

THIAGO YOUZI KUSSABA KAYANO

Avaliação do comportamento térmico de células de testes com telhado e fachada verde

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

Orientador: Gustavo Zen de Figueiredo Neves

**SÃO CARLOS
2020**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Y23a Youzi Kussaba Kayano, Thiago
 Avaliação do comportamento térmico de células
 de testes com telhado e fachada verde / Thiago Youzi
 Kussaba Kayano; orientador Gustavo Zen de Figueiredo
 Neves. São Carlos, 2020.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de
 Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da
 Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São
 Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

 1. cobertura verde . 2. fachada verde . 3.
 climatologia . 4. engenharia ambiental. 5. desempenho
 térmico. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **THIAGO YOUZI KUSSABA KAYANO**.

Título da dissertação: " Avaliação do comportamento térmico de células de testes com telhado e fachada verde".

Data da defesa: 13/08/2020.

Comissão Julgadora:

Dr. **Gustavo Zen de Figueiredo Neves**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Gabriel Castañeda Nolasco**
(Universidad Autónoma de Chiapas/México)

Prof. Dr. **Emerson Galvani**
(Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/FFLCH-USP)

Resultado

APROVADO

APROVADO

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
por todo o carinho, dedicação, apoio e
por estarem sempre presentes
em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Gustavo Zen de Figueiredo Neves pela oportunidade e confiança dada a mim para realização deste trabalho.

Aos professores Francisco Vecchia e Nuria Gallardo pelas contribuições dadas na qualificação.

Aos amigos do Núcleo de Climatologia pelo Aplicado ao Meio Ambiente, pelo suporte e apoio durante o ano.

Aos técnicos da estação climatológica do CRHEA, Roberto (Betão) e André pelo auxílio na coleta dos dados.

Aos funcionários José Luiz e Nelson, pelo auxílio com as questões burocráticas da secretaria, ao Cidão e Carlão pelas marmitas do CRHEA e Soninha e Paulo pelo auxílio em situações do CRHEA.

Aos amigos da Atlética, do beisebol e softbol pela amizade e apoio dado a mim em vários momentos.

À CAPES, pelo apoio à esta pesquisa através da concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

KAYANO, T. Y. K. 2020. **Avaliação do comportamento térmico de células de testes utilizando telhado e fachada verde.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

As fachadas e coberturas verdes proporcionam vantagens para o ambiente construído, tais como melhoria na isolamento, aumento da biodiversidade, atenuação da radiação solar e na paisagem urbana. Este trabalho de dissertação teve como objetivo analisar comparativamente o comportamento térmico de células de testes em dois diferentes episódios climáticos representativos de outubro de 2016 escolhidos a partir de dias críticos experimentais. O experimento foi composto por duas células de testes sendo uma a célula de controle e outra com fachada e cobertura verde. Foram monitoradas as temperaturas internas do ar e das superfícies internas do teto e das paredes oeste e norte por meio de termopares conectados a um sistema de aquisição de dados. Os dados das variáveis climatológicas foram registrados pela estação meteorológica automática do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CHREA) da Universidade de São Paulo (USP) em Itirapina-SP, local onde foi realizado o experimento. As análises do comportamento térmico foram realizadas a partir da abordagem da Climatologia Dinâmica sendo possível identificar os episódios climáticos a partir da análise de gráfico e imagens de satélites podendo observar sua influência na temperatura das células de testes nos dias críticos experimentais. Os resultados indicaram que a célula com cobertura e fachada verde possui um melhor desempenho térmico apresentando uma amplitude térmica e temperatura máxima menores em comparação a célula de controle e temperatura externa do ar. Concluiu-se que a célula com cobertura e fachada verde possui melhor desempenho térmico, o que pode ser explicado pela atenuação da entrada de radiação solar sobre a parede da célula reduzindo a temperatura máxima no interior da célula, consequentemente reduzindo sua amplitude térmica.

Palavras-chaves: cobertura verde, fachada verde, desempenho térmico, climatologia, engenharia ambiental

ABSTRACT

KAYANO, T. Y. K. 2020. **Evaluation of the thermal behavior of test cells using green roofs and green facade.** Dissertação (Mestrado). São Carlos Engineering School, São Paulo University, São Carlos, 2020.

Green facades and green roofs provide advantages for the built environment, such as improved insulation, increasing of biodiversity, reducing solar radiation and improvement of the urban landscape. This dissertation work aimed to analyze comparatively the thermal behavior of test cells in two different climatic episodes representative of October of 2016 chosen from critical experimental days. The experiment consisted of two test cells, one being the cell and another with a green facade and green roof. The internal temperatures of the air and the internal surfaces of the ceiling and the west and north walls were monitored by thermocouples connected to a data acquisition system. The data of the climatological variables were recorded by the automatic meteorological station of the Center for Water Resources and Environmental Studies (CHREA) of the University of São Paulo (USP) in Itirapina-SP, where the experiment was carried out. The analysis of thermal behavior was carried out using the Dynamic Climatology approach, making it possible to identify climatic episodes based on the analysis of graphs and satellite images, being able to observe their influence on the temperature of the test cells on critical experimental days. The results indicated that the cell with green roof and green facade has a better thermal performance, presenting a lower thermal amplitude and lower maximum temperature in comparison to the control cell and external air temperature. It was concluded that the cell with a green roof and facade has a better thermal performance, which can be explained by the attenuation of the entry of solar radiation on the cell wall, reducing the maximum temperature inside the cell, consequently reducing its thermal amplitude.

Keywords: green roof, green facade, thermal performance, climatology, environmental engineering

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação das estações do ano da Terra. Fonte PEREIRA (2017). ...	18
Figura 2: Espectro de radiação solar incluindo o detalhamento da faixa visível humana. Fonte: (PEREIRA et al., 2017)	19
Figura 3: Dissipação de calor e umidade. Fonte: CORBELLA; YANNAS, 2003 apud SEIXAS, 2015.	28
Figura 4: 1- Fachada verde direta, 2- Fachada verde indireta, 3- Sistema de muro vivo. Fonte: PERINI, ROSASCO (2013) adaptado	33
Figura 5: Classificação dos tipos mais comuns de paredes verdes usados atualmente. Fonte Manso e Castro Gomes (2015) adaptado.	34
Figura 6: Esquema dos tetos verdes: 1- Extensivo, 2- Semi extensiva, 3- intensivo. Fonte: RAJI, TENPIERIK, VAN DEN DOBBELSTEEN (2015) adaptado.....	36
Figura 7: Localização da área de estudo. Fonte Perussi (2016) adaptado.	40
Figura 8: Estação Automática do CRHEA. Fonte: NEVES (2015)	41
Figura 9: Conexão dos termopares ao Data logger. Fonte: O autor (2018)	42
Figura 10: Vista área das células de testes. Foto: Eduardo Fraccaroli (2015).....	42
Figura 11: Imagem do termopar colocado sob a parede. Fonte: o autor (2018).....	43
Figura 12: Vista frontal da célula de teste	44
Figura 13: Vista das fachadas Oeste e Norte. Fonte autor (2018).....	44
Figura 14: Vista das células de testes. Fonte: o autor (2018).....	45
Figura 15: Detalhe da flor de Tumbergia Azul. Fonte autor (2018).....	45
Figura 16: Vista do teto verde. Fonte: o autor (2018).....	46
Figura 17: Perfil do teto verde. Fonte Gallardo (2017).	46
Figura 18: Distribuição dos termopares (sem escala). A- Fachada Oeste. B- Fachada Norte. C- Teto. Fonte Gallardo (2017) adaptado.....	46
Figura 19: Imagem interna da célula. Fonte autor (2017).....	47
Figura 20: Exemplo de imagem de satélite GOES-13 infra 4.....	48
Figura 21: Exemplo de carta sinótica do INPE-CPTEC	48
Figura 22: Gráfico das temperaturas médias de Abril de 2016.....	50
Figura 23: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 24 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)	51
Figura 24: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 25 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)	51

Figura 25: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 26 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)	52
Figura 26: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 27 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)	53
Figura 27: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 28 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)	53
Figura 28: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 29 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)	54
Figura 29: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 30 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)	54
Figura 30: Gráficos com as variáveis climatológicas do episódio estudado. Fonte: o autor (2020)	55
Figura 31: Gráfico de temperatura interna do ar das células de testes, externa do ar e radiação solar. Fonte: o autor (2020)	56
Figura 32: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede oeste e externa do ar e da radiação solar. Fonte: o autor (2020)	56
Figura 33: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede norte e externa do ar e radiação solar. Fonte: o autor (2020). Fonte: o autor (2020)	57
Figura 34: Gráfico das temperaturas superficiais internas do teto e externa do ar e da radiação solar. Fonte: o autor (2020)	58
Figura 35: Gráfico das temperaturas médias de Junho de 2016. Fonte: o autor (2020).....	60
Figura 36: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 10 de junho (2020) .	60
Figura 37: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 11 de junho (2020) .	61
Figura 38: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 12 de junho (2020)...	61
Figura 39: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 13 de junho (2020)...	62
Figura 40: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 14 de junho (2020)...	63
Figura 41: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 15 de junho (2020)...	63
Figura 42: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 16 de junho (2020)...	64
Figura 43: Gráfico com as variáveis climatológicas do episódio estudado. Fonte: O autor (2020)	65
Figura 44: Gráfico de temperatura interna do ar das células de testes, externa do ar e radiação solar.....	65

Figura 45: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede oeste e externa do ar e da radiação solar.....	66
Figura 46: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede norte e externa do ar e radiação solar.	67
Figura 47: Gráfico das temperaturas superficiais internas do teto e externa do ar e da radiação solar.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das células usadas no experimento.....	42
Tabela 2: Valores de temperaturas mínimas e máximas e amplitudes térmicas das células de testes	59
Tabela 3: Valores de temperaturas mínimas e máximas e amplitudes térmicas das células de testes	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CC – Célula de Controle

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

CTF – Célula com Teto + Fachada verde

FNV – Fachada Norte Vegetada

FNC – Fachada Norte Controle

FOV – Fachada Oeste Vegetada

FOC – Fachada Oeste Controle

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

TBH – Temperatura de bulbo úmido

TBS – Temperatura de bulbo seco

TC – Teto controle

TG – Temperatura do Globo

TSI – Temperatura Superficial Interna

TV – Teto verde

ΔT – Amplitude Térmica

Sumário

1	Introdução	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.1	Objetivos específicos.....	17
3	Revisão Bibliográfica	17
3.1	Variáveis climatológicas.....	17
3.1.1	Radiação solar	17
3.1.2	Temperatura do ar	19
3.1.3	Umidade relativa do ar	20
3.1.4	Pressão Atmosférica	20
3.2	Movimentos da Terra.....	21
3.2.1	Solstício de verão	22
3.2.2	Equinócio de outono.....	22
3.2.3	Solstício de inverno	23
3.2.4	Equinócio de primavera	23
3.3	Fotoperíodo.....	24
3.4	Episódio climático representativo	24
3.4.1	Etapas pré-frontal e pós-frontal	26
3.5	Definição dos parâmetros para avaliação do comportamento térmico	27
3.6	Comportamento e desempenho térmico	28
3.7	Inércia Térmica.....	29
3.8	Vegetação em ambiente construído	30
3.8.1	Paredes e coberturas verdes.....	31
3.9	Benefícios das coberturas e fachadas verdes	36
3.9.1	Isolação térmica	36
3.9.2	Retenção de águas pluviais	37

3.9.3 Aumento do espaço útil	38
3.9.4 Benefícios estéticos e sociais	38
3.10 Ambiente Construído.....	39
3.11 Bioclimatologia	39
4 Metodologia.....	40
4.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	40
4.2 Coleta dos dados climatológicos	40
4.3 Células de testes.....	42
4.4 Coleta dos dados das células de testes	46
4.5 Análise do episódio climático representativo.....	47
4.6 Avaliação do comportamento térmico das células de testes	49
5 Resultados e discussões.....	50
5.1 Episódio climático representativo do mês de abril de 2016	50
5.1.1 Análise do episódio climático representativo	50
5.1.2 Avaliação do comportamento térmico das células de testes.....	55
5.2 Episódio climático representativo do mês de junho de 2016.....	59
5.2.1 Análise do episódio climático representativo	59
5.2.2 Avaliação do comportamento térmico das células de testes.....	65
5.3 Considerações finais sobre os dois estudos	69
6 Conclusão.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 Introdução

Cada vez mais as paredes e tetos verdes são utilizados como melhoria estética tanto em novos quanto em edifícios já existentes. E, além de todo o benefício estético proporcionado, as paredes verdes também contribuem para uma melhora do desempenho térmico de edificações, colaborando com o conforto térmico de edificações.

As edificações são construídas principalmente para promover segurança e proporcionar condições mais adequadas às atividades humanas e pode ser considerada a melhor forma de termorregulação, ou seja, a função destas construções é proteger os indivíduos destas intempéries a que estão sujeitos, mantendo em seu interior uma proteção contra os rigores do clima. Nesse sentido, o principal requisito às edificações é promover o menor estresse térmico aos usuários (OKE, 1987).

Cunha e Vecchia (2007) enfatizam a importância das condições climáticas para os estudos de conforto, tanto nas atividades realizadas no ambiente externo quanto no ambiente construído, pois pode inferir em padrões de planejamento de atividades ao ar livre, de ocupação territorial, na concepção de projetos arquitetônicos, e até mesmo auxiliar em processos de tomada de decisão em diversos aspectos ambientais.

O uso de vegetação em edificações pode variar desde um simples gramado até sofisticados jardins. É uma alternativa viável devido às numerosas vantagens que oferece não só para o condicionamento térmico interno, como também para o meio ambiente externo. Esses benefícios são resultados do processo de evapotranspiração e fotossíntese que as plantas realizam. Mediante a evapotranspiração se produz um aumento da umidade do ambiente que tem como consequência a redução da temperatura, e através da fotossíntese as plantas são capazes de realizar uma renovação do ar entorno de onde elas se localizam (GALLARDO, 2017).

O uso de fachadas verdes pode ajudar no desempenho térmico de edificações localizadas tanto em regiões de clima quente quanto em climas frios. Em regiões de clima quente amenizam as temperaturas da superfície das paredes através do efeito de sombra, além de gerar uma carga de resfriamento pelo

microclima das plantas quando adultas. Já em regiões de clima frio atuam como retardadoras de perda de calor pela parede do edifício (DUNNET; KINGSBURY, 2008).

A utilização de vegetação em paredes e tetos pode trazer além de uma melhoria no comportamento térmico, uma melhoria estética no ambiente construído, tornando o espaço mais agradável.

De acordo com Vecchia (1997), é possível analisar por meio dos episódios representativos do fato climático, que expresse as condições típicas do tempo atmosférico, o comportamento térmico de um dado ambiente, interior ou exterior. O que se pode depreender da aplicação da abordagem dinâmica é a compreensão de que, de fato, o que diferencia os episódios, uns dos outros, é a intensidade e a duração de cada massa de ar que predomina sobre o local, polar ou tropical, tornando mais ou menos vigorosa a sua atuação sobre uma dada região, fato que diretamente se reflete no registro dos elementos climáticos tomados em superfície.

O estudo do desempenho térmico da célula com cobertura e fachada verde em um dia crítico experimental de outono ganha importância, pois, no Brasil, as edificações tem por características controlar os efeitos de causados pelo calor em dias quentes, fazendo com que a perda de calor em dias frios aumente, reduzindo a temperatura interna do ar, aumento a amplitude térmica do ar.

Utilizando-se dos conceitos de climatologia dinâmica proposto por Vecchia (1997), este trabalho irá analisar dias representativos do ponto de vista climático para verificar o comportamento térmico das fachadas e coberturas verdes.

Este estudo foi realizado utilizando-se de dados coletados ao longo do projeto de pesquisa iniciado por Gallardo (2017) para defesa de seu doutorado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho de teve como objetivo de avaliar o comportamento térmico da temperatura interna do ar de células de testes com cobertura e fachada vegetal e célula de teste de controle, durante dois episódios climáticos representativos de outono nos meses de abril e junho de 2016.

2.1 Objetivos específicos

- Coleta e tratamento dos dados de temperatura em diferentes pontos das células de testes;
- Realizar uma análise climática para definição do episódio representativo dos tipos de tempo;
- Avaliar o comportamento térmico entre as temperaturas superficiais internas do teto e das paredes oeste e norte;
- Verificar o desempenho térmico da cobertura vegetal em relação a superfície de controle (sem cobertura vegetal).

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Variáveis climatológicas

3.1.1 Radiação solar

Denomina-se radiação, ou energia radiante, a energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. O termo radiação é igualmente aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O balanço de radiação R em ambiente urbano é a soma da entrada da radiação de onda curta e longa absorvida menos a radiação de onda longa emitida por todos os componentes da superfície da Terra:

$$R = (I_b + I_d) * (1 - a) - (I_l \uparrow - I_l \downarrow) \quad (1)$$

Onde: I_b e I_d são os raios e radiação solar difusa incidente na superfície da cidade, a é a média do albedo da cidade para a radiação, $I_l \uparrow$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície da cidade e $I_l \downarrow$ a radiação atmosférica de onda longa absorvida pelas estruturas da cidade.

O Sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% da energia vinda do Sol se situem na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 micrometros (μm) de onda, por isto mesmo conhecida como domínio da radiação solar. Dentro deste intervalo, cerca de 52% da radiação solar que atinge a

superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (LEMON, 1966).

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta, responsável pela energia recebida pela Terra. A trajetória elíptica da terra ao redor do Sol, junto com o movimento de rotação da Terra, determinam as variações da intensidade da radiação solar ao longo do ano e durante o dia. As estações do ano são definidas pelo movimento de translação da Terra ao redor do Sol. A trajetória elíptica diferencia o Outono e Primavera do Inverno e Verão. As regiões que mais recebem radiação solar se localizam nos trópicos: Câncer ao Norte e Capricórnio ao Sul. Sob o ponto de vista de um observador, o Sol se move entre essas regiões, limitados pelo solstício de verão e inverno. (CARLO; GHISI; LAMBERTS, 2003).



Figura 1: Representação das estações do ano da Terra. Fonte PEREIRA (2017).

Na atmosfera, as nuvens refletem em torno de 19% da radiação solar de volta para o espaço e absorvem em torno de 5%. Os componentes atmosféricos dispersam e refletem em torno de 6% para o espaço e absorvem cerca de 20%. O restante da energia da radiação solar é transmitida para superfície terrestre, onde aproximadamente 3% é refletido (SANTAMOURIS, M; AIMAKOPOLOUS, 2001).

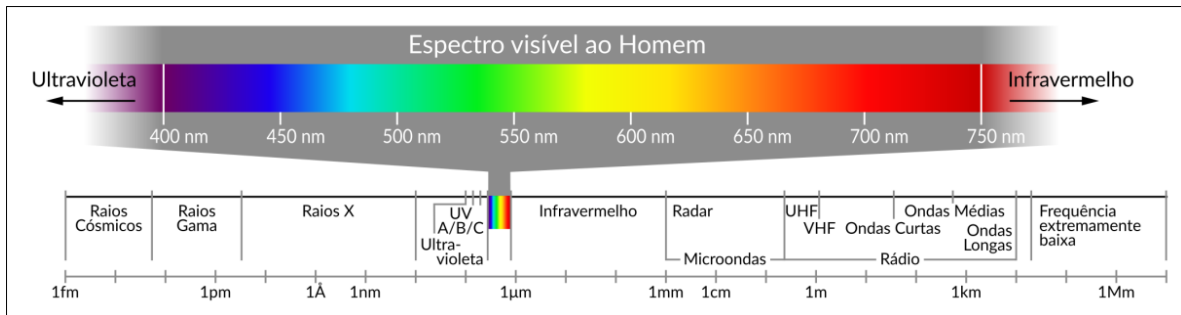


Figura 2: Espectro de radiação solar incluindo o detalhamento da faixa visível humana. Fonte: (PEREIRA et al., 2017)

A radiação solar extraterrestre é modificada quando passa pela atmosfera. A porção de radiação incidente que é refletida ou dispersada junto com a porção que sofre refração entre a superfície e a atmosfera resulta na radiação solar difusa. Finalmente, a porção de radiação solar incidente que chega a superfície da Terra sem sofrer com absorção ou difusão é chamada de raio direto de radiação de ondas curtas (SANTAMOURIS, M; AIMAKOPOLOUS, 2001).

