

#### Catálogo-na-publicação

Prandini, Caroline

A influência do jardim vertical na condição térmica de uma edificação / C. Prandini -- São Paulo, 2018.

98 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.temperatura 2.jardim vertical 3.isolamento térmico I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

**CAROLINE PRANDINI PRANDINI**

**A INFLUÊNCIA DO JARDIM VERTICAL NAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DE  
UMA EDIFICAÇÃO**

**São Paulo 2017**

**CAROLINE PRANDINI PRANDINI**

**A INFLUÊNCIA DO JARDIM VERTICAL NAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DE  
UMA EDIFICAÇÃO**

Dissertação de Trabalho  
Final apresentada à Escola  
Politécnica da  
Universidade de São Paulo  
como parte dos  
requisitos para a obtenção do  
título de Bacharelado  
em Engenharia Civil

Área de concentração:  
Engenharia de  
Construção Civil e Urbana

Orientadora:  
Profa. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite

**São Paulo 2017**

**CAROLINE PRANDINI PRANDINI**

**A INFLUÊNCIA DO JARDIM VERTICAL NAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DE UMA  
EDIFICAÇÃO**

Trabalho Final apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Profa. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite (Orientadora)

---

Angélica Felicidade Guião Marcato Costa

---

Eliane Hayashi Suzuki

## **AGRADECIMENTOS**

A Brenda Chaves Coelho Leite, minha orientadora que sempre fez todo o possível para que tudo desse certo.

Ao Movimento 90° pela parceria e incentivo.

A Lucas Giannini, Ana Ganzaroli e Murilo Bruza que me ajudaram, cada um em uma partezinha desse trabalho.

E a todos meus amigos e familiares que não só me ajudaram a finalizar esse trabalho, mas, principalmente, a chegar neste momento de conclusão de curso.

## RESUMO

Num contexto civilizatório de grandes concentrações urbanas que resultam em fenômenos climáticos locais de elevação da temperatura média das cidades, cada vez mais os métodos artificiais de resfriamento, como ar condicionado e ventiladores, demandam recursos energéticos e financeiros.

Nesse cenário, surgem os Jardins Verticais ou Paredes Verdes, criados com um propósito inicialmente estético, mas com potencial de contribuição como alternativa sustentável na melhoria do desempenho térmico de edificações e redução do uso de formas artificiais de resfriamento. Essa pesquisa se baseou nessa suposição, e a partir de medidas experimentais comparou o desempenho de um mesmo protótipo instrumentado, localizado no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, São Paulo, de cobertura cerâmica anterior e posteriormente à instalação de um jardim vertical. A comparação dos resultados e análises demonstraram que o jardim realmente possui potencial de isolamento térmico, porém não influencia muito nas temperaturas máximas atingidas no interior do protótipo. Espera-se que, primeiramente, os resultados guiem a utilização dos jardins verticais no sentido de aproveitar suas propriedades em busca de melhores desempenhos térmicos das edificações, e em segundo lugar, sejam incentivadores à disseminação dos jardins verticais, que tanto podem agregar à qualidade das moradias e ambiente urbano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Jardim vertical, parede verde, fenômenos climáticos, ar condicionado, sustentabilidade, temperatura, umidade, protótipo, isolamento térmico, desempenho térmico.

## ABSTRACT

Great urban concentrations have led to local climate phenomena that tend to elevate cities average temperatures, resulting in an ever increasing demand of energy and financial resources towards artificial air conditioning.

In this context, vertical gardens - or green walls - originally designed for esthetic purposes have the potential of becoming a more sustainable alternative for reducing this demand. The present research was based in this assumption and used experimental obtained data to compare performance of a prototype of ceramic roof before and after installing a garden wall. The data was collected from an instrumented prototype constructed at the Ploytechnic School of the University of São Paulo, São Paulo. Results show that green walls do have an isolation potential, but they don't prevent the interior of a construction from higher temperatures. Results found are expected to, first, guide a better use of green wall in order to explore their full potential, and, second, encourage the application of garden walls, that impact construction and the urban enviromental in many positeve ways.

**Keywords:** Vertical garden, green wall, climate phenomena, air conditioning, sustainability, temperature, humidity, prototype, thermal isolation, thermal performance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição percentual da População por situação de domicílio - Brasil - 1980 a 2010.....	14
Figura 2 - Mapas da temperatura da superfície e da área foliar do município de São Paulo .....	15
Figura 3 - Esquema dos diferentes tipos de jardins verticais .....	19
Figura 4 - Esquema explicativo dos diferentes tipos de Fachadas Verdes .....	20
Figura 5 - Exemplo de fachada verde direta .....	21
Figura 6 - Desenho esquemático representando os sistemas Rede de Cabos e Treliça Modular, respectivamente .....	22
Figura 7 - Imagem ilustrativa de parede viva contínua .....	24
Figura 8 - Exemplo de Parede Viva de Tabuleiro .....	25
Figura 9 - Exemplo de Parede Viva de Vasos de plástico .....	26
Figura 10 - Exemplo de Parede Viva de Vasos de fibra de coco .....	26
Figura 11 - Exemplo de Parede Viva de Revestimento de Plantio .....	27
Figura 12 - Exemplo de sistema de irrigação de gotejamento utilizado em paredes vivas modulares.....	29
Figura 13 - Imagem ilustrativa de sistema de irrigação de paredes vivas contínuas .....	30
Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	33
Figura 15 - Zona Bioclimática 3 .....	34
Figura 16 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC (situada na mesma zona que a cidade de São Paulo) .....	34
Figura 17 - Propriedades térmicas da cobertura de telha cerâmica com forro de PVC ....	38
Figura 18 - Plantas e corte do protótipo .....	38
Figura 19 - Gabarito para fundação .....	41
Figura 20 - Fundação tipo radier .....	42
Figura 21 - Formação das paredes .....	42
Figura 22 - Pilares Estruturais.....	43
Figura 23 - Montagem do telhado cerâmico .....	43



Figura 24 - Fachada antes da instalação do jardim .....	44
Figura 25 - Fixação das Placas Pré Montadas às Barras Metálicas .....	44
Figura 26 - Sistema Automático de Irrigação .....	45
Figura 27 - Plantio.....	45
Figura 28 - Jardim após 6 meses do plantio.....	46
Figura 29 - Planta de Locação de Instrumentos .....	48
Figura 30 - Locação de Instrumentos - Parede 1.....	49
Figura 31 - Locação de Instrumentos – Parede 2.....	49
Figura 32 - Locação de Instrumentos – Parede 3.....	50
Figura 33 - Locação de Instrumentos – Parede 4.....	50
Figura 34- Conversor USB i485 .....	52
Figura 35 - RHT interno e externo.....	52
Figura 36 - Termopar .....	52
Figura 37 - Fieldlogger.....	52
Figura 39 - Painel fechado .....	53
Figura 38 - Painel aberto.....	53
Figura 40 - Organograma ilustrativo da hierarquia de automação.....	55
Figura 41 - Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática	
3.....	35
Tabela 2: Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3.....	35
Tabela 3: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3 .	35
Tabela 4: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.....	35
Tabela 5: Aberturas para ventilação.....	36
Tabela 6: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação .....	36
Tabela 7: Especificações ABNT para paredes .....	37
Tabela 8: Propriedades térmicas dos materiais utilizados.....	37
Tabela 9: Especificação dos sensores .....	51
Tabela 10: Dias com temperatura e umidade médias iguais .....	58
Tabela 11: Dias Analisados neste Trabalho .....	65
Tabela 12: Temperaturas e umidades médias interna e externa.....	68
Tabela 13: Teste de hipótese temperatura e umidade interna média .....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 1 .....	60
Gráfico 2 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 2.....	60
Gráfico 3 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 3.....	61
Gráfico 4 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 4.....	61
Gráfico 5 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 5.....	62
Gráfico 6 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 6.....	62
Gráfico 7 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 7 .....	63
Gráfico 8 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 8.....	63
Gráfico 9 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 9.....	64
Gráfico 10 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 10.....	64
Gráfico 11 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 1.....	69
Gráfico 12 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 1.....	70
Gráfico 13 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 1 .....	72
Gráfico 14 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 1 .....	73
Gráfico 15 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 3.....	74
Gráfico 16 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 3.....	75
Gráfico 17 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 3 .....	77
Gráfico 18 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 3 .....	78
Gráfico 19 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 4.....	79

Gráfico 20 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 4.....	80
Gráfico 21 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 4 .....	82
Gráfico 22 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 4 .....	83
Gráfico 23 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 6.....	84
Gráfico 24 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 6.....	85
Gráfico 25 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 6 .....	87
Gráfico 26 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 6 .....	88
Gráfico 27 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 10.....	89
Gráfico 28 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 10.....	90
Gráfico 29 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 10 .....	91
Gráfico 30 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 10 .....	92

## SUMÁRIO

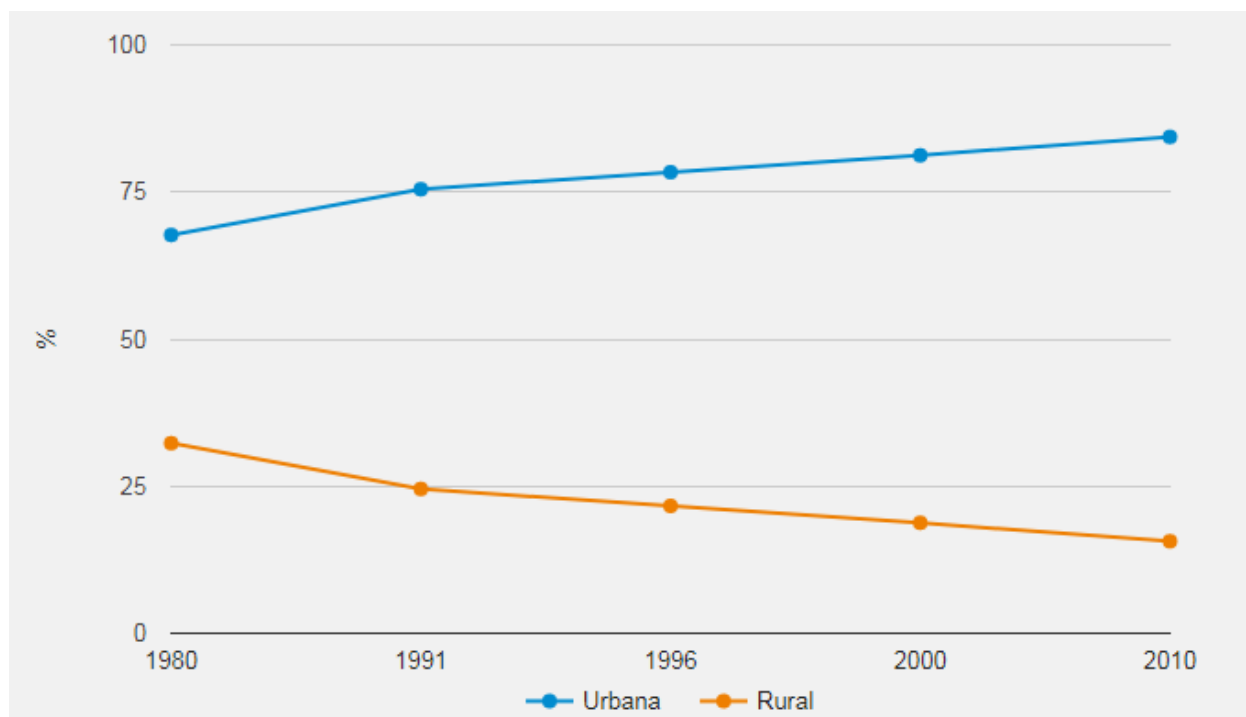
### Sumário

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	7
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE GRÁFICOS .....	10
SUMÁRIO .....	12
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 Objetivos gerais.....	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
3. JARDINS VERTICAIS .....	18
3.1 Definição e Panorama Histórico dos Jardins Verticais .....	18
3.2 Tipos de Jardins Verticais .....	19
3.2.1 Fachadas Verdes.....	20
3.2.2 Paredes Vivas ( <i>Living Wall</i> ).....	23
3.3 Variáveis na escolha do tipo de estrutura e de planta .....	28
3.4 Outros componentes do sistema.....	29
4. PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	31
4.1 O Protótipo .....	32
4.1.2 Detalhamento do Protótipo .....	32
4.1.2 Escolha da Parede de Instalação do Jardim.....	39

4.1.3 Escolha do Tipo de Jardim .....	39
4.1.3.1 Detalhamento do Jardim .....	40
4.1.4 Memorial Fotográfico da Obra e Instalação da Parede .....	41
5. PROCEDIMENTOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS .....	47
5.1 Medição das Variáveis Internas e Externas .....	47
5.1.2 Descrição Específica dos Equipamentos Utilizados .....	51
5.1.3 Período de Coleta de Dados .....	53
5.1.4 Hierarquia da Automação de Coleta de Dados .....	54
5.1.5 Tratamento e Análise de Dados .....	56
5.2 Seleção dos Dias Analisados.....	56
5.2.1 Análise Estatística das Temperaturas e Umidades Externas.....	56
5.2.2 Análise de Comportamento das Temperatura e Umidade Externas.....	59
5.2.3 Determinação dos Casos Climatologicamente Equivalente.....	65
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
6.1 Análise dos Resultados dos Casos Seleccionados .....	66
6.1.1 Análise Estatística das Médias da Temperatura e Umidade Internas .....	67
6.1.2 Análise do Primeiro Caso – Comparação 1 .....	69
6.1.3 Análise do Segundo Caso – Comparação 3 .....	73
6.1.4 Análise do Terceiro Caso – Comparação 4.....	78
6.1.5 Análise do Quarto Caso – Comparação 6 .....	84
6.1.6 Análise do Quinto Caso – Comparação 10 .....	89
7. CONCLUSÕES.....	93
8. REFERÊNCIAS .....	95

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Desde o século XX até os tempos atuais, se observou uma forte tendência de a população mundial migrar do ambiente rural para o ambiente urbano. O Brasil não é uma exceção, e, de acordo com dados do IBGE (Censo, 2010), até 2010 aproximadamente 84% da população se encontrava na área urbana (Figura 1).



**Figura 1 - Distribuição percentual da População por situação de domicílio - Brasil - 1980 a 2010**

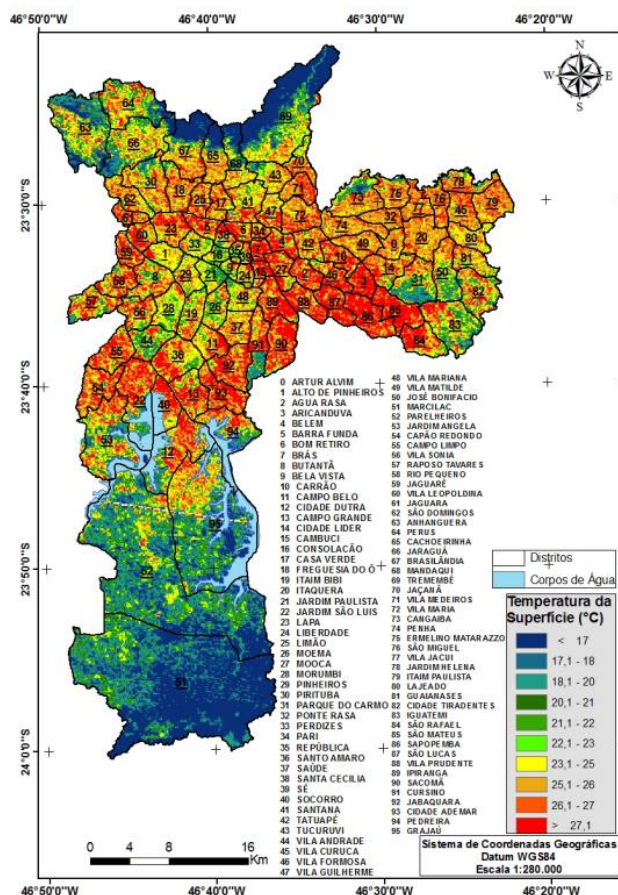
Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1980, 1991, 2000 e 2010, e Contagem da População 1996.

O desenvolvimento dos meios urbanos é em sua maioria caracterizado pela redução da cobertura vegetal, que antes cumpria a função de promover o balanceamento do ecossistema que promovia infiltração da água no solo ou o retorno para a atmosfera, via evapotranspiração e, portanto, absorvendo água da chuva e desempenhando uma função de resfriamento das cargas solares (GETTER, K.L.; ROWE, D.B.; 2006). Uma das consequências da retirada da cobertura vegetal é o fenômeno denominado Ilha de Calor.

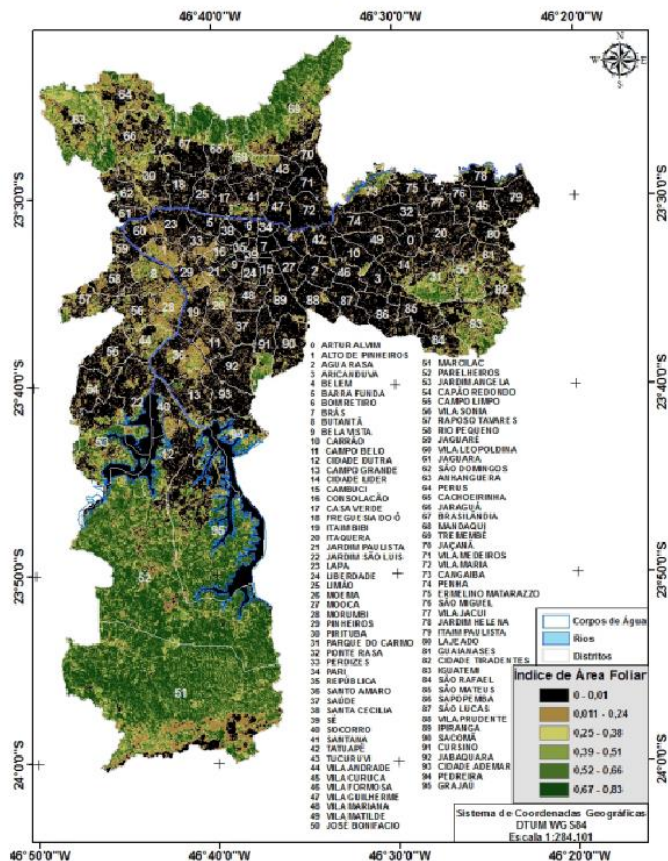
O fenômeno denominado “Ilha de Calor Urbana” é caracterizado pela diferença acentuada de temperatura entre regiões urbanas e rurais próximas e pode provocar consequências como desconforto ou até mesmo aumento da mortalidade de idosos e doentes. Esse fenômeno é gerado, entre outros fatores, a partir da remoção de cobertura vegetal na parte urbana e substituição por

materiais que absorvem mais calor. Na cidade de São Paulo, onde já foram observadas diferenças de até 10°C (LOUREIRO, 1993) entre o centro e a periferia, tal correlação pode ser nitidamente observada pela figura 2 abaixo, nas quais as mesmas regiões com menor área foliar são as de maiores temperaturas.

**Mapa da temperatura da superfície do município de São Paulo**



**Mapa do índice de área foliar do município de São Paulo**



**Figura 2 - Mapas da temperatura da superfície e da área foliar do município de São Paulo**

Fonte: GEOUSP (Online), São Paulo, v. 20, n. 1, p. 160 – 177, jan./abr. 2016

Graças a esse fenômeno, a temperatura acentuada no meio urbano nas épocas mais quentes do ano leva a um aumento do uso de ar condicionado, o que provoca grande demanda energética e financeira. Estima-se que o Brasil seja o quinto maior comprador de ar condicionado do mundo (DONALD, Cláudia, et al, 2013) e que um ar condicionado de 7500 BTUs, um dos mais baixos do mercado, funcionando 8 horas por dia, acarrete em um aumento superior a cem (100) reais na conta de energia (VIANA, 2014).



Nesse contexto, diversas soluções alternativas de contenção de calor estão sendo propostas e estudadas. Dentre elas, o jardim vertical surge como uma tentativa sustentável de amenizar esse fenômeno e suas consequências. Representando uma melhora para o meio urbano em geral, mas também, no desempenho térmico das edificações e, assim, gerando uma redução na utilização de ar condicionados e, portanto, possibilidade de economia para os brasileiros. Além da melhora no desempenho térmico, outros benefícios potenciais dos jardins verticais são, por exemplo, alterações do desempenho acústico, da umidade local, do escoamento superficial de água pluvial e da qualidade do ar. Ademais, fala-se também de possíveis benefícios psicológicos para o ser humano e para a paisagem; já existem estudos que procuram desmistificar e medir o real impacto psicológico dos jardins verticais nos seres humanos.

Recentemente, a aprovação do Decreto 55.994 de março de 2015 (SÃO PAULO, 2015), que incluiu os jardins verticais na Lei de Compensação Ambiental, serviu de incentivo ao aumento dessas paredes verdes. Entre as principais obras presentes na cidade de São Paulo, pode-se mencionar os jardins verticais na Via Elevado Presidente João Goulart, conhecida popularmente pelo nome “minhocão”, e na Avenida 23 de Maio, que servem como paisagem para os transeuntes que passam por essas vias diariamente.

Considerando que poucos estudos sobre o desempenho de jardins verticais foram feitos, propõe-se uma pesquisa, por meio da qual se pretende analisar o desempenho térmico que espera-se obter da instalação de um jardim vertical sobre uma das paredes de alvenaria de uma edificação. Para tanto, foram analisados dados de medições em uma casa-protótipo localizada no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. O protótipo, que será detalhado posteriormente neste documento, possui parede de alvenaria e telha cerâmica foi construído para pesquisa de mestrado de Iara Lima Ferraz sobre desempenho térmico de um sistema de cobertura verde. Foram aproveitados também dados coletados durante a pesquisa de Iara Lima Ferraz relativos aos ambientes externo e interno do protótipo de telha cerâmica, feitos antes da instalação do jardim vertical. Os mesmos tipos de dados foram coletados durante esta pesquisa, após instalação do jardim vertical no protótipo, com objetivo de realizar análise comparativa.

## **2. OBJETIVOS**

Neste capítulo são apresentados os objetivos gerais e específicos desse trabalho.

### **2.1 Objetivos gerais**

A pesquisa tem por finalidade analisar o comportamento térmico de uma edificação com jardim vertical instalado, para verificar a contribuição desse sistema à economia de energia para a climatização de ambientes fechados, tendo como referência a mesma edificação sem o jardim vertical.

### **2.2 Objetivos específicos**

- o Instalar um sistema de jardim vertical em uma edificação (protótipo) existente;
- o Comparar o comportamento térmico dos sistemas com e sem jardim vertical;
- o Análise de dados e quantificação da provável economia de energia do sistema de jardim vertical no processo de resfriamento do ambiente.

### **3. JARDINS VERTICAIS**

Neste capítulo será apresentado o conceito dos jardins verticais e um breve panorama histórico dos jardins verticais. Além disso, detalhar-se-á os tipos existentes atualmente, bem como condições para o seu funcionamento.

#### **3.1 Definição e Panorama Histórico dos Jardins Verticais**

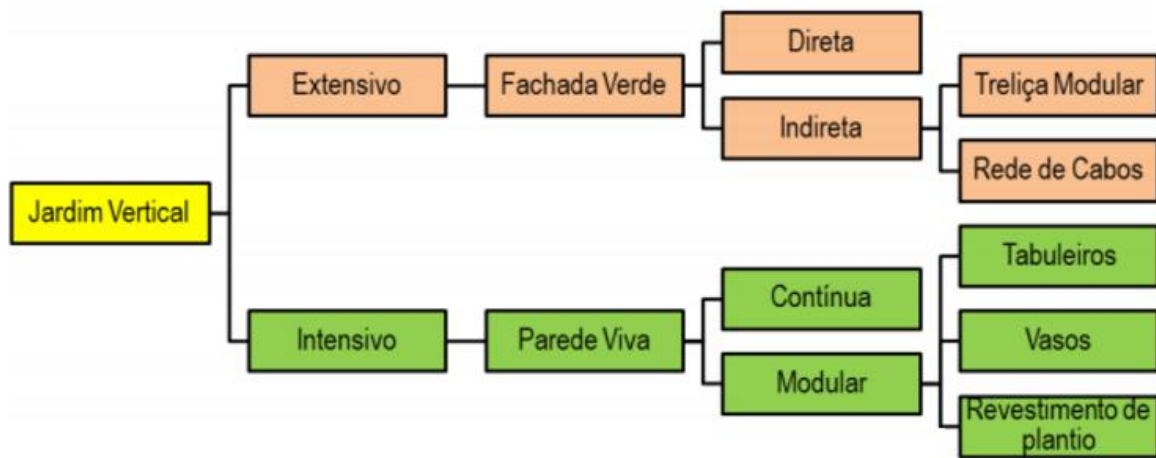
O jardim vertical constitui todas as formas de superfícies verticais vegetadas (CASTRO GOMES, 2015). Trata-se de uma definição bastante simples, porém que abrange grande gama de possibilidades de estrutura de níveis de complexidade. Pode-se chamar de jardim vertical desde uma planta trepadeira que cresce sem planejamento sobre um muro até estruturas bem mais complexas com plantas de porte muito maiores e sistemas automáticos de irrigação.

Embora o primeiro indício de jardins verticais seja dos jardins suspensos da Babilônia, dos quais existem poucos registros arqueológicos, apenas nos séculos XVII e XVIII o seu uso foi proliferado na forma de trepadeiras para cobrir paredes de construções no Reino Unido e Europa Central; somente durante o movimento pelas cidades-jardim, no século XX, é que ocorreu a integração do jardim com a construção e fez surgir incentivos para instalação de fachadas verdes (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Este tipo de fachada foi patenteado apenas em 1938 pelo professor Stanley Hart White, professor da universidade de Illinois, que realizou alguns protótipos; posteriormente foi desenvolvido pelo botânico francês Patrick Blanc, que modernizou e difundiu esse modelo de plantação. De acordo com Blanc, P. (s.d) as plantas não necessitam de solo para se desenvolver - o solo funciona apenas como suporte mecânico - desde que as plantas tenham água com minerais dissolvidos, dióxido de carbono e luz para realização da fotossíntese.

Desde a sua criação os jardins verticais foram reproduzidos em diferentes condições e executados por diferentes pessoas de modo que, ao se disseminarem se diversificaram muito. Atualmente, existe uma grande variedade de tipos que serão descritos a seguir.

### 3.2 Tipos de Jardins Verticais

Entende-se que as estruturas de jardim vertical podem ser divididas em duas tipologias principais: fachadas verdes e paredes vivas ou *living walls* (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). O primeiro tipo é de fácil construção e manutenção e, por isso, é chamado extensivo, enquanto as *living walls* possuem maior complexidade e são chamados intensivos. A figura 3 ilustra a classificação dos jardins verticais.



