

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

CAROLINA DINALI SANTOS SEIXAS

**EFEITO DO USO DE PAREDE VERDE NA TEMPERATURA INTERNA
DE MODELO CONSTRUÍDO COM BLOCO CERÂMICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2019**

CAROLINA DINALI SANTOS SEIXAS

**EFEITO DO USO DE PAREDE VERDE NA TEMPERATURA INTERNA
DE MODELO CONSTRUÍDO COM BLOCO CERÂMICO**

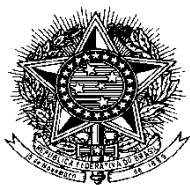
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Sueli Tavares De Melo Souza

Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

EFEITO DO USO DE PAREDE VERDE NA TEMPERATURA INTERNA DE MODELO CONSTRUÍDO COM BLOCO CERÂMICO

Carolina Dinali Santos Seixas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 8 de junho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Prof. Dr. Thiago Melanda Mendes
(UTFPR)

Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Conforme o fim do curso se aproxima, a ansiedade por poder ter o diploma em mãos aumenta. Porém, acaba por esbarrar no temido e último desafio a ser cumprido, para que a formação de fato ocorra: o Trabalho de Conclusão de Curso. Por aceitar o convite de não somente me guiar, mas de enfrentar todas as dificuldades e compartilhar todo seu conhecimento, tornando este desafio muito mais leve de ser cumprido, agradeço à Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza. Por não se contentar em somente me orientar, e sim estar comigo durante toda essa jornada, deixo aqui minha enorme gratidão. Foi um prazer tê-la como minha orientadora.

Ao decidir me aventurar em uma pesquisa de caráter multidisciplinar, a orientação de um profissional de mais uma área se fez necessária. Por concordar em fazer parte dessa pesquisa, dando todo o apoio técnico e científico na área botânica, com senso crítico apurado admirável, agradeço à Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria. Agradeço pela coorientação paciente, atenta e disposta conferida a mim. Vejo em você e na Profa. Sueli a postura e profissionalismo que desejo alcançar em minha carreira que está prestes a se iniciar.

Agradeço também ao grupo de pesquisa *Atmospher* por toda contribuição, e em especial ao Prof. Dr. Admir Créso Targino e ao Dr. Max Wendell Batista dos Anjos. Pelo rico compartilhamento de conhecimento e também de equipamentos, sou muito grata.

Mas como não só de conhecimento se faz uma pesquisa científica, mais agentes foram fundamentais para que esta de fato ocorresse. Pela assistência quanto ao fornecimento de materiais de construção e isolamento, deixo meu agradecimento à A. Yoshii Engenharia e à Furgões Ibiporã. Pelo apoio financeiro agradeço à Pró-reitoria de Graduação da UTFPR, comprometida sempre em incentivar projetos científicos no meio acadêmico.

Aos Profs. Drs. Marcelo Hidemassa Anami, Thiago Melanda Mendes e Edson Luiz Valmorbidia agradeço pelo suporte em suas devidas áreas do conhecimento. Aos servidores Ademar, Genilson e Daniel, agradeço pela assistência, ao viabilizarem a instalação dos sensores pertinentes à esta pesquisa.

Principalmente pelo apoio emocional, por me ajudarem direta e indiretamente, não somente na realização dessa pesquisa, mas ao longo de toda a graduação,

agradeço aos meus pais Claudine Dinali e Marcos Seixas, ao meu irmão Mateus Dinali, e às minhas amigas Ellen Lima, Julia Gomes, Thayná Francyne, Gabriela Simões, Aline Marinhos e Bianca Fernandes.

Por fim deixo registrada aqui minha enorme gratidão à Vitória Lisboa Califani e ao Rodrigo Oliveira Silva, que foram imprescindíveis para que eu obtivesse sucesso na execução dessa pesquisa. Vitória me auxiliando desde o início em qualquer que fosse a situação, desde me fazer companhia para escrever até colocar a mão na massa para realizar tarefas. Rodrigo por ter aceito entrar neste projeto já em andamento, e se fazer fundamental para sua execução, se colocando à disposição e me dando suporte sempre que necessário. Me faltam palavras para agradecer a vocês dois. Espero um dia poder retribuir tudo que fizeram por mim.

RESUMO

SEIXAS, C. D. S. **Efeito do uso de parede verde na temperatura interna de modelo construído com bloco cerâmico**. 2019. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

Paredes verdes são alternativas arquitetônicas consideradas benéficas tanto em escala de edificações quanto em escala urbana. Neste trabalho o efeito da parede verde foi avaliado a partir da reprodução em escala reduzida de um prédio localizado no campus da UTFPR Londrina, o Bloco S. O Bloco S, assim como os demais prédios da instituição têm uma de suas maiores fachadas voltada para o Norte e, portanto, essa também foi a orientação dos 2 modelos construídos: sem parede verde (BSPV) e com parede verde (BPV). O monitoramento dos parâmetros temperatura do ar e umidade relativa foi realizado através do uso de sensores HOBO e Arduino associado a um sensor de temperatura. Para aferir a confiabilidade dos dados coletados o aparelho Arduino foi calibrado a partir de um procedimento de intercomparação feito com o sensor HOBO, sensor este que já havia sido calibrado em experimentos anteriores, servindo, portanto, de referência para este estudo. A partir do coeficiente de determinação $R^2 = 0,9695$, foi possível confirmar a confiabilidade dos dados coletados pelo Arduino. Para a realização do experimento, mudas de quatro espécies de plantas ornamentais foram cultivadas em estufa por seis meses, de forma que quando fossem colocadas no módulo suporte da parede verde, as mesmas já estivessem desenvolvidas e com porte suficiente para promover o sombreamento sobre a parede. O módulo consistiu em suporte plástico que abriga plantas enraizadas sobre substrato contendo terra, areia e composto orgânico (1:1:1) e fornecimento de rega automatizada de 12 em 12 horas. O experimento então se deu através da comparação dos dois modelos construídos, em um primeiro momento sem a adição da parede verde e em seguida com o posicionamento da mesma em um dos modelos. Desta forma, foi possível verificar se sem a parede verde, ambos os modelos se comportavam de forma semelhante, o que de fato ocorreu. Em seguida, com o posicionamento da parede verde em um dos modelos, o monitoramento da temperatura do ar interna foi feito durante o período de um mês, entre março e abril de 2019, com a coleta de dados ocorrendo em uma frequência de 2 minutos. Foi possível verificar uma influência significativa na temperatura interna do modelo com a parede verde, com redução de até $6,72^{\circ}\text{C}$ com relação à temperatura interna do modelo sem parede verde e de $13,15^{\circ}\text{C}$ com relação à temperatura externa. Além disso, verificou-se que no período da tarde ocorreram as maiores reduções de temperatura. Portanto a parede verde pode ser considerada como alternativa eficaz para diminuir a temperatura interna de ambientes construídos, se utilizada da forma correta e com posicionamento estratégico.

Palavras-chave: Parede verde. Modelos em escala reduzida. HOBO. Arduino. Redução de temperatura.

ABSTRACT

SEIXAS, C. D. S. **Efeito do uso de parede verde na temperatura interna de modelo construído com bloco cerâmico.** 2019. 50 p. Course Conclusion Work (Bachelor of Environmental Engineering). – Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR). Londrina, 2019.

Green walls are architectural alternatives considered beneficial in both scales, of buildings and in urban scale. In this work the green wall effect was evaluated from the reproduction in small scale of a building located at the UTFPR Câmpus in Londrina, known as Block S. Block S, as well as the other buildings of the institution, have one of their main façades facing North, and therefore, this was also the orientation of the two blocks built: without green wall (BSPV) and with the green wall (BPV). The monitoring of the air temperature and the relative humidity of the air occurred through the use of sensors HOBO and Arduinos associated to temperature sensors. In order to measure the reliability of the collected data, the sensor Arduino was calibrated after a comparative procedure performed with the HOBO sensor, which had been calibrated in previous experiments, therefore being a reliable reference. From the determination coefficient $R^2 = 0,9695$, it was possible to confirm the reliability of the collected data using the Arduino sensor. Aiming to perform the experiment, seedlings of four different types of ornamental plants were cultivated in greenhouses for six months, so that when they were fixated to build the green wall, they were already developed and with enough size to promote shade on the wall. The module consisted of plastic support that houses plants rooted on substrate containing soil, sand and organic compost (1: 1: 1) and providing automated watering every 12 hours. The experiment occurred through comparison between the two models of the building, first without the green wall followed by placement of the green wall on one of the models. Provided that, it was possible to verify whether both models would show similar results without the green wall, which indeed occurred. Then, after installing the green wall on one of the models, the monitoring of the internal air temperature was done during the period of a month, between March and April of 2019, with a data collection occurred in a frequency of two minutes. It was possible to identify a significant influence in the internal temperature of the model with the green wall, with reduction up to 6 degrees in relation to the internal temperature of the model without a green wall, and reduction up to 13 degrees in relation to the external temperature. Moreover, it was also determined that the biggest reductions in temperature occurred in the afternoon. Therefore, the green wall can be considered an effective alternative for the reduction of internal temperature of closed environments, if installed correctly and strategically positioned.

Key-words: Green Wall. Model in small scale. HOBO. Arduino. Reduction of temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bloco estrutural e posicionamento de furos	13
Figura 2 - Bloco de vedação e posicionamento de furos	13
Figura 3 - Modelo em escala reduzida e distorcida com cobertura de telhas absorventes e rede de microaspersores.....	16
Figura 4 - Uso de modelos reduzidos em campo	17
Figura 5 - Test-cell de bloco de concreto tradicional.....	18
Figura 6 - <i>Test-cell</i> de bloco de concreto celular	18
Figura 7 - Test-cell de bloco cerâmico	18
Figura 8 - Test-cells contruídos na Universidade de Brasília.....	19
Figura 9 - Sistema extensivo de fachada verde em treliça modular	21
Figura 10 - Sistema intensivo de parede viva usando feltro	22
Figura 11 - Localização do prédio S na UTFPR - LD	23
Figura 12 - Corte transversal do modelo reduzido construído	24
Figura 13 - Posicionamento dos modelos	24
Figura 14 - Local de implantação dos modelos demarcado em amarelo, alinhado ao Bloco S (a esquerda na figura) e próximo à estufa (a direita na figura).....	25
Figura 15 - Posicionamento dos sensores de temperatura.....	26
Figura 16 - Modelo do sensor de temperatura e umidade (HOBO).....	26
Figura 17 - Microcontrolador Arduino e sensor	27
Figura 18 - Posicionamento dos aparelhos de medição para calibração em campo.....	28
Figura 19 - Comparação entre modelos nas mesmas condições.....	29
Figura 20 - Modelo de suporte pré-fabricado utilizado para a parede verde	30
Figura 21 - Elementos estruturais.....	30
Figura 22 - Componentes de irrigação	31
Figura 23 - Aspargo-pendente (<i>Asparagus densiflorus</i>).....	32
Figura 24 - Clorofito (<i>Chlorophytum comosum</i>).....	32
Figura 25 - Samambaia-paulista (<i>Nephrolepis pectinata</i>).....	33
Figura 26 - Singônio (<i>Syngonium angustatum</i>).....	34
Figura 27 - Comportamento diário da variação de temperatura aferida pelo Arduino e pelo sensor de referência HOBO.....	35

