

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

**CLIMATOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL: ANÁLISE DO
COMPORTAMENTO TÉRMICO EM CÉLULAS DE TESTES**

Aluno: Thiago Youzi Kussaba Kayano
Orientador: Prof. Assoc. Dr. Francisco Arthur da Silva Vecchia

Monografia apresentada ao
curso de graduação em
Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de
São Paulo.

São Carlos, SP
2017

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.

Y23c

Youzi Kussaba Kayano, Thiago
CLIMATOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL: ANÁLISE DO
COMPORTAMENTO TÉRMICO EM CÉLULAS DE TESTES / Thiago
Youzi Kussaba Kayano; orientador Francisco Arthur da
Silva Vecchia. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2017.

1. parede verde. 2. teto verde. 3. conforto
térmico. 4. episódio climático. 5. clima. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Thiago Youzi Kussaba Kayano**

Data da Defesa: 27/10/2017

Comissão Julgadora:

Francisco Arthur da Silva Vecchia (Orientador(a))

Gustavo Zen de Figueiredo Neves

Nuria Perez Gallardo

Resultado:

APPROVADO

APROVADO


Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais por tudo
que eles proporcionaram para mim.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Associado Francisco de Arthur Vecchia pela oportunidade dada em conhecer uma nova área de estudo.

Ao Gustavo Zen de Figueiredo Neves, por todo apoio e auxilio durante a elaboração da monografia.

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 auxilio na coleta dos dados.

Aos amigos da Atlética por sempre confiarem em mim.

RESUMO

Kayano, T. Y. K. 2017. **Climatologia e Engenharia Ambiental: Análise do comportamento térmico em células de testes.** 50p. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

As fachadas e coberturas verdes proporcionam vantagens para o ambiente construído, tais como melhoria na eficiência energética, atenuação das ilhas de calor, aumento da biodiversidade e atenuação da radiação solar. Esta monografia teve como objetivo analisar comparativamente o desempenho térmico de células de testes em dois diferentes episódios climáticos representativos dos tipos de tempo escolhidos a partir de dias críticos experimentais durante o ano de 2016. O experimento foi composto por duas células de testes sendo uma a célula de controle e outra com fachada e cobertura verde. As temperaturas monitoradas das células de teste foram as 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. Este comportamento foi mais efetivo durante o dia crítico experimental de calor comparado ao dia crítico experimental de frio.

Palavras-chaves: Fachada verde, cobertura verde, desempenho térmico, episódio climático

ABSTRACT

Kayano, T. Y. K. 2017. Climatology and Environmental Engineering: Thermal behavior analysis on test cells. 50p. Monography. São Carlos Engineering School, São Paulo University, 2017.

Green roofs and green facades provide advantages on built environment, such as improving energy efficiency, heat island mitigation, increased biodiversity and attenuation of solar radiation. This monograph intends to analyze comparatively the thermal behavior of test cells in two different representative climatic episodes chosen from critical experimental days during the year 2016. The experiment consisted of two test cells, one is the control cell and another one is facade and green roof cell. Monitored temperatures of the test cells were the air's internal and internal surfaces of the roof and walls West and North through thermocouples connected to a data acquisition system. The data of climatological variable were collected by automatic meteorological station at the Center of Water Resources and Environmental Studies (CHREA), University of São Paulo (USP), Itirapina-SP, the same place where the experiment were made. The thermal behavior analysis were carried out from the approach of Dynamic Climatology and identify the climate episode from the analysis of satellite images and graphics and being able to observe their influence on the temperature of the test cells in critical days. The results indicated that the cell with green facade and green roof has a better thermal performance featuring a low thermal amplitude and low maximum temperature in comparison to control cell and external air temperature. In conclusion, the green facade and green roof cell has better thermal performance, which can be explained by the attenuation of solar radiation input on the cell wall, reducing the maximum temperature inside the cell, therefore reducing your breadth heat. This behavior was more effective during the heat critical day compared to cold critical day.

keywords: green facade, green roof, thermal performance, climate episode

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dissipação de calor e umidade. Fonte: CORBELLA; YANNAS, 2003 apud SEIXAS, 2015.	19
Figura 2: Representação do movimento da Terra. Fonte Lambert, Dutra, Pereira (2005).....	20
Figura 3: Classificação dos tipos mais comuns de paredes verdes usados atualmente. Fonte Manso e Castro Gomes (2015) apud Gallardo (2017) adaptado	23
Figura 4: Localização da área de estudo. Fonte Perussi (2016) adaptado.	29
Figura 5: Vista área das células de testes. Foto: Eduardo Fraccaroli (2015).....	30
Figura 6: Vista das fachadas Oeste e Norte. Fonte autor (2017).....	31
Figura 7: Detalhe da flor de Tumbergia Azul. Fonte autor (2017).	31
Figura 8: Perfil do teto verde. Fonte Gallardo (2017).	32
Figura 9: Distribuição dos termopares (sem escala). A- Fachada Oeste. B- Fachada Norte. C- Teto. Fonte Gallardo (2017) adaptado.....	32
Figura 10: Imagem interna da célula. Fonte autor (2017)	33
Figura 11: Exemplos de imagem de satélite GOES-13 infra 4.....	34
Figura 12: Gráfico das temperaturas médias no ano de 2016.....	35
Figura 13: Imagens de satélite do CPTEC-INPE dos dias 15 a 20 de julho de 2016.....	36
Figura 14: Análise climática. Episódio dos 15 a 21 de Julho de 2016.....	37
Figura 15: Gráfico das temperaturas externas do ar e das temperaturas internas da célula de controle e célula teto + fachada no dia 18/07/2016	38
Figura 16: Gráfico das temperaturas superficiais da parede interna da fachada oeste e da temperatura externa do ar no dia 18/07/2017	39
Figura 17: Gráfico das temperaturas superficiais da parede interna da fachada norte e da temperatura externa do ar no dia 18/07/2017	39
Figura 18: Gráfico das temperaturas superficiais interna do teto e da temperatura externa do ar no dia 18/07/2017	40
Figura 19: Imagens de satélite do CPTEC-INPE entre os dias 17 e 23 de outubro de 2016....	41
Figura 20: Análise climática. Episódio dos 17 a 23 de Outubro de 2016	42
Figura 21: Gráfico das temperaturas externas do ar e das temperaturas internas da célula de controle e célula teto + fachada no dia 19/10/2016	43
Figura 22: Gráfico com as temperaturas superficiais interna da fachada oeste e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016	44

Figura 23: Gráfico com a temperatura superficial interna da parede norte e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016	44
Figura 24: Gráfico com as temperaturas superficiais do teto e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016	45

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Resumo das células usadas no experimento	30
Tabela 2: Valores e horários das temperaturas máximas e mínimas do dia 17/07/2016 das células de controle e teto + fachada e externa do ar	38
Tabela 3: Valores e respectivos horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica das fachadas superficiais internas e do teto do dia 18 de julho	40
Tabela 4: Valores e horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica do dia 19/10/2016 das células de controle e teto + fachada e externa do ar	43
Tabela 5: Valores e respectivos horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica das fachadas superficiais internas e do teto do dia 19 de outubro.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ΔT – Amplitude Térmica

CC – Célula de Controle

CRHEA – Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais

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

mPa – Massa Polar Atlântica

TC – Teto da célula de controle

TSI – Temperatura Superficial Interna

TV – Teto verde

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. Revisão Bibliográfica	16
3.1. Episódio climático representativo	16
3.1.1. Etapas pré-frontal e pós-frontal	17
3.2. Definição dos parâmetros para avaliação do comportamento térmico.....	18
3.3. Variáveis climatológicas.....	19
3.3.1. Radiação solar.....	19
3.3.2. Temperatura do ar.....	20
3.3.3. Umidade relativa do ar	20
3.4. Comportamento e desempenho térmico	21
3.5. Inércia Térmica.....	22
3.6. Fachadas e coberturas verdes	23
3.7.1. Fachadas verdes	23
3.7.2. Muros verdes	24
3.7.3. Coberturas verdes	25
3.8. Benefícios das coberturas e fachadas verdes.....	26
3.8.1. Eficiência energética.....	26
3.8.2. Retenção de águas pluviais.....	26
3.8.3. Aumento do espaço útil	27
3.8.4. Benefícios estéticos e sociais.....	27
3.8.5. Redução de ilhas de calor	27
3.9. Ambiente Construído.....	28
3.10. Bioclimatologia	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	29
4.2. Células de testes	30
4.3. Coleta dos dados.....	32
4.4. Análise do episódio climático representativo	34
5. Resultados e discussão	34

5.1. Escolha do episódio representativo	34
5.2. Descrição do episódio climático representativo	36
5.2.1. Episódio climático representativo para o dia de frio	36
5.2.2. Episódio representativo para um dia de calor.....	41
6. Conclusão	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação em relação ao ambiente urbano e como isso afeta a qualidade de vida da população, além dos problemas ambientais que surgiram com o progresso tecnológico, buscam-se novas técnicas para atenuar ou solucionar tais problemas. No campo da construção civil, a cobertura verde aparece como alternativa para amenizar o calor em dias quentes e conservar o mesmo em dias mais frios. Com isso, pode-se evitar o uso excessivo de ventilador e ar-condicionado em dias quentes bem como o uso de aquecedor em dias mais frios, reduzindo assim o consumo de energia, melhorando o desempenho térmico, bem como a sensação de conforto da população.