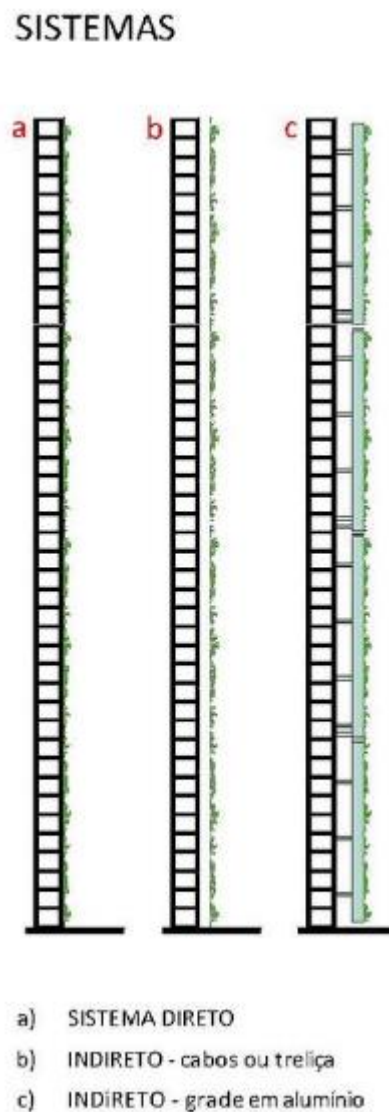
**Figura 3 - Esquema dos diferentes tipos de jardins verticais**

Fonte: CRUCIOL BARBOSA, Murilo; FONTES, Maria Solange G. de C., 2016 (editado)

Os jardins verticais devem considerar diversos elementos para que tenham bom funcionamento e baixa manutenção. Os cuidados e custos aumentam na medida em que se aumenta a complexidade do jardim vertical. A manutenção de fachadas verdes está mais associada à poda e adubação, enquanto as paredes vivas requerem atenção ao sistema de irrigação e desenvolvimento de plantas. Como, no segundo tipo, o espaço de crescimento das plantas é limitado podem ser necessárias trocas de mudas mais frequentes.

### 3.2.1 Fachadas Verdes

O tipo fachada verde usa espécies trepadeiras ou pendentes para cobrir uma determinada superfície vertical. A vegetação pode ser conduzida diretamente na parede, sendo classificada como “diretas”, ou em alguma estrutura de suporte, e portanto, “indiretas” (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Por dependerem do crescimento da planta para alcançar a cobertura da superfície, as fachadas verdes limitam-se a alturas de até 12m. A figura 4 ilustra os tipos de sistema de Fachada Verde.



**Figura 4 - Esquema explicativo dos diferentes tipos de Fachadas Verdes**

### **3.2.1.1 Fachadas Verdes Diretas**

As fachadas verdes diretas, ilustradas na figura 5, requerem menos investimentos, mas também são mais susceptíveis a causar danos à superfície onde estão instaladas, devido à umidade e à liberação de substâncias degradantes.

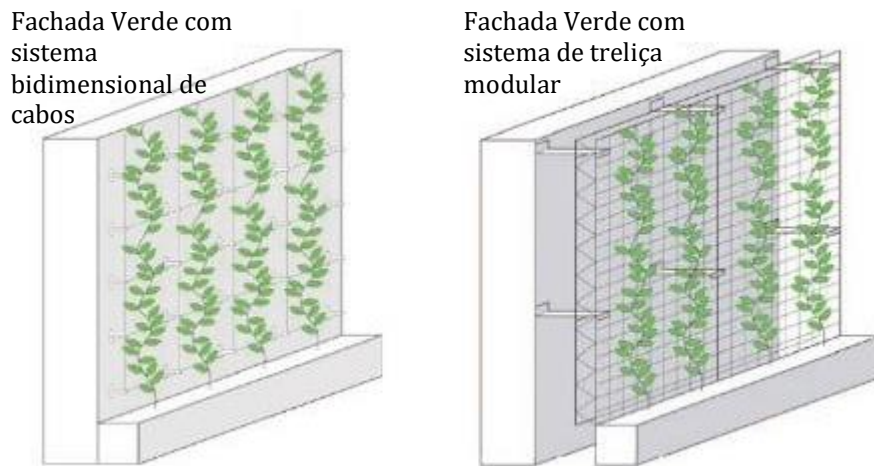


**Figura 5 - Exemplo de fachada verde direta**

Fonte: MANSO; CASTRO-GOMES (2015)

### **3.2.1.2 Fachadas Verdes Indiretas**

As fachadas verdes indiretas podem ser divididas em dois modelos: treliças modulares e rede de cabos, como demonstrado na figura 6.



**Figura 6 - Desenho esquemático representando os sistemas Rede de Cabos e Treliça Modular, respectivamente**

Fonte: WOOD, A. BAHRAMI; P. & SAFARIK, D., 2014

#### **3.2.1.2.1 Treliças Modulares**

As treliças modulares são módulos tridimensionais feitos com fios de aço galvanizado rígidos e soldados, formando um painel com grades nas laterais do módulo. Estes painéis são leves, rígidos e empilháveis para ampliar a área de cobertura ou permitir flexibilidade nas formas.

#### **3.2.1.2.2 Redes de cabos**

As redes de cabo são mais flexíveis e constituídas por cabos de aço ligados e fixados na parede por abraçadeiras cruzadas. A distância entre os cabos dita a cobertura da fachada (SHARP et al., 2008).

A vegetação pode ser plantada na base das estruturas ou paredes, diretamente no chão, ou em jardineiras intermediárias fixadas ao longo da estrutura de suporte. Em sistemas combinados com jardineiras são necessários mecanismos de irrigação e fertilização adequados, com o objetivo de levar água e nutrientes para as plantas que não estão ligadas ao solo. Outro fator importante é a dimensão destas jardineiras, pois o tamanho delas é que vai determinar o espaço para

desenvolvimento das raízes. Jaafar, Said e Rasidi (2011) consideram o mínimo de 30 centímetros de profundidade, mas dependendo da espécie é mais adequado ter 60 centímetros de profundidade e 50 centímetros de largura.

### **3.2.2 Paredes Vivas (*Living Wall*)**

Parede Viva ou *Living Wall* refere-se às tecnologias que consistem em painéis ou módulos de materiais diversos presos em estruturas verticais de suporte que sustentam todo o sistema, ou diretamente à parede (CASTRO- GOMES, 2015). Elas podem ser pré-plantadas ou não.

Este tipo de jardim vertical possui alta tecnologia e necessita mais investimento nos processos de produção e instalação, e permite a integração da natureza em edifícios altos e outras espécies de plantas que não trepadeiras. A estrutura básica se resume a um suporte, geralmente metálico, fixado à parede, uma membrana impermeável e os painéis, ou módulos, onde a vegetação será plantada. Esta estrutura básica pode variar e apresentar todos os elementos ou apenas alguns deles.

As paredes vivas podem ser classificadas em dois modelos: as contínuas ou *Mur végétal* e as modulares (CASTRO-GOMES, 2015).

#### **3.2.2.1 Paredes Vivas Contínuas**

As paredes vivas contínuas (**Figura 7**) referem-se à tecnologia desenvolvida por Patrick Blanc, composta por três partes: a estrutura metálica de suporte, placa de PVC e duas camadas de feltro ou tecido geotêxtil (BLANC, P., 2008). A vegetação é plantada no feltro, através de cortes na primeira camada e são moldados bolsos onde a planta é encaixada. No espaço formado entre as camadas de feltro as plantas enraízam no substrato e no tecido e podem se espalhar por toda a extensão, uma vez que as barreiras físicas são transponíveis, o que justifica o termo parede viva contínua. Nesse tipo de parede de viva, é relevante para a instalação que o plantio seja feito diretamente no solo interior aos bolsos, e não pré-plantados, para que a raiz dê melhor fixação da planta à estrutura.

As camadas de feltro são presas em uma placa impermeável, que pode ser de PVC, que confere rigidez e suporte ao conjunto, além de evitar danos à parede causados pela umidade da



irrigação. Por fim, o sistema é preso em suportes metálicos verticais, que podem ser fixos à parede ou serem independentes, cobrindo a área desejada e formando um tapete uniforme de vegetação. Blanc (2008) ressalta a alta capilaridade do feltro, o que garante melhor distribuição de água para a parede viva, e permite que o gotejamento seja feito somente diretamente no feltro, ao invés de em cada planta, simplificando o sistema de irrigação. Além disso, a estrutura metálica, presa à parede, permite um afastamento entre o sistema e a construção, forma um bolsão de ar e transforma o conjunto em um eficiente sistema de isolamento térmico e acústico, além de manter a integridade do prédio diante da umidade.



**Figura 7 - Imagem ilustrativa de parede viva contínua**

Fonte: Orisis, 2015

### 3.2.2.2 Paredes Vivas Modulares

As paredes vivas modulares podem seguir a estrutura básica de construção, porém, existem diferenças referentes ao *design*, material dos módulos e técnica construtiva. Os módulos são peças independentes com dimensões específicas de forma a padronizar e acelerar a produção, feitos de materiais diversos e que podem ser justapostos formando painéis, que podem ser fixados em uma estrutura de suporte (CASTRO-GOMES, 2015) ou diretamente na parede, como os blocos cerâmicos e de concreto. Manso e Castro-Gomes (2015) classificam estes módulos em: tabuleiros,

vasos, revestimentos de plantio e sacos flexíveis. Para cada categoria existe uma ampla gama de produtos disponíveis no mercado.

#### **3.2.2.2.1. Paredes Vivas de Tabuleiro**

As paredes vivas de tabuleiros (Fig. 8) referem-se a recipientes rígidos e com profundidade, presos uns aos outros e que seguram o substrato e as plantas. Estes recipientes são geralmente metálicos ou de plástico. Neles são inseridos vasos independentes uns dos outros de forma horizontal ou inclinada.



**Figura 8 - Exemplo de Parede Viva de Tabuleiro**

Fonte: Rangel (2014)

### **3.2.2.2. Paredes Vivas de Vaso**

As paredes vivas de vasos são constituídas por uma estrutura telada de aço galvanizado, presa à parede e os vasos são presos por ganchos ou presilhas nas telas. Os vasos, de dimensões variadas, são geralmente de plástico (Fig 9), mas podem ser de outros materiais como fibra de coco (Fig 10).



**Figura 9 - Exemplo de Parede Viva de Vasos de plástico**

Fonte: Agrotexas Jardins Verticais, 2016



**Figura 10 - Exemplo de Parede Viva de Vasos de fibra de coco**

Fonte: Ciclo Vivo, 2013

### **3.2.2.2.3 Paredes Vivas de Revestimento de Plantio**

Os revestimentos de plantio (Fig.11) são módulos que não apenas recebem as plantas, mas também cumprem função de revestimento interno ou externo, ou seja, são assentados diretamente na parede com argamassa. No mercado brasileiro, destacam-se os módulos feitos em concreto fundido e cerâmica. Já a tecnologia dos sacos flexíveis é a menos utilizada e são feitos de apenas uma camada de feltro ou tecido, geralmente vendidos para jardinagem amadora.



**Figura 11 - Exemplo de Parede Viva de Revestimento de Plantio**

Fonte: Garden Wall, 2016.



### **3.3 Variáveis na escolha do tipo de estrutura e de planta**

Os sistemas estruturais devem ser escolhidos e dimensionados para o tipo e porte de planta que se deseja cultivar, a frequência de troca das plantas e a durabilidade que se pretende atingir. Sistemas modulares normalmente suportam plantas de porte maior que sistemas contínuos. Sistemas contínuos levam a uma frequência de troca de plantas superior à de sistema modulares. Estima-se que, para sistemas contínuos de feltro, as plantas devam ser repostas a cada 3,5 anos (30% de reposição/ano) e para sistemas modulares, as plantas devam ser repostas a cada 10 anos (10% reposição/ano). No que se refere à durabilidade do sistema estrutural, sistemas de feltro têm durabilidade estimada em 10 anos, contra 50 anos de durabilidade de sistemas modulares de polietileno de alta densidade (HDPE). Recomenda-se a reposição do sistema de irrigação a cada 7,5 anos devido à cristalização de sais (PACHECO-TORGAL, Fernando et al., 2014).

Os jardins verticais, assim como qualquer outro sistema, são constituídos por vários elementos que se inter-relacionam para seu perfeito funcionamento. A estrutura de suporte é apenas um dos componentes do conjunto, e para que se tenha sucesso, é preciso avaliar também os demais componentes.

A escolha das plantas deve considerar as exigências quanto ao clima, necessidade hídrica, exigência nutricional, características de crescimento e hábito e a exposição à radiação solar. Quanto ao clima e incidência luminosa, as espécies devem estar adaptadas às condições locais e a escolha deve considerar a sua necessidade de pleno sol, meia-sombra ou sombra plena. A exposição à radiação solar está diretamente ligada com a direção da fachada onde o jardim está instalado.

### 3.4 Outros componentes do sistema

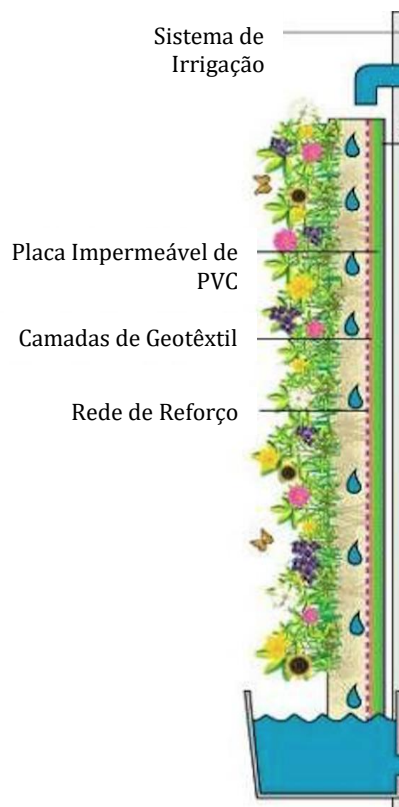
Quando não há a possibilidade de se realizar a irrigação manualmente, seja por falta de disponibilidade de pessoal, seja por falta de disponibilidade de equipamentos que possam levar a pessoa a alcançar a altura da planta, um sistema de irrigação se faz essencial. As plantas têm necessidades hídricas variáveis, dependendo das espécies (NETO, 2015), da altura em que estão com relação ao solo - devido à exposição aos ventos e à radiação solar - e da pluviosidade ao longo do ano no local do jardim vertical. Os sistemas de irrigação normalmente trabalham com um fluxo constante de água, de modo que as plantas estejam sempre na condição ideal para sobrevivência e crescimento, mas de modo controlado para que não haja desperdícios. Alguns sistemas promovem fluxos diferenciais entre as plantas, de modo que cada planta receba a quantidade de água de acordo com a sua necessidade.

O sistema mais comum de irrigação é o de gotejamento (Figs. 12 e 13). A água é distribuída em tubos de polietileno dos quais saem gotejadores que aplicam a água diretamente na zona radicular das plantas. Outro sistema é o de micro *sprays*, que emite água em forma de névoa, e são mais indicados para ambientes externos, onde não há preocupação com umidade na superfície adjacente, e onde há incidência de ventos mais intensos, pois a presença de água na folhagem pode favorecer o crescimento de fungos e levar à queima da folha por um efeito de lupa. Nas paredes vivas modulares, há um emissor (gotejador ou micro *spray*) disponível para cada módulo com vegetação, enquanto nas paredes vivas contínuas, o efeito da capilaridade do feltro é levado em consideração, resultando em menos emissores, e o lançamento de água pode inclusive atuar diretamente sobre a camada de feltro.



**Figura 12 - Exemplo de sistema de irrigação de gotejamento utilizado em paredes vivas modulares**

Fonte: Photogenesis, s.d.



**Figura 13 - Imagem ilustrativa de sistema de irrigação de paredes vivas contínuas**

Fonte: Engeneering Feed, 2016

Ao dosar a quantidade de água que vai para cada planta, é preciso ainda considerar o efeito da gravidade (CHENG; CHEUNG; CHU, 2010), uma vez que caso haja água remanescente da irrigação das plantas mais altas, ela será conduzida para baixo, podendo deixar as plantas mais baixas sobrecarregadas. O excesso de água impede a respiração radicular e a absorção de nutrientes, aumenta a formação de compostos tóxicos na planta e a deixa suscetível à patógenos (IRWIN, 2015), sendo uma das principais causas de morte de plantas em jardim vertical.

Alguns sistemas de irrigação contam com um timer, responsável por acionar uma válvula solenoide que libera a entrada de água para as mangueiras de gotejamento e serve como forma de evitar acúmulo de água nas plantas, caso o sistema de gotejamento forneça água em excesso mesmo estando com fluxo mínimo, ou para adequar à necessidade hídrica horária das plantas.

Ainda é preciso considerar a exigência nutricional de cada planta. Para sistemas de fachada verde, em que a vegetação está diretamente ligada ao solo, ou sistemas que fazem uso de vasos e que são baixos, é possível utilizar meios de adubação manual diretamente no solo com adubos granulados. Já em paredes vivas contínuas e modulares, a reposição manual de nutrientes se torna impraticável. Como forma de solucionar esse problema, é muito comum associar o sistema de

irrigação ao de fertilização (fertirrigação) ou hidroponia, de modo que o adubo está misturado à água que é distribuída entre as plantas (BISCARO; OLIVEIRA, 2014). Para que seja possível associar adubos diferentes a plantas diferentes, é preciso inseri-lo na água mais próximo à planta de destino ou que o sistema de irrigação seja fragmentado, embora isso não seja comum.

A fixação das raízes das plantas pode se dar em um substrato que pode ser composto de solo preparado, húmus, palha de arroz, lã de rocha, feltro, argila expandida, entre outros (DUNNET; KINGSBURY, 2004 apud PERINI et al., 2011), e é dele que elas absorvem água e nutrientes para se desenvolverem. O substrato então funciona como uma espécie de reservatório desses componentes.

#### **4. PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO**



Neste capítulo será explicado quais foram as diretrizes para a construção do protótipo, onde serão instalados os equipamentos para aquisição de dados e justificada a escolha da parede, ou fachada, de instalação e do tipo do jardim vertical. Além disso, será apresentado um memorial fotográfico da obra e instalação da parede.

## **4.1 O Protótipo**

Para este estudo de desempenho foi utilizada uma casa (protótipo) representativa de uma edificação residencial térrea de cobertura cerâmica, construída para outro estudo similar, que comparou o desempenho do protótipo de cobertura cerâmica a outro de cobertura verde. Do estudo, dissertação de mestrado de Iara Lima Ferraz, foram utilizados, além do protótipo construído, dados coletados durante a pesquisa relativos aos ambientes externo e interno do protótipo de telha cerâmica.

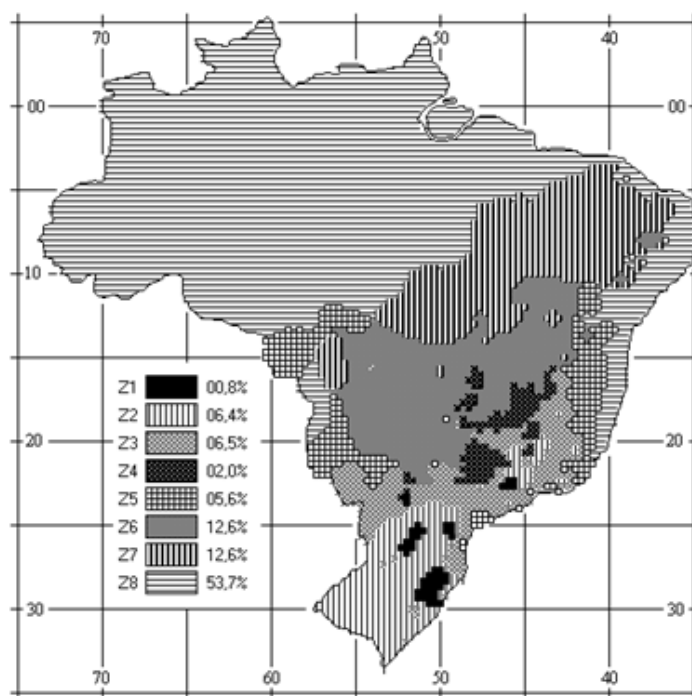
### **4.1.2 Detalhamento do Protótipo**

O sítio onde está localizado o protótipo é no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, na cidade de São Paulo. A cidade está localizada na região sudeste do Brasil, aos 23°32'51" de latitude sul e 46°38'10" de longitude oeste, com altitude de 760m acima do nível do mar, o que justifica as manhãs e noites frequentemente mais frescas (Governo do Estado de São Paulo, 2009).

O clima de São Paulo é tropical de altitude. As temperaturas médias anuais variam de 20 a 24°C, podendo atingir 18°C em áreas mais elevadas. Durante o verão esta média gira em torno de 30 a 32°C e no inverno pode variar de 6 a 20°C. Os ventos frios predominantes vêm do Sul e ocasionalmente sopram ventos do Oeste. A média anual de precipitações é de aproximadamente 1500mm. O período seco vai de junho a agosto e as chuvas de dezembro a março. A disponibilidade de luz natural no verão é de aproximadamente 45.000 lux ao meio-dia (TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R., 2001).

O protótipo foi construído com base na Norma 15520-3 da ABNT, sobre Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

De acordo com a norma, São Paulo encontra-se na Zona Bioclimática 3, conforme ilustrado nas figuras 14, 15 e 16 a seguir:



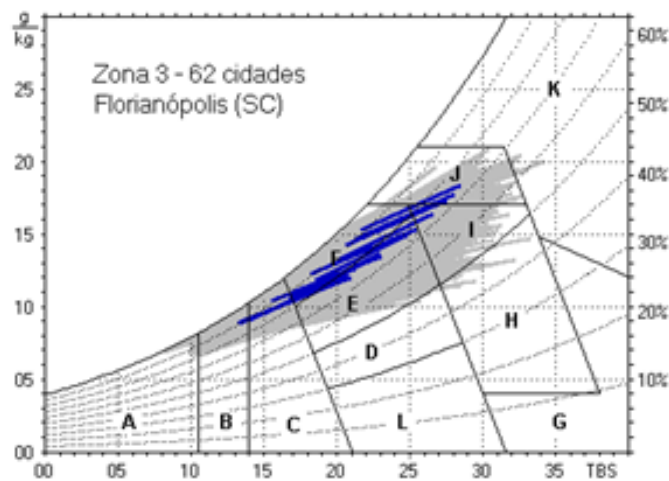
**Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro**

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008



**Figura 15 - Zona Bioclimática 3**

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008



**Figura 16 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC (situada na mesma zona que a cidade de São Paulo)**

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

Na figura 16 acima, embora a Carta Bioclimática se refira a Florianópolis, pode-se considerar que é aproximadamente a mesma para São Paulo, pois se encontra na mesma Zona Bioclimática.

Para cidades localizadas nessa Zona Bioclimática, a norma determina as seguintes diretrizes de construção:

**Tabela 1: Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3**

<u>Aberturas para ventilação</u>	<u>Sombreamento das aberturas</u>
<u>Médias</u>	<u>Permitir sol durante o inverno</u>

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

**Tabela 2: Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3**

<u>Vedações externas</u>
<u>Parede: Leve refletora</u>
<u>Cobertura: Leve isolada</u>

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

**Tabela 3: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3**

<u>Estação</u>	<u>Estratégias de condicionamento térmico passivo</u>
<u>Verão</u>	<u>J) Ventilação cruzada</u>
<u>Inverno</u>	<u>B) Aquecimento solar da edificação</u> <u>C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)</u>
<u>Nota: Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B da mesma norma).</u>	

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

As tabelas 4, 5 e 6 conceituam o que foi determinado anteriormente:

**Tabela 4: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico**

<u>Estratégia</u>	<u>Detalhamento</u>
<u>B</u>	<u>A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.</u>
<u>C</u>	<u>A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.</u>
<u>I e J</u>	<u>A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.</u>

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

**Tabela 5: Aberturas para ventilação**

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

**Tabela 6: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação**

Vedações externas		U (Transmitância Térmica) [W/m <sup>2</sup> .K]	$\phi$ (Atraso Térmico) [horas]	FS <sub>o</sub> (Fator Solar) [%]
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$
<p>NOTAS</p> <p>1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar</p> <p>2 As aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).</p> <p>3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.</p> <p>4 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.</p>				


Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2008

A construção tem dimensão interna de 2,20 x 2,70m e pé-direito 2,60m, possui piso cerâmico assentado sobre o contrapiso de concreto e fundação de concreto tipo radier, com espessura de 15cm.

As aberturas são uma porta de alumínio modelo padrão, com dimensões 0,80 x 2,10m e uma janela de alumínio, com duas folhas de correr de vidro comum de 3mm, com dimensões 1,20 x 1,00m. A janela está voltada para o sudoeste e a porta para o noroeste. O protótipo está posicionado de forma que a trajetória do sol aconteça de maneira que não haja sombra sobre ele exceto por algumas horas do dia em alguns períodos do ano ocasionadas por uma torre nas proximidades.

As paredes foram construídas de acordo com as especificações dadas pelo Projeto ABNT, NBR 15220-3:2005, relacionadas nas tabelas 7 e 8 a seguir.

