

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LARISSA DAL BOSCO

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
TÉRMICO DE DUAS DIFERENTES TÉCNICAS DE VEDAÇÃO NO
SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2018

LARISSA DAL BOSCO

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
TÉRMICO DE DUAS DIFERENTES TÉCNICAS DE VEDAÇÃO NO
SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME***

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Silmara Dias Feiber

TOLEDO

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 133

Estudo experimental de avaliação do desempenho térmico de duas diferentes técnicas de vedação no sistema construtivo *Wood Frame*

por

Larissa Dal Bosco

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 08:20 h do dia **08 de Junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Fúlvio Natercio Feiber
(UTFPR – TD)

Prof. Me. Christian Valcir Kniphoff de Oliveira
(FAG)

Prof^a Dra Silmara Dias Feiber
(UTFPR – TD)
Orientadora

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natercio Feiber
Coordenador da COECI

AGRADECIMENTOS

O sentimento de gratidão é o que mais se manifesta ao final de mais uma jornada. Foram pessoas importantes de diferentes formas que estimularam a persistência e se fizeram a base necessária à realização de todas as etapas desta pesquisa.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha querida orientadora e amiga, professora Dra. Silmara Dias Feiber, por todo o carinho e compreensão dedicados durante o período de orientação, por ser um exemplo de profissional e de ser humano, e pelo privilégio de ser sua orientanda. Ao longo de todo o trajeto sempre me incentivando de forma doce e gentil, dizendo as palavras que precisavam ser ouvidas nos momentos de desespero e me inspirando a querer melhorar o mundo de alguma forma.

Agradeço aos pesquisadores e professores componentes da banca examinadora, professor Dr. Fúlvio Natércio Feiber e professor Me. Christian Valcir Kniphoff de Oliveira, por toda a atenção e pela contribuição dedicada a este estudo.

Um agradecimento especial aos servidores dos laboratórios de engenharia civil do câmpus Toledo da UTFPR, Wilson e Marcos, por todo o apoio durante a fase experimental, sempre presentes e prontos para ajudar da melhor forma que lhes era possível.

Agradeço também ao meu colega Igor Andre Albino Koakoski, sempre muito atencioso e dedicado a compartilhar o conhecimento, e cuja pesquisa serviu de inspiração para a concretização desta.

Por fim, agradeço às amizades verdadeiras e companheiras que encontrei durante a caminhada, sempre dando forças uns aos outros para chegarmos ao nosso grande objetivo comum. Também agradeço muito a Deus e aos meus familiares, que são a base de tudo e, mais uma vez, foram a fundação para me manter firme nos momentos difíceis.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

(Friedrich Nietzsche)

“Nós moldamos nossos edifícios, depois eles nos moldam.”

(Winston Churchill)

RESUMO

DAL BOSCO, Larissa. **Estudo experimental de avaliação do desempenho térmico de duas diferentes técnicas de vedação no sistema construtivo *Wood Frame***. 2018. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso — Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

Num contexto em que o sistema construtivo *Wood Frame* mostra-se um método inovador tecnologicamente, torna-se relevante a busca pelo conhecimento das melhores práticas para o seu emprego. Estas investigações possibilitam a melhor compreensão do sistema e podem impulsionar a utilização deste no país. Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar comparativamente duas técnicas de vedação do sistema *Wood Frame* utilizadas por distintas empresas em território nacional. Para isto, a pesquisa fez uso de protótipos situados na cidade de Toledo-PR, que viabilizaram a investigação das temperaturas durante período determinado. Sendo assim, após a análise estatística dos dados por meio da análise de variância, ANOVA, e teste de Tukey, tem-se que a diferença entre os protótipos apresentou-se significativa apenas para as temperaturas mínimas e no período em que os protótipos encontravam-se isolados termicamente com a espessura de 5 cm de lã de vidro. Portanto, na maioria dos casos apresentados a variação entre as duas técnicas não resultou em diferenças significativas ao nível de significância de 0,05. Entretanto, reforça-se aqui a importância do estudo de novos sistemas construtivos que mostrem-se potencialmente favoráveis à maior qualidade das edificações associada à redução dos impactos proporcionados ao meio ambiente.

Palavras-chave: *Wood Frame*. Conforto Térmico. Construções em madeira.

ABSTRACT

BOSCO, Larissa Dal. **Experimental study to evaluate the thermal performance of two different sealing techniques in Wood Frame construction system**. 2018. 92 f. Undergraduate thesis — Undergraduate course in Civil Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Toledo, 2018.

In a context where the Wood Frame construction system shows itself as a technologically innovative method, it becomes relevant to seek knowledge of the best practices for its use. These investigations make a better understanding of the system possible and can boost its use in the country. Therefore, this paper aims to comparatively evaluate two sealing techniques of Wood Frame system used by different companies in national territory. For such purpose, the research made use of prototypes located in the city of Toledo-PR, which enabled the investigation of temperatures during a certain period. Thus, after statistically analyzing the data by analysis of variance, ANOVA, and Tukey test, it becomes clear that the difference between the prototypes was only significant for the minimum temperatures and in the period in which the prototypes were thermally insulated with 5 cm thickness of glass wool. So, in the majority of the cases presented, the variation between the two techniques did not result in a significant difference at the level of significance of 0,05. However, it is given emphasis to the importance of the study of new constructive systems that show themselves potentially favorable to a higher quality of the buildings associated with the reduction of the impacts caused to the environment.

Keywords: Wood Frame. Thermal performance. Wood constructions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da dimensão das áreas de árvores plantadas no Brasil em 2014	18
Figura 2 – Técnica construtiva em enxaimel	19
Figura 3 – Sistema balão	21
Figura 4 – Sistema plataforma	21
Figura 5 – Residências no sistema viga-pilar: (a) vedação em tábua e mata-junta e (b) edificação pré-fabricada	23
Figura 6 – (a) Edificação em <i>Timber Frame</i> e (b) Edificação em <i>Log House</i>	23
Figura 7 – Edificação em <i>Wood Frame</i>	24
Figura 8 – Residências de alto padrão em Curitiba.....	25
Figura 9 – Tipos de painéis	27
Figura 10 – Vedação e revestimentos para paredes utilizados na técnica 1	30
Figura 11 – Vedação e revestimentos para paredes externas e internas, respectivamente, na técnica 2.....	32
Figura 12 – Princípios de uma habitação sustentável	33
Figura 13 – Planta baixa da estrutura do protótipo com dimensões em cm.....	38
Figura 14 – Estrutura de cobertura: (a) encaixe e fixação da estrutura e (b) detalhe do encaixe	39
Figura 15 – Substituição do material de isolamento térmico: (a) lã de vidro antiga e (b) lã de vidro atual	40
Figura 16 – Revestimento do protótipo: (a) contraventamento com chapas de OSB e (b) revestimento em placa cimentícia e instalação do telhado e da porta	40
Figura 17 – Painéis de paredes.....	42
Figura 18 – Montagem da estrutura: (a) encaixe e posicionamento dos painéis de paredes e (b) fixação com parafusos chumbadores.....	42
Figura 19 – Isolamento térmico em lã de vidro: (a) aplicação nas faces laterais e (b) aplicação no teto do protótipo	42
Figura 20 – Revestimento externo do protótipo: (a) contraventamento em chapas de OSB e (b) revestimento em placas cimentícias.....	43

Figura 21 – Vistas do ponto de implantação das protótipos no campus da UTFPR — Toledo	44
Figura 22 – Instalação dos sensores de chuva e luminosidade: (a) cobertura do protótipo das técnicas brasileiras e (b) cobertura do protótipo da técnica estrangeira	45
Figura 23 – Detalhes dos sensores: (a) chuva e (b) luminosidade.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Série de valores de temperaturas aferidos na amostra A (lã de vidro de aproximadamente 2,5 cm de espessura)	51
Gráfico 2 – Série de valores de temperaturas aferidos na amostra B (lã de vidro de aproximadamente 5 cm de espessura)	52
Gráfico 3 – Temperaturas aferidas na amostra B e presença de chuva	54
Gráfico 4 – Temperaturas aferidas na amostra A e presença de chuva	54
Gráfico 5 – Série de valores de luminosidade aferidas na amostra A (lã de vidro de aproximadamente 2,5 cm de espessura)	55
Gráfico 6 – Série de valores de luminosidade aferidas na amostra B (lã de vidro de aproximadamente 5 cm de espessura)	56
Gráfico 7 – Temperaturas de referência aferidas no ambiente externo — amostra A	60
Gráfico 8 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de Wood Frame construído com a técnica 1 — amostra A.....	61
Gráfico 9 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de Wood Frame construído com a técnica 2 — amostra B.....	61
Gráfico 10 – Temperaturas de referência aferidas no ambiente externo — amostra B	64
Gráfico 11 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de Wood Frame construído com a técnica 1 — amostra B.....	65
Gráfico 12 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de Wood Frame construído com a técnica 2 — amostra B.....	65
Gráfico 13 – Comparação entre os valores de referência das amostras A e B.....	66
Gráfico 14 – Boxplot para as temperaturas máximas da amostra A	73
Gráfico 15 – Boxplot para as temperaturas mínimas da amostra A	75
Gráfico 16 – Boxplot para as temperaturas máximas da amostra B	76
Gráfico 17 – <i>Boxplot</i> para as temperaturas mínimas da amostra B	78
Gráfico 18 – Resumo dos boxplots para as temperaturas máximas e mínimas das amostras A e B.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas e tipos de fixadores para reforço de gesso acartonado	31
Tabela 2 – Temperaturas médias diárias e amplitudes térmicas diárias — amostra A	58
Tabela 3 – Temperaturas extremas diárias — amostra A	59
Tabela 4 – Temperaturas médias diárias e amplitudes térmicas diárias — amostra B	62
Tabela 5 – Temperaturas extremas diárias — amostra B	63
Tabela 6 – Comparação entre os valores de referência das amostras A e B.....	67
Tabela 7 – Horários relativos à coleta dos extremos de temperaturas — amostra A	68
Tabela 8 – Atraso térmico verificado em cada protótipo — amostra A.....	69
Tabela 9 – Horários relativos à coleta dos extremos de temperaturas — amostra B	70
Tabela 10 – Atraso térmico verificado em cada protótipo — amostra B.....	71
Tabela 11 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas máximas da amostra A.....	72
Tabela 12 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas da amostra A.....	72
Tabela 13 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas mínimas da amostra A.....	74
Tabela 14 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas mínimas da amostra A.....	74
Tabela 15 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas máximas da amostra B.....	75
Tabela 16 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas da amostra B.....	76
Tabela 17 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas mínimas da amostra B.....	77
Tabela 18 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas mínimas da amostra B.....	77
Tabela 19 – Resumo dos Valores-P do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas e mínimas de ambas as amostras	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análisis of Variance (Análise de Variância)
Conmetro	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
DATec	Documento de Avaliação Técnica
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
NBR	Norma Brasileira
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA	17
2.1.1 Evolução histórica	19
2.1.2 Sistemas contemporâneos em madeira	22
2.2 O SISTEMA CONSTRUTIVO <i>WOOD FRAME</i>	24
2.2.1 Subsistema estrutural	26
2.2.2 Subsistema de isolamento	27
2.2.3 Subsistemas de vedação e revestimento	28
2.3 SUBSISTEMAS DE VEDAÇÃO — TÉCNICA 1	29
2.4 SUBSISTEMAS DE VEDAÇÃO — TÉCNICA 2	31
2.5 A EFICIÊNCIA DAS HABITAÇÕES	32
2.5.1 Desempenho térmico	34
2.5.2 O custo das edificações	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS	37
3.1.1 Protótipo reduzido de edificação em <i>Wood Frame</i> com subsistema de vedação construído com a técnica 1	37
3.1.2 Protótipo reduzido de edificação em <i>Wood Frame</i> com subsistema de vedação construído com a técnica 2	41
3.2 COLETA DOS DADOS DE TEMPERATURA	43
3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE TEMPERATURA	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 DADOS AFERIDOS	50
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS AFERIDOS	57
4.2.1 Análise das temperaturas médias, extremas e amplitudes térmicas	57
4.2.2 Análise do atraso térmico	67
4.2.3 Análise da variância (ANOVA) e teste de Tukey	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A	89
APÊNDICE B	90
APÊNDICE C	91
APÊNDICE D	92

1 INTRODUÇÃO

Aspectos como conforto térmico e acústico, segurança, resistência a desastres, durabilidade, eficiência, custo e sustentabilidade são alguns dos principais fatores que interferem na qualidade de edificações (POWELL, TILOTTA E MARTINSON, 2008). Por este motivo, a busca por metodologias inovadoras que melhorem as condições dos sistemas das edificações tem grande relevância em relação a qualidade de vida de seus usuários.

Além de estar vinculado com a qualidade das edificações, o avanço tecnológico no ramo da construção civil é imprescindível para o desenvolvimento sócioeconômico das nações. Sob tal enfoque, de acordo com Vendrameto, Fraccari e Botelho (2004), as inovações tecnológicas são responsáveis por promover o avanço e a substituição do conceito “construção” por “montagem”.

O conceito de montagem está associado aos métodos industrializados de construção, em que destacam-se os denominados sistemas de construção a seco. Um destes é o sistema construtivo em madeira *Wood Frame*, que apresenta características como melhor desempenho termoacústico e maior produtividade em relação aos sistemas convencionais comumente empregados no Brasil (SOUZA, 2013).

De acordo com Molina e Calil Junior (2010), em países como Canadá, Estados Unidos, Chile, Japão e Alemanha, o sistema *Wood Frame* de construção é amplamente empregado para residências de pequeno porte. Neste contexto, destaca-se os Estados Unidos, onde, de acordo com Almeida de Araujo et al. (2016), o sistema teve origem a mais de 150 anos e rapidamente tornou-se o sistema construtivo predominante do país para casas.

Enquanto este sistema tem destaque há anos em outros países, no Brasil ele ainda está em processo de inserção. De acordo com autores como Paese (2012) e Espíndola (2010), nota-se que existe certa resistência na evolução e aceitação das construções que utilizam a madeira como estrutura e vedação na cultura brasileira. Isso deve-se, entre outros fatores, à associação do uso deste material a residências de baixa qualidade e conforto ou mesmo para itens provisórios utilizados na construção civil, como nos canteiros de obra (BATISTA, 2007).

Embora no Brasil exista este preconceito em relação ao emprego da madeira

como elemento construtivo, há iniciativas para a introdução do sistema *Wood Frame* como uma alternativa em construções industrializadas para romper esta barreira e comprovar a eficiência deste sistema.

Entre as diversas vantagens que estão atreladas ao sistema *Wood Frame*, encontram-se os aspectos relacionados com a eficiência das edificações e também com as questões ambientais. Nesse âmbito, segundo Souza (2013), destacam-se os seguintes benefícios: obra seca, limpa e sustentável, reduzindo significativamente a produção de resíduos; redução no prazo das obras; bom desempenho térmico e acústico, proporcionando uma maior eficiência energética; leveza da estrutura, diminuindo as cargas transmitidas à fundação; e a flexibilidade dos projetos.

Segundo a Diretriz SINAT nº 005 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017b), este sistema possibilita a construção de edificações com até quatro pavimentos. Apesar deste fator, o sistema torna-se mais econômico para residências de até dois pavimentos (STRICKLIN, SCHIFF e ROSOWSKY, 1996¹ *apud* MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010).

Sendo este um sistema construtivo promissor devido a seus atributos, percebe-se que há espaço no atual mercado, porém é importante que se amplie a busca pelo conhecimento dos melhores métodos para o seu emprego, com o intuito de impulsionar a utilização deste no país por meio da comprovação e divulgação de suas potencialidades.

Em relação à aplicação do sistema, percebe-se uma variação de técnicas construtivas na etapa de vedação das edificações. De acordo com Wrubleski e Laroca (2016) e Canada Mortgage and Housing Corporation (2014), originalmente empregava-se no sistema apenas o revestimento e vedação em *drywall* (gesso acartonado) nas faces internas das edificações. Entretanto, segundo Wrubleski e Laroca (2016) e o DATec nº 020 de 2013 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017a), no Brasil algumas empresas adotam a utilização de uma camada interna composta por placas de OSB (*Oriented Strand Board*) sob o revestimento em gesso acartonado.

Portanto, diante deste contexto torna-se oportuna a realização de estudos para analisar e avaliar o desempenho térmico destas duas diferentes concepções abordadas. O maior aprofundamento desta relação é um quesito importante para um

¹ STRICKLIN, D. L.; SCHIFF, S. D.; ROSOWSKY, D. V. Uplift Capacity of Light- Frame Wood Stud Walls. In: INTERNATIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE, 1996, New Orleans. Proceedings... New Orleans, 1996.

sistema que mostra-se potencialmente favorável à maior qualidade das edificações e que ainda está despertando no país.

1.1 OBJETIVOS

Para sintetizar o propósito da pesquisa, a seguir faz-se o elenco dos objetivos – geral e específicos.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é avaliar comparativamente duas técnicas construtivas da etapa de vedação comumente empregadas no sistema *Wood Frame* em relação ao seu desempenho térmico.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral do estudo foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) efetuar um levantamento bibliográfico de trabalhos e pesquisas que apresentem as diferentes maneiras de emprego do sistema construtivo *Wood Frame* no Brasil e em outros países;
- b) executar protótipos que apliquem as duas manifestações utilizadas pelo sistema *Wood Frame* a serem implantados no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Toledo/PR;
- c) analisar comparativamente os resultados obtidos com o teste experimental de desempenho térmico das duas técnicas estudadas;
- d) avaliar se alguma das duas técnicas construtivas de vedação para o sistema *Wood Frame* a serem analisadas mostra-se mais eficiente termicamente, ou se estatisticamente sua variação não é considerada significativa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Alves (2015), alguns dos quesitos mais procurados por empresas são o aumento da produtividade e a redução dos custos. Porém, elevar a produtividade dos métodos construtivos convencionais brasileiros tem sido um desafio devido ao fato de estes serem ainda bastante artesanais (ALVES, 2015).

É neste contexto que o emprego de novas tecnologias construtivas merecem atenção. Neste sentido, um dos sistemas que está começando a ser utilizado no Brasil é o *Wood Frame*. Esta tecnologia racionalizada de construção a seco possui caráter sustentável, uma vez que a madeira é um material renovável e atua de forma incisiva na captação de gás carbônico da atmosfera (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). O uso da madeira, portanto, minimiza a propagação do efeito estufa, um dos grandes desafios atuais do denominado aquecimento global. Soma-se a esta característica a questão de minimizar a geração de resíduos da construção civil pelo fato da obra ser racionalizada, sendo assim, o processo contribui com o respeito ao ambiente urbano.

Além dos benefícios no tocante às questões ambientais, de acordo com o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014), o sistema *Wood Frame* possui como uma de suas principais características o bom desempenho térmico, fator essencial para o conforto de uma edificação, além de impactar diretamente na eficiência energética da obra. Porém, devido à falta de conhecimento a respeito do funcionamento e das vantagens deste sistema, além da barreira cultural relacionada à utilização da madeira na construção civil, no Brasil este sistema ainda está sendo inserido.

Contudo, como apontam Wrubleski e Laroca (2016), o Brasil é um país com uma evidente vocação florestal e um grande potencial para expandir o mercado de sistemas construtivos que façam uso da madeira como elemento construtivo. Por conseguinte, levando-se em conta os fatores apresentados, esta pesquisa justifica-se, já que estudar e avaliar as práticas que resultem em um melhor conforto térmico das residências tem grande relevância para um sistema que está despontando.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta etapa da pesquisa parte na busca por referências que possam contribuir para maior compreensão a respeito do sistema avaliado, bem como ofertar maior aprofundamento na temática que o envolve.

2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA

Os sistemas construtivos são conjuntos de materiais, elementos e técnicas racionalmente ordenadas para se executar uma edificação. Estes podem ter um processo construtivo classificado, por exemplo, como tradicional, artesanal, racionalizado, pré-fabricado ou industrializado (MARTUCCI, 1990² *apud* KRAMBECK, 2006, p. 25).

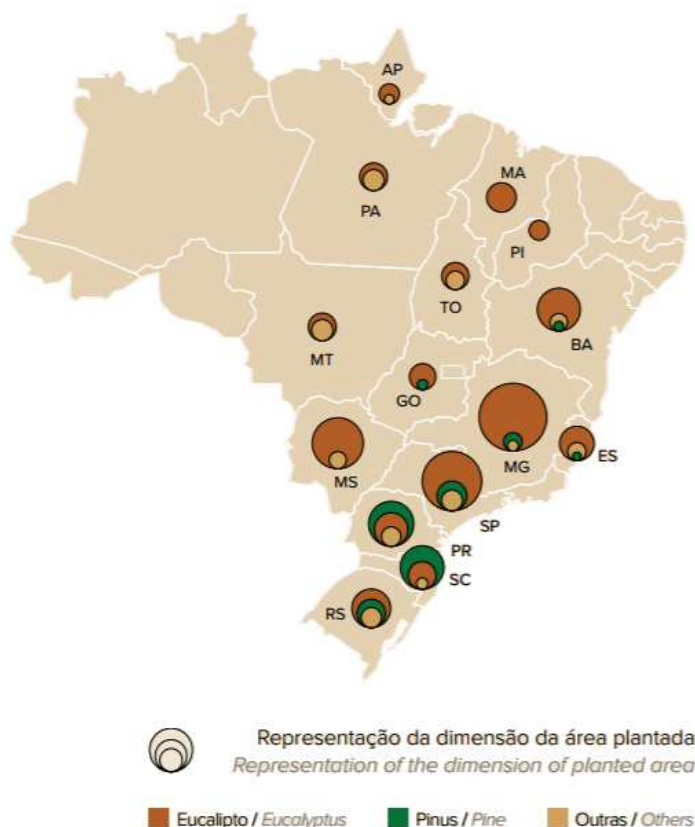
Para Martucci e Basso (2002), estes sistemas construtivos podem ser ainda divididos em subsistemas, definidos de acordo com suas características específicas e funções técnicas em relação ao edifício. Dentre estes subsistemas, o autor exemplifica: subsistema estrutural, de vedações externas e divisórias internas.