As edificações são construídas principalmente para promover segurança e proporcionar condições mais adequadas às atividades humanas, além de poderem ser consideradas as melhores formas de termorregulação, ou seja, a função destas construções é proteger os indivíduos das intempéries as quais 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. Tudo isso, traz consigo uma melhora do microclima das cidades atuais, caracterizado por maiores porcentagens de áreas verdes e baixas de contaminação do ar (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).

De acordo com Vecchia (1997), é possível analisar através 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.

Valesam (2009) realizou pesquisa na qual entrevistou moradores que possuem parede verde em suas residências, os resultados revelaram que para 73% dos entrevistados, o motivo para o uso da parede verde está relacionado com o efeito estético e de bem estar que esta técnica pode proporcionar.

Utilizando-se dos conceitos de climatologia dinâmica proposto por Vecchia (1997), este trabalho analisará dias representativos do ponto de vista climático para verificar a eficiência das fachadas e coberturas verdes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo comparar a temperatura interna de células de testes com cobertura e fachada vegetal e célula de teste de controle, com a temperatura externa durante dois episódios climáticos representativos para o dia de frio e de calor.

2.2. Objetivos específicos

- Análise climática para definição do episódio representativo dos tipos de tempo - frente ao frio e frente ao calor;
- Comparação entre as temperaturas superficiais internas das paredes e do teto;
- Verificação da eficiência térmica na cobertura vegetal em relação à superfície de controle (sem cobertura vegetal).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. 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 pode ser aplicada com segurança na representação das condições climáticas, primeiro, porque é dinâmico, apresenta inicio e final bem caracterizado e, segundo, porque 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 submetem a uma ruptura no convívio e interpretação da natureza. (Vecchia, 1997).

De acordo com Vecchia (1997), é possível analisar através 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 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.

Isso porque, segundo Vecchia (1997), ocorre uma variação sucessiva e encadeada nos valores desses elementos mesmo que tomados de forma separatista, permitindo a definição de um estado geral da atmosfera, principalmente quando se adota um período amostral correspondente à penetração e predomínio de uma massa Polar Atlântica.

Os períodos de observação tomados dessa forma representam o tipo de tempo através de uma única sequência a cada massa polar que penetra, com características próprias, além de 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 a cada época a ser analisada. Assim, os episódios podem ser classificados em episódios de outono, episódios de inverno e de 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.

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 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 necessário à investigação;
- Definição de “episódios representativos”: os dados climáticos obtidos 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.

3.1.1. 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, analisar 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, dos valores de pressão atmosférica, além de ventos nas direções NE e SO e rajadas na entrada da massa, durante a etapa do avanço.

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 perdendo 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.

3.2. 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 (Tsi). 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 do ar, temperatura do ar, além de 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.

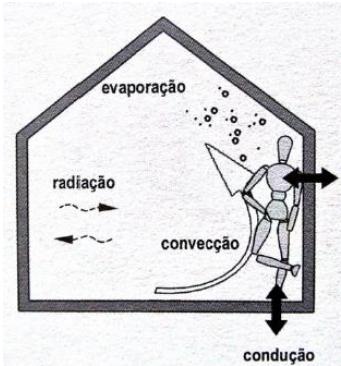


Figura 1: Dissipação de calor e umidade. Fonte: CORBELLA; YANNAS, 2003 apud SEIXAS, 2015.

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)

3.3. Variáveis climatológicas

3.3.1. Radiação solar

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta, responsável pela energia recebida pela Terra. A trajetória elíptica da terra ao redor do Sol, junto ao movimento de rotação do planeta, determinam as variações na 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).

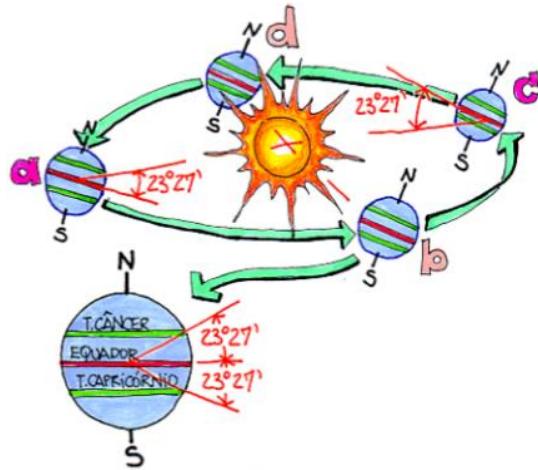


Figura 2: Representação do movimento da Terra. Fonte Lambert, Dutra, Pereira (2005).

3.3.2. 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; o solo esquenta 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).

3.3.3. 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 é eliminada na forma de calor latente (10% de respiração e 15% de transpiração), é importante que as condições

ambientais favoreçam essa perda. Dessa 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. (CENGEL, 2007).

Quando a temperatura do ar fica mais alta que a temperatura da pele, o corpo humano passa a ganhar calor por convecção, mas ao mesmo tempo ocorre um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera a perda de calor por evaporação. 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); 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, 2005).

3.4. 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, somados 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, assim como as atividade 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).

3.5. 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 em uma inércia infinita a temperatura interna se manteria constante. Ou seja, a necessidade para um edifício possuindo 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 das temperaturas internas em relação às temperaturas exteriores (atraso térmico). Esses parâmetros estão diretamente relacionados com as características térmicas do material e da sua espessura (PAPST, 1999).

Segundo Rivera (1986), o atraso térmico (Φ) é o tempo necessário para uma diferença de temperatura que ocorre em uma área até 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 no lado de fora e no interior de um edifício ocorre e um fluxo de calor é verificado por meio de um objeto componente construtivo a uma variação periódica da temperatura do ar fora.

3.6. Fachadas e coberturas verdes

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 é conhecido por esse nome (VILLA, 2009). A vegetação apropriada para esse tipo de construção depende das condições climáticas, das características de construção e das condições ambientais em que se insere a parede verde. Plantas trepadeiras são consideradas uma solução econômica. Essas espécies contêm dois principais tipos de folhas, perenes ou caducas. As plantas de folhas perenes mantêm suas folhas ao longo do ano e as plantas de folhas caducas perdem suas folhagens no outono (KISMANN, 1997). Assim sendo, uma fachada verde de plantas de folha caduca, não só implica forte mudança visual durante todo o ano, como também afeta o comportamento térmico do edifício em que está instalada (PEREZ, 2011).

A Figura 3 mostra um esquema de classificação dos tipos mais comuns utilizados de paredes verdes atualmente.

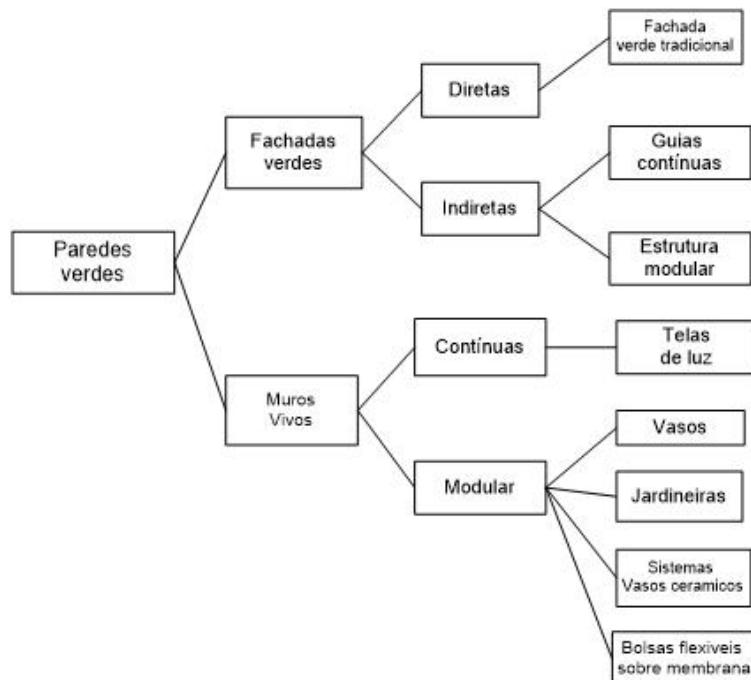


Figura 3: Classificação dos tipos mais comuns de paredes verdes usados atualmente. Fonte Manso e Castro Gomes (2015) apud Gallardo (2017) adaptado

3.7.1. Fachadas verdes

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 da superfície vertical, no caso são penduradas a partir de certa altura (DUNNETT;

Kingsbury, 2008). Fachadas verdes são classificadas como direta ou indireta. Na primeira, as plantas são diretamente ligadas à parede, enquanto que na última 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. (KOHLER, 2008)

Existem diversas nomenclaturas para fachadas vegetadas, internacionalmente é conhecida como *green facade*, *vertical gardens*, *vertical greenery system*, *living walls*, *mur vert*, *fassadenbegrünung*. No Brasil é conhecida como parede verde ou jardim vertical. Já o sistema de instalação pode ser chamado de fachada verde ou parede viva. (LIMA et. al., 2014).

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 à parede, não necessitando enraízá-la no chão. Esse sistema necessita de uma engenharia de irrigação na parte superior através de bombeamento ou automatização (KOHLER, 2008).

Uma parede com fachada verde pode ficar protegida contra as principais intempéries como radiação solar direta, vento, chuva, geada e em países frios e temperados, também pode proteger contra a neve. Lima et. al. (2014) lembra que para o efeito de proteção desejado a espécie vegetal escolhida deve ser perene e de espessa camada de folhas.

No verão, as folhas aproveitam a radiação solar para permitir que o ar circule entre a planta e o edifício; o efeito chaminé e a transpiração produzem um resfriamento. No inverno, as folhas superpostas formam uma capa isolante de ar em repouso ao redor do edifício (YEANG, 2001 apud LIMA et al, 2014).