**Tabela 7: Especificações ABNT para paredes**

Parede	Descrição	U (transmitância térmica) [W/(m <sup>2</sup> .K)]	CT (capacidade térmica) [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ (atraso térmico) [horas]
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm. Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3

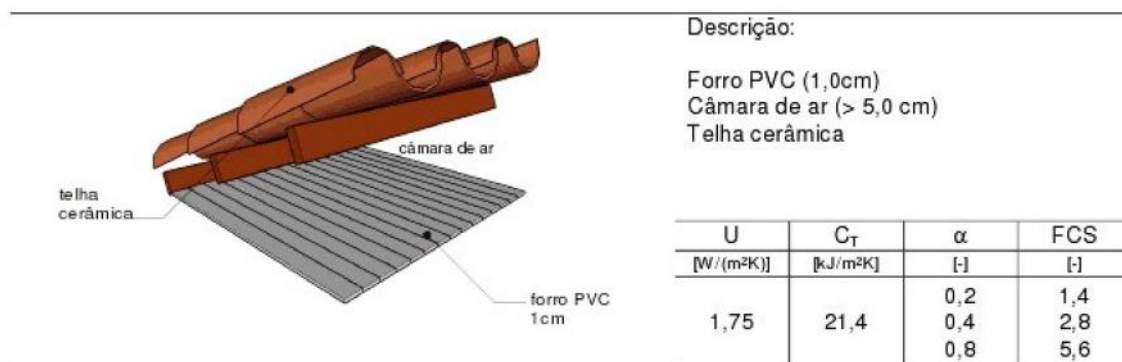
Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2005

**Tabela 8: Propriedades térmicas dos materiais utilizados**

Material	ρ (densidade de massa aparente) (kg/m <sup>3</sup> )	λ (condutividade térmica) (W/(m.K))	c (calor específico) (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

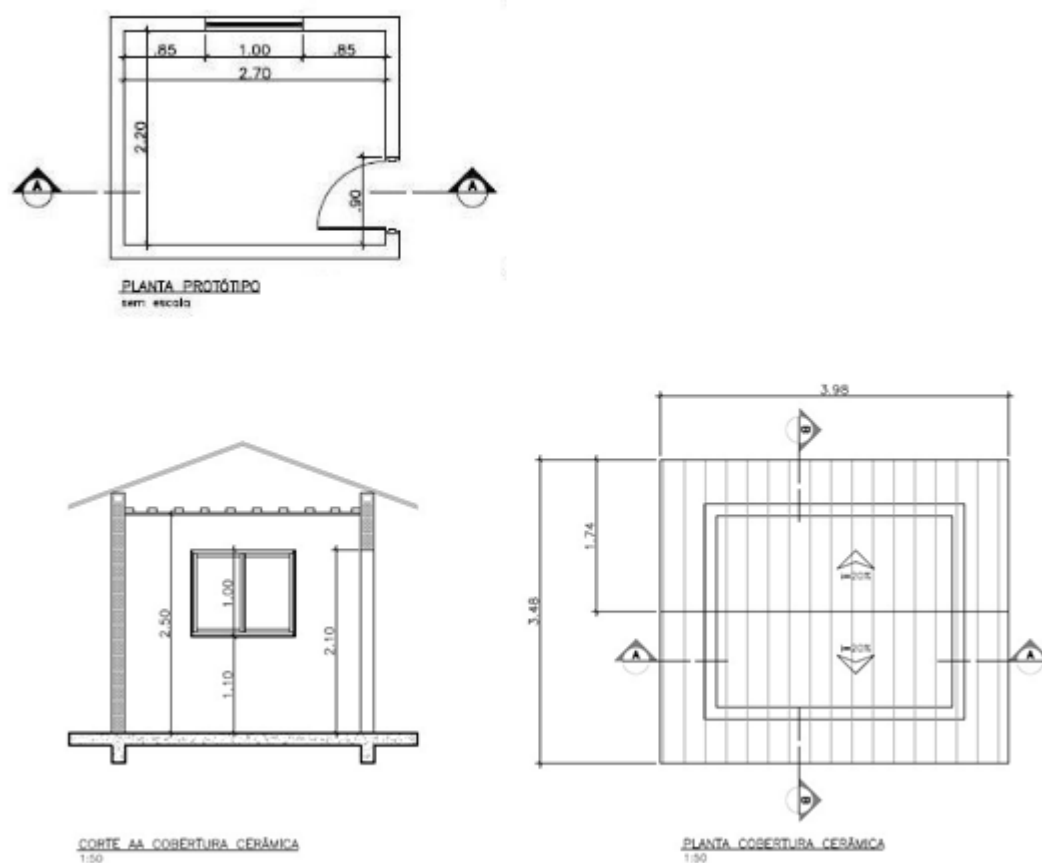
Fonte: ABNT, NBR 15220-3 / ANO 2005

A cobertura é apoiada em laje com vigas pré-moldadas de concreto com 12cm de espessura e tem beiral de 50cm. As telhas cerâmicas utilizadas são do tipo romana, mais comum e utilizado no país. Sabe-se que o PVC possui baixa condutividade térmica, podendo funcionar como isolante. Lamberts et al (2010) descreve as propriedades térmicas das coberturas cerâmicas com forro de PVC, igual ao utilizado no protótipo, como demonstrado na **Figura 17** a seguir.



Fonte: Lamberts et al (2010)

A **Figura 18** representa o projeto esquemático do protótipo.



**Figura 18 - Plantas e corte do protótipo**

A escolha por materiais construtivos tradicionais se deveu à busca pelo mínimo de interferência no estudo dos efeitos da cobertura verde, no caso da pesquisa da Iara Lima, e tem mesma serventia no estudo dos jardins verticais. Caso fossem instalados outros elementos construtivos sustentáveis, não seria possível avaliar o efeito isolado do jardim vertical. Obtidos resultados com a aplicação da parede verde em uma construção edificada com sistema construtivo tradicional há diversas possibilidades de se alterar outros elementos. Nessa alteração, poder-se-ia adicionar, por exemplo, outros elementos considerados alternativos e potencializar ainda mais os ganhos no desempenho térmico além de possibilitar ganhos em outros aspectos ainda não mensurados.

#### **4.1.2 Escolha da Parede de Instalação do Jardim**

A parede ou face em que foi instalado o jardim vertical foi a de maior incidência solar, definida por meio de uma análise da incidência solar nas quatro faces do protótipo, com auxílio do software *Sketch Up*. Na prática, sabendo-se que o protótipo se localiza em São Paulo, no hemisfério sul, se estivesse situado em um local em que não houvessem edificações ao seu redor a face de maior incidência solar seria a voltada para norte, e, de fato, verificou-se que a face de maior incidência, e na qual decidiu-se pela instalação do jardim foi a face nordeste.

No entorno do protótipo há apenas uma edificação, uma torre, que sombrea a região. Esse entorno foi desenhado no software e simulou-se a trajetória do sol em quatro datas, os dois solstícios, dias 21/12 e 21/06, e mais duas datas intermediárias, dias 21/03 e 21/09. Nessas simulações se comprovou que a maior incidência ocorre nas paredes 1 e 2. A parede 2 é maior e não possui portas nem janelas, por isso, optou-se pela instalação do jardim vertical nessa face.

#### **4.1.3 Escolha do Tipo de Jardim**

Uma ampla pesquisa de empresas de jardins verticais foi realizada e percebeu-se que os jardins verticais ainda são muito elitizados e utilizados quase que exclusivamente com fins



decorativos. Isso pode ser comprovado ao visitar os sites. Em diversos deles são mencionados potencial de melhora do desempenho térmico, acústico e até de purificação do ar, porém, as mesmas empresas vendem jardins verticais artificiais e preservados, que não possuem o potencial mencionado. Jardins preservados são compostos por “plantas naturais que passaram por um processo de conservação e estabilização para manter a folhagem, textura e integridade das plantas sem a necessidade de manutenção com água, sistema de irrigação ou iluminação solar”, explica uma empresa em seu site (<https://www.verticalgarden.com.br/jardim-vertical-preservedo>. Último acesso em 15/abril/2018).

Na busca de um parceiro para esse trabalho duas empresas foram visitadas e escolheu-se o Movimento 90°. O sistema utilizado por eles é de parede viva contínua e será detalhado a seguir. A outra empresa utiliza um sistema de parede viva modular de revestimento de plantio cerâmico, similar ao apresentado na figura 11. Esse sistema é mais pesado e apoia-se diretamente na parede, de forma que, para a instalação de um grande jardim vertical na lateral de um prédio, por exemplo, poder-se-ia precisar de cálculos estruturais para comprovar que aquele peso poderia ser adicionado à estrutura. Além disso, todo o material cerâmico influenciaria muito o desempenho térmico. Esse sistema foi descartado por esses dois motivos.

#### **4.1.3.1 Detalhamento do Jardim**

O sistema instalado é uma parede viva contínua composta por uma placa de compensado de caixas de leite e pasta de dente, vendido pela própria empresa Tetra Pak, e duas camadas de feltro. Barras metálicas ocas de seção transversal retangulares foram presas à parede com parafusos e as placas foram fixadas, também com parafusos, nessas barras. As placas são pré-montadas, com as duas camadas de feltro já fixadas. Na instalação se cortam e se montam a estrutura na parede parafusando as partes lado a lado e adaptando-as à forma da final. Finas faixas de feltro são grampeadas nas junções de placas para dar continuidade. Dessa forma, para a irrigação pode-se considerar as placas contínuas.

A irrigação é feita por duas mangueiras com gotejadores, uma localizada na parte superior do jardim, e outra aproximadamente na metade da parede. Na parte inferior foi instalada uma calha que coleta o excesso de água. Estima-se o excesso como sendo aproximadamente 1 litro por metro quadrado de jardim e, em outras instalações, reutiliza-o na irrigação.

As espécies utilizadas e a rega necessária foram determinadas pela empresa doadora do sistema. Os gotejadores são acionados continuamente durante 30 minutos duas vezes por dia, uma vez às 6h e outra às 18h. O sistema é automático e, durante o tempo desse estudo, não precisou de nenhuma manutenção.

#### **4.1.4 Memorial Fotográfico da Obra e Instalação da Parede**

As fotos a seguir estão na ordem cronológica de execução do protótipo, sendo que da **Figura 19** à **Figura 23** datam de 2011 e da **Figura 24** à **Figura 27** foram tiradas em 2017 durante a instalação da parede verde, que ocorreu nos dias 11 e 13 de Setembro de 2017. A última foto, **Figura 28**, data de 06 de março de 2018, 6 meses depois.



**Figura 19 - Gabarito para fundação**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 20 - Fundação tipo radier**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 21 - Formação das paredes**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 22 - Pilares Estruturais**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 23 - Montagem do telhado cerâmico**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 24 - Fachada antes da instalação do jardim**



**Figura 25 - Fixação das Placas Pré Montadas às Barras Metálicas**





**Figura 26 - Sistema Automático de Irrigação**



**Figura 27 - Plantio**



**Figura 28 - Jardim após 6 meses do plantio**

## **5. PROCEDIMENTOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS**

Neste capítulo serão detalhados as variáveis internas e externas medidas e os sensores específicos utilizados.

### **5.1 Medição das Variáveis Internas e Externas**

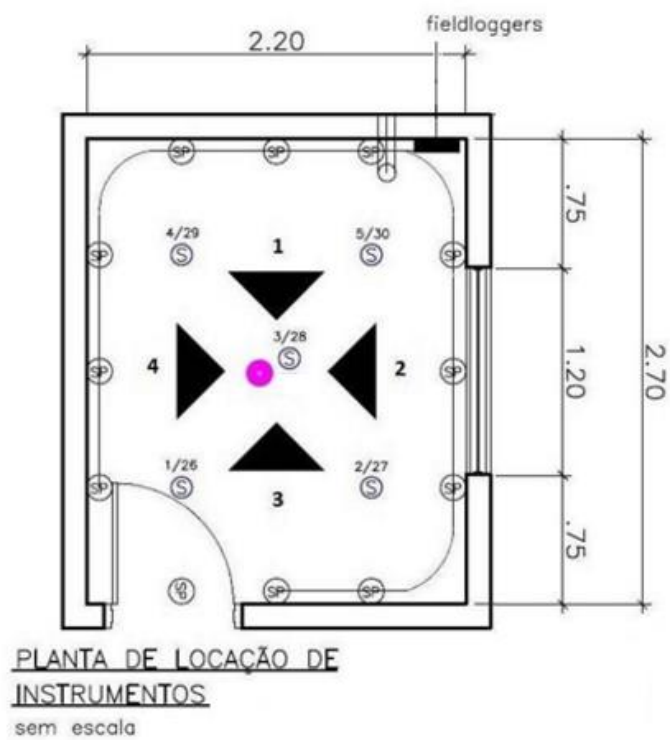
Foram aproveitados os dados medidos por Iara Lima Ferraz para sua dissertação de Mestrado, relativos aos ambientes externo e interno, e foram coletados os mesmos dados nos mesmos locais após aplicação do jardim vertical para comparação. São eles: temperaturas internas e externas do ar (temperatura de bulbo seco); Temperaturas interna superficiais de paredes, teto e piso; Umidade do ar (interna e externa); Temperatura do ponto de orvalho do ar interior. Os dados são coletados continuamente, de forma que são armazenadas informações a cada 5 minutos.

As medições das temperaturas superficiais foram feitas com sensores fixos (termopares) em 30 pontos, sendo cinco em cada parede, cinco no piso e cinco no teto, homogeneamente distribuídos. As medições de temperatura do ar foram realizadas em um ponto no centro do ambiente, na altura média do pé direito, atendendo às especificações da norma ISO 7726 (1998) que estabelece os critérios para a caracterização de ambientes homogêneos.

Para a temperatura do ponto de orvalho do ar interior, está fixado no teto um sensor específico no centro da área do forro. Além desses, será instalado um conjunto de sensores de temperatura e umidade do ar externamente aos protótipos para medir as respectivas variáveis referentes ao ar externo.

O posicionamento dos sensores nos protótipos está indicado nas **Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33**, sem escala:



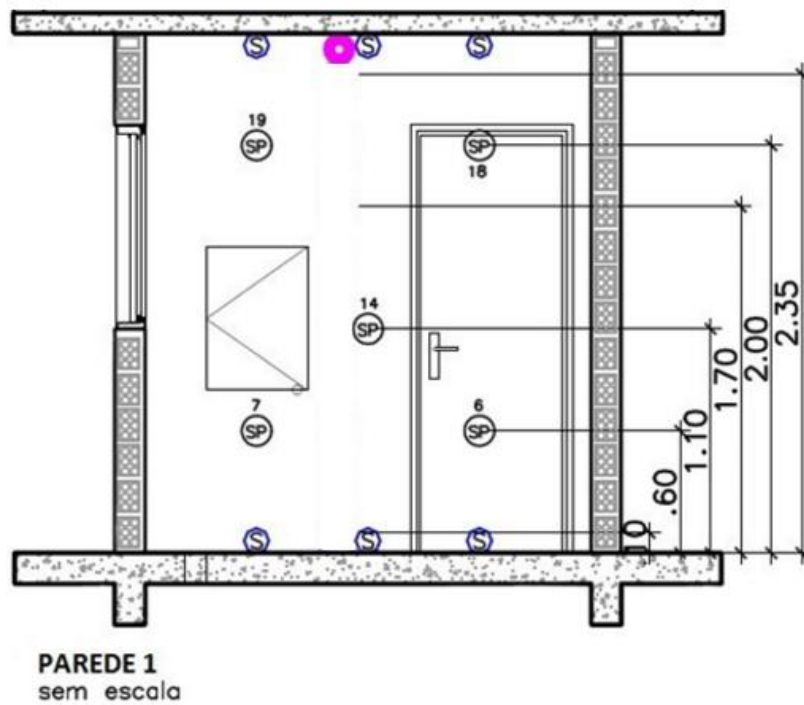


**LEGENDA:**

- ⊙ termopar de piso e teto
- ⊙ termopar de parede
- Transmissor RHT de temperatura e umidade internas
- estante de fieldloggers
- 1/26 numeração dos termopares

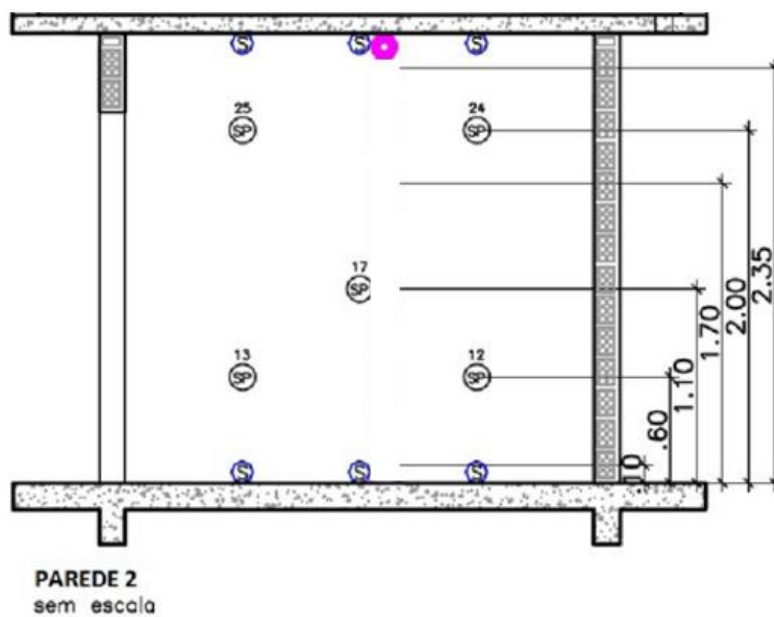
**Figura 29 - Planta de Locação de Instrumentos**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



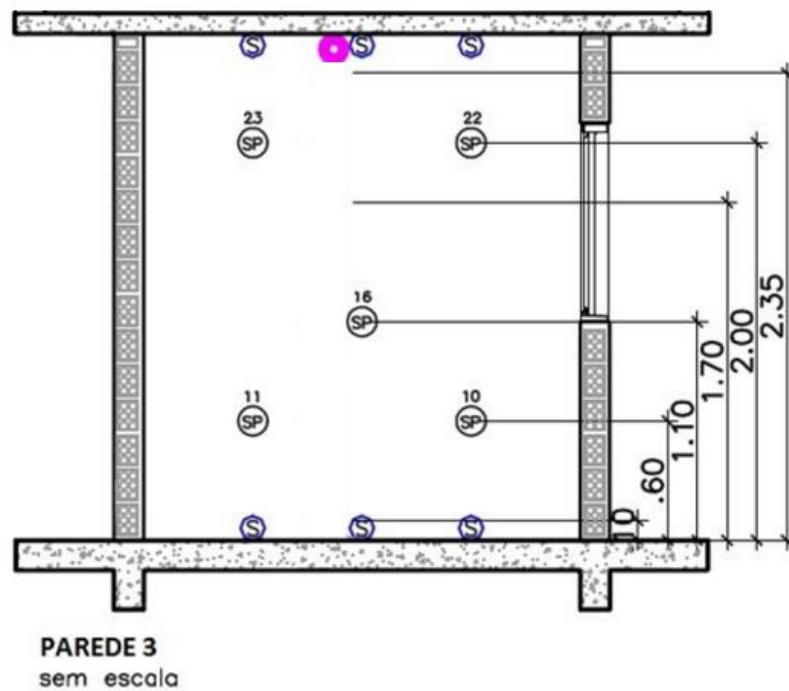
**Figura 30 - Localização de Instrumentos - Parede 1**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



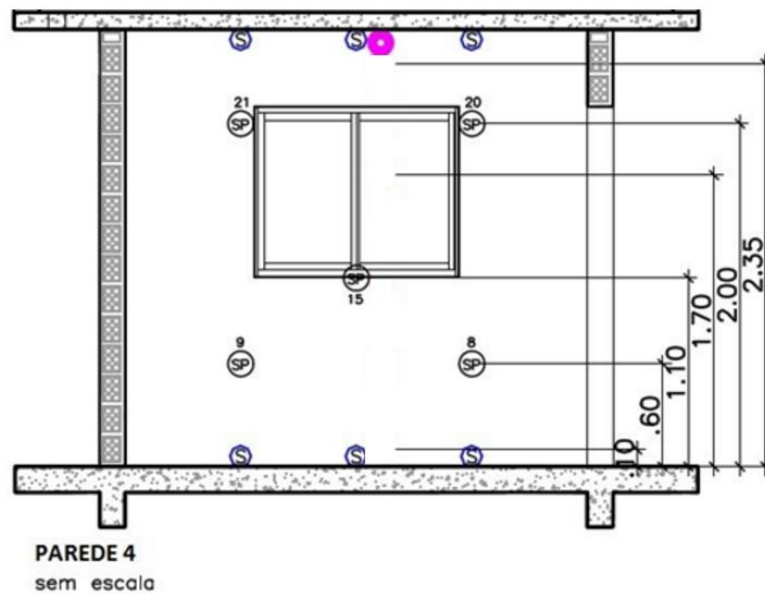
**Figura 31 - Localização de Instrumentos – Parede 2**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 32 - Locação de Instrumentos – Parede 3**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 33 - Locação de Instrumentos – Parede 4**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012

### 5.1.2 Descrição Específica dos Equipamentos Utilizados

A especificação dos equipamentos utilizados para medição é dada na tabela a seguir. Os equipamentos foram adquiridos com o suporte da FAPESP, através de Projetos de Auxílio Regulares à Pesquisa - Processos N° 2010/09149-9 e 2006/59334-1, ambos sob a responsabilidade da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Brenda Chaves Coelho Leite.

**Tabela 9: Especificação dos sensores**

<b>Descrição</b>	<b>Especificação</b>
Sensor de Temperatura de bulbo seco interno	Termoresistor, com barreira radiante, faixa de medição 0 a 90°C, incerteza 0,1°C. Tipo RHT-WM saída 4-20 mA
Sensor de Temperatura de bulbo seco externo	Termoresistor, com barreira radiante, faixa de medição 0 a 90°C, incerteza 0,1°C.
Sensor de Umidade Relativa interno	Sensor tipo capacitivo, faixa de medição 5 a 98 %, incerteza 2 %. Tipo RHT-WM saída 4-20 mA.
Sensor de Umidade Relativa externo	Sensor tipo capacitivo, faixa de medição 5 a 98 %, incerteza 2 %.
Sensor de temperaturas superficiais	Sensores tipo cobre/constantan TC J (Fe.Co) tipo pastilha 2x24 PVC/PVC
Módulo de aquisição externa (Fieldlogger 128k)	Microprocessado, 12 bits, 8 entradas analógicas, 8 E/S digitais, transmissão RS485.
Unidade Central FieldLogger tipo Webserver WS10	Unidade de alimentação e conversão RS485-RS232.
Notebook	Processador Core 2 Duo 2.4GHz, Memória 4GB, 500GB HD e placa de video dedicada
Software de tratamento	Aquisição, visualização e registro simultâneo de todos os sensores, para dispositivo Modbus.
RHT	Monitoramento Wireless de temperatura e umidade, mede a temperatura do ponto de orvalho



**Figura 36 - Termopar**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 37 - Fieldlogger**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 35 - RHT interno e externo**



**Figura 34- Conversor USB i485**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



**Figura 38 - PAINEL FECHADO**



### **5.1.3 Período de Coleta de Dados**

Os primeiros dados coletados para essa pesquisa referem-se ao dia 26 de agosto de 2017, data anterior a instalação do jardim vertical. A instalação ocorreu em dois dias, 11 e 13 de setembro de 2017. No primeiro dia foram fixadas as barras metálicas, as placas pré-montadas, com o compensado de tetra pak e as duas camadas de feltro, e o sistema de irrigação. No dia 13 ocorreu o plantio. Dessa forma, entre os dias 26 de agosto e 10 de setembro coletou-se dados referentes à condição da edificação sem influência do jardim. Devido ao restrito espaço amostral de dias que

**Figura 39 - PAINEL ABERTO**

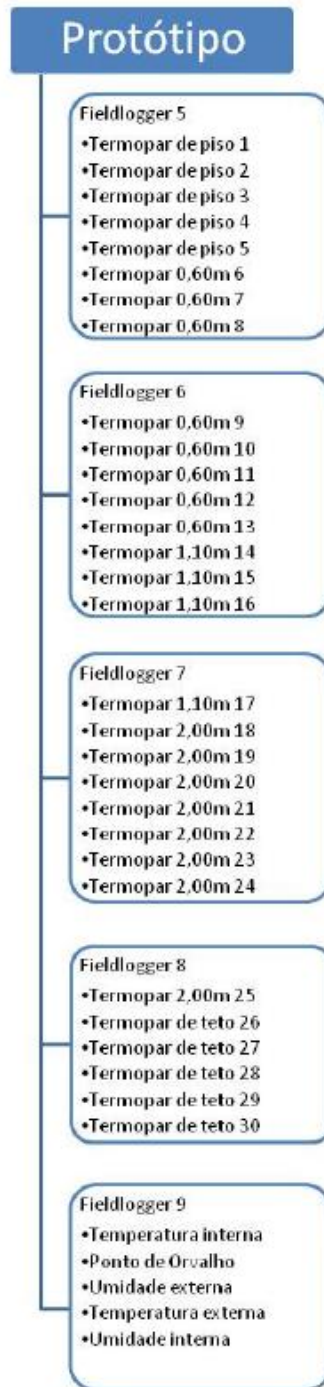
foi possível obter nesse período, optou-se por utilizar também dados coletados e analisados pela Iara Lima Ferraz em sua dissertação de mestrado. O período de coleta de dados com o jardim vertical estendeu-se por, aproximadamente 6 meses, de 14 de setembro de 2017 a 6 de março de 2018.

Os períodos de coleta de dados sem e com a influência do jardim vertical não se referem aos mesmos dias nem, exclusivamente, a dias da mesma estação, por isso, foi realizada uma análise estatística para seleção dos dias a serem comparados.

#### **5.1.4 Hierarquia da Automação de Coleta de Dados**

Como comentado anteriormente os dados de temperaturas superficiais internas, temperatura, umidade e ponto de orvalho do ar interno e temperatura e umidade do ar externo foram coletados continuamente, sendo registrado uma informação a cada 5 minutos.

A aquisição de dados ocorre da seguinte maneira: os termopares (temperatura superficial) e RHTs (temperatura e umidade do ar) coletam as informações das variáveis correspondentes e enviam os resultados das medições para 5 dispositivos de armazenagem tipo *Fieldlogger* (**Figura 37**). Os dados são descarregados via conexão USB. Os dados passam então a ser armazenados na memória do software específico para este fim (*Superview SCADA Supervisory Control and Data Acquisition*), estando então, disponíveis para consulta. A hierarquia descrita está demonstrada no Organograma, **Figura 40**.



**Figura 40 - Organograma ilustrativo da hierarquia de automação**

Fonte: FERRAZ, Iara Lima, 2012



### 5.1.5 Tratamento e Análise de Dados

O tratamento e análise dos dados foi realizado da seguinte forma: após selecionados os pares de dias “climatologicamente equivalentes”, conforme definido em 5.2.3 Determinação dos Casos Climatologicamente Equivalente foi feita a análise do desempenho térmico para as datas selecionadas.

## 5.2 Seleção dos Dias Analisados

Comparou-se dados das condições climáticas dos dias anteriores à instalação da parede e posteriores e identificou-se dias “climatologicamente equivalentes”. As condições climáticas consideradas para seleção dos dias considerados “climatologicamente equivalentes” foram temperatura e umidade do ar externo.

### 5.2.1 Análise Estatística das Temperaturas e Umidades Externas

Para comparar o desempenho térmico do protótipo, que se mede por parâmetros em seu interior, é essencial realizar análises estatísticas fundamentadas em dois parâmetros (temperatura e umidade externas), sendo que cada um deles contém dados referentes a dois momentos distintos da pesquisa. As análises estatísticas apresentadas foram realizadas conforme ensina Devore (2014). Define-se:

Parâmetro: **Temperatura Média no Dia**

Momento 1 ➡ Anterior à instalação do jardim

Momento 2 ➡ Posterior à instalação do jardim

Parâmetro: **Umidade Média no Dia**

Momento 1 ➡ Anterior à instalação do jardim

Momento 2 ➡ Posterior à instalação do jardim

Para que fosse possível comparar as condições térmicas internas do protótipo entre os momentos 1 (anterior à instalação do jardim) e 2 (posterior), a fim de verificar a eficiência do jardim vertical, era necessário garantir que as condições externas, destes mesmos momentos, fossem semelhantes. Utilizou-se, para isso, o recurso estatístico Teste de Hipótese.

Trata-se, em linhas gerais, de um método para investigar a veracidade de determinadas alegações referentes à uma população, com base nos dados obtidos de um conjunto amostral. Essas alegações são sempre definidas em pares, e recebem o nome de Hipótese Nula ( $H_0$ ) e Hipótese Alternativa ( $H_1$ ), que é a negação da primeira. Já que a ideia inicial era garantir condições térmicas externas ao protótipo semelhantes entre os momentos 1 e 2, foram determinadas as seguintes Hipóteses:

$H(0)$  – O parâmetro **Temperatura Média no Dia** no momento 1 é estatisticamente igual ao no momento 2

$H(1)$  - O parâmetro **Temperatura Média no Dia** no momento 1 é estatisticamente diferente ao no momento 2

e

$H(0)$  – O parâmetro **Umidade Média no Dia** no momento 1 é estatisticamente igual ao no momento 2

$H(1)$  - O parâmetro **Umidade Média no Dia** no momento 1 é estatisticamente diferente ao no momento 2

Ou seja, aplicou-se o Teste de Hipótese nos parâmetros temperatura e umidade externos entre os momentos (anterior e posterior a instalação do jardim), o que permitiu verificar se os mesmos eram ou não iguais com embasamento matemático. Na prática, o Teste indicou quais dias sem o jardim eram termicamente semelhantes, em relação a temperatura e umidade médias, a quais dias com o jardim o que, portanto, permite a realização de análises dos dados internos destes mesmos dias minimizando ao máximo a influência de diferentes condições externas entre os dias analisados.