No que se refere aos possíveis materiais utilizados em sistemas construtivos, a madeira mostra-se uma alternativa econômica, social, técnica e ambientalmente viável no tocante ao seu emprego no ramo da construção civil (KRAMBECK, 2006). Neste sentido, é oportuno realçar o potencial brasileiro na produção de madeira, em que, de acordo com dados do Anuário estatístico da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015), novamente o Brasil manteve-se liderando o ranking de produtividade florestal em âmbito mundial.

Partindo desta premissa, é importante salientar que, ainda segundo Krambeck (2006), as regiões sul e sudeste brasileiras destacam-se na produção de madeira de floresta plantada. Dessa forma, cabe traçarmos um paralelo com dados mais recentes que apontam estas mesmas regiões como as de destaque em relação a dimensão das áreas plantadas, especialmente dos gêneros *pinus* e *eucalipto* (Figura 1).

² MARTUCCI, Ricardo. Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio? 1990. Tese de Doutorado. São Paulo: FAUUSP.

Figura 1 – Representação da dimensão das áreas de árvores plantadas no Brasil em 2014



Fonte: IBÁ (2015).

Conforme Molina e Calil Junior (2010, p. 145-146), “a madeira é o único material de construção renovável, que demanda baixo consumo energético para produção, e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore”. No entanto, Richter (1998)³ *apud* Barbosa (2003, p. 7) ressalta que não apenas durante o crescimento das árvores, mas também quando utilizadas como material de construção, a vida útil da madeira é prolongada e esta segue contribuindo com a minimização do efeito estufa.

No entanto, em contrapartida às diversas vantagens relacionadas ao emprego da madeira como material construtivo, de acordo com o afirmado recentemente por Paese (2012), Krambeck (2006) e a cerca de 20 anos por Oliveira, Wagner e Grohmann (1997), há uma barreira no que refere-se a utilização desta no país. Ambos autores concordam que este preconceito deve-se a questões culturais, principalmente às associações da madeira a propriedades como baixas durabilidade e qualidade. Porém, como aponta Krambeck (2006), a madeira apresenta alto desempenho técnico

³ RICHTER, Klaus. Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry, ed. springer, empa. Switzerland, p. 119-148, 1998.

quando utilizada corretamente, resultando em habitações seguras, confortáveis e duráveis. Em concordância a este ponto de vista, Moraes e Lima (2009) afirmam que a utilização da madeira na construção é um diferencial em relação a busca por alternativas sustentáveis para um projeto.

2.1.1 Evolução histórica

De acordo com CTBA (1995)⁴ *apud* Krambeck (2006, p. 34), três técnicas adotavam a madeira como material construtivo para habitações no século XV: a alvenaria de pedras com pisos em madeira, a das peças superpostas e a do enxaimel.

No sistema construtivo de alvenaria de pedras com pisos em madeira utilizavam-se troncos de árvore de grandes diâmetros para a execução dos pisos (assoalhos). Enquanto isso, para a técnica das peças superpostas utilizavam-se os troncos roliços superpostos formando as paredes das habitações (CTBA, 1995⁴ *apud* KRAMBECK, 2006, p. 34). Por outro lado, a técnica enxaimel consiste em um esqueleto com peças de madeira, dando forma às paredes e aos pisos, em que preenchem-se os vãos com materiais como alvenaria ou taipa (ESPÍNDOLA, 2010).

Segundo CTBA (1995)⁴ *apud* Krambeck (2006, p. 35), o enxaimel foi a técnica mais difundida no ambiente europeu. A Figura 2 ilustra uma edificação concebida neste sistema construtivo em que a estrutura fica evidente no plano da fachada.

Figura 2 – Técnica construtiva em enxaimel



Fonte: Wittmann (2015).

⁴ CTBA – CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT. Construction à ossature bois: conception et mise em oeuvre. Paris: Eyrolles. 1995. 236 p.

No princípio, como descreve Espíndola (2010), o sistema construtivo enxaimel era concebido com a utilização de peças longas, em que o comprimento das peças que formariam os pilares correspondiam à altura da edificação. Entretanto, devido as dificuldades na execução e no transporte destas grandes peças, a técnica do enxaimel passou a adotar peças curtas – com o comprimento de um pavimento – por volta do século XVI, que também possibilitou a utilização da técnica para vários pavimentos (CTBA, 1995⁴ *apud* KRAMBECK, 2006, p. 36-37).

No entanto, de acordo com Espíndola (2010), o sistema enxaimel – tanto de peças longas quanto curtas – caracterizava-se pela grande seção das peças de madeira, o que dificultava o manuseio e tornavam as obras mais onerosas. É neste contexto que, através da colonização, leva-se a cultura da construção em madeira à América do Norte (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI, 2015).

Porém, a partir do século XIX houve uma evolução na técnica do enxaimel. Na busca pelo uso mais racionalizado da madeira e diante do desenvolvimento industrial crescente na Europa e na América do Norte, reduziram-se as seções das peças de madeira e tornou-se possível a pré-fabricação de elementos estruturais do sistema construtivo (CTBA, 1995⁴ *apud* KRAMBECK, 2006, p. 37). Além disso, passou-se a preencher-se os vãos das paredes com tábuas pregadas nas faces internas e externas da edificação, que contribuía para a rigidez estrutural do conjunto (ABDI, 2015).

Como descreve Szücs (1991)⁵ *apud* Krambeck (2006, p. 38), os sistemas construtivos balão, plataforma e até o viga-pilar surgiram a partir do enxaimel. Conforme Espíndola (2010), criou-se o sistema balão no estilo do enxaimel de peças longas, contudo com peças mais esbeltas (Figura 3). A autora aponta a posterior evolução do sistema balão para o plataforma. Sendo assim, assemelhando-se com o enxaimel de peças curtas, o comprimento das peças do sistema plataforma limita-se à altura de um pavimento, mantendo as seções mais esbeltas (Figura 4).

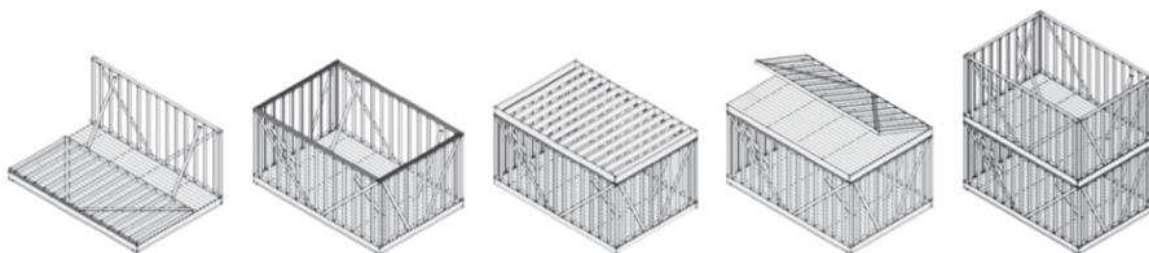
⁵ SZÜCS, Carolina Palermo. Système ouvert de construction em bois pour la Maison populaire, appliqué à une systématique autoconstructive, comme une réponse à la demande d'habitations dans la Région Sud-brésilienne. 1991. Tese (Doutorado em Arquitetura) L'université de Metz, Nancy, França.

Figura 3 – Sistema balão



Fonte: Almeida de Araujo et al. (2016).

Figura 4 – Sistema plataforma



Fonte: Almeida de Araujo et al. (2016).

No caso brasileiro, a técnica do enxaimel está presente em especial na região sul do país e foi propagada por meio dos imigrantes alemães que se apropriaram da mata existente para disseminar esta técnica construtiva de raiz europeia (ABDI, 2015).

Conforme destaca Zani (2013), diferente do sistema enxaimel e em especial no estado do Paraná, advindo da imigração polonesa, inseriu-se na paisagem o sistema tábua e mata-junta:

a arquitetura em madeira foi marcante e predominou nas paisagens paranaenses até metade do século XX, tanto pelas construções em madeira de pinho *araucária angustifolia* no sul, centro sul e oeste, como pelas de peroba rosa *aspidosperma polyneuron* no norte, noroeste e parte do oeste e sudoeste. (ZANI, 2013, p.11)

De acordo com Batista (2007), o sistema de tábua e mata-junta, assim como o enxaimel, também se utiliza de um esqueleto estrutural que é vedado por tábuas de madeira na vertical onde são aplicadas as “mata-juntas”, espécie de ripa que veda os vãos entre as tábuas. Este sistema difere-se do enxaimel por recobrir a estrutura que passa, em alguns casos, a ficar entre os vãos de paredes duplas.

De Igrejas a residências particulares, hospitais e escolas e todos os demais tipos de edificações urbanas foram erigidas com este sistema em que a madeira foi o material primordial. Exemplares desta técnica – tábua e mata-junta – ainda

permanecem íntegros na paisagem do Paraná, agora possuindo o caráter de patrimônio histórico.

Esta breve contextualização permite perceber que a utilização da madeira como material de construção, independente do sistema, configura uma herança cultural que merece ser reinterpretada. O sistema que passa a ser o foco desta pesquisa pode contribuir neste resgate.

2.1.2 Sistemas contemporâneos em madeira

Atualmente, após o consumo de grande parte das reservas de madeira, não só no Brasil mas também no contexto mundial, passou-se a adotar algumas técnicas como forma de evolução dos sistemas tradicionais em madeira. Krambeck (2006) classifica em sua dissertação de mestrado os sistemas contemporâneos em madeira em dois grupos: sistemas em ossatura de madeira e sistema de painéis portantes. Nesta classificação, a autora engloba o sistema viga-pilar e os sistemas balão e plataforma como sistemas em ossatura de madeira. Por outro lado, apresenta os sistemas pré-fabricados em painéis como os sistemas de painéis portantes.

Enquanto isso, de acordo com Paese (2012), os sistemas construtivos em madeira na região de Curitiba-PR são os seguintes: o sistema viga-pilar, *Timber Frame* e *Post and Beam*, *Log House*, e por fim, o *Wood Frame*.

No que diz respeito ao sistema Viga-Pilar, com exemplos ilustrados na Figura 5, Paese (2012) indica que este pode ser compreendido tanto pelas casas de tábuas e mata-junta, conhecido como casa araucária, quanto pelas casas pré-fabricadas, que conforme a autora constituem o sistema de construção em madeira mais empregado no Brasil e em países como Portugal, Angola e Espanha. No entanto, como ressalta Laroca (2001)⁶ *apud* Paese (2012, p. 53), neste sistema há a possibilidade de ocorrer o uso inadequado da madeira devido ao não tratamento desta, caracterizando-se então como um material de baixa resistência contra agentes biodegradantes.

⁶ LAROCCA, C. A madeira como alternativa para a construção de habitações. Revista da madeira. V61. 128p. p88-94. nov, 2001.

Figura 5 – Residências no sistema viga-pilar: (a) vedação em tábuas e mata-junta e (b) edificação pré-fabricada



(a)

(b)

Fonte: Takeuchi (2012) e CM Reforma (2016).

De forma semelhante ao sistema Viga-Pilar, como afirma Paese (2012), o *Timber Frame* e *Post and Beam* são constituídos por peças robustas de madeira, em que parte da estrutura em madeira fica aparente (Figura 6-a). O sistema construtivo *Log House* utiliza-se madeira roliça com encaixes entre as toras na constituição das paredes da edificação (Figura 6-b).

Figura 6 – (a) Edificação em *Timber Frame* e (b) Edificação em *Log House*



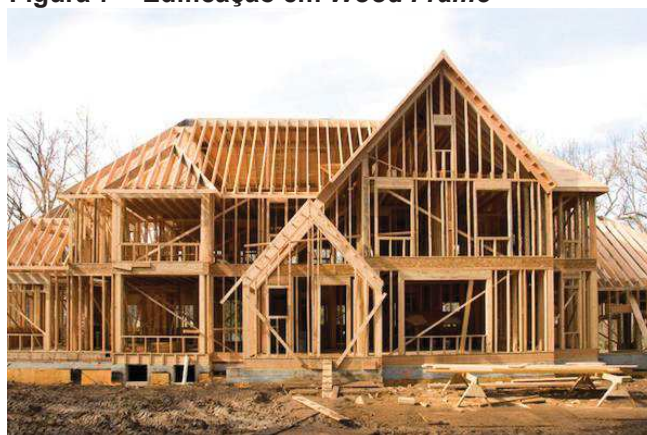
(a)

(b)

Fonte: New Energy Works (s.d.) e Harkins (s.d.).

Por fim, de acordo com ABDI (2015), o *Wood Frame* é um sistema construtivo derivado de evoluções dos sistemas leves em madeira. A respeito deste sistema, Paese (2012) aponta que o *Wood Frame* tem como base uma estrutura de peças de madeira serrada unidas por pinos, parafusos ou pregos metálicos, vedados e contraventados com painéis (Figura 7).

Figura 7 – Edificação em *Wood Frame*



Fonte: Stults (2014).

No tocante a esta tecnologia, Batista (2007) enuncia que, apesar de possuir alto grau de industrialização em países da Europa e da América no Norte, no Brasil não encontraram-se exemplos deste sistema construtivo no período que compreendeu sua pesquisa, com exceção do protótipo Battistella, construído no campus da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

2.2 O SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME*

Define-se um produto inovador em relação aos sistemas construtivos como aquele “que não seja objeto de Norma Brasileira elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Conmetro” (MINISTÉRIO DAS CIDADES – SECRETARIA NACIONAL DA HABITAÇÃO, 2017c, p. 9). No Brasil, a avaliação técnica dos produtos inovadores é responsabilidade do SINAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores (AMANCIO; FABRICIO; MITIDIARI FILHO, 2012).

De acordo com a Diretriz nº SINAT 005 (MINISTERIO DAS CIDADES – SECRETARIA NACIONAL DA HABITAÇÃO, 2017b), o *Wood Frame* é um sistema construtivo estruturado por peças leves de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas. A Diretriz em questão também define que este sistema construtivo pode ser adotado para edificações multifamiliares de até quatro pavimentos.

O sistema *Wood Frame* presente nos Estados Unidos e Canadá tem base a partir das técnicas do sistema plataforma e pode-se empregá-lo de quatro diferentes maneiras, variando-se do processo construtivo mais artesanal para o mais

industrializado: *kits pré-cortados, panelized homes, modular homes e manufactured home* (VELLOSO, 2010).

Como apontam Molina e Calil Junior (2010), os processos construtivos tradicionais estão dando lugar lentamente aos industriais. Neste contexto, a ABDI (2015) atribui ao sistema construtivo *Wood Frame* a capacidade de impulsionar o setor da construção civil e também os derivados dele, como por exemplo o setor ligado à indústria da madeira.

Segundo ABDI (2015), este sistema construtivo adaptou-se para os diferentes padrões de edificações, já tendo sido aplicado de casas populares a casas de alto padrão. A Figura 8 ilustra uma casa de alto padrão construída em Curitiba.

Figura 8 – Residências de alto padrão em Curitiba



Fonte: ABDI (2015).

Além destes aspectos, conhecido como uma opção eficiente energeticamente, o *Wood Frame* é também um sistema de construção a seco com baixo consumo de energia desde o processo produtivo e construtivo até ao longo de sua vida útil (ABDI, 2015). Segundo Molina e Calil Junior (2010, p. 147), quando concebido em ambiente industrial, o *Wood Frame* “reduz significativamente os desperdícios, que são altamente impactantes nos sistemas de construção tradicionais”.

Aqui é importante destacar que, como concluem Molina e Calil Junior (2010), por condições favoráveis e por carecer de alternativas que busquem a sustentabilidade, o Brasil é visto como um mercado promissor para o sistema *Wood Frame*. Neste sentido, os autores enaltecem que

é de fundamental importância a urgente conscientização e educação de engenheiros e arquitetos da necessidade e potencial da utilização deste

sistema construtivo no Brasil para casas e as metas a serem alcançadas para esta finalidade, além da criação de centros de formação de treinamento de mão de obra projetistas e arquitetos. (MOLINA E CALIL JUNIOR, 2010, p. 155)

Stamato e Andrade Junior (2016) citam o crescimento das construções em *Wood Frame* em países como Itália, França e Inglaterra, consequência da busca pela eficiência energética e da preocupação em atingir as metas europeias de redução dos gases do efeito estufa. Como versam os autores, até o final do século XX esses países não apresentavam a cultura construtiva em *Wood Frame*, mas atualmente o sistema construtivo é representado por 10 a 30% das construções.

Sendo assim, buscando-se referenciar a tomada de decisões para a etapa experimental do estudo, mas longe de realizar a abordagem total das referências, na sequência são abordados alguns dos subsistemas do sistema construtivo em questão, possibilitando uma revisão mais específica das técnicas e práticas envolvidas com o sistema.

2.2.1 Subsistema estrutural

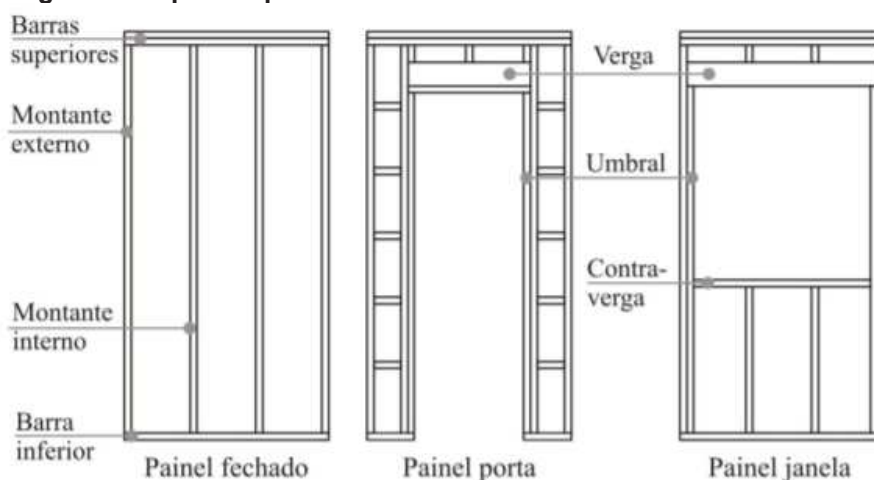
A estrutura das edificações em *Wood Frame* é comumente executada através do processo de montagem de faces (paredes e pisos) compostos por peças de madeira maciça serrada de pequenas dimensões travadas com chapas estruturais, que podem ser chapas de OSB ou de chapas de madeira compensada (ESPÍNDOLA, 2010).

De acordo com Espíndola (2010), montantes e travessas de madeira com comprimento limitado à altura de um pavimento compõem a ossatura das paredes desse sistema construtivo. Segundo a autora, as peças de madeira podem ser ligadas por meio de pregos ou parafusos auto-atarraxantes. Porém, como estabelecem Molina e Calil Junior (2010), os elementos metálicos utilizados na união dos elementos devem ser galvanizados, já que sua vida útil deve ser longa.

Semelhante a este fato, apesar de o tratamento da madeira se restringir ao subsolo nas edificações norte-americanas, no Brasil recomenda-se que qualquer peça de madeira utilizada como elemento constituinte do sistema seja tratada (MOLINA E CALIL JUNIOR, 2010).

Segundo Krambeck (2006), os painéis utilizados na composição das paredes do *Wood Frame* podem ser do tipo fechado (cego), porta ou janela. A Figura 9 ilustra estes diferentes painéis que podem ser utilizados.

Figura 9 – Tipos de painéis



Fonte: Espíndola (2010).

Paese (2012) menciona como dimensão típica dos montantes a seção 2" x 4", o que resulta em aproximadamente 38 x 89 mm, com um espaçamento entre montantes de 40 ou 60 cm. De forma semelhante, Espíndola (2010) cita que o espaçamento entre os montantes pode variar entre 30, 40 ou 60 cm. Enquanto isso, Molina e Calil Junior (2010) versam sobre a possibilidade do dimensionamento das peças de madeira do sistema por meio dos critérios estabelecidos na NBR 7190/1997.

Em relação a fundação que pode ser adotada para este sistema construtivo, Molina e Calil Junior (2010) destacam que ela deve ser concebida em função do tipo de solo e das cargas de projeto. Neste âmbito, conforme ABDI (2015), geralmente a fundação executada é em radier de concreto, devido ao baixo peso das edificações em *Wood Frame*.

2.2.2 Subsistema de isolamento

Aproveitando-se das cavidades formadas entre as peças da ossatura estrutural do sistema construtivo *Wood Frame* e para que se garanta um melhor desempenho térmico do sistema, o que impacta diretamente na eficiência deste, utilizam-se materiais isolantes térmicos. Estes materiais caracterizam-se por apresentar baixa condutividade térmica e, em alguns casos, acústica, implicando na

redução das trocas de calor e da transmissão de ruídos. Neste sentido, a Diretriz SINAT nº 005 ((MINISTÉRIO DAS CIDADES – SECRETARIA NACIONAL DA HABITAÇÃO, 2017b) indica que os materiais isolantes térmicos devem apresentar condutividade térmica igual ou inferior a 0,06 W/m°C e resistência térmica igual ou superior a 0,5 m²K/W.

