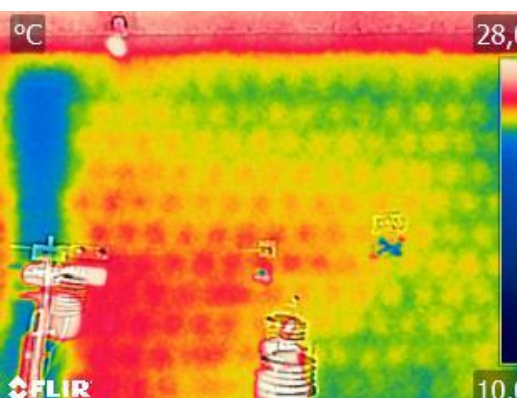


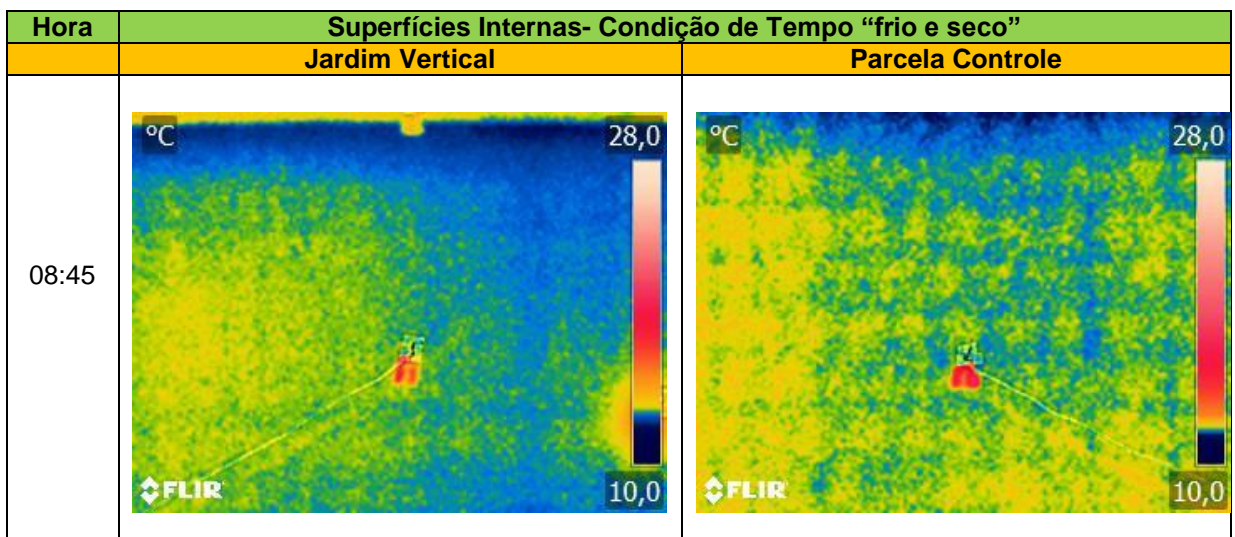