É importante ressaltar, porém, que este recurso só é válido se os dados recolhidos na amostra seguem uma distribuição normal, o que foi verificado pelo Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov. Utilizou-se significância de 5% foi verificado que tanto os dados de temperatura quanto de umidade externas podem ser considerados distribuições normais.

Teste Kolmogorov-Smirnov de Normalidade											
	n	DADOS	Variável	Frequência	Frequência Acumulada	F <sub>n</sub> (x)	Valor de Z	F(x)	Esq	Dir	
											Média
											23,6
											Desvio Padrão
											2,19944
INCREMENTO											Nº de dados
0,21											45
	1	18,63	18,84	1	1	0,0222	-2,24633	0,012341	0,0099	0,0222	
	2	18,97	19,05	1	2	0,0444	-2,09174	0,018231	0,0262	0,0040	
	3	20,18	19,26	0	2	0,0444	-1,5416	0,061585	0,0171	0,0171	
	4	20,32	19,47	0	2	0,0444	-1,47795	0,06971	0,0253	0,0253	
	5	20,60	19,68	0	2	0,0444	-1,35065	0,088404	0,0440	0,0440	Máximo
	6	20,81	19,89	0	2	0,0444	-1,25517	0,104709	0,0603	0,0603	0,2272
	7	20,84	20,10	0	2	0,0444	-1,24153	0,107205	0,0628	0,0628	
	8	21,19	20,31	1	3	0,0667	-1,0824	0,139538	0,0729	0,0951	
	9	21,21	20,52	1	4	0,0889	-1,0733	0,141568	0,0527	0,0749	
	10	21,47	20,73	1	5	0,1111	-0,95509	0,169766	0,0587	0,0809	
	11	21,54	20,94	2	7	0,1556	-0,92327	0,177935	0,0224	0,0668	
	12	21,63	21,16	0	7	0,1556	-0,88235	0,188795	0,0332	0,0332	
	13	21,77	21,37	2	9	0,2000	-0,81869	0,206481	0,0065	0,0509	
	14	22,36	21,58	2	11	0,2444	-0,55044	0,291008	0,0466	0,0910	
	15	22,79	21,79	2	13	0,2889	-0,35494	0,361318	0,0724	0,1169	
	16	22,94	22,00	0	13	0,2889	-0,28674	0,387156	0,0983	0,0983	
	17	23,12	22,21	0	13	0,2889	-0,2049	0,418825	0,1299	0,1299	
	18	23,18	22,42	1	14	0,3111	-0,17762	0,42951	0,1184	0,1406	
	19	23,28	22,63	0	14	0,3111	-0,13215	0,447431	0,1363	0,1363	
	20	23,33	22,84	1	15	0,3333	-0,06786	0,527866	0,1637	0,2169	

**Figura 41 - Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov**

O teste de hipótese se deu da seguinte maneira, os parâmetros temperatura média externa ao protótipo e umidade média externa ao protótipo dos dias do momento 1 (sem jardim) foram comparados com seus respectivos do momento 2 (com jardim). As datas dos casos em que ambos os pares de parâmetros (temperatura média externa anterior e posterior a instalação do jardim, e umidade média externa anterior e posterior a instalação do jardim) fossem estatisticamente iguais, considerando uma significância de 5%, foram anotadas e testadas em 5.2.2 quanto ao comportamento desses parâmetros ao longo das horas nos dias para encontrar dias “climatologicamente equivalentes”. Os pares de dias encontrados estão apresentados **Tabela 10**.

**Tabela 10: Dias com temperatura e umidade médias iguais**

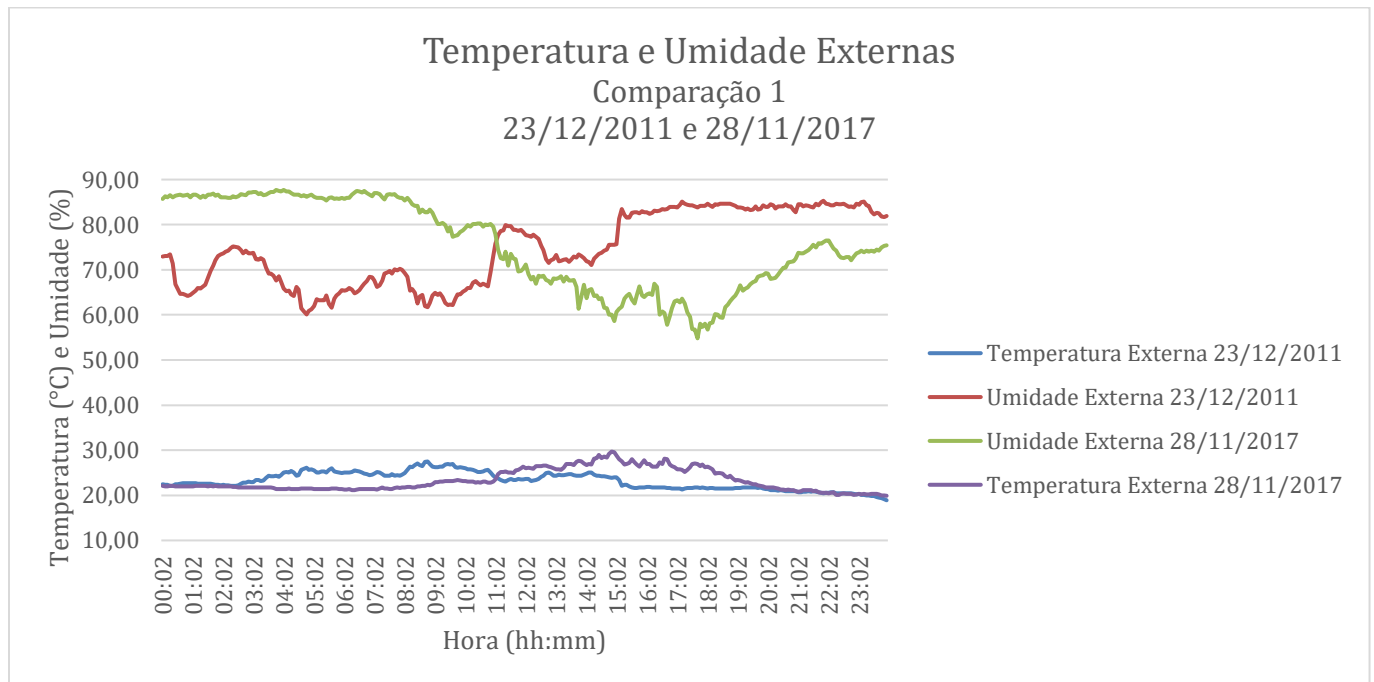
Data sem Jardim	Data com Jardim
-----------------	-----------------

	T Média	UR Média	T Média	UR Média
1	23/12/2011		28/11/2017	
	23,20	74,69	23,28	75,49
2	31/12/2011		24/11/2017	
	25,28	60,24	24,97	60,97
3	20/01/2012		30/11/2017	
	22,72	68,57	22,36	68,03
4	29/08/2011		24/11/2017	
	25,56	62,04	24,97	60,97
5	29/08/2011		25/11/2017	
	25,56	62,04	26,06	62,86
6	29/08/2011		04/01/2018	
	25,56	62,04	25,26	63,24
7	22/04/2011		25/11/2017	
	25,84	63,89	26,06	62,86
8	22/04/2011		04/01/2018	
	25,84	63,89	25,26	63,24
9	22/04/2011		05/01/2018	
	25,84	63,89	26,00	64,96
10	30/04/2011		29/11/2017	
	22,71	63,42	23,18	63,81

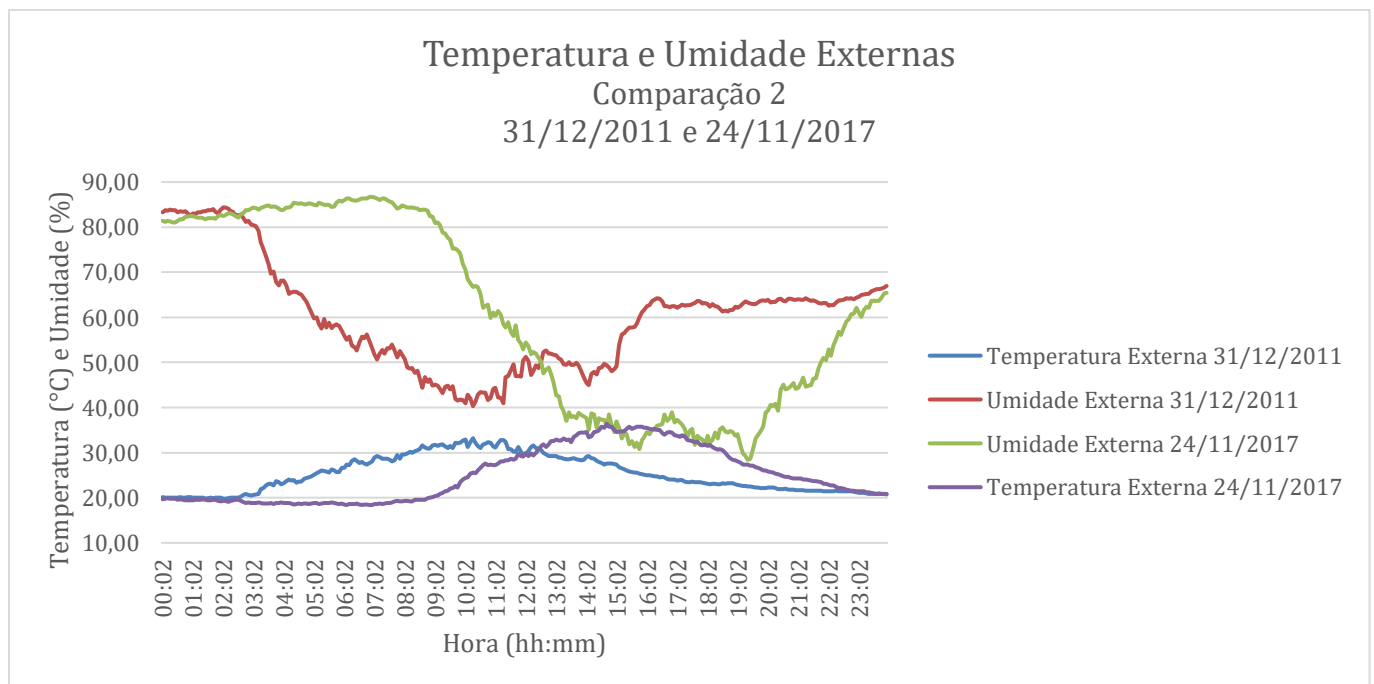
### 5.2.2 Análise de Comportamento das Temperatura e Umidade Externas

Para garantir que, além das médias, fossem considerados iguais também o comportamento da temperatura e umidade externas nas duplas de dias analisados plotou-se em um mesmo gráfico os dados dos parâmetros ao longo das horas nos dois dias. Analisando esses gráficos conclui-se que a comparação 2, entre os dias 31/12/2011 e 24/11/2017, não poderia ser considerada climatologicamente equivalente pois, apesar de as médias dos dois parâmetros analisados serem considerados estatisticamente iguais seu comportamento ao longo do dia era muito distinto. Sendo assim, excluiu-se do trabalho essa comparação. Pode-se observar os gráficos resultantes, **Gráfico 1** a **Gráfico 10**, a seguir.

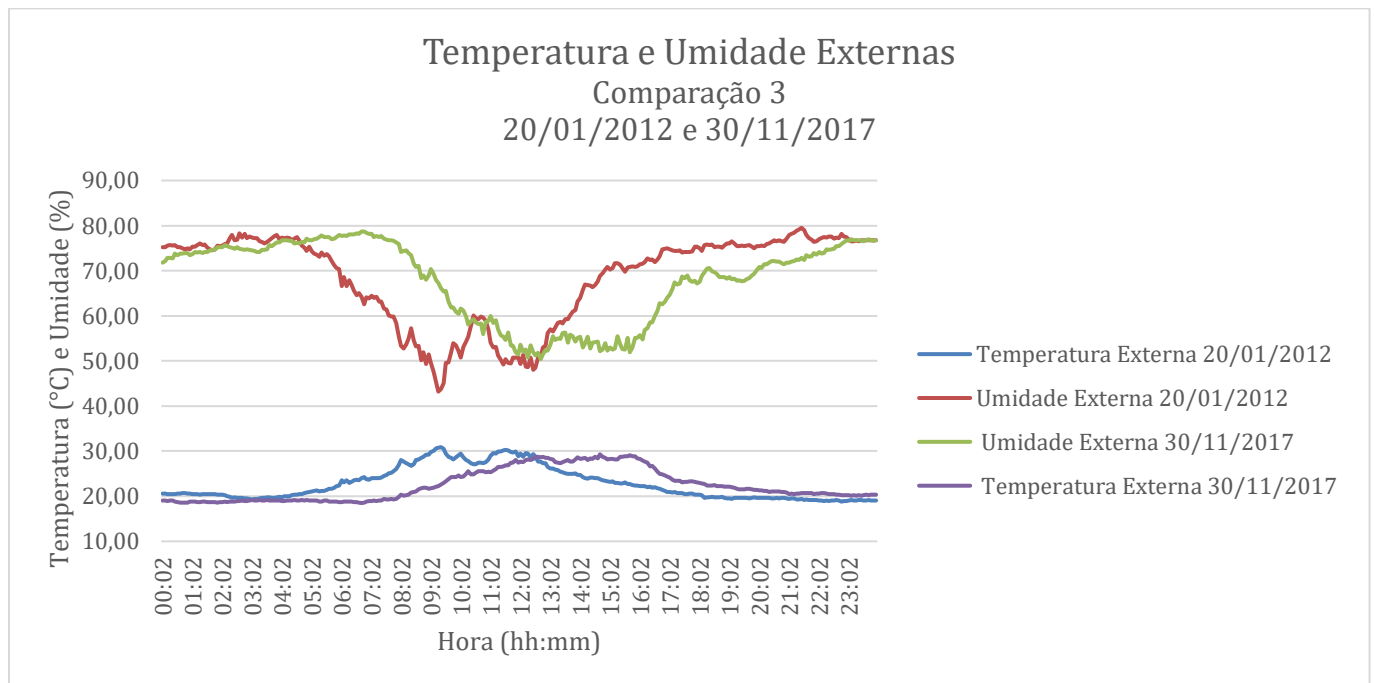
**Gráfico 1 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 1**



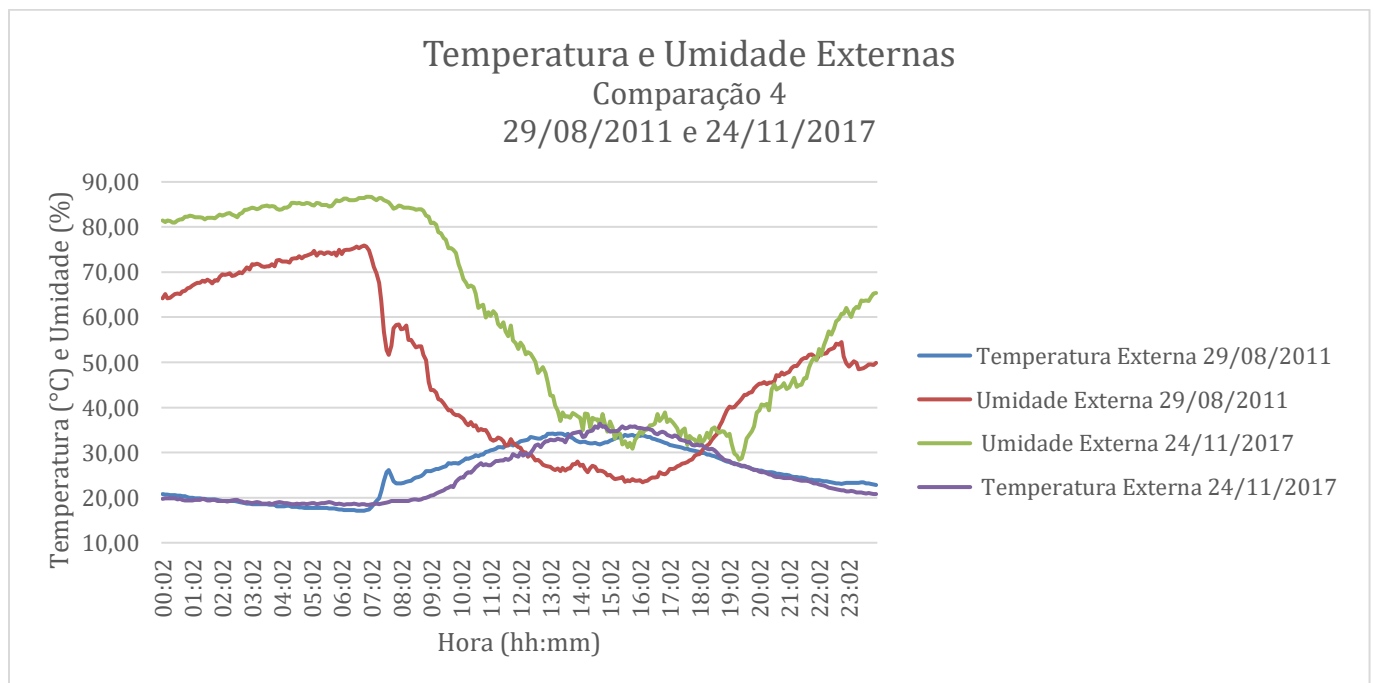
**Gráfico 2 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 2**



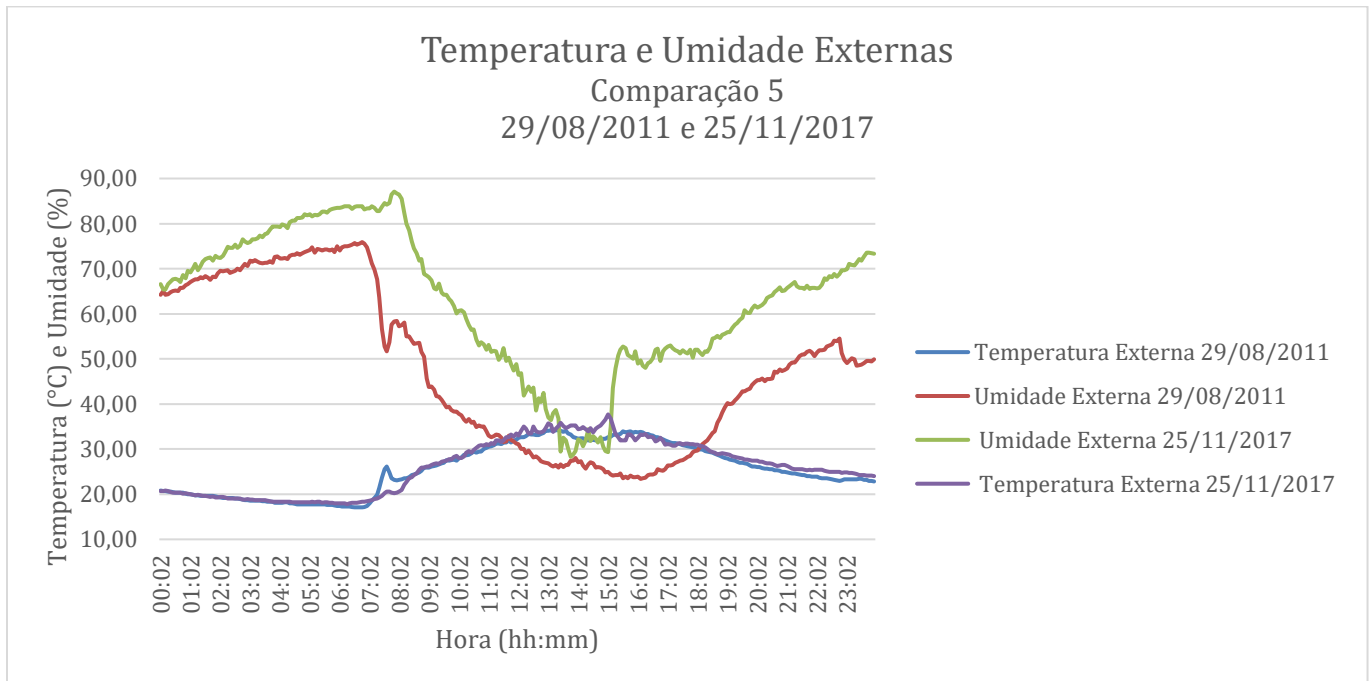
**Gráfico 3 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 3**



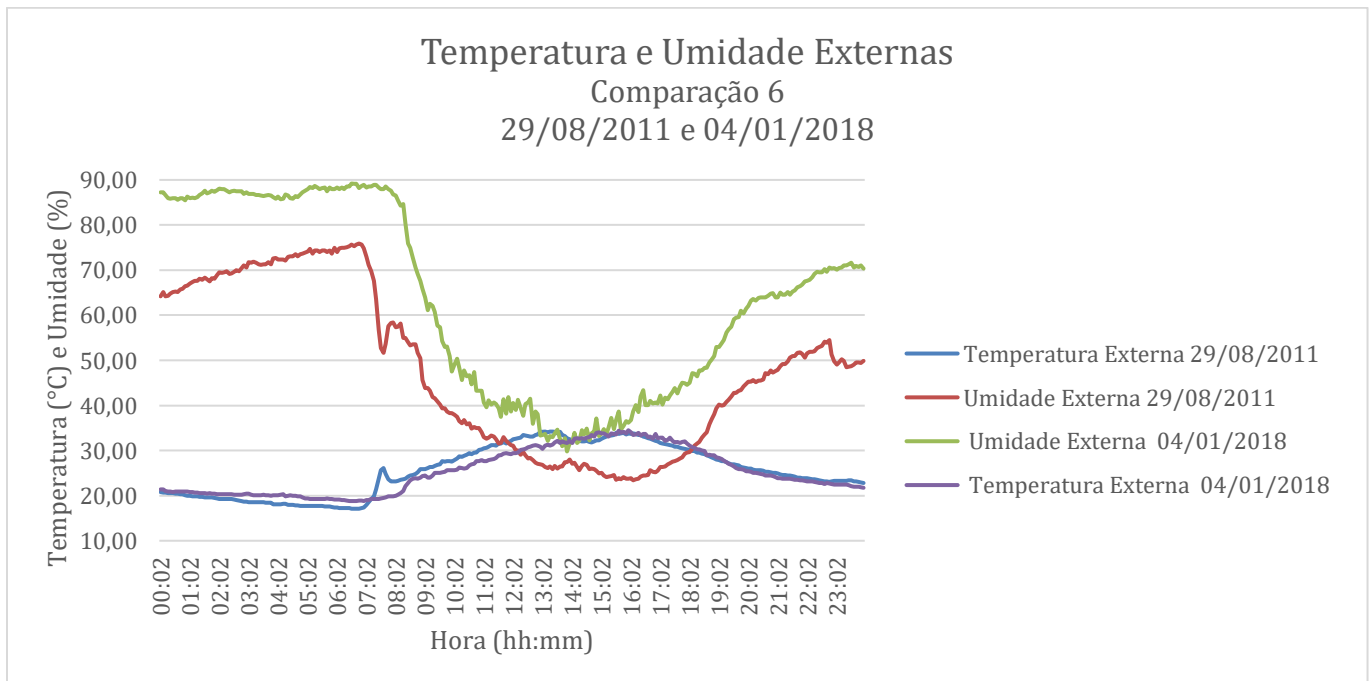
**Gráfico 4 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 4**



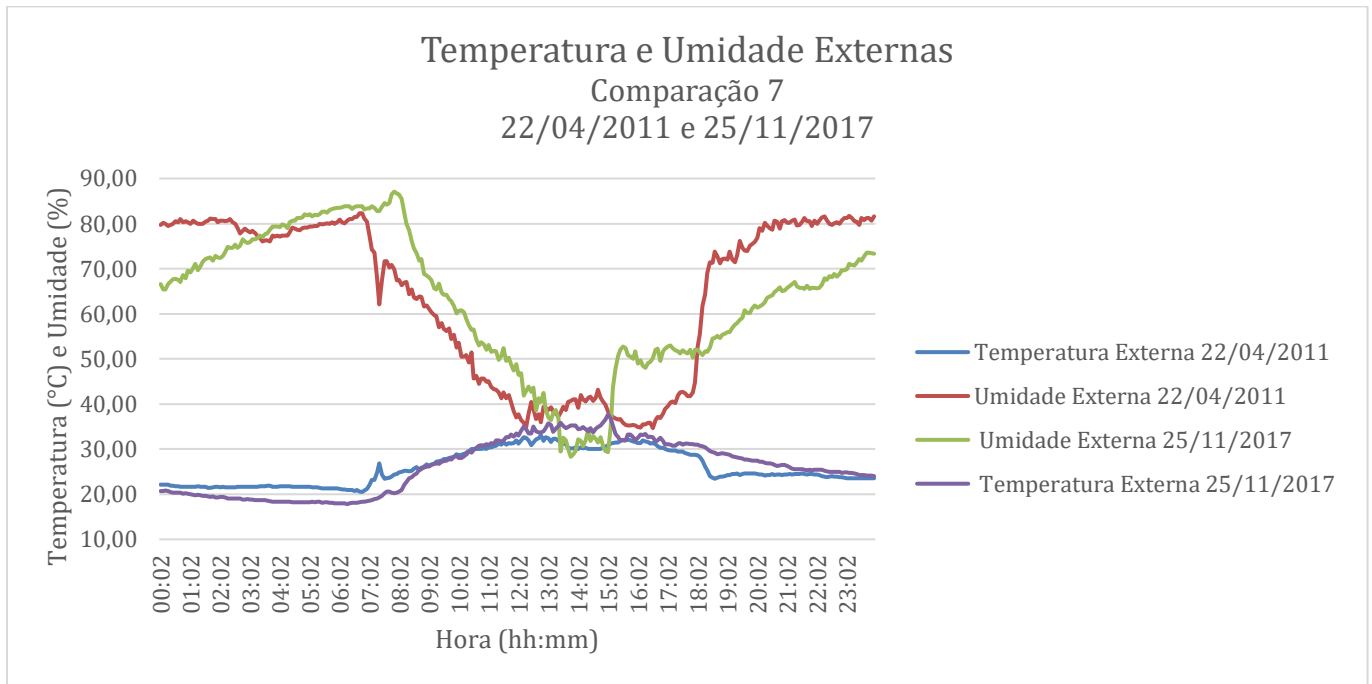
**Gráfico 5 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 5**