É importante que se faça uma manutenção correta da vegetação, evitando o crescimento excessivo das plantas e eliminando pedaços de madeira podre para impedir o acúmulo de água parada no sistema, com isso evita-se presença de insetos indesejados (SHARP, 2008 apud LIMA et al, 2014).

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).

3.7.2. Muros verdes

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 (LWS, sigla em inglês, Living Wall System) 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).

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 utilizadas tecnologias e materiais de suporte para aplicação desta técnica.

3.7.3. 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 a 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 (Dunnet; 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 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 (DUNNET e 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 diversas variedades de vegetação, desde arbustos pequenos a plantas aromáticas, junto com outras da família usadas na extensiva. Esse tipo de cobertura exige os mesmos requisitos que a extensiva, porém a profundidade do substrato deve estar em 10 e 20 centímetros.

3.8. 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, 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 (SILVA; PERUSSI; GALLARDO, 2017).

3.8.1. Eficiência energética

As maiorias dos estudos já efetuados sobre cobertura verde estão relacionadas com sua capacidade de isolamento térmico e sua consequente 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).

3.8.2. Retenção de águas pluviais

Em uma cobertura tradicional, a maior parte da água precipitada escoa 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 chuva. Neste aspecto, as coberturas verdes podem representar uma das soluções, pois parte da água é incorporada ao substrato, outra parte é evapotranspirada e o excedente escoa 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).

3.8.3. 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 de vegetação que estão cada dia mais se extinguindo nos grandes centros urbanos. Outros usos para os telhados verdes incluem a agricultura urbana, já que a produção de alimentos pode trazer benefícios econômicos e educacionais para os moradores locais (HARTIG et al. 1991; PIMENTEL DA SILVA et al. 2008).

3.8.4. Benefícios estéticos e sociais

Uma cobertura com plantas possui um efeito notável se comparada a um telhado convencional. 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, também 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 do aumento de temperatura no interior do prédio, os ocupantes utilizam o ar condicionado para a manutenção de uma temperatura confortável, aumentando o consumo de energia (GALLARDO, 2017).

3.8.5. Redução de ilhas de calor

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. Telos, 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, da emissividade na superfície de material, inércia térmica, etc. Áreas construídas oferecem mais espaço de superfície para a absorção de calor, que será, então, lentamente irradiada durante a noite (Grujić, 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 como resfriamento por evapotranspiração, ajudando a reduzir os efeitos da ilha de calor (SHEWEKA; MAGDY, 2011). Com a implantação de fachadas e coberturas verdes, é possível reduzir ainda mais esse efeito, uma vez que seriam reduzidas superfícies com grande capacidade de absorção de calor.

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. Ambiente Construído

Entende-se como ambiente construído todo tipo de edificação e 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).

3.10. 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., 2005). 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. Dentro do mesoclima são observadas as características climáticas da região e normalmente são medidas em estações meteorológicas. Uma cidade de grande porte pode alterar as condições do

mesoclima por meio da contaminação que gera ou pela diminuição indiscriminada da vegetação e corte de árvores.

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 consequentemente diminui o desempenho humano (RUAS, 2002).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização da área de estudo

O projeto foi realizado no CHREA localizado na cidade de Itirapina, próximo a 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 gira em torno 18°C a 22°C.

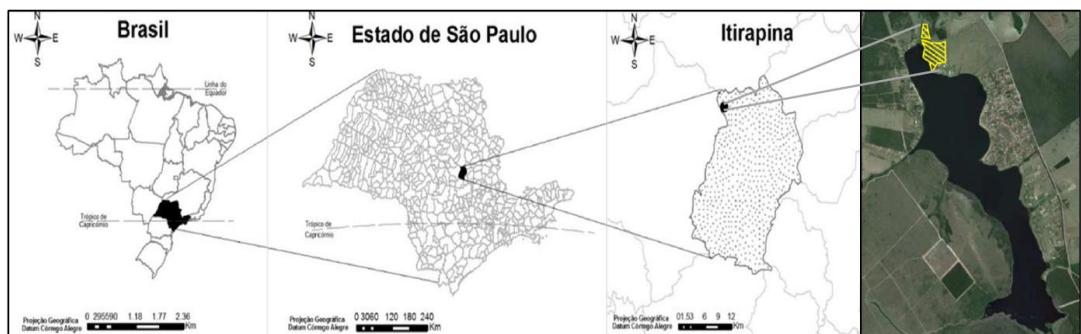


Figura 4: Localização da área de estudo. Fonte Perussi (2016) adaptado.

A figura 5 mostra uma imagem área, fotografada por um *drone*, das células de teste no CHREA



Figura 5: Vista área das células de testes. Foto: Eduardo Fraccaroli (2015)

4.2. 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 disposta a vegetação no experimento.

Tabela 1: Resumo das células usadas no experimento

Construção	Localização da vegetação
CC	Sem vegetação
CTF	Cobertura vegetal e fachadas norte e oeste

As temperaturas da superfície das paredes e da área interna foram coletadas através de termopares, conectados a um medidor automático que mede a temperatura a cada 30 segundos e agregados numa média a cada hora. Os dados de radiação solar e de variações climáticas que venham a ocorrer são gravados automaticamente pela estação climática do CHREA.

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 6: Vista das fachadas Oeste e Norte. Fonte autor (2017)

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.

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



Figura 7: Detalhe da flor de Tumbergia Azul. Fonte autor (2017).

A espécie vegetal utilizada na cobertura foi a *Paspalum notatum* (Figura 14) 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 8. Sua irrigação é feita por um sistema automático por aspersão (GALLARDO, 2017).

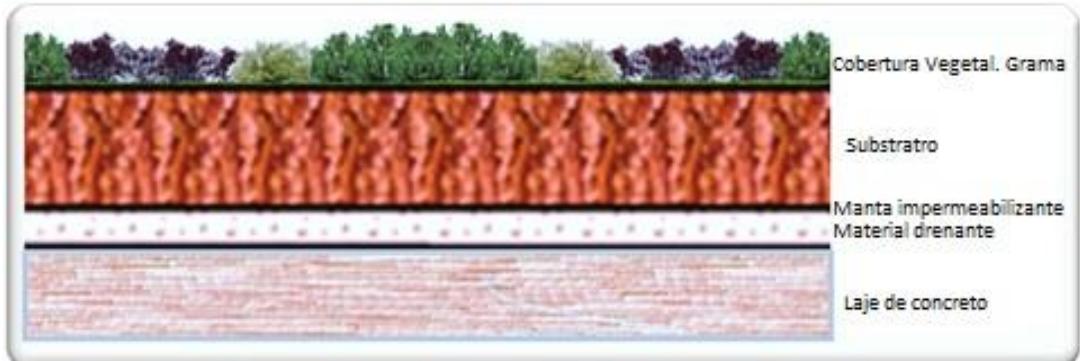


Figura 8: Perfil do teto verde. Fonte Gallardo (2017).

4.3. Coleta dos dados

Para a coleta dos dados foram instalados 16 termopares em cada célula teste dispostos conforme esquema da Figura 9

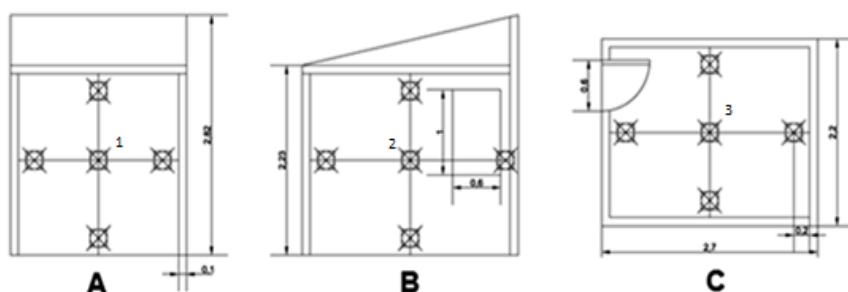


Figura 9: Distribuição dos termopares (sem escala). A- Fachada Oeste. B- Fachada Norte. C- Teto. Fonte Gallardo (2017) adaptado.

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 alimentada por energia solar.



Figura 10: Imagem interna da célula. Fonte autor (2017)

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 foram registrados 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).

Os dados coletados pelo equipamento *Data Logger* CR1000 estão em um arquivo com extensão *.dat e precisam ser importados pelo o *Microsoft Excel*, que separará cada valor em uma célula utilizando o ponto e vírgula (;) ou vírgula (,) do arquivo importado como delimitador desses valores. Os valores decimais são delimitados por pontos (.), que devem ser substituídos por vírgulas (,) 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.

4.4. Análise do episódio climático representativo

O episódio climático representativo dos tipos de tempo (frio e calor) definidos a partir de dia crítico experimental escolhido após análise do gráfico das temperaturas médias registradas no período estudado, 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. Com isso foi possível determinar os dias críticos experimentais.