Existem dois mecanismos de atenuação da luz ou de qualquer radiação na atmosfera, absorção e dispersão. Estes mecanismos diminuem o fluxo de luz solar que chega a superfície da Terra. Com a dispersão, parte da luz é refletida de volta ao espaço, diminuindo a quantidade de energia na atmosfera, enquanto a absorção aumenta a energia na atmosfera (SANTAMOURIS, M; AIMAKOPOLOUS, 2001).

3.1.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar não é uma consequência da ação direta da radiação solar, uma vez que o ar é transparente em todas as longitudes de onda magnética. O processo se desenrola indiretamente, a radiação solar chega ao solo, onde uma parte é absorvida e transformada em calor, consequentemente, o solo aquece e por convecção, aquece o ar. Portanto, a temperatura do ar será consequência de três aspectos, da radiação solar incidente, do coeficiente de absorção da superfície receptora e das perdas por evaporação, convecção e radiação (GHISI; LAMBERTS, 1998).

O resultado da atuação destes fenômenos simultaneamente ocasiona o aumento da temperatura do ar a partir do por do Sol, atingindo um máximo que ocorre duas horas após a passagem do Sol pelo meridiano, como resultado do calor armazenado na terra (CARLO; GHISI; LAMBERTS, 2003).

3.1.3 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar se caracteriza pela quantidade de vapor d'água que contém o ar, o qual é formado pela evaporação da água, em um processo que envolve a troca do estado líquido para gasoso sem alterar a temperatura. O ar, a uma determinada temperatura, pode conter uma quantidade limitada de vapor d'água. Quando essa quantidade é ultrapassada, dizemos que o ar está saturado. Ultrapassado o limite de saturação, ocorre a condensação, processo no qual o vapor em excesso se torna líquido, causando um aumento da temperatura da superfície onde ocorreu a condensação.

A umidade do ar junto com sua velocidade atua na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo corpo humano são eliminadas na forma de calor latente (10% de respiração e 15% de transpiração) é importante que as condições ambientais favoreçam essa perda. Desta forma, a medida que a temperatura do ambiente aumenta e dificulta a perda de calor por convecção e radiação, o organismo aumenta sua perda de calor por evaporação. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor será a eficiência de evaporação para eliminação do calor (ÇENGEL, 2007).

Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, então a pessoa passa a ganhar mais calor enquanto a temperatura do ar é superior a da pele. Se o ar está seco, a perda acontece mesmo se a temperatura estiver mais elevada. Portanto a umidade absoluta do ar é o peso do vapor d'água por unidade de massa de ar (g/kg) e a umidade relativa é a razão entre a umidade absoluta do ar e a umidade de saturação absoluta do ar a uma mesma temperatura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

3.1.4 Pressão Atmosférica

Denomina-se pressão atmosférica ao peso exercido por uma coluna de ar, com secção reta de área unitária, que se encontra acima do observador, em um dado instante e local (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A pressão atmosférica é uma variável muito importante, pois sendo o ar um fluido, sua tendência é movimentar-se em direção às áreas de menor pressão (VAREJÃO-SILVA, 2006).

3.2 Movimentos da Terra

A duração do dia e a quantidade de energia solar incidente em um ponto qualquer da superfície terrestre apresenta variabilidade temporal característica de dois ciclos: o ciclo anual e o ciclo diário. O ciclo anual ocorre como consequência da inclinação do eixo axial da Terra com relação ao plano orbital do planeta em torno do Sol. A duração do dia está intrinsecamente relacionada com as estações do ano (PEREIRA et al., 2017).

O eixo aponta sempre na mesma direção no espaço, de forma que o pólo norte geográfico está por vezes inclinado na direção do Sol (de junho a agosto) e por vezes na direção oposta (de dezembro a março). Estas duas situações, obviamente, caracterizam o inverno e verão no Hemisfério Sul da Terra, sendo a situação inversa no Hemisfério Norte (SANTIAGO; SALVIANO, 2005). Esta mudança da declinação do Sol com o tempo está associada ao movimento de translação da Terra e é causada pela inclinação do eixo terrestre. (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Para estudos na área de climatologia e meteorologia considera-se o Sol imóvel no espaço, ocupando um dos focos da elipse que passa a constituir a órbita terrestre. Assim, o movimento helicoidal da Terra ao redor do Sol passa a se efetuar em um plano, conhecido como plano da elíptica, no qual se situam os centros dos dois astros (Segunda Lei de Kepler).

Este movimento de translação da Terra está dividido em quatro períodos, denominados estações do ano, caracterizadas por condições típicas, que são mais acentuadas a medida que se afasta da zona equatorial, onde quase não se nota a diferença (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Por convenção astronômica, as estações são determinadas pelos solstícios, momento em que o sol, durante seu movimento aparente na esfera celeste, atinge a maior declinação em latitude medida a partir do Equador e pelos equinócios, instante em que o Sol, em sua órbita aparente, cruza o Equador terrestre (PEREIRA et al., 2017).

No Hemisfério Sul, o verão começa no solstício de dezembro e o inverno no de junho; a primavera se inicia no equinócio de setembro e o outono no de março. Já no Hemisfério Norte, o verão começa no solstício de junho e o inverno no

solstício de dezembro; a primavera se inicia no equinócio de março e o outono no equinócio de setembro (VAREJÃO-SILVA, 2006).

3.2.1 Solstício de verão

Quando Sol atinge seu ponto mais a sul na esfera celeste, ou seja, seu ângulo de declinação é o menor possível, a $23^{\circ}27'$ abaixo do plano do horizonte do Polo Norte e a $23^{\circ}27'$ acima desse plano no Polo Sul, chega-se ao Solstício de dezembro, sempre em torno do dia 21/12. É o início do verão (inverno) no hemisfério sul (norte). A partir deste dia, o Sol começa a se mover para norte até reatingir o ponto vernal no dia 21/3 do ano seguinte (SANTIAGO; SALVIANO, 2005).

Neste dia a região compreendida entre o Polo Norte e o Círculo Polar Ártico ($66^{\circ}27'N$), os paralelos não estão iluminados, revelando que o Sol não está acima desse plano do horizonte, em nenhum momento do dia (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Entre o Círculo Polar Ártico ($66^{\circ}27'N$) e o Círculo Polar Antártico ($66^{\circ}27'S$) aumenta-se gradativamente a fração em que cada paralelo é iluminado pelo Sol, sendo que na linha do Equador o fotoperíodo é de 12 horas, no Hemisfério Norte menor que 12 horas e no Hemisfério Sul maior que 12 horas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Entre o Círculo Polar Antártico e o Polo Sul, os paralelos ficam totalmente iluminados, indicando que o Sol não se põe nesse dia, apenas descreve uma volta completa em torno do observador, tendo um fotoperíodo aproximado de 24 horas (FROTA; SCHIFFER, 2001).

3.2.2 Equinócio de outono

Em torno do dia 21 de março o Sol, em seu caminho sobre a eclíptica, atravessa o equador celeste. Este ponto de intersecção entre os dois grandes círculos é o ponto vernal. Neste dia, chamado de Equinócio de março, o Sol cruza o equador celeste de sul para norte, marcando então o fim do verão no hemisfério sul da Terra e o fim do inverno no hemisfério norte. Como está sobre o equador celeste, a declinação do Sol no equinócio de março também é nula (SANTIAGO; SALVIANO, 2005).

3.2.3 Solstício de inverno

No momento do solstício de março o Sol culmina zenitalmente em um ponto do Trópico de Câncer, iluminando mais da metade do Hemisfério Norte e menos da metade do outro. Nesta ocasião o Sol se encontra a $23^{\circ}27'$ abaixo do plano do horizonte do Polo Sul e a $23^{\circ}27'$ acima desse plano no Polo Norte (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Entre o Círculo Polar Ártico e o Polo Norte, os paralelos ficam totalmente iluminados, tendo um fotoperíodo aproximado de 24 horas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Entre o Círculo Polar Antártico e o Círculo Polar Ártico aumenta-se gradativamente a fração em que cada paralelo é iluminado pelo Sol, sendo que na linha do Equador o fotoperíodo é de 12 horas, enquanto no Hemisfério Norte é maior que 12 horas e no Hemisfério Sul, menor (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Neste dia a região compreendida entre o Polo Sul e o Círculo Polar Antártico praticamente não recebe iluminação em nenhum momento do dia (FROTA; SCHIFFER, 2001).

3.2.4 Equinócio de primavera

Assim como o equinócio de outono, no equinócio em setembro a declinação do Sol volta a ser nula. Portanto, a metade de cada paralelo encontra-se iluminada, com um fotoperíodo de 12 horas em todos os paralelos, exceto os polos.

Esfera celeste é a superfície imaginária, onde os astros são representados por suas projeções, a partir de um observador situado em uma dada latitude da Terra. A intersecção entre a esfera celeste e o plano horizontal no qual o observador se imagina apoiado será a linha do horizonte. Já a linha que passa pelo observador e é perpendicular ao seu plano horizontal e se encontra com esfera celeste é chamada de Zênite quando se situa acima do observador e Nadir quando se situa a abaixo (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A impressão de que o Sol que se movimenta ao redor da Terra sob o ponto de vista de um observador localizado na superfície terrestre é denominado movimento aparente do Sol. Este efeito é decorrente dos movimentos de translação e rotação da Terra e da inclinação do eixo terrestre. Este movimento pode ser

descrito como uma série sucessiva de circunferências na esfera celeste, com inclinações sobre o plano do horizonte variando em função da latitude deste observador. O movimento diário do Sol percebido na esfera celeste como circunferência é denominado trajetória aparente do Sol (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Cartas solares consistem na representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude específica. A abóbada celeste é representada por um círculo cujo centro da projeção do zênite do observador no plano do horizonte. Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro e as alturas solares são indicadas por círculos concêntricos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

3.3 Fotoperíodo

Define-se fotoperíodo, ou duração efetiva do dia, como o intervalo de tempo transcorrido entre o nascimento e o ocaso do Sol, em determinado local e data. O fotoperíodo não é o período total de iluminação, o qual inclui os crepúsculos matutino e vespertino, quando o local recebe luz solar indiretamente (FROTA; SCHIFFER, 2001).

3.4 Episódio climático representativo

Para se estudar os efeitos do uso de cobertura verde em edificações, é necessário definir os episódios climáticos representativos analisando os dados coletados em particular, aqueles que apresentam alguma peculiaridade.

A adoção de episódios representativos do fato climático dos tipos de tempo pode ser aplicada com segurança na representação das condições climáticas, primeiro, por que é dinâmico, apresenta início e final bem caracterizado e, segundo, por que não se desvincula da gênese do clima, dos fenômenos de circulação atmosférica e do acompanhamento de suas repercussões, através da aquisição dos dados climáticos de superfície, da observação visual dos fenômenos atmosféricos, entre outras atitudes e verificações, que não nos submete a uma ruptura no convívio e interpretação da natureza (VECCHIA, 1997).

A diminuição da escala na análise episódica deverá ser acompanhada por um desdobramento da análise. Em apenas alguns dias é possível analisar a sequência diária do tempo. Enfatiza-se a correlação entre os elementos do clima e o fenômeno estudado (MONTEIRO, 1969).

De acordo com Vecchia (1997), é possível analisar por meio dos episódios representativos do fato climático, que expresse as condições típicas do tempo atmosférico, o comportamento térmico de um dado ambiente, interior ou exterior. O que se pode depreender da aplicação da abordagem dinâmica é a compreensão de que, de fato, o que diferencia os episódios, uns dos outros, são a intensidade e a duração de cada massa de ar que predomina sobre o local, polar, tropical ou equatorial, tornando mais ou menos vigorosa a sua atuação sobre uma dada região, fato que diretamente se reflete no registro dos elementos climáticos tomados em superfície.

O tratamento dinâmico na análise regional é válido em qualquer das escalas geográficas do clima em que lhe coloque. Isso ocorre porque há uma variação sucessiva e encadeada nos valores desses mesmo que tomados de forma separatista, permite a definição de um estado geral da atmosfera, principalmente, quando se adota um período amostral correspondente a penetração e domínio de uma massa Polar Atlântica (MONTEIRO, 1969).

A abordagem dinâmica alcança o nível geográfico quando a análise dos tipos de tempo é colocada em sequência contínua. Mesmo que nas diferentes escalas de tempos ou espaço, será necessária a continuidade da sequência (MONTEIRO, 1969).

O período de observação tomado dessa forma representa o tipo de tempo, através de uma única sequência a cada massa polar que penetra, com características próprias, com particular rigor e duração, na medida em que avança e predomina sobre o local. Dessa forma, pode-se justificar a utilização dos episódios representativos como instrumento de avaliação do desempenho térmico e das condições do Conforto Humano afeitos ao estudo e análise do Ambiente Construído (VECCHIA, 1997).

Portanto, para uma avaliação mais precisa e adequada de cada época do ano pode-se analisar os estados atmosféricos específicos em que uma determinada

massa de ar polar é mais intensa, vigorosa e duradoura. No caso de se determinar os valores máximos e mínimos, médios ou não, das condições climáticas de um local, deve-se estudar as consequências do avanço de uma frente fria sobre os ambientes, as quais devem apresentar as características peculiares à cada época a ser analisada. Assim, os episódios podem ser classificados em episódios de outono, episódios de inverno e verão, etc.

Os valores adquiridos são enquadrados em um episódio climático representativo de uma dada situação peculiar ao conjunto de fenômenos que presidiram o período monitorado. Não representam, portanto, valores aproximados, médios ou mesmo simulados em programas computacionais.

3.4.1 Etapas pré-frontal e pós-frontal

Para cada TIPO DE TEMPO, as ações dos estados atmosféricos em conjunto com os elementos do clima atuam de maneira diferenciada sobre as sensações de cada indivíduo. Basta para isso, considerar dois períodos principais e considerados críticos para a percepção: a fase Pré-frontal e a pós-frontal, quando diferentes estados atmosféricos predominam e distintas massas de ar atuam sobre o local (VECCHIA 1997).

A fase pré-frontal é marcada pela instabilidade atmosférica decorrente da aproximação da massa de ar fria da região polar. As ocorrências características são: nuvens cirrus na fase de prenúncio, aumento da temperatura, redução da umidade do ar e valores de pressão atmosférica, ventos nas direções NO e SO e rajadas na entrada da massa, na etapa do avanço. É importante salientar que a direção do vento no sentido NO-SO ocorre na região de São Carlos, interior do Estado de São Paulo. Todavia, as condições do vento podem mudar, significativamente, para outras localidades geográficas.

A fase pós-frontal é determinada pelas características da origem da massa de ar, com temperaturas menores, valores elevados de umidade relativa e ventos da direção SE, na fase de domínio. Na fase de transição a massa polar entra na porção central do continente e perde gradativamente intensidade, adquire características climáticas locais e passa para a fase de tropicalização (MODNA, 2004).

Vecchia (1997) lembra que os estados pré e pós frontais se alteram de acordo com cada estação do ano. E para cada uma delas, o encadeamento pré e pós-frontal apresentam distintas combinações atmosféricas.

3.5 Definição dos parâmetros para avaliação do comportamento térmico

A definição de parâmetros do comportamento térmico depende do caráter particular de cada investigação e do tipo de respostas esperadas e necessárias na avaliação.

Os parâmetros sugeridos por Vecchia (1997) para serem adotados são:

- 1- Temperatura superficial interna (T_{si}). Esse parâmetro exprimiu o comportamento térmico de cada material construtivo, que compõe cada cobertura específica, com diferentes propriedades termofísicas (emissividade, resistência térmica, etc).
- 2- Temperatura do Globo (TG). A temperatura do globo inclui-se entre as outras variáveis para registrar a atuação da energia armazenada e reemitida pelos materiais, na forma de calor, infravermelho de onda longa (IV_L). Considerando-se nulo, o valor do fluxo interno do ar, pode-se considerar a temperatura de globo igual a temperatura radiante (TR).
- 3- Temperatura de bulbo seco e úmido, respectivamente, TBS e TBH. Essas duas últimas variáveis, adotadas em conjunto, permitem determinar com precisão os valores da umidade relativa do ar.

A avaliação do desempenho térmico, bem como a análise do comportamento térmico de uma edificação, depende dentre outras coisas de quatro variáveis climáticas, radiação solar, umidade relativa e temperatura do ar e, velocidade e direção do vento.

De acordo com Seixas (2015), a dissipação do calor metabólico corporal, característica fundamental para obtenção do conforto térmico, pode acontecer basicamente de três formas, radiação (responsável por 45% da dissipação do calor), convecção (30%) e evapotranspiração (25%). Também é possível dissipar calor do corpo através da condução, quando o mesmo está em contato com superfícies mais frias.

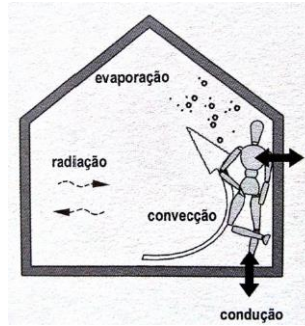


Figura 3: Dissipação de calor e umidade. Fonte: CORBELLA; YANNAS, 2003 apud SEIXAS, 2015.

O mecanismo de convecção é em função da velocidade do ar, já a radiação depende da temperatura do entorno. A evapotranspiração depende parcialmente da pressão de vapor d'água. O processo de dissipação do calor para o ambiente pode gerar “desconforto” quando for insuficiente ou exagerado. Portanto, pode-se definir que o desempenho térmico natural depende principalmente da radiação solar e da temperatura externa do ar. (DOCHERTY; SZOKOLAY, 2003)

3.6 Comportamento e desempenho térmico

De acordo com Seixas (2015), os conceitos de comportamento e desempenho térmico são pautados nas características físicas dos materiais que constituem a edificação, como por exemplo, espessura e condutividade térmica.

O comportamento térmico de acordo com Santos et. al. (2004) analisa a resposta do material ou de um sistema construtivo à solicitação térmica. É uma análise feita de modo a classificar o objeto de investigação em relação à sua condutividade e capacidade térmica.

O desempenho térmico, além de considerar as características térmicas definidas pelo comportamento, é instrumento de comparação de sistemas construtivos em relação à eficiência energética de edificações (SEIXAS, 2015).

Estes dois conceitos, comportamento e desempenho térmico, somado aos aspectos sensoriais da percepção térmica pelo corpo humano, de caráter psicológico e subjetivo, uma vez que as sensações termofisiológicas procuram indicar um estado mental diretamente ligado às condições térmicas do ambiente, permitirão a avaliação do conforto térmico considerando-se, também, as condições

de uso e circulação no ambiente, as atividades e vestimenta dos ocupantes (SEIXAS, 2015).

A avaliação de desempenho térmico com base em episódios representativos garantiriam a precisão e a representatividade da análise realizada ao longo desse período. Fundamentado no vigor das frentes, o episódio representativo pode ainda considerar a duração da fase de domínio da massa polar. Outras singularidades que possam influenciar a característica do episódio devem ser consideradas, tais como os períodos de veranico, que, as vezes, ocorrem durante a situação de inverno (VECCHIA, 1997).