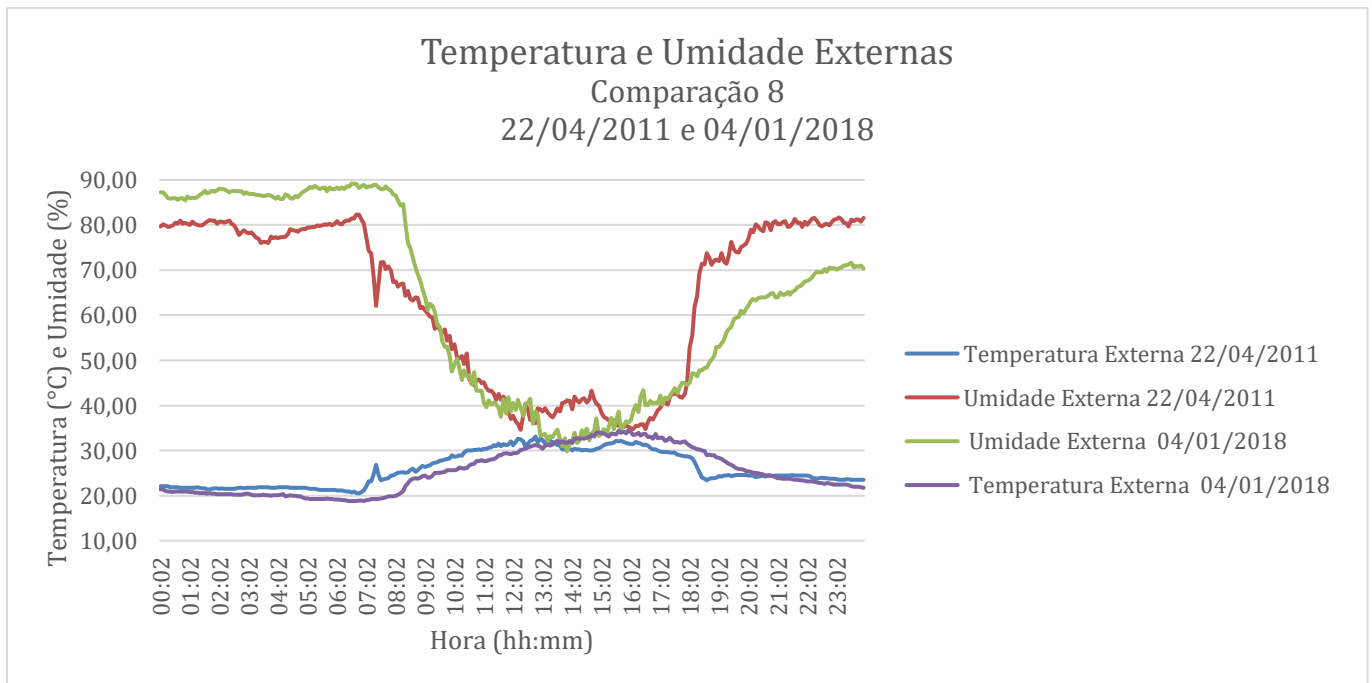
**Gráfico 6 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 6**



**Gráfico 7 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 7**

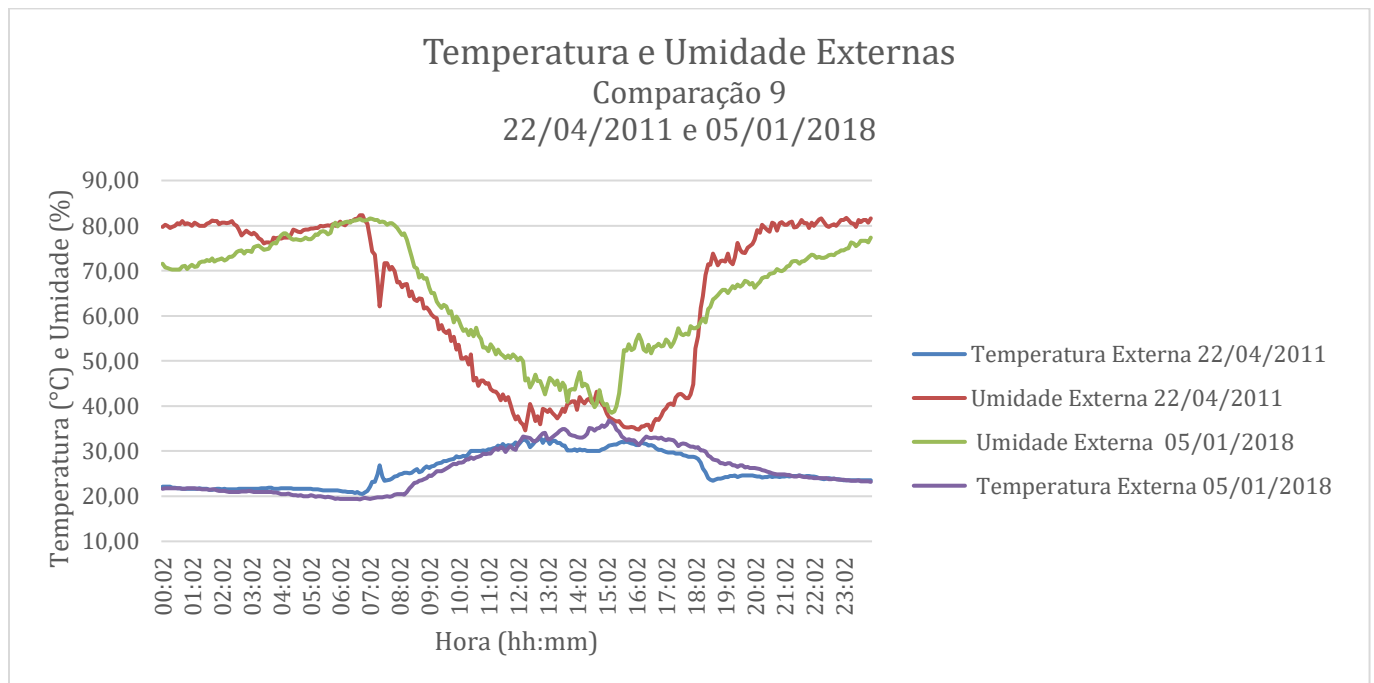


**Gráfico 8 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 8**

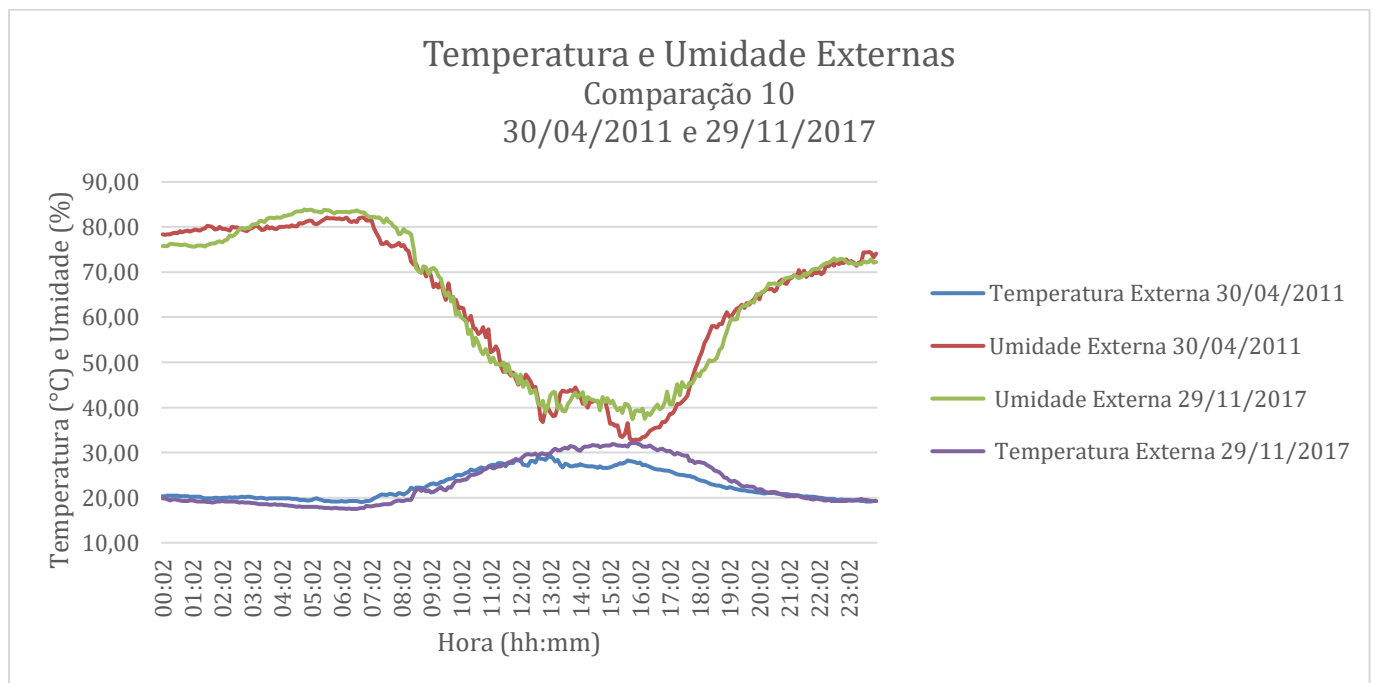




**Gráfico 9 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 9**



**Gráfico 10 - Temperatura e Umidade Externas - Comparação 10**



Nota-se também que as comparações 4 a 10, **Gráfico 4** a **Gráfico 10**, apresentam condição climática muito similar. Para assegurar que, por um lado, não fossem realizadas análises repetitivas e que, por outro, não fossem descartadas comparações que apresentassem resultados distintos, tendo em vista que existem outras variáveis que podem influenciar o desempenho, plotou-se dados de temperatura do ar interno e externo nos dois dias das comparações 4 a 10. Da análise desses gráficos conclui-se que o desempenho térmico da edificação foi, de fato, similar e optou-se, portanto, em descartar as comparações 5, 7, 8 e 9.

### 5.2.3 Determinação dos Casos Climatologicamente Equivalente

Os dias selecionados como equivalentes, pela análise estatística, teste de hipótese, e pela análise do comportamento dos parâmetros temperatura e umidade externos, para serem analisados neste trabalho e suas principais características podem ser verificados na **Tabela 11: Dias Analisados neste Trabalho** a seguir.

**Tabela 11: Dias Analisados neste Trabalho**

	Data sem Jardim		Data com Jardim	
	T Média	UR Média	T Média	UR Média
1	23/12/2011		28/11/2017	
	23,20 °C	74,69 %	23,28 °C	75,49 %
3	20/01/2012		30/11/2017	
	22,72 °C	68,57 %	22,36 °C	68,03 %
4	29/08/2011		24/11/2017	
	25,56 °C	62,04 %	24,97 °C	60,97 %
6	29/08/2011		04/01/2018	
	25,56 °C	62,04 %	25,26 °C	63,24 %
10	30/04/2011		29/11/2017	
	22,71 °C	63,42 %	23,18 °C	63,81 %

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 Análise dos Resultados dos Casos Seleccionados

A análise apresentada foi feita da seguinte forma: analisou-se cada par de dias que foram considerados comparáveis, conforme listado na **Tabela 11: Dias Analisados neste Trabalho**. Os parâmetros analisados foram temperatura do ar, umidade do ar e temperatura de ponto de orvalho. Primeiramente foi realizado um teste de hipótese para chegar-se estatisticamente à conclusão se os parâmetros internos, temperatura e umidade, medidos sem e com o a parede viva foram diferentes. É importante ressaltar que o mesmo teste determinou que os parâmetros externos podem ser considerados iguais.

Posteriormente foi realizado um estudo de desempenho por caso, no qual se buscou observar o comportamento da temperatura do ar e de ponto de orvalho e umidade relativa. Primeiramente observou-se a temperatura do ar, comparando o comportamento e valores do parâmetro medidos interna e externamente tanto no dia sem quanto no dia com parede viva. Em segundo lugar foi realizada a mesma análise para a umidade relativa do ar. Por fim, analisou-se a temperatura de ponto de orvalho e a temperatura superficial medida no interior da parede 2, onde foi instalado a parede viva.

Na análise da temperatura do ar interno observou-se que em 3 dos 5 casos analisados houve atrasos de 2 horas ou mais do início da queda da temperatura interna após o início da queda da externa. Em relação às diferenças entre as temperaturas máximas atingidas interna e externamente não foram observadas mudanças claras no comportamento dos protótipos. Já a diferença entre as temperaturas mínimas foi maior nos dias com o jardim vertical em todos os casos, ou seja, a temperatura mínima atingida internamente foi maior nos dias com o jardim vertical.

A análise da umidade relativa mostrou que a diferença entre os valores máximos alcançados interna e externamente ao protótipo foi sempre maior nos dias analisados com a parede viva, ou seja, a máxima umidade relativa do ar interno foi menor nos dias com a parede viva. A diferença entre os mínimos foi menor no dia com a parede viva em 3 dos 5 dos casos analisados. A diferença observada entre os dois valores extremos, máximo e mínimo, ser maior no caso com a parede viva aponta para uma amplitude menor da umidade interna após a instalação da parede viva. Os gráficos **Gráfico 12**, **Gráfico 16**, **Gráfico 20**, **Gráfico 24** e **Gráfico 27** apontam indícios não

conclusivos, 2 casos de 5, de que talvez ocorra também um atraso do comportamento da umidade interna em relação à externa, como observado com a temperatura.

Finalmente, a análise da temperatura superficial e de ponto de orvalho indicou que sempre há condensação da umidade do ar na superfície interna da parede 2, independente se havia ou não jardim em seu exterior. Idealmente espera-se que não ocorra essa condensação para evitar que a água prejudique a integridade da parede, seja por questões estruturais ou de revestimento. Em 4 dos 5 dias analisados sem a parede viva houve condensação durante alguma parte do dia, porém, as condições para a ocorrência desse fenômeno, temperatura superficial menor do que de ponto de orvalho, se mantiveram por períodos mais longos nos dias com a parede viva. Ou seja, a preocupação inicial de que a instalação do jardim vertical pudesse aumentar a condensação na parede foi comprovada.

#### **6.1.1 Análise Estatística das Médias da Temperatura e Umidade Internas**

Realizou-se uma análise estatística, análoga à descrita em 5.2.1 Análise Estatística das Temperaturas e Umidades Externas para saber se as temperaturas e umidades médias medidas internamente nos dias selecionados foram diferentes. Ressalta-se que em 5.2.1 Análise Estatística das Temperaturas e Umidades Externas demonstrou-se que as médias externas podem ser consideradas iguais. O resultado encontrado foi de que as temperaturas internas médias foram distintas em todas as comparações, e as umidades médias internas foram diferentes em 3 dos 5 casos, o que confirma que o jardim vertical realmente influencia de alguma forma a temperatura e umidade internas, conforme era esperado. As médias internas estão apresentadas na **Tabela 12** a seguir.

**Tabela 12: Temperaturas e umidades médias interna e externa**

	Data sem Jardim				Data com Jardim			
	T Ext Média	UR Ext Média	T Int Média	UR Int Média	T Ext Média	UR Ext Média	T Int Média	UR Int Média
1	23/12/2011				28/11/2017			
	23,20	74,69	24,76	69,50	23,28	75,49	25,40	69,56
3	20/01/2012				30/11/2017			
	22,72	68,57	24,11	64,75	22,36	68,03	24,35	62,53
4	29/08/2011				24/11/2017			
	25,56	62,04	24,34	62,04	24,97	60,97	25,40	62,80
6	29/08/2011				04/01/2018			
	25,56	62,04	24,34	62,04	25,26	63,24	26,06	67,28
10	30/04/2011				29/11/2017			
	22,71	63,42	23,94	64,98	23,18	63,81	24,96	61,52

A hipótese testada foi que a temperatura e umidade interna seriam diferentes entre o dia com e sem parede viva. Abaixo na **Tabela 13** é apresentado o resultado, sendo que “VERDADEIRO” significa que as temperaturas, ou umidades, médias internas foram, de fato, diferentes.

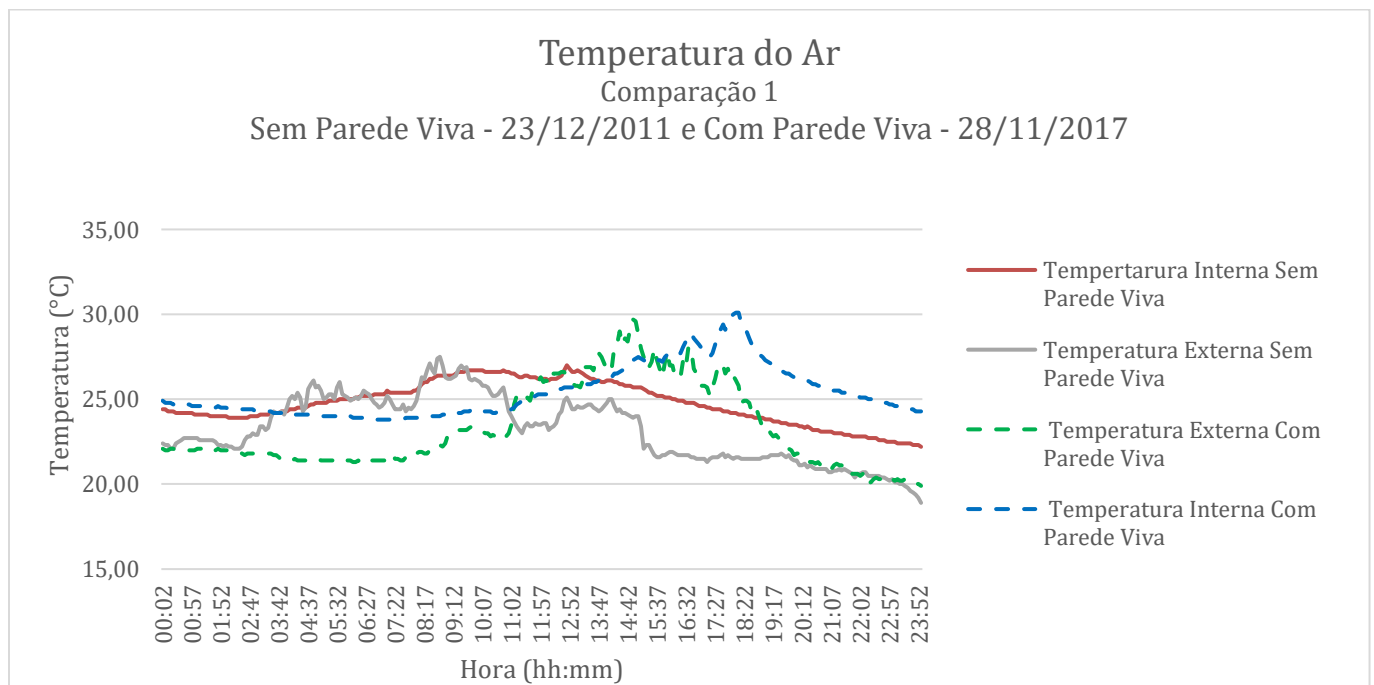
**Tabela 13: Teste de hipótese temperatura e umidade interna média**

Comparação	T Int Média	UR Int Média
1	VERDADEIRO	FALSO
3	VERDADEIRO	VERDADEIRO
4	VERDADEIRO	FALSO
6	VERDADEIRO	VERDADEIRO
10	VERDADEIRO	VERDADEIRO

### 6.1.2 Análise do Primeiro Caso – Comparação 1

Nos dois dias analisados, com e sem parede viva, a temperatura interna se mantém mais constante, sofrendo alterações menos repentinas. O atraso do pico da temperatura interna, considerado como o tempo decorrido após a externa ter atingido seu máximo, foi de 4hs no dia analisado sem parede viva e de 3hs no dia com. O início na queda das temperaturas internas ocorreu logo após o pico nos dois casos. As temperaturas máximas atingidas interna e externamente foram iguais nos dois casos e as temperaturas mínimas internas foram 3°C acima da mínima externa para o caso sem parede e de 4°C acima no caso com. Nos momentos em que foram atingidos os picos das temperaturas, tanto internos quanto externos, a diferença entre as temperaturas interna e externa foram maiores no caso analisado com parede viva. Conforme se observa no **Gráfico 11**.

**Gráfico 11 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 1**



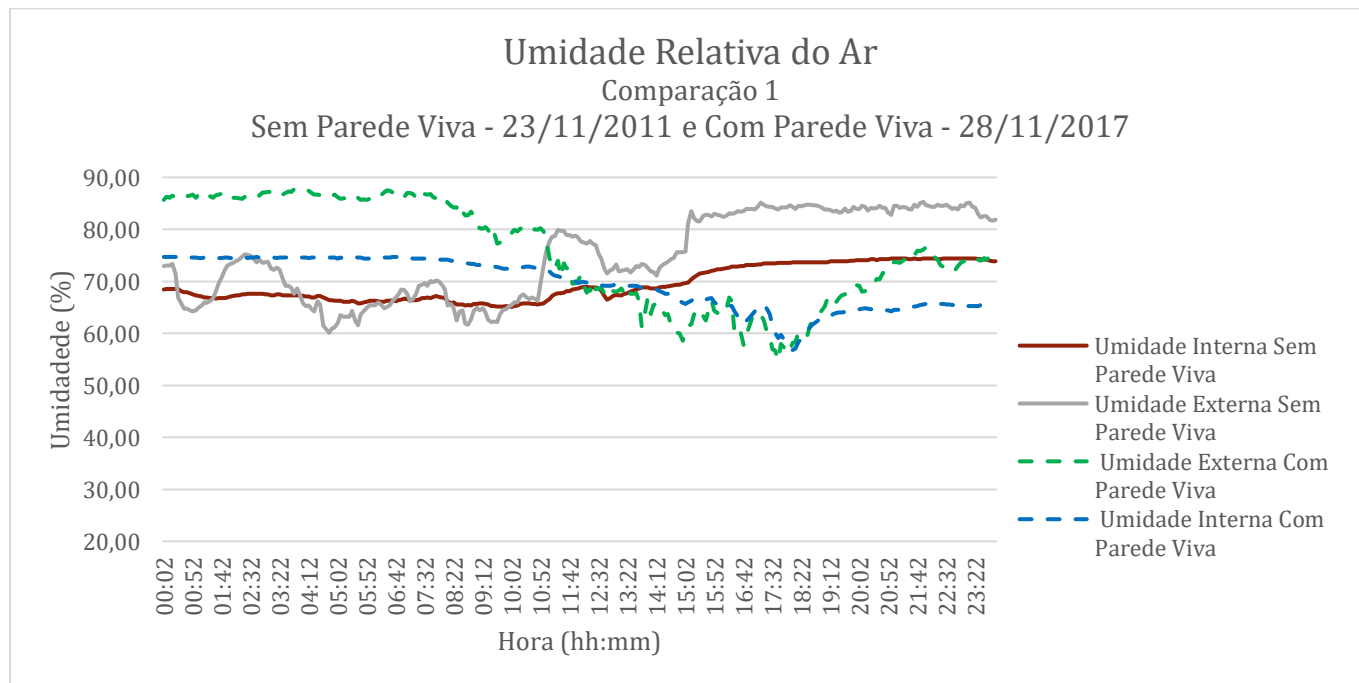
No dia analisado sem parede viva a temperatura do ar interno do protótipo é 2°C superior a temperatura externa da meia noite as 2:00h da manhã. Aproximadamente as 4:00h da manhã as duas se igualam e continuam se elevando até as 8h30min, quando a temperatura externa começa a diminuir. A partir desse momento a temperatura interna fica entre 2°C e 3,5°C acima da externa.

O atraso no início da queda na temperatura do ar interno é de aproximadamente 4hs. A diferença entre as temperaturas interna e externa no pico da temperatura externa foi de 1°C e no pico da interna foi 2°C. A temperatura do ar externo máxima atingida foi 27,5°C e do ar interno 27°C, já as mínimas foram 18,9°C e 22,2°C respectivamente.

O dia com a parede viva se iniciou com a temperatura do ar interno aproximadamente 3°C superior à do ar externo, situação que continuou até as 11:00h da manhã, quando as duas se igualaram. Após esse momento ambas continuam se elevando e a temperatura externa atinge o seu máximo, 29,7°C, as 15:00h, momento em que a temperatura interna estava 2°C abaixo. O pico da temperatura interna, 30,1°C, ocorre as 18:00h, quando a temperatura externa está 4°C abaixo. Os mínimos atingidos pelas temperaturas externa e interna foram 19,9°C e 23,8°C, respectivamente.

A umidade, nessa comparação, tanto interna quanto externa, possui comportamento contrário ao longo do dia; no dia analisado sem parede viva a umidade aumenta ao longo do dia enquanto no dia analisado com parede viva ela diminui. A diferença entre os valores máximos atingidos externa e internamente foi de 10,9% no dia sem parede viva e de 13% no dia com. A mesma diferença entre os mínimos foi de 9,3% no dia 23/11/2011, sem parede viva, e de apenas 2% no dia 28/11/2017, com. Conforme se observa abaixo no **Gráfico 12**.

**Gráfico 12 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 1**



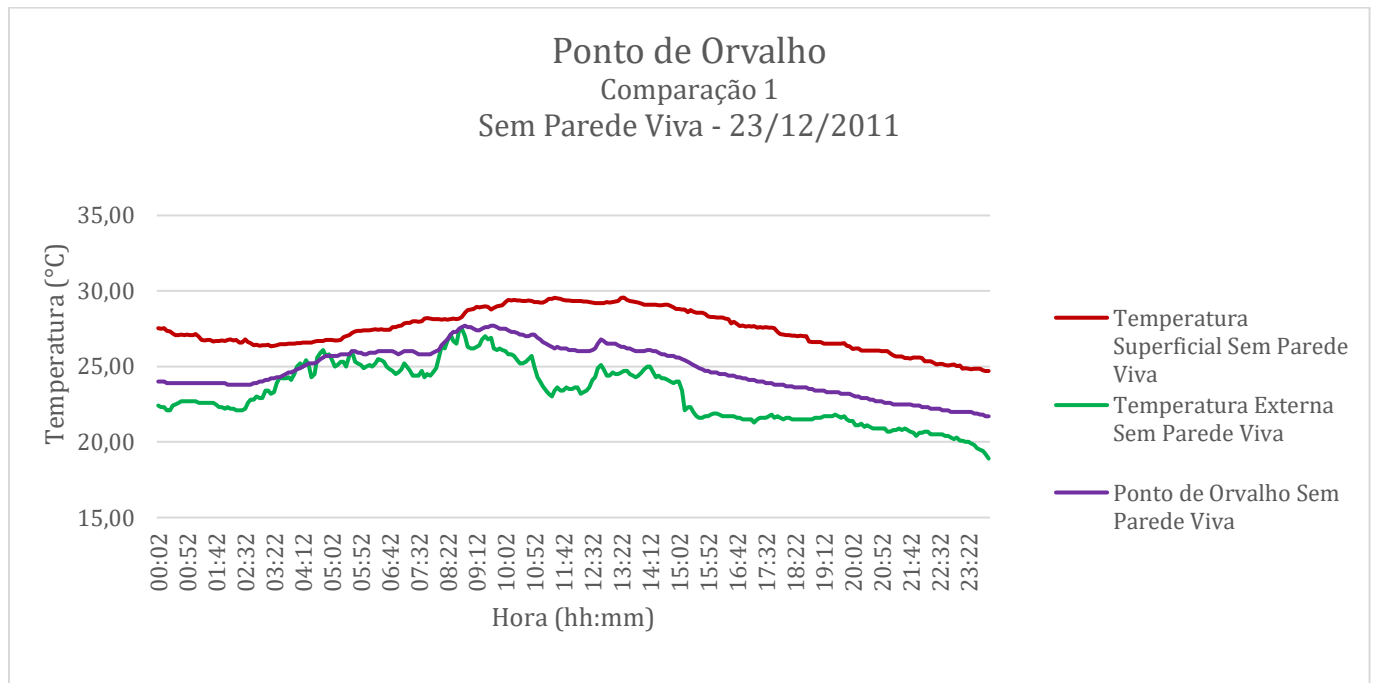
No dia analisado sem parede viva a umidade externa oscilou entre 75% e 60% até 10:50h quando aumentou repentinamente e oscilou em torno de 72% e 85% até o final do dia. A umidade interna oscilou bem menos, ficou em torno de 62% até as 10:50h. Das 10:50h às 16:30h ela aumentou de forma aproximadamente constante até atingir 74% e manteve-se constante até o final do dia. A diferença entre as umidades externas e internas, no período em que a externa foi mais constante, foi de aproximadamente 9%. A diferença entre os máximos atingidos externa e internamente foi de 10,9% e entre os mínimos foi de 5%. A amplitude da umidade externa foi de 25,2% e da interna foi de 9,3%.