Para este trabalho foram escolhidos dois dias críticos experimentais, um para o dia frio e outro para o calor, sendo escolhidos os dias com a menor e maior temperatura média registrada. Escolhido o dia crítico experimental, o episódio climático representativo foi analisado utilizando-se das variáveis climáticas, de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar, além das imagens de satélite do INPE, disponíveis em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>

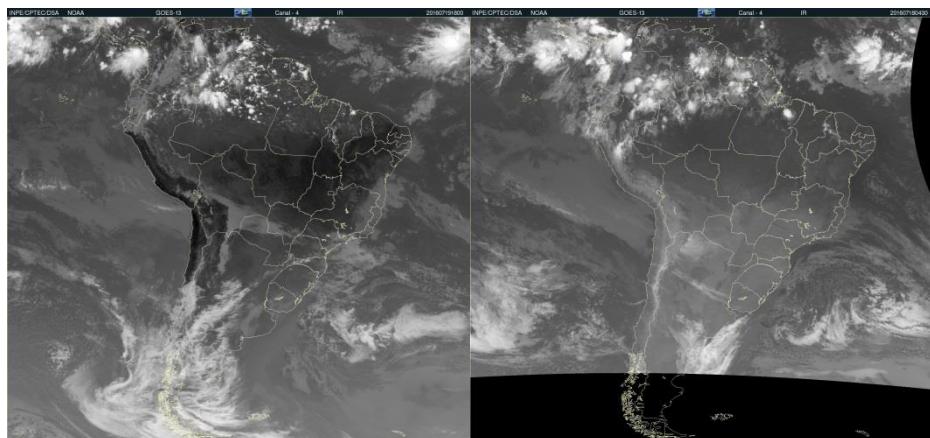


Figura 11: Exemplos de imagem de satélite GOES-13 infra 4

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Escolha do episódio representativo

Os dias críticos experimentais frente ao calor e frio foram definidos de acordo com o recomendado por Vecchia (1997), conforme já explicado anteriormente, e escolhidos após análise de um período de doze meses, compreendido entre os dias 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2016.

Como o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento térmico da célula com parede e teto verde em comparação à célula de controle, foram escolhidos os dias em que foram registradas a mínima e máxima temperaturas durante o período de análise. Seixas (2015), Perussi (2016) e Gallardo (2017) realizaram experimentos semelhantes escolhendo

outros dias críticos experimentais de acordo com suas pesquisas, porém seguindo as recomendações de Vecchia (1997) para definição do episódio climático.

A Figura 10 representa as temperaturas médias desse período. Foram então escolhidos os períodos representativos para um dia de frio e outro para o dia de calor.

Para a escolha dos episódios representativos, devem-se analisar características peculiares dos dados climáticos (Neves; Vecchia, 2016). Portanto, para escolha dos dias representativos para este trabalho foi encontrar o dia em que foi registrada a temperatura mais fria e mais quente de 2016. Na análise do gráfico da Figura 12 encontram-se os dias representativos para o frio e para o calor. Para o episódio de frio foi escolhido o dia 18 de julho, que registrou a temperatura de 1,3°C às 04:30. Já para o episódio de calor, o dia escolhido foi 19 de Outubro, que registrou 36,3°C às 16:00.

Além da temperatura interna do ar, realizou-se uma análise das temperaturas das superfícies internas. Os pontos utilizados estão localizados no centro das fachadas e do teto, indicados na Figura 9 como 1, 2 e 3. A escolha destes pontos segue orientação de Seixas (2015) onde relata que qualquer ponto pode ser utilizado para a análise da temperatura superficial interna (TSI), desde que a superfície seja uniforme, pois não há uma diferença significativa entre elas.

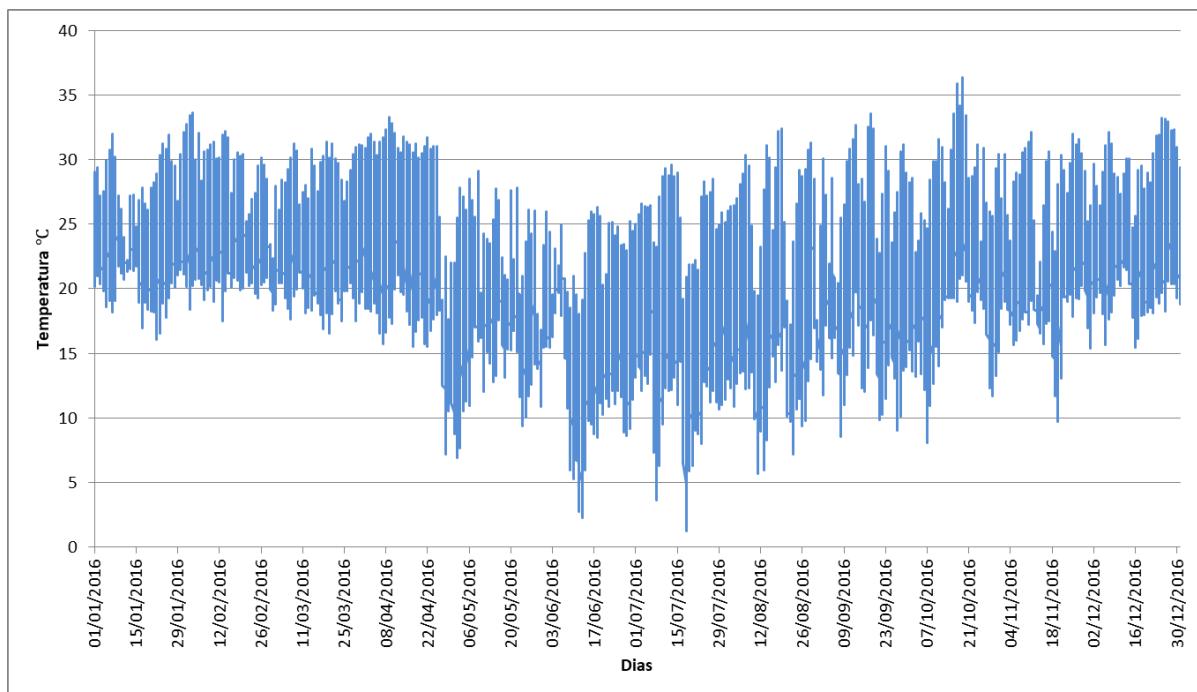


Figura 12: Gráfico das temperaturas médias no ano de 2016

5.2. Descrição do episódio climático representativo

5.2.1. Episódio climático representativo para o dia de frio

5.2.1.1. Análise do episódio climático

Para a análise do episódio climático deve-se analisar as variáveis climáticas como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e pressão atmosférica. Para análise dos estados atmosféricos do período, foram observadas imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que podem ser facilmente acessadas pela internet.

Conforme exposto na metodologia, o episódio climático foi avaliado utilizando-se dos dados coletados das variáveis climatológicas durante o período estudado e das imagens de satélite GOES-13 do CPTEC-INPE, para a identificação das etapas pré e pós-frontais. Devido a grande quantidade de imagens, não seria possível colocar todas neste trabalho, portanto foram escolhidas apenas algumas para representar o episódio. Estas imagens são do mesmo horário, as 15:00 de cada dia e podem ser vistas na Figura 13.

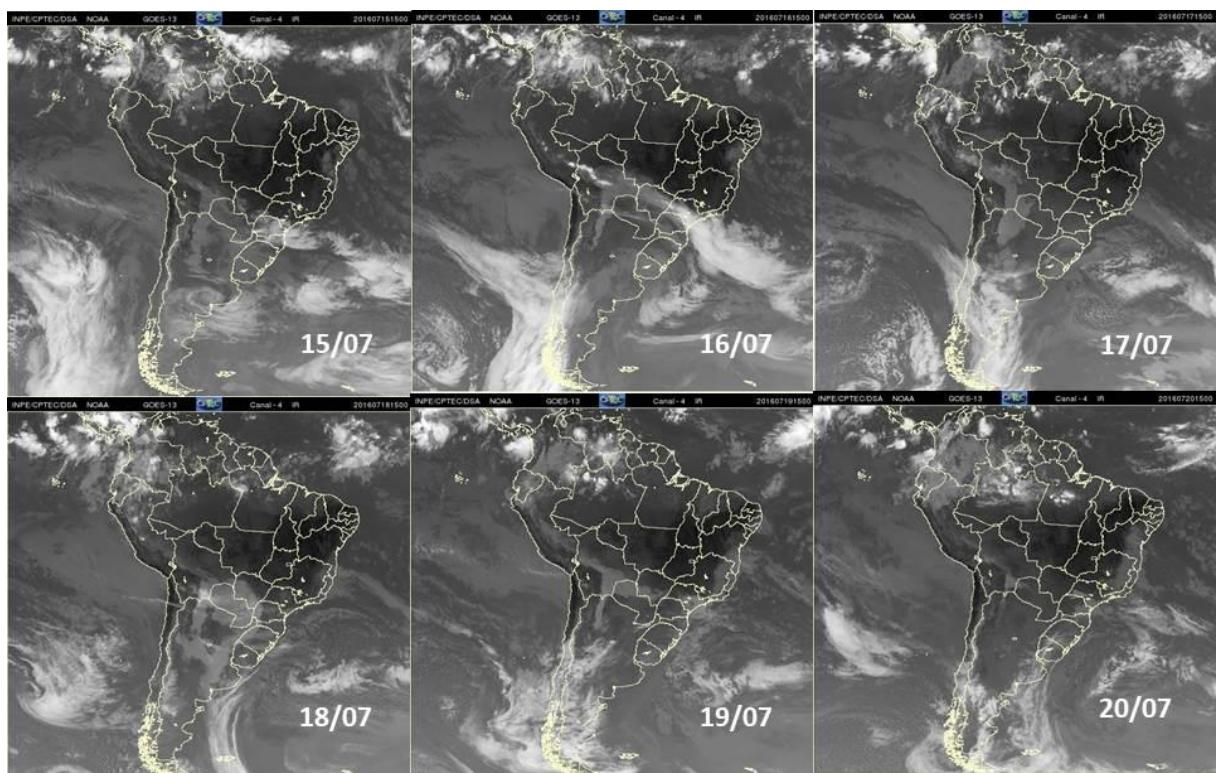


Figura 13: Imagens de satélite do CPTEC-INPE dos dias 15 a 20 de julho de 2016

Com a análise das imagens de satélite foi possível identificar a etapa pré-frontal da mPa, correspondentes as fases de prenúncio e avanço, que teve início em torno do dia 15 de julho com a diminuição da umidade relativa do ar e um aumento da temperatura do ar. A fase de avanço foi marcada pelo aumento da umidade relativa do ar, queda da temperatura e

diminuição da radiação solar causada pelo aumento da nebulosidade, porém sem precipitação de chuva. A etapa pós-frontal teve início por volta do dia 17 de julho com a fase de domínio da frente, e uma precipitação de 3 mm durante a madrugada, a temperatura continuou caindo até chegar à menor temperatura média registrada na madrugada do dia 18. A fase de transição começou em torno do dia 19 com a frente perdendo força e com leve aumento da temperatura.