Pode definir-se conforto térmico como a ausência de mal-estar, do ponto de vista térmico. Em fisiologia há o conforto térmico quando para uma atividade sedentária e uma dada indumentária os sistemas termorreguladores não precisam intervir na adequação do equilíbrio ou do balanço térmico do organismo, conforme estabelecem os índices, quando determinados valores ultrapassam os limites estabelecidos (VECCHIA, 1997).

3.7 Inércia Térmica

A inércia térmica é um fator muito importante para determinação do comportamento térmico dos elementos construtivos de uma edificação, já que é uma propriedade dependente do material e de suas dimensões. Os materiais que apresentam inércia térmica alta são utilizados para manter um equilíbrio térmico no interior das edificações. Este equilíbrio acontece quando o ganho de calor interno pelas paredes é mínimo no verão e a perda de calor é mínima no inverno (GALLARDO, 2017).

Segundo Yannas e Maldonado (1995), um edifício com baixa inércia segue de perto a variação da temperatura exterior, enquanto uma inércia infinita, a temperatura interna se manteria constante, ou seja, a necessidade para um edifício possuir uma grande inércia térmica aumenta quanto maior for a variação de temperatura exterior, a radiação solar ou ganhos de calor.

A inércia térmica age de duas maneiras no comportamento térmico. Uma delas é a redução das variações de temperatura interna (Amortecimento térmico) e a

segunda é o intervalo de tempo de temperaturas internas em relação às temperaturas exteriores (atraso térmico). Estes parâmetros estão diretamente relacionados com as características térmicas do material e da sua espessura (PAPST, 1999).

Segundo Rivero (1986), o atraso térmico (Φ), é o tempo necessário para uma diferença de temperatura que ocorre em uma área para se manifestar sobre a superfície oposta do invólucro. O atraso depende de dois parâmetros envolvidos no processo, tais como: a transmissão de calor por condução em taxa variável, isto é, a condutividade térmica (λ), calor específico (c), a densidade absoluta (d) e a espessura (L). Entretanto, para Ghisi e Lambert (1998), o atraso térmico é o tempo entre os momentos em que a temperatura máxima do ar do lado de fora e no interior de um edifício ocorre, e um fluxo de calor é verificada por meio de um objeto componente construtivo a uma variação periódica da temperatura do ar fora.

3.8 Vegetação em ambiente construído

O paisagismo, especificamente a incorporação de áreas plantadas na malha urbana, pode modificar o microclima destas áreas, bem como de áreas ao seu redor. Tipicamente, a disponibilidade de água ocasiona o aumento da evaporação resultando em temperaturas superficiais menores (ERELL; PEARLMUTTER; WILLIAMSON, 2011)

Os efeitos da vegetação no balanço de energia são complexos. Dentre os fatores que interferem nesse balanço, pode-se destacar a redução da penetração de radiação solar de onda curta na superfície, interceptação das ondas longa de radiação da superfície terrestre para a atmosfera, redução da velocidade do vento e diminuição do escoamento superficial da água (ERELL; PEARLMUTTER; WILLIAMSON, 2011).

O armazenamento de energia nas plantas, diferente de superfícies inanimadas, consiste de dois componentes separados: armazenamento do calor físico e armazenamento de energia bioquímica, resultado da fotossíntese e das trocas gasosas. A troca de calor latente não ocorre somente em decorrência da condensação e evaporação, mas também pela transpiração das plantas através das folhas (ERELL; PEARLMUTTER; WILLIAMSON, 2011).

3.8.1 Paredes e coberturas verdes

3.8.1.1 Paredes verdes

As paredes vivas se caracterizam por envolver estrutura de caixas, mantas ou similares que ancoram as plantas para que se desenvolvam em um sistema de módulos ligados a parede, não necessitando enraíza-la no chão. Esse sistema necessita de um sistema de irrigação na parte superior através de bombeamento ou sistema automático (KÖHLER, 2008).

Diferentes autores têm utilizado de diferentes nomenclaturas ao se referir sobre paredes verdes. De acordo com (KÖHLER, 2008), são usados termos como jardim vertical (*vertical garden*), sistema vertical verde (*green vertical system*), sistema vertical esverdeado (*vertical greenery system*). O termo parede verde é comumente usado para se referir a qualquer sistema vertical utilizando vegetação.

As paredes verdes podem ser divididas em dois sistemas principais, fachada verde e muro vivo (*living wall*), de acordo com o método utilizado para aplicação da parede verde.

3.8.1.2 Fachada verde

As fachadas verdes consistem na aplicação de plantas trepadeiras ou penduradas ao longo da parede, sendo classificadas de acordo com o método de aplicação, elas podem ser direta ou indireta. Fachadas verdes diretas são aquelas em que a planta é colocada diretamente sobre a parede, sem necessidade de material suporte e são consideradas fachadas verdes tradicionais. Já as fachadas verdes indiretas utilizam algum tipo de suporte para planta (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Fachadas verdes são baseadas em sua aplicação das plantas penduradas ao longo da parede. As plantas podem crescer para cima a partir da superfície vertical, ou crescem para baixo a superfície vertical, no caso são pendurado a partir de certa altura (DUNNETT; KINGSBURY, 2008). Fachadas verdes são classificadas como direta ou indireta. No primeiro, as plantas são diretamente ligadas à parede, enquanto que no último uma estrutura de suporte para a vegetação é incluído

(LAURENZ et al., 2005). Esses suportes são na maioria das vezes gradeadas, podendo ser de PVC, metal e madeira (KÖHLER, 2008).

Os sistemas de fachadas verdes indiretas incluem os contínuos, em que uma única estrutura de suporte permite o desenvolvimento da planta, e as modulares nas quais diversas treliças modulares são instaladas sobre a superfície, possuem vaso para as raízes e estrutura individual para o apoio e desenvolvimento das plantas (LAURENZ et al., 2005).

A fachada verde indireta pode exercer a função de uma fachada ventilada (*double-skin facade*), pois em algumas aplicações, cria-se um espaço de ar entre a parede e a vegetação. Dentre os materiais comumente usados para instalação da fachada estão cabos, fios metálicos, treliças de metal (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

3.8.1.3 Muros vivos

Os sistemas de muros vivos (LWS, sigla em inglês), podem ser classificados em dois tipos de acordo com o método de aplicação. O sistema contínuo baseia-se na aplicação de uma tela leve e permeável onde as plantas são inseridas individualmente. O sistema modular é composto por elementos com dimensão específica que inclui o meio de crescimento para a planta. Cada elemento é apoiado por uma estrutura complementar ou fixada diretamente sobre a superfície vertical (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Os muros vivos são sistemas vegetais que permitem a integração de plantas em edifícios altos e grande superfícies, mediante o crescimento uniforme em toda superfície vertical. Estes sistemas alcançam zonas mais altas do que as fachadas verdes e podem ser adaptados a uma grande variedade de superfícies, além disso, permitem a integração de uma ampla variedade de plantas (CORRADI, 2009).

Os sistemas de muros vivos se classificam dependendo do método de aplicação, em contínuos ou modulares. Os LWS contínuos se baseiam na aplicação de telas permeáveis nas quais plantas são inseridas individualmente, enquanto em LWS modulares são utilizados recipientes com dimensões específicas onde são colocados os substratos para o crescimento das plantas. Cada recipiente é

suportado por uma estrutura complementar fixado diretamente a superfície vertical (CORRADI, 2009).

Os sistemas modulares diferenciam-se pelo seu peso, composição e montagem. Pode ser na forma de bandeja, vaso, telha para planta ou saco flexível. O sistema de bandeja em geral são recipientes rígidos, encaixados uns aos outros que serve de suporte para o meio de crescimento da planta. O sistema de vasos utilizam vasos que são presos diretamente à parede ou em uma estrutura de suporte. Já as telhas para plantas são estruturas de apoio com inserções para o plantio. E os sacos flexíveis são sacos com meio de cultivo que podem ser instalados em diferentes tipos de superfície (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

A instalação de muros vivos contínuos é feita fixando a armação na parede formando um espaço vazio entre a parede e a estrutura. Esta armação segura a base que serve de suporte para a planta (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Para Kohler (2008), a principal diferença entre fachadas e muros verdes é que a primeira as plantas crescem diretamente sobre as paredes, enquanto no segundo são utilizados tecnologias e materiais de suporte para aplicação desta técnica.

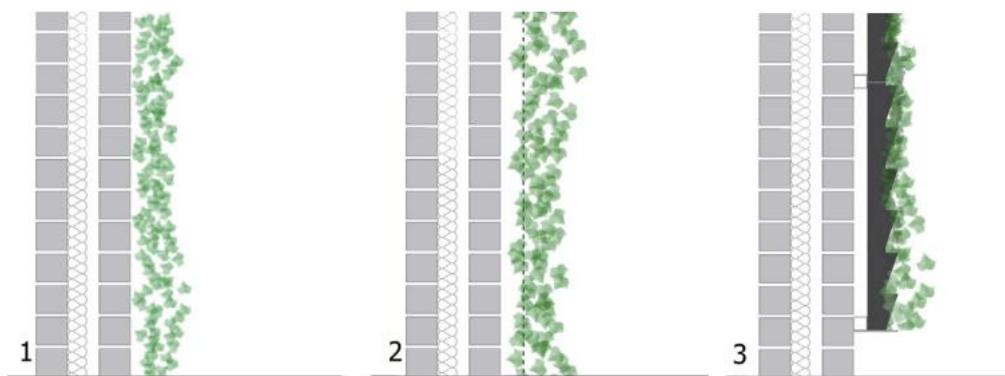


Figura 4: 1- Fachada verde direta, 2- Fachada verde indireta, 3- Sistema de muro vivo. Fonte: PERINI, ROSASCO (2013) adaptado

3.8.1.4 Fachada verde

Entende-se por fachada verde uma instalação vertical coberta de plantas de variadas espécies cultivada sobre uma estrutura dando a aparência de jardim vertical, por isso, também ser conhecido por esse nome (VILLA, 2009). A vegetação apropriada para este tipo de construção depende das condições climáticas, as

características de construção e as condições ambientais em que se insere a parede verde. Plantas trepadeiras são consideradas uma solução econômica. Estas espécies contêm dois principais tipos de folhas, perenes ou caducas. As plantas de folhas perenes mantem suas folhas ao longo do ano e as plantas de folhas de caducas perdem suas folhas no outono (KISSMANN; GROTH, 1997). Assim sendo, uma fachada verde de plantas de folha caduca, não só implica uma forte mudança visual durante todo o ano, mas também afetam o comportamento térmico do edifício em que está instalado. Normalmente são usadas em locais com inverno frio, assim, a falta de vegetação para essa estação, a luz direta do sol sobre a fachada, que implica um aumento da temperatura interna (PÉREZ et al., 2011).

A Figura 5 mostra um esquema de classificação dos tipos mais comuns utilizados de paredes verdes atualmente.

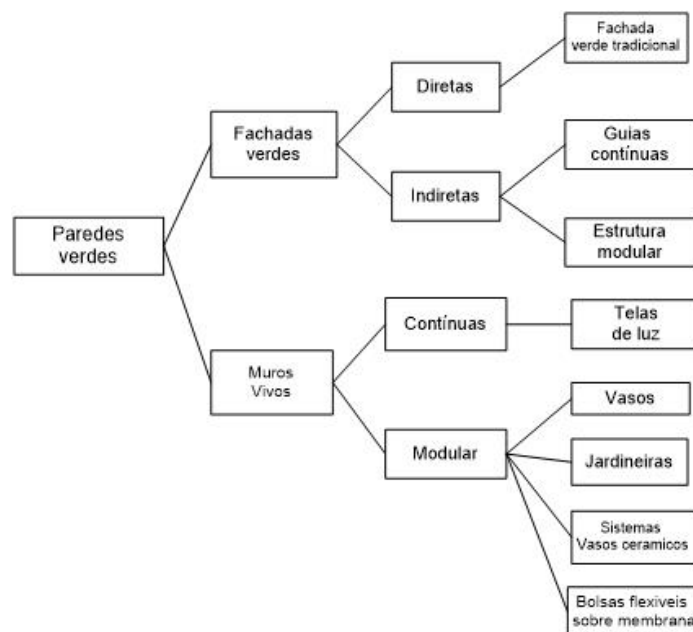


Figura 5: Classificação dos tipos mais comuns de paredes verdes usados atualmente. Fonte Manso e Castro Gomes (2015) adaptado.

O uso de fachadas verdes pode ajudar no desempenho térmico de edificações localizadas tanto em regiões de clima quente quanto em climas frios. Em regiões de clima quente amenizam as temperaturas da superfície das paredes através do efeito de sombra, além de gerar uma carga de resfriamento pelo microclima das plantas quando adultas. Já em regiões de clima frio atuam como

retardadoras de perda de calor pela parede do edifício (DUNNET; KINGSBURY, 2008).

3.8.1.5 Coberturas verdes

São denominadas coberturas verdes toda superfície exterior de uma cobertura preparada para receber vegetação. Em geral, as coberturas verdes são formadas por cinco componentes principais: uma membrana anti-raiz, uma membrana impermeável, uma camada drenante, manta geotêxtil, o solo e suas plantas (TEEMUSK; MANDER, 2009).

As coberturas verdes podem ser classificadas em extensivas e intensivas, em função da profundidade da camada de substrato, do tipo de vegetação e dos materiais utilizados para construção (SUN et al., 2013).

A cobertura verde intensiva é uma camada de substrato de jardim da cobertura que tem uma profundidade de pelo menos 15 cm (DUNNETT; KINGSBURY, 2008) e geralmente tem uma inclinação inferior a 10 °. Eles são capazes de suportar maior estrutura da planta, exigindo, portanto, o reforço estrutural adicional. A principal vantagem deste sistema de cobertura é a criação de um ambiente natural que envolve a melhoria da biodiversidade do ambiente (CHEN; PEI; SHIAU, 2015; ROWE, 2011).

A cobertura verde extensiva não requer processo de construção tecnicamente difícil. O tipo de vegetação normalmente utilizado é na maior parte nativa, ou seja, resiliente e facilmente adaptável para colocar as plantas, como pavimentos estão expostos a ventos fortes, geada e / ou luz solar direta, especialmente no verão (ZINCO, 2016). O sistema é mais apropriado para grandes telhados ou telhados inclinados e a camada do substrato deve estar entre 2 e 15 centímetros de profundidade. Além disso, não necessita de muita manutenção, sendo necessário em torno de três visitas anuais para controle (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

Entretanto, para Dunnet e Kingsbury (2008), classificar as coberturas verdes somente em dois grupos é muito restritivo, já que pode haver uma combinação de ambas. Por este motivo, é sugerida a denominação semi-extensiva. A principal característica desse tipo de telhado é que ele admite diversos tipos de vegetação desde arbustos pequenos a plantas aromáticas junto com outras da família usada na

extensiva. Este tipo de cobertura exige os mesmos requisitos que a extensiva, porém a profundidade do substrato deve estar em 10 e 20 centímetros.

É importante que se faça uma manutenção correta das plantas, evitando o crescimento excessivo das plantas e eliminar pedaços de madeira podre e evitar o acúmulo de água parada no sistema, com isso evita-se presença de insetos indesejados (SHARP, 2008 apud DE LIMA JUNIOR; DE MEDEIROS; TAVARES, 2014)



Figura 6: Esquema dos tetos verdes: 1- Extensivo, 2- Semi extensiva, 3- intensivo. Fonte: RAJI, TENPIERIK, VAN DEN DOBBELSTEEN (2015) adaptado

3.9 Benefícios das coberturas e fachadas verdes

Existem diversos benefícios na aplicação tanto de coberturas quanto de fachadas verdes e entre eles podemos destacar os seguintes: redução das ilhas de calor urbano em microescala urbana, mitigação da demanda de energia para aquecimento e refrigeração, redução e atraso do escoamento de águas pluviais, melhora da qualidade do ar, restauração de zonas verdes, aumento da biodiversidade e isolamento do edifício, tanto térmico quanto acústico (VECCHIA; TECH; NEVES, 2020).

3.9.1 Isolação térmica

A maioria dos estudos já efetuados sobre cobertura verde está relacionada com sua capacidade de isolante térmico e sua consequência melhoria da eficiência energética de edificações. Uma cobertura verde não tem capacidade de arrefecer um edifício, mas sim, de atuar como um bom isolante, reduzindo o fluxo de calor do ambiente externo para o interno durante o verão e evitando a perda do calor interno

durante o inverno comparativamente a uma cobertura tradicional (LIU; BASKARAN, 2003).

A distribuição de temperatura em áreas urbanas é afetada pelo equilíbrio da radiação solar incidente sobre as superfícies e é absorvida e convertida em calor sensível. Tetos, fachadas de edifícios, ruas, praças, etc., representam um grande armazenamento de calor em massa, voltando ao ambiente na forma de radiação de ondas longas com um intervalo de tempo, resultando no que é conhecido como Efeito ilha de calor. A intensidade deste efeito depende da porção visível do céu, a emissividade da superfície de material, inércia térmica, etc. Áreas construídas oferecer mais área de superfície para a absorção de calor, que será, então, lentamente irradiada durante a noite (GRUJIC, 2011).

O uso de espaços verdes e plantio de árvores são a primeira e mais eficaz medida para reduzir os efeitos da ilha de calor urbana. A vegetação tem a capacidade de reduzir a temperatura diária de edifícios em até 5% com o sombreamento das fachadas, já que a energia incidente pode ser transformada de calor latente em calor sensível, através de um fenômeno conhecido resfriamento por evapotranspiração, ajudando reduzir os efeitos da ilha de calor (SHEWEKA; MAGDY, 2011).

As coberturas verdes possuem a vantagem de atenuar as temperaturas internas devido ao efeito da inercia térmica, referente aos elementos do ambiente construído. Assim, ocorre um atraso na transmissão do fluxo de calor proveniente da radiação solar, na qual a máxima temperatura registrada no interior da edificação acontece após a máxima temperatura externa (LOPES, 2007).

3.9.2 Retenção de águas pluviais

Em uma cobertura tradicional, a maior parte da água precipitada escoar diretamente para as galerias pluviais, ocasionando assim, um grande fluxo no sistema. Uma das formas de amenizar esse problema é criando superfícies que permitam atrasar o escoamento da água da chuva. Neste aspecto, as coberturas verdes podem representar uma das soluções, pois parte da água é incorporada ao substrato, parte é evapotranspirada e o excedente escoar para o sistema de drenagem da cidade, ajudando assim, a retardar o fluxo das águas pluviais e

reduzindo a frequência dos eventos de inundação, que é um problema de extrema relevância (SANTOS, 2012).

3.9.3 Aumento do espaço útil

Espaços antes não acessíveis nas coberturas convencionais de casas e edifícios tornam-se uma opção de uso da área com as coberturas verdes. Os benefícios podem incluir descanso e restauração do bem-estar aos seus frequentadores, mesmo quando as coberturas verdes são acessíveis apenas como aspecto visual, ajudando a compensar as áreas verdes que estão cada dia mais se extinguindo nos grandes centros urbanos. Outros usos para os telhados verdes incluem a agricultura urbana: a produção de alimentos pode trazer benefícios econômicos e educacionais para os moradores locais (DA SILVA et al., 2008; HARTIG; MANG; EVANS, 1991).

3.9.4 Benefícios estéticos e sociais

Uma cobertura com plantas possui um efeito notável se comparado a um telhado convencional, proporcionando sensação de bem-estar aos moradores. Mesmo que o acesso a alguns tipos de coberturas verdes seja habitualmente limitado, podem proporcionar privacidade e segurança melhorando a sensação de conforto dos utilizadores.