Figura 28 - Gráfico de dispersão dos dados de temperatura do ar coletados pelo sensor Arduino em intercomparação com o HOBO	36
Figura 29 – Comportamento diário das temperaturas do ar interno dos modelos ainda sem parede verde	37
Figura 30 - Comparação da umidade relativa do ar interno dos modelos ainda sem parede verde	37
Figura 31 - Monitoramento da temperatura ambiente dos modelos e da temperatura externa (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019)	38
Figura 32 - Médias horárias de temperatura do ar no interior dos blocos e exterior aos mesmos	39
Figura 33 - Médias horárias das diferenças de temperatura entre os blocos e a temperatura ambiente	40
Figura 34 – Diferenças de temperaturas entre os blocos ao longo das horas do dia (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019).....	41
Figura 35 - Diferenças de temperatura entre o bloco com parede verde e a temperatura externa ao longo do dia (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019)	42
Figura 36 – Comportamento da temperatura durante o dia mais quente - 01 de abril.....	43
Figura 37 - Comportamento da temperatura durante o dia mais frio - 10 de abril	43
Figura 38 – Imagem do bloco com parede verde no dia da montagem do experimento	44
Figura 39 – Cobertura foliar do bloco com parede verde no dia 21 de maio de 2019	45
Figura 40 - Folhas jovens de Aspargo-pendente e inflorescências de Clorofito	45
Figura 41 - Frutificação da espécie Arpargo-pendente.....	46

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	BLOCO CERÂMICO	13
3.1.1	Desempenho térmico do bloco cerâmico	15
3.2	USO DE MODELOS REDUZIDOS	15
3.3	USO DE COBERTURA DE VEGETAÇÃO	19
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	CONSTRUÇÃO DOS MODELOS REDUZIDOS	23
4.2	INSTRUMENTAÇÃO E MEDIÇÕES	25
4.2.1	Calibração do sensor de temperatura (Arduino)	27
4.2.2	Comparação entre modelos nas mesmas condições	28
4.3	INSERÇÃO DA PAREDE VERDE	29
4.3.1	Implantação dos módulos	29
4.3.2	Escolha das espécies e produção das mudas	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	CALIBRAÇÃO DO SENSOR	35
5.2	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS CONSTRUÍDOS	36
5.3	MONITORAMENTO COM PAREDE VERDE	38
5.4	DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO MÓDULO DE FIXAÇÃO	44
7.	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Ao se construir uma edificação, uma importante questão a ser levada em consideração é a do conforto térmico em seu interior, uma vez que uma edificação é concebida de forma a neutralizar as condições rigorosas do clima local, a fim de propiciar um ambiente de bem-estar àqueles que dela irão usufruir. De acordo com Frota (2001), quando o corpo humano se encontra em um ambiente onde as trocas de calor ocorrem sem grandes dificuldades, seu rendimento é considerado maior. Do contrário, caso o ambiente propicie condições desfavoráveis ao corpo humano, causando sensações de frio ou calor, exigindo, portanto, que o corpo faça um esforço adicional para liberar mais calor ou menos calor, sua capacidade de trabalho já não é considerada máxima. Dessa forma, o conforto térmico assume uma posição de suma importância nas questões levadas em consideração ao se projetar edificações.

Assim, na fase ainda do projeto, medidas para minimizar a variação térmica no interior da construção devem ser pensadas. Para Ribeiro (2008): “Porém, percebe-se que em geral as edificações não respondem às necessidades de conforto térmico, fato resultante da desconexão dos projetos com a realidade climática da cidade”.

Isto pode ser observado, por exemplo, em edificações localizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Londrina (UTFPR - LD), onde todos os prédios possuem suas maiores fachadas voltadas para o Norte e, portanto, permanecem expostas à radiação solar durante o período da tarde. Com isso, de maneira geral, as temperaturas internas dos prédios são elevadas, causando desconforto naqueles que permanecem em ambientes mais próximos à fachada norte.

Em vista disso, muitas alternativas foram desenvolvidas a fim de minimizar essa problemática. Segundo Rivero (1985, apud RIBEIRO, 2008, p. 24),

“A forma e orientação dos volumes, a utilização de dispositivos de controle de radiação, a seleção adequada de materiais e procedimentos e a previsão de ventilação adequada, influenciam diretamente no ganho térmico que a edificação terá e conseqüentemente nas trocas de calor entre esta e o indivíduo que a ocupa”.

Este trabalho, por sua vez, vem abordar o desempenho de tijolos cerâmicos, como material de vedação, associados ao uso de cobertura vegetal sob a forma de parede verde implantada em modelo construído em escala reduzida, com o intuito de diminuir a insolação na mesma, através da absorção da radiação solar pela planta, conferindo ao interior do ambiente uma melhor condição térmica. Alternativa essa, escolhida por ser considerada “uma das tecnologias arquitetônicas que estabelece consonância com o ambiente natural, além de oferecer benefícios tanto na escala das edificações quanto na escala urbana” (LOPES, 2007).

Este estudo se deu, também, através da construção de modelos em escala reduzida de um prédio existente na UTFPR - LD, mais especificamente em escala de 1:12, visto que o uso destes modelos vem se tornando uma boa alternativa do ponto de vista da viabilidade de construção, custos com materiais e mão de obra, e representatividade. Segundo Schuring (1977 apud JENTZSCH, 2002), modelos em escala reduzida podem ser válidos para a reprodução de um sistema que, por algum motivo, não pode ser estudado em tamanho real.

Com o propósito de demonstrar a eficácia da cobertura vegetal sob a forma de parede verde na melhora do conforto térmico no interior de edificações presentes na UTFPR - LD, este trabalho se propôs a verificar o desempenho térmico do tijolo cerâmico na presença e na ausência de cobertura vegetal, através da comparação entre dois modelos de escala reduzida (1:12). Tomou-se como referência o prédio denominado Bloco S construído com tijolo cerâmico. Os parâmetros monitorados internamente e externamente foram: temperatura e umidade relativa do ar.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi avaliar a eficácia da cobertura vegetal vertical sobre o bloco cerâmico usado como material de vedação na atenuação de temperatura interna.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho térmico da parede verde na fachada norte nos períodos diurno e noturno;
- Caracterizar o efeito da parede verde no dia mais quente e no dia mais frio do período monitorado;
- Observar o desenvolvimento das espécies na parede verde.

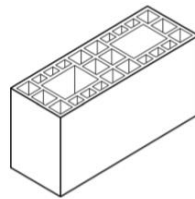
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BLOCO CERÂMICO

No Brasil, a utilização de blocos cerâmicos é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, mais especificamente pela NBR 15270 (ABNT, 2017), partes 1, 2 e 3, que foi atualizada em 2017, cancelando e substituindo a edição de 2005. Essa norma trata de terminologias, requisitos e métodos de ensaio referentes a componentes cerâmicos.

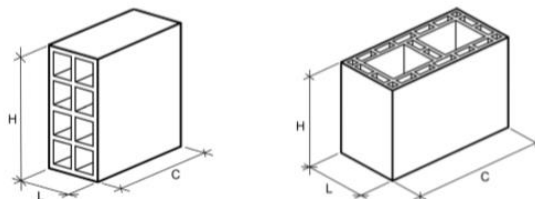
Em estruturas de alvenaria existem dois tipos de blocos a serem utilizados: o bloco estrutural e o bloco de vedação. “Estes blocos possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm” (ABNT, 2017), sendo que no bloco estrutural os furos são mantidos na posição vertical (Figura 1), enquanto que no de vedação os furos podem ser posicionados tanto na vertical quanto na horizontal (Figura 2). Além disso, o bloco estrutural tem como função compor a estrutura de uma edificação, necessitando, portanto, de resistência à compressão axial superior ao do bloco de vedação, que por sua vez tem como função vedar um vão criado pela estrutura e resistir ao seu próprio peso.

Figura 1 - Bloco estrutural e posicionamento de furos



Fonte: NBR 15270-2 (2017).

Figura 2 - Bloco de vedação e posicionamento de furos



Fonte: NBR 15270-1 (2017).

Além da especificação quanto à função, existem, também, dois materiais dos quais os blocos podem ser fabricados: cerâmica e concreto. A escolha do material depende de diversos fatores, uma vez que cada um apresenta certas vantagens e desvantagens. Existem, também, “famílias de blocos” de cada material, onde uma dimensão é fixada, enquanto as demais variam, possibilitando, desta forma, certa flexibilidade ao processo construtivo. O Quadro 1 mostra a modulação de blocos cerâmicos de vedação, objeto deste estudo.

Quadro 1 - Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação cm			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M		11,5	11,5	24
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M	14		24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M	19		19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19

Fonte: NBR 15270 - 1 (2017).

De acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2017) para atestar a conformidade de blocos e tijolos cerâmicos precisa-se determinar as características geométricas, físicas e mecânicas seguindo as prescrições contidas na parte 2 (Anexos A, B e C). No caso das características geométricas é preciso determinar: as medidas das faces, espessuras dos septos e paredes externas do bloco, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces, área bruta e área líquida. As características físicas são determinadas por meio dos ensaios da massa seca e o índice de absorção d'água.

Por fim, as características mecânicas são determinadas por meio de ensaios de resistência à compressão.

3.1.1 Desempenho térmico do bloco cerâmico

De acordo com Kappaun (1997 apud LAMBERTS et al., 2012, p. 29), desempenho térmico é a resposta física que a edificação apresenta quando fatores como variações de temperatura e umidade do ar ou fluxos de calor transmitidos através das vedações são confrontados com parâmetros de referência, ou melhor,

“Quando tais fatores são confrontados com parâmetros de referência, ou seja, pré-requisitos que enfocam o atendimento das exigências de conforto dos usuários quanto ao comportamento da edificação em uso, tem-se a avaliação do desempenho térmico, que tem como fatores determinantes os ganhos de calor através das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes (superfícies envidraçadas)” (LAMBERTS et al., 2010).

Uma importante vantagem do bloco cerâmico a ser levada em consideração, quando comparado ao bloco de concreto, é a de melhor desempenho térmico (SACHT; ROSSIGNOLO, 2009, p. 17).

Sacht e Rossignolo (2009, p. 17) estudaram a influência dos tipos de vedação no desempenho térmico em edificações multipavimentos com critérios iniciais de estudo e simulações computacionais através do software Arqitrop 3.0, cujos resultados mostraram que a alvenaria de blocos cerâmicos apresentou melhor desempenho no inverno e no verão em relação à alvenaria de blocos de concreto. Esse estudo baseou-se nas diretrizes e recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2008) e da NBR 15220 (ABNT, 2005), considerando dados climáticos da cidade e tipologia da edificação.

3. 2 USO DE MODELOS REDUZIDOS

O uso de modelos reduzidos faz-se necessário quando não é possível executar os modelos em escala natural. Segundo Littler (1993 apud KRÜGER et. al, 2004, p.3), desde a Segunda Guerra Mundial o uso de protótipos de pequena escala ocorre para testes de materiais e componentes, sendo os precursores os modelos construídos em Los Alamos, Estados Unidos. Ainda, de acordo com Murphy (1950

apud RODRIGUES, 1998, p. 3), são três as classes de modelos reduzidos: o dissimilar, no qual não há semelhanças entre o modelo reduzido e a edificação original; o distorcido, onde usa-se mais de uma escala para reproduzir o modelo real, geralmente uma escala para as dimensões verticais e outra para as horizontais; e o geometricamente similar, onde o modelo reduzido é uma reprodução em escala do modelo original.

Uma área de pesquisa onde modelos reduzidos são bastante utilizados é a relacionada às instalações avícolas, uma vez que aves são seres muito sensíveis à mudança brusca de temperatura. De acordo com Rodrigues (1998, p.3)

“O desenvolvimento de pesquisas com instalações em escala natural apresenta custo elevado, devido as grandes dimensões das instalações avícolas. O uso de modelos reduzidos em escala distorcida tem sido adotado para reproduzir instalações com grande discrepância de dimensões entre as dimensões horizontais e verticais, como é o caso de instalações avícolas” (RODRIGUES, 1998, p. 3).