A Figura 14 contém os gráficos com as diferentes variáveis ao longo do episódio climático onde é possível observar os períodos da massa de ar.

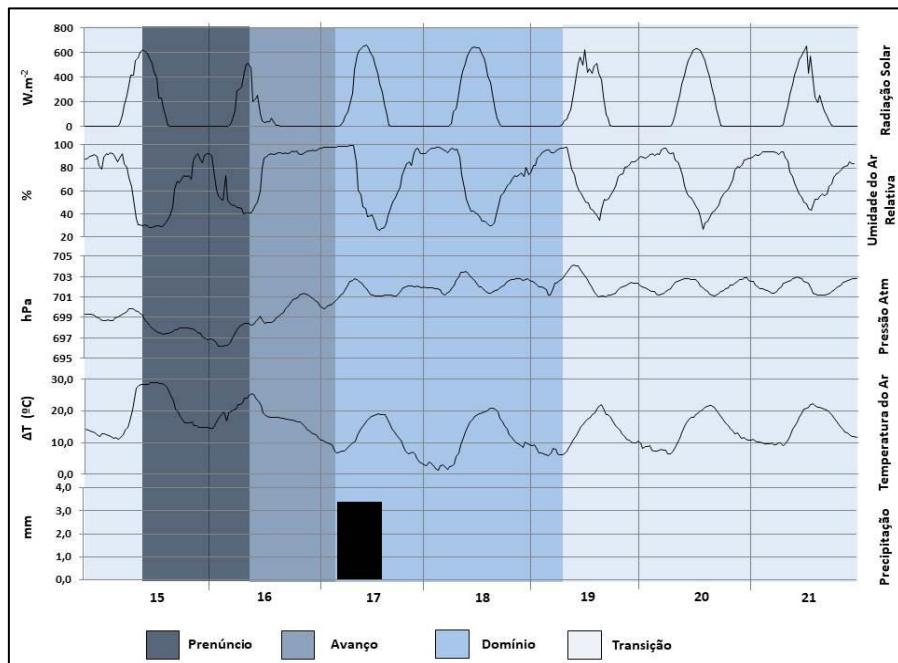


Figura 14: Análise climática. Episódio dos 15 a 21 de Julho de 2016

A queda de temperatura acontece na sequência da queda de umidade relativa do ar ocorrida à precipitação de 3 mm que aconteceu na madrugada do dia 17. Durante o período que antecedeu o aumento da nebulosidade e da precipitação, houve um aumento da pressão atmosférica. Nos dias seguintes, com a queda da umidade relativa do ar e um aumento da pressão atmosférica, houve também a diminuição da temperatura, atingindo seu mínimo durante a madrugada do dia 18 às 4:30, cujo valor registrado foi de 1,2°C.

5.2.1.2. Comparação entre as temperaturas externa e internas das células de testes

O dia escolhido para comparação foi 18 de julho por ter sido o mais frio de 2016. Foi elaborado o gráfico comparativo entre as temperaturas das células e externa do ar. O gráfico da Figura 15 mostra o período de 24 horas com as temperaturas em medidas horárias.

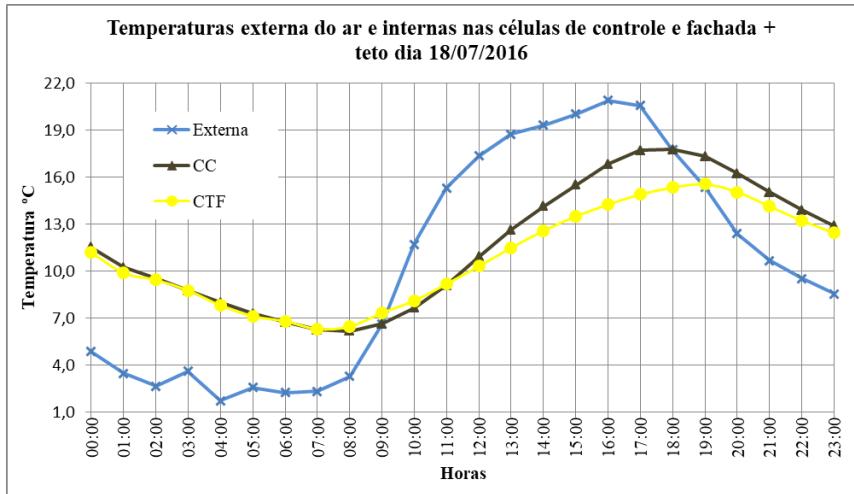


Figura 15: Gráfico das temperaturas externas do ar e das temperaturas internas da célula de controle e célula teto + fachada no dia 18/07/2016

Observou-se que as temperaturas máximas internas, de ambas as células de testes, são inferiores à externa. Logo, as temperaturas mínimas internas são superiores à mínima temperatura externa. A CTF foi aquela com a menor temperatura máxima em grande parte influenciada pelo aumento da inércia térmica que fachada e teto verde proporcionaram, diminuindo o calor que seria absorvido pela parede da célula e que seria conduzido para o ambiente interno.

Na tabela 2 nota-se que há uma pequena diferença entre as temperaturas mínimas das células de testes, de apenas 0,1°C, já na temperatura máxima, a diferença foi de 2,2°C.

Tabela 2: Valores e horários das temperaturas máximas e mínimas do dia 17/07/2016 das células de controle e teto + fachada e externa do ar

	Externa	CC	CTF
Max(°C)	20,9	17,8	15,6
(hora)	(16:00)	(18:00)	(19:00)
Mín(°C)	1,2	6,2	6,3
(hora)	(4:30)	(8:00)	(7:00)
ΔT	19,7	11,6	9,3

5.2.1.2. Comparação entre as temperaturas superficiais internas do teto e das fachadas oeste e norte

Como complemento à análise do comportamento térmico das células de testes, foram elaborados gráficos comparativos entre as temperaturas superficiais internas e externas do ar. Estes gráficos encontram-se nas Figuras 16, 17 e 18.

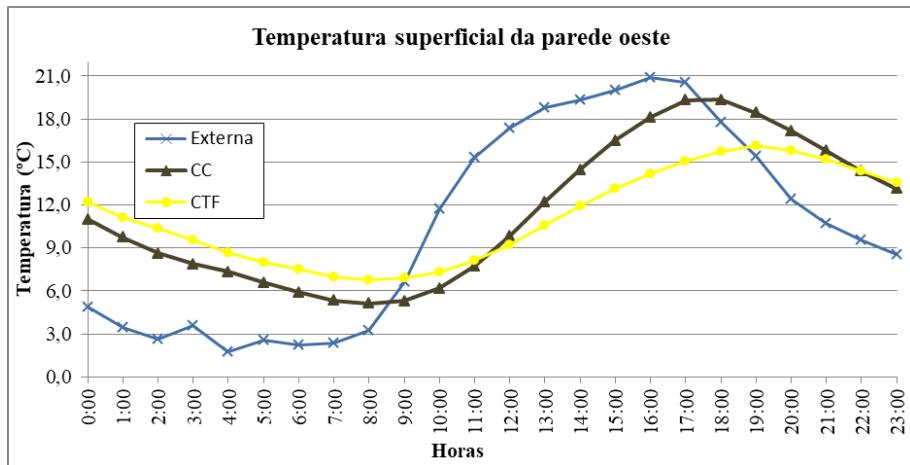


Figura 16: Gráfico das temperaturas superficiais da parede interna da fachada oeste e da temperatura externa do ar no dia 18/07/2017

Pelo gráfico da Figura 16 é possível perceber que a CTF consegue manter a temperatura superficial interna da fachada oeste mais estável com uma amplitude menor se comparada às temperaturas externas do ar e da CC. A CTF teve a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima.

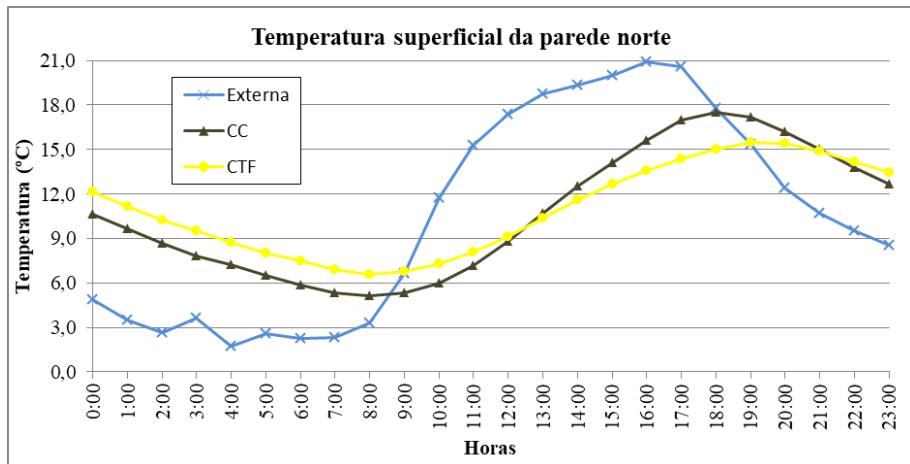


Figura 17: Gráfico das temperaturas superficiais da parede interna da fachada norte e da temperatura externa do ar no dia 18/07/2017

Semelhante à fachada oeste, o gráfico da Figura 17 permitiu observar que a CTF consegue manter a temperatura superficial interna da fachada norte mais estável com uma amplitude menor se comparada às temperaturas externas do ar e da CC. A CTF teve a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima.