De acordo com Wacker (2010), os materiais mais comumente utilizados como isolamento e preenchimento de cavidades são a lã de vidro, a lã mineral (lã de rocha), a fibra de celulose e as espumas expansivas. Enquanto que ABDI (2015) aponta apenas as lãs de vidro e de rocha como as mais empregadas em sistemas de isolamento. Segundo ABDI (2015), devido ao avanço tecnológico, é mensurável a real necessidade do subsistema de isolamento e a espessura do material isolante a ser usado para o sistema.

Thallon (2008) afirma que o isolamento pode variar com o clima da região e com o tipo de cobertura da edificação. O autor comenta que, por serem mais finas, as espumas expansivas são mais práticas, contudo mais caras que as lãs de vidro e de rocha.

Em relação às lãs de vidro e de rocha, o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014) afirma que deve-se ter o cuidado de evitar o contato destas com água, o que pode danificá-las e suas propriedades serem perdidas. Ainda sobre estes isolantes, Thallon (2008) comenta que as lãs são adotadas com mais frequência para climas frios.

2.2.3 Subsistemas de vedação e revestimento

Nos subsistemas de vedação e revestimento, a função dos painéis de OSB ou dos compensados de madeira é o contraventamento e a vedação das paredes do sistema. Se forem utilizadas placas de OSB, é importante destacar que estas podem ser fixadas tanto horizontal quanto verticalmente, uma vez que são fabricadas para que sua orientação não interfira no seu desempenho estrutural.

Adriazola (2008) conclui que os painéis OSB destacaram-se como os mais eficientes, juntamente com os painéis *Wall* (de Eternit), no desempenho térmico após testes experimentais com outros três tipos de painéis de madeira para habitações de interesse social: painel *Wall* (de Eternit), de aglomerados e de compensados.

Para o revestimento sobre as chapas de OSB, no entanto, há várias opções.

Segundo Paese (2012) podem ser utilizadas placas cimentícias tanto no revestimento externo quanto interno e *drywall* (gesso acartonado) apenas nas faces internas. Ambos os revestimentos em placas cimentícias e gesso acartonado resultam em um acabamento muito semelhante ao sistema convencionalmente utilizado, em que a estrutura é de concreto armado com vedação em alvenaria.

Por outro lado, Krambeck (2006) cita a possibilidade de execução do revestimento do sistema por tábuas de madeira fixadas horizontalmente nas faces externas da edificação. Enquanto que, Molina e Calil Junior (2010) descrevem sobre a utilização de *sidings* como revestimento para as faces externas, que podem ser de diferentes materiais como aço, PVC ou madeira.

De acordo com ABDI (2015), quando da utilização do gesso acartonado nas faces internas das edificação, deve atentar-se às dimensões especificadas por normas e aos três tipos de placas de gesso disponíveis no mercado: a Standard (ST), que é a placa padrão; a Resistente à Umidade (RU); e a Resistente ao Fogo (RF).

Apesar de haver opções a respeito da escolha dos revestimentos externos e internos para o sistema construtivo *Wood Frame*, há uma variação entre as técnicas de vedação das edificações neste sistema, sendo que a comparação entre as duas técnicas de vedação abordadas é o foco desta pesquisa. Para facilitar o entendimento e a apresentação dos dados ao longo do trabalho, as duas técnicas de vedação abordadas serão denominadas como técnica 1 e técnica 2, e suas diferenças e semelhanças serão esclarecidas a seguir.

2.3 SUBSISTEMAS DE VEDAÇÃO — TÉCNICA 1

Como apresentado anteriormente, há uma divergência entre os sistemas de vedação aplicados por diferentes empresas no Brasil. Algumas das empresas atuantes em território brasileiro adotam fechamento e contraventamento com chapas de OSB em ambas as faces de todos os painéis constituintes da edificação, enquanto outras, como aponta Stamato e Andrade Junior (2016), executam a técnica construtiva mais semelhante a alguns países europeus ou ao território norte americano.

A primeira técnica de vedação estudada, que será apresentada como técnica 1, é abordada por alguns autores e publicações, como Thallon (2008), o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014) e Wrubleski e Laroca (2016). Segundo tais fontes, originalmente emprega-se o revestimento das faces externas da residência –

aquelas em contato com o ambiente externo – com chapas de OSB, seguidas de revestimento como sidings ou placas cimentíceas. Enquanto isso, revestem-se todas as demais faces das paredes da edificação apenas com gesso acartonado.

Em pesquisa desenvolvida por Wrubleski e Laroca (2016), efetuou-se uma análise comparativa entre as técnicas construtivas adotadas nos sistemas *Wood Frame* em Curitiba/PR e Auckland (Zova Zelândia). Como afirmam as autoras, o sistema de vedação de Auckland mostra-se mais leve em relação ao de Curitiba, devido a inexistência das chapas de OSB no fechamento interno das edificações. No entanto, como já citado, Wrubleski e Laroca (2016) confirmam que ambas as técnicas estão inseridas por diferentes empresas no Brasil, e recomendam que o sistema *Wood Frame* deve atender, ao final, a questão da leveza da estrutura.

A Figura 10, na sequência, apresenta a técnica de vedação e revestimento comumente empregada em países como Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia, além de ser utilizada por empresas brasileiras como registrado por Stamato e Andrade Junior (2016).

Figura 10 – Vedação e revestimentos para paredes utilizados na técnica 1



Fonte: Adaptado de Building Science Corporation (2014).

É importante destacar, entretanto, que o cerne desta pesquisa não é a comparação entre as empresas, e sim entre as duas técnicas estudadas, fato pelo qual o nome das variadas empresas não serão citadas no decorrer do trabalho.

Segundo o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014), o gesso acartonado é a técnica de vedação interna das paredes mais comumente utilizada nas casas canadenses. O autor destaca algumas vantagens do material, como uma

superfície lisa, capaz de receber pintura e com grau de resistência ao fogo para proteção da estrutura de madeira.

No entanto, de acordo com a LP Building Products (2014) é necessário o reforço das paredes que receberão certos elementos fixados sobre o gesso acartonado. Na sequência encontra-se a Tabela 1, que corresponde às cargas e tipos de fixadores que devem ser usados para reforço de gesso acartonado dependendo do elemento que está causando um esforço sobre a parede.

Tabela 1 – Cargas e tipos de fixadores para reforço de gesso acartonado

Fixação de carga	Ação sobre a parede	Distância de elemento de fixação	Exemplo de elemento	Espessura OSB/carga máxima	Tipo de fixador
Em reforço de chapas de LP OSB	Esforço de cisalhamento	Rente à parede	Quadros e espelhos pesados	9,5 mm/15 kg	Parafuso para madeira 40 mm
		7,5 cm	Toalheiro e suporte para extintor de incêndio	9,5 mm/ 30 kg	Parafuso para madeira 40 mm
		30 cm	Prateleira, suporte de vaso para flores e armário pequeno	9,5 mm/20 kg	Parafuso para madeira 40 mm
	Esforço de momento	30 cm a 60 cm	Armário de cozinha, suporte para TV, bancada de cozinha e de banheiro e tanque com coluna	9,5 mm /50 kg	Parafuso para madeira 40 mm
				9,5 mm/ 60 kg	Parafuso para madeira 40 mm
			11,1 mm/65 kg	Parafuso para madeira 40 mm	
	até 60 cm	Casos especiais até 70 kg	11,1 mm/70 kg	Buchas especiais Toggler Bolt	

Fonte: LP Building Products (2014).

Sendo assim, nota-se a importância de um planejamento e de compatibilizações para um bom projeto *em Wood Frame*, prevendo possíveis reforços e buscando garantir uma eficiência do sistema como um todo.

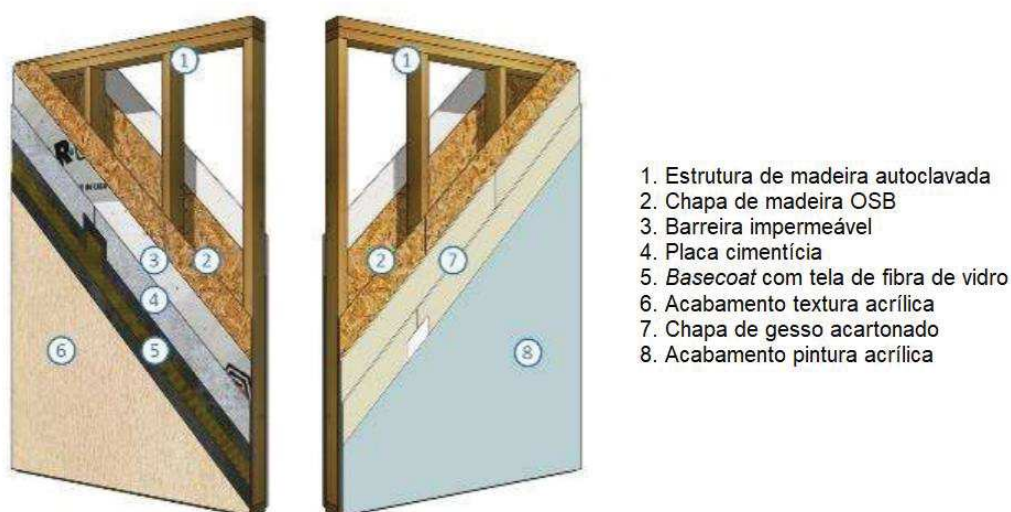
2.4 SUBSISTEMAS DE VEDAÇÃO — TÉCNICA 2

A segunda técnica de vedação, que será abordada como técnica 2, consiste na solução em que o fechamento e contraventamento com chapas de OSB é aplicado

em ambas as faces de todos os painéis constituintes da edificação, técnica apresentada no DATec nº 020 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017a).

Segundo Stamato e Andrade Junior (2016), o que tornou viável as construções em larga escala no sistema construtivo *Wood Frame* no Brasil foi o fato de a empresa TECVERDE Engenharia conseguir o primeiro DATec para construções em *Wood Frame*, o DATec nº 020 em 2013.

Figura 11 – Vedação e revestimentos para paredes externas e internas, respectivamente, na técnica 2



1. Estrutura de madeira autoclavada
2. Chapa de madeira OSB
3. Barreira impermeável
4. Placa cimentícia
5. Basecoat com tela de fibra de vidro
6. Acabamento textura acrílica
7. Chapa de gesso acartonado
8. Acabamento pintura acrílica

Fonte: Ministério das Cidades (2017a).

A Figura 11 apresenta os sistemas de vedação e revestimentos apresentados no DATec nº 020 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017a). Na imagem pode-se perceber as duas chapas – externa e interna – que revestem a estrutura em madeira bem como as camadas de revestimentos de acabamento.

2.5 A EFICIÊNCIA DAS HABITAÇÕES

Algumas análises e tomadas de decisão devem ser feitas na busca por um projeto que apresente um bom desempenho em vários aspectos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para impor critérios de desempenho relacionados aos sistemas de vedação internos e externos para edificações habitacionais há a NBR 15575-4/2003 (ABNT, 2003). Esta norma brasileira prescreve critérios para avaliação de desempenho, segurança contra incêndio, estanqueidade do sistema, desempenho térmico, acústico

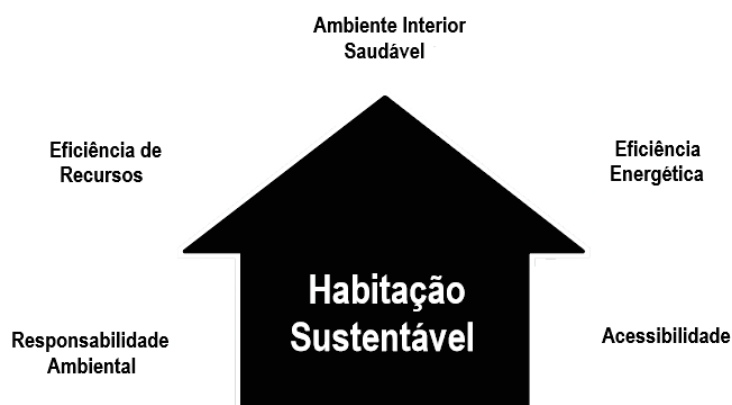
e lumínico, durabilidade e manutenibilidade, entre outros. Entretanto, Krambeck (2006) aponta que grande parte dos projetos brasileiros dão prioridade ao custo da habitação ao invés de sua qualidade.

É inegável, porém, ressaltar que as edificações devem atender a novos requisitos como a eficiência energética, em que devem ser atendidas não somente as exigências referentes ao conforto humano mas também contribuir para a minimização dos impactos ambientais (BORGES, 2008). Dessarte, Cardoso e Ascenso (2017) concordam que há a necessidade de bons projetistas, além de sistemas construtivos certificados e adaptados à realidade do país.

Surge, então, a arquitetura denominada de bioclimática e o conceito de casa passiva. Segundo Cardoso e Ascenso (2017), estas premissas valorizam a questão de estratégias projetuais, que tem como base a busca por excelentes sistemas de isolamento térmico – garantindo a manutenção do calor desejado no interior da residência e do indesejado no exterior desta - e de ventilação.

Sob este enfoque, destacam-se os cinco princípios para uma habitação sustentável de acordo com o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014), ilustrados na Figura 12, a seguir.

Figura 12 – Princípios de uma habitação sustentável



Fonte: Adaptado de Canada Mortgage and Housing Corporation (2014).

Nota-se, assim, a importância da valorização dos princípios para uma habitação sustentável, aliada à busca pela redução dos custos, que da mesma maneira mostra-se um fator imprescindível na tomada de decisões para a construção de determinada residência. Nesta linha de raciocínio, de acordo com Krambeck (2006), é possível buscar alternativas que possibilitem o conjunto dos fatores custo e qualidade ao mesmo tempo.

2.5.1 Desempenho térmico

A escolha dos materiais de construção que irão compor um ambiente deve ser bem estudada e analisada para que se evitem ganhos térmicos excessivos e obtenham-se melhores condições de desempenho térmico interior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Neste ponto de vista, segundo Stamato e Andrade Junior (2016) uma habitação deve cumprir as exigências de desempenho térmico de acordo com a zona bioclimática brasileira em que está situada, definida na ABNT NBR 15220-3/2003. Neste sentido, de acordo com SINAT nº 005 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017b) a condição climática da região em que a edificação será implantada deve ser levada em conta na avaliação do desempenho térmico de construções em *Wood Frame*.

A NBR 15220-3/2003 (ABNT, 2003) aponta os valores de transmitância térmica de referência para alguns sistemas de vedação com o campo de aplicação em habitações de interesse social com até três pavimentos. Contudo, dentre os sistemas abordados na NBR 15220-3/2003 encontram-se apenas o sistema em alvenaria e o de paredes em concreto. Logo, nota-se a ausência da avaliação por meio de normas técnicas brasileiras para o sistema *Wood Frame*.

Krüger e Laroca (2009) apontam, em um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho térmico de protótipos de baixo custo em madeira de reflorestamento com painéis portantes, que, para a cidade de Canoinhas-SC e durante um período do verão, o protótipo realizado caracterizou-se por 100% de conforto térmico e 80% de aceitabilidade. No mesmo estudo ainda, os autores detectaram por meio de simulações que, com alguma melhoria no sistema construtivo, como uso de material isolante, este sistema pode apresentar excelentes desempenhos térmicos também para as capitais do Sul do Brasil.

Dessa maneira, é importante estudar e investir na busca pela melhoria das condições de conforto térmico das edificações. A isso deve-se aliar à sustentabilidade do sistema construtivo e garantir a eficiência energética da habitação, associando uma melhor qualidade com um custo reduzido.

2.5.2 O custo das edificações

Souza (2013) analisou comparativamente os custos de projeto, material e mão de obra para a construção de uma residência de 51 m² em três diferentes sistemas construtivos: alvenaria, madeira de lei e *Wood Frame*. No estudo observou-se que o custo da residência em *Wood Frame* resultou no menor dos três sistemas, onde a edificação em alvenaria e a de madeira de lei apresentaram um custo superior, respectivamente, em 12,5% e 13,6%.

Além da redução nos custos da edificação e mostrando-se um fator que interfere diretamente nos custos, de acordo com ABDI (2015), a construção em *Wood Frame* reduziu em seis vezes o prazo de produção de um residencial com 270 sobrados e dez casas térreas em relação à construção convencional.

Neste contexto, é importante ressaltar que ao se analisar o custo de uma edificação deve-se atentar ao conceito de curva ABC de insumos. Segundo Muller (2016), esta é uma ferramenta utilizada para que se consiga uma obra mais econômica, uma vez que possibilita a identificação dos serviços que impactam no maior peso econômico numa obra a partir da ordenação dos insumos em ordem decrescente de custos.

A classificação da curva ABC se dá em três classes, como descrevem Pozzobon e Miron (2008):

- Classe A: alto valor de demanda, tendo seus custos totais equivalentes a que 50% do custo da obra;
- Classe B: valor intermediário de demanda, que representam aproximadamente 30% do custo da obra;
- Classe C: baixo valor de demanda, que representa em torno de 20% do custo total da obra.

Sendo assim, o maior controle e planejamento dos insumos que encontram-se na classe A da curva ABC pode acarretar na minimização dos custos da obra. Neste sentido, como afirma Mascaró (1995), as paredes ou planos verticais podem chegar a representar 45% do custo de uma edificação. Segundo o autor, este percentual irá variar dependendo da escolha dos materiais, sistemas construtivos e do tamanho e forma dos compartimentos.

Pode-se concluir, portanto, que os subsistemas que compõem os planos verticais possuem uma contribuição bastante significativa no custo de uma edificação.

O investimento na redução de custos desta etapa construtiva mostra a sua relevância, uma vez que impacta diretamente nos custos de uma residência. Sendo assim, o estudo das duas técnicas abordadas tem significância neste quesito também, já que uma das técnicas apresenta menor custo que a outra.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa consiste na avaliação do desempenho térmico de duas técnicas de vedação comumente empregados no sistema de construção *Wood Frame*. A primeira, segundo estudos, adotada por algumas empresas brasileiras, em que a vedação interna é realizada apenas com gesso acartonado, dispensando a utilização interna das chapas de OSB. Por outro lado, a outra técnica utiliza estes dois elementos associados na vedação e revestimento do interior das habitações.

O procedimento de avaliação do conforto térmico proporcionado pelas edificações nas duas técnicas de vedação estudadas baseia-se em testes experimentais em protótipos reduzidos. Nos protótipos, a coleta dos dados de temperatura foi efetuada em três pontos, um no interior de cada modelo reduzido e outro em um ponto externo, tornando possível aferir a variação entre a temperatura no meio ambiente e no interior de cada protótipo construído.

Aqui é importante destacar que, ao longo da execução, optou-se por adicionar uma camada extra de lã de vidro às faces dos dois protótipos para analisar a variação que esta diferença de espessura causaria nas análises e avaliação dos dois modelos.

A seguir serão descritas as etapas da execução de cada protótipo.

3.1 EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Os protótipos foram implantados no campus da UTFPR situado na cidade de Toledo/PR, localizada no oeste paranaense. O ambiente de estudo é definido pelas seguintes coordenadas: 24° 43' 59,59" S de latitude, 53° 45' 49,20" W de longitude e 572 m de altitude.

3.1.1 Protótipo reduzido de edificação em *Wood Frame* com subsistema de vedação construído com a técnica 1

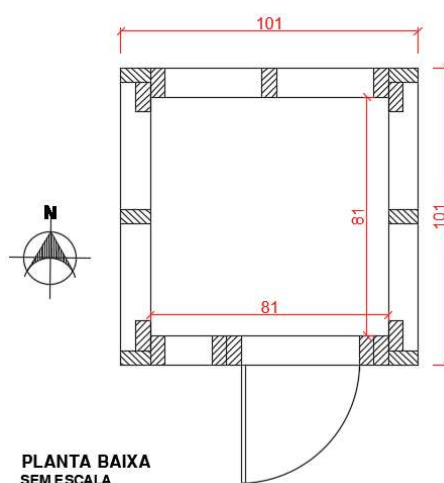
Visando a realização do estudo empírico e para possibilitar o reuso, a pesquisa fez uso de um protótipo já existente no campus Toledo da UTFPR. Este foi objeto de estudo do acadêmico Igor Andre Albino Koakoski, o qual investigou, em um teste experimental com protótipos, o desempenho térmico do sistema *Wood Frame* frente às construções em alvenaria.

Apesar de ter sido construído com uma das técnicas de vedação estudadas nesta pesquisa, o protótipo já edificado foi submetido a uma reforma em razão da necessidade de substituição de alguns dos materiais constituintes da construção que tiveram contato com umidade e acabaram sendo danificados. A provável causa de tal deterioração foi a falta de impermeabilização entre a base de concreto e as peças de madeira que formam a base de cada painel.

Neste protótipo, característico da técnica 1, a vedação e revestimento interno é composto apenas por placas de gesso acartonado (*drywall*), o que representa características que de acordo com pesquisas correspondem à técnica empregada comumente em países como Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia. As dimensões adotadas para a construção da ossatura estrutural do modelo encontram-se detalhadas nas plantas baixas e elevações contidas no Apêndice A, enquanto as especificações e dimensões das camadas de vedação, revestimento e isolamento do protótipo encontram-se no Apêndice B.