O autor ainda ressalta que a reprodução em escala natural é onerosa e a necessidade de se realizar repetições de natureza estatística torna a pesquisa impraticável. Dessa forma, o uso de modelos reduzidos faz-se necessário devido aos problemas citados, principalmente quando se deseja monitorar variáveis ambientais. A Figura 3 mostra o modelo utilizado na pesquisa de Rodrigues.

Figura 3 - Modelo em escala reduzida e distorcida com cobertura de telhas absorventes e rede de microaspersores



Fonte: RODRIGUES (1998).

Na pesquisa desenvolvida por Jentzsch (2002), na Universidade Federal de Viçosa, MG, a referência foi um galpão de criação de aves com modelos nas escalas 1:4, 1:8 e 1:12 (Figura 4). Esse estudo teve como objetivo analisar os parâmetros de conforto térmico nas diferentes escalas e foi concluído que os três foram representativos, admitindo reduções de até 12 vezes.

Figura 4 - Uso de modelos reduzidos em campo



Fonte: JENTZSCH (2002).

Nos estudos feitos por Neto e Corrêa (2006), os autores buscaram utilizar modelos reduzidos para construção de painéis de modo a avaliar o comportamento de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural. De acordo com os autores,

“(...) pôde-se comprovar a vantagem em se adotar modelos reduzidos pela enorme facilidade no manuseio e na execução dos ensaios. Da mesma forma, pode-se dizer que os ensaios apresentaram resultados conforme o esperado, pois os modos de ruptura observados foram semelhantes aos de modelos em escala natural” (NETO; CORRÊA, 2006, p. 89).

Krüger (2002) utilizou a mesma técnica, porém usou a terminologia *test-cells* para referenciar os modelos de menores dimensões, pois estes não eram a reprodução em escala de um modelo real. Em seu estudo o propósito foi avaliar o desempenho térmico de diferentes blocos em *test-cells* de 1m x 1m x 1m. Os *test-cells* foram de blocos de concreto (Figura 5), concreto celular (Figura 6) e cerâmico (Figura 7).

Figura 5 - Test-cell de bloco de concreto tradicional



Fonte: KRÜGER (2002).

Figura 6 - Test-cell de bloco de concreto celular



Fonte: KRÜGER (2002).

Figura 7 - Test-cell de bloco cerâmico



Fonte: KRÜGER (2002).

Ao final do experimento Krüger (2002) constatou que os protótipos em escala reduzida permitiram analisar o desempenho térmico dos diferentes materiais de vedação, pois os demais parâmetros foram fixados. Além disso, concluiu que durante o inverno o protótipo construído com blocos de concreto tradicional foi o que apresentou maior porcentagem de horas de conforto, 29%. Já, o protótipo de tijolo cerâmico e o de concreto celular autoclavado apresentaram porcentagens de 25,5% e 17,1%, respectivamente. Vale ressaltar que este experimento foi realizado no período de inverno em Curitiba, PR.

Seguindo esta linha que envolve materiais de vedação, tem-se também a pesquisa de Komeno, Sposto e Krüger (2006), onde o propósito foi analisar o efeito térmico de paredes de blocos de concreto com enchimento de entulho, a partir de três test-cells com dimensões de 1m x 1m x 1m (Figura 8). Após as análises os autores observaram que o enchimento dos blocos com entulho não resultou em diminuição da temperatura interna do modelo. Porém, afirmaram que as *test-cells* são uma alternativa viável de análise devido ao baixo custo quando se pretende medir o desempenho térmico de sistemas construtivos não-convencionais.

Figura 8 - Test-cells construídos na Universidade de Brasília



Fonte: KOMENO; SPOSTO; KRÜGER (2006).

3.3 USO DE COBERTURA DE VEGETAÇÃO

De acordo com Lopes (2007, p.13), temas relacionados às questões ambientais ganharam ênfase na década de 70, quando a preocupação em relação aos impactos ambientais, gerados tanto pelo consumo de energia proveniente do uso de combustíveis fósseis, quanto pelo crescimento das cidades e de suas

demandas por mais recursos naturais tomou maiores proporções, tornando-se assunto de discussão a nível global.

Com isso, a temática do uso de coberturas verdes ressurgiu como estratégia arquitetônica para trazer benefícios tanto na escala das edificações quanto na escala urbana, aproximando o ambiente urbano cada vez mais do ambiente natural (LOPES, 2007).

O uso de cobertura vegetal pode ser feito de diversas formas, com a cobertura no sentido horizontal, sobre uma estrutura, sendo de forma simplificada chamado de telhado verde, ou no sentido vertical, apoiado em diversos tipos de suportes, o que caracteriza o conceito de paredes verdes. De acordo com Montanari e Labaki (2018), independente do sentido em que a cobertura é concebida, uma das principais vantagens que pode ser observada com sua instalação é a de atenuação das temperaturas nos ambientes internos das edificações onde a mesma se encontra.

Segundo Minke (2003, apud LOPES, 2007) pesquisas mostram a importância de não promover o crescimento da vegetação diretamente em contato com a superfície da edificação em questão, uma vez que as raízes das plantas podem prejudicar a estrutura, causando infiltração, rachaduras, e outras consequências advindas da perfuração por estas raízes.

Ainda segundo Minke (2003, apud LOPES, 2007),

“Pesquisas sobre impermeabilização em coberturas verdes realizadas com betume comprovam que é indispensável uma camada adicional, para proteção contra perfuração por raízes. Ressalta que a membrana de impermeabilização foi atravessada por raízes de distintas plantas, devido a alguns microrganismos que vivem em suas extremidades terem propriedades para dissolver materiais betuminosos.”

Um estudo relacionado à cobertura vegetal como telhado verde foi feito por Lopes (2007) na cidade de São Carlos - SP, o qual verificou o quanto uma cobertura verde leve (CVL) pode contribuir para a redução da temperatura do ar no interior de um ambiente, e em um segundo momento comparou o comportamento desta cobertura com outros três tipos de materiais: telhas de aço galvanizado, telha de fibrocimento e laje pré-moldada cerâmica. Os resultados apontaram que a CVL contribuiu para a atenuação da temperatura interna da edificação devido à capacidade de inércia térmica da camada do substrato e devido aos mecanismos de

evapotranspiração e sombreamento que as folhagens propiciam. Ressalta ainda que, em comparação com os demais tipos de cobertura, a cobertura verde foi a que demonstrou melhor desempenho.

Outras pesquisas foram feitas dentro dessa temática de coberturas vegetais com novas tecnologias para garantir um bom desempenho de telhados verdes, assim como foi necessário desenvolver uma maior variedade de suportes e estruturas de apoio para a execução de coberturas vegetais em paredes, tais como: módulos pré-fabricados de plástico, mantas de feltro, estruturas metálicas associadas à vasos de plantas dentre outras (BARBOSA; FONTES, 2016).

Barbosa e Fontes (2016) fizeram uma revisão da literatura, cujos objetivos foram analisar todas as possibilidades para sistemas de jardins verticais oferecidas pelo mercado nacional e internacional, entender o funcionamento de cada um, bem como suas vantagens e desvantagens. Os pesquisadores sintetizaram em duas as tipologias para a concepção de uma cobertura vegetal vertical: a primeira utiliza sistema extensivo, no qual a vegetação seria plantada no solo ou em jardineiras na base da parede, crescendo diretamente em contato com a mesma ou apoiada em uma estrutura de treliça modular ou composta por cabos (Figura 9); a segunda utiliza sistema intensivo, que consiste em painéis ou módulos fabricados de diferentes materiais com compartimentos para permitir o posicionamento do substrato e plantio das mudas (Figura 10).

Figura 9 - Sistema extensivo de fachada verde em treliça modular



Fonte: BARBOSA; FONTES (2006).

Figura 10 - Sistema intensivo de parede viva usando feltro



Fonte: BARBOSA; FONTES (2006).

Assim, a partir do levantamento dos trabalhos, Barbosa e Fontes (2016) apontaram novos desafios, como: o estudo da comparação da eficiência dos sistemas de irrigação de cada modelo de parede verde, a análise de custo benefício de cada estrutura quanto ao pleno desenvolvimento das plantas e o aprofundamento no estudo da relação entre umidade e danos estruturais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS REDUZIDOS

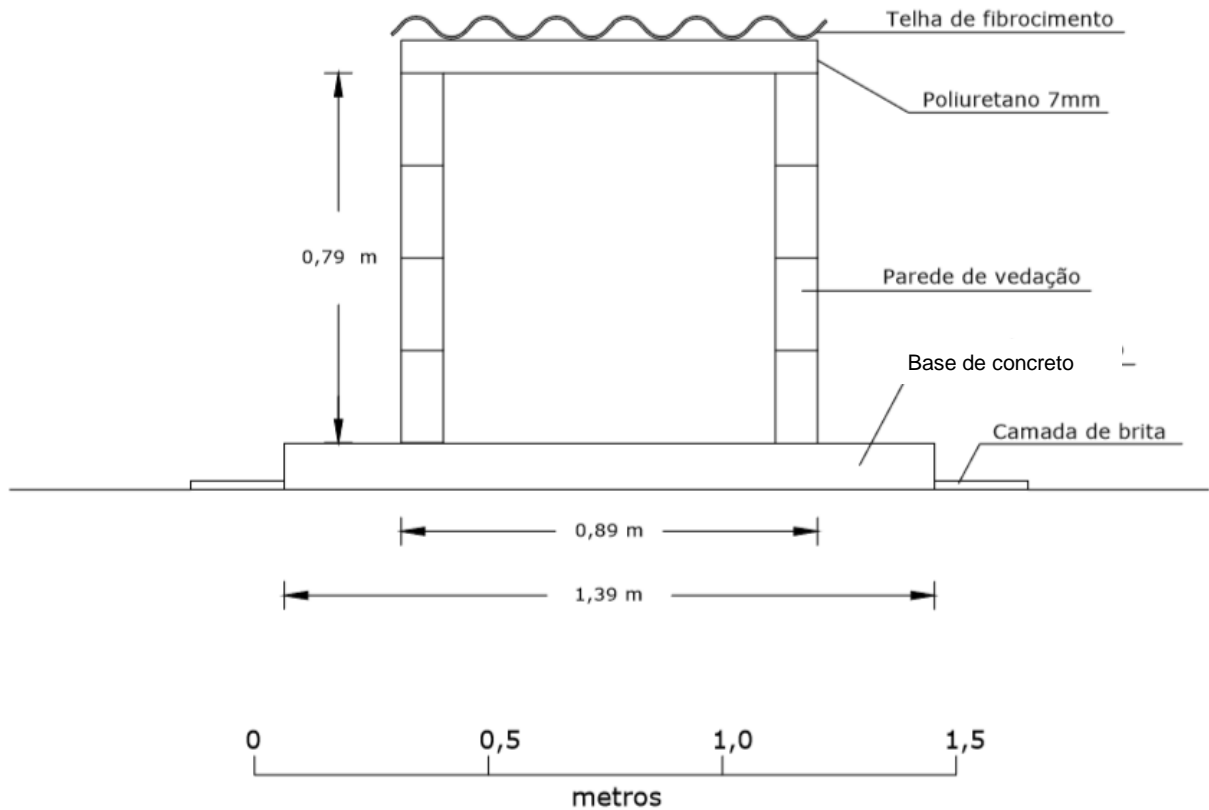
Tendo como referência o prédio S da UTFPR – LD (Figura 11), dois modelos foram construídos na escala 1:12 com as seguintes dimensões: 0,89m de largura, 0,79m de altura e 2,09m de comprimento utilizando blocos cerâmicos. Além disso, os mesmos foram construídos sobre uma base de concreto de 1,39m de largura, 0,10m de altura e 2,49m de comprimento. Foi colocada, também, uma camada de brita ao redor da base de concreto, a fim de conter o crescimento de plantas ruderais no seu entorno. A cobertura isolante foi composta por uma placa de poliuretano (densidade 20kg/m³) e telha de fibrocimento (espessura 7mm). Toda esta estrutura pode ser visualizada na Figura 12.