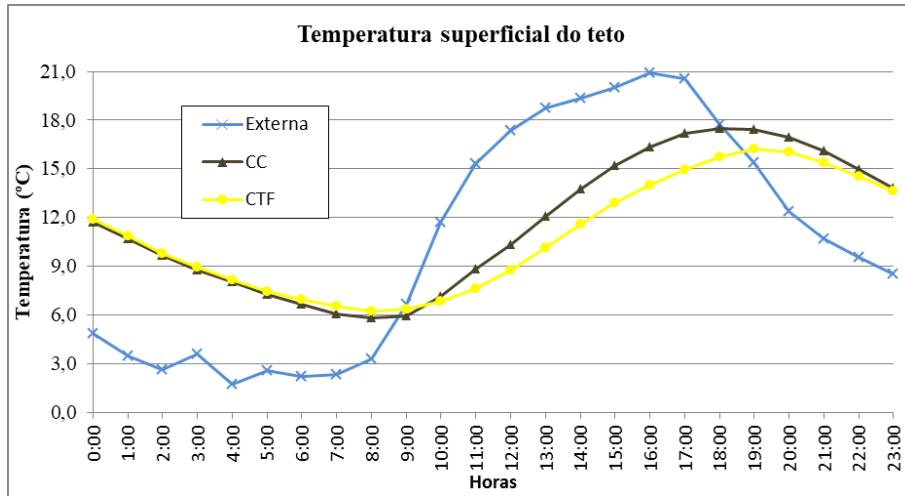


Figura 18: Gráfico das temperaturas superficiais interna do teto e da temperatura externa do ar no dia

18/07/2017

O teto da CTF apresentou comportamento semelhante à CC, com valores de temperaturas mínimas próximas e acima da temperatura externa do ar, porém a CTF teve uma temperatura máxima menor comparada a CC e externa do ar.

As duas paredes com vegetação possuem respostas semelhantes à variação da temperatura externa. A curva do gráfico 17 é mais suave, portanto não sofre com grande amplitude térmica ao longo do dia. O teto verde também possui um comportamento térmico melhor comparado ao teto sem vegetação, porém a diferença entre eles não é tão evidente se comparado às paredes.

A tabela 3 mostra os valores de máxima, mínima e da variação da temperatura em cada parede e teto.

Tabela 3: Valores e respectivos horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica das fachadas superficiais internas e do teto do dia 18 de julho

	FNV	FNC	FOV	FOC	TV	TC
Max (°C) (hora)	15,5 (19:00)	17,5 (18:00)	16,1 (19:00)	19,4 (18:00)	16,2 (19:00)	17,5 (18:00)
Min (°C) (hora)	6,6 (8:00)	5,2 (8:00)	6,7 (8:00)	5,1 (8:00)	6,3 (8:00)	5,8 (8:00)
ΔT	8,9	12,4	9,4	14,2	9,9	11,7

As células com parede verde possuem menores amplitudes térmicas em comparação às outras. Também são aquelas com as menores temperaturas máximas, 15,5°C para a parede norte e 16,1°C para a parede oeste. As superfícies com vegetação têm um atraso térmico de

uma hora em relação às superfícies da célula de controle. A diferença entre as temperaturas máximas registradas da fachada norte foi de 2°C e de 3,4°C entre as fachadas oeste. A diferença entre os tetos foi de 1,3°C.

5.2.2. Episódio representativo para um dia de calor

5.2.2.1. Análise do episódio climático representativo

Conforme exposto na metodologia, o episódio climático foi avaliado utilizando-se dos dados coletados das variáveis climatológicas durante o período estudo e das imagens de satélite GOES-13 do CPTEC-INPE, para a identificação das etapas pré e pós-frontais. Devido a grande quantidade de imagens, não seria possível colocar todas neste trabalho, portanto foram escolhidas apenas algumas para representar o episódio. Estas imagens são do mesmo horário, às 15:00 de cada dia e podem ser vistas na Figura 19.

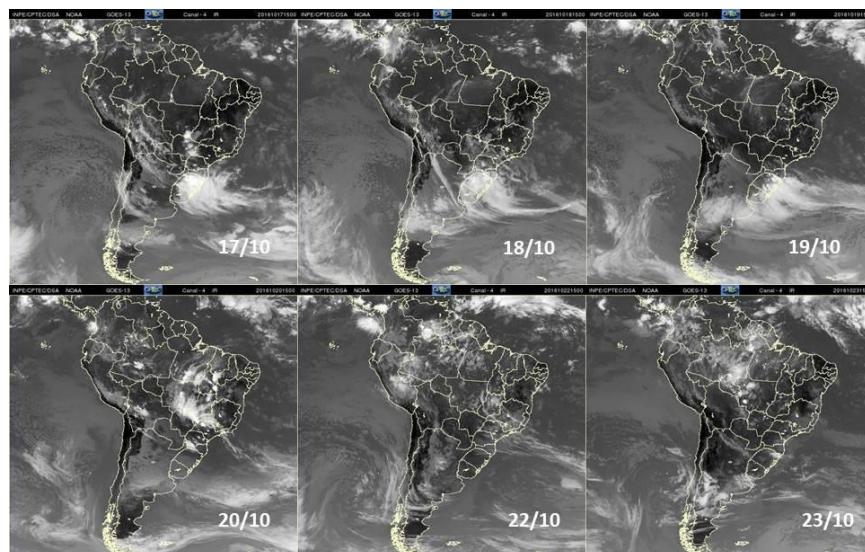


Figura 19: Imagens de satélite do CPTEC-INPE entre os dias 17 e 23 de outubro de 2016

Com a análise das imagens de satélite foi possível identificar a etapa pré-frontal, correspondente às fases de prenúncio e avanço, que teve início em torno do dia 18 de outubro com a diminuição da pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Durante o prenúncio, a maior temperatura máxima foi registrada na tarde do dia 19 de outubro. A fase de avanço aconteceu por volta de 20 de outubro e foi marcada pelo aumento da umidade relativa do ar, queda da temperatura e diminuição da radiação solar causada pelo aumento da nebulosidade, porém sem precipitação de chuva. A etapa pós-frontal com a fase de domínio da frente, teve início por volta do dia 21 de outubro até em torno de 23 de outubro, com aumento da pressão

atmosférica e diminuição da temperatura média do ar. A fase de transição começou em torno do dia 19 com a frente perdendo força e com leve aumento da temperatura.

A figura 20 contém os gráficos das diferentes variáveis atmosféricas, radiação solar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, temperatura e precipitação.

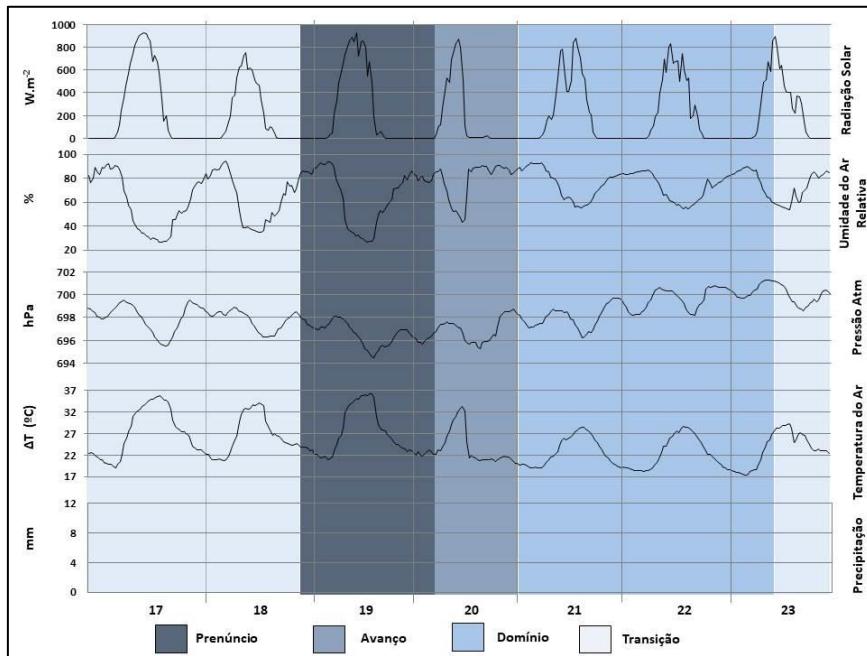


Figura 20: Análise climática. Episódio dos 17 a 23 de Outubro de 2016

A curva de radiação solar não sofreu variações repentinas até o dia 20, o que significa a presença de poucas nuvens. A partir do referido dia ocorreu um aumento da nebulosidade, porém durante o período estudado não ocorreu em nenhum momento a precipitação pluviométrica. Percebeu-se uma grande variação da umidade relativa do ar ao longo do dia chegando aos menores valores no fim da tarde, aumentando a velocidade com que a temperatura do ar diminui ao longo do dia.