Segundo Ackerman (2006), indivíduos que possuem espaços verdes próximos a suas residências têm um espírito comunitário mais acentuado, suportam melhor o estresse e as dificuldades do cotidiano. As áreas verdes têm efeito restaurador sobre a atenção voluntária dos indivíduos, que está relacionada com o tipo de concentração intensa, necessária para trabalhar ou estudar. Ela determina a qualidade do raciocínio e o modo de lidar com situações difíceis. O contato com a natureza permite contemplação e trocas subjetivas com os estímulos sensitivos do meio.

Edifícios construídos com materiais convencionais e expostos a radiação solar absorvem o calor que, vindo das fachadas, elevam a temperatura interna. Como resultado deste aumento de temperatura no interior do prédio, os ocupantes utilizam-se o ar condicionado para a manutenção de uma temperatura confortável, aumentando o consumo de energia (GALLARDO, 2017).

3.10 Ambiente Construído

Entende-se como ambiente construído todo tipo de edificação e os espaços abertos tais como praças, parques, entre outros, os quais fazem parte de uma escala microclimática, tal expressão é amplamente utilizada no campo das engenharias e da arquitetura, compreendendo todos os espaços em que houve ação antrópica sobre o ambiente natural, dos menores aos mais amplos projetos de assentamentos humanos (VECCHIA, 1997). Neste sentido, três conceitos importantes são utilizados: comportamento, desempenho e conforto térmicos. Porém, mesmo sendo conceitos diferentes, são comumente confundidos, pois conferem parâmetros térmicos para definição de estratégia de projetos, construção e avaliação de ambientes (SEIXAS, 2015).

3.11 Bioclimatologia

A Bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano com o fim de criar uma arquitetura adequada para o local, porém, uma arquitetura com um desempenho térmico adequado (LAMBERT et al., 2004). Olgay (1973) estabeleceu uma forma de projeto climático que adota a arquitetura ao clima local. A classificação das escalas do clima varia segundo o autor, mas em geral se divide em macroclima, mesoclima e microclima.

A escala da abordagem é um dos aspectos mais importantes das ciências atmosféricas, definindo numa pesquisa não apenas a área e período de abrangência, mas também as técnicas e métodos a serem empregados em busca de seus objetivos (NUNES, 1998).

É sobre as cidades que se dá a maior deterioração da qualidade do ar e do clima, uma vez que se combinam a artificialização da cobertura do solo associada à emissão de poluentes das mais diversas origens. Consequentemente o clima urbano está ligado à escala mesoclimática ou local, desde que a cidade possua tamanho suficiente para se diferenciar do espaço não urbano circundante e atividade poluente significativa (RIBEIRO, 1993).

A umidade relativa, a temperatura do ar, a temperatura radiante e o movimento do ar influenciam na sensação térmica dos seres humanos, uma vez que

são seres homeotermos, mantendo sua temperatura corporal em torno de 37°C e é praticamente constante. Além disso, possui um mecanismo de termorregulação, que permitem à adaptação as variações climáticas. Esta termorregulação, apesar de ser um meio natural de ganho e perda de calor do organismo, implica num esforço extra e conseqüentemente diminui o desempenho humano (RUAS, 2002).

4 Metodologia

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O projeto foi realizado nas dependências do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CHREA), da Universidade de São Paulo, localizado na cidade de Itirapina, próximo à represa do Lobo numa altitude de 773m acima do nível do mar. O Clima é considerado Tropical de Altitude correspondente a Cwa da classificação climática de Köppen-Geiger e, portanto possui características de calor intenso e inverno seco. A temperatura média ao longo do ano é em torno de 18°C a 22°C (Figura 7).



Figura 7: Localização da área de estudo. Fonte Perussi (2016) adaptado.

As observações meteorológicas de superfície, realizadas nas estações meteorológicas, consistem na coleta rotineira de dados referentes aos diversos elementos meteorológicos, que caracterizam o estado da atmosfera, ou seja, o Tempo (ALMEIDA, 2016).

4.2 Coleta dos dados climatológicos

As informações de temperatura externa do ar, radiação, pressão atmosférica e precipitação foram obtidas na estação climatológica automática do CHREA, cujos

dados são coletados a cada 30 segundos e armazenados em uma média a cada 30 minutos.

A estação é composta por sensores específicos conectados a um *Data logger* CR1000 da empresa *Campbell Scientific* programado para coletar os dados a cada 30 segundo armazenando sua média a cada 30 minutos. O registro da radiação solar global foi utilizado um piranômetro (modelo LI-COR LI200X), os dados de temperatura e umidade relativa do ar foi registrado utilizando um termo-higrômetro (modelo HMP45C), a pressão atmosférica por meio de um barômetro (modelo Vaisala PTB110) e os dado de precipitação por meio de um pluviômetro (modelo TE525WS), (Figura 8).



Figura 8: Estação Automática do CRHEA. Fonte: NEVES (2015)

Os dados coletados pelo equipamento *Data Logger* CR1000 estão em um arquivo com extensão *.dat e precisam ser importados pelo o *Microsoft Excel*, que irá separar cada valor em uma célula utilizando o ponto e virgula (;) ou virgula (,) do arquivo importado como delimitador desses valores. Os valores decimais são delimitados por pontos (.), que devem ser substituídos por virgulas (,) para que o programa entenda estes valores como decimais. Alguns valores não possuem o ponto e precisam ser localizados para que possam ser corrigidos. Estes valores podem ser identificados utilizando a formatação condicional (Figura 9).



Figura 9: Conexão dos termopares ao Data logger. Fonte: O autor (2018)

A Figura 10 mostra uma imagem aérea, fotografada por um VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado), das células de teste no CHREA.



Figura 10: Vista aérea das células de testes. Foto: Eduardo Fraccaroli (2015)

4.3 Células de testes

Nos ensaios para este trabalho foram utilizadas duas células experimentais, constituídas de célula de controle e teto + fachada verde. As fachadas foram plantadas nas faces norte e oeste da célula. A Tabela 1 mostra como está disposto a vegetação no experimento. O experimento deste trabalho é uma continuidade do trabalho iniciado por Gallardo (2017), utilizando-se células experimentais instaladas no CRHEA. Os dados das células de testes foram coletados desde de 2015, por Gallardo (2017) e utilizados para a elaboração desta dissertação.

Tabela 1: Resumo das células usadas no experimento

Construção	Localização da vegetação
CC	Sem vegetação

Fonte: O autor (2020)

As temperaturas da superfície das paredes e da área interna foram coletadas por meio de termopares, conectados a um medidor automático que mede a temperatura a cada 30 segundos e agregados numa média a cada hora. Estes termopares foram instalados de forma subsuperficial, a 2 mm da superfície da parede. Os dados de radiação solar e de variações climáticas que venham a ocorrer são gravados automaticamente pela estação climatológica do CHREA.



Figura 11: Imagem do termopar colocado sob a parede. Fonte: o autor (2018)

As dimensões das células de teste são 2,0 m x 2,5 m x 2,71 m, com o piso feito de cimento e areia. As paredes são feitas de tijolos maciço com dimensões de 10 cm x 20 cm x 5 cm cada e um rejunte de 1,5 cm de espessura entre cada tijolo. Todas as células possuem portas de madeiras localizada na parede leste com dimensões de 2,10 m x 0,60 m e uma janela colocada na parede norte com dimensões de 1,00 x 0,70 m (Figura 12).



Figura 12: Vista frontal da célula de teste

A vegetação da fachada verde foi plantada diretamente no solo e utilizado uma tela suporte para apoio e direcionar o crescimento da vegetação. Este suporte foi preso ao teto distante o suficiente para que a vegetação não fique próxima à parede, tendo, portanto, características de uma fachada verde indireta (Figura 13).



Figura 13: Vista das fachadas Oeste e Norte. Fonte autor (2018)

Todas as células foram construídas sob as mesmas orientações, ou seja, recebem a mesma intensidade de radiação solar, vento e outros eventos atmosféricos. Isso permite que as células possuam as mesmas condições climáticas, bem como não permite a criação de sombras entre elas (Figura 14).



Figura 14: Vista das células de testes. Fonte: o autor (2018).

As células de testes para este trabalho foram os mesmos utilizados para a apresentação do trabalho de doutorado de Gallardo (2017). As fachadas vegetais foram construídas sobre malha metálica hexagonais com 2,40 m de largura e 3,00 m de altura e não mantêm um contato direto com a parede. A espécie vegetal utilizada foi *Thumbergia grandiflora*, conhecida popularmente como Tumbergia Azul (Figura 15) e foi escolhida por sua facilidade em adaptar-se ao clima da região.



Figura 15: Detalhe da flor de Tumbergia Azul. Fonte autor (2018).

A espécie vegetal utilizada na cobertura foi a *Paspalum notatum* (Figura 11) conhecida como grama batatais, grama-forquilha, grama-mato-grosso, grama-comum e grama-de-pasto. Esta grama foi plantada sob um sistema composto por uma capa impermeabilizante, manta geotêxtil e substrato em uma laje de concreto, conforme esquema da Figura 16. Sua irrigação é feita por um sistema automático por aspersão (GALLARDO, 2017).



Figura 16: Vista do teto verde. Fonte: o autor (2018).

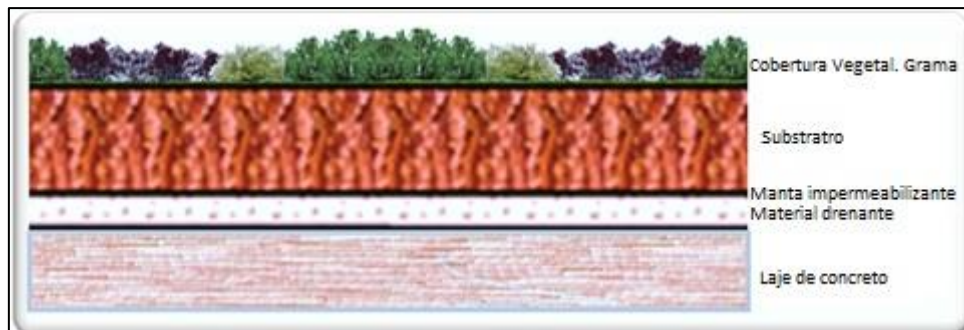


Figura 17: Perfil do teto verde. Fonte Gallardo (2017).

4.4 Coleta dos dados das células de testes

Para a coleta dos dados foram instalados 16 termopares em cada célula teste dispostos conforme esquema da Figura 18.

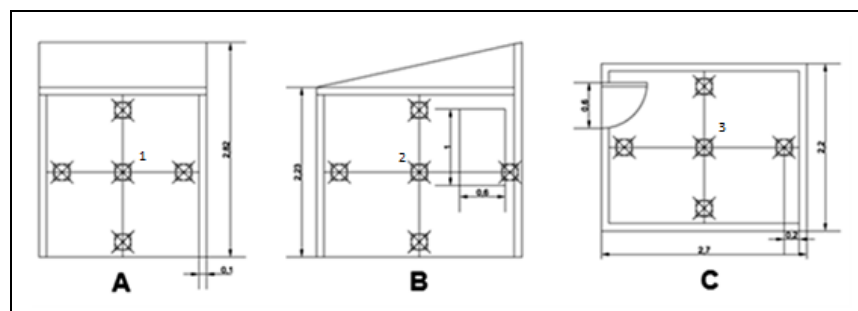


Figura 18: Distribuição dos termopares (sem escala). A- Fachada Oeste. B- Fachada Norte. C- Teto. Fonte Gallardo (2017) adaptado.

Os termopares estão conectados a um multiplexador de 32 canais *Campbell Scientific* AM 416 que por sua vez está conectado ao *Datalogger* da empresa *Campbell Scientific Inc.* modelo CR1000 programado para coletar os dados a cada

30 segundos, armazenando a média a cada hora. Estes equipamentos são alimentados por uma bateria de energia solar (Figura 9).



Figura 19: Imagem interna da célula. Fonte autor (2017).

4.5 Análise do episódio climático representativo

O episódio climático representativo dos tipos de tempo, de acordo com a adaptação de Vecchia (1997) da definição dos Tipos de Tempo de Monteiro (1969), onde são considerados os dados meteorológicos em superfície junto às propriedades das massas de ar em determinado local.

Para a definição de episódios representativos, Vecchia (1997), adotou os seguintes procedimentos básicos:

- Registro de dados climáticos: dados adquiridos através de monitoramento contínuo, com registro dos valores de minuto em minuto, expressos em intervalos a cada 30 minutos.
- Acompanhamento dos dados atmosféricos: são observados visualmente pelo comportamento do regime de ventos, sistema de nuvens e ocorrência de chuvas. Além disso, o registro de entradas de frentes foi complementado por imagens de satélite obtidas via internet, no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As frentes foram classificadas segundo a sua intensidade e duração.
- Análise dos dados obtidos em superfície: a análise dos dados climáticos, obtidos em superfície, levou em consideração o vigor de cada frente observada nas diversas épocas do ano, ao longo da realização das medições. Os valores

registrados de acordo com o vigor da frente permitiram constituir os episódios significativos para cada período analisado, necessários à investigação.

Os dados climáticos obtidos e, associados aos estados atmosféricos, foram considerados de acordo com o vigor de cada frente. Dessa forma, foi possível caracterizar os episódios mais significativos para o período analisado. Esses episódios foram denominados “episódios representativos” do fato climático.

Estes episódios climáticos representativos serão analisados utilizando-se das variáveis climáticas, de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar, além das imagens de satélite do CPTEC/INPE, disponíveis em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp> e as imagens das cartas sinóticas de superfície do CPTEC/INPE, estão disponíveis em <http://tempo2.cptec.inpe.br/cartas.php?tipo=Superficie>.

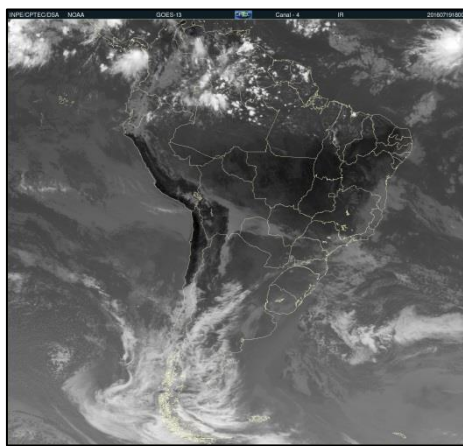


Figura 20: Exemplo de imagem de satélite GOES-13 infra 4

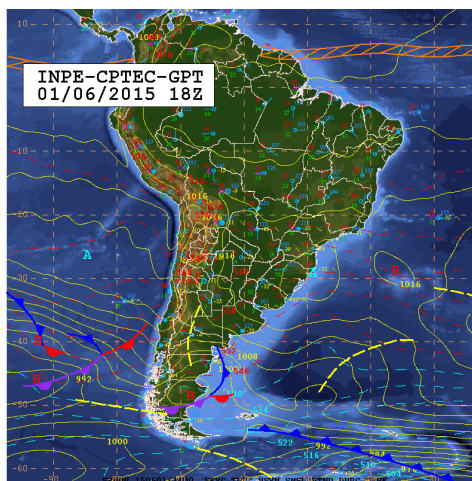


Figura 21: Exemplo de carta sinótica do INPE-CPTEC

Para analisar o episódio climático representativo dos tipos de tempo, devem-se observar as imagens de satélite, a carta sinótica e as variáveis climatológicas, a fim de descrever o fenômeno climatológico.

A observação dos estados atmosféricos será feita por meio da sequência de imagens de satélite e das cartas sinóticas do período estudado e do computo dos dados climáticos da região de estudo. Estes dados climáticos serão analisados na forma de gráficos, permitindo uma melhor interpretação junto às imagens de satélite e das cartas sinóticas.

A elaboração gráfica tenta resolver dois problemas: a decomposição da análise sem quebrar o caráter contínuo e a facilidade de manter a análise em confronto e comparação (MONTEIRO, 1969).

4.6 Avaliação do comportamento térmico das células de testes

Os parâmetros que serão utilizados para a avaliação do comportamento térmico das células de testes são as temperaturas superficiais internas das fachadas oeste e norte, superficiais internas do teto e as temperaturas internas do ar.

As temperaturas internas mostram como as superfícies das células de testes influenciam na ação térmica. E as temperaturas superficiais internas mostram de modo indireto como o teto e as paredes influenciam nas trocas de calor entre o ambiente interno e externo.

Com os dados de temperatura obtidos no experimento, serão selecionados os dados do dia crítico experimental e serão elaborados gráficos para uma melhor visualização das informações, bem como para uma melhor interpretação das variações de temperatura do experimento.

Então, será possível avaliar o comportamento térmico de cada célula de teste e também será possível avaliar o desempenho térmico da célula de teste vegetada em relação à célula de controle.

5 Resultados e discussões

5.1 Episódio climático representativo do mês de abril de 2016

5.1.1 Análise do episódio climático representativo

O primeiro período de estudo deste trabalho foi o mês de Abril de 2016, sendo elaborado o gráfico das temperaturas médias a partir dos dados coletados pela estação climatológica do CRHEA (figura 22). Após a análise do gráfico, foi escolhido o episódio climático representativo entre 24 e 30 de abril, neste período foi registrada a temperatura de 7,2°C no dia 28 às 5:30, sendo este o dia crítico experimental estudado para avaliação do desempenho térmico das células de testes.

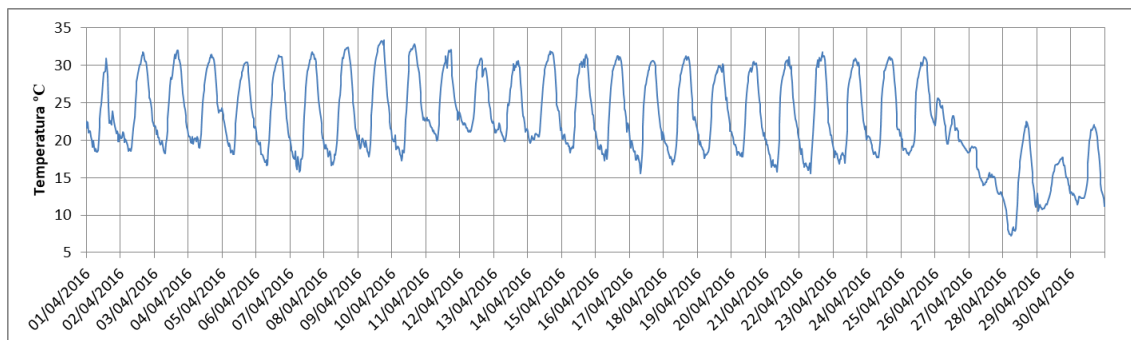


Figura 22: Gráfico das temperaturas médias de Abril de 2016

Em 24 de abril, a região de estudo está em regime de transição com estabilidade atmosférica. À noite, com a aproximação da frente fria a temperatura variou entre 17,6°C e 31,0°C. A pressão atmosférica variou entre 928,7hPa e 932,5hPa. A Figura 23 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

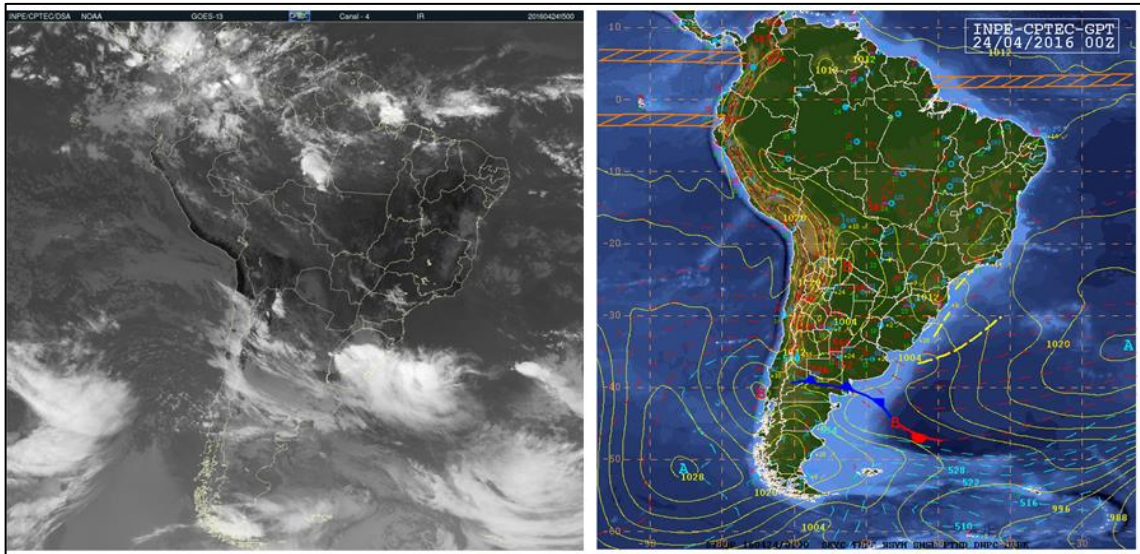


Figura 23: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 24 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)

Em 25 de abril, a massa de ar polar estava sobre a região sul do Brasil e aproximando-se do estado de São Paulo. A região de estudo, a temperatura, porém, não sofreu mudanças significativas em relação ao dia anterior, variando entre 17,8 e 31,3°C. A pressão atmosférica neste período diminuiu, variando entre 925,9hPa e 930,3hPa. A Figura 24 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

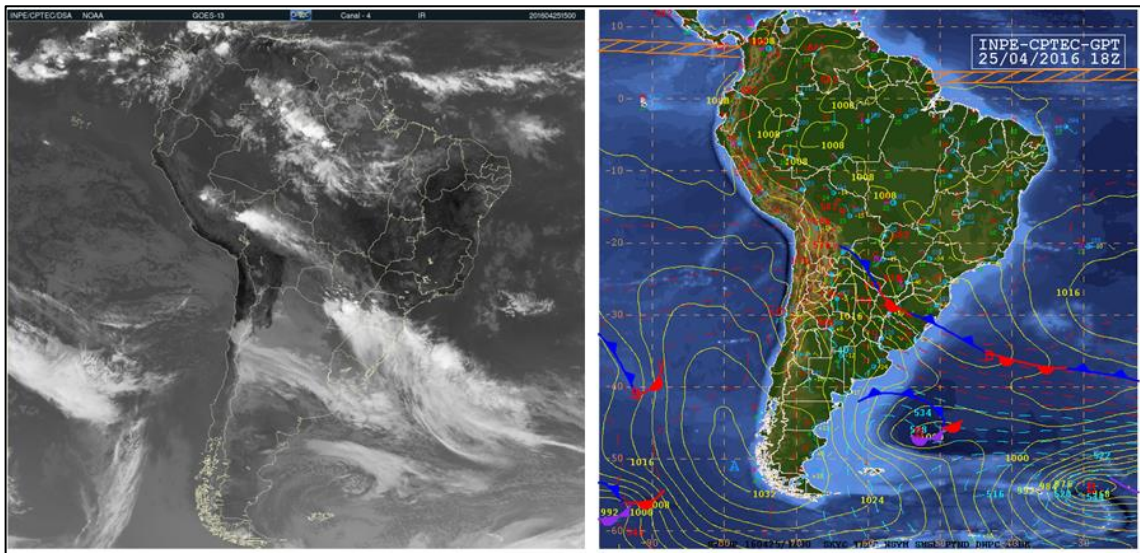


Figura 24: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 25 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)

Em 26 de abril, o sistema frontal chegou avançado sobre a região, provocando uma instabilidade atmosférica, com uma precipitação total de 256mm neste dia. Ocorreu uma diminuição de temperatura ao longo do dia, variando entre

18,5°C e 25,2°C, essa temperatura foi menor na virada para o dia 27. A pressão atmosférica variou entre 925,8hPa e 930,6hPa. A figura 25 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

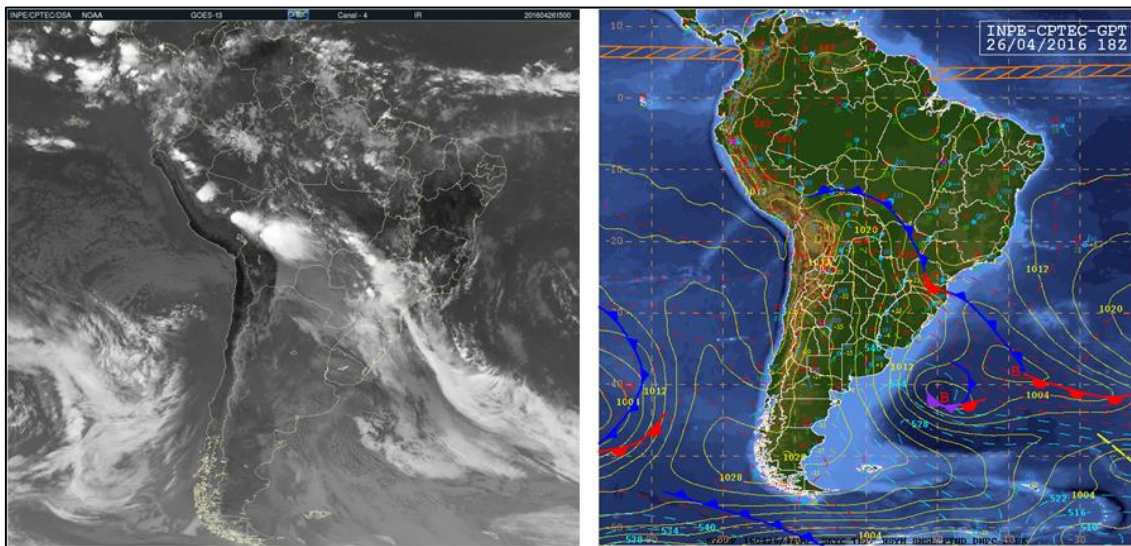


Figura 25: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 26 de abril. Fonte CPTEC-INPE (2020)

Em 27 de abril, a região estava sob o domínio da massa de ar polar, mantendo um ritmo de queda da temperatura ao longo do dia e indo até as primeiras horas de sol do dia seguinte fazendo com mínima de 12,5°C e máxima de 19°C. Observou-se também uma rápida subida da pressão atmosférica, caracterizando o domínio da massa de ar polar, variando entre 928,7hPa e 936,1hPa, com um aumentando progressivo no decorrer do dia. Apesar da presença de nebulosidade, observada pelo gráfico de radiação solar, não foi registrada precipitação neste dia. A figura 26 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

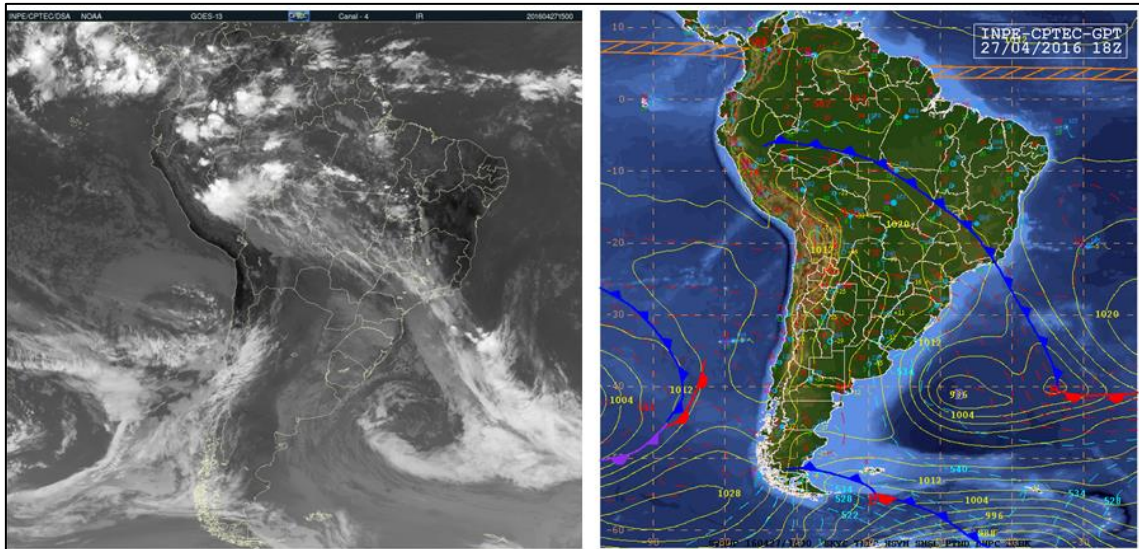


Figura 26: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 27 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)

Em 28 de abril, persistiu-se o domínio da massa de ar polar sobre a região, como consequência a temperatura manteve seu ritmo de queda. Neste dia, foi registrada a menor temperatura mínima durante episódio climático representativo, de $7,2^{\circ}\text{C}$ às 05h30min, sendo este o dia crítico experimental escolhido. A temperatura máxima foi de $22,5^{\circ}\text{C}$. Ao longo do dia, a massa de ar polar foi deixando a região, elevando a temperatura. A pressão atmosférica diminuiu em relação ao dia anterior, ficando entre $933,7\text{hPa}$ e $936,6\text{hPa}$. A figura 27 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

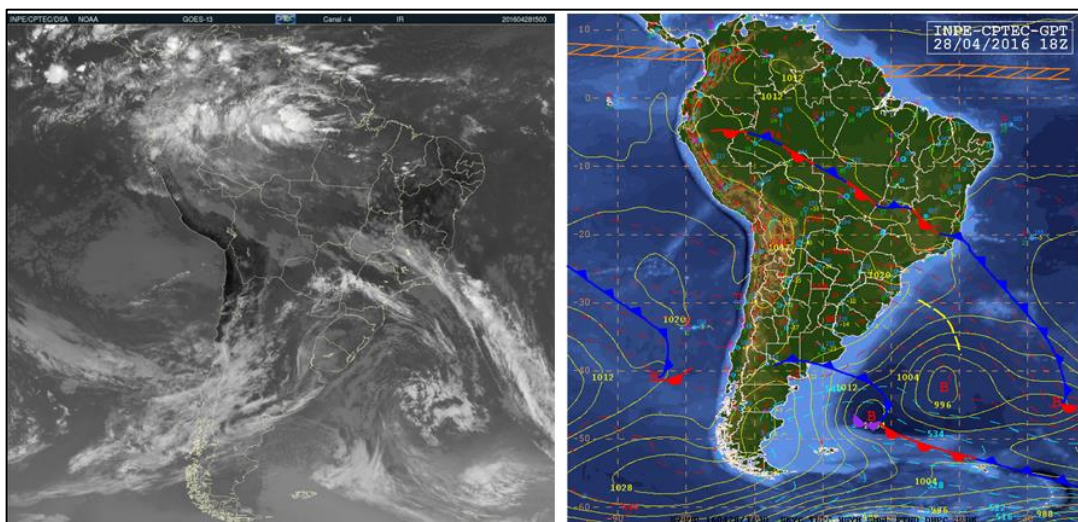


Figura 27: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 28 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)

Em 29 de abril, acontece um reforço da massa de ar polar, com avanço da frente fria, provocando precipitação acumulada total de $58,3\text{ mm}$. A temperatura

variou entre 10,5 e 17,2°C. A pressão atmosférica ficou entre 932,7hPa e 935,4hPa. A figura 28 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

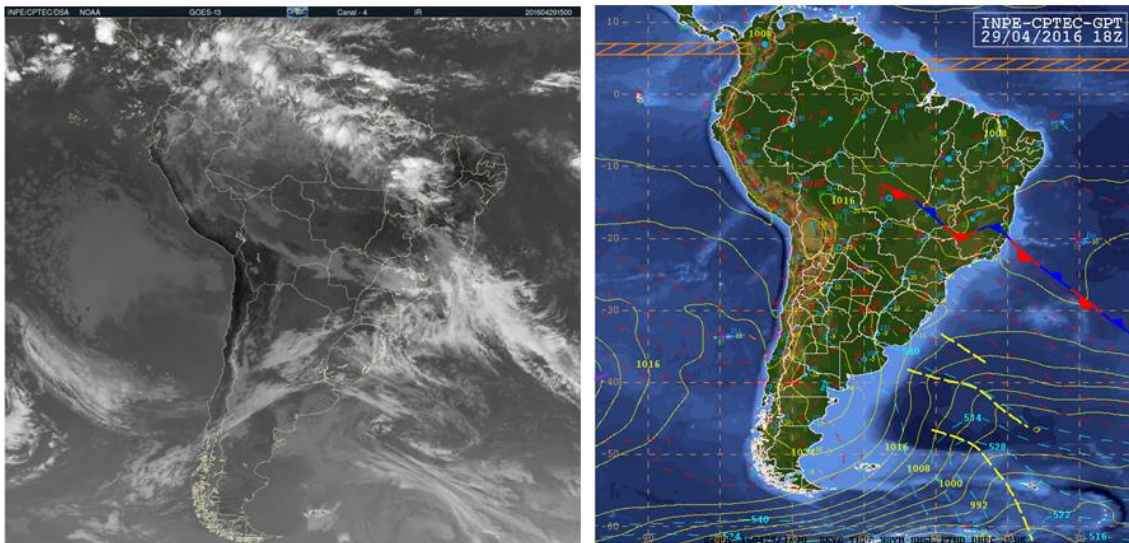


Figura 28: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 29 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)

Em 30 de abril, a região está sob domínio da massa de ar polar, com temperatura variando entre 11,4°C e 22°C. A pressão atmosférica variou entre 931,9hPa e 934,9hPa. A figura 29 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

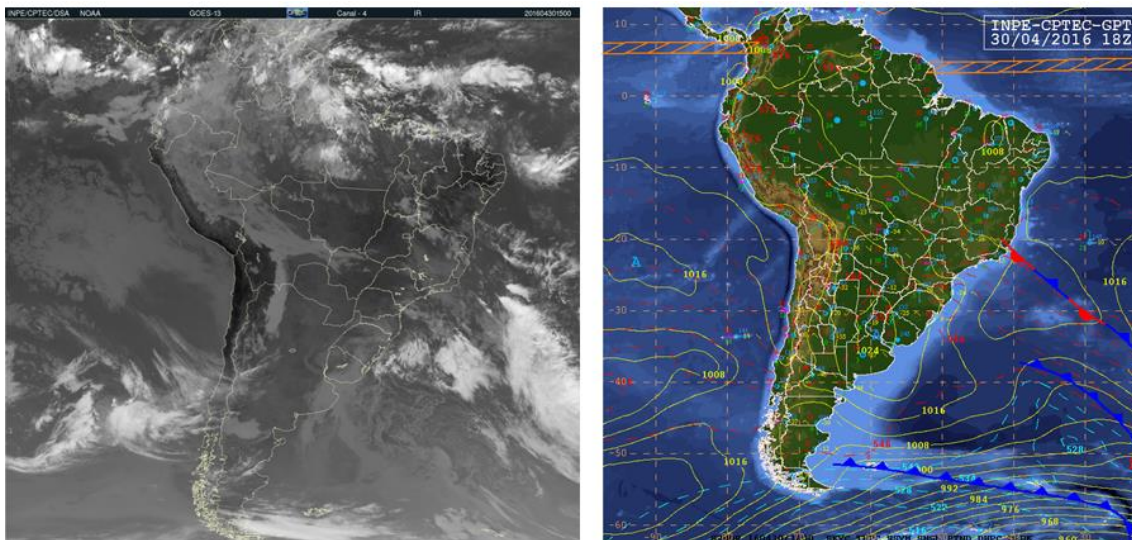


Figura 29: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 30 de abril. Fonte: CPTEC-INPE (2020)

O gráfico dos dados climatológicos (Figura 30), também foi utilizado para a análise do episódio climático representativo dos tipos de tempo junto com as imagens de satélite e das cartas sinóticas do INPE. No gráfico encontram-se as informações referentes à radiação solar média em W/m^2 , umidade relativa do ar em

%, pressão atmosférica em hPa, temperatura média do ar em °C e precipitação acumulada do dia em mm.

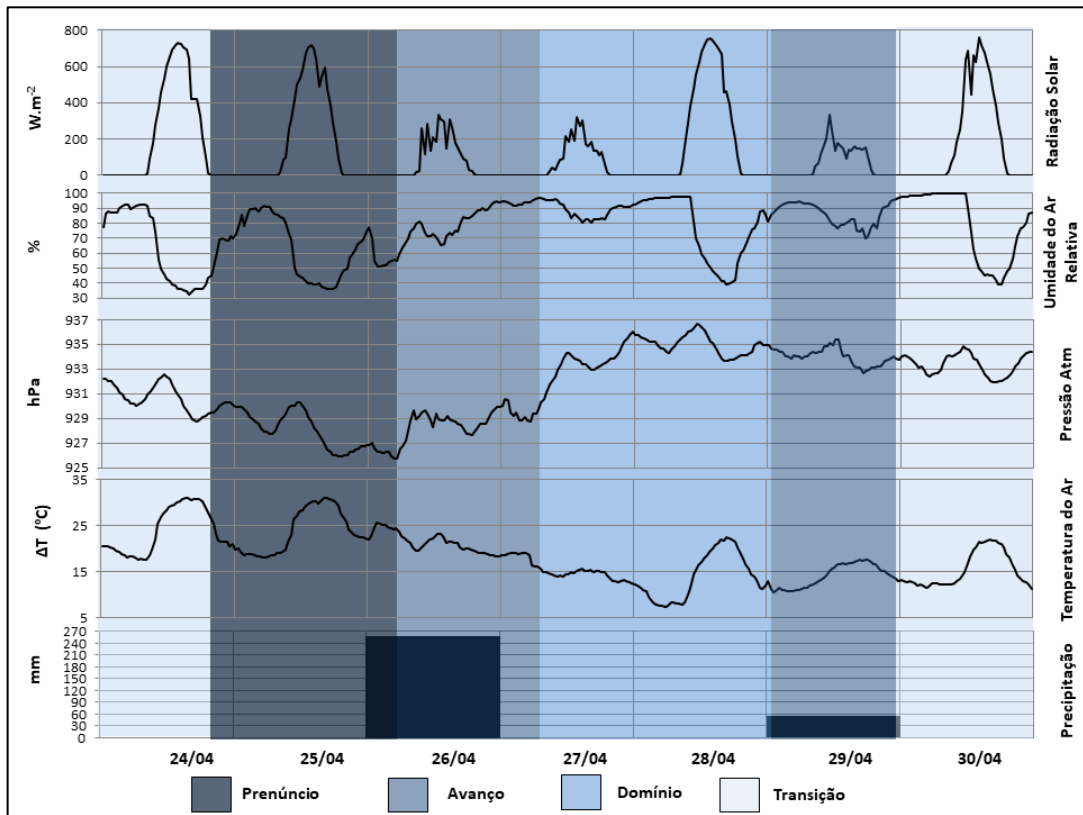


Figura 30: Gráficos com as variáveis climatológicas do episódio estudado. Fonte: o autor (2020)

Após a descrição do episódio climático representativo dos tipos de tempo e definição do dia crítico experimental, foram elaborados quatro gráficos com as temperaturas das células de testes para o dia 28 de abril de 2016, sendo um gráfico para as temperaturas superficiais internas das fachadas norte, para as temperaturas superficiais internas das fachadas oeste, para as temperaturas superficiais internas do teto e para a temperatura interna do ar das células de teste. Nestes gráficos também estão presentes a radiação solar e temperatura média do ar.

5.1.2 Avaliação do comportamento térmico das células de testes

Definido o dia crítico experimental a partir da análise do episódio climático representativo, foram elaborados os gráficos para avaliar o comportamento térmico das células de testes. Os gráficos correspondem as figuras 31 a 34.

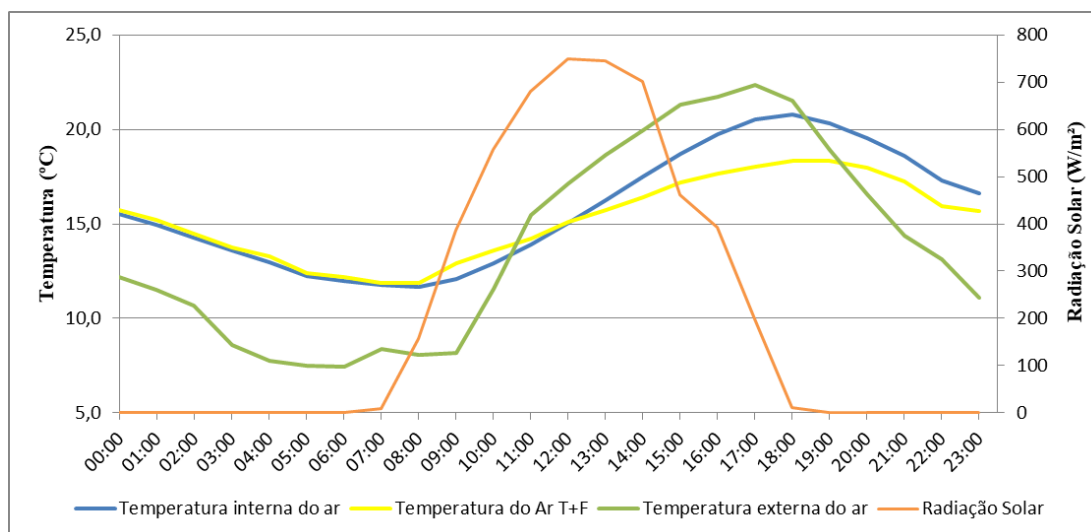


Figura 31: Gráfico de temperatura interna do ar das células de testes, externa do ar e radiação solar. Fonte: o autor (2020)

Verificou-se que a menor temperatura interna do ar registrada na Célula teto + fachada (CTF) foi de 11,9°C às 08h00min, enquanto na célula de controle (CC) foi de 11,7°C também às 08h00min. Com relação às temperaturas máximas registradas, a CTF foi de 18,4°C às 19h00min e da CC foi de 20,8°C às 18h00min, sendo a amplitude térmica de 6,5°C da CTF e 9,1°C. A diferença entre as temperaturas máximas da CTF e CC foi de -1,6°C, enquanto a diferença entre as temperaturas mínimas foi de 0,2°C. Observa-se que as amplitudes térmicas das duas células de testes são menores que a amplitude da temperatura externa do ar que, também possui temperatura mínima menor e máxima maior em relação as mesmas.

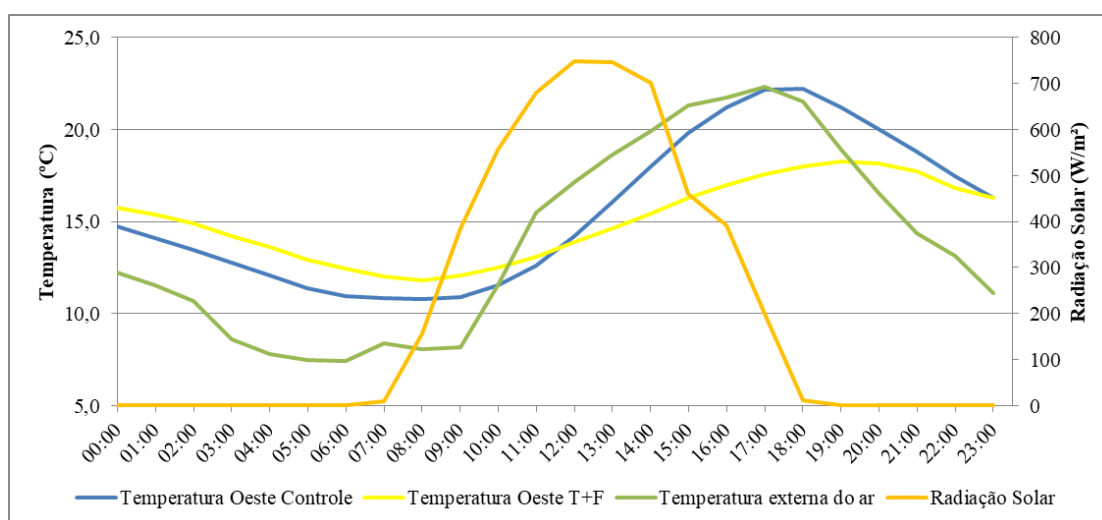


Figura 32: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede oeste e externa do ar e da radiação solar. Fonte: o autor (2020)

A temperatura superficial interna da parede oeste mínima registrada no dia foi de 11,8°C na CTF e 10,8°C na CC, ambos as 08h00min e máxima registrada foram de 18,3°C na CTF e 22,2°C na CC. As amplitudes térmicas da CTF e CC foram de 6,4°C e de 11,5°C, respectivamente. A diferença entre as temperaturas máximas registradas entre a CTF e CC foi de -3,9°C e entre as temperaturas mínimas foi de -1,0°C.

A temperatura superficial da parede de CC se aproximou mais da temperatura externa do ar. Suas temperaturas mais altas se aproximaram mais da temperatura externa do ar.

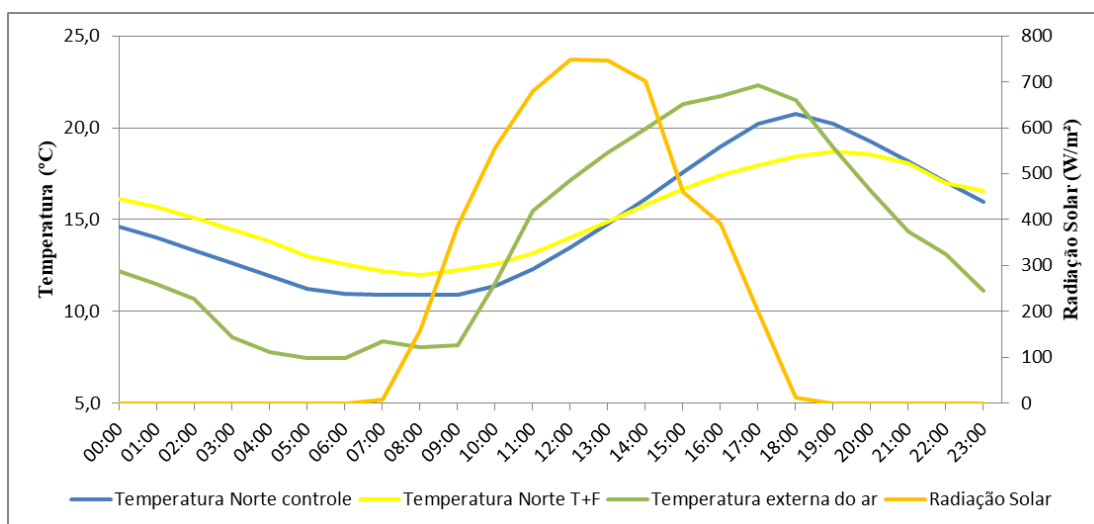


Figura 33: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede norte e externa do ar e radiação solar.

Fonte: o autor (2020). Fonte: o autor (2020)

A temperatura superficial interna da parede norte mínima registrada no dia foi de 12,0°C na CTF e 10,9°C na CC, ambos as 08h00min e máxima registrada foram de 18,7°C na CTF e 20,8°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 6,7°C na CTF e 10,9°C na CC. A diferença entre as temperaturas máximas de CTF e CC foi de -1,9°C e entre as temperaturas mínimas foi de 1,1°C.

Assim como na fachada Oeste, a temperatura superficial da parede de CC se aproximou mais da temperatura externa do ar. Foi observado que os valores máximos de temperaturas tiveram valores mais próximos da temperatura externa do ar.

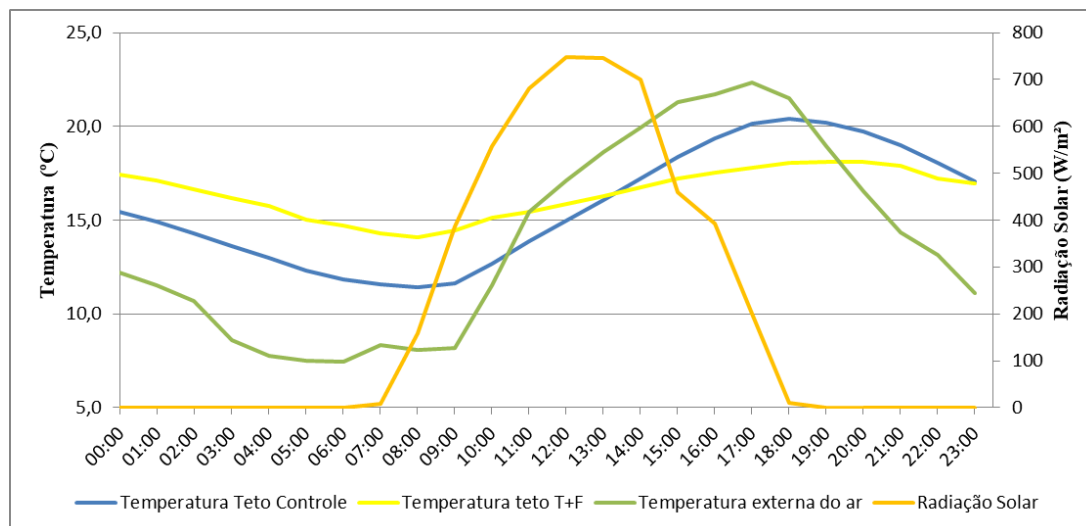


Figura 34: Gráfico das temperaturas superficiais internas do teto e externa do ar e da radiação solar. Fonte: o autor (2020)

A temperatura superficial interna do teto mínima registrada no dia foi de 14,1°C na CTF e 11,4°C na CC, ambos as 08h00min e máxima registrada foi de 18,1°C na CTF e 20,4°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 4,0°C na CTF e 9,0°C na CC. A diferença entre as temperaturas máximas foi de -2,3°C e a diferença entre as temperaturas mínimas foi de 2,7°C.

A temperatura superficial do teto de CC foi próxima a da temperatura externa do ar, entretanto não se aproximou tanto quanto a das paredes.

Na observação dos gráficos, notou-se que o comportamento térmico da CTF foi melhor do que da CC, mantendo a temperatura interna do ar mínima superior em relação CC e mesmo com temperaturas máximas menores do que da CC, a CTF possui um desempenho térmico maior, pois sua amplitude térmica é menor.

Em relação às duas fachadas, tanto Oeste quanto Norte, a CTF teve comportamento térmico melhor do que a CC, principalmente em relação às trocas de calor, pois em ambas as fachadas, amplitudes térmicas foram menores do que as da CC.

A fachada Oeste da CC teve uma temperatura máxima maior do que a fachada Norte, pois nos períodos de outono e inverno, esta fachada recebe uma incidência maior de radiação solar.

Durante os dias frios, em especial, no período de outono e inverno, cuja incidência de radiação solar é menor, ocorre uma diminuição dos processos de troca de calor entre as paredes e teto com o ar de dentro da célula.

Na comparação entre os valores máximos e mínimos, a CTF mostrou um melhor comportamento térmico, em especial para os valores mínimos, onde conseguiu manter valores maiores de temperatura do que as da CC. Considerando que o dia crítico experimental foi para um dia frio e o período de fim de outono, onde as temperaturas tendem a ser menores, a CTF mostrou uma variação menor de temperatura, com amplitudes térmicas menores em relação a CC.

Tabela 2: Valores de temperaturas mínimas e máximas e amplitudes térmicas das células de testes

Ponto de medição	Temperatura (°C)		
	mínima	máxima	Amplitude térmica
Interna do ar controle	5,0	15,1	10,1
Interna do Ar T+F	5,8	14,0	8,2
Oeste Controle	4,2	16,9	12,7
Oeste T+F	6,2	14,2	8,0
Norte controle	3,9	14,8	10,9
Norte T+F	6,3	14,3	8,0
Teto Controle	4,4	13,7	9,3
Teto T+F	7,9	13,7	5,8
Externa do ar	7,4	22,3	14,9

Fonte: o autor (2020)

5.2 Episódio climático representativo do mês de junho de 2016

5.2.1 Análise do episódio climático representativo

O segundo período de estudo deste trabalho foi o mês de Junho de 2016, sendo elaborado o gráfico das temperaturas médias a partir dos dados coletados pela estação climatológica do CRHEA (Figura 35). Após a análise do gráfico, foi escolhido o episódio climático representativo entre 9 a 16 de junho, neste período foi

registrada a temperatura de 2,2°C no dia 13 às 7:30, sendo este o dia crítico experimental estudado para avaliação do desempenho térmico das células de testes.

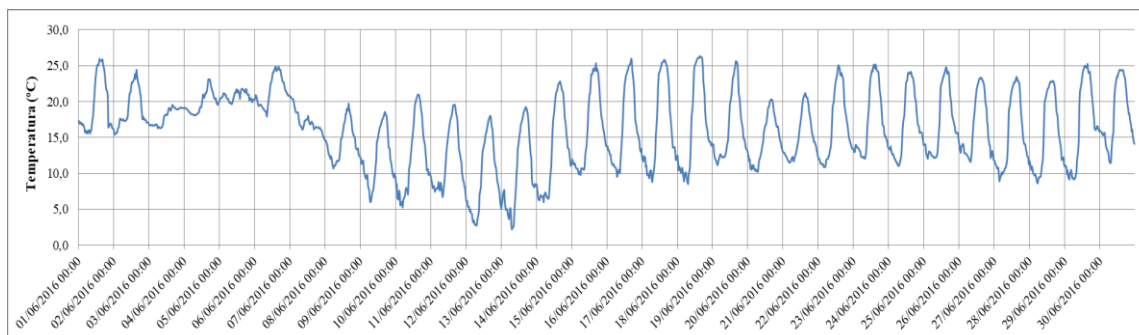


Figura 35: Gráfico das temperaturas médias de Junho de 2016. Fonte: o autor (2020)

No dia 10 de junho, houve um avanço da passagem frontal sobre região de estudo, sem a presença de chuvas. A temperatura variou entre 5,3°C e 20,8°C. A pressão atmosférica variou entre 934,9hPa e 937,7hPa. A Figura 36 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

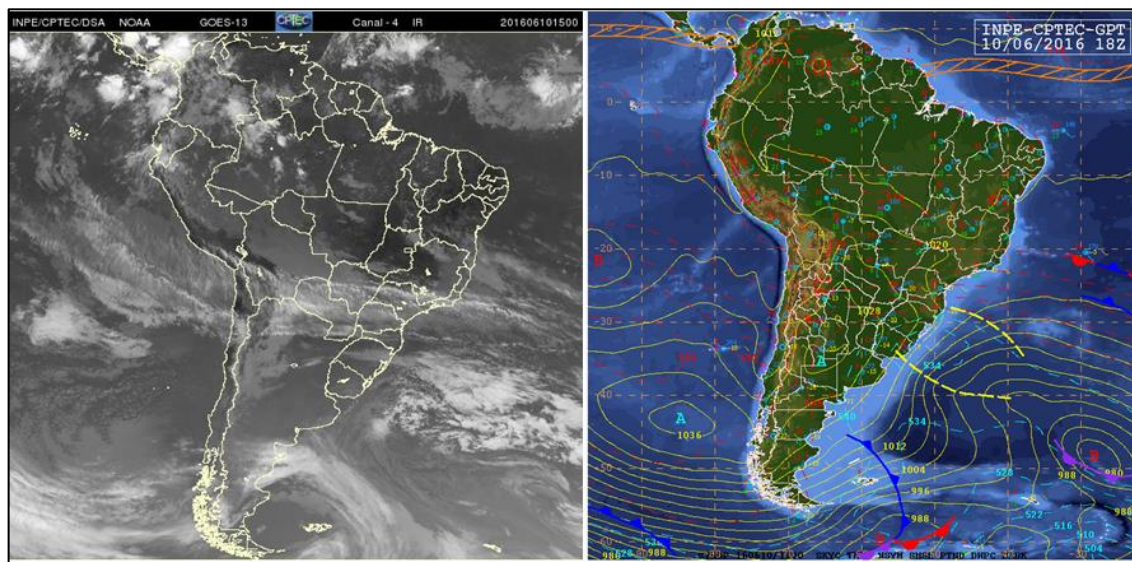


Figura 36: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 10 de junho (2020).

Em 11 de junho, um aumento progressivo da pressão atmosférica ocorreu devido a presença de uma zona de alta pressão da massa de ar polar, provocando a redução das temperaturas na região, tendo o início do domínio da massa de ar polar.

A pressão atmosférica variou entre 936,6 e 939,8 hPa e a temperatura variou entre 6,3 e 19,6°C. A figura 37 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

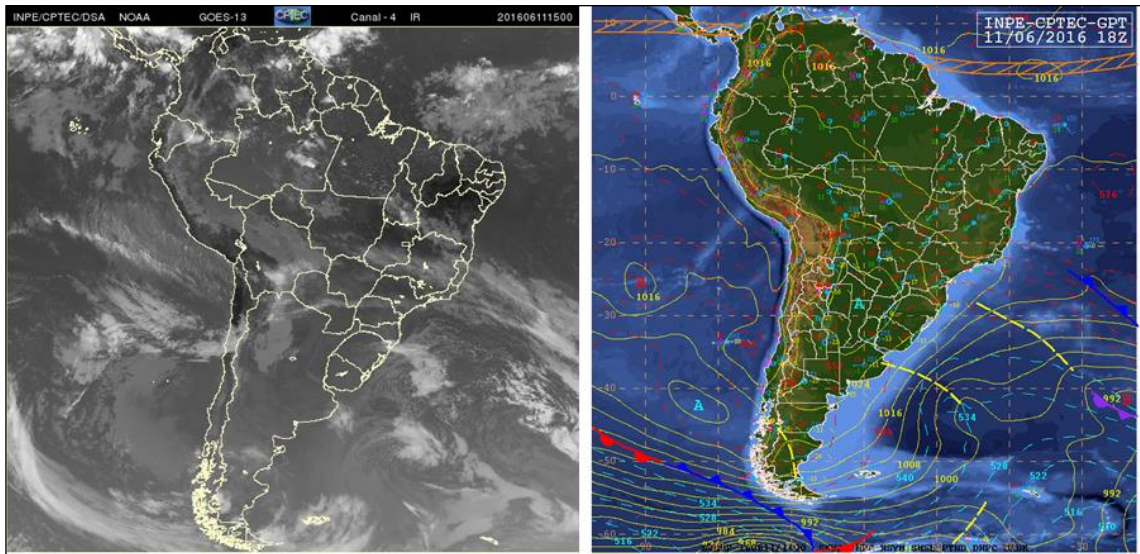


Figura 37: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 11 de junho (2020).

Em 12 de junho, a onda de frio permaneceu sobre a região, reduzindo a temperatura ao longo do dia, em especial durante a madrugada chegando à mínima de 2,8°C, já a temperatura máxima foi de 17,9°C. Do gráfico, observa-se um aumento da pressão atmosférica em relação ao dia anterior, variando de 939,3hPa e 941,9hPa. A figura 38 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

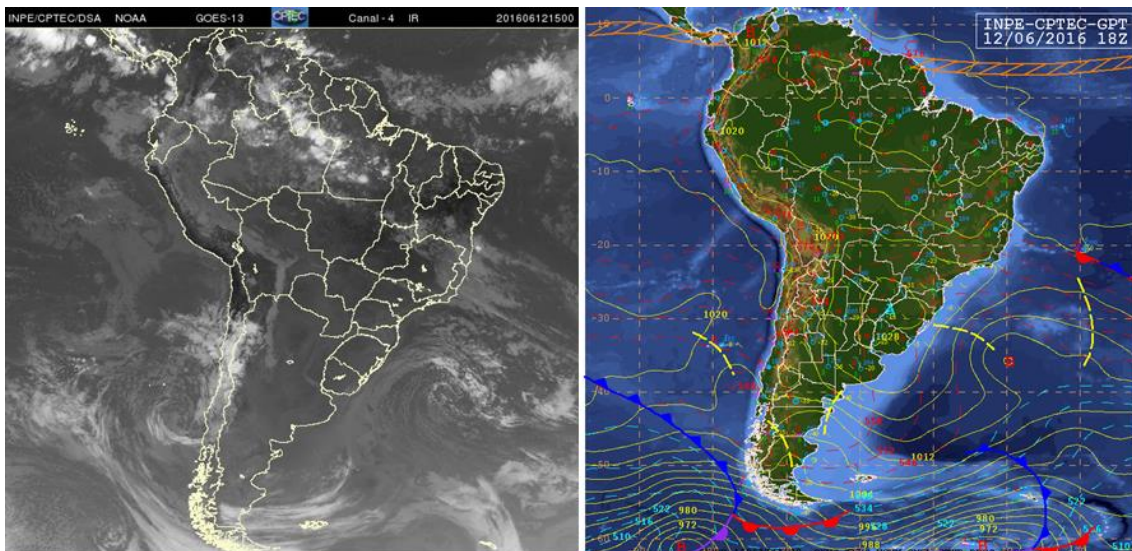


Figura 38: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 12 de junho (2020)

Em 13 de junho, a massa de ar polar continuou sobre a região e na manhã deste dia, foi registrada a temperatura de 2,2°C, sendo esta, a menor temperatura mínima do período de estudo, motivo pelo qual este dia foi escolhido como dia crítico experimental para o mês de junho de 2016. O dia 13, foi o ultimo dia da massa de ar polar sobre a região, com pressão atmosférica variou entre 940,2hPa e 943,0hPa, esse sistema de alta pressão estava sobre boa parte do centro-sul do Brasil causando uma onda de frio sobre toda esta região. A figura 39 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

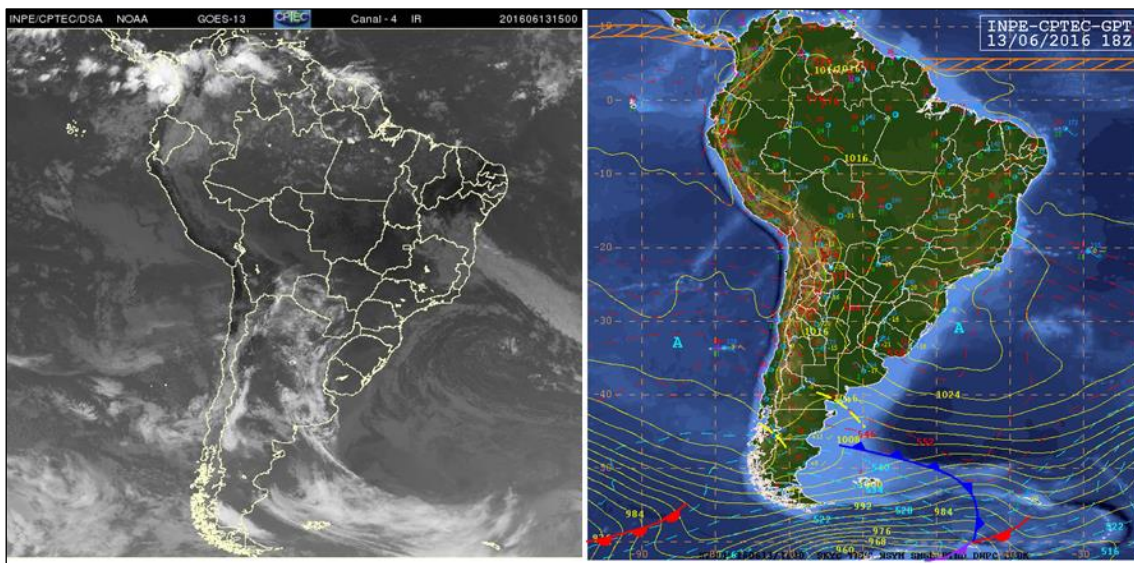


Figura 39: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 13 de junho (2016)

Em 14 de junho, tem-se uma redução da pressão atmosférica, ficando entre 939,1hPa e 942,6 hPa, além de um aumento de temperatura, com mínima de 6,0°C e máxima de 22,8°C, com a mudança das condições do tempo. A figura 40 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

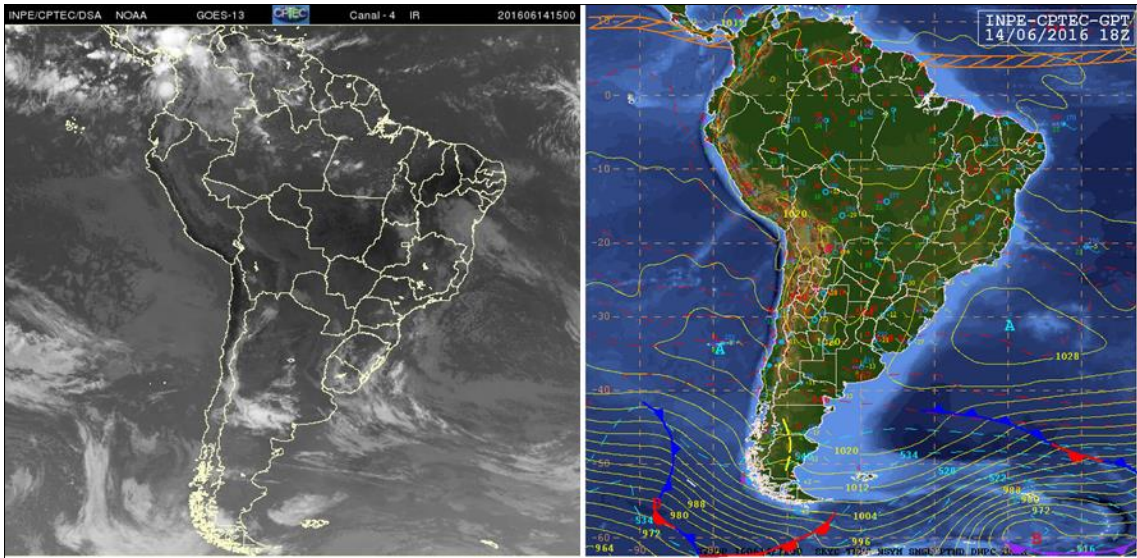


Figura 40: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 14 de junho (2020)

Em 15 de junho, as condições do tempo são semelhantes ao dia anterior, porém, com um pequeno aumento da temperatura ficando entre 9,9°C e 25,3°C. A pressão atmosférica continuou a diminuir, ficando entre 939,0hPa e 942,2hPa. Neste dia, constatou-se a presença de nuvens, como mostra o gráfico de radiação solar da figura 41, porém sem precipitação. A figura 36 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

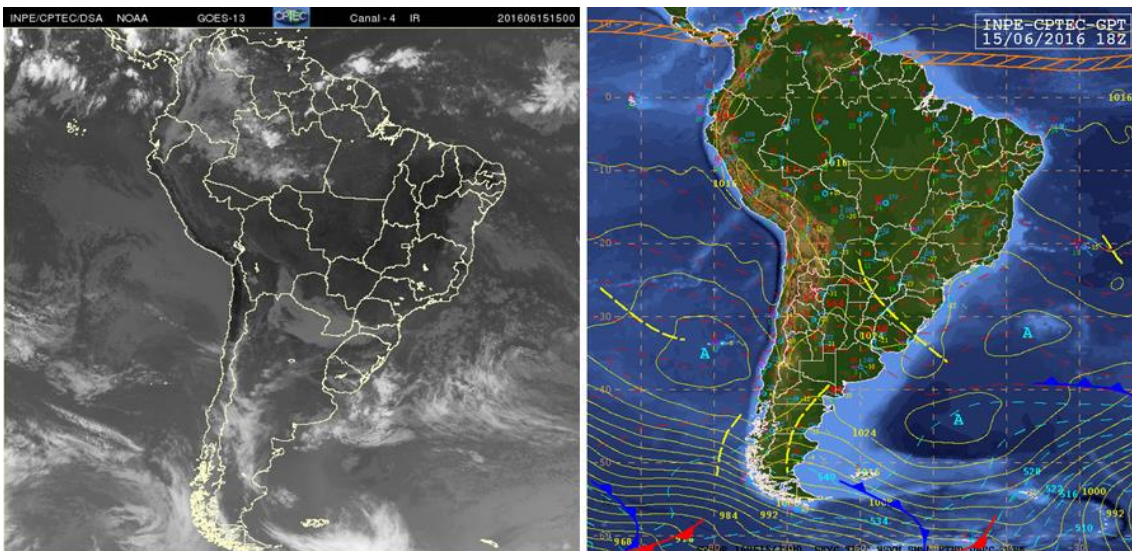


Figura 41: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 15 de junho (2020)

Em 16 de junho, houve uma queda brusca da pressão atmosférica, oscilando entre 936,7hPa e 940,5 hPa e com a temperatura entre 9,9°C e 25,3°C. Através das imagens de satélite e da carta sinótica, foi possível identificar uma frente fria próxima

ao sul do Brasil, indicando o prenuncio sobre a região de estudo. A figura 42 mostra a imagem de satélite e a carta sinótica do deste dia.

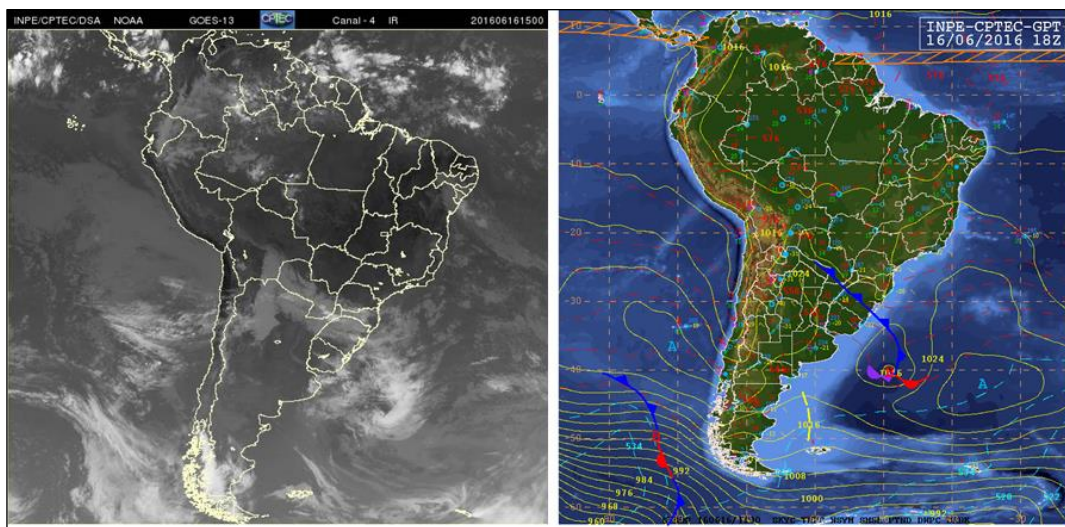


Figura 42: Imagem de satélite e carta sinótica do INPE do dia 16 de junho (2020)

O gráfico dos dados climatológicos (Figura 43), também foi utilizado para a análise do episódio climático representativo dos tipos de tempo junto com as imagens de satélite e das cartas sinóticas do INPE. No gráfico encontram-se as informações referentes à radiação solar média em W/m^2 , umidade relativa do ar em %, pressão atmosférica em hPa, temperatura média do ar em $^{\circ}C$ e precipitação em mm.

Após a descrição do episódio climático representativo dos tipos de tempo e definição do dia crítico experimental, foram elaborados quatro gráficos com as temperaturas das células de testes para o dia 13 de junho de 2016, sendo um gráfico para as temperaturas superficiais internas das fachadas norte, para as temperaturas superficiais internas das fachadas oeste, para as temperaturas superficiais internas do teto e para a temperatura interna do ar das células de teste. Nestes gráficos também estão presentes a radiação solar e temperatura média do ar.

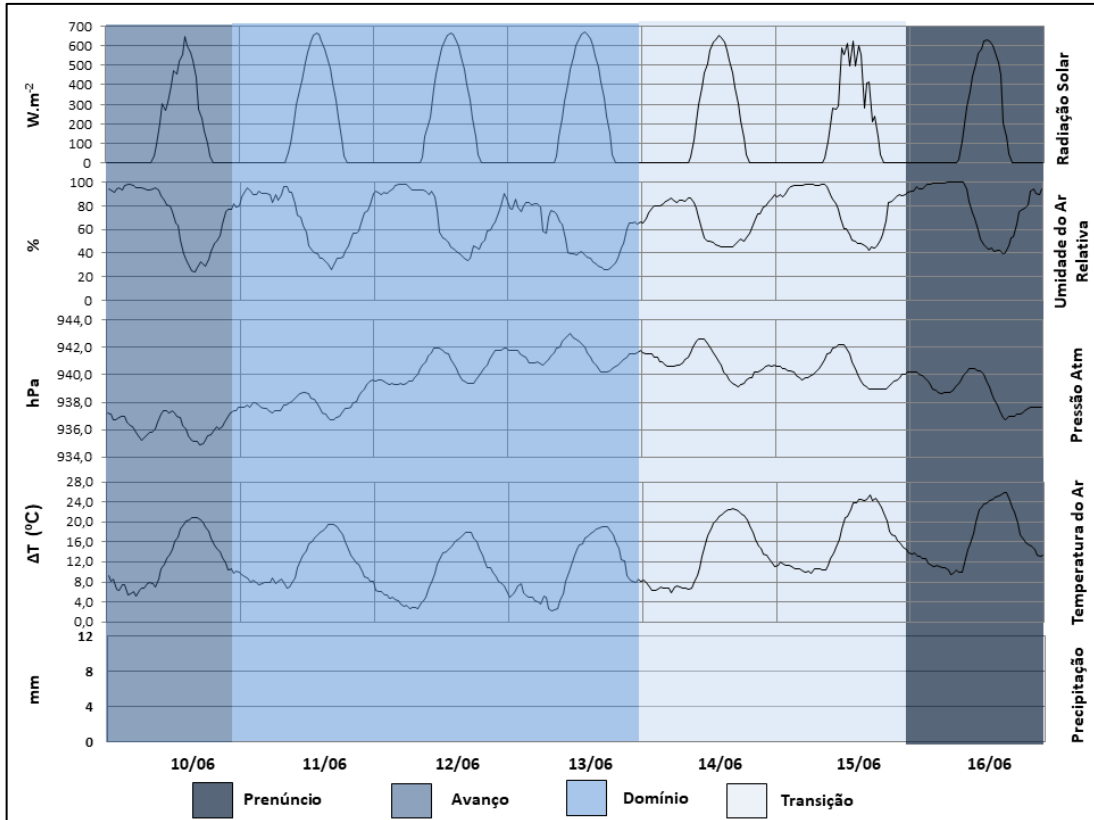


Figura 43: Gráfico com as variáveis climatológicas do episódio estudado. Fonte: O autor (2020)

5.2.2 Avaliação do comportamento térmico das células de testes

Escolhido o dia crítico experimental a partir da análise do episódio climático representativo, foram elaborados os gráficos para avaliar o comportamento térmico das células de testes. Os gráficos correspondem as figuras 44 a 47.

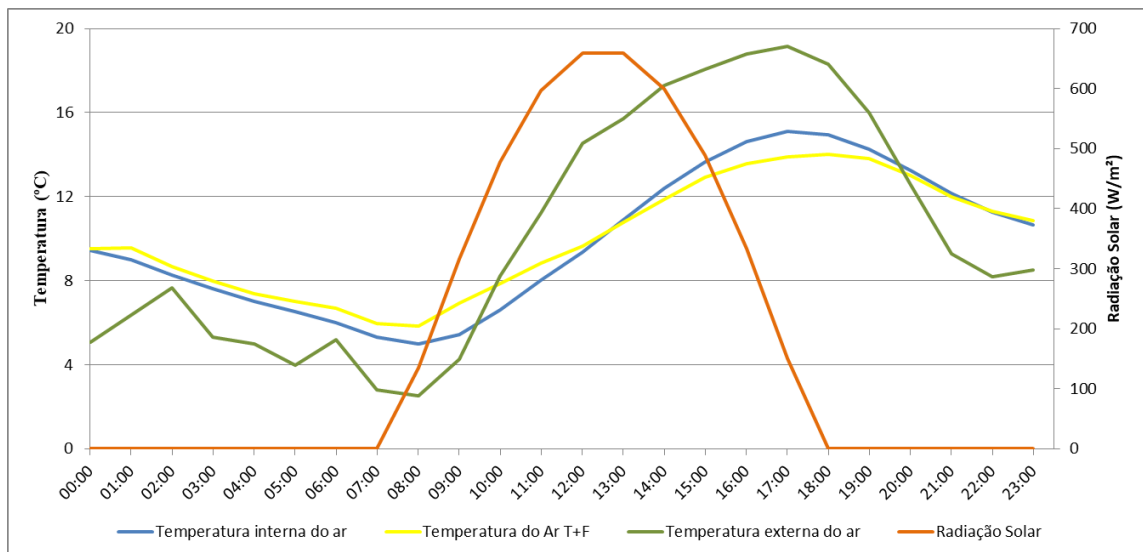


Figura 44: Gráfico de temperatura interna do ar das células de testes, externa do ar e radiação solar.

Do gráfico verificou-se que a menor temperatura interna do ar registrada na Célula teto + fachada (CTF) foi de 5,8°C às 8:00, enquanto na célula de controle (CC) foi de 5,0°C também às 8:00. Com relação às temperaturas máximas registradas, a CTF foi de 14,0°C às 18:00 e da CC foi de 15,1°C às 17:00, sendo a amplitude térmica de 8,1°C da CTF e 10,1°C. A diferença entre as temperaturas máximas da CTF e CC foi de 1,1°C, enquanto a diferença entre as temperaturas mínimas foi de -0,8°C. Observa-se que as amplitudes térmicas das duas células de testes são menores que a amplitude da temperatura externa do ar que, também possui temperatura mínima menor e máxima maior em relação as mesmas.

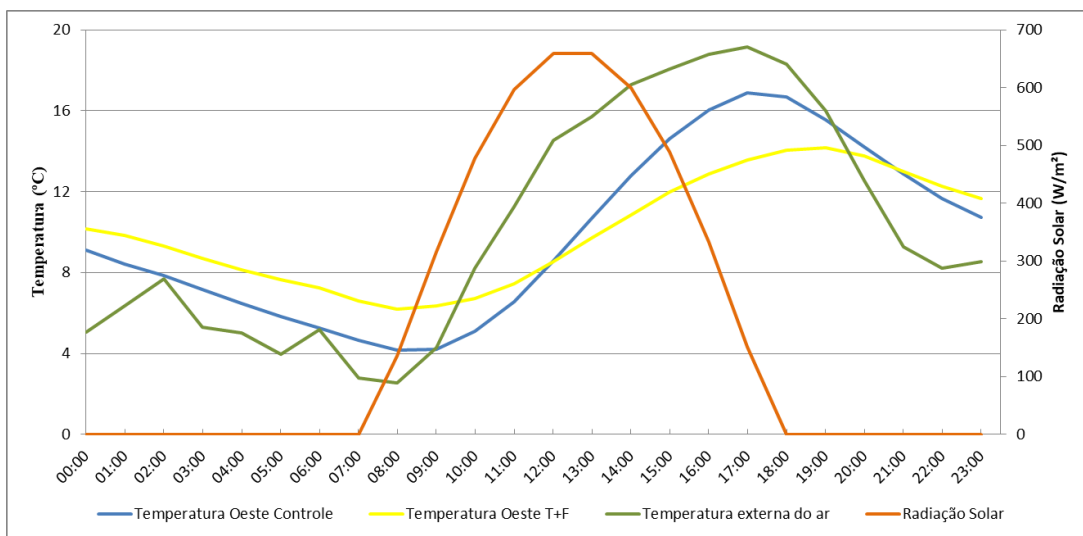


Figura 45: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede oeste e externa do ar e da radiação solar.

A temperatura superficial interna da parede oeste mínima registrada no dia foi de 6,2°C na CTF e 4,1°C na CC, ambos às 8:00 e máxima registrada foi de 14,2°C na CTF e 16,9°C na CC. As amplitudes térmicas da CTF e CC foram de 8,0°C e de 12,7°C, respectivamente. A diferença entre as temperaturas máximas foi de 2,7°C e entre as temperaturas mínimas foi de 2,1°C.

Diferentemente da temperatura interna do ar, a temperatura superficial das paredes se aproximou mais da temperatura média externa do ar, sendo que as da CC, aquelas que mais se aproximaram da curva de temperatura externa do ar.

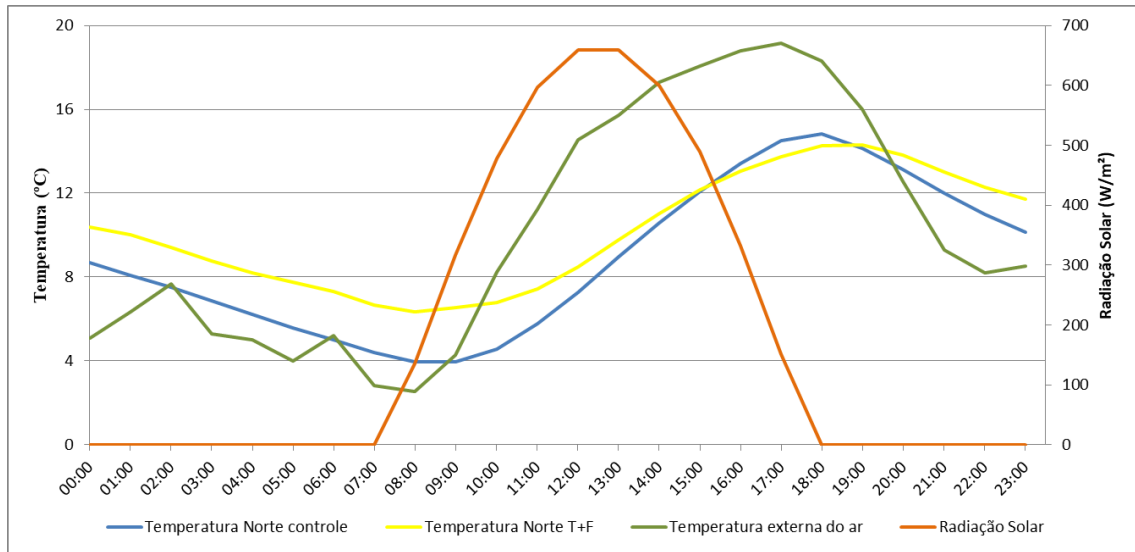


Figura 46: Gráfico das temperaturas superficiais internas da parede norte e externa do ar e radiação solar.

A temperatura superficial interna da parede norte mínima registrada no dia foi de 6,3°C na CTF e 3,9°C na CC, ambos as 8:00 e máxima registrada foi de 14,3°C na CTF e 14,8°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 8,0°C na CTF e 12,7°C na CC. A diferença entre as temperaturas máximas foi de 0,5°C e entre as temperaturas mínimas foi de 2,4°C.

Assim como na fachada Oeste, a temperatura superficial das paredes se aproximou mais da temperatura média externa do ar, sendo que as da CC, aquelas que mais se aproximaram da curva de temperatura externa do ar. Observou-se que os valores mínimos temperaturas tiveram valores mais próximos do que os valores máximos.

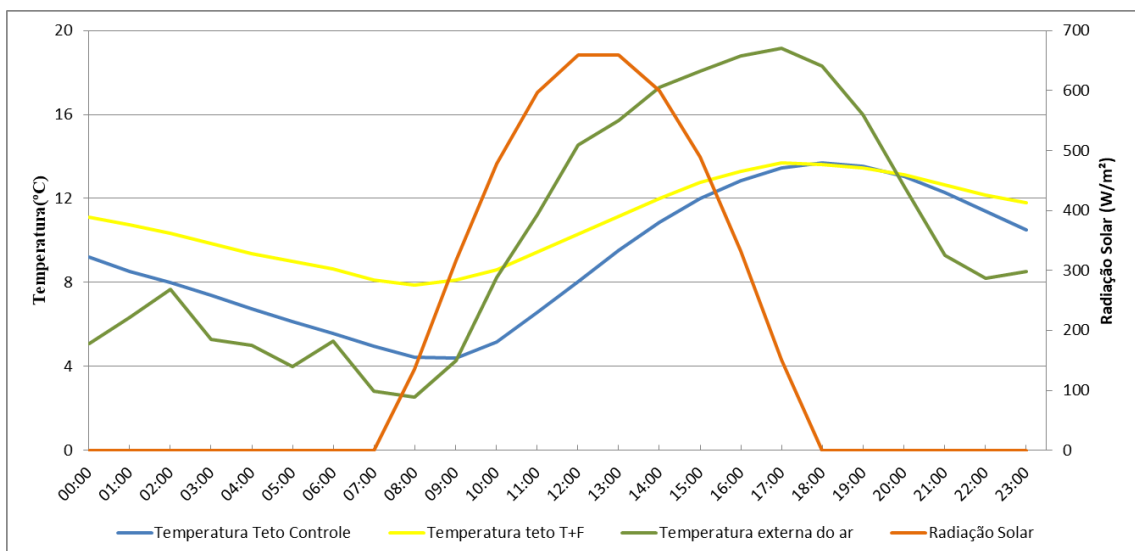


Figura 47: Gráfico das temperaturas superficiais internas do teto e externa do ar e da radiação solar.

A temperatura superficial interna do teto mínima registrada no dia foi de 7,9°C na CTF e 4,4°C na CC, ambos as 8:00 e máxima registrada foi de 13,7°C na CTF e 13,7°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 5,8°C na CTF e 19,3°C na CC. As amplitudes térmicas foram de 8,0°C na CTF e 12,7°C na CC. Não houve diferença entre as temperaturas máximas e a diferença entre as temperaturas mínimas foi de 2,5°C.

A temperatura superficial do teto também se aproximou mais da temperatura média externa do ar, sendo que as da CC, aquelas que mais se aproximaram da curva de temperatura externa do ar. Observou-se que os valores mínimos temperaturas tiveram valores mais próximos do que os valores máximos.

Na observação dos gráficos, notou-se que o comportamento térmico da CTF foi melhor do que da CC, mantendo a temperatura interna do ar mínima superior em relação CC e mesmo com temperaturas máximas menores do que da CC, a CTF possui um desempenho térmico maior, pois sua amplitude térmica é menor.

Em relação às duas fachadas, tanto Oeste quanto Norte, a CTF teve comportamento térmico melhor do que a CC, principalmente em relação a perda de calor, pois em ambas as fachadas, a CTF teve mínimos maiores do que as paredes da CC. Elas também tiveram amplitudes térmicas melhores do que as da CC.

A fachada Oeste da CC teve uma temperatura máxima maior do que a fachada Norte, pois nos períodos de outono e inverno, esta fachada recebe uma incidência maior de radiação solar.

Durante os dias frios, em especial, no período de outono e inverno, cuja incidência de radiação solar é menor, ocorre uma diminuição dos processos de troca de calor entre as paredes e teto com o ar de dentro da célula.

Na comparação entre os valores máximos e mínimos, a CTF mostrou um melhor comportamento térmico, em especial para os valores mínimos, onde conseguiu manter valores maiores de temperatura do que as da CC. Considerando que o dia crítico experimental foi para um dia frio e o período de fim de outono, onde as temperaturas tendem a ser menor, a CTF mostrou uma variação menor de temperatura, com amplitudes térmicas menores em relação a CC.

Tabela 3: Valores de temperaturas mínimas e máximas e amplitudes térmicas das células de testes

Ponto de medição	Temperatura (°C)		
	mínima	máxima	Amplitude térmica
Interna do ar controle	5,0	15,1	10,1
Interna do Ar T+F	5,8	14,0	8,2
Oeste Controle	4,2	16,9	12,7
Oeste T+F	6,2	14,2	8,0
Norte controle	3,9	14,8	10,9
Norte T+F	6,3	14,3	8,0
Teto Controle	4,4	13,7	9,3
Teto T+F	7,9	13,7	5,8
Externa do ar	2,5	19,2	16,6

Fonte: O autor (2020)

5.3 Considerações finais sobre os dois estudos

Após o estudo de dias críticos experimentais de outono em dois episódios de tipos de tempo distintos, houveram situações peculiares como o registro pluviométrico no episódio do mês de abril e, sem a presença de chuva no episódio do mês de junho. Em abril, o episódio mostra características de um período típico de chuvas de outono e término do período de primavera. Logo, no episódio de junho, mesmo no fim da estação de outono, apresentou características marcadamente inverniais, com a passagem frontal seca, sem disponibilidade hídrica e rigor térmico em vias de arrefecimento.

Observou-se que em ambos os casos, a célula com teto e fachada verde mostrou um melhor comportamento térmico em relação à célula de controle, com uma amplitude térmica do ar menor. Além disso, as temperaturas superficiais internas das fachadas oeste e norte, bem como do teto foram menores, o que indica um melhor comportamento da transferência de calor para dentro da célula de teste,

pois conseguiu reduzir a quantidade de calor que seria transferida para o interior das células.

Não obstante, este estudo mostrou resultados semelhantes ao encontrados por Gallardo (2017), no qual os valores de temperatura para a célula com teto e fachadas verdes apresentaram um comportamento térmico melhor do que da célula de controle para um dia crítico experimental em julho de 2015.

6 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente as temperaturas internas de células de teste durante um episódio climático representativo de outono e avaliar o comportamento térmico de uma célula da célula de teste com fachada e teto verde. Foram dois períodos de estudos, os meses de abril e junho de 2016.

A análise dos episódios climáticos permitiu o estudo do comportamento térmico das células de testes frente ao frio, em dois momentos distintos, em um dia crítico experimental de outono com a presença de chuva e outro sem a presença de chuva e com características inverniais.

Os dias críticos experimentais permitiram o estudo do comportamento térmico através da variabilidade climática dos episódios, mostrando como as células de testes respondem a estes períodos (reação frente ao frio).

Nos dois dias críticos experimentais estudados, a CTF mostrou um comportamento térmico melhor em relação a CC, com uma amplitude térmica menor, tanto no dia crítico experimental de abril quanto de junho. A presença de vegetação reduziu os efeitos de troca de calor entre a parede e o ambiente externo. Ao comparar as temperaturas das duas células de testes, a CTF mostrou um desempenho térmico melhor em relação à CC.

Em relação às temperaturas superficiais internas, tanto nas paredes norte e oeste quanto no teto, as temperaturas máximas e mínimas tiveram um comportamento térmico melhor do que na célula de controle. Com uma menor variação de temperatura, os efeitos de troca de calor entre as paredes e o teto foram reduzidos.

A cobertura vegetal conseguiu reduzir a amplitude térmica da superfície da parede nos dois dias estudados, logo ela também reduz a quantidade de calor que entra na célula, portanto diminui-se a temperatura interna, o que pode ser comprovado ao analisar as temperaturas internas do ar.

O estudo utilizando células de testes para avaliar o desempenho térmico de fachada vegetada por meio da análise de um dia crítico experimental mostrou um caráter multidisciplinar, envolvendo diferentes áreas de conhecimento, característica que integra os estudos em engenharia ambiental.

Por seu caráter interdisciplinar, a pesquisa de fachadas vegetadas é bem ampla, abrindo a possibilidade de novos estudos, tais como:

- Estudos da aplicação das paredes vegetadas em edificações já construídas ou novas construções;

- Estudos de diferentes métodos construtivos de paredes e tetos vegetados para diferentes construções e localidades;

- Pesquisa em relação a viabilidade econômica destes sistemas construtivos em relação a outros já existentes para a melhoria do desempenho térmico de edificações;

- Estudos na perspectiva da geografia do clima, como a qualidade de vida, o conforto ambiental, a produção do espaço e de territórios desiguais e suas múltiplas dimensões no ambiente urbano;

- Avaliação de como a incorporação destes elementos pode contribuir, em escala intraurbana, para a melhoria do microclima nas cidades, na escala do pedestre.

Trabalhos e artigos publicados a partir desta dissertação

Simpósio brasileiro de climatologia geográfica, 2018, juiz de fora - mg. Cobertura e fachada verde: análise de episódio climático representativo de calor em células de testes [...]. [s. L.: s. N.], 2018.

Avaliação do comportamento térmico de cobertura e fachada verde em células de testes. Revista de Arquitetura IMED, v. 7, n. 1, p. 145, 2018

Cobertura E Fachada Verde : Análise De Episódio Climático Representativo De Calor Em Células De Testes. *Revista de Geografia - PPGeo – UFJF* p. 2269–2278, 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H. A. DE. **Climatologia aplicada à geografia**. [s.l.] EDUEPB, 2016.

CARLO, J. C.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil. **8 International IBPSA Conference**, n. May 2014, p. 131–138, 2003.

ÇENGEL, Y. A. **Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico**. [s.l.] McGraw-Hill, 2007.

CHEN, Y.-C.; PEI, L.; SHIAU, Y.-C. Application of coastal vegetation to green roofs of residential buildings in Taiwan. **Artificial Life and Robotics**, v. 20, n. 1, p. 86–91, 2015.

CORRADI, L. **Hydroponic growing system** Google Patents, , 16 nov. 2009.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima : uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, v. 29, n. 1, p. 137–149, 2007.

DA SILVA, L. P. et al. HIDROCIDADES-Cities, Quality of Life and Water Resources: Integrated Water Resources Management and Urban Planning for Low-Land Region of Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brazil. **11th International Conference on Urban Drainage**, 2008.

DE LIMA JUNIOR, J. E.; DE MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. Aplicação de análise hierárquica para escolha de sistema de fachadas vegetais em Curitiba. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2, p. 87–99, 2014.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Rev. and u ed. Portland, Or: Timber Press, 2008.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. J. **Urban microclimate:**

designing the spaces between buildings. 1st ed ed. London ; Washington, DC: Earthscan, 2011.

FRACCAROLI, E. **Vista panorâmica realizada com VANT das células experimentais. Foto realizada com VANT no CRHEA (USP),** 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GALLARDO, N. P. **Respuesta térmica de edificaciones con envolventes vegetales: cubiertas verdes y fachadas verdes.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 9 ago. 2017.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Desempenho térmico das edificações-Parte1: Definições, símbolos e unidades. **Proposta de Norma. Florianópolis,** p. 28, 1998.

GRUJIC, J. **Arquitectura vegetada: funcionalidades de la vegetación en el metabolismo del edificio.** [s.l.] Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.

HARTIG, T.; MANG, M.; EVANS, G. W. Restorative effects of natural environment experiences. **Environment and behavior,** v. 23, n. 1, p. 3–26, 1991.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas–tomo 1**São Paulo: BASF, , 1997.

KÖHLER, M. Green facades—a view back and some visions. **Urban Ecosystems,** v. 11, n. 4, p. 423, 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** [s.l.] Pro-Livros, 2004.

LAURENZ, J. et al. **Natural envelope. The green element as a boundary limit.** Tokyo, Japan: 2005

LEMON, E. R. Energy conversion and water use efficiency in plants. **Plant Environment and Efficient Water Use,** n. plantenvironmen, p. 28–48, 1966.

LIU, K.; BASKARAN, B. **Green Roof Infrastructure: Technology Demonstration, Monitoring and Market Expansion Project. Part 1: Field Monitoring and Technical Analysis: May 2002 to June 2003**Canada: National Research Council, Institute for Research in Construction, , 2003.

LOPES, D. A. R. Análise do comportamento térmico de uma Cobertura Verde Leve

(CVL) e diferentes sistemas de cobertura. n. Cvl, p. 145, 2007.

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

MODNA, D. **Influência das áreas verdes urbanas na temperatura e na umidade do ar em São Carlos-SP**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 17 jun. 2004.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil – contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1969.

NEVES, G. Z. DE F. **Foto da estação climatológica do CRHEA (USP)**, 2015.

NUNES, L. H. A escala nas ciências atmosféricas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 19, n. 1–2, p. 71–73, 1998.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. New York: Routledge, 1987.

OLGYAY, V. **Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism** Princeton University Press. [s.l.: s.n.].

PAPST, A. L. Uso de Inercia Termica no Clima Subtropical-estudo de caso em Florianópolis-SC. **Civil Engineering. Florianópolis _ Brazil, Federal University of Santa Catarina, Thesis (in Portuguese)**, 1999.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PÉREZ, G. et al. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p. 4854–4859, 2011.

PERINI, K.; ROSASCO, P. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. **Building and Environment**, v. 70, p. 110–121, dez. 2013.

PERUSSI, R. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataformas de teste**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 31 jan. 2016.

RAJI, B.; TENPIERIK, M. J.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 610–623, maio 2015.

- RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de geografia teoretica**, v. 23, n. 45–46, p. 288–294, 1993.
- RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2^a edição. **Porto Alegre**, 1986.
- ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental pollution**, v. 159, n. 8–9, p. 2100–2110, 2011.
- RUAS, Á. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software**. [s.l.] UNICAMP, 2002.
- SANTAMOURIS, M; AIMAKOPOLOUS, D. **Energy and climate in the urban built environment**. London: James & James, 2001.
- SANTIAGO, B.; SALVIANO, A. **Astronomia Geodésica: Posicionamento pelas Estrelas**. p. 1–160, 2005.
- SANTOS, D. J. P. **Desempenho térmico de uma cobertura verde num edifício solar passivo**. [s.l: s.n.].
- SEIXAS, G. T. C. DE. **Climatologia aplicada à arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 20 mar. 2015.
- SHEWEKA, S.; MAGDY, A. N. The living walls as an approach for a healthy urban environment. **Energy Procedia**, v. 6, p. 592–599, 2011.
- SUN, T. et al. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. **Building and Environment**, v. 60, p. 211–224, 2013.
- TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. **Building and Environment**, v. 44, n. 3, p. 643–650, mar. 2009.
- VECCHIA, F. A. DA S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. DE F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. [s.l: s.n.].
- VECCHIA, F. A. S. **Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1997.
- VILLA, F. Construcciones verdes. **Alarife: Revista de arquitectura**, n. 17, p. 39,

2009.

YANNAS, S.; MALDONADO, E. PASCOOL handbook-Designing for summer comfort. **Architectural Association Graduate School, Londres**, 1995.

ZINCO. **Detailed information on our entire green roof product range**, 2016.