Dando início a execução da construção, foram mecanicamente serradas peças em madeira do gênero *pinus*, constituindo a estrutura do protótipo: montantes, montantes adicionais, umbrais, verga e soleiras. Esta ossatura foi montada de maneira em que os montantes adicionais se encontrassem posicionados paralelamente às paredes, fator este que segundo Thallon (2008) não prejudica a instalação do material termicamente isolante e dispensa o uso de acessórios adicionais na fixação do revestimento interno — gesso acartonado. Dessa forma, ilustra-se na Figura 13 a planta baixa da ossatura com as dimensões adotadas.

Figura 13 – Planta baixa da estrutura do protótipo com dimensões em cm



Fonte: Autoria própria.

Após a confecção das peças de madeira serradas nas dimensões requeridas, utilizaram-se ferramentas de corte com disco para cortar as placas de revestimento e vedação das paredes de acordo com as dimensões de projeto. Na sequência, uniram-se as peças de madeira com o auxílio de pregos metálicos, formando os quatro planos das paredes individualmente. Fixaram-se as placas de revestimento interno em gesso acartonado aos painéis e estes foram transportados ao local de instalação.

Os painéis, após corretamente posicionados, foram fixados a um contrapiso de concreto por meio de parafusos chumbadores de dez mm de diâmetro. A estrutura do telhado, por sua vez, foi gerada a partir de peças serradas de madeira, compondo quatro testeiras locadas paralelamente às faces das paredes do modelo e por três terças dotadas de entalhes para o apoio da estrutura na face correspondente a direção do caimento do telhado. As mesmas foram apoiadas sobre montantes de empena na face oposta a direção do caimento do telhado.

Na Figura 14, a seguir, observa-se o perfeito encaixe entre a estrutura da cobertura e as chapas de revestimento externos do protótipo, mostrando que o sistema estudado permite um controle milimétrico das dimensões dos elementos.

Figura 14 – Estrutura de cobertura: (a) encaixe e fixação da estrutura e (b) detalhe do encaixe



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, um item que houve a necessidade da substituição na reforma foi o material de isolamento térmico que o protótipo apresentava. A troca foi efetuada como indicado na Figura 15, devido a basicamente dois fatores: a não comercialização da lã de vidro antiga do modelo edificada nos comércios da cidade no período de construção do novo protótipo; e a possibilidade de a umidade ascendente por capilaridade ter entrado em contato com o material antigo e ter lhe causado danos que comprometeriam a veracidade dos resultados obtidos.

Sendo assim, nesta etapa de isolamento térmico, aplicou-se às paredes e à cobertura uma camada de aproximadamente 2,5 cm do material de isolamento térmico adotado, a lã de vidro. A aplicação do material foi feita de modo a cobrir completamente toda a superfície do revestimento interno aparente.

Consecutivamente ao isolamento interno com lã de vidro, fixaram-se as chapas de OSB externas, conforme mostra a Figura 16(a), cuja finalidade é o contraventamento da estrutura. Na sequência, revestiu-se o exterior da construção com placas cimentícias, fixando-as com parafusos e aplicando-se rejunte especial entre as juntas das placas. Por fim, a cobertura em telha de fibrocimento e a porta do protótipo foram instaladas, constituindo, juntamente com as placas cimentícias, a proteção superficial do protótipo como mostra a Figura 16(b).

Figura 15 – Substituição do material de isolamento térmico: (a) lã de vidro antiga e (b) lã de vidro atual



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Revestimento do protótipo: (a) contraventamento com chapas de OSB e (b) revestimento em placa cimentícia e instalação do telhado e da porta



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

É importante citar aqui que não houve a aplicação da devida camada de membrana hidrófuga sobre as placas de OSB externas, já que tal aplicação elevaria altamente o custo de implantação do protótipo e não interferiria na aferição das temperaturas, uma vez que é curto o período experimental. Porém, de acordo com o Canada Mortgage and Housing Corporation (2014) e o DATec nº 020 de 2013, é indispensável a aplicação da camada impermeável a uma construção real no sistema para o aumento da vida útil da mesma.

Nesta etapa é importante destacar também que adotou-se a espessura 12,5 mm para as chapas internas de gesso acartonado, já que, segundo Drywall (2006), esta é a espessura mínima para *drywall* quando colocada uma única camada em cada face.

3.1.2 Protótipo reduzido de edificação em *Wood Frame* com subsistema de vedação construído com a técnica 2

A estrutura do protótipo representante da técnica 2 foi construída tendo-se como base as dimensões especificados no Apêndice A, resultando nas mesmas dimensões do protótipo característico da técnica 1, para possibilitar a correta comparação entre as duas técnicas e a validação dos resultados obtidos com a pesquisa.

Este modelo reduzido, baseado na técnica apresentada no DATec nº 020 de 2013, foi construído semelhantemente às características do protótipo anteriormente descrito. A diferença resume-se apenas a vedação interna, que agora é constituída não apenas do gesso acartonado, mas também de placas de OSB. O projeto contendo as dimensões e especificações das camadas de vedação, revestimento e isolamento encontra-se no Apêndice C.

Na etapa inicial da execução, as estruturas dos painéis foram montadas uma a uma. Logo em seguida, fixaram-se as placas de vedação interna em OSB aos painéis e, sobre estas, as chapas de gesso acartonado. Deu-se, então, o transporte dos painéis de paredes ao local de instalação, como indicado na Figura 17, posteriormente montados e fixados com parafusos chumbadores à base de concreto escolhida para a implantação (Figura 18).

Na sequência, efetivaram-se as etapas de isolamento térmico em lã de vidro de 2,5 cm de espessura e o revestimento externo do protótipo da mesma forma que

realizado com o protótipo característico da técnica 1, etapas respectivamente ilustradas nas Figuras 19 e 20.

Figura 17 – Painéis de paredes



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 – Montagem da estrutura: (a) encaixe e posicionamento dos painéis de paredes e (b) fixação com parafusos chumbadores



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Isolamento térmico em lã de vidro: (a) aplicação nas faces laterais e (b) aplicação no teto do protótipo



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 20 – Revestimento externo do protótipo: (a) contraventamento em chapas de OSB e (b) revestimento em placas cimentícias



(a)

(b)

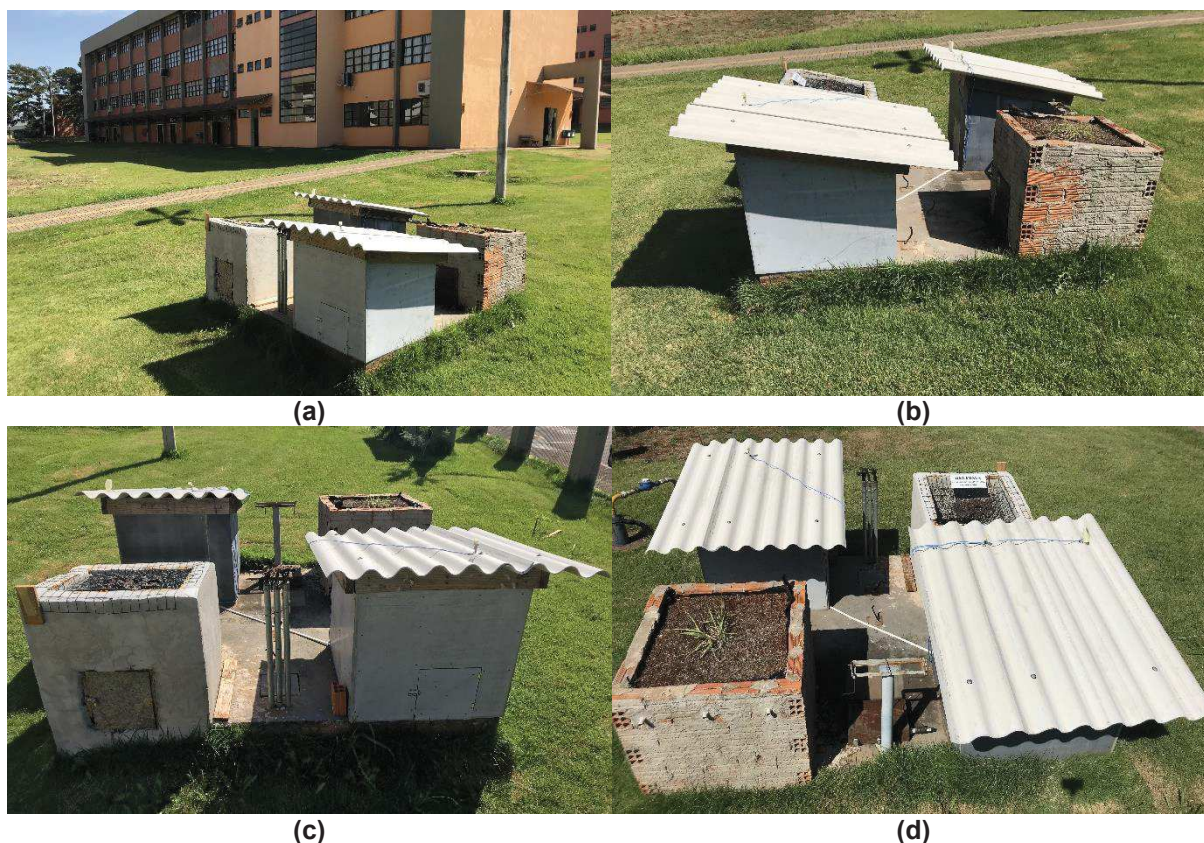
Fonte: Autoria própria.

Ressalta-se aqui que, após um período considerado suficiente de amostragem de temperaturas, o protótipo foi desmontado e houve o incremento de uma camada de lã de vidro em ambos os protótipos reduzidos, totalizando 5 cm do material isolante. Tal escolha deu-se após a observação dos dados coletados, para se obter uma análise mais aprofundada da relação entre a espessura do material isolante sobre a comparação entre as duas técnicas de construção em *Wood Frame*.

3.2 COLETA DOS DADOS DE TEMPERATURA

A partir do término da construção dos dois protótipos possibilitou-se o início do teste experimental. Entretanto, antes de descrever a metodologia da coleta dos dados, é importante expor o ponto de instalação dos modelos reduzidos construídos. Como mostra a Figura 21, os protótipos foram posicionados na mesma direção, na qual a face da porta encontra-se posicionada para o sentido sul.

Os protótipos foram instalados distantes um do outro por cerca de um metro diagonalmente. Além disto, é importante destacar que em nenhum momento do dia a sombra de outro protótipo construído sobre a mesma base de concreto alcança os dois protótipos deste estudo.

Figura 21 – Vistas do ponto de implantação das protótipos no campus da UTFPR — Toledo

Fonte: Autoria própria.

O período de coleta dos dados é composto por dois intervalos de tempo dentre os meses de fevereiro, março e abril de 2018. O primeiro intervalo, que teve início em 22 de fevereiro e fim em 15 de março, integrando 22 dias, diz respeito ao período de aferição em que a espessura do material isolante térmico dos protótipos era de cerca de 2,5 cm. Posteriormente, realizou-se o incremento do mesmo material, passando a compreender uma espessura de 5 cm e com início e fim das medições, respectivamente, em 22 de março e 12 de abril, totalizando também uma amostra de 22 dias.

O intervalo de seis dias entre as amostras, relativo ao intervalo dos dias 16 de março a 21 de março, ocorreu para possibilitar o desmonte dos dois protótipos, a inserção de uma camada extra de isolamento no interior das suas faces, a remontagem destes e a estabilização das temperaturas interiores de ambos.

As amostras são compostas por dados gerados por sensores de temperatura, chuva e luminosidade, aferidos e registrados a cada 10 minutos e 7 segundos, resultando em 3132 leituras durante o primeiro intervalo de tempo e 3121 leituras

durante o segundo, variação decorrente das idas a campo para o armazenamento dos dados periodicamente.

Para a coleta dos dados empregou-se um sistema programado em uma plataforma *Open Hardware*, em que se utilizou uma Placa Arduino Nano V3, composta por um microcontrolador Atmel ATmega328p e por pinagem utilizada para conexão com os seguintes sensores eletrônicos:

- a) três sensores de temperatura modelo LM35, utilizados no modo alta precisão e que são capazes de aferir temperaturas entre 0 °C e 110 °C;
- b) um sensor de chuva modelo YL-83, que indica quando está ocorrendo ou não o fenômeno;
- c) e dois sensores de luminosidade modelo LDR 5mm, utilizados para aferir a incidência de luminosidade sobre os dois protótipos, com a banda espectral variando de zero, que significa uma fonte próxima incidindo luz diretamente sobre o sensor, a 1023 (adimensional), que significa escuridão total.

Os sensores de temperatura foram instalados no centro geométrico do interior de cada um dos protótipos e um deles em ambiente externo, protegido da chuva mas sujeito diretamente às variações térmicas da região. Enquanto isso, o sensor de chuva foi instalado fixo ao telhado do protótipo característico da técnica 1. Os sensores de luminosidade foram também fixados acima do telhado de cada um dos protótipos para captar a variação de incidência luminosa sobre cada um deles.

Os detalhes da instalação e locação dos sensores de chuva e luminosidade encontram-se nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Instalação dos sensores de chuva e luminosidade: (a) cobertura do protótipo das técnicas brasileiras e (b) cobertura do protótipo da técnica estrangeira



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Detalhes dos sensores: (a) chuva e (b) luminosidade



Fonte: Autoria própria.

Atuando juntamente aos sensores, utilizou-se também um acessório de alta precisão de data e hora, o *Real Time Clock* RTC DS3231, e uma unidade de cartão micro SD para gravar e armazenar os dados provenientes das leituras.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE TEMPERATURA

Os dados coletados, conjuntamente nas duas amostras que serão analisadas, constituem mais de 37500 leituras: cerca de 18750 leituras de temperatura, 12500 leituras de luminosidade e 6250 leituras de presença de chuva. O tamanho amostral foi determinado considerando-se que quanto maior o tamanho da amostra há uma tendência à redução dos erros amostrais.

Com as amostras em mãos, foram realizados testes estatísticos com a finalidade de analisar os dados mais a fundo e encontrar a significância do ponto de vista estatístico relativa à variação das técnicas de vedação chamadas neste trabalho de técnicas 1 e 2.

A princípio, efetuou-se uma análise exploratória dos dados coletados, tendo como foco a comparação entre as médias, os extremos (temperaturas máximas e mínimas), as amplitudes térmicas e atrasos térmicos observados diariamente. Sendo assim, através de tabelas e gráficos expuseram-se os dados, facilitando a análise e comparação destes.

Aqui é importante entender o atraso térmico, elemento importante na verificação da inércia térmica de uma edificação. Tal conceito é basicamente a diferença horária decorrida entre o acontecimento das temperaturas extremas aferidas no ambiente externo e as temperaturas extremas obtidas em cada um dos protótipos

da pesquisa, tanto para as temperaturas máximas quanto mínimas diárias. Porém, ressalta-se aqui que o atraso térmico não retorna valores negativos, sendo assim, nos casos em que as temperaturas extremas forem atingidas antes nos protótipos do que no ambiente externo, o atraso térmico é considerado nulo.

Por fim, aplicaram-se testes de hipóteses aos dados amostrais, realizando-se testes de análise de variância e comparação de médias dos dados, permitindo a avaliação dos resultados e a determinação da significância da variação entre as temperaturas aferidas nos protótipos.

Os testes aplicados aos dados foram ANOVA — *Analysis of Variance*, em inglês, ou Análise de Variância, em português — de fator único e o teste de Tukey. Optou-se por aplicar tais testes estatísticos sobre as séries de temperaturas máximas e mínimas diárias, podendo, dessa forma, avaliar qualitativamente os resultados obtidos com os testes.

Aplicou-se, inicialmente, a ANOVA sobre as séries de dados. Sendo assim, estabeleceram-se as hipóteses nula e alternativa, componentes do teste de hipóteses que será verificado com a aplicação da análise de variância. As hipóteses da análise estão descritas abaixo.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_{i'} \text{ para pelo menos um par } (i; i'), \text{ com } i \neq i' \end{cases}$$

Onde:

H_0 = Hipótese nula;

H_1 = Hipótese alternativa;

μ_1 = Média das temperaturas do ambiente externo;

μ_2 = Média das temperaturas do protótipo relativo à técnica 1;

μ_3 = Média das temperaturas do protótipo relativo à técnica 2.

Ao final do teste de hipóteses da ANOVA é possível concluir qual das duas hipóteses é a verdadeira. Segundo Walpole et al. (2009), a hipótese nula deve ser aceita como verdadeira quando o Valor-P resultante da ANOVA for superior ao nível de significância (α) e quando o F da ANOVA for inferior ao F crítico, o que significaria que todas as médias de temperaturas aferidas são iguais. Por outro lado, se a hipótese nula for rejeitada, a hipótese alternativa se torna a verdadeira, em que comprova-se

que nem todas as médias são iguais, ou seja, ao menos uma das médias difere-se das demais.

A ideia da aplicação da ANOVA consiste na avaliação da variabilidade entre os grupos e dentro dos grupos. Neste segmento e para complementar os resultados obtidos com a ANOVA, aplicou-se o teste de Tukey. Este último fornece a possibilidade da comparação das médias duas a duas, viabilizando determinar diretamente se a variação entre duas das séries de dados é significativa.

Segundo Walpole et al. (2009) e Barbetta, Reis e Bornia (2010), o teste de Tukey tem como base a Diferença Mínima Significativa (DMS), Δ , definida a partir da média quadrática dos grupos da ANOVA, QMR, de um certo número r de repetições, e de um número de grupos k e graus de liberdade v . A estatística do teste é dada a seguir:

$$\Delta = q_{\alpha(k,v)} \sqrt{\frac{\text{QMR}}{r}}$$

A avaliação dos resultados do teste de Tukey é advinda da comparação entre os Valores-P e o nível de significância adotado. Neste contexto, para os casos em que o Valor-P for inferior a α , conclui-se que as médias das séries comparadas são significativamente diferentes entre si.

Para possibilitar a realização dos testes descritos empregou-se o *software* de análise científica de dados Past (HAMMER; HARPER; RYAN, 2017) conjuntamente ao *software* R (R Core Team, 2018). A sequência da aplicação dos testes deu-se da seguinte forma: aplicou-se, inicialmente, a ANOVA aos conjuntos de dados analisados e, posteriormente, se averiguada a validade da hipótese alternativa, submeteu-se o conjunto de dados ao teste de Tukey.

O nível de significância (α) considerada nesta pesquisa foi de 5% (0,05), já que, de acordo com Walpole et al. (2009) e Barbetta, Reis e Bornia (2010), usualmente adota-se este valor de referência após uma geração de análises estatísticas. Segundo Moore (2011), adotar o nível de significância de 5% significa ter 95% de confiança de que as conclusões obtidas são corretas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados obtidos a partir do ensaio experimental. O foco da análise sobre os resultados são os dados de temperatura obtidos. Contudo, os dados de presença de chuva e de incidência de luminosidade sobre cada protótipo complementam a análise das temperaturas e podem justificar possíveis variações ocorridas nas amostras.

Para se ter uma ideia inicial do comportamento das temperaturas durante os meses de aferição, de acordo com dados do Instituto Agronômico do Paraná (2018), a região em que está situada a cidade de Toledo-PR apresenta os seguintes desvios de temperatura em relação à média histórica para os meses de fevereiro, março e abril de 2018, respectivamente: -1,5 a -1,0 °C; 0,0 a 0,5 °C; e 0,5 a 1,0 °C. Entretanto, apesar de fornecer um parâmetro inicial à pesquisa, na comparação dos desvios frente à média histórica consideram-se as médias mensais, medida que não apresenta as amplitudes térmicas decorridas durante cada mês. Sendo assim, ao final da exposição dos resultados coletados poderá ser averiguada a oscilação das temperaturas durante o período.

Ressalta-se aqui que a escolha de analisar a variação da espessura do material isolante térmico sobre a série de dados de temperatura deu-se pelo motivo da atual comercialização na região do material lã de vidro em rolos de espessura de cerca de 2,5 cm, e não mais de 5 cm de espessura. Sendo assim, subdividiu-se a coleta dos dados em dois períodos: no primeiro, os protótipos eram constituídos de apenas uma camada de isolamento térmico e, no segundo, fez-se o incremento de mais uma camada.

Sendo assim, inicialmente, serão exibidos os dados aferidos componentes das duas amostras analisadas — a amostra A, referente à espessura do material isolante térmico de aproximadamente 2,5 cm, e a amostra B, referente à espessura de aproximadamente 5 cm — e, sequencialmente, efetuar-se-á a análise estatística das amostras.

O ideal para a análise seria a coleta de ambas as amostras A e B num mesmo período, ou seja, sob as mesmas condições temporais, climáticas e meteorológicas. Entretanto, em virtude do elevado custo final para implementação de um protótipo no sistema *Wood Frame*, a coleta dos dados das duas amostras ocorreu uma

sequencialmente a outra, compreendendo dias dos meses de fevereiro, março e abril de 2018.

Portanto, a seguir serão apresentados os resultados e discussões detalhadas para possibilitar a avaliação das duas técnicas estudadas que de acordo com pesquisas são diferentes maneiras de aplicação do sistema *Wood Frame* no Brasil — técnicas 1 e 2. Destaca-se aqui que esta nomenclatura tem serventia apenas para facilitar a exposição dos resultados desta pesquisa.