5.2.2.2. Comparação entre as temperaturas externa e interna das células de testes

O dia 19 de outubro de 2016 teve a maior temperatura do ano, portanto foi escolhido como dia representativo para análise do episódio de calor. A temperatura registrada foi de 36,3°C às 16:00. O gráfico da Figura 21 mostra a variação das temperaturas externas e internas do ar ao longo do dia.

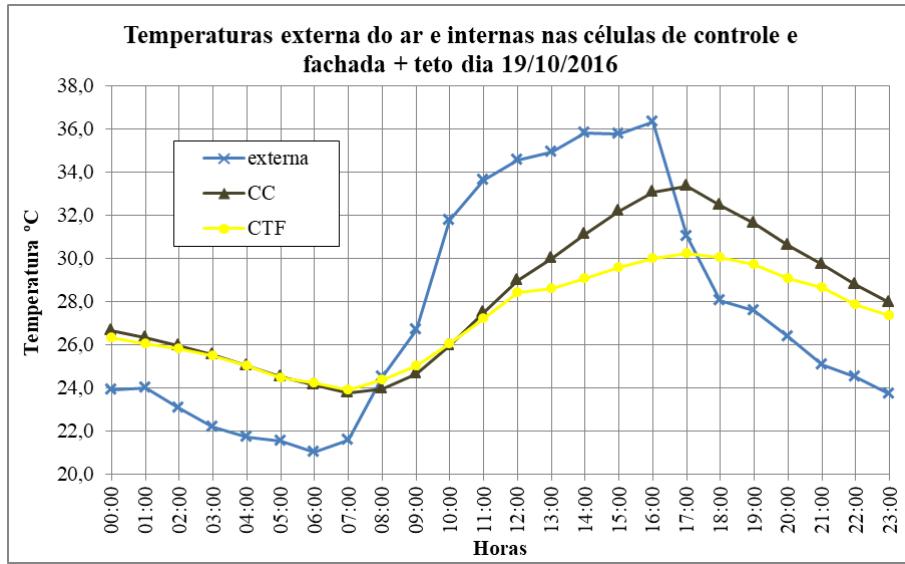


Figura 21: Gráfico das temperaturas externas do ar e das temperaturas internas da célula de controle e célula teto + fachada no dia 19/10/2016

A maior temperatura registrada da CTF foi de 30,2°C às 17:00, já a temperatura da célula de controle foi 33,4° também às 17:00, enquanto a maior temperatura externa registrada foi de 36,3°C às 16:00. Já as temperaturas mínimas registradas foram de 23,9°C às 7:00 para a CTF, 24,1°C às 7:00 para a CC e a temperatura externa foi de 21,0°C às 6:00. A diferença entre a temperatura máxima registrada da CTF com as temperaturas da CC e externa foram de 3,2°C e 6,1°, respectivamente.

A temperatura externa possui uma amplitude térmica maior, pois tem uma facilidade maior para perda de calor, enquanto a CTF possui a menor amplitude térmica, uma vez que a cobertura vegetal aumenta a inércia térmica, reduzindo a entrada e saída de calor de dentro da célula.

Tabela 4: Valores e horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica do dia 19/10/2016 das células de controle e teto + fachada e externa do ar

	Externa	CC	CTF
Max (°C) (hora)	36,3 (16:00)	33,4 (17:00)	30,2 (17:00)
Mín (°C) (Hora)	21,0 (6:00)	23,8 (7:00)	23,9 (7:00)
ΔT	15,3	9,6	6,3

5.2.2.3. Comparação entre as temperaturas superficiais internas do teto e das fachadas oeste e norte

Para a análise do comportamento térmico das células de testes também foram elaborados os gráficos comparativos entre as temperaturas superficiais internas e externas do ar. Estes gráficos encontram-se nas figuras 22, 23 e 24.

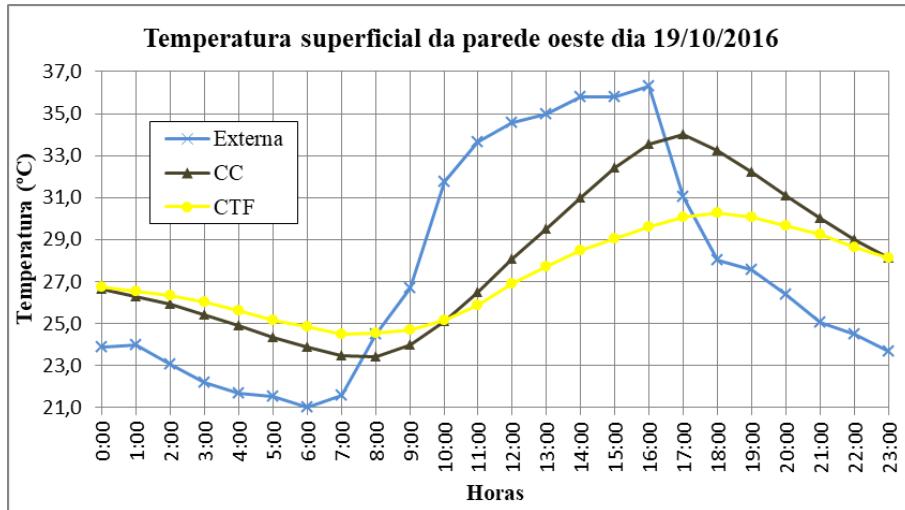


Figura 22: Gráfico com as temperaturas superficiais interna da fachada oeste e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016

Pelo gráfico da Figura 22 percebe-se que a CTF conseguiu manter a temperatura superficial interna da fachada oeste mais estável com uma amplitude menor se comparada às temperaturas externas do ar e da CC. A CTF teve a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima. A CC absorveu mais calor da radiação solar e transmitiu para a superfície interna da fachada em comparação ao que aconteceu no episódio de dia frio, tendo uma temperatura máxima relativamente maior ao da CTF.

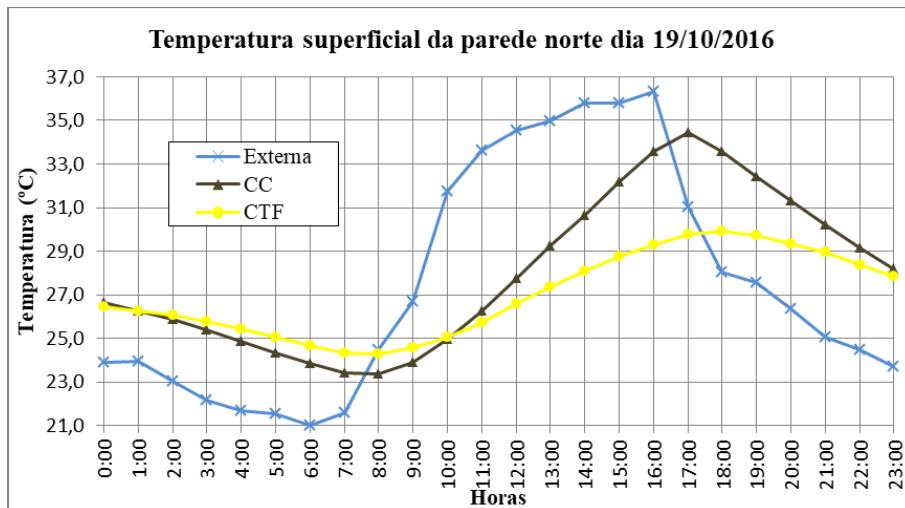


Figura 23: Gráfico com a temperatura superficial interna da parede norte e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016

Pelo gráfico da Figura 23, a fachada norte teve comportamento semelhante à fachada oeste, ou seja, a CTF conseguiu manter a temperatura superficial interna da fachada oeste mais estável com uma amplitude menor se comparada às temperaturas externas do ar e da CC. A CTF teve a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima. A CC absorveu mais calor da radiação solar e transmitiu para a superfície interna da fachada em comparação ao que aconteceu no episódio de dia frio, tendo uma temperatura máxima relativamente maior ao da CTF.

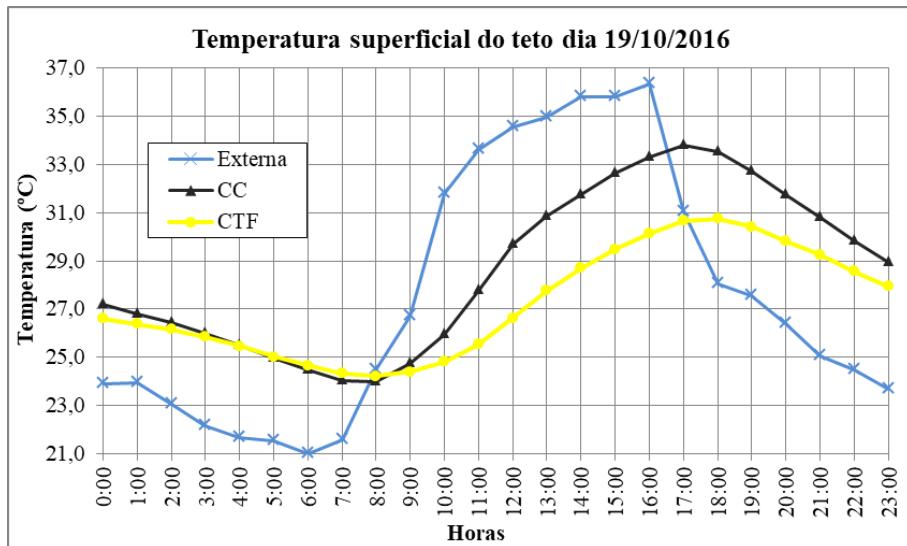


Figura 24: Gráfico com as temperaturas superficiais do teto e da temperatura externa do ar do dia 19/10/2016

O teto da CTF conseguiu reduzir a temperatura máxima em comparação à CC e a temperatura externa do ar, já as temperaturas mínimas para ambas as células foram semelhantes.