No dia 28/11/2017 as umidades interna e externa foram constantes até as 8:00h, mantendo uma diferença de aproximadamente 12%, sendo a umidade externa igual a 86% e a interna igual a 75%. Das 8:00h às 17:30h a umidade externa caiu drasticamente com oscilações atingindo seu mínimo, 54,8%. Internamente a variação foi menor, atingindo, às 18:00h, meia hora atrasado em relação ao mínimo atingido externamente, 56,8%. A diferença entre os máximos atingidos interna e externamente foi de 13% e entre os mínimos foi de apenas 2%. A amplitude da umidade externa foi de 32,9% e da interna foi de 17,9%.

Na análise a seguir, **Gráfico 13** e **Gráfico 14**, observou-se que no dia com a parede viva a temperatura superficial da parede 2 foi inferior à de ponto de orvalho durante apenas 6:30h, porém, no dia sem parede viva a de ponto de orvalho foi inferior à superficial durante o dia todo.

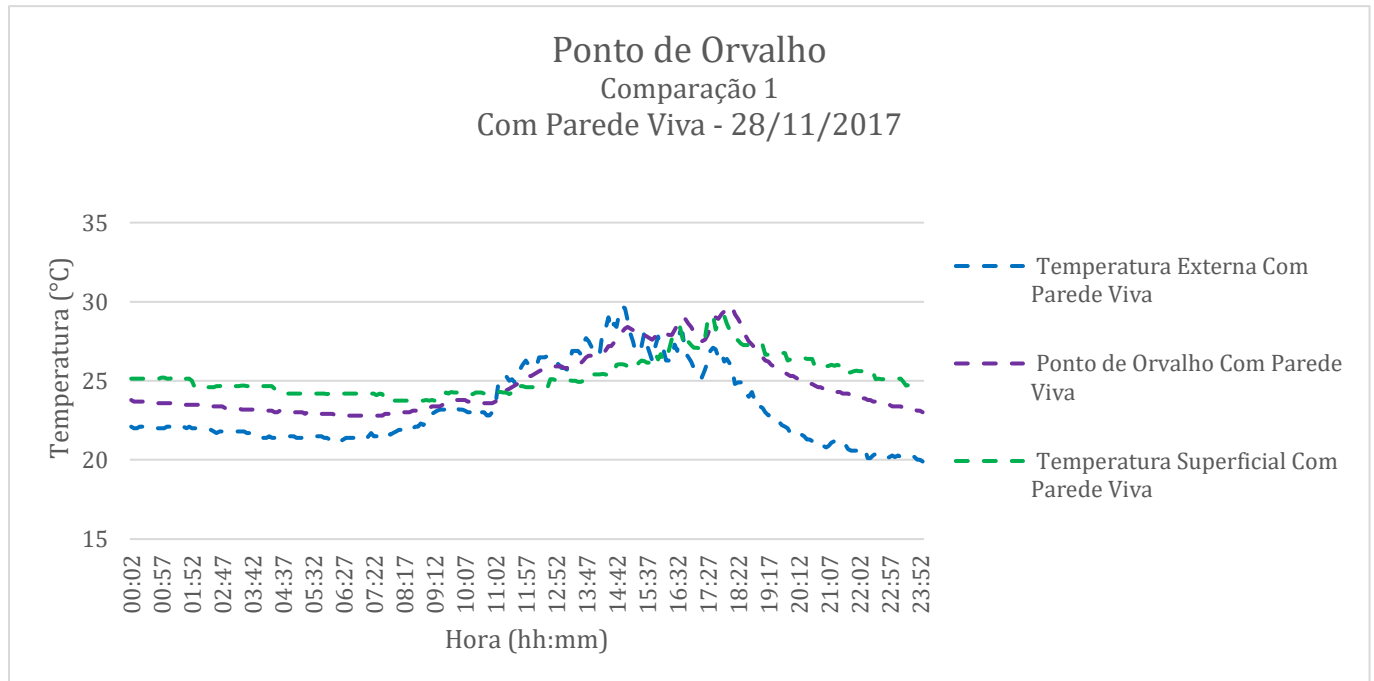


**Gráfico 13 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 1**



Nesse dia, sem a parede viva, a temperatura superficial foi maior do que a de ponto de orvalho durante todo o dia. A diferença entre as duas se manteve entre 1°C e 4°C; não houve condensação da umidade no interior da parede 2 durante todo o dia.

**Gráfico 14 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 1**

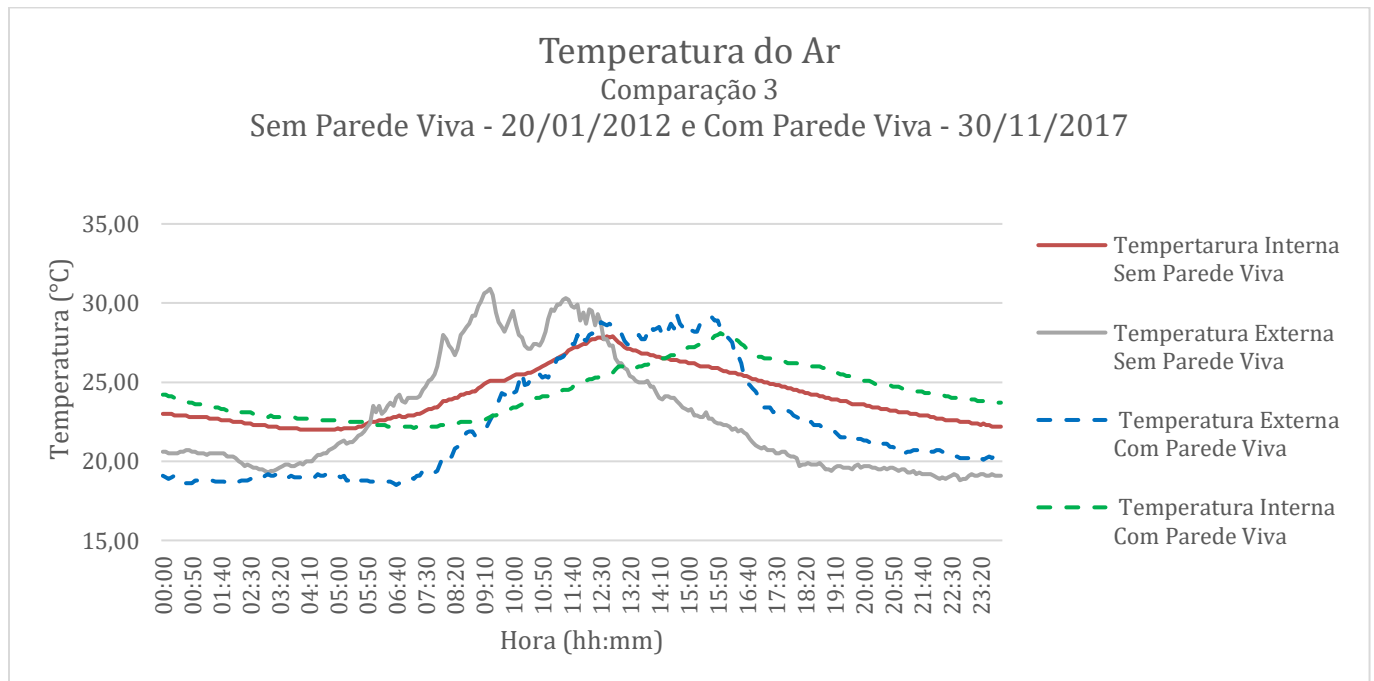


No dia analisado com parede viva a temperatura superficial também foi superior à de ponto de orvalho na maior parte do dia, com exceção do período entre 11:00h e 17:30h. O que significa que, durante esse período de 6:30h a umidade interna se condensou na superfície da parede. É importante ressaltar que nesta análise a temperatura superficial é representada pela média de apenas dois sensores termopares, em vez dos 5, pois ocorreu problema na coleta de dados.

### 6.1.3 Análise do Segundo Caso – Comparação 3

Nesse caso o atraso no dia analisado sem parede viva foi de 1h30 enquanto no dia com parede foi de apenas 30 minutos. A diferença entre as temperaturas máximas atingidas externa e internamente foi de 3°C no dia sem parede viva e de 1,2°C no dia com. A mesma diferença entre as temperaturas mínimas foi 3°C no dia sem parede e de 3,6°C no dia com. Conforme observa-se no **Gráfico 15**.

**Gráfico 15 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 3**

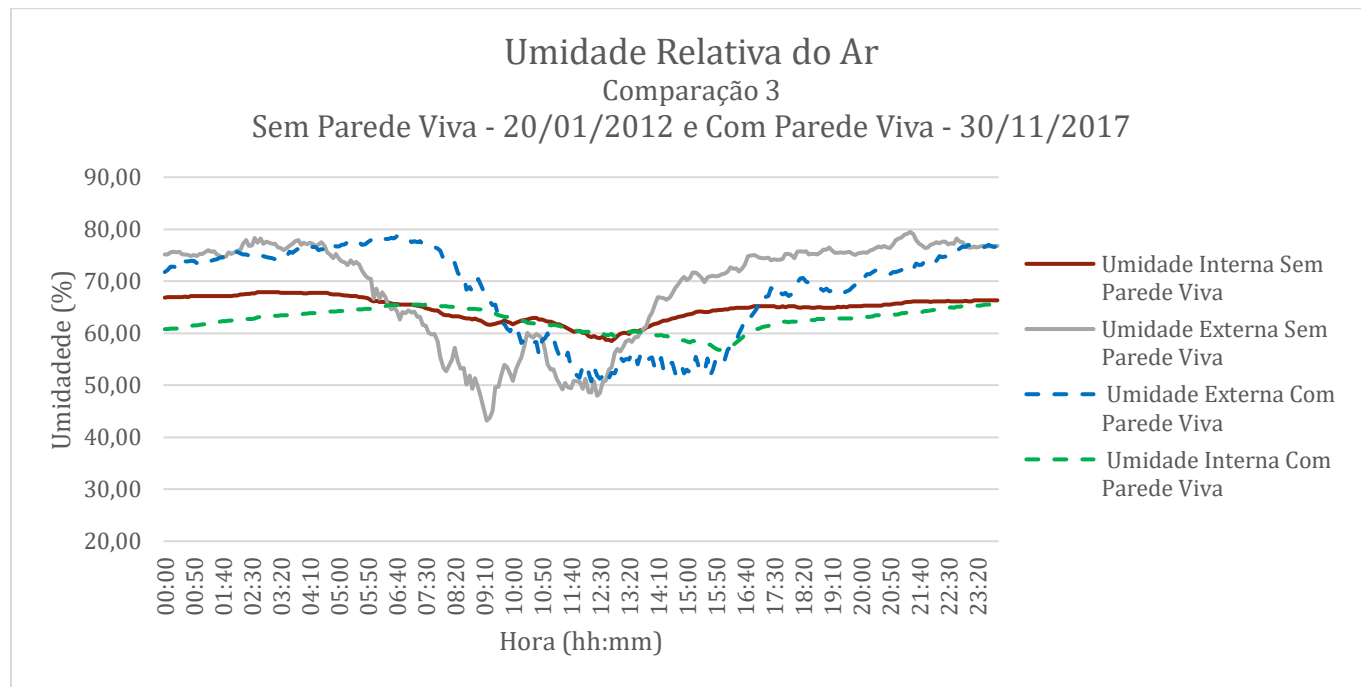


No início do dia analisado sem a parede viva a temperatura interna estava 2°C acima da externa. As duas se igualaram às 6:00h da manhã e as 9:00h a temperatura externa atingiu o seu máximo no dia, 30,9°C, momento em que a temperatura do ar interno estava 6°C abaixo. As 11:30h a temperatura externa atingiu um segundo pico e iniciou sua queda. Nesse momento, a temperatura interna, que estava subindo constantemente desde as 5h da manhã, estava entre 3 e 4°C abaixo da externa. A temperatura interna atingiu seu máximo, 27,9°C, 1h30min após o início da queda da temperatura externa, e nesse momento as medidas internas e externas eram iguais. Logo após isso a temperatura interna iniciou sua queda. A diferença entre os máximos das temperaturas externa e interna foi de 3° e entre os mínimos foi também 3°C.

A diferença entre as temperaturas externa e interna no início do dia analisado com parede viva era de 5°C. Às 9h da manhã elas se igualaram e às 12h30 a temperatura externa atingiu seu primeiro pico. Somente às 16:00h a temperatura externa atingiu seu máximo, 29,3°C, e último pico antes de começar a cair. O pico da temperatura interna, 28,1°C, ocorreu com apenas 30 minutos de atraso em relação a este último pico da externa, e nesse momento as temperaturas se igualaram novamente. A diferença entre a temperatura máxima externa e interna foi de 1,2°C e entre as mínimas foi de 3,6°C.

Nessa comparação, a umidade externa possui comportamento bastante similar nos dias analisados, com e sem parede viva, sendo que o dia com parede viva está aproximadamente 3 horas defasado, em atraso, em relação ao dia 20/01/2011. A diferença entre os máximos atingidos interna e externamente ao protótipo foi menor no caso analisado sem parede viva, 11,6% e 13,1% no caso com. Entre os mínimos a mesma diferença foi também maior no dia 20/01/2011, 13,3% e apenas 6,4% no dia com parede viva. As amplitudes tanto internas quanto externa foram maiores no dia analisado sem parede viva, 36,4% externa e 9,4% interna e, no dia com parede viva, 28,3% e 8,8% respectivamente.

**Gráfico 16 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 3**

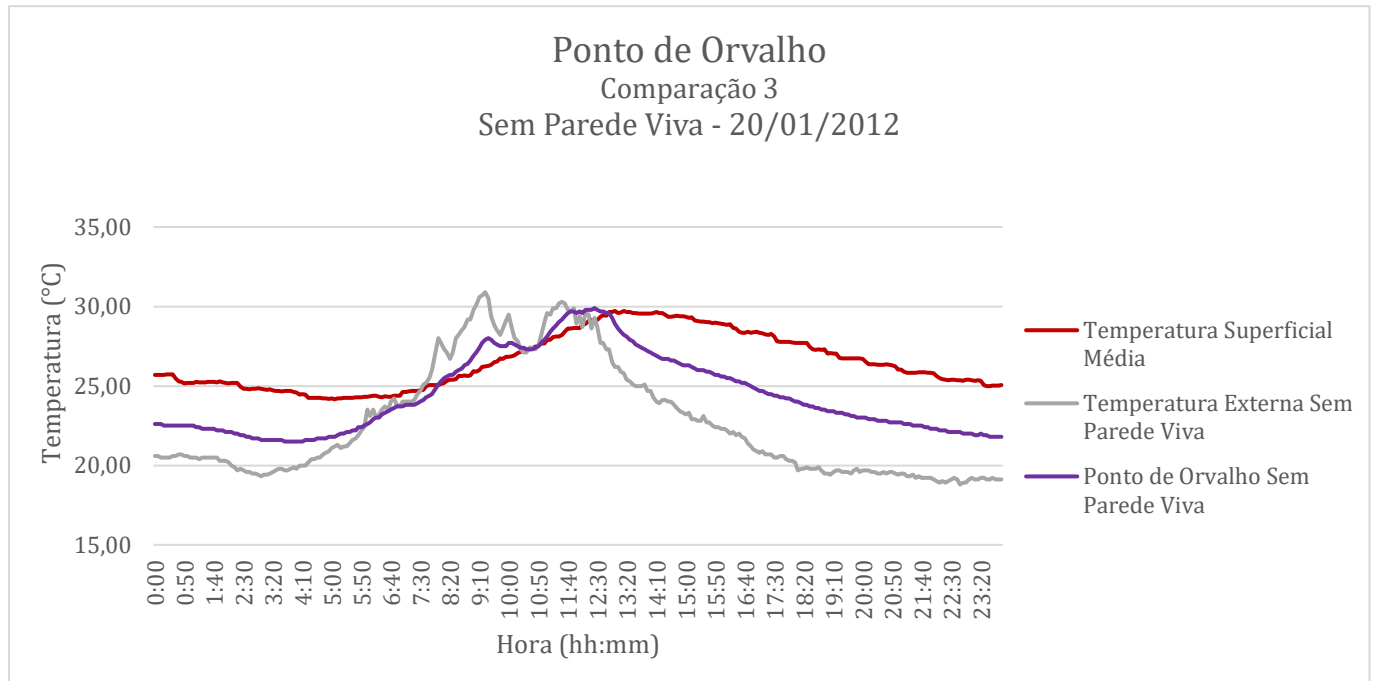


A umidade externa no início do dia 20/01/2011 era de 75%, ela aumentou um pouco até as 4:30h e iniciou uma queda mais brusca, atingindo seu mínimo, 43,2%, às 9:10h. No período entre 9:00h e 12:30h oscilou entre 43% e 60% e às 12:30h começou a aumentar de forma mais contínua. A umidade interna permaneceu praticamente constante durante o dia todo, atingindo seu mínimo, 58,5% às 12:30. A diferença entre os valores máximos atingidos externa e internamente foi de 11,6% e entre os mínimos foi de 15,3%. A amplitude da umidade externa foi 36,4% e da interna foi 9,4%.

No dia analisado com parede viva a umidade externa foi de 72% às 0:00h a 79% às 7:00hs e diminuiu a partir dessa hora. Às 12:30h atingiu seu mínimo, 50,4%, e oscilou entre esse valor e 56% até às 16:00h, quando voltou a aumentar atingindo 77% às 23:59h. A umidade interna sofreu menos oscilações, iniciou o dia com 60%, atingiu seu mínimo, 56,8%, às 15:50h e subiu gradativamente até atingir 60% às 23:59h. A diferença entre os máximos atingidos interna e externamente foi de 13,1% e entre os mínimos 6,4%. A amplitude externa foi de 28,3% e a interna foi de 8,8%.

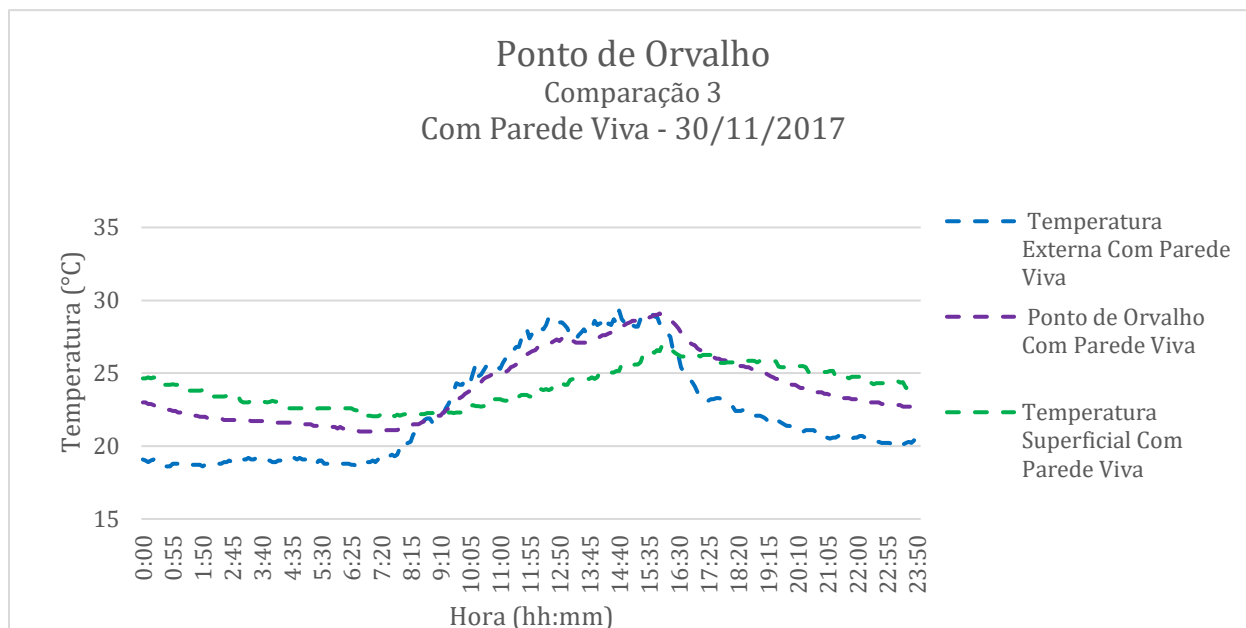
Na análise a seguir observou-se que nos dois dias analisados a temperatura superficial foi menor do que a de ponto de orvalho em algum momento do dia, ou seja, houve condensação da umidade do ar interior na superfície interna da parede 2, onde no exterior foi posteriormente instalado a parede viva. O período do dia em que esse fenômeno ocorreu foi menor no dia analisado sem parede viva, durou cerca de 4 horas, enquanto no outro dia, com a parede viva durou cerca de 8:30 horas. Como pode-se observar a seguir nos **Gráfico 17** e **Gráfico 18**.

**Gráfico 17 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 3**



A temperatura superficial da parede 2 no dia analisado sem a parede viva é maior do que a temperatura de ponto de orvalho em quase todo o dia, com exceção do período das 8:00h às 12:30h. Portanto, nesse dia, durante cerca de 4 horas houve condensação da umidade do ar ao entrar em contato com essa superfície.

**Gráfico 18 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 3**

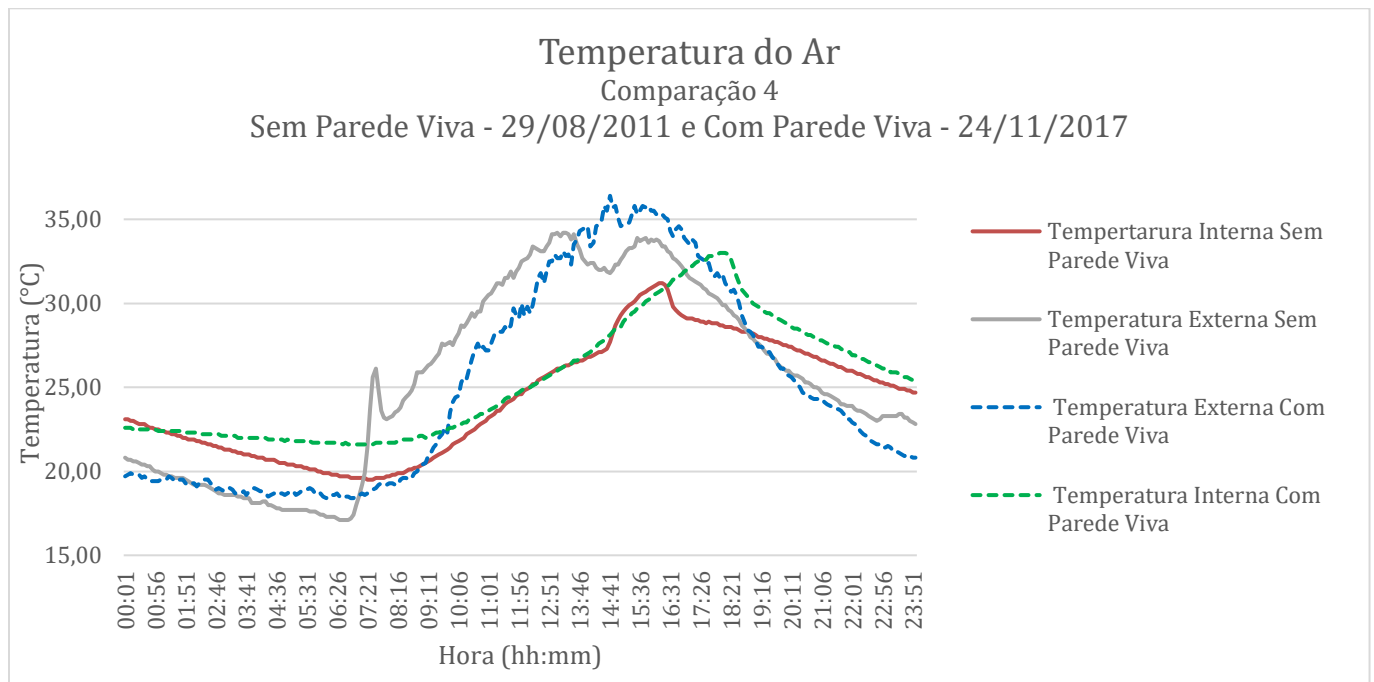


No dia analisado com parede viva a temperatura superficial também foi superior à de ponto de orvalho na maior parte do dia, com exceção do período entre 9:00h e 17:30h. O que significa que durante esse período de 8:30 horas a umidade interna se condensou na superfície da parede. É importante ressaltar que nesta análise a temperatura superficial é representada pela média de apenas dois sensores termopares, em vez dos 5, pois ocorreu problema na coleta de dados.

#### **6.1.4 Análise do Terceiro Caso – Comparação 4**

Nessa comparação observa-se que o atraso do início da queda da temperatura interna em relação ao da externa foi de aproximadamente 40 minutos no caso sem parede viva e de 2:30h no caso com. A diferença entre os máximos atingidos foi um pouco maior no caso com parede viva, 3,4°C e 3°C sem. Entre os mínimos a diferença foi também maior no caso com parede 3,2°C e 2,4°C no caso sem. Conforme observa-se adiante no **Gráfico 19**.

**Gráfico 19 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 4**



No dia analisado sem parede viva a temperatura interna iniciou o dia 2°C acima da externa. As 7:30h as duas se igualaram e entre 8:00h e 13:00h a diferença entre elas passou de 3°C a 7°C, atingindo seu máximo no momento do primeiro pico de temperatura externa. As 15:40h a temperatura externa atingiu um segundo pico e iniciou sua queda. As 16:30h a temperatura interna atingiu seu pico e iniciou sua queda, aproximadamente 40 minutos após a externa. A diferença entre os máximos externo e interno foi 3°C e entre os mínimos foi 2,4°C.