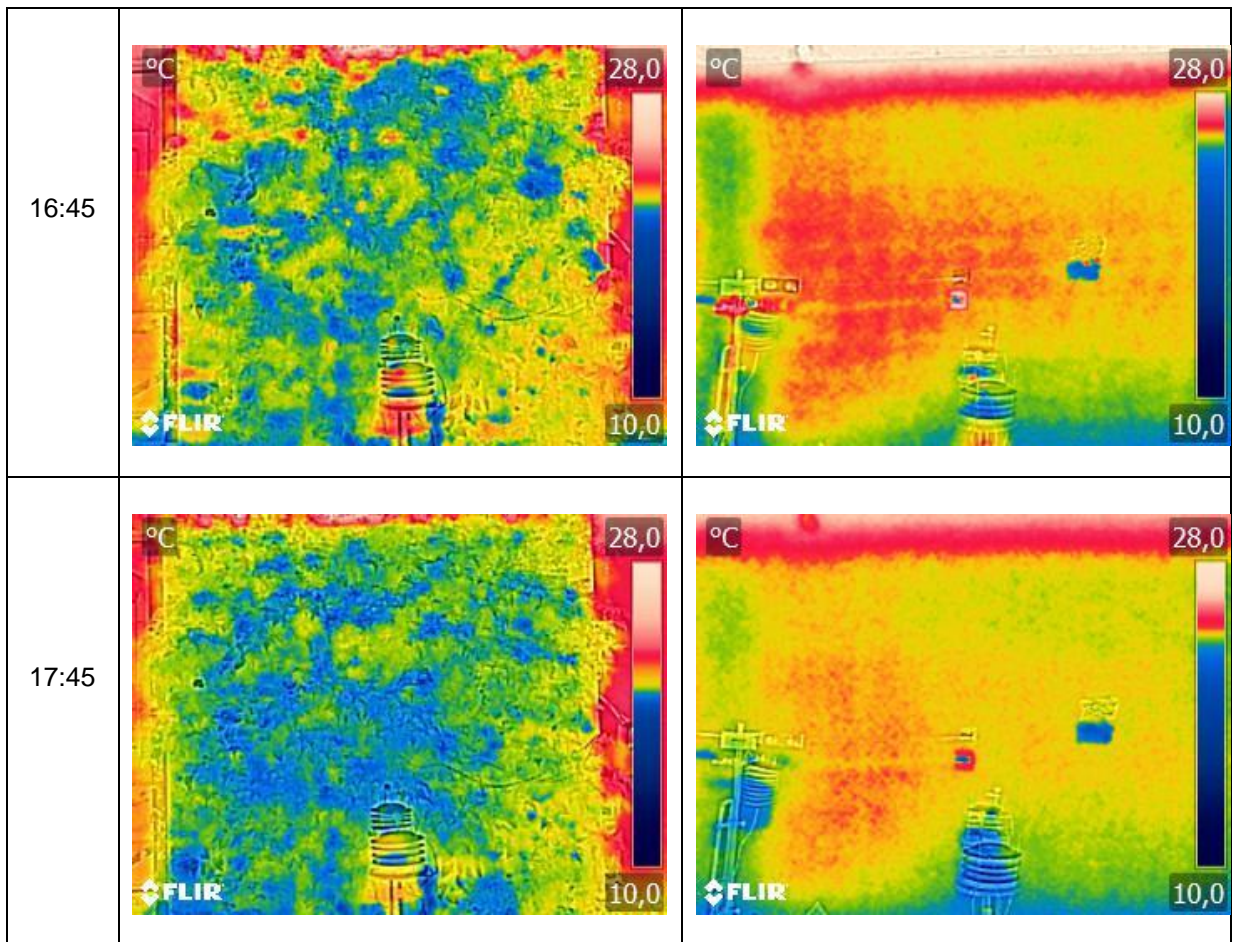
Caminho do sol no monitoramento para condição de tempo “quente e úmido”

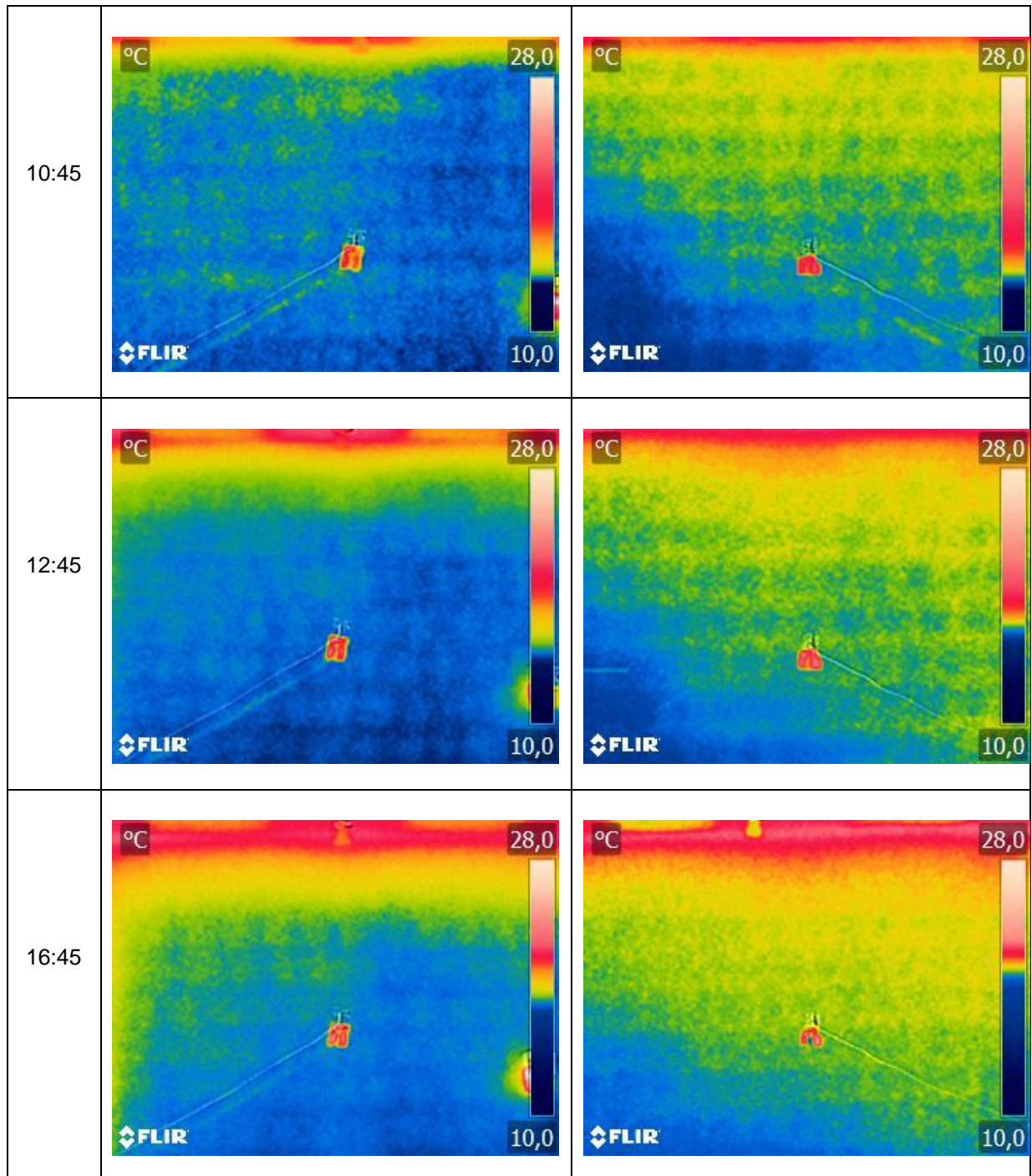


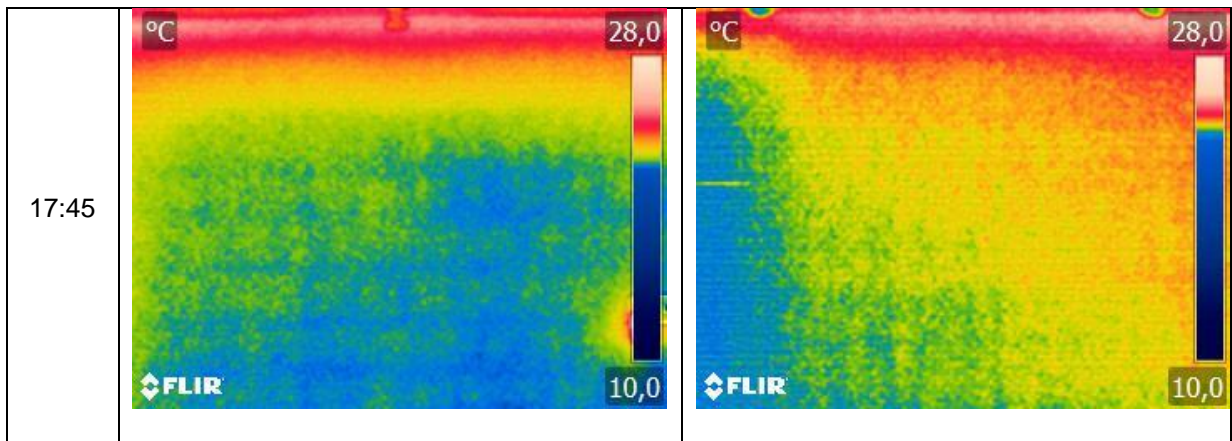
	
<p>12:00</p>	<p>13:00</p>
	
<p>14:00</p>	<p>15:00</p>
	
<p>16:00</p>	<p>17:00</p>

APÊNDICE J- IMAGENS TÉRMICAS DAS SUPERFÍCIES EXTERNAS E INTERNAS DAS PARCELAS NAS DUAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