As duas fachadas vegetadas possuem respostas semelhantes à variação da temperatura externa. A curva do gráfico da Figura 22 é mais suave, ou seja, não sofre com grande amplitude térmica ao longo do dia. O teto verde também possui um comportamento térmico melhor comparado ao teto sem vegetação.

A tabela 5 mostra os valores de máxima, mínima e da variação da temperatura em cada uma das paredes e teto para o dia de calor.

Tabela 5: Valores e respectivos horários das temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica das fachadas superficiais internas e do teto do dia 19 de outubro

	FNV	FNC	FOV	FOC	TV	TC
Max (°C) (hora)	29,9 (18:00)	34,4 (17:00)	30,3 (18:00)	34,0 (17:00)	30,8 (18:00)	33,8 (17:00)
Min (°C) (hora)	24,3 (8:00)	23,4 (7:00)	24,5 (8:00)	23,4 (7:00)	24,2 (8:00)	24,0 (7:00)
ΔT	5,6	11,0	5,7	10,6	6,5	9,8

Observou-se uma variação menor das células com parede verde em relação às outras superfícies. A temperatura máxima da parede oeste é maior do que da parede norte. As paredes da CC são aquelas que possuem a maior amplitude térmica. A CTF conseguiu reduzir na ordem de 5°C a amplitude térmica das paredes e de 3°C do teto, consequentemente menos calor entrou na célula, reduzindo assim sua temperatura interna. A diferença entre as temperaturas máximas registradas da fachada norte foi de 4,5°C e de 3,7°C entre a fachada oeste. A diferença entre os tetos foi de 3,0°C.

Em ambos os cenários, foi possível perceber um melhor comportamento térmico das paredes, com uma diminuição das temperaturas máximas e mínimas, reduzindo a transferência de calor do ambiente externo para o interno, contribuindo para uma temperatura menor interna em comparação à célula de controle. Em especial, a CTF conseguiu reduzir a temperatura máxima no dia quente reagindo bem às variações da temperatura externa. Com isso, a amplitude térmica interna é menor.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente as temperaturas internas das células de teste durante um episódio climático representativo. Tais dias foram definidos a partir dos dias com a maior e menor temperatura medidas durante o período de 12 meses, compreendidos entre 01 de janeiro e 31 de dezembro de 2016.

Nos dois episódios estudados, as temperaturas máximas da CTF foram menores em relação à CC e temperatura externa do ar. Essa diferença foi mais significativa no dia de calor, com 3,2°C entre CTF e CC e de 6,1°C entre CTF e TE. Já para o dia frio, essa diferença foi de 2,2°C entre CTF e CC e 5,3°C CTF e TE. As temperaturas mínimas tiveram valores parecidos tanto no CTF e CC, ambas foram maiores que a temperatura externa no dia de frio e de calor. A diferença entre elas foi de 0,1°C tanto para o dia de frio quanto para o dia de calor.

A amplitude térmica foi menor nas CTF tanto para o dia representativo de frio quanto de calor. A diferença foi de 2,3°C para o dia frio e de 3,3°C para o dia de calor. Essa diferença se deve ao fato da redução da temperatura máxima, uma vez que as temperaturas mínimas das células de testes são próximas. A vegetação serve como uma barreira que impede parte da radiação solar de aquecer a parede e consequentemente reduz a quantidade de calor que entra na célula.

A cobertura verde mostrou uma capacidade em reduzir a temperatura máxima tanto das paredes quanto do teto em comparação à célula de controle. No dia representativo de calor, a diferença foi de 4,5°C entre as paredes norte, de 3,0°C entre os tetos com e sem cobertura vegetal e as paredes oeste apresentaram diferença de 3,7°C entre si. Já para o dia representativo de frio, as diferenças foram de 2,0°C entre as paredes norte, 3,3°C entre as paredes oeste e 1,3°C entre os tetos.

Assim como aconteceu com a temperatura interna do ar, a amplitude térmica da superfície das paredes também foi menor na célula com teto e fachada verde. Essa diferença para o dia de frio foi de 3,5°C para a parede norte, 4,9°C para a parede oeste e 1,7°C para o teto. Para o dia de calor a diferença entre as amplitudes térmicas foi de 5,4°C para a parede norte, 4,8°C para a parede oeste e 3,3°C para o teto.

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, então diminuindo a temperatura interna, o que pode ser comprovado ao analisar as temperaturas internas do ar.

Através da análise comparativa das temperaturas internas do ar e superficiais internas das paredes e tetos, percebe-se que a cobertura verde conseguiu reduzir a temperatura e controlar a variação da temperatura ao longo do dia, com a melhoria do comportamento térmico dentro das células. A vegetação absorve parte da radiação, principal responsável pelo aumento de temperatura da superfície, além de proporcionar sombra sobre a fachada, reduzindo a quantidade de calor que entra na célula de teste. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com aqueles obtidos por Gallardo (2017).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMAN, J. **Espaço para a alma.** National Geographic Brasil, São Paulo, n.79, p. 90-95, out, 2006.
- CARLO, J.; GHISI, E.; LAMBERTS R. **The use of computer simulation to establish energy efficiency.** In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 8. Eindhoven, 2003. Proceedings, Eindhoven: IBPSA, 2003.
- 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.** Local: Editora, US 20090007486, 8 Jan. 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. <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/9767/5855>. Acesso 21/07/2017.
- ÇENGEL, Y.A., **Transferencia De calor y masa:** un enfoque práctico. 3. ed. Mexico: McGraw-Hill, 2007. Disponible en: <https://www.ucursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf> Acesso em 20/07/2017.
- DOCHERTY, M.; SZOKOLAY, S. V. **Climate analysis.** Brisbane. Passive and Low Energy Architecture International, University of Queensland Printery, 1999.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls.** 1ª Edição. Portland: Inc.Timber Press, 2008.
- FRACCAROLI **Vista panorâmica realizada com drone das células experimentais.** Foto realizada com drone no CRHEA (2015).
- GALLARDO, N. P. **Respuesta térmica de edificaciones con envolventes vegetales: cubiertas verdes y fachadas verdes.** 2017. 123p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GHISI, E.; LAMBERTS R. **Desempenho térmico das edificações.** – parte 1: definições, GRUJIC, J. **Funcionalidades de la vegetación en el metabolismo de edificio.** 2011. Tesina (Máster) – Universitat Polytécnica de Catalunya, Barcelona, 2011.
- HARTIG T.; MANG M.; EVANS G. W. **Restorative effects of natural environment experience.** Environment and Behavior 23: 3-26, 1991.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Divisão de satélites e sistemas ambientais.** Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br>> acesso em 20/07/2017.
- Símbolos e unidades. Florianópolis, 1998. Proposta de norma.

- KOHLER, M., **Green facades- A review back and some vision.** *Urban Ecosyst.* N° 11,423-436. 2008
- LAMBERT R., DUTRA L., PEREIRA O.R.F. **Eficiência Energética na arquitetura.** 2005.
- LAURENZ, J. et al. **Natural envelope. The green element as a boundary limit.** In: THE 2005 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo. 2005.
- LIMA, J. E. **Aplicação de análise hierárquica para escolha de sistemas de fachadas vegetais em Curitiba.** Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, v. 2, n. 2. revistas.ufpr.br/relainep/article/view/38352. Acesso 27/09/2017.
- LIU K., BASKARAN, B. **Green roof infrastructure – technology demonstration, monitoring and market expansion market project. Part 1: Field monitoring and technical analysis.** 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 tipos de cobertura.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciencias da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MODNA, D. **Influência das áreas verdes urbanas na temperatura e na umidade do ar em São Carlos-SP.** 2004 108p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- NEVES, G. Z. F. ; VECCHIA, F. A. S. . **Definição de episódio representativo no período de outono: abordagens conceituais e metodológicas em climatologia dinâmica.** In: XIV EREGEO - Encontro Regional de Geografia, 2016, Cidade de Goiás-GO. Anais XIV EREGEO - Encontro Regional de Geografia, 2016.
- OKE, T.R.. **Boundary Layer Climates.** 2nd ed. New York:Methuen. 1987
- OLGYAY, V. **Arquitectura y clima:** manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- PÉREZ, G. et al. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, v.88, n.12, p.4854-4859, Dec. 2011.
- PERUSSI, R. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataforma de teste.** 2016. 88p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PIMENTEL DA SILVA, L.; MACRAE F. R.; GOMES M. M.; CERQUEIRA L. F. F.; ROSA, E. U.; MORAES M. F. **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 Drenage. Edingurgh, 2008.

RUAS, Á. C. Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software. 2002. 183p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, D. J. P. Desempenho térmico de uma cobertura verde num edifício solar passivo. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

SEIXAS, G. T. C. de. Climatologia aplicada a arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste. 2015. 126p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHEWEKA, S.; MAGDY, N. The Living walls as an approach a healthy 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, Feb. 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.

VALESAN, M. Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com peles-verdes em Porto Alegre. 2009. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VECCHIA, F. A. S. Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada a conforto humano. 1997. 336p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ZINCO. Detailed information on our entire green roof product range. Disponível em: <<http://www.zinco-greenroof.com/EN/downloads>>. Acesso em 21/07/2017