4.1 DADOS AFERIDOS

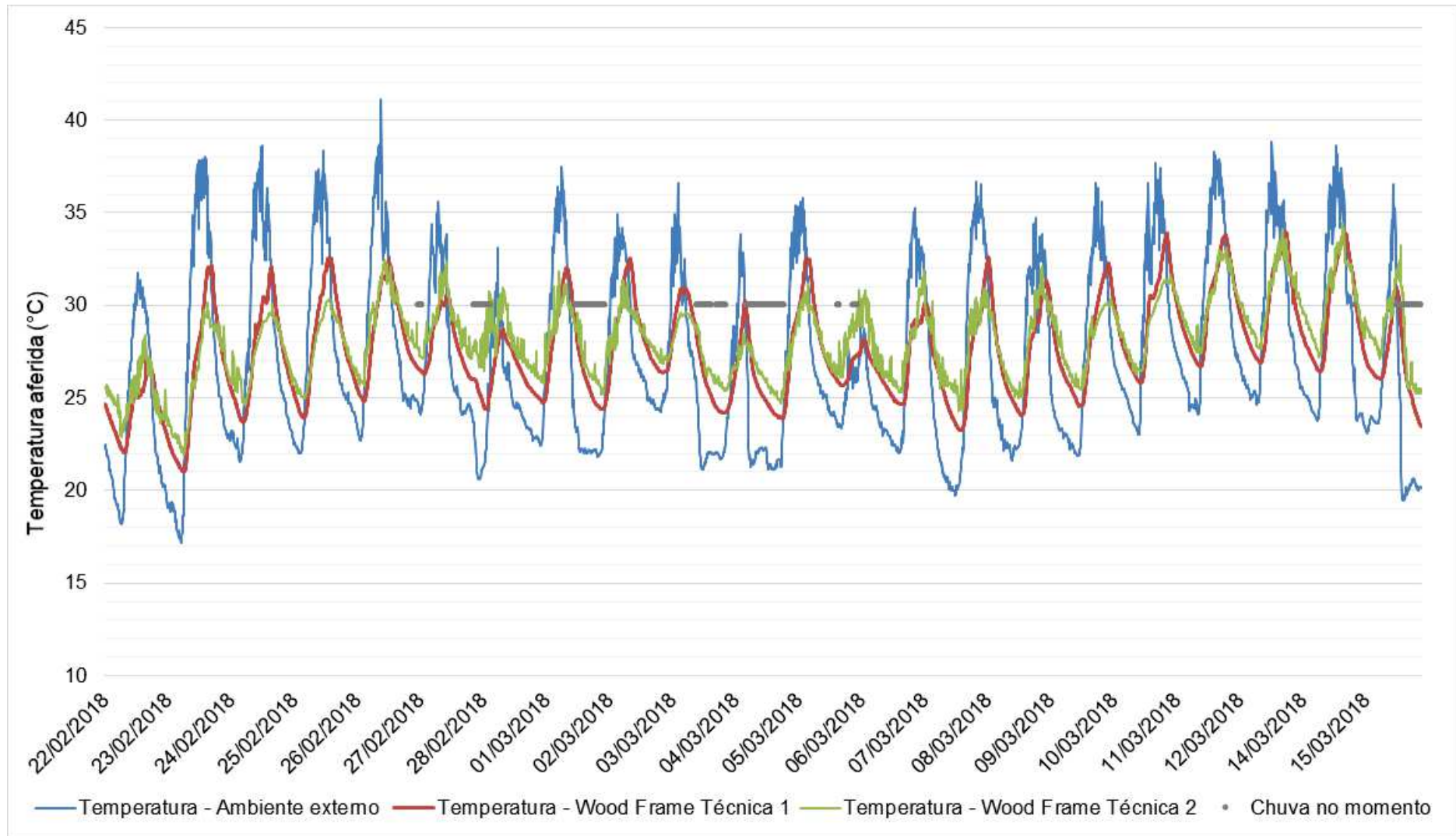
As amostras A e B coletadas, ambas compostas por 22 dias, são a base para todas as análises e posteriores avaliações. Por conseguinte, os dados aferidos foram organizados em planilhas apresentadas em sua integralidade no Apêndice D.

A princípio, as séries de dados de temperaturas foram estruturadas em forma de gráficos ao longo do período de análise, como mostram os Gráficos 1 e 2. Como é possível visualizar nos gráficos, de maneira geral ambas as amostras de temperaturas variaram na faixa de 10 e 45 °C, e mais frequentemente na faixa de 15 e 40 °C.

Dentre os dias 22 de março e dois de abril, correspondentes à metade inicial da amostra B, notou-se uma tendência de diminuição da amplitude térmica diária, porém com pontos de exceção, variando frequentemente dentro a faixa de 20 e 35 °C. Houve também a diminuição das máximas diárias na amostra B, variação que tem possibilidade de ser decorrente da presença chuvosa quase constante entre os dias 27 e 29 de março de 2018 e da mudança de estação do verão para o outono, ocorrida no dia 20 de março. No entanto, na metade final do período, a amplitude térmica diária da amostra B notoriamente aumentou, assemelhando-se mais ao período de medição da amostra A.

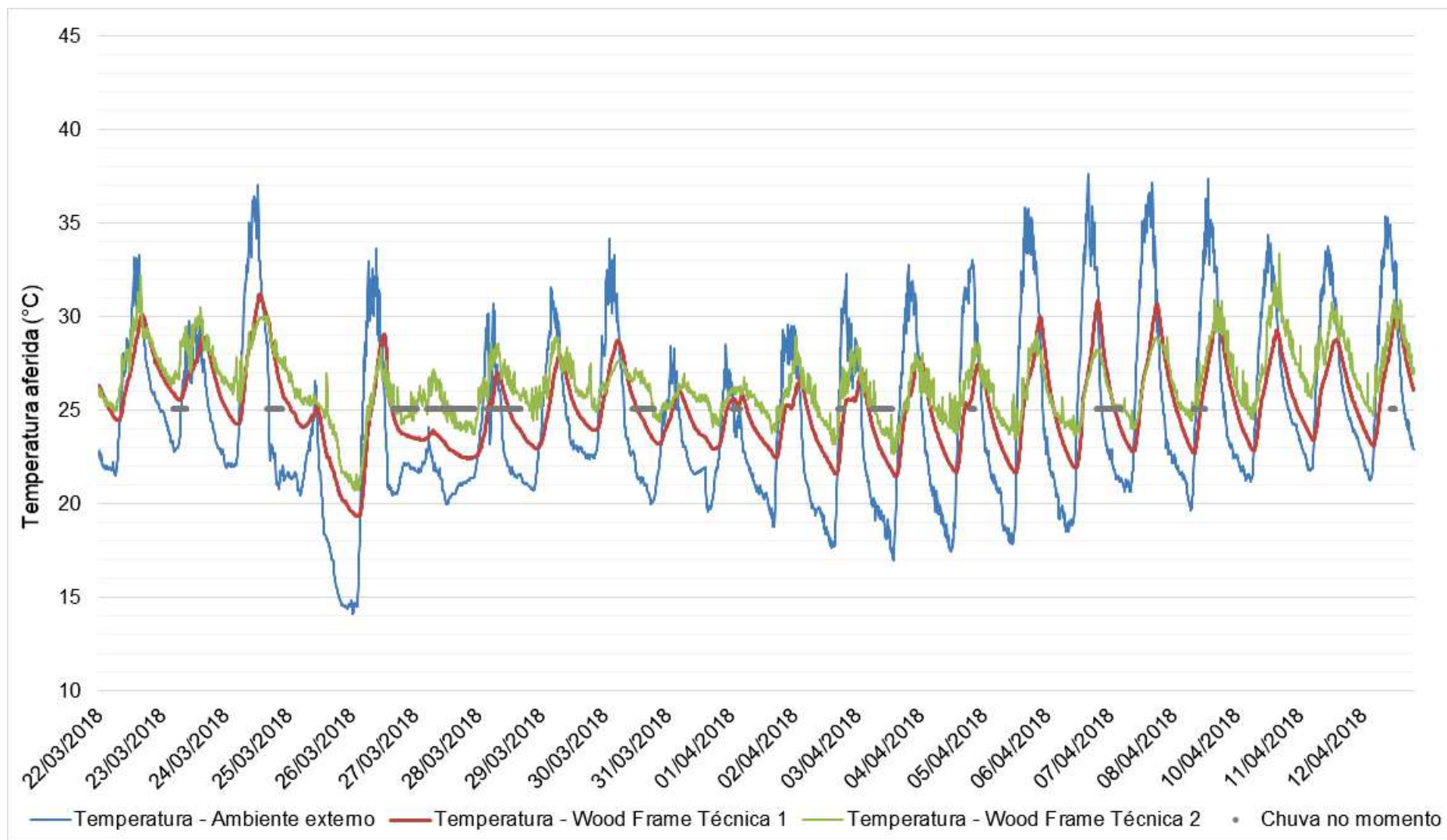
Apesar da oscilação distinta entre as séries de temperaturas do ambiente externo das amostras A e B, como é possível notar nos Gráficos 1 e 2, estas foram analisadas no período completo, já que o principal objetivo deste estudo é comparar e avaliar as duas técnicas entre si. Além disto, a amostra A também apresenta dias com uma pequena amplitude térmica, mas não consecutivamente.

Gráfico 1 – Série de valores de temperaturas aferidos na amostra A (lã de vidro de aproximadamente 2,5 cm de espessura)



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 2 – Série de valores de temperaturas aferidos na amostra B (lã de vidro de aproximadamente 5 cm de espessura)



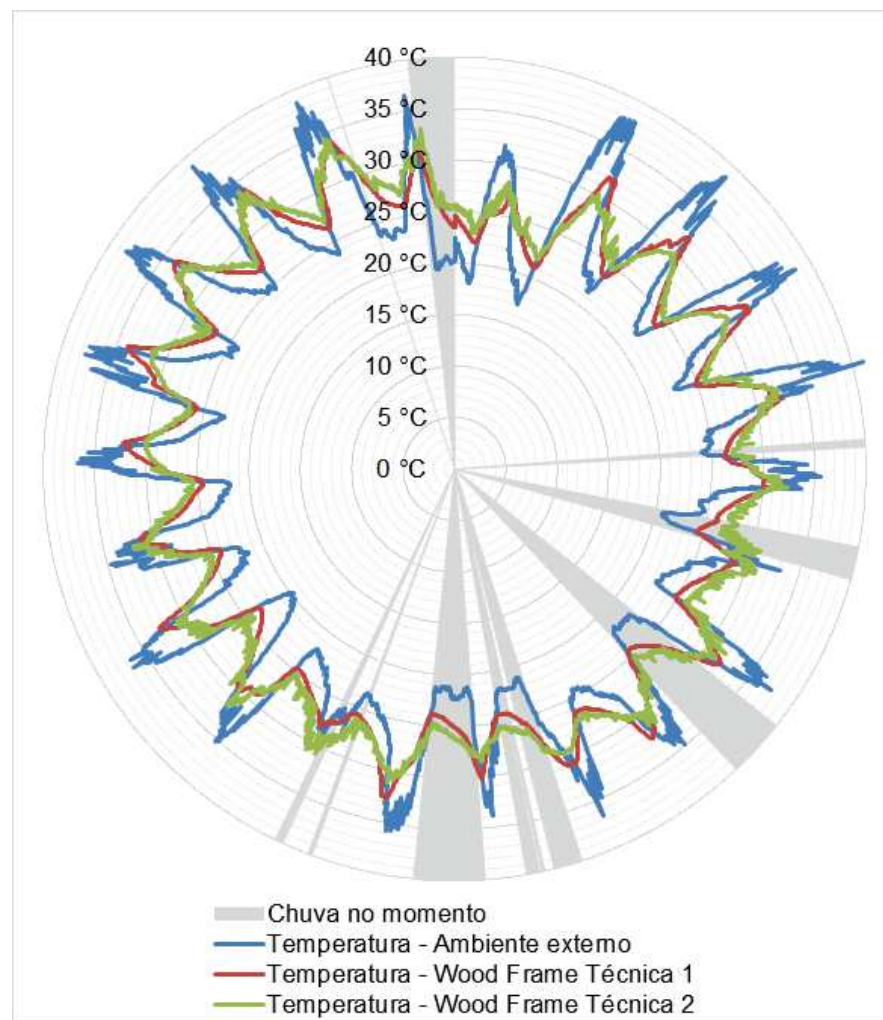
Fonte: Aatoria própria.

Ao analisar os gráficos, percebe-se que as temperaturas aferidas no interior dos protótipos, de ambas as técnicas estudadas, mostraram-se mais amenas do que as registradas no ambiente externo. Ou seja, enquanto a temperatura externa varia em picos de máximos e mínimos com uma grande amplitude térmica diária, as temperaturas aferidas no interior dos dois protótipos apresentam amplitude térmica diária menor, mantendo-se numa variação mais próxima a um eixo central imaginário.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam também a indicação da presença ou ausência de chuva nos períodos analisados, traçadas em linhas horizontais do gráfico apenas para facilitar a visualização destas e da possível influência delas sobre as temperaturas aferidas, não associada a um valor de intensidade chuvosa. Nota-se, a partir dos gráficos, que normalmente a chuva tem início após as temperaturas máximas diárias, ou seja, após o pico de calor, sendo seguida pela queda de temperatura ainda durante o fenômeno.

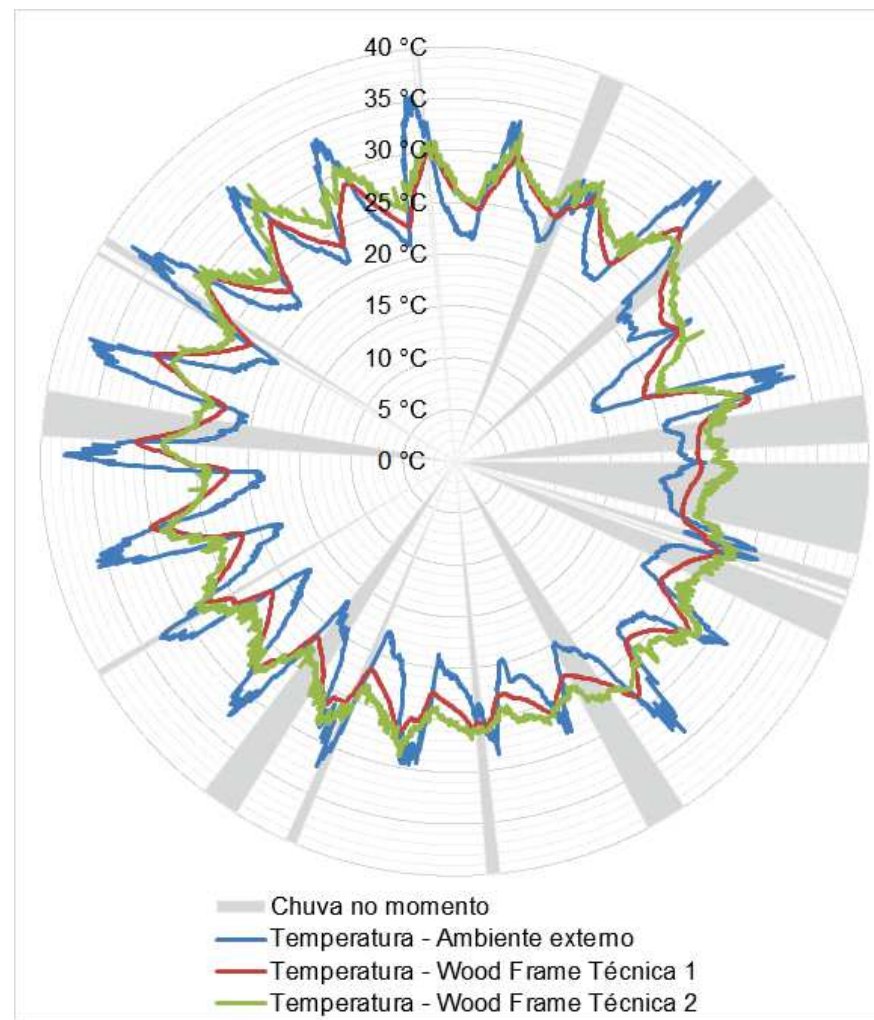
Na sequência, as mesmas séries de dados estão apresentados na forma radial, nos Gráficos 3 e 4. Em ambos, a presença de chuva encontra-se disposta em segmentos radialmente preenchidos. Além destes, apresentam-se também os Gráficos 5 e 6, ilustrando as séries de dados de luminosidade aferidos na amostra A e na amostra B, respectivamente.

Gráfico 4 – Temperaturas aferidas na amostra A e presença de chuva



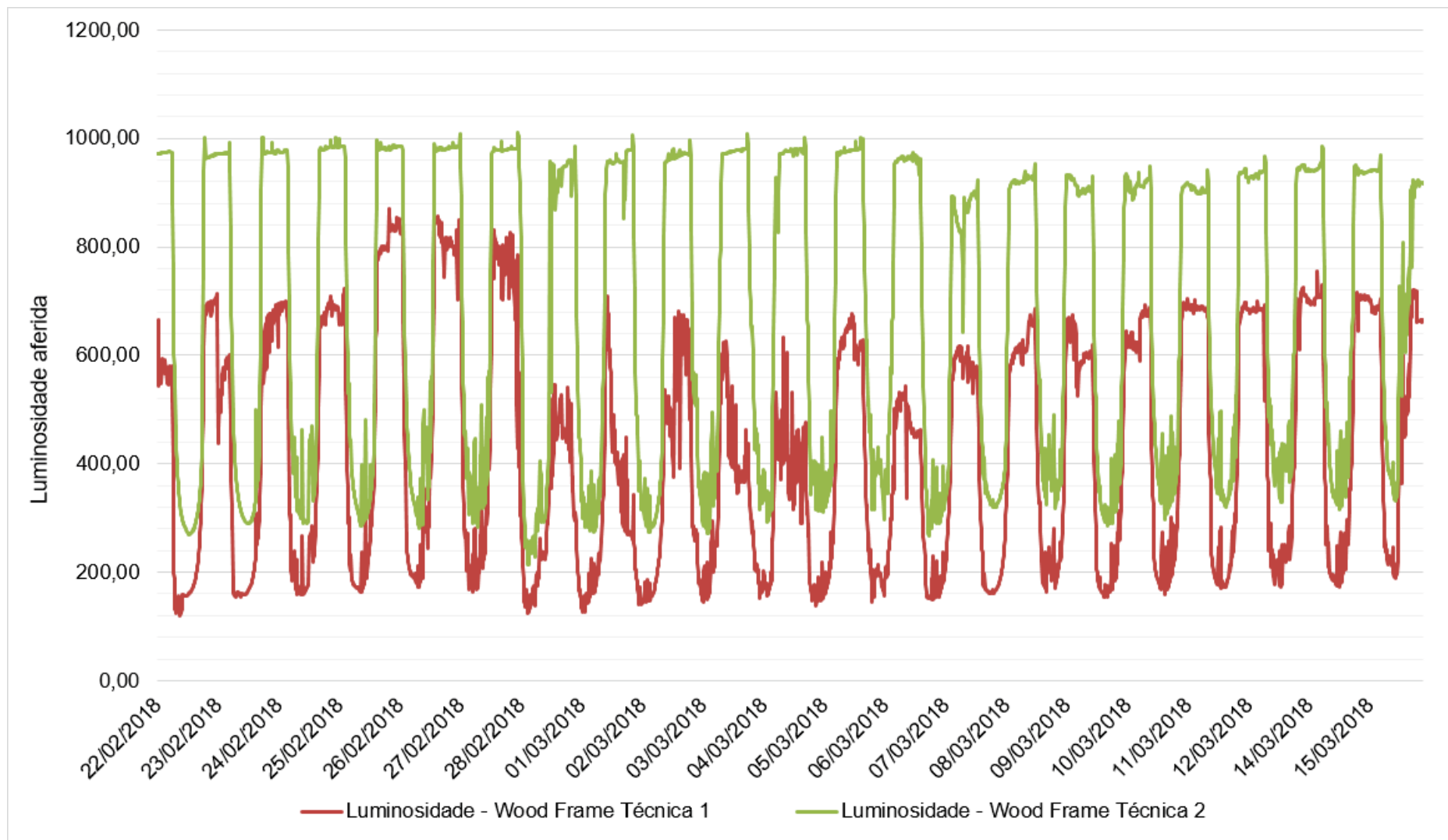
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 3 – Temperaturas aferidas na amostra B e presença de chuva



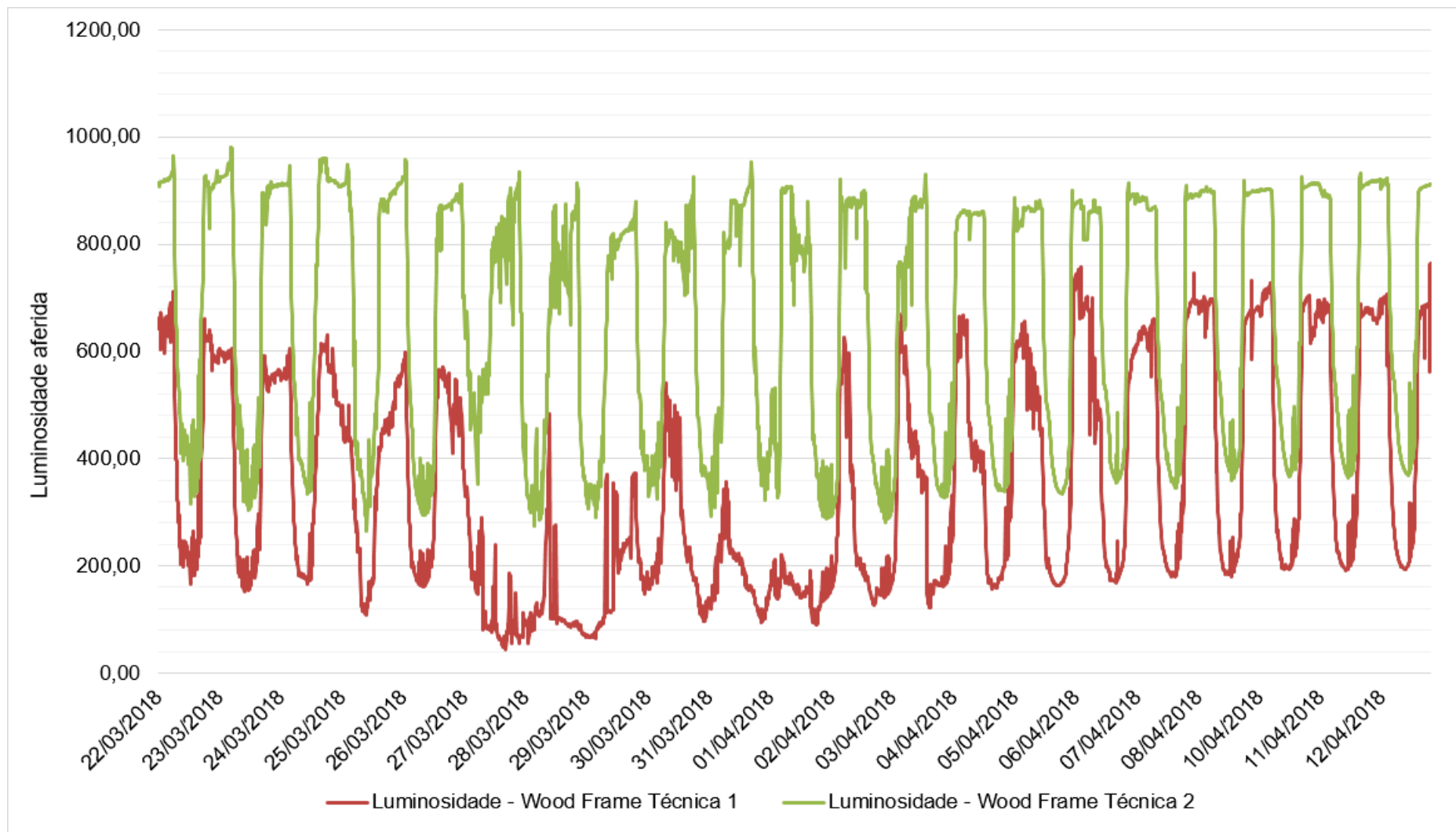
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 5 – Série de valores de luminosidade aferidas na amostra A (lã de vidro de aproximadamente 2,5 cm de espessura)



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 6 – Série de valores de luminosidade aferidas na amostra B (lã de vidro de aproximadamente 5 cm de espessura)



Fonte: Autoria própria.

Os Gráficos 5 e 6 mostram os índices de luminosidade das amostragens, diferenciando a incidência de luminosidade sobre a cobertura do protótipo correspondente às técnicas 1 e 2. Aqui é importante lembrar que na escala de luminosidade fornecida pelo sensor, valores próximos de zero indicam alta quantidade de luz, enquanto que valores próximos de 1023 indicam a escuridão total.

As séries de dados de luminosidade diferenciaram-se uma da outra nas duas amostras, fator que mostra a sensibilidade dos sensores de luminosidade, uma vez que os protótipos encontram-se posicionados na mesma direção, pouco distantes entre si e sem ser afetados por sombra dos outros protótipos que encontram-se proximamente locados.

O que justificaria esta variação de incidência luminosa é a proximidade maior do modelo reduzido construído com a técnica 1 de um poste de iluminação do campus da UTFPR — Toledo, como é possível ver na Figura 21(a), abordada na seção Materiais e Métodos. Porém, esta variação encontra-se tanto nos períodos noturnos quanto nos diurnos e a influência do poste de iluminação é causada apenas durante o período noturno.

Outro fator analisado no Gráfico 6 é a sequência de índices de luminosidade próximos de zero mesmo no período noturno, indicando alta luminosidade mesmo durante a noite. Estes períodos de incidência luminosa noturna coincidem com o período mais chuvoso apresentado na amostra B, compreendido entre os dias 27, 28 e 29 de março. Portanto, uma das alternativas que justificariam esta variação é a possível incidência de raios sobre a região durante este período chuvoso.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS AFERIDOS

Após uma primeira análise visual dos dados aferidos por meio dos gráficos apresentados, realizou-se uma análise estatística destes. A análise foi subdividida em três partes: análise das temperaturas médias, amplitude térmica e temperaturas extremas diárias; análise do atraso térmico; e análise da variância e teste de Tukey.

4.2.1 Análise das temperaturas médias, extremas e amplitudes térmicas

A análise estatística dos dados aferidos teve início com a organização dos dados em tabelas para extrair as médias e amplitudes térmicas diárias, como

apresentado na Tabela 2, inicialmente sendo abordada a análise da amostra A e, posteriormente, da amostra B. Nesta tabela, destacaram-se os valores das médias totais, desvio padrão totais e extremos maior e menor.

Tabela 2 – Temperaturas médias diárias e amplitudes térmicas diárias — amostra A

Data	Temperatura média diária (°C)			Amplitude térmica diária (°C)		
	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/02/2018	24,11	24,34	25,21	13,65	5,27	5,50
23/02/2018	26,98	26,03	25,93	20,88	11,14	8,22
24/02/2018	28,38	27,41	27,34	17,14	8,35	5,45
25/02/2018	28,47	27,98	27,65	16,36	8,59	5,33
26/02/2018	29,08	28,49	28,94	18,42	7,61	6,77
27/02/2018	27,72	28,08	28,96	11,53	4,30	5,27
28/02/2018	25,14	26,54	28,28	12,55	4,35	4,52
01/03/2018	27,28	27,65	28,21	15,45	7,26	6,04
02/03/2018	27,21	27,84	28,02	13,09	8,15	6,24
03/03/2018	27,17	28,24	28,22	15,48	4,68	2,78
04/03/2018	24,35	26,01	26,60	12,60	6,05	3,12
05/03/2018	27,18	27,55	27,64	14,67	8,74	6,42
06/03/2018	25,22	26,71	27,96	6,39	2,48	4,72
07/03/2018	26,57	26,99	27,63	14,37	5,49	6,65
08/03/2018	26,72	27,08	27,63	16,94	9,34	6,60
09/03/2018	26,71	27,29	28,00	13,16	7,23	7,19
10/03/2018	27,70	28,04	27,97	14,77	7,73	4,89
11/03/2018	29,21	29,36	29,04	14,67	8,06	5,38
12/03/2018	30,05	29,98	30,17	14,17	7,16	5,71
13/03/2018	29,74	29,93	30,51	14,22	7,04	6,47
14/03/2018	29,25	29,82	30,48	14,88	7,48	7,28
15/03/2018	24,46	26,91	28,34	17,10	7,56	8,02
Média total	27,21	27,65	28,12	14,66	7,00	5,84
Desvio padrão total	1,75	1,37	1,29	2,82	1,96	1,36
Extremo maior	30,05	29,98	30,51	20,88	11,14	8,22
Extremo menor	24,11	24,34	25,21	6,39	2,48	2,78

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que as séries de médias são semelhantes nos três casos: ambiente exterior, protótipo com a técnica 1 e protótipo com a técnica 2. Entretanto, é possível notar a diferença entre a dispersão dos dados ao observarem-se as amplitudes térmicas diárias da amostra, uma vez que a média dos amplitudes térmicas referentes aos dados do ambiente externo é de 14,66 °C frente a 7,00 °C e 5,84 °C

para as técnicas 1 e 2, respectivamente. Com isso, encontra-se numericamente o que foi visualizado nos gráficos anteriormente apresentados, cujas séries de temperaturas oscilam em torno de um eixo médio imaginário semelhante, mas com amplitudes térmicas variadas.

Na sequência encontra-se a Tabela 3, contendo as temperaturas extremas diárias, ou seja, os máximos e mínimos obtidos diariamente.

Tabela 3 – Temperaturas extremas diárias — amostra A

Data	Temperatura máxima diária (°C)			Temperatura mínima diária (°C)		
	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/02/2018	31,79	27,31	28,40	18,14	22,04	22,90
23/02/2018	38,05	32,15	30,16	17,17	21,01	21,94
24/02/2018	38,65	32,04	30,05	21,51	23,69	24,60
25/02/2018	38,35	32,53	30,33	21,99	23,94	25,00
26/02/2018	41,12	32,44	32,42	22,70	24,83	25,65
27/02/2018	35,60	30,57	32,39	24,07	26,27	27,12
28/02/2018	33,13	28,73	30,98	20,58	24,38	26,46
01/03/2018	37,49	32,00	31,80	22,04	24,74	25,76
02/03/2018	34,93	32,54	31,38	21,84	24,39	25,14
03/03/2018	36,60	30,94	29,62	21,12	26,26	26,84
04/03/2018	33,87	30,22	28,48	21,27	24,17	25,36
05/03/2018	35,81	32,61	31,14	21,14	23,87	24,72
06/03/2018	29,37	28,14	30,82	22,98	25,66	26,10
07/03/2018	35,28	30,15	31,93	20,91	24,66	25,28
08/03/2018	36,65	32,58	30,89	19,71	23,24	24,29
09/03/2018	34,75	31,32	32,13	21,59	24,09	24,94
10/03/2018	36,63	32,29	30,32	21,86	24,56	25,43
11/03/2018	37,66	33,87	31,60	22,99	25,81	26,22
12/03/2018	38,26	33,84	33,09	24,09	26,68	27,38
13/03/2018	38,86	33,94	34,14	24,64	26,90	27,67
14/03/2018	38,64	33,89	34,45	23,76	26,41	27,17
15/03/2018	36,55	30,99	33,23	19,45	23,43	25,21
Média total	36,27	31,60	31,35	21,62	24,59	25,51
Desvio padrão total	2,64	1,84	1,59	1,87	1,48	1,39
Extremo maior	41,12	33,94	34,45	24,64	26,9	27,67
Extremo menor	29,37	27,31	28,4	17,17	21,01	21,94

Fonte: Autoria própria.

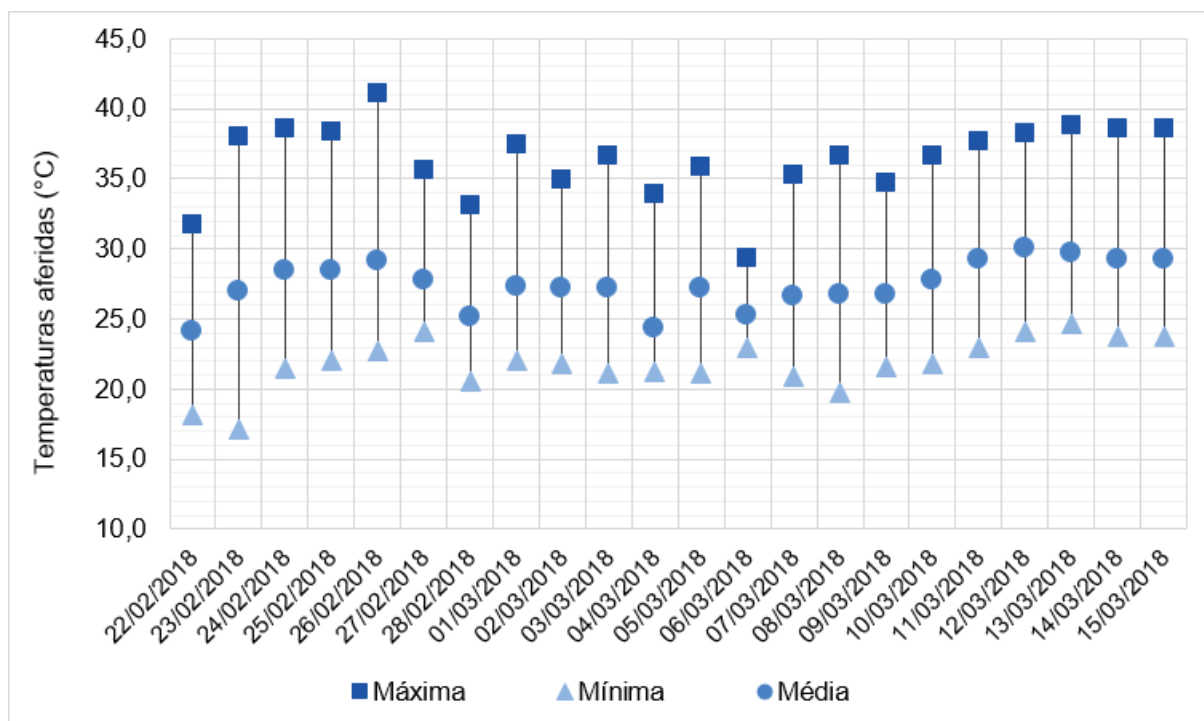
Observa-se, com o resultado da Tabela 3, o mesmo concluído anteriormente com as médias e desvios padrões da mesma amostra. Verifica-se que a média dos

máximos diários do ambiente externo é de aproximadamente 36 °C, enquanto que a mesma média é de cerca de 31 °C para ambos os protótipos de *Wood Frame*. Na mesma tabela, verifica-se que a média das mínimas diárias para o período é de aproximadamente 21 °C para o ambiente externo frente a cerca de 25 °C para ambas as construções em *Wood Frame*.

Na Tabela 3, analisando-se os extremos maior e menor aferidos durante todo o período, torna-se possível notar que é maior a variação dentro o ambiente externo e cada técnica nas temperaturas máximas do que nas mínimas. Esta afirmação é feita em virtude da temperatura máxima já aferida no ambiente externo de mais de 41 °C em relação a cerca de 34 °C para as construções em *Wood Frame*, comparada às mínimas de aproximadamente 17 °C para o ambiente externo e cerca de 21 °C para os protótipos.

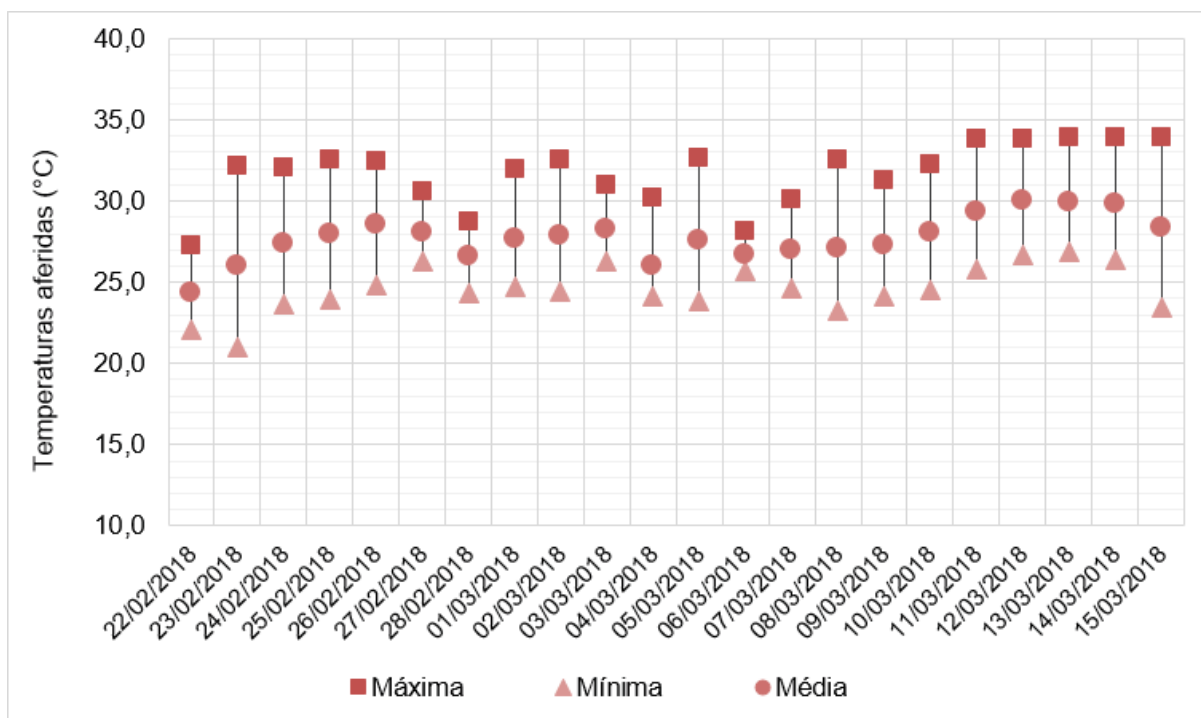
Nos Gráficos 7, 8 e 9 apresentados sequencialmente abaixo, mostra-se a relação entre as temperaturas de referência aferidas por dia, ou seja, as temperaturas médias, máximas e mínimas diárias.

Gráfico 7 – Temperaturas de referência aferidas no ambiente externo — amostra A



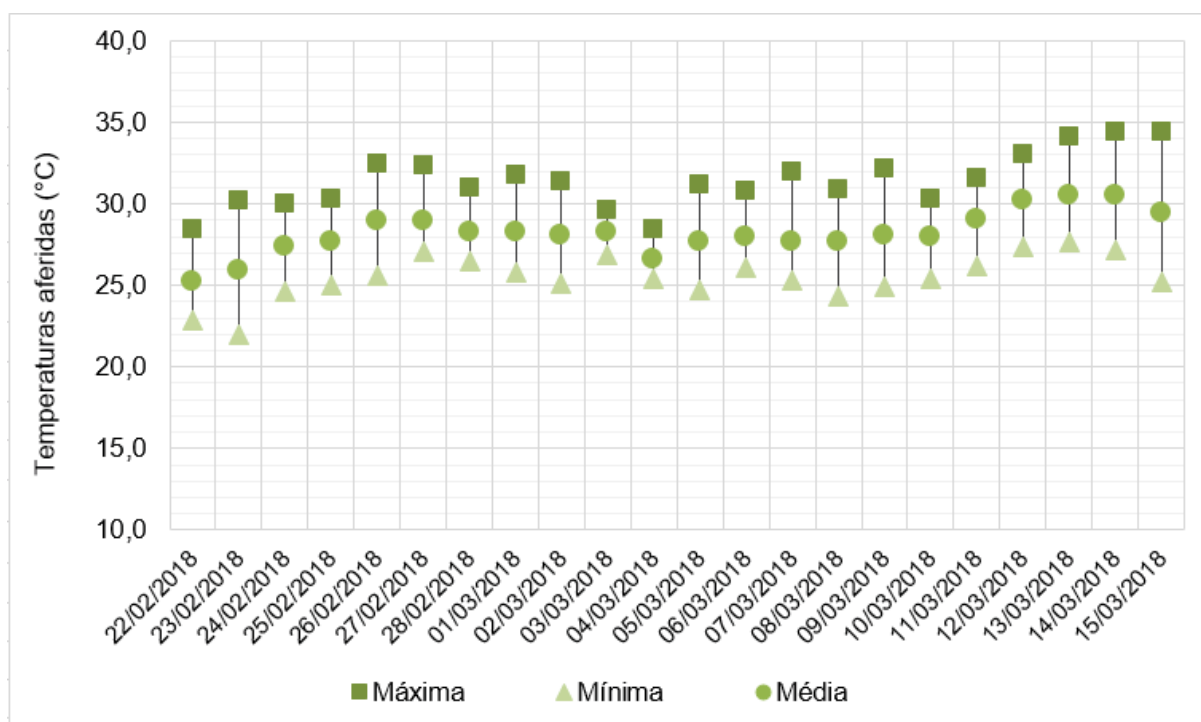
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 8 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de *Wood Frame* construído com a técnica 1 — amostra A



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 9 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de *Wood Frame* construído com a técnica 2 — amostra B



Fonte: Autoria própria.

Acrescenta-se aqui que as análises realizadas até este momento indicam uma pequena vantagem na eficiência da técnica 2 frente a técnica 1, uma vez que a

amplitude térmica da técnica 2 é menor. Todavia, a significância desta variação dentre as técnicas será confirmada ou negada apenas com a análise da variância e teste de Tukey, realizados mais adiante.

Do mesmo modo, realizou-se a análise estatística dos dados aferidos na amostra B. A seguir, na Tabela 4, são apresentados os valores de temperaturas médias e amplitudes térmicas diárias.

Tabela 4 – Temperaturas médias diárias e amplitudes térmicas diárias — amostra B

Data	Temperatura média diária (°C)			Amplitude térmica diária (°C)		
	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/03/2018	26,16	26,94	27,58	11,84	5,67	7,30
23/03/2018	25,59	26,95	27,99	7,26	3,44	4,20
24/03/2018	27,01	27,36	27,88	16,30	6,97	4,60
25/03/2018	20,74	24,10	25,58	11,52	5,88	5,34
26/03/2018	22,21	23,29	24,00	19,52	9,78	7,67
27/03/2018	21,57	23,49	25,35	4,19	1,58	3,10
28/03/2018	23,60	24,19	25,92	9,91	4,59	4,91
29/03/2018	24,54	24,96	26,58	10,87	4,97	4,51
30/03/2018	25,61	25,88	26,46	12,60	4,78	2,78
31/03/2018	22,93	24,48	25,82	8,47	2,86	2,75
01/04/2018	22,91	24,30	25,57	8,96	2,96	2,70
02/04/2018	23,28	24,35	25,76	10,82	4,36	5,18
03/04/2018	23,12	24,17	25,71	14,70	5,57	5,33
04/04/2018	23,63	24,41	25,24	15,82	6,29	5,41
05/04/2018	24,08	24,42	25,94	15,60	5,77	4,93
06/04/2018	25,32	25,20	25,81	18,00	8,36	5,61
07/04/2018	25,47	25,60	25,74	19,13	8,95	4,61
08/04/2018	26,64	26,15	26,44	16,56	7,91	4,94
09/04/2018	26,41	26,09	27,13	17,72	7,87	6,52
10/04/2018	26,38	25,81	27,74	13,22	6,44	8,85
11/04/2018	26,69	26,00	28,03	12,00	5,39	5,11
12/04/2018	26,83	26,31	27,57	14,14	7,44	6,20
Média total	24,58	25,20	26,36	13,14	5,81	5,12
Desvio padrão total	1,86	1,17	1,08	4,03	2,09	1,57
Extremo maior	27,01	27,36	28,03	19,52	9,78	8,85
Extremo menor	20,74	23,29	24,00	4,19	1,58	2,70

Fonte: Autoria própria.

Com o incremento de 2,5 cm de lã de vidro, perfazendo assim 5 cm de isolamento, percebe-se que mais uma vez as temperaturas médias assemelham-se

enquanto que a amplitude térmica diária varia em média cerca de 8 °C do ambiente externo para o interior dos protótipos. Os dois modelos reduzidos em *Wood Frame*, por outro lado, apresentam resultados semelhantes entre si, porém novamente a amplitude média total é menor para a técnica 2.

A seguir, encontra-se a Tabela 5, contendo os as temperaturas extremas diárias, ou seja, os máximos e mínimos obtidos diariamente.

Tabela 5 – Temperaturas extremas diárias — amostra B

Data	Temperatura máxima diária (°C)			Temperatura mínima diária (°C)		
	Ambiente exterior	<i>Wood Frame</i> - Técnica 1	<i>Wood Frame</i> - Técnica 2	Ambiente exterior	<i>Wood Frame</i> - Técnica 1	<i>Wood Frame</i> - Técnica 2
22/03/2018	33,33	30,12	32,24	21,49	24,45	24,94
23/03/2018	30,02	28,97	30,51	22,76	25,53	26,31
24/03/2018	37,08	31,22	30,08	20,78	24,25	25,48
25/03/2018	26,57	26,54	27,86	15,05	20,66	22,52
26/03/2018	33,63	29,10	28,35	14,11	19,32	20,68
27/03/2018	24,14	24,24	27,17	19,95	22,66	24,07
28/03/2018	30,71	27,03	28,60	20,80	22,44	23,69
29/03/2018	31,58	27,94	28,95	20,71	22,97	24,44
30/03/2018	34,22	28,74	27,69	21,62	23,96	24,91
31/03/2018	28,47	26,06	27,14	20,00	23,20	24,39
01/04/2018	28,55	25,88	26,81	19,59	22,92	24,11
02/04/2018	29,58	26,82	28,98	18,76	22,46	23,80
03/04/2018	32,33	27,17	28,48	17,63	21,60	23,15
04/04/2018	32,82	27,76	28,05	17,00	21,47	22,64
05/04/2018	33,07	27,47	28,63	17,47	21,70	23,70
06/04/2018	35,83	30,01	29,09	17,83	21,65	23,48
07/04/2018	37,66	30,87	28,24	18,53	21,92	23,63
08/04/2018	37,18	30,71	28,93	20,62	22,80	23,99
09/04/2018	37,36	30,58	30,94	19,64	22,71	24,42
10/04/2018	34,42	29,28	33,37	21,20	22,84	24,52
11/04/2018	33,78	28,82	30,79	21,78	23,43	25,68
12/04/2018	35,42	30,49	30,92	21,28	23,05	24,72
Média total	32,63	28,45	29,17	19,48	22,64	24,06
Desvio padrão total	3,64	1,90	1,69	2,22	1,33	1,19
Extremo maior	37,66	31,22	33,37	22,76	25,53	26,31
Extremo menor	24,14	24,24	26,81	14,11	19,32	20,68

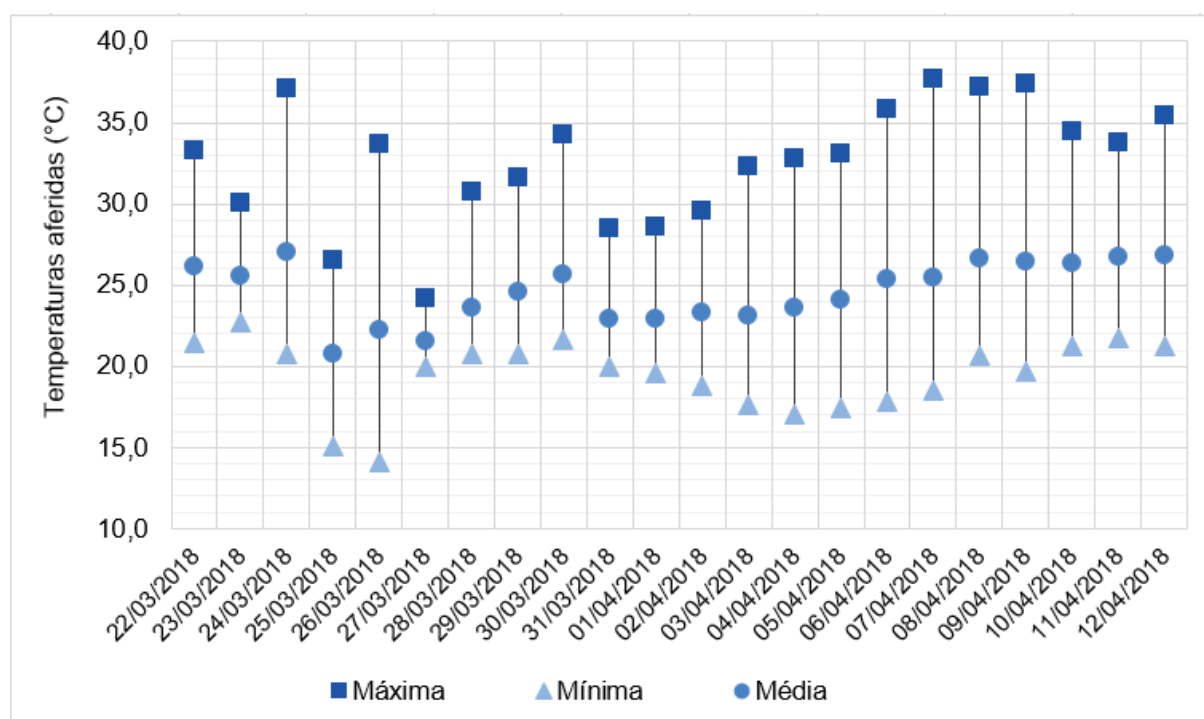
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 5, observa-se a amenização das temperaturas máximas em relação ao obtido no período de coleta da amostra A, cuja média das

temperaturas máximas aferidas no ambiente externo havia sido de 36,27 °C e na amostra B é de 32,63 °C. No entanto, as temperaturas mínimas foram mais intensas na amostra B, com média de 19,48 °C, comparada à média de 21,62 °C da amostra A.

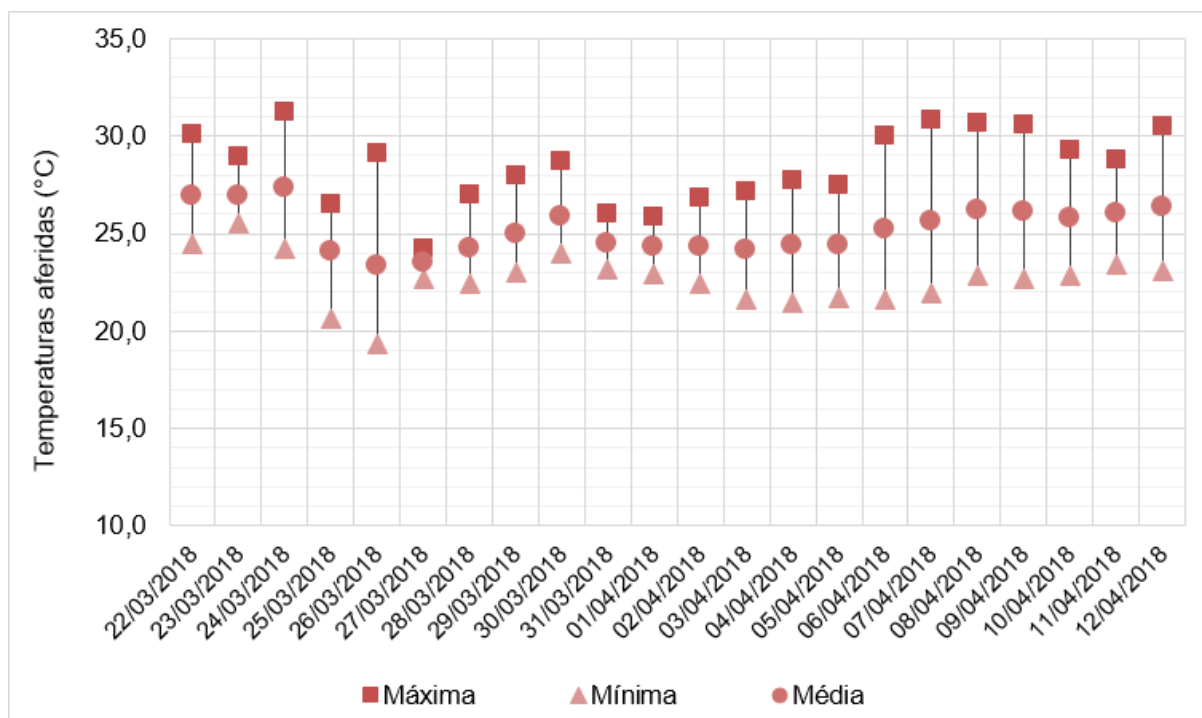
Para dar continuidade à apresentação dos resultados, ilustram-se as temperaturas de referência em forma de gráficos, como realizado com a amostragem A e estes encontram-se ilustrados a seguir nos Gráficos 10, 11 e 12.

Gráfico 10 – Temperaturas de referência aferidas no ambiente externo — amostra B



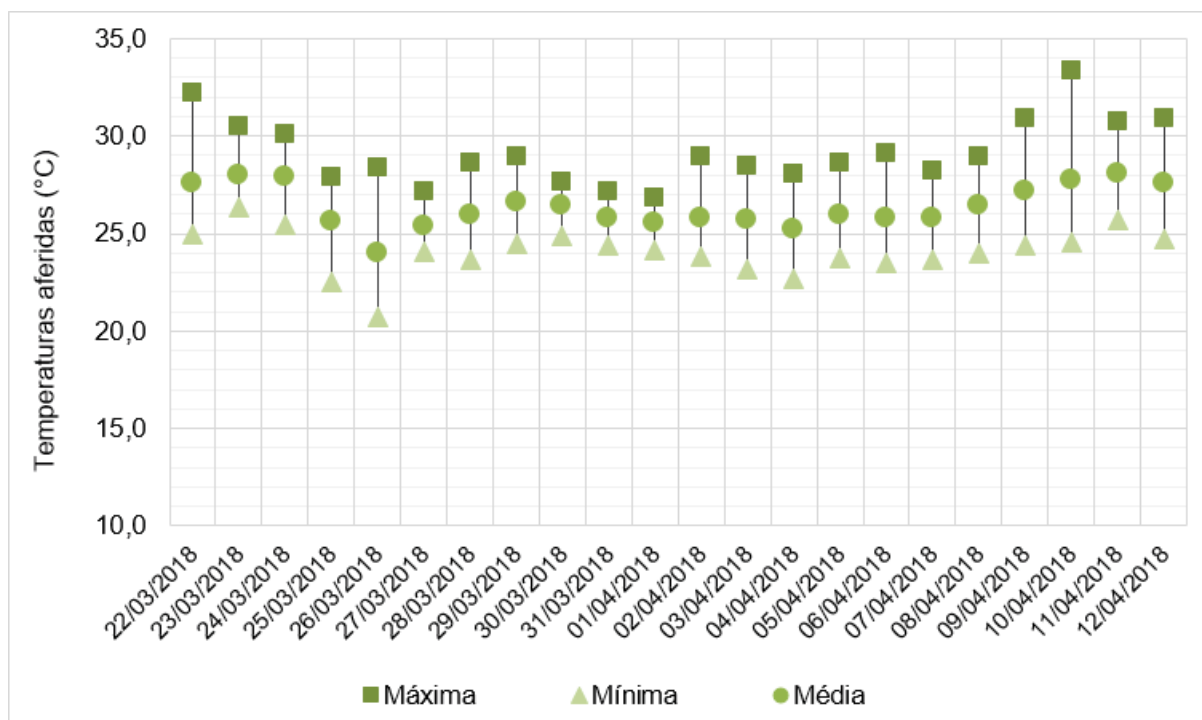
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 11 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de *Wood Frame* construído com a técnica 1 — amostra B



Fonte: Autoria própria.

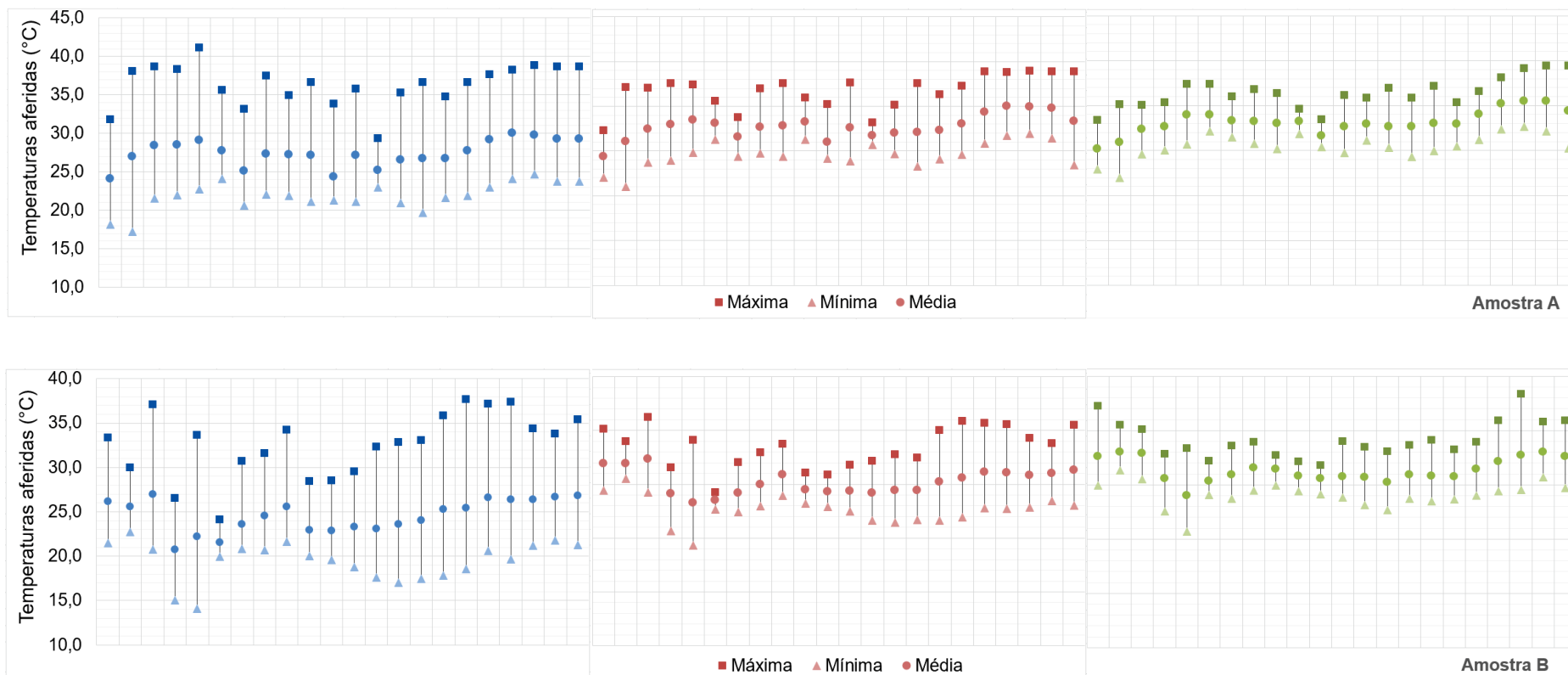
Gráfico 12 – Temperaturas de referência aferidas no protótipo de *Wood Frame* construído com a técnica 2 — amostra B



Fonte: Autoria própria.

Por fim, para facilitar a comparação dos resultados até aqui apresentados, configura-se um resumo no Gráfico 13 e na Tabela 6.

Gráfico 13 – Comparação entre os valores de referência das amostras A e B



Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Comparação entre os valores de referência das amostras A e B

Amostra	Medida analisada	Série de temperaturas		
		Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
A	Média total	27,21	27,65	28,12
	Média dos desvios padrão	4,47	2,23	1,66
	Média dos máximos	36,27	31,60	31,35
	Média dos mínimos	21,62	24,59	25,51
	Média da amplitude térmica	14,66	7,00	5,84
B	Média total	24,58	25,20	26,36
	Média dos desvios padrão	4,01	1,83	1,39
	Média dos máximos	32,63	28,45	29,17
	Média dos mínimos	19,48	22,64	24,06
	Média da amplitude térmica	13,14	5,81	5,12

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, é possível observar, a partir do Gráfico 13, o amortecimento das temperaturas extremas que os protótipos proporcionaram. Neste contexto, Kalua (2016) aborda que, independentemente do sistema construtivo, qualquer edificação manifesta-se como uma proteção às intempéries, explicando o conceito da aglutinação dos dados de temperatura mais próximas a um eixo imaginário dentro dos protótipos.

4.2.2 Análise do atraso térmico

A análise do atraso térmico das amostras está associado à inércia térmica das construções e dos materiais componentes desta. Para o fim de encontrar os valores que indicam o atraso térmico de cada protótipo em relação a temperatura ambiente, agrupou-se na Tabela 7 os horários relativos à coleta dos extremos diários de temperaturas para a amostra A.

Evidencia-se, na Tabela 7, certo padrão nos horários de ocorrência das temperaturas máximas diárias. Fato que não é tão perceptível para as temperaturas mínimas diárias, em que nota-se uma variação maior para o ambiente externo.

Tabela 7 – Horários relativos à coleta dos extremos de temperaturas — amostra A

Data	Temperaturas máximas diárias			Temperaturas mínimas diárias		
	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/02/2018	13:01:01	16:31:34	15:53:05	06:46:32	07:37:08	06:36:24
23/02/2018	15:58:24	18:33:12	16:49:01	06:21:29	07:42:27	07:42:27
24/02/2018	14:58:16	18:30:50	19:01:12	06:11:35	07:12:19	07:52:48
25/02/2018	15:25:56	18:28:08	17:47:38	06:29:28	07:20:05	07:40:19
26/02/2018	14:29:41	17:42:01	16:00:47	06:26:47	07:37:38	07:57:52
27/02/2018	13:36:24	16:58:51	16:38:36	06:21:10	07:52:15	07:42:08
28/02/2018	13:17:15	15:08:35	15:08:35	05:31:40	08:43:58	07:53:22
01/03/2018	14:52:08	16:43:29	13:51:24	23:38:29	07:40:30	07:40:30
02/03/2018	13:18:19	18:21:59	15:09:40	05:22:37	06:23:20	06:53:42
03/03/2018	13:40:21	15:01:20	16:42:33	23:37:34	23:57:49	07:25:50
04/03/2018	14:38:22	16:19:35	16:09:28	18:51:25	08:03:38	08:03:38
05/03/2018	15:46:29	16:57:20	17:47:57	03:17:29	07:30:31	07:00:09
06/03/2018	14:43:17	16:14:23	16:54:53	23:49:52	07:17:41	06:47:19
07/03/2018	12:39:07	16:52:10	16:21:48	23:57:17	07:15:13	06:34:43
08/03/2018	13:16:53	18:13:23	16:08:57	04:40:41	07:12:30	06:21:53
09/03/2018	13:06:59	17:31:56	15:50:43	03:40:11	07:12:44	06:32:15
10/03/2018	13:16:10	18:19:50	19:10:27	06:00:56	06:41:25	07:32:01
11/03/2018	13:23:37	17:56:55	19:07:46	06:38:44	07:19:13	05:48:07
12/03/2018	13:00:43	17:34:01	17:54:16	06:15:50	07:26:41	07:16:33
13/03/2018	11:57:19	17:41:29	16:10:23	06:03:03	07:24:01	06:53:40
14/03/2018	13:44:12	17:26:54	16:26:10	06:18:49	07:19:33	06:59:19
15/03/2018	12:41:06	13:41:50	15:43:18	16:44:02	23:59:15	21:57:48

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados horários de aferição dos extremos, encontram-se os valores de atraso térmico para cada protótipo, como indica a Tabela 8 a seguir.

É importante destacar aqui que no cálculo do atraso térmico das temperaturas de cada protótipo em relação ao ambiente externo considerou-se o atraso térmico igual a zero nos casos em que as temperaturas extremas foram aferidas com antecedência no interior dos protótipos do que no ambiente externo.

Tabela 8 – Atraso térmico verificado em cada protótipo — amostra A

Data	Temperaturas máximas diárias		Temperaturas mínimas diárias	
	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/02/2018	03:30:33	02:52:04	00:50:36	00:00:00
23/02/2018	02:34:48	00:50:37	01:20:58	01:20:58
24/02/2018	03:32:34	04:02:56	01:00:44	01:41:13
25/02/2018	03:02:12	02:21:42	00:50:37	01:10:51
26/02/2018	03:12:20	01:31:06	01:10:51	01:31:05
27/02/2018	03:22:27	03:02:12	01:31:05	01:20:58
28/02/2018	01:51:20	01:51:20	03:12:18	02:21:42
01/03/2018	01:51:21	00:00:00	00:00:00	00:00:00
02/03/2018	05:03:40	01:51:21	01:00:43	01:31:05
03/03/2018	01:20:59	03:02:12	00:20:15	00:00:00
04/03/2018	01:41:13	01:31:06	00:00:00	00:00:00
05/03/2018	01:10:51	02:01:28	04:13:02	03:42:40
06/03/2018	01:31:06	02:11:36	00:00:00	00:00:00
07/03/2018	04:13:03	03:42:41	00:00:00	00:00:00
08/03/2018	04:56:30	02:52:04	02:31:49	01:41:12
09/03/2018	04:24:57	02:43:44	03:32:33	02:52:04
10/03/2018	05:03:40	05:54:17	00:40:29	01:31:05
11/03/2018	04:33:18	05:44:09	00:40:29	00:00:00
12/03/2018	04:33:18	04:53:33	01:10:51	01:00:43
13/03/2018	05:44:10	04:13:04	01:20:58	00:50:37
14/03/2018	03:42:42	02:41:58	01:00:44	00:40:30
15/03/2018	01:00:44	03:02:12	07:15:13	05:13:46
Média total	03:16:16	02:51:42	01:32:01	01:17:45
Desvio padrão total	01:27:15	01:27:52	01:43:13	01:20:31
Extremo maior	05:44:10	05:54:17	07:15:13	05:13:46
Extremo menor	01:00:44	00:00:00	00:00:00	00:00:00

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que, para ambos os protótipos, a média total dos índices de atraso térmico é maior para as temperaturas máximas do que para as mínimas. Verifica-se a alta frequência do atraso térmico nulo para as temperaturas mais frias, em que os picos de temperaturas não seguiram uma lógica constante e teve grande variação diária.

Da mesma forma que aplicado para a amostra A, realizaram-se os cálculos para encontrar o atraso térmico dos protótipos na amostra B, com resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Horários relativos à coleta dos extremos de temperaturas — amostra B

Data	Temperaturas máximas diárias			Temperaturas mínimas diárias		
	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Ambiente exterior	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/03/2018	16:02:34	17:13:25	16:43:03	06:25:38	07:36:29	06:05:23
23/03/2018	16:33:53	17:14:23	16:33:53	05:46:06	08:28:03	04:35:15
24/03/2018	15:19:08	16:09:44	19:01:49	23:55:21	07:24:34	07:54:56
25/03/2018	14:15:39	00:05:29	01:36:34	23:52:33	23:52:33	23:52:33
26/03/2018	14:37:59	18:00:26	16:29:20	05:26:32	07:17:52	07:48:14
27/03/2018	12:49:02	00:02:55	14:40:22	20:04:14	23:57:01	23:16:32
28/03/2018	14:38:04	16:29:24	16:49:39	00:07:08	03:59:54	07:12:12
29/03/2018	13:53:40	17:26:14	16:45:44	06:38:28	07:39:11	06:38:28
30/03/2018	13:10:25	16:32:51	17:03:13	23:58:13	06:45:48	07:46:32
31/03/2018	13:48:09	17:00:27	02:19:55	05:52:27	09:14:52	09:35:07
01/04/2018	11:43:53	18:18:37	18:59:06	04:38:48	07:00:30	06:40:15
02/04/2018	12:41:49	17:24:31	16:03:33	06:57:41	07:48:17	05:56:58
03/04/2018	11:47:44	18:02:14	16:10:54	06:13:44	08:05:04	06:23:51
04/04/2018	12:55:48	16:28:22	15:37:45	06:51:27	07:52:10	07:01:34
05/04/2018	14:24:09	16:55:58	15:35:00	06:08:12	07:49:24	07:59:32
06/04/2018	11:39:26	17:43:57	16:12:43	06:35:48	07:36:31	07:36:31
07/04/2018	13:41:51	17:34:40	17:44:47	05:02:04	07:44:00	07:23:46
08/04/2018	15:30:26	17:11:40	16:41:18	06:34:00	07:44:51	07:34:43
09/04/2018	13:46:28	17:29:09	16:28:25	06:41:22	08:22:35	07:01:37
10/04/2018	13:53:50	17:16:17	18:17:01	06:38:37	07:59:35	07:39:21
11/04/2018	13:40:59	17:23:41	15:12:05	06:05:31	07:56:51	07:06:15
12/04/2018	12:30:33	17:13:58	18:24:49	06:33:09	07:54:07	07:44:00

Fonte: Autoria própria.

Ao observar os dados horários apresentados na Tabela 9, novamente nota-se uma maior variabilidade nos horários de extremos mínimos do que dos máximos. A partir dela encontraram-se os valores de atraso térmico para os dois protótipos com isolamento de 5 cm de lã de vidro (amostra B), indicados a seguir na Tabela 10.

Tabela 10 – Atraso térmico verificado em cada protótipo — amostra B

Data	Temperaturas máximas diárias		Temperaturas mínimas diárias	
	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
22/03/2018	01:10:51	00:40:29	01:10:51	00:00:00
23/03/2018	00:40:30	00:00:00	02:41:57	00:00:00
24/03/2018	00:50:36	03:42:41	00:00:00	00:00:00
25/03/2018	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
26/03/2018	03:22:27	01:51:21	01:51:20	02:21:42
27/03/2018	00:00:00	01:51:20	03:52:47	03:12:18
28/03/2018	01:51:20	02:11:35	03:52:46	07:05:04
29/03/2018	03:32:34	02:52:04	01:00:43	00:00:00
30/03/2018	03:22:26	03:52:48	00:00:00	00:00:00
31/03/2018	03:12:18	00:00:00	03:22:25	03:42:40
01/04/2018	06:34:44	07:15:13	02:21:42	02:01:27
02/04/2018	04:42:42	03:21:44	00:50:36	00:00:00
03/04/2018	06:14:30	04:23:10	01:51:20	00:10:07
04/04/2018	03:32:34	02:41:57	01:00:43	00:10:07
05/04/2018	02:31:49	01:10:51	01:41:12	01:51:20
06/04/2018	06:04:31	04:33:17	01:00:43	01:00:43
07/04/2018	03:52:49	04:02:56	02:41:56	02:21:42
08/04/2018	01:41:14	01:10:52	01:10:51	01:00:43
09/04/2018	03:42:41	02:41:57	01:41:13	00:20:15
10/04/2018	03:22:27	04:23:11	01:20:58	01:00:44
11/04/2018	03:42:42	01:31:06	01:51:20	01:00:44
12/04/2018	04:43:25	05:54:16	01:20:58	01:10:51
Média total	03:07:41	02:44:13	01:40:17	01:17:45
Desvio padrão total	01:53:58	01:55:59	01:07:16	01:42:48
Extremo maior	06:34:44	07:15:13	03:52:47	07:05:04
Extremo menor	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00

Fonte: Autoria própria.

Após as análises dos atrasos térmicos de ambas as amostras é possível constatar uma melhor média geral nas temperaturas máximas do que nas mínimas. Mais uma vez, os valores de atrasos térmicos aferidos nas temperaturas mínimas são bastante variados e não seguem um padrão, mas no geral são menores do que os atrasos obtidos durante os picos de calor.

4.2.3 Análise da variância (ANOVA) e teste de Tukey

As séries extremas de dados de temperatura da amostra A foram submetidas à rotina de cálculo do *software* Past, retornando a análise da variância expressa na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas máximas da amostra A

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	338,696	2	169,348	39,496	7,64E-12	3,143
Dentro dos grupos	270,124	63	4,288			
Total	608,820	65				

Fonte: Autoria própria.

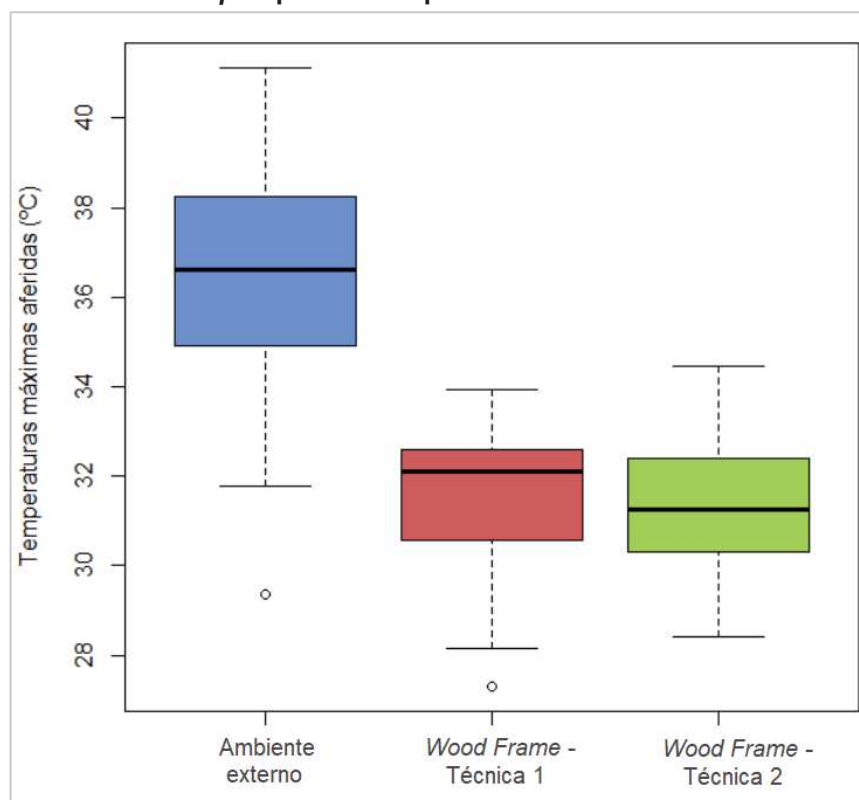
É possível verificar que a soma quadrática (SQ) aferida na ANOVA entre os grupos foi maior que a encontrada dentro dos grupos. Contudo, o foco da análise do teste de hipóteses para ser possível a retirada de conclusões da ANOVA é a comparação entre o valor de F e F crítico e entre o valor-P e o nível de significância adotado. Sendo assim, como o F encontrado é de 39,496, valor superior ao F crítico de 3,143, e o Valor-P resultante de $7,64 \times 10^{-12}$ é bastante inferior ao nível de significância adotado de 0,05, pode-se rejeitar a hipótese nula, H_0 . Em decorrência disto, conclui-se que ao menos de uma das amostras difere-se das demais.

Para entender melhor qual delas são diferentes entre si, aplicou-se o teste de Tukey, cuja análise é realizada duas a duas. O resultado deste teste encontra-se na Tabela 12. De maneira análoga, utilizou-se o *software* R para aplicação dos testes realizados, já que este proporciona a visualização dos resultados em forma de *boxplot* — diagrama de extremos e quartis —, apresentado no Gráfico 14.

Tabela 12 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas da amostra A

	Ambiente externo	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
Ambiente externo	-	8,32E-10	1,86E-10
Wood Frame - Técnica 1	-	-	0,9202
Wood Frame - Técnica 2	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 14 – *Boxplot* para as temperaturas máximas da amostra A

Fonte: Autoria própria.

Observa-se, a partir dos resultados do teste de Tukey, que o único Valor-P que excede o nível de significância de 0,05 é da comparação de médias entre os dois protótipos em *Wood Frame*, que constata que a diferença entre ambos os protótipos para as temperaturas máximas da amostra A não foi significativa. Por outro lado, conclui-se que é significativa a diferença das comparações de médias entre o ambiente externo e cada um dos protótipos.

O *boxplot* ilustrado no Gráfico 14 é uma maneira da simples visualização deste resultado, em que as medianas dos dois modelos reduzidos assemelham-se, mas distinguem-se da mediana do ambiente exterior. Nota-se também, comparando-se as duas técnicas, a distribuição mais uniforme dos dados da técnica 2.

Com tais resultados, comprova-se a capacidade de atenuação das temperaturas máximas diárias pelo sistema construtivo *Wood Frame* com a utilização de 2,5 cm de isolamento térmico em lã de vidro, mas não observou-se significativa variação entre cada uma das técnicas estudadas.

Dando continuidade à apresentação dos resultados, a seguir encontra-se a Tabela 13, dispondo os resultados da ANOVA para as séries de temperaturas mínimas da amostra A.

Tabela 13 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas mínimas da amostra A

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	182,214	2	91,107	35,831	4,055E-11	3,143
Dentro dos grupos	160,189	63	2,543			
Total	342,404	65				

Fonte: Autoria própria.

Observa-se uma menor variação das somas quadráticas entre os grupos e dentro dos grupos, além destes valores terem diminuído em relação à análise anterior, apresentando 182,214 e 160,189, respectivamente.

No teste de hipóteses resultante da ANOVA, novamente rejeita-se a hipótese nula. Esta conclusão advém do fato de que o F encontrado é de 35,831, valor superior ao F crítico de 3,143, e o Valor-P resultante de $4,055 \times 10^{-11}$ é bastante inferior ao nível de significância adotado de 0,05.

Consequentemente, efetuou-se o teste de Tukey a seguir, para descobrir qual delas difere-se das demais.

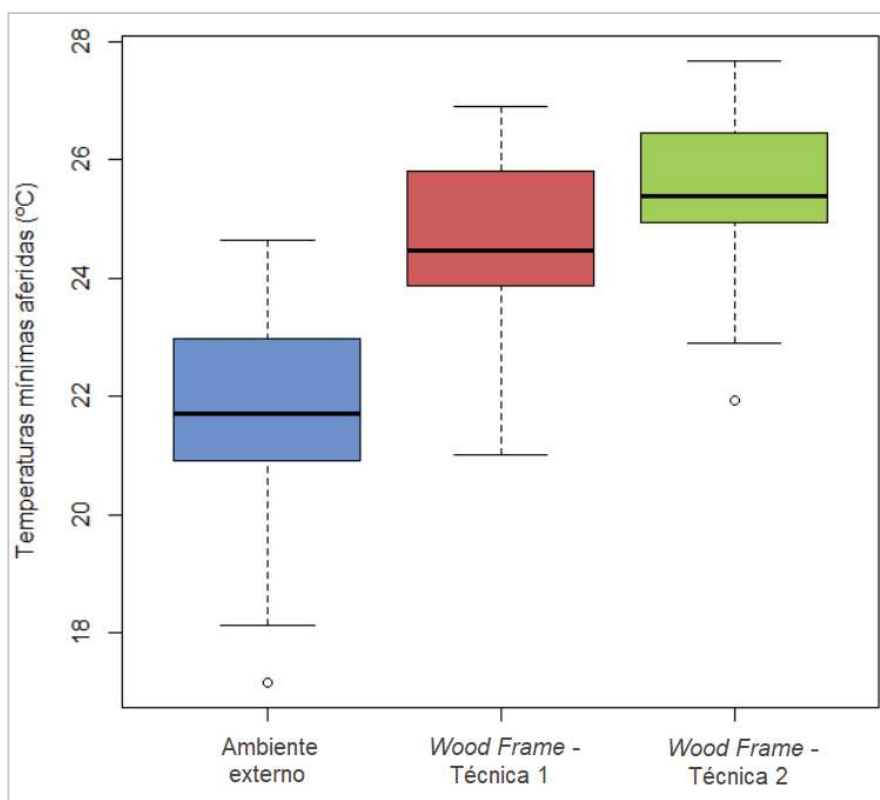
Tabela 14 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas mínimas da amostra A

	Ambiente externo	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
Ambiente externo	-	1,50E-07	8,81E-11
Wood Frame - Técnica 1	-	-	0,1457
Wood Frame - Técnica 2	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Conclui-se com o teste de Tukey, em conformidade com o resultado para as temperaturas máximas, que para as temperaturas mínimas e com a utilização do isolamento com 2,5 cm de lã de vidro não pode-se dizer que as temperaturas aferidas entre os protótipos é diferente. Enquanto que é constatada mais uma vez a significância da diferença das comparações de médias entre o ambiente externo e cada um dos protótipos.

Na sequência, ilustrado no Gráfico 15, o *boxplot* mostra uma melhoria na atenuação das temperaturas da técnica 2 em relação à técnica 1.

Gráfico 15 – *Boxplot* para as temperaturas mínimas da amostra A

Fonte: Autoria própria.

Todos os procedimentos são repetidos para a amostra B, em que os protótipos encontravam-se com 5 cm de isolamento térmico. Analogamente, deu-se início aos testes aplicando-se a ANOVA, cujo resultado está apresentado na Tabela 15 abaixo.

Tabela 15 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas máximas da amostra B

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	219,280	2	109,640	16,655	1,561E-06	3,143
Dentro dos grupos	414,722	63	6,583			
Total	634,002	65				

Fonte: Autoria própria.

Em contraste ao encontrado até o momento, a soma quadrática de dentro dos grupos foi superior à aferida entre os grupos. Contudo, verifica-se que H_0 é rejeitada, já que o F encontrado é de 16,655, valor superior ao F crítico de 3,143, e o Valor-P resultante de $1,561 \times 10^{-6}$ é inferior ao nível de significância adotado de 0,05. Em decorrência disto, conclui-se que ao menos uma das amostras difere-se das demais.

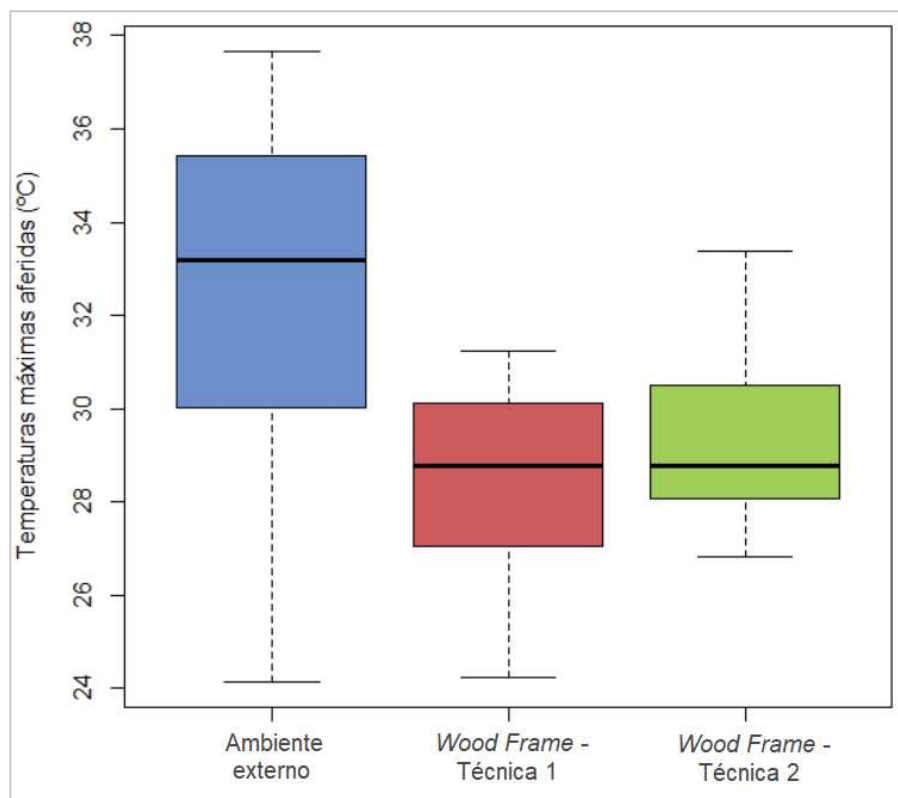
Na Tabela 16 encontra-se o resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas da amostra B e no Gráfico 16 ilustra-se o *boxplot* para os dados.

Tabela 16 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas da amostra B

	Ambiente externo	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
Ambiente externo	-	3,19E-06	0,000101
Wood Frame - Técnica 1	-	-	0,6171
Wood Frame - Técnica 2	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 16 – Boxplot para as temperaturas máximas da amostra B



Fonte: Autoria própria.

Logo, para as temperaturas máximas da amostra B também não pode-se dizer que as temperaturas entre os protótipos tem diferença significativa. Enquanto que é constatada mais uma vez a significativa diferença entre o ambiente externo e cada um dos protótipos construídos.

Por fim, aplicaram-se os testes às temperaturas mínimas aferidas durante o período de coleta com 5 cm de material isolante térmico, disponíveis na Tabela 17 a seguir.

Tabela 17 – Resultado da ANOVA para as séries de temperaturas mínimas da amostra B

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	241,331	2	120,666	44,517	8,875E-13	3,143
Dentro dos grupos	170,766	63	2,711			
Total	412,097	65				

Fonte: Autoria própria.

Desta vez, analisando-se os resultados da ANOVA, verifica-se que a soma quadrática de dentro dos grupos foi menor que a aferida entre os grupos. Além do mais, como o F encontrado é de 44,517, valor superior ao F crítico de 3,143, e o Valor-P resultante de $8,875 \times 10^{-13}$ é bastante inferior ao nível de significância adotado de 0,05, rejeita-se H_0 . Em decorrência disto, conclui-se que ao menos uma das amostras difere-se das demais.

Sendo assim, na Tabela 18 apresenta-se os valores resultantes ao submeterem-se os dados de temperaturas mínimas da amostra B ao teste de Tukey.

Tabela 18 – Resultado do teste de Tukey para as séries de temperaturas mínimas da amostra B