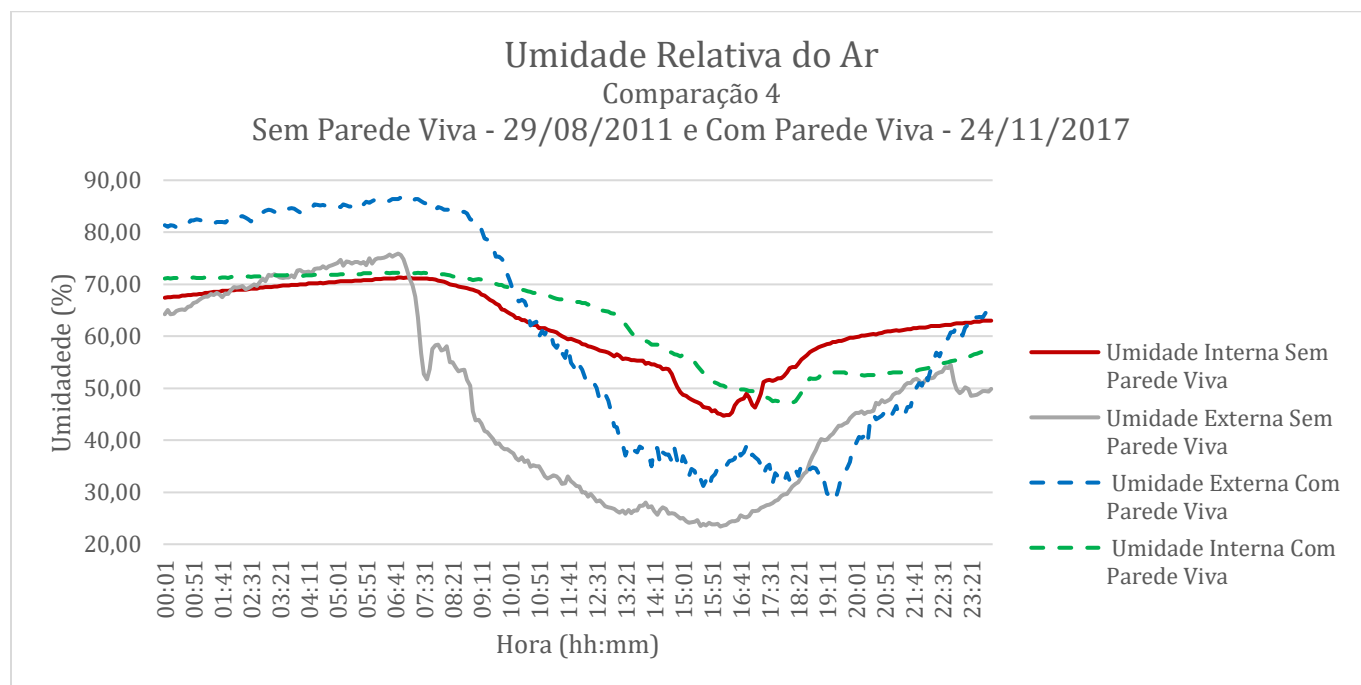
No dia analisado com parede viva a diferença entre a temperatura interna e externa era de 2°C no início do dia. Elas se igualaram aproximadamente as 10:00h e a externa aumentou mais rápido chegando ao seu máximo, 36,4°C, as 14:30h. As 15:30h a temperatura externa inicia sua queda, enquanto a temperatura interna continua subindo. O pico da temperatura interna ocorre às



18:00h, 8 horas após o primeiro pico da temperatura externa e 2:30h após o início de sua queda. Entre 9:30h e 17:30h, período em que a temperatura externa foi maior, a diferença entre as duas manteve-se entre 3° e 8°C. A diferença entre os máximos foi de 3,4°C e entre os mínimos foi de 3,2°C.

Nessa comparação observou-se que a diferença entre as umidades máximas atingidas interna e externamente ao protótipo foi maior no caso com parede viva, 14,5%, e apenas 4,6% no caso com. Entre os mínimos a diferença no caso com parede foi menor, 18,7% e 21,3% no caso com. A amplitude externa foi maior no dia sem parede viva, 58,3%, sendo que no outro dia foi 52,5%. Já a interna foi maior no dia sem parede viva, de menor amplitude externa, 26,6%, e 25,1% no dia com parede viva.

**Gráfico 20 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 4**



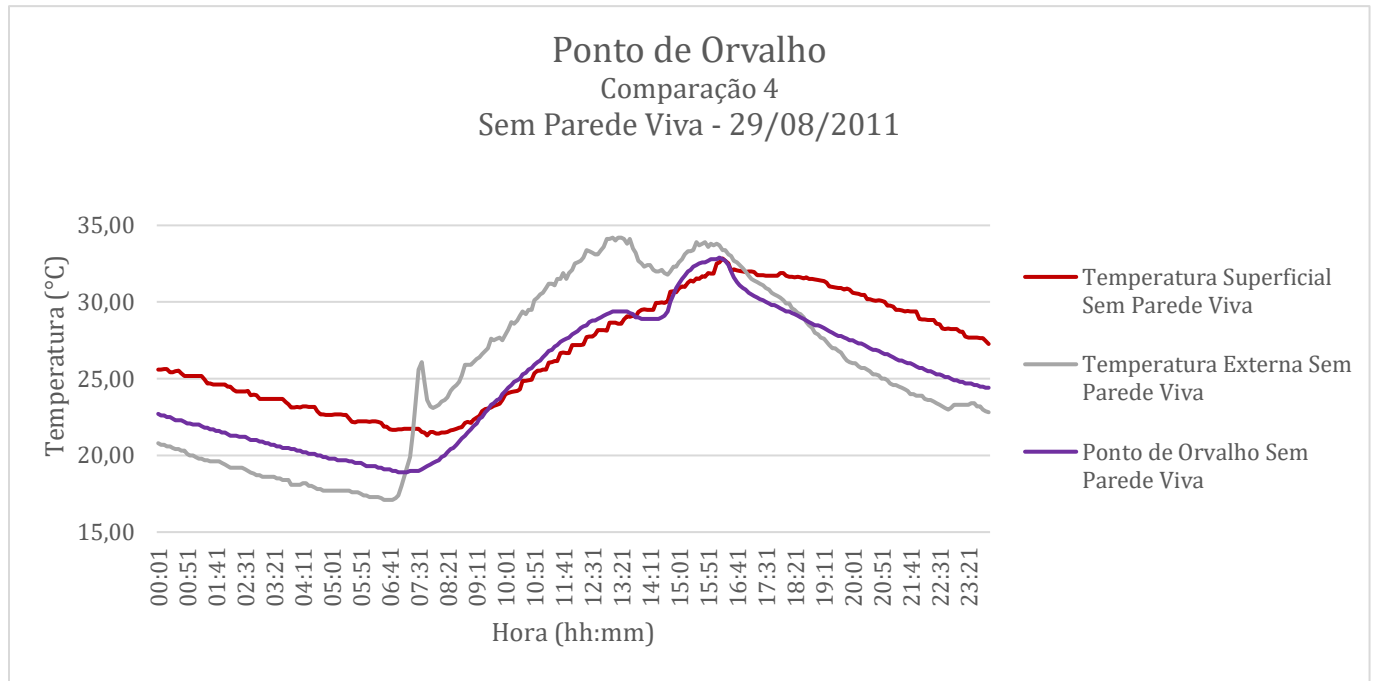
No dia analisado sem a parede viva a umidade externa e a interna tiveram comportamento similares até as 6:40h da manhã, ficando em torno de 70%. Após esse horário a umidade externa teve uma queda brusca e atingiu o seu mínimo, 23,4%, aproximadamente às 16:00h. Nesse momento, a diferença entre as duas era de aproximadamente 20% e ela se manteve entre 10% e 20% na maior parte do dia, entre 7:30h e 23:59h. A umidade interna sofreu variação bem menor,

sendo que seu mínimo foi 44,7% e ocorreu também as 16:00h. A diferença entre os mínimos observados foi de 21,3% e entre os máximos foi 4,6%. A amplitude da umidade externa foi de 52,5% e da interna foi de 26,6%.

Observa-se que no dia com a parede viva as umidades externa e interna apenas tiveram valor iguais em 2 momentos. No início do dia a diferença entre elas era de aproximadamente 10%. A partir das 10:00h a umidade externa foi inferior a interna, atingindo o seu mínimo, 28,4% as 19:00h, e voltando a subir logo após isso. Nesse momento, a diferença entre elas era de quase 25%, sendo que variou entre 10 e 25% durante 8 horas, das 12:00h às 20:00h. A umidade interna sofreu alterações menos drásticas, atingindo seu mínimo, 47,1%, às 17:00h. A diferença entre as umidades mínimas atingidas dentro e fora do protótipo foi de 18,7% e entre as máximas foi de 14,5%. A amplitude da umidade externa foi de 58,3% enquanto a interna foi de 25,1%.

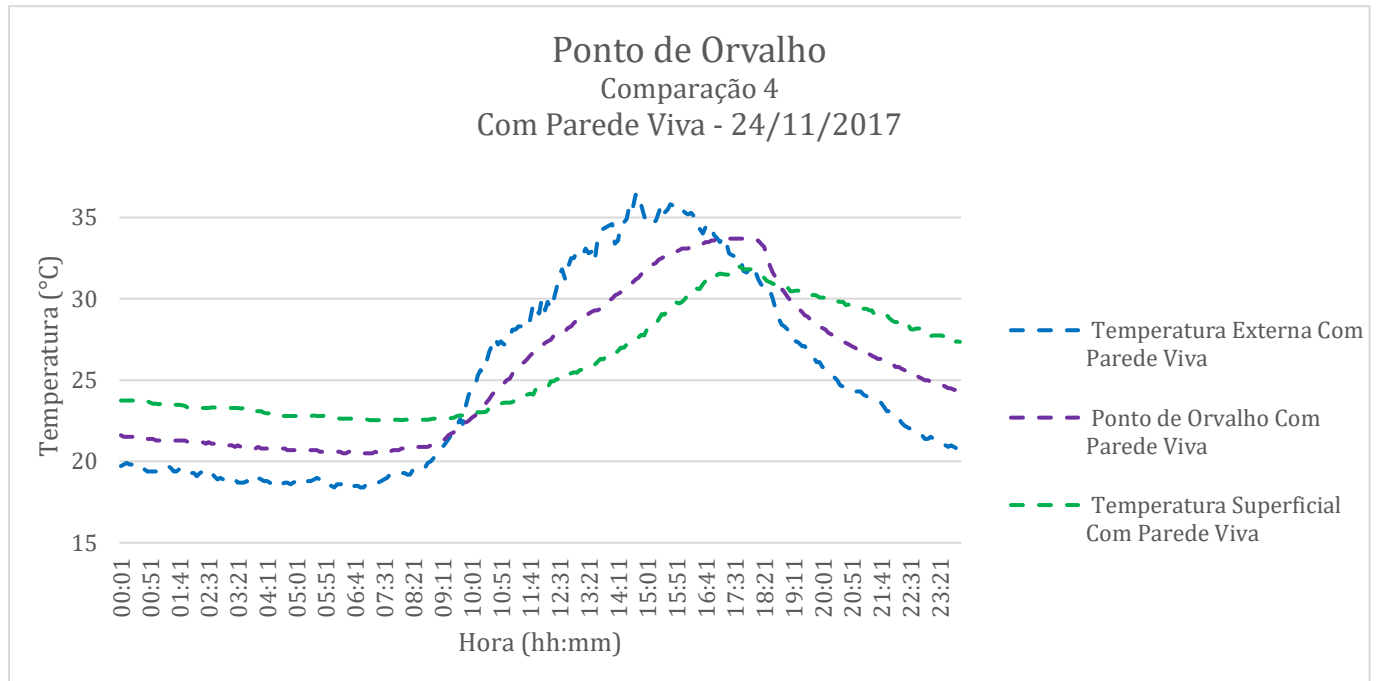
Analisando a temperatura de ponto de orvalho, observa-se que nos dois dias, com e sem a parede viva, durante a maior parte do tempo a temperatura superficial foi maior do que a de ponto de orvalho, porém houve períodos em que foi menor, sinalizando que houve condensação da umidade na superfície da parede. No caso com parede viva o período em que ocorreu o fenômeno foi maior, cerca de 8:00 horas em que a temperatura superficial foi menor do que a de ponto de orvalho (aproximadamente das 9:00h às 18:00h), já no dia sem parede viva durante 7 horas elas foram praticamente iguais, como observa-se nos **Gráfico 21** e **Gráfico 22** abaixo.

**Gráfico 21 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 4**



Nesse dia, sem a parede viva, a temperatura superficial interna da parede 2 foi maior ou igual à de ponto de orvalho durante todo o dia. No período das 9:00h às 16:00h elas foram iguais, mas, deve-se considerar que essa curva de temperatura superficial é a média dos valores medidos pelos 5 termopares, então, durante esse período, seguramente houve alguma taxa de condensação da umidade na superfície da parede.

**Gráfico 22 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 4**

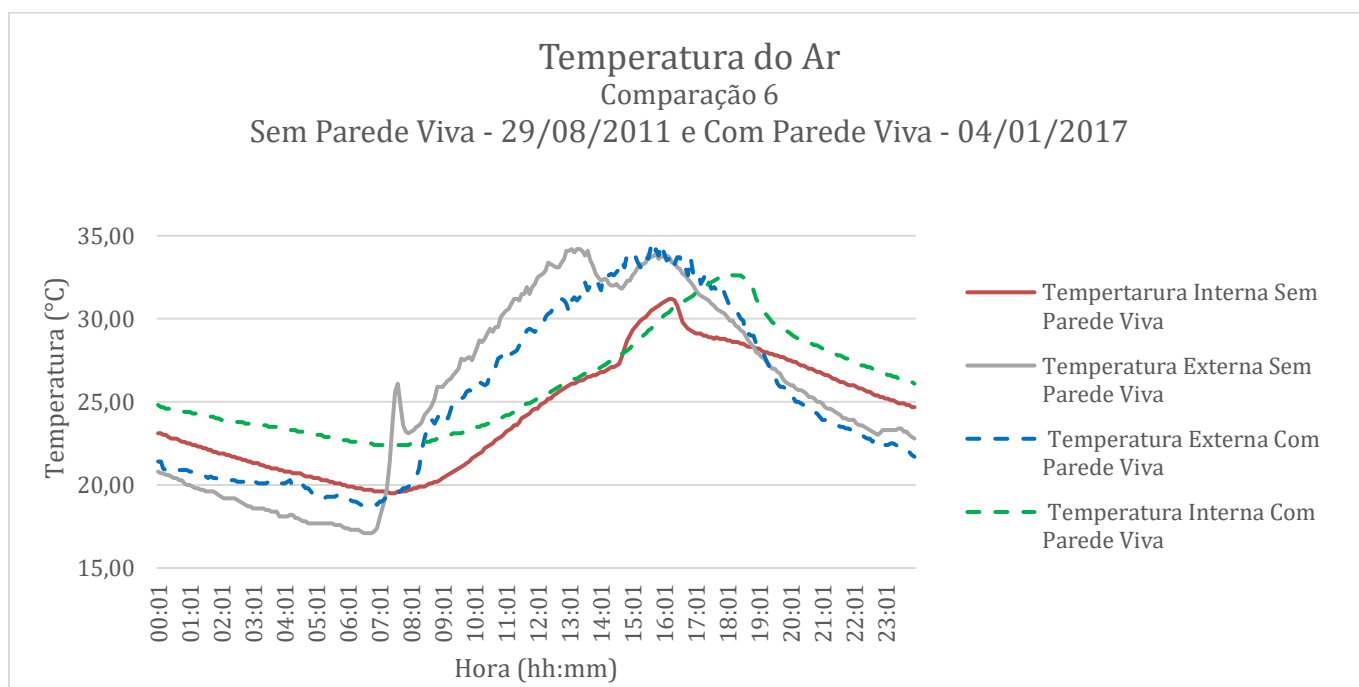


Nesse dia, com a parede viva, a temperatura superficial é superior à de ponto de orvalho durante a maior parte do dia, com exceção do período das 10:00h às 18:30h, quando provavelmente houve condensação.

### 6.1.5 Análise do Quarto Caso – Comparação 6

Nessa comparação observa-se um atraso no início da queda da temperatura interna em relação ao da externa de 2h no caso com a parede viva e apenas 40 minutos no caso sem. A diferença entre as máximas temperaturas obtidas interna e externamente foi de 1,8°C no dia coletado com parede viva e 2,4°C no dia sem. Entre as mínimas a diferença foi de 3,6°C com parede e 2,4°C sem.

**Gráfico 23 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 6**

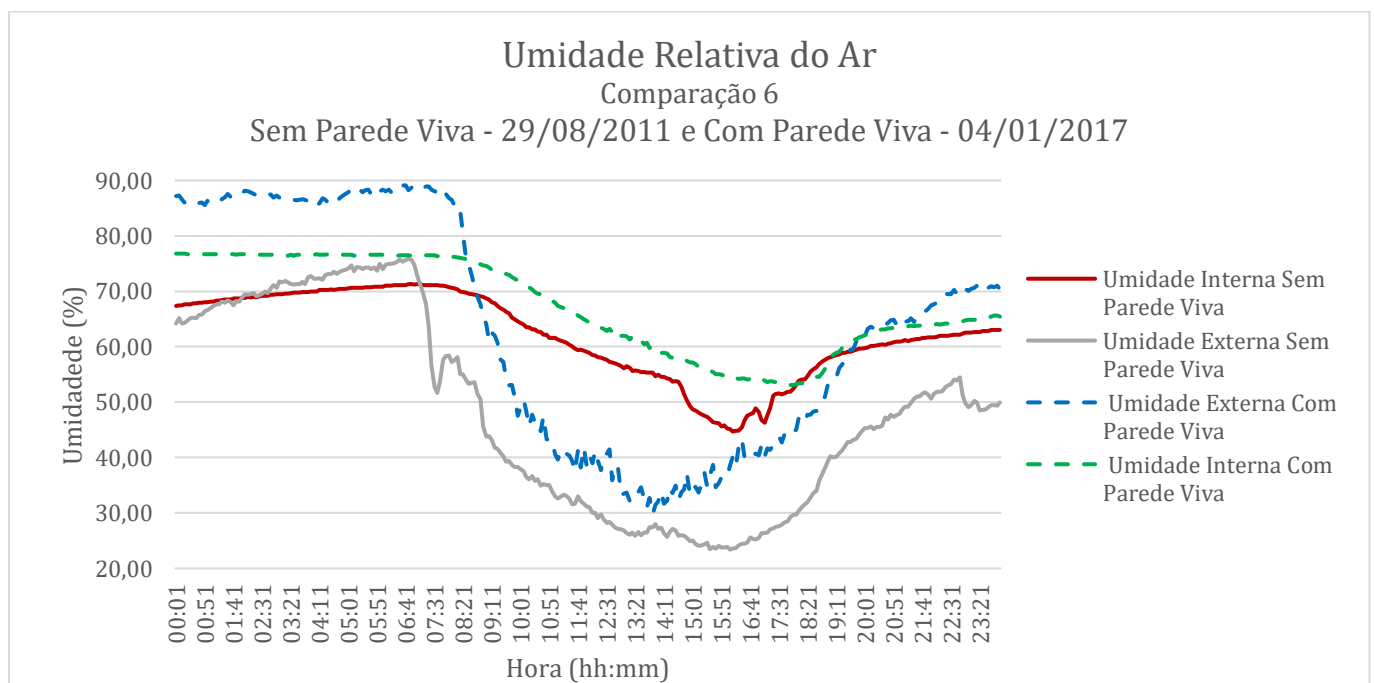


No início do dia analisado sem parede viva a temperatura interna estava 2°C acima da externa. Essa diferença manteve-se constante até as 7:00h quando a temperatura externa começou a subir rapidamente. Entre 8:00h e 13:00h a diferença entre elas passou de 3°C a 7°C, atingindo seu máximo no momento do primeiro pico de temperatura externa. As 15:40h a temperatura externa atingiu um segundo pico e iniciou sua queda. As 16:30h a temperatura interna atingiu seu pico e iniciou sua queda, aproximadamente 40 minutos após a externa. A diferença entre os máximos externo e interno foi 3°C e entre os mínimos foi 2,4°C.

A diferença entre as temperaturas externa e interna no dia analisado com parede viva era de 4°C as 0:00h. Ela se manteve constante até 7:30h quando a temperatura externa começou a subir. A temperatura interna também começou a se elevar perto desse momento, porém de forma mais lenta. As 15h a temperatura externa atingiu seu pico, 34,5°C, e se manteve constante até as 16:40h quanto iniciou sua queda. A temperatura interna, por sua vez, aumentou de forma mais lenta e não parou de aumentar mesmo após o início da queda da temperatura externa, atingindo seu pico, 32,7°C, as 18:30h. Após esse pico ela iniciou sua queda, com aproximadamente duas horas de atraso em relação ao início da queda da temperatura externa. A diferença entre a temperatura máxima atingida interna e externamente foi de 1,8°C e entre a mínima foi de 3,6°C.

Nessa comparação as curvas das umidades externas possuem comportamentos bastante similares, sendo que a curva do dia analisado com parede viva está transladada, com aproximadamente 10% a mais. A umidade externa apresentou um atraso apenas no caso analisado com parede viva, de 6 horas. A diferença entre os máximos atingidos foi maior no caso analisado com parede, 12,4% e apenas de 4,6% no caso sem. Entre os mínimos a maior diferença foi também no dia com parede viva, apesar de que os dois valores foram próximos, 23,3% no dia com parede e 21,3% no dia sem.

**Gráfico 24 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 6**

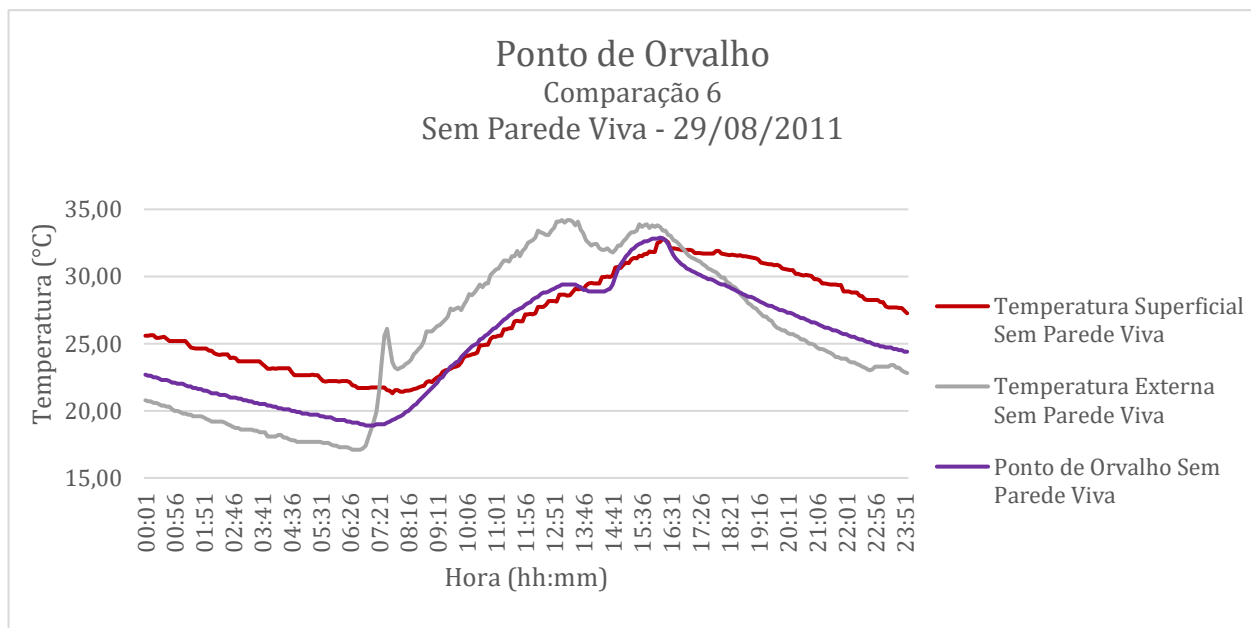


No dia analisado sem a parede viva a umidade externa e a interna tiveram comportamento similares até as 6:40h da manhã, ficando em torno de 70%. Após esse horário a umidade externa teve uma queda brusca e atingiu o seu mínimo, 23,4%, aproximadamente as 16:00h. Nesse momento, a diferença entre as duas era de aproximadamente 20% e ela se manteve entre 10% e 20% na maior parte do dia, entre 7:30 e 23:59h. A umidade interna sofreu variação bem menor, sendo que seu mínimo foi 44,7% e ocorreu também as 16hs horas. A diferença entre os mínimos observados foi de 21,3% e entre os máximos foi 4,6%. A amplitude da umidade externa foi de 52,5% e da interna foi de 26,6%.

Já no dia com parede viva a umidade externa foi 10% maior que a interna do início do dia até as 8:00s. Desse horário até as 14:00h a umidade interna diminui até chegar ao seu mínimo, 29,8%. Nesse momento a diferença entre as medidas interna e externa foi de 30%. A umidade interna iniciou sua queda no mesmo momento que a interna e continuou por 6 horas após a externa já ter começado a subir, atingindo seu mínimo, 53,1%, as 18:00h. A diferença entre os valores máximos interno e externo foi de 12,4% e entre os mínimos foi de 23,3%. A amplitude da umidade externa foi 59,4% e da interna foi 23,7%.

Analisando a temperatura de ponto de orvalho, observa-se que nos dois dias, com e sem a parede viva, durante a maior parte do tempo a temperatura superficial foi maior do que a de ponto de orvalho, sinalizando que não houve condensação da umidade na superfície da parede. Porém, nos dois casos houve períodos em que esse fenômeno provavelmente ocorreu. No caso com parede viva houve um período de cerca de 8:30 horas, mesmo tempo observado no quarto caso, anteriormente, em que a temperatura superficial foi menor do que a de ponto de orvalho, já no dia sem parede viva durante 7 horas elas foram iguais, como observa-se nos **Gráfico 25** e **Gráfico 26** abaixo.