Figura 11 - Localização do prédio S na UTFPR - LD



Fonte: Seeya Imagens Aéreas (2017).

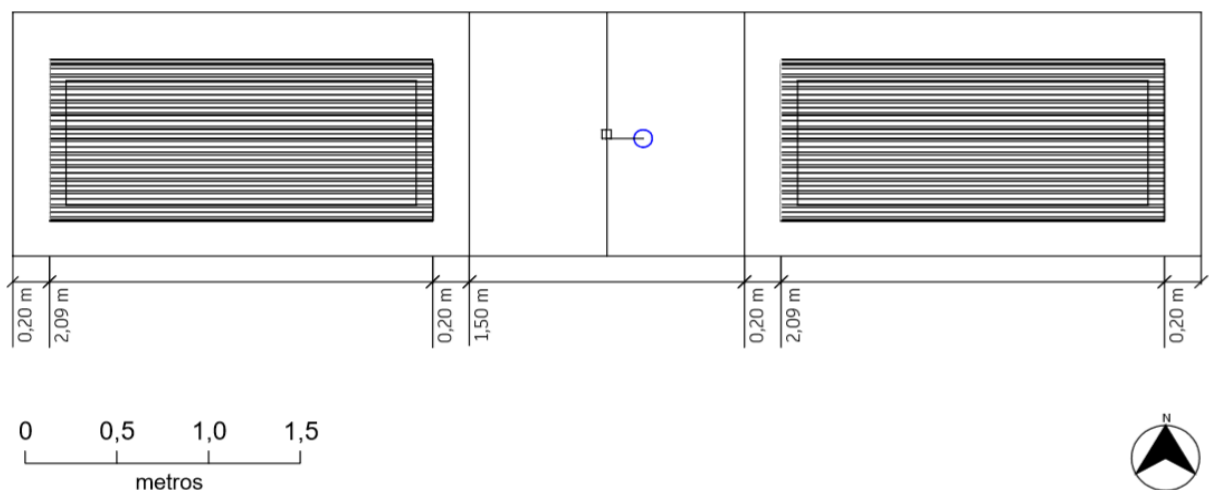
Figura 12 - Corte transversal do modelo reduzido construído



Fonte: Autoria própria (2019).

A distância entre os modelos foi fixada em 1,5 m para evitar sombreamento e o posicionamento dos modelos foi feito de forma que uma das maiores fachadas estivesse voltada para o Norte (Figura 13), assim como o prédio usado como referência.

Figura 13 - Posicionamento dos modelos



Fonte: Autoria própria (2019).

Os blocos foram posicionados no mesmo alinhamento do bloco S, ainda ao lado da estufa (Figura 14) o que possibilitou a utilização do sistema de irrigação, conforme explicado adiante.

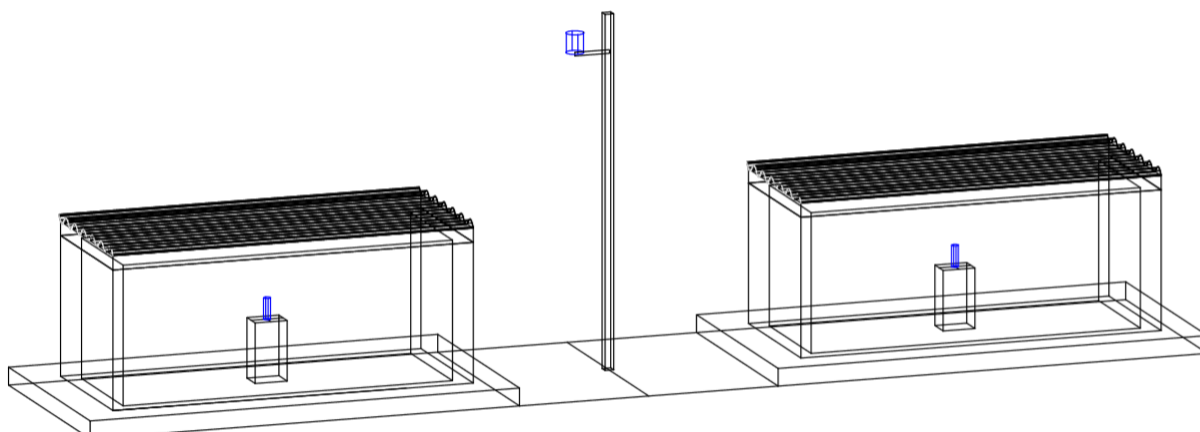
Figura 14 - Local de implantação dos modelos demarcado em amarelo, alinhado ao Bloco S (a esquerda na figura) e próximo à estufa (a direita na figura)



Fonte: Autoria própria (2018).

4. 2 INSTRUMENTAÇÃO E MEDIÇÕES

O desempenho térmico dos modelos foi avaliado a partir de dois fatores: temperatura e umidade relativa do ar. A medição de temperatura ocorreu no interior de cada modelo e em um ponto externo entre os mesmos (temperatura externa) (Figura 15). A umidade relativa do ar foi monitorada apenas no interior dos dois modelos.

Figura 15 - Posicionamento dos sensores de temperatura

Fonte: Autoria própria (2019).

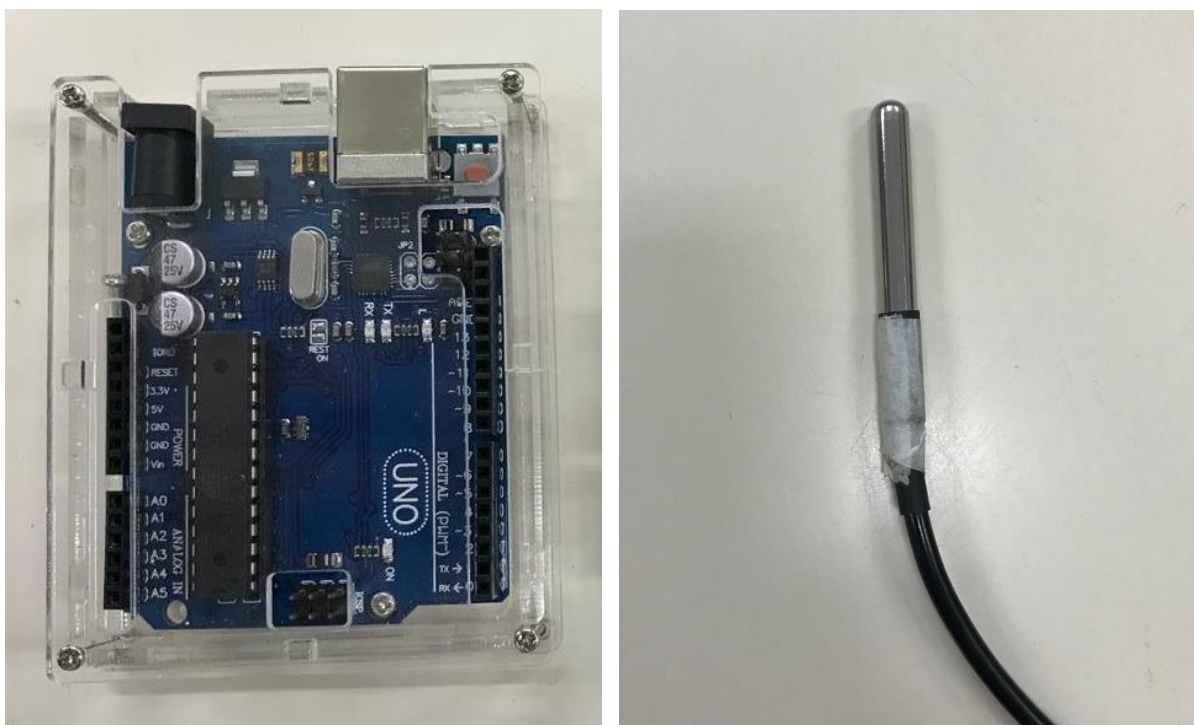
Para medir a temperatura e umidade relativa interna dos modelos foi utilizado o aparelho do tipo HOBO (Figura 16), que armazena dados de temperatura e umidade relativa em intervalos pré-determinados, por um certo período de tempo. Os mesmos foram posicionados no interior de cada modelo apoiados em um bloco de concreto, permanecendo a uma altura de 34 cm. Esse sensor possui uma faixa de funcionamento “de temperatura de -40 a 70°C , com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$ e resolução de $0,02^{\circ}\text{C}$, e na faixa de umidade relativa entre 0 e 100 %, com uma precisão de 2,5 % e uma resolução de 0,03 %” (CHERNEV, 2012, p. 11).

Figura 16 - Modelo do sensor de temperatura e umidade (HOBO)

Fonte: Onset Computer Corporation (2019).

O monitoramento da temperatura do ambiente externo foi feito utilizando o microcontrolador Arduino (Figura 17) fixado em um poste a uma altura de 1,90 m posicionado entre os dois modelos. O posicionamento de cada sensor pode ser observado na Figura 15, destacados em azul.

Figura 17 - Microcontrolador Arduino e sensor



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.1 Calibração do sensor de temperatura (Arduino)

Para verificar as medições do Arduino adquirido foi feita uma calibração utilizando o HOBO como referência, uma vez que o mesmo já havia passado por procedimentos de calibração e se encontrava em uso em projetos anteriores a este. Esse procedimento de intercomparação entre os sensores foi imprescindível para atestar a confiabilidade dos dados adquiridos.

O procedimento de calibração se deu em campo (fevereiro, 2019), com ambos os sensores, Arduino e HOBO posicionados lado a lado (Figura 18), operados por um período de 4 dias, com frequência de amostragem de temperatura a cada 2 minutos.

A seguir, o desempenho do Arduino foi comparado ao sensor de referência, HOBO, usando o coeficiente de determinação (R^2) sendo que quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de determinação, melhor é considerado o aparelho teste (HAIR *et al.*, 1998).

Figura 18 - Posicionamento dos aparelhos de medição para calibração em campo



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.2 Comparação entre modelos nas mesmas condições

Após a calibração dos sensores, uma comparação entre os modelos construídos foi feita através do monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar internas. Isso para que fosse verificado se de fato a radiação solar estava influenciando os dois modelos de forma igual. Dessa forma, se posteriormente fosse observada qualquer diferença nos dados de monitoramento, a mesma deveria ser atribuída a algum fator externo e posterior a esse período de comparação.

Portanto, a comparação em questão ocorreu enquanto os modelos ainda se encontravam na mesma situação: sem que a parede verde fosse inserida em um deles (Figura 19). Esse procedimento foi realizado por um período de 30 dias, com frequência de coleta de dados a cada dois minutos.

Figura 19 - Comparação entre modelos nas mesmas condições



Fonte: Autoria própria (2019).

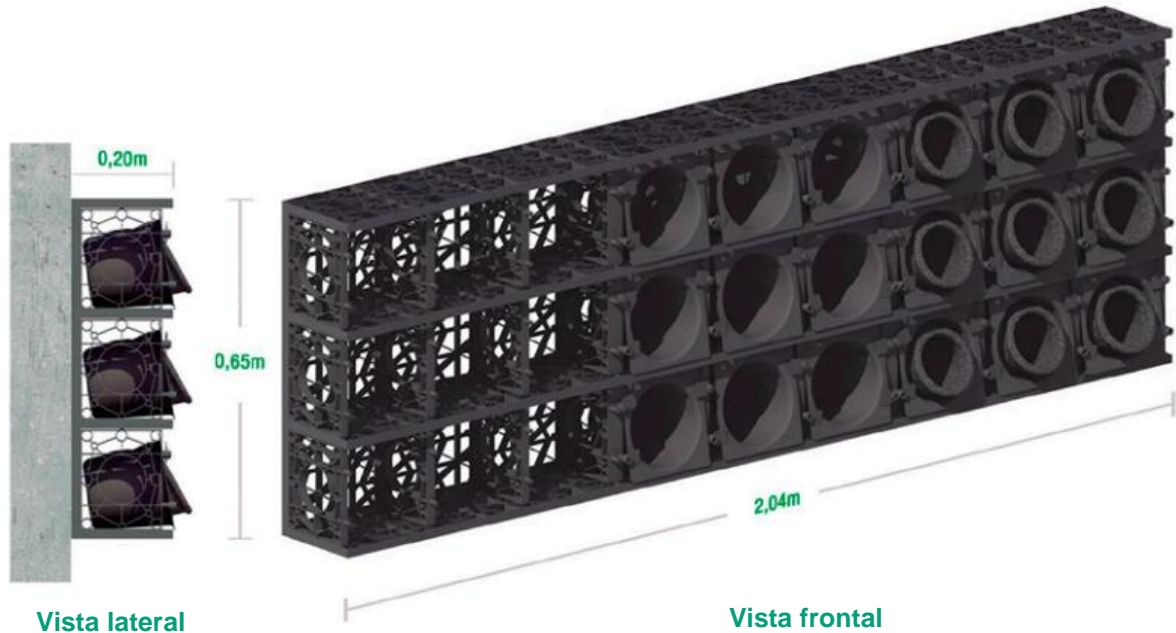
Após esse período, a adição da parede verde foi feita na fachada norte de um dos modelos (situado à esquerda na Figura 19), e o monitoramento dos parâmetros ocorreu no período de 13 de março a 14 de abril de 2019, com a coleta de dados com frequência de amostragem de dois minutos.

4.3 INSERÇÃO DA PAREDE VERDE

4.3.1 Implantação dos módulos

Para a composição da parede verde foi utilizado um modelo modular, constituído por um suporte plástico pré-fabricado (Figura 20). A aquisição de 9 módulos foi subsidiada por recursos da Pró-reitoria de Graduação da UTFPR.

Figura 20 - Modelo de suporte pré-fabricado utilizado para a parede verde



Fonte: WallGreen (2018).

Cada módulo consiste em 3 nichos que comportam 3 vasos, no interior dos quais as plantas ficam acondicionadas em bolsas (sacos) de feltro que abrigam o substrato no seu interior (Figura 21). O módulo vem equipado com mangueiras de polipropileno, junções hidráulicas e gotejadores para a irrigação. Desta forma, cada nicho possui um gotejador (Figura 22) responsável pelo fornecimento de água para cada planta. A irrigação foi automatizada, aproveitando o sistema temporizador disponível na estufa do Departamento de Ambiental (DAAMB), proporcionando autonomia ao sistema, promovendo 25 minutos de irrigação de 12 em 12 horas (06:00 e 18:00h).

Figura 21 - Elementos estruturais



Fonte: WallGreen (2018).

Figura 22 - Componentes de irrigação



Fonte: WallGreen (2018).

De acordo com as medidas do bloco construído, foram utilizados 9 módulos, comportando 27 vasos, que foram instalados com uso de parafusos, seguindo todas as instruções do fabricante. Cada bolsa de feltro comporta um volume de até 2,8L de substrato (aproximadamente) e tem sua abertura reduzida por um sistema de cordão de amarrar que impossibilita a sua perda. O substrato fornecido às plantas consistiu em terra, areia e matéria orgânica na proporção de 1:1:1.

4.3.2 Escolha das espécies e produção das mudas

As espécies utilizadas para compor a parede verde foram produzidas na estufa do Departamento Acadêmico De Ambiental (DAAMB), para diminuir os custos do projeto. Para isso, o critério para a escolha foi: facilidade de serem encontradas e propagadas. Assim, optou-se por 4 espécies que são propagadas vegetativamente a partir da fragmentação dos caules, são ornamentais e amplamente utilizadas em paredes verdes, a saber: Samambaia-paulista (*Nephrolepis pectinata*), Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus* 'Sprengeri') já cultivadas na estufa; Clorofito (*Chlorophytum comosum*), e Singônio (*Syngonium angustatum*) cujas matrizes foram obtidas em áreas verdes da cidade e foram, a partir de então, propagadas na estufa.

Segundo Lorenzi (2015, p. 311), o Aspargo-pendente (Figura 23), pertencente à Família Asparagaceae, é uma herbácea rizomatosa de folhas finas que forma densos ramos ramificados e pendentes que variam de 40 a 60 cm. Essa característica a torna ideal para o uso de forma suspensa, como foi o caso deste estudo, uma vez que é capaz de conferir sombra ao anteparo onde a mesma se encontra apoiada. Outra informação relevante é a de que esta espécie é facilmente

multiplicada por divisão de touceiras, estratégia utilizada, para produção de mudas para o experimento. É aconselhável que o cultivo da mesma se dê à meia-sombra.

Figura 23 - Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus*)



Fonte: Autoria própria (2019).

Ainda segundo Lorenzi (2015, p. 318), o Clorofito (Figura 24), outra espécie pertencente à família Asparagaceae, é uma herbácea de folhas alongadas e achatadas, ornamental por conta da variegação, que confere à folha faixas brancas nas bordas e centro esverdeado. Essa espécie é indicada para o cultivo preferencialmente à meia-sombra, em jardineiras pendentes. Sua multiplicação ocorre a partir da divisão de touceiras e por separação de mudas formadas junto às inflorescências, que foi a forma utilizada para a sua multiplicação neste estudo.

Figura 24 - Clorofito (*Chlorophytum comosum*)



Fonte: Autoria própria (2019).

Outra espécie utilizada na composição da parede verde foi a Samambaia-paulista (Figura 25), que pertence à família Lomariopsidaceae. Também é uma erva rizomatosa de folhagem densa, folhas quase eretas que podem chegar a ter 50 cm de altura. Além do cultivo direto no solo, é indicada para jardineiras e em condições de meia-sombra. Assim como as demais citadas, pode ser multiplicada por divisão de touceira, porém com a peculiaridade da possibilidade de isso ser feito em qualquer época do ano (LORENZI, 2015, p. 45).

Figura 25 - Samambaia-paulista (*Nephrolepis pectinata*)



Fonte: A autoria própria (2019).

A quarta espécie escolhida foi o Singônio (Figura 26), espécie nativa da Amazônia, pertencente à família Araceae. Considerada uma espécie de folhagem decorativa, devido à variação branca e estriada quando jovem. Espécie muito utilizada como forração ou trepadeira, mas com a possibilidade de ser envasada, tendo como forma de multiplicação a estaquia (LORENZI, 2015, p. 255). Das espécies utilizadas foi a mais facilmente encontrada, devido a seu caráter infestante. Além disso é a que possui maior área foliar dentre as quatro, o que favorece o seu uso com o intuito de cobertura.

Figura 26 - Singônio (*Syngonium angustatum*)



Fonte: A autoria própria (2019).

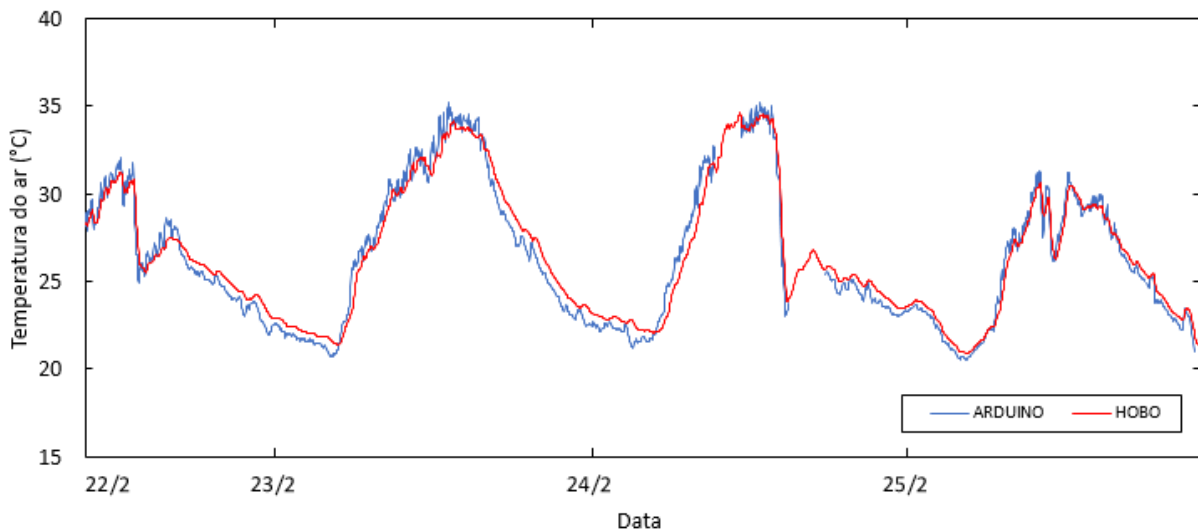
Assim, as mudas produzidas foram cultivadas em estufa por cerca de seis meses para que quando fossem posicionadas no suporte da parede verde, já estivessem bem desenvolvidas, proporcionando uma cobertura plena da parede.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CALIBRAÇÃO DO SENSOR

Durante o procedimento de intercomparação, os dados de temperatura coletados por ambos os sensores, Arduino e HOBO, foram muito próximos, como é possível se observar na Figura 27.

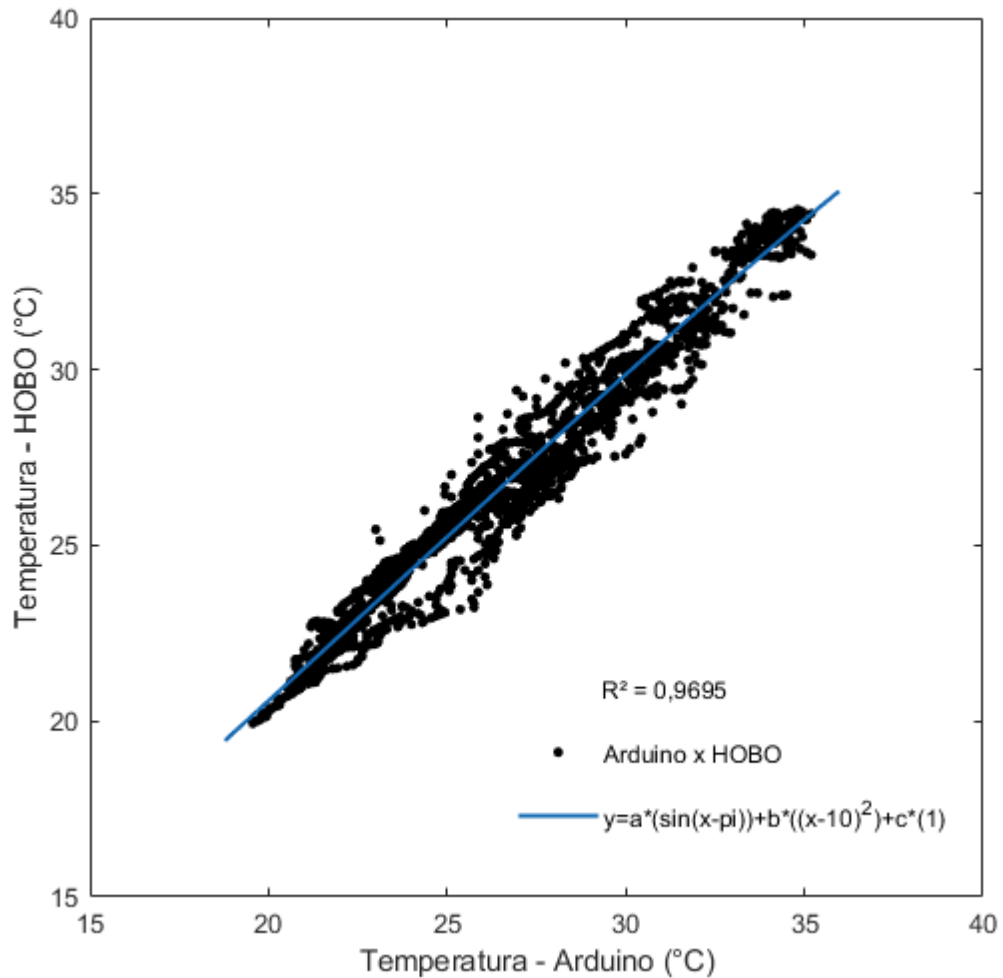
Figura 27 - Comportamento diário da variação de temperatura aferida pelo Arduino e pelo sensor de referência HOBO



Fonte: Autoria própria (2019).

Através de um gráfico de dispersão (Figura 28) foi possível visualizar que o coeficiente de determinação R^2 encontrado foi de 0,9695. Este valor representa grande similaridade entre os sensores, o que confirma a viabilidade do uso do Arduino para a coleta de dados de temperatura do ar neste experimento.

Figura 28 - Gráfico de dispersão dos dados de temperatura do ar coletados pelo sensor Arduino em intercomparação com o HOBO

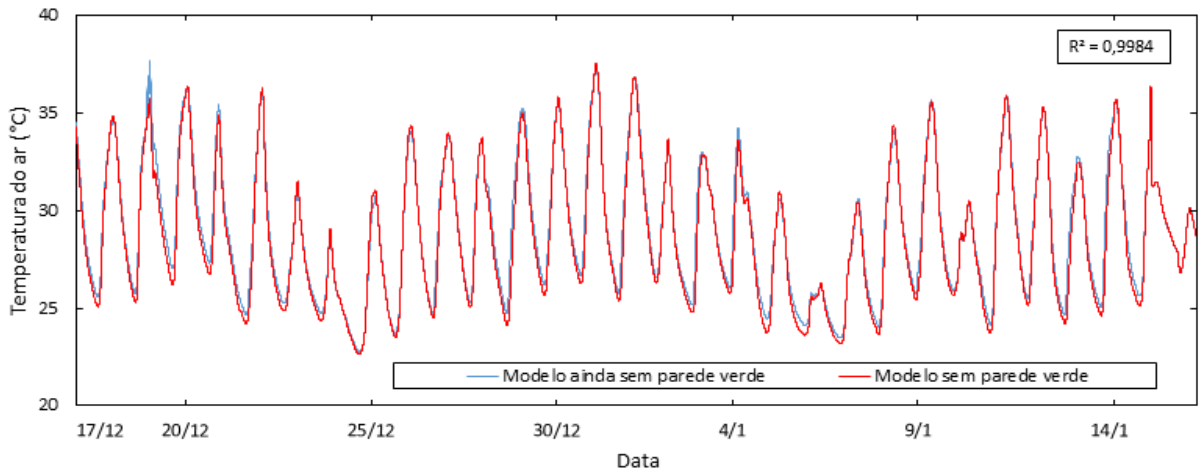


Fonte: Autoria própria (2019).

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS CONSTRUÍDOS

Os resultados do monitoramento da temperatura do ar ambiente dos modelos construídos podem ser observados na Figura 28. Foi possível observar que ambas as curvas se encontram praticamente sobrepostas ($R^2 = 0,9984$), o que mostra que, sob a influência das mesmas condições climáticas, ambos os modelos possuem comportamentos muito semelhantes. As curvas de ambos os modelos seguem uma variação, média de $28,99^\circ\text{C}$, máxima de $37,70^\circ\text{C}$ e mínima de $22,63^\circ\text{C}$.

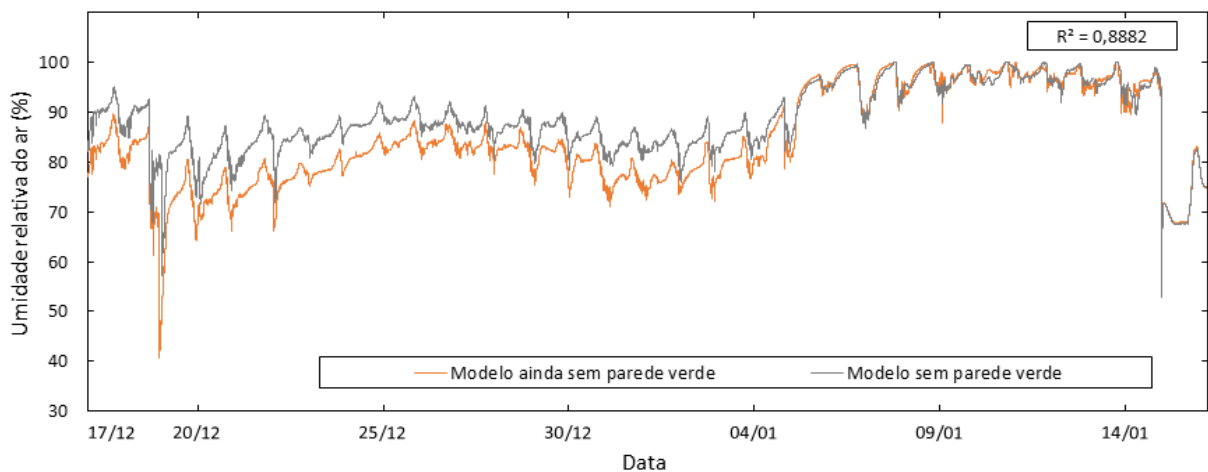
Figura 29 – Comportamento diário das temperaturas do ar interno dos modelos ainda sem parede verde



Fonte: Autoria própria (2019).

Já, com relação ao monitoramento da umidade relativa do ar no interior de cada modelo, o coeficiente de determinação encontrado não foi muito satisfatório, $R^2 = 0,8882$ (Figura 30). Ainda, os elevados valores de umidade relativa apontados pelos sensores no interior dos modelos indicam uma eventual falha dos mesmos, razão pela qual não foi dada continuidade na análise desses dados.

Figura 30 - Comparação da umidade relativa do ar interno dos modelos ainda sem parede verde

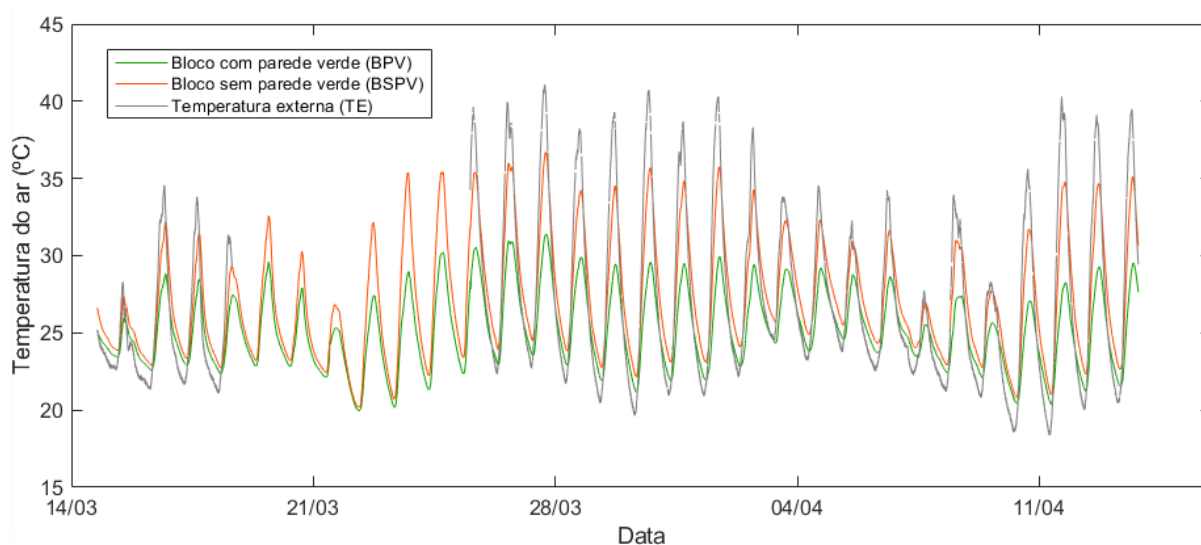


Fonte: Autoria própria (2019).

5.3 MONITORAMENTO COM PAREDE VERDE

O comportamento da temperatura ambiente do bloco com parede verde (BPV), do bloco sem parede verde (BSPV) e do ambiente externo (TE), pode ser visualizado na Figura 31.

Figura 31 - Monitoramento da temperatura ambiente dos modelos e da temperatura externa (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019)



Fonte: Autoria própria (2019).

A partir do comportamento apresentado, foi possível verificar a tendência do BPV apresentar temperaturas internas inferiores ao BSPV. Além disso, a amplitude térmica do BPV se mostrou inferior em $5,12^{\circ}\text{C}$ se comparada com o BSPV, e em $11,27^{\circ}\text{C}$ se comparada a TE. De acordo com Yang et al. (2015) a menor amplitude térmica é relacionada à maior inércia térmica da parede verde pois o calor absorvido pelas plantas é dissipado de forma mais lenta.

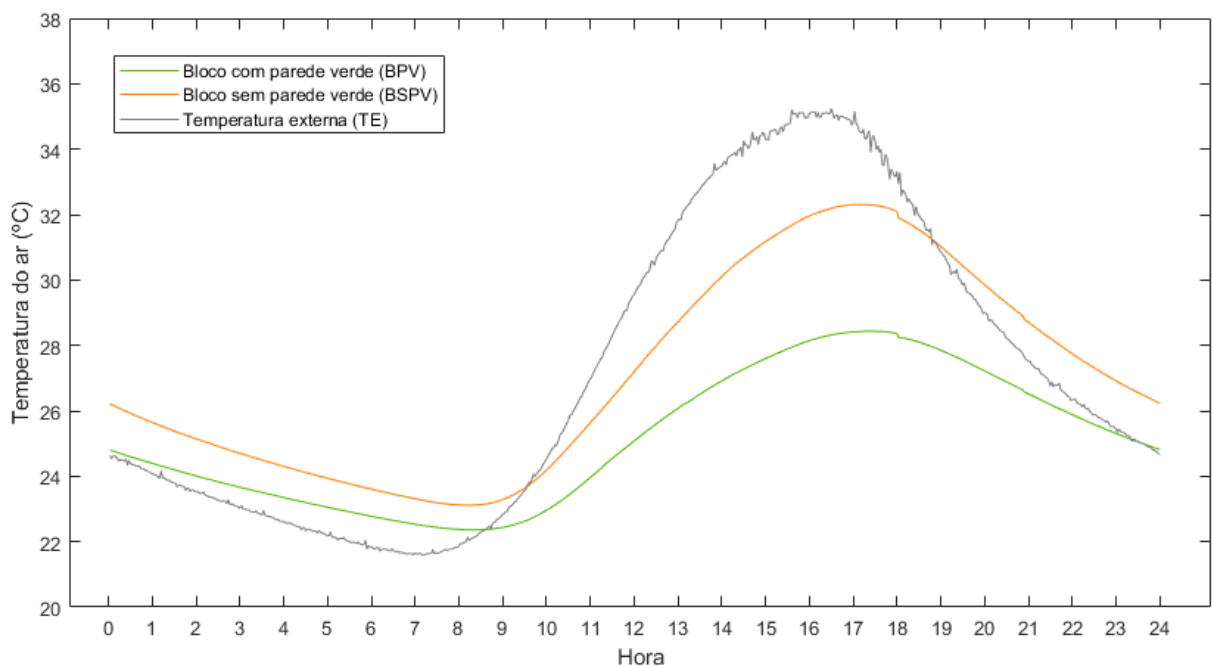
Para a variável TE houve uma perda de dados referente a alguns dias de monitoramento. Isso se deu pelo fato do aparelho Arduino estar ligado à rede elétrica que, nesse período, apresentou quedas de tensão.

Também foi possível perceber que, ao longo de todo o período de monitoramento, a temperatura interna do BPV foi inferior à do BSPV, assim como apresentou as menores amplitudes.

As temperaturas médias horárias do BPV estiveram sempre abaixo dos valores de BSPV (Figura 32). Pode-se perceber, também, que mesmo o modelo

onde não há presença do revestimento de vegetação (BSPV), apresentou temperaturas médias horárias internas menores que as externas no período entre 10 e 19h. Isso se deve ao fato de que o bloco cerâmico amortece a transferência de certa quantidade de calor para o interior da construção (KAPPAUN, 2012). Ainda segundo Fiegenbaum (2018) a temperatura externa tem elevada queda após as 19h e 30min.

Figura 32 - Médias horárias de temperatura do ar no interior dos blocos e exterior aos mesmos



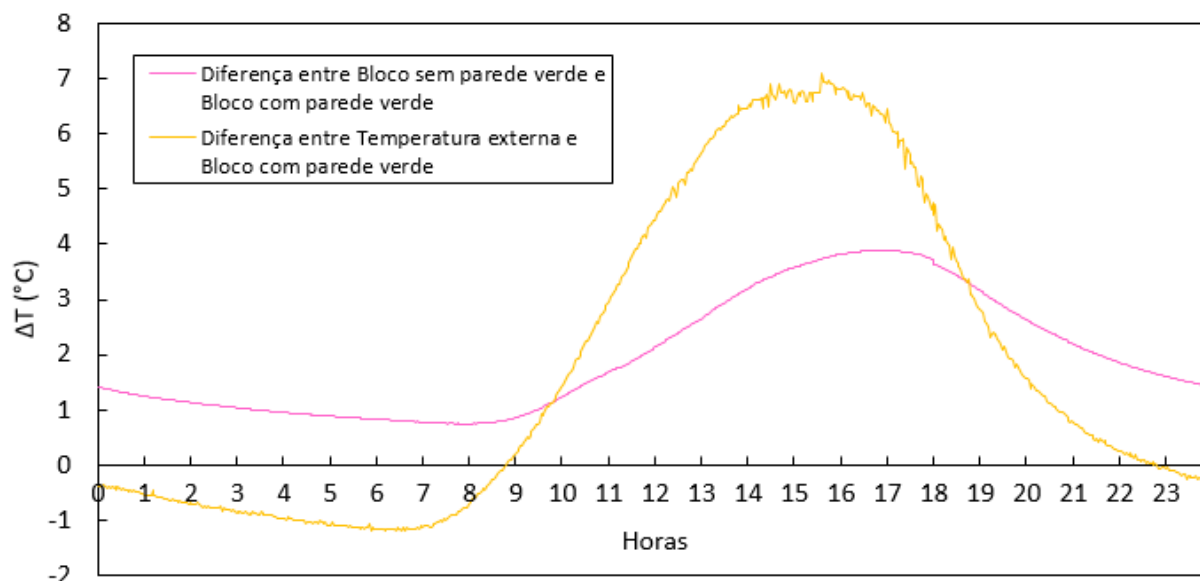
Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico mostra também que o intervalo de tempo em que o interior do BPV se mantém mais fresco que o ambiente externo acontece entre 8h e 42min e 23h e 30 min, enquanto o BSPV apresenta o mesmo comportamento entre 9h e 38min e 18h e 50min. O que corrobora com a afirmação de Montanari e Labaki (2018) que a parede verde tem por característica atenuar a temperatura do interior da edificação onde ela se encontra instalada.

Outra informação importante a ser observada na Figura 32 é a diferença da temperatura interna do BPV e a TE. Pode-se perceber que, ao longo do dia, existiram momentos em que o interior do BPV se tornou mais quente que o exterior com diferença de temperatura em torno de 1°C. No período da tarde, por outro lado, essa diferença de temperatura se mostrou mais elevada na área externa, chegando

a uma diferença média de 7°C, entre o BPV e a TE, às 15 h e 30 min (Figura 33). Este efeito pode ser explicado pela inércia térmica causada pelo envoltório vegetal, que dificulta a entrada de calor durante um período, e dissipa vagarosamente o calor absorvido em outro (LOPES, 2007).

Figura 33 - Médias horárias das diferenças de temperatura entre os blocos e a temperatura ambiente



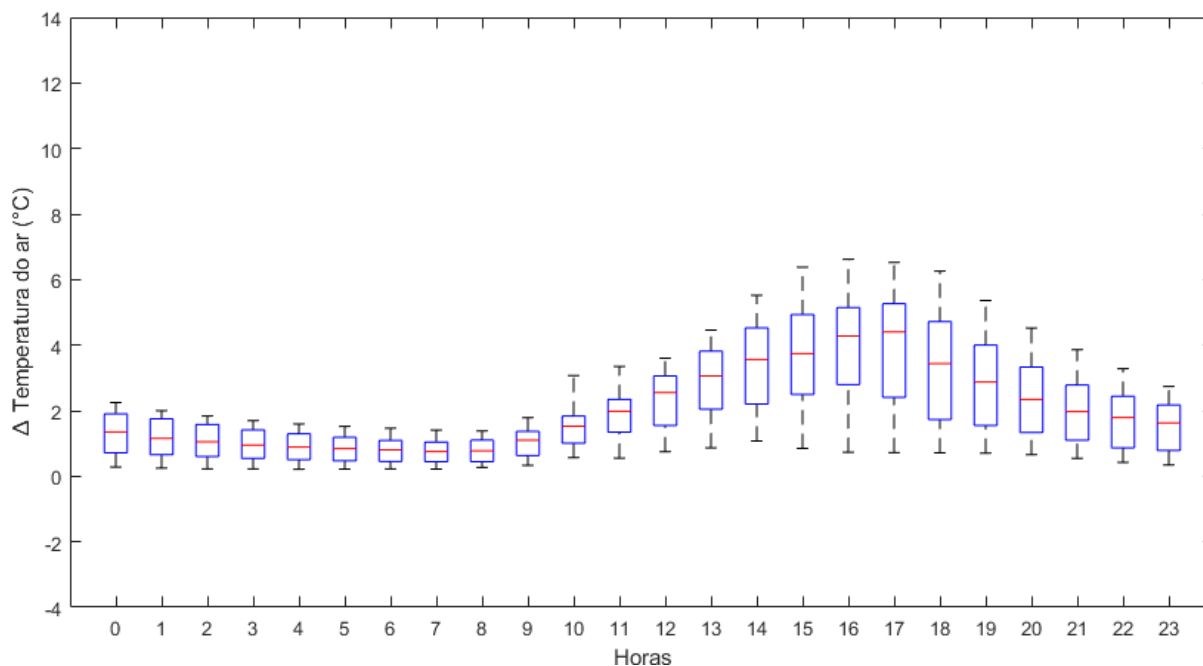
Fonte: Autoria própria (2019).

Já com relação à diferença de temperatura entre o BSPV e o BPV, percebe-se que a maior influência do aparato vegetal se deu às 16h e 38min, com variação média de 3,89°C de temperatura. Já a menor influência se deu por volta das 7h e 30min, com variação média de 0,75°C, fato este ocasionado devido à absorção de calor pelas plantas no período da tarde, pela inércia térmica, e de acordo com Kumar e Mahalle (2016), pela evapotranspiração das plantas que favorece o resfriamento da parede.

A parede verde demonstrou, portanto, comportamento semelhante à um isolante térmico em ambos os sentidos do fluxo de calor: entrada e saída dos modelos, uma vez que, nos períodos entre 23h e 30min e 8h e 42min, o interior do BPV se mostrou mais quente que o exterior como demonstra as figuras 32 e 33.

A maior diferença entre as temperaturas internas dos modelos ocorreu às 16h, e foi de 6,72°C (Figura 34), enquanto a menor foi próxima de 0°C, às 7h (Figura 34).

Figura 34 – Diferenças de temperaturas entre os blocos ao longo das horas do dia (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019)

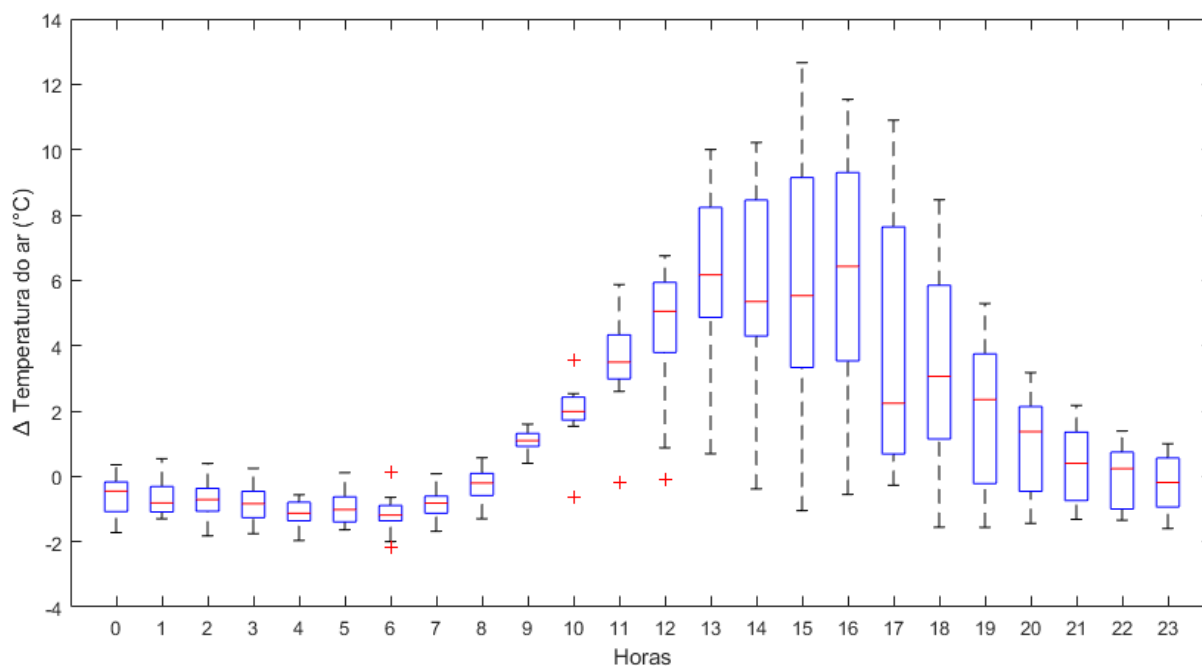


Fonte: Autoria própria (2019).

Considerando o período diurno como entre 6 e 18h, e o noturno entre 18 e 6h, pode-se perceber uma tendência na variação das temperaturas. No período diurno a tendência foi que as diferenças de temperaturas aumentem, enquanto no período noturno essas diferenças tendem a diminuir (Figura 34).

Comparando o BPV com TE podemos ver que a maior diferença de temperatura ocorreu às 15h, e foi de 13,15°C (dia 11 de abril), além disso as temperaturas se igualaram mais de uma vez ao dia (Figura 35). De acordo com Montanari e Labaki (2018) o motivo dessas diferenças é a redução do pico de temperatura da superfície externa da parede, que está ligada à insolação. Os autores afirmam ainda que a parede verde absorve essa insolação, provocando um atraso térmico. Dessa forma, pode-se dizer que as maiores reduções de temperatura ocorreram no período da tarde por conta da parede verde estar posicionada estrategicamente na fachada que receberia maior insolação (nesse período do dia).

Figura 35 - Diferenças de temperatura entre o bloco com parede verde e a temperatura externa ao longo do dia (dados para o período de 14 de março a 13 de abril de 2019)

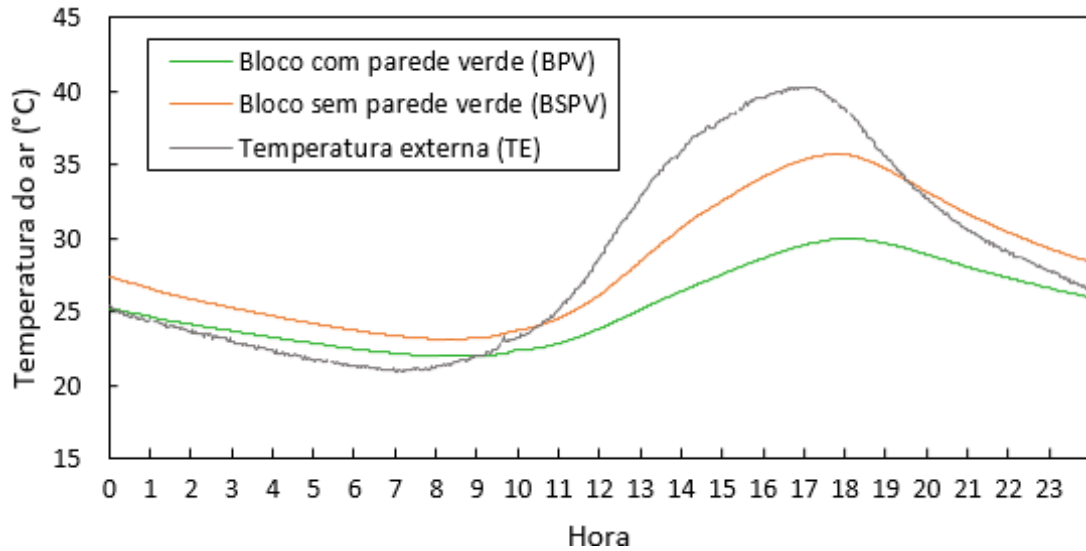


Fonte: Autoria própria (2019).

Outra análise feita em cima dos dados coletados, e a partir de informações obtidas através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi o comportamento das temperaturas no dia mais quente (Figura 36) e no mais frio (Figura 37), ocorridos dentro do intervalo de monitoramento.

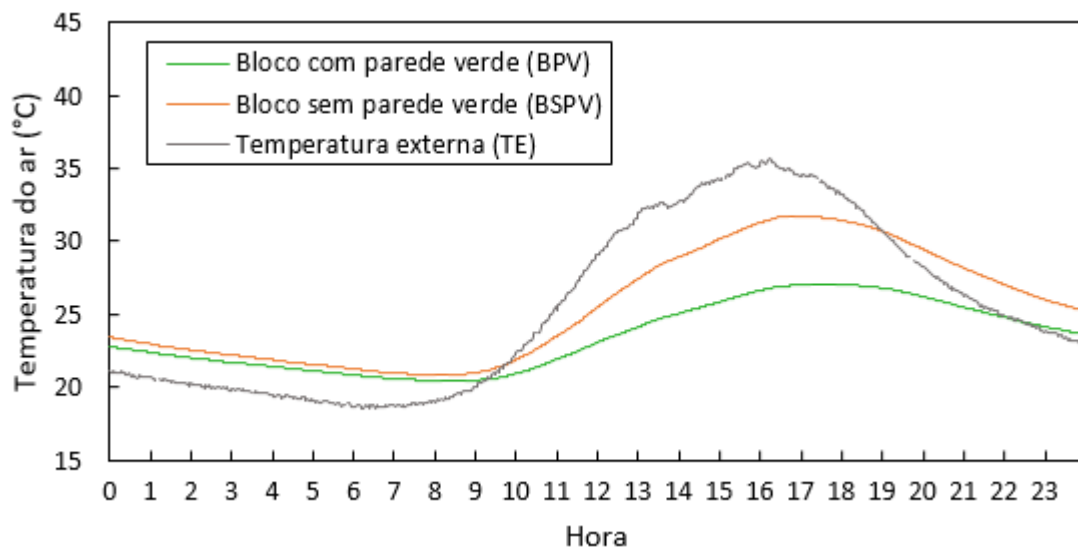
No dia mais quente foi possível verificar que o pico de temperatura externa se deu por volta das 17h, com temperatura de 40,3°C, enquanto o pico da temperatura ambiente do BPV e do BSPV foi às 18h, com temperatura de 29,9°C e 35,7°C, respectivamente, o que demonstra o atraso térmico de 1h. Os resultados encontrados em Kappaun (2012), para bloco cerâmico estrutural registrou atrasos de 1h, 1h e 20min e 2h, no inverno, e de 3h no verão. De acordo com Cheng, Cheung e Chu (2010), o atraso no aumento da temperatura ajudaria a mitigar o impacto potencial do calor incidente durante o dia que continua a afetar o espaço interior após o pôr do sol.

Figura 36 – Comportamento da temperatura durante o dia mais quente - 01 de abril



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 37 - Comportamento da temperatura durante o dia mais frio - 10 de abril



Fonte: Autoria própria (2019).

No dia mais frio, o pico de TE foi de 35,63°C e ocorreu às 16h, enquanto o pico da temperatura ambiente de BPV foi de 27,06°C, às 17h. O atraso térmico, nesse caso, também foi de 1h. Portanto, foi possível perceber que a influência da parede verde foi semelhante em ambos os casos.

5.4 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS NO MÓDULO DE FIXAÇÃO

Logo que as plantas produzidas foram posicionadas na parede onde permaneceriam por todo o experimento, as mesmas já se encontravam desenvolvidas o suficiente, a ponto de proporcionar a cobertura do módulo (Figura 38). Porém como pode ser observado, alguns pontos do aparato de suporte ainda ficavam visíveis.

Figura 38 – Imagem do bloco com parede verde no dia da montagem do experimento



Fonte: A autoria própria (2019).

Ao longo do experimento, percebeu-se o crescimento das plantas de tal modo que o suporte por trás das mesmas ficou completamente encoberto. Ao final do monitoramento, passados 3 meses da transferência das mudas para o saco de feltro, a parede verde se encontrava densamente encoberta pelas plantas (Figura 39). Isso favoreceu a redução de temperatura ambiente pela parede verde pois, de acordo com Lopes (2007), quanto mais densa a folhagem, maior a evapotranspiração e o sombreamento. Segundo Gagliano et al. (2015) esses são alguns dos fenômenos responsáveis por compor o balanço térmico de envoltórios verdes.

Além do desenvolvimento da folhagem já existente, foi observada a formação de novas folhas em todas as espécies, o lançamento de inflorescências para o Clorofito (Figura 40) e o aparecimento de flores e o desenvolvimento de frutos para o

Aspargo-pendente (Figura 41). Essas observações confirmam a boa adaptação das espécies ao módulo de fixação.

Figura 39 – Cobertura foliar do bloco com parede verde no dia 21 de maio de 2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 40 - Folhas jovens de Aspargo-pendente e inflorescências de Clorofito



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 41 - Frutificação da espécie Arpargo-pendente



Fonte: Aatoria própria (2019).

O amarelecimento de folhas também passou a ser encontrado após o terceiro mês do experimento, em especial nas plantas de Singônio, provavelmente em função da elevada exposição à radiação solar, visto que as folhas novas não apresentaram esse sintoma.

7. CONCLUSÃO

A partir do monitoramento da temperatura interna de modelos construídos em escala reduzida, foi possível verificar a influência do uso estratégico da parede verde. Observou-se que o uso da parede verde associada ao tijolo cerâmico foi capaz de reduzir em até 6,72°C a temperatura interna de um ambiente, se comparada a um ambiente sem a presença de parede verde, ao final do verão. Essa redução foi maior e chegou até a 13,15°C quando comparada à temperatura externa.

Observou-se também que o modelo com parede verde apresentou temperaturas inferiores à temperatura externa na maior parte do período monitorado. Esta diminuição também ocorreu com o modelo sem parede verde, salientando o amortecimento térmico proporcionado pelo bloco cerâmico.

O posicionamento da parede verde na fachada norte do modelo fez com que o período da tarde apresentasse os resultados mais significativos quanto à redução de temperatura do ar interno. Isso porque a fachada norte recebe radiação solar direta neste período. Além disso, o uso dessa cobertura vegetal proporcionou redução de 5°C na amplitude térmica em relação ao modelo sem parede verde ao longo de todo o período de monitoramento.

A parede verde provocou o atraso térmico no ambiente construído onde estava posicionada, atenuando o desconforto durante o período mais quente do dia.

Por fim, o uso da parede verde mostrou um resultado satisfatório na diminuição da temperatura interna do ambiente, justificando a continuidade dos estudos para determinar o efeito do uso de outras espécies, substrato, e até volume de irrigação.

REFERÊNCIAS

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

CHENG, C. Y.; CHEUNG, K. K. S.; CHU, L. M. Thermal Performance of a Vegetated Cladding System on Facade Walls. **Building and Environment**, v. 45, n. 8, p. 1779-1787, ago. 2010.

CHERNEV, L. M. **Índice de Conforto Térmico Aplicados a Conglomerados Urbanos**. 2012. 38 p. Relatório final de atividades (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2012.

FIEGENBAUM, A. C. **Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico**. 2018. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, 2018.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GAGLIANO, A. et al. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. **Building and Environment**, v. 90, p. 71–81, 2015.

HAIR, J. F. et al. **Multivariate data analysis**. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 1998.

JENTZSCH, R. **Estudo de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

KOMENO, M. H; SPOSTO, R. M; KRÜGER, E. L. Metodologia para avaliação de desempenho térmico de sistemas não-convencionais de paredes de vedação através de monitoramento em test-cells e simulação computacional. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 11. Florianópolis: 2006. p. 466 - 475.

KRÜGER, E. et al. O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedação quanto ao seu desempenho térmico. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 10. 2004, São Paulo: 2004. p. 1 - 10.

KUMAR, V. V.; MAHALLE, A. M. Investigation of the thermal performance of green roof on a mild warm climate. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 6, n. 2, p. 487–493, 2016.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis: LabEEE / UFSC, 2010. 130 p

LOPES, D. A. R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras** / Harri Lorenzi. 2 ed. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2015.

MONTANARI, K. B; LABAKI, L. **Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 8, n. 3, p. 181-193, set. 2017.

MINKS, V. **A rede de design verde urbano - uma alternativa sustentável para megacidades?** Labverde, São Paulo, v. 7, n. 6, p.1-22, dez. 2013.

NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 15270 - 1: **Componentes Cerâmicos**. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

NBR 15270 - 2: **Componentes Cerâmicos**. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

NBR 15270 - 3: **Componentes Cerâmicos**. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

NBR 15575 - 1: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.

NETO, J. A. N; CORRÊA, M. R. S. Emprego de modelos reduzidos no estudo da alvenaria estrutural de blocos. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 8, n. 31, p.77-91, set. 2006.

ONSET COMPUTER CORPORATION. **HOBO® Pro v2 User's Manual**. 2010. Disponível em: < https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/10694-P%20MAN-U23.pdf > Acesso em: 3 de junho de 2019.

RIBEIRO, L. P. **Conforto térmico e a prática do projeto de edificações: recomendações para Ribeirão Preto**. 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RODRIGUES, E. H. V. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida**. 1998. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 1998.

SACHT, H. M; ROSSIGNOLO, J. A. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 4, n. 1, p.1-18, 2009.

YANG, W. et al. Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. **Sustainable Cities and Society**, v. 16, p. 1–12, Agosto 2015.