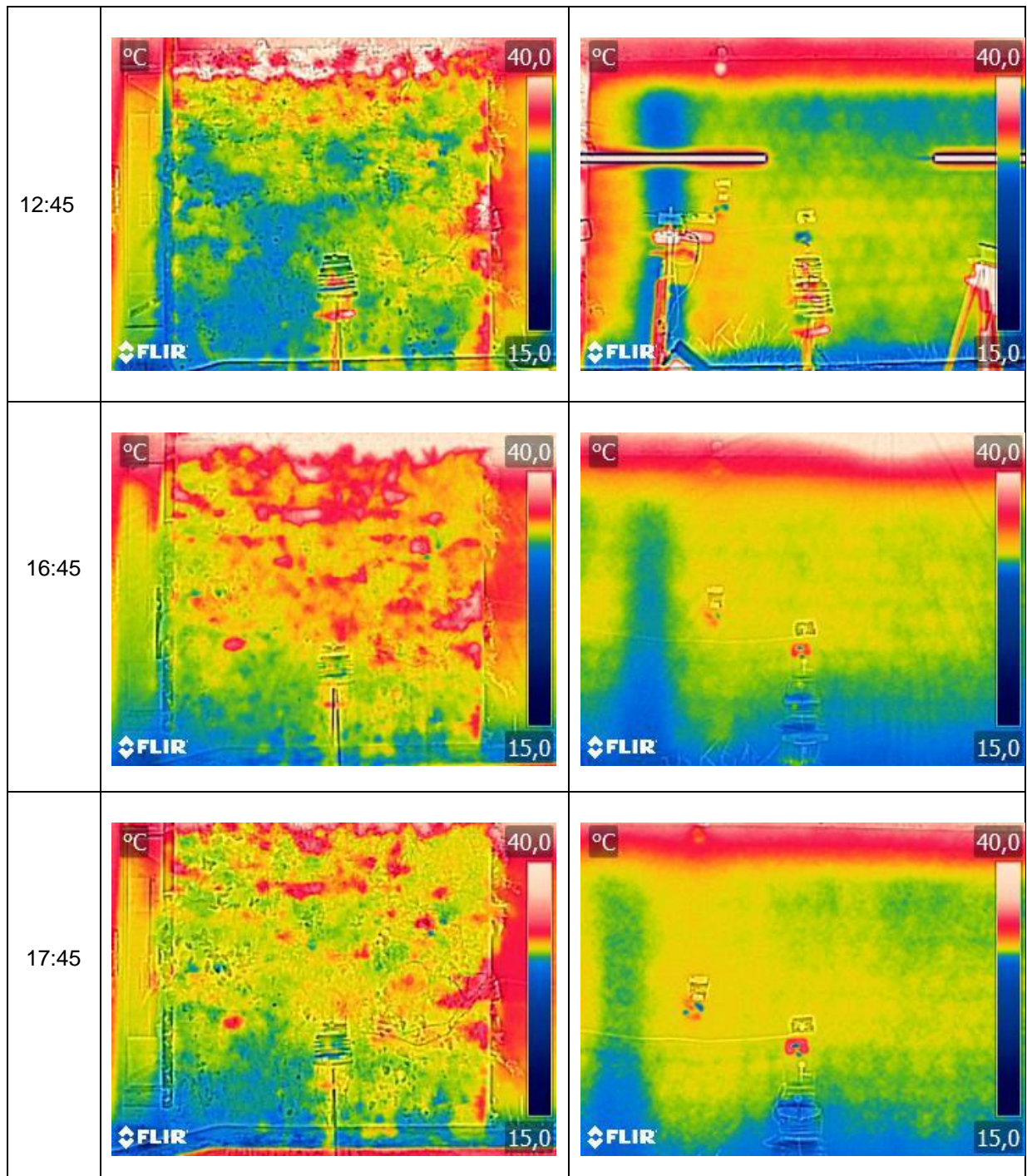
Hora	Superfícies Externas- Condição de Tempo "frio e seco"	
	Jardim Vertical	Parcela Controle
08:45	 <p>Thermal image of the vertical garden at 08:45. The image shows a dense wall of plants with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>	 <p>Thermal image of the control plot at 08:45. The image shows a flat surface with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>
10:45	 <p>Thermal image of the vertical garden at 10:45. The image shows a dense wall of plants with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>	 <p>Thermal image of the control plot at 10:45. The image shows a flat surface with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>
12:45	 <p>Thermal image of the vertical garden at 12:45. The image shows a dense wall of plants with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>	 <p>Thermal image of the control plot at 12:45. The image shows a flat surface with a color scale from 10.0°C (blue) to 28.0°C (red). The FLIR logo is visible in the bottom left corner.</p>







Hora	Superfícies Externas- Condição de Tempo “quente e úmido”	
	Jardim Vertical	Parcela Controle
08:45		
10:45		



Hora	Superfícies Internas- Condição de Tempo “quente e úmido”	
	Jardim Vertical	Parcela Controle
08:45		
10:45		
12:45		