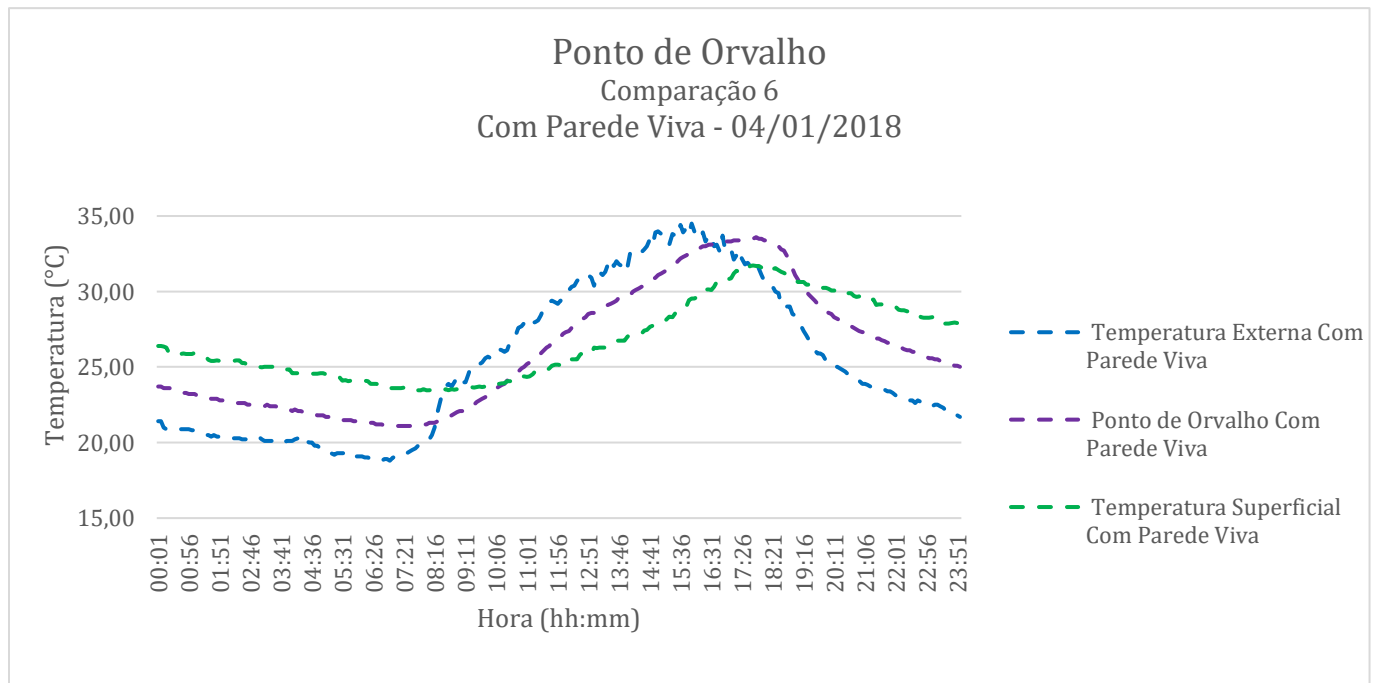
**Gráfico 25 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 6**



Nesse dia, sem a parede viva, que é o mesmo utilizado na comparação 4, a temperatura superficial interna da parede 2 foi maior ou igual à de ponto de orvalho durante todo o dia. No período das 9:00h às 16:00h elas foram iguais, mas, deve-se considerar que essa curva de temperatura superficial é a média dos valores medidos pelos 5 termopares, então, durante esse período, provavelmente houve alguma taxa de condensação da umidade na superfície da parede.



**Gráfico 26 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 6**

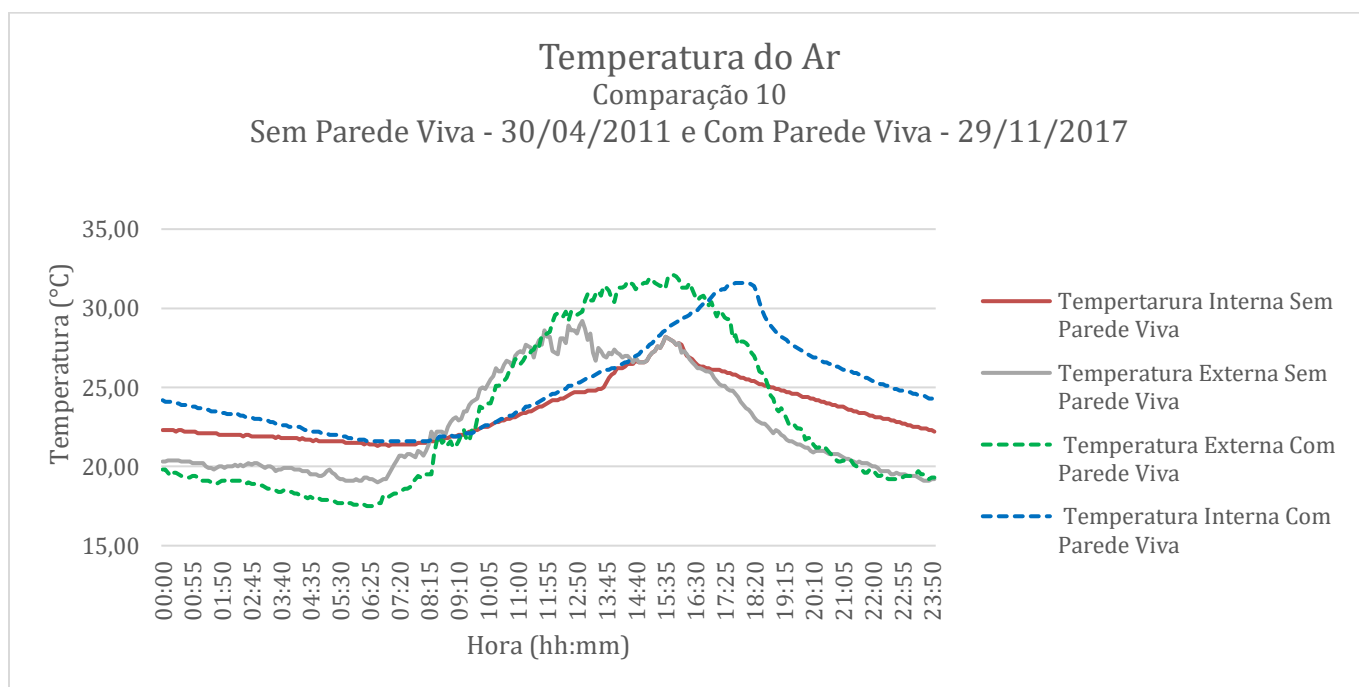


Também no dia analisado com parede viva a temperatura superficial foi maior do que a de ponto de orvalho na maior parte do dia, apenas entre 10:30h e 19:00h que elas se inverteram. Nesse período de 8:30 horas é indicado ter havido condensação na parede.

### 6.1.6 Análise do Quinto Caso – Comparação 10

Nessa comparação observou-se que o atraso da queda da temperatura interna em relação à da externa no caso com parede foi de 2 horas e não houve atraso no caso sem parede. A diferença entre as temperaturas mínimas atingidas interna e externamente foi maior no caso observado com parede, 4,1°C, e apenas 2,3°C no caso sem parede. As temperaturas máximas atingidas foram praticamente as mesmas interna e externamente para os dois casos.

**Gráfico 27 - Temperatura do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 10**



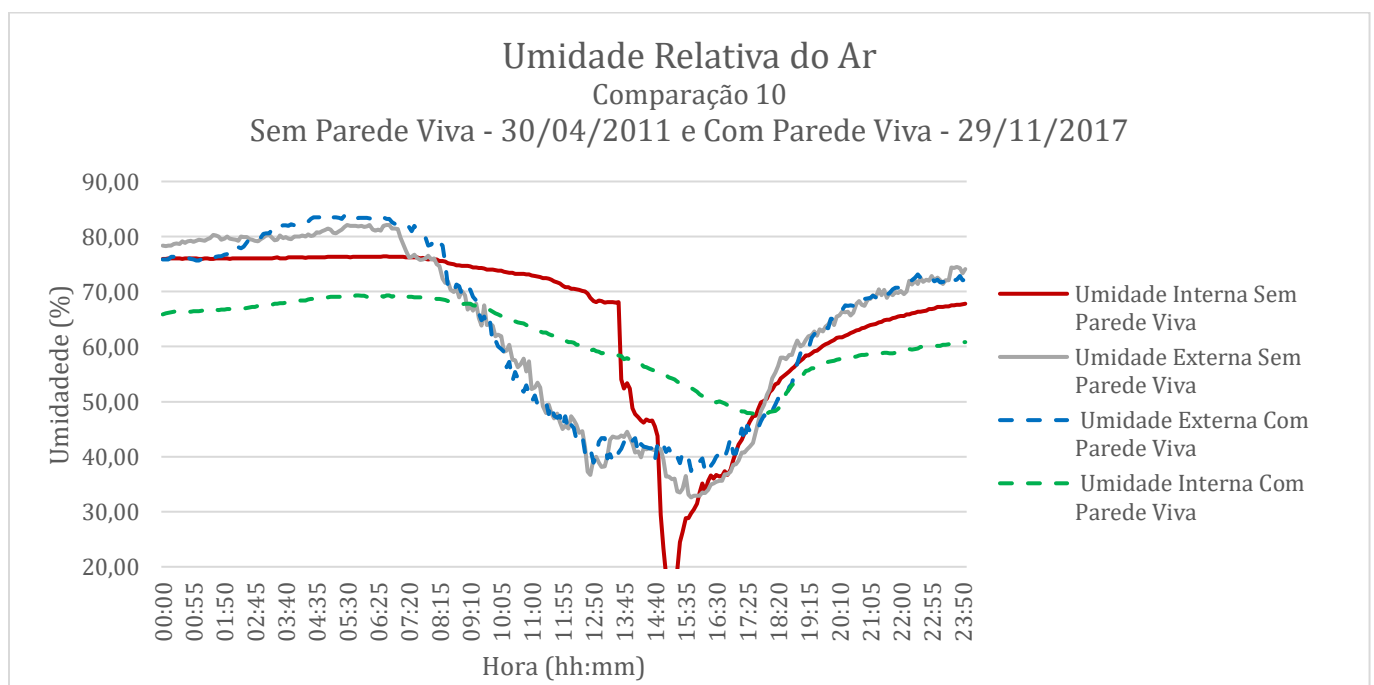
No dia analisado sem parede viva a diferença entre as temperaturas externa e interna foi de aproximadamente 2°C das 0:00h as 7:00h. As 13:00h a temperatura externa alcançou seu pico, 29,2°C, e as 16:00h iniciou sua queda. A temperatura interna alcançou seu pico e, também as 16:00h, iniciou sua queda. A diferença entre as temperaturas mínimas atingidas interna e externamente foi de 2,3°C e a entre os máximos foi de 1°C.

Analisando o dia com parede nota-se que a diferença entre as temperaturas externa e interna se manteve 5°C entre 0:00h e 6:30h. As 8:30h elas se igualaram e a temperatura externa atingiu seu pico e iniciou sua queda as 16:00h. Já a temperatura interna subiu mais lentamente, das 7:30h

às 18:10h, quando iniciou sua queda. O atraso do início da queda da temperatura interna em relação à da externa foi de aproximadamente 2 horas. A diferença entre os mínimos atingidos interna e externamente foi de 4,1°C e entre os máximos foi de apenas 0,5°C.

Nessa comparação as curvas das umidades externas dos dias analisados praticamente se sobrepõem. No dia analisado sem parede viva não houve atraso do início do aumento da umidade interna em relação ao da externa. Já no dia analisado com parede viva esse atraso foi de 2 horas.

**Gráfico 28 - Umidade relativa do ar interno e externo nos dias analisados com e sem parede viva na comparação 10**



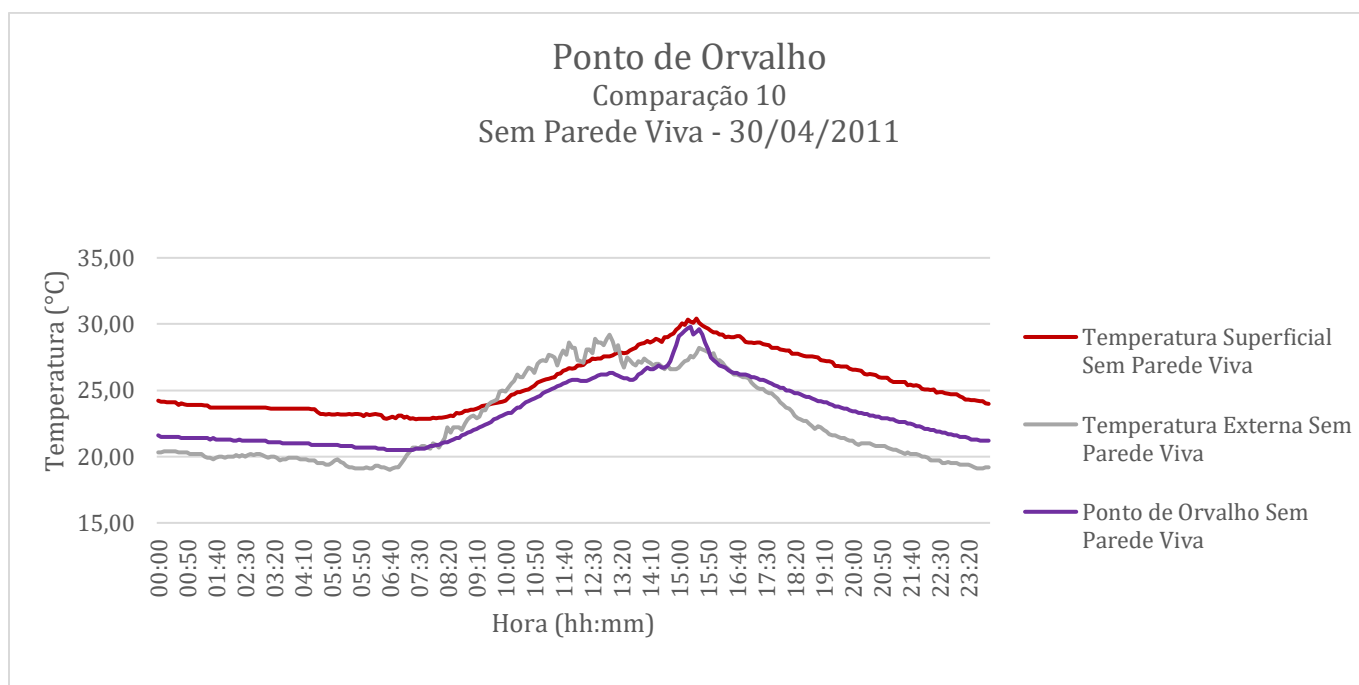
No dia sem parede viva a umidade interna manteve-se próxima à externa, 5% abaixo, até as 7:00h, quando a externa começou a diminuir mais, chegando ao seu mínimo, 32,6%, às 16:00h. A umidade interna sofreu uma queda abrupta às 13:00h. Não houve atraso do início da subida da umidade interna em relação à externa, que ocorreu às 16:00h, logo após ser atingido o valor mínimo externamente.

No dia com parede viva a umidade interna manteve-se cerca de 10% abaixo da externa de 0:00h às 7:30h. Nessa hora as umidades começaram a cair, a externa de forma mais acentuada, de forma que às 16:00h quando chegou ao seu mínimo, 37,4%, a umidade interna era 10% maior. Em seguida a umidade externa voltou a subir, mas a interna continuou diminuindo por mais 2 horas,

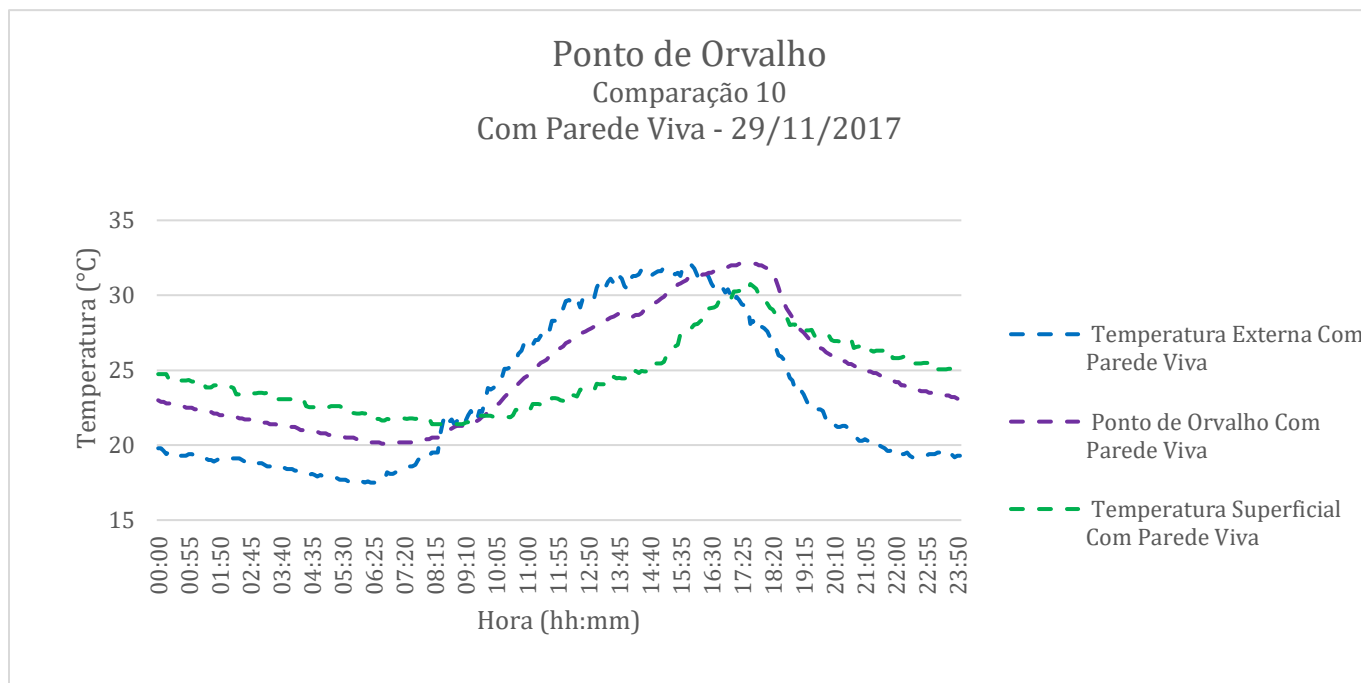
até as 18:00h, quando atingiu seu mínimo, 47,6%, e então começou a subir. A diferença entre os máximos atingidos interna e externamente foi de 14,6% e entre os mínimos foi de 10,2%. A amplitude externa foi de 46,5% e a interna foi de 21,7%.

Na análise da temperatura de ponto de orvalho, assim como nos outros casos, a temperatura superficial foi maior na maior parte do dia em ambos os casos. No dia analisado sem parede viva ela foi maior 100% do tempo, ou seja, não houve condensação, enquanto no dia com a parede viva durante 9 horas, das 10:00h as 19:00h, ela foi menor, como pode ser observado nos **Gráfico 29** e **Gráfico 30** a seguir, indicando claramente a ocorrência de condensação nesse período.

**Gráfico 29 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado sem parede viva na comparação 10**



**Gráfico 30 - Temperatura de ponto de orvalho no dia analisado com parede viva na comparação 10**



## 7. CONCLUSÕES

Os dados coletados durante os meses de abril de 2011 a janeiro de 2012, anteriormente à instalação do jardim vertical, ou parede viva, e os dados coletados de setembro de 2017 a janeiro de 2018, posteriores à instalação, tratados estatisticamente permitiram analisar o comportamento térmico do mesmo protótipo de telhado cerâmico com e sem a parede viva. De posse dessas informações foi possível concluir em relação ao desempenho e propriedades de uma edificação com um jardim vertical comparativamente a uma sem em algumas condições climáticas.

Inicialmente era esperado que a edificação com a parede viva tivesse maior potencial econômico, relativo ao seu poder de isolamento térmico, devido às suas características. Esta expectativa não se confirmou à medida que as análises foram feitas.

A amostragem de dias comparáveis compreendeu apenas dias quentes, e a presença do jardim vertical não apresentou impacto significativo nas temperaturas máximas atingidas no interior do protótipo quando comparadas às atingidas sem o jardim vertical. O que indica que com o jardim não houve um melhor desempenho térmico. As curvas observadas do protótipo com a parede viva são similares às curvas de simulação de protótipos com paredes com maiores índices de isolamento térmico. Concluiu-se que esse foi o principal efeito do jardim vertical para a condição e parâmetros medidos internamente ao protótipo.

Apesar de não ter apresentado diminuição significativa dos máximos valores de temperaturas do ar interno atingidos, os mínimos observados foram maiores nos dias analisados com o jardim quando comparados aos dos dias sem jardim. Esse comportamento também é coincidente ao que se espera de uma edificação com paredes com maiores índices isolantes térmicos. Isso indica que os jardins verticais deverão apresentar desempenhos térmicos melhores, e maiores potenciais de redução de gastos energéticos pela redução ou eliminação de gastos com aquecimento, em climas mais frios.

Nas condições do protótipo e dos dias analisados nesse trabalho a umidade do ar interno se condensou mais na superfície interna das paredes nos dias com parede viva. No início desse trabalho existiu uma preocupação em relação a essa condensação aumentar, e a situação se confirmou. Apesar de ser desejável que esse fenômeno não ocorra, e de ter sido observado que já ocorria na edificação anteriormente à instalação do jardim vertical, a parede viva levou a um número maior de horas com essas condições.

De acordo com o estudo feito, conclui-se que, para condições térmicas internas, a parede viva pode representar uma boa solução para climas mais frios, onde propicia maior homogeneidade da temperatura do ar interno (menor amplitude térmica interna) e menor risco de condensação nas paredes onde aplicadas.

Com base nesses resultados, sugere-se que outros estudos sejam feitos com vistas à otimização do sistema de tal forma a poder contribuir mais significativamente para que condições térmicas internas mais adequadas ao conforto térmico sejam atingidas com menor gasto de energia.

## 8. REFERÊNCIAS

AGROTEXAS JARDINS VERTICAIS. *Paredes Verdes*. 2016. Disponível em: [http://agrotexasjardinsverticais.com/?page\\_id=8](http://agrotexasjardinsverticais.com/?page_id=8). Último acesso em: 14 jul. 2017;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma 15220-3:2005. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social*. Rio de Janeiro, 2005;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma 15575-1:2008. Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, 2008;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma 16401-2:2008. Instalações de Ar Condicionado Sistemas Centrais e Unitários. Parte 1: Projetos das Instalações*. Rio de Janeiro, 2008;

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. *A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP*. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892;

BIOGENESIS. *Gotejadores*. Disponível em: <<http://www.phbio.com.br/ga2>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

BLANC, Patrick. *The Vertical Garden: A Scientific and Artistic approach by Patrick Blanc*. Disponível em: <<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>>. Último acesso em: 12 jul. 2017;

BRASIL. *Decreto nº 55.994, de 10 de Março de 2015*. Introduz alterações no artigo 4º do Decreto nº 53.889, de 8 de maio de 2013, que regulamenta o Termo de Compromisso Ambiental - TCA. Câmara Municipal de São Paulo. São Paulo, SP.

BRASIL. IBGE, *Censo Demográfico 1980, 1991, 2000 e 2010, e Contagem da População 1996*. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao.htm>>. Último acesso em: 12 jul. 2017

CHENG, C.Y.; CHEUNG, K.K.S.; CHU, L.M. *Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls*. Building and Environment, Hong Kong, v.45, n. 8, p.1779 - 1787, 2010.

CICLO VIVO, *8 maneiras de fazer um jardim vertical*. 17 jul. 2013. Disponível em: <[http://ciclovivo.com.br/noticia/8\\_maneiras\\_de\\_fazer\\_um\\_jardim\\_vertical/](http://ciclovivo.com.br/noticia/8_maneiras_de_fazer_um_jardim_vertical/)>. Último acesso em: 20 jul. 2017



CRUCIOL BARBOSA, Murilo; FONTES, Maria Solange G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 114-124, jun. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8646304>>. Último acesso em: 13 jul. 2017;

DEVORE, Jay L. *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. [tradução EZ2Translate; revisão técnica Marcos Tadeu Andrade Cordeiro]. – São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DONALD, Cláudia; LAMBERTS, Pereira R.; GHISI, Enedir. *Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil*. Centro brasileiro de eficiência energética em edificações. Florianópolis, SC. jul. 2013. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/nota-tecnica-niveis-minimos-ar-condicionado.pdf>>. Último acesso em: 13 jul. 2017;

ENGINEERING FEED. *Green Walls/Vertical Garden Ideas and Benefits with Construction Details*. 27 jun. 2016 Disponível em: <<http://engineeringfeed.com/green-walls-vertical-garden-ideas-benefits-construction-details>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

FERRAZ, Iara L. *O Desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica* - SP. 2012. 113p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012;

GARDEN WALL. *Jardins Verticais Garden Wall aposta no urbanismo verde e apoia o 4º Congresso Internacional de Arquitetura Paisagística da ABAP*. 2016. Disponível em: <<http://www.gardenwall.com.br/empresa/na-midia>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. *The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Developments*. HortScience: American Society for Horticultural Science. Michigan: AshsPublications, 2006, p. 1276-1285;

IRWIN, G. Living Wall Breakdown – Material & Flora Relationship. Greenroofs.com. Disponível em <<http://www.greenroofs.com/content/articles/145-Living-Wall-Breakdown-Material-and-Flora-Relationship.htm#.V5UIaOsrLIV>>. Último acesso em: 13 jul. 2017;

JAAFAR, B.; SAID, I.; RASIDI, M.H. *Evaluating the impact of vertical greenery system on cooling effect on high rise buildings and surroundings: a review*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE, 12., Malang, 2011. Proceedings ... Malang: SENVAR, 2011, p. 1-9.

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

LOUREIRO, Tatiana. *Ilhas de calor em São Paulo: Pontos quentes da cidade*. Super Interessante.

São Paulo, SP. 31 mar 1993. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ideias/ilhas-de-calor-em-sao-paulo-pontos-quentes-da-cidade/>>.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. *Green wall systems: A review of their characteristics*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Covilhã, v. 41, p. 863-871, 2015. Último acesso em: 13 jul. 2017;

NETO, J. G. *Irrigação para Paredes Verdes*. Rain Bird. Disponível em: <<http://rainbirdrj.com.br/irrigacao-para-paredes-verdes/#.V5UIVusrLIV>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

ORISIS Innovating Horticulture in China. *Green Walls by Vertical Green*. 2015. Disponível em: <<http://orisisinternational.com/green-walls/>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

PACHECO-TORGAL, Fernando et al. *Eco-efficient construction and building materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*. p.469. 2014. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ZjiAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>

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

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. *Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope*. Building and Environment, Genoa, v. 46, n. 11, p. 2287-2294, 2011a.

RANGEL, J. Kit WallGreen Eco. 2014. Disponível em: <<http://sustentarqui.com.br/produtos/kit-wallgreen-eco/>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

SHARP, R.; SABLE, J.; BERTRAM, F.; MOHAN, E.; PECK, S. *Introduction to Green Walls: technology, benefits & design*. In: Green Roofs for Healthy Cities, 2008. Disponível em: <[http://www.greenroofs.net/components/com\\_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%2008b.pdf](http://www.greenroofs.net/components/com_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%2008b.pdf)> Último acesso em: 13 jul. 2017;

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

SOUZA, Eduardo. *4º Lugar no Concurso Porto Digital para requalificação da antiga sede do Diário de Pernambuco, em Recife*. Arch Daily. 16 mar. 2017 Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/867269/4o-lugar-no-concurso-porto-digital-para-requalificacao-da-antiga-sede-do-diario-de-pernambuco-em-recife>>. Último acesso em: 14 jul. 2017;

TARIFA, J.R.; AZEVEDO, T.R. *Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática*. São Paulo: Departamento de Geografia, FFLCH, USP, 2001;

THEODOSIOU, THEODORE G. *Summer Period Analysis of the Performance of a Planted Roof as a Passive Cooling Technique*. Journal of Energy and Buildings, Amsterdam, v. 35, p.909-917, 2003;

VIANA, Ana Paula. *Gasto mensal com ar-condicionado de 7.500 BTUs oito horas por dia pode passar dos R\$ 100*. EXTRA. 22 jan. 2014. Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/economia/gasto-mensal-com-ar-condicionado-de-7500-btus-oito-horas-por-dia-pode-passar-dos-100-11365603.html>>;

WOOD, A. BAHRAMI; P. & SAFARIK, D. (2014) *Green Walls in High-Rise Buildings*: An output of the CTBUH Sustainability Working Group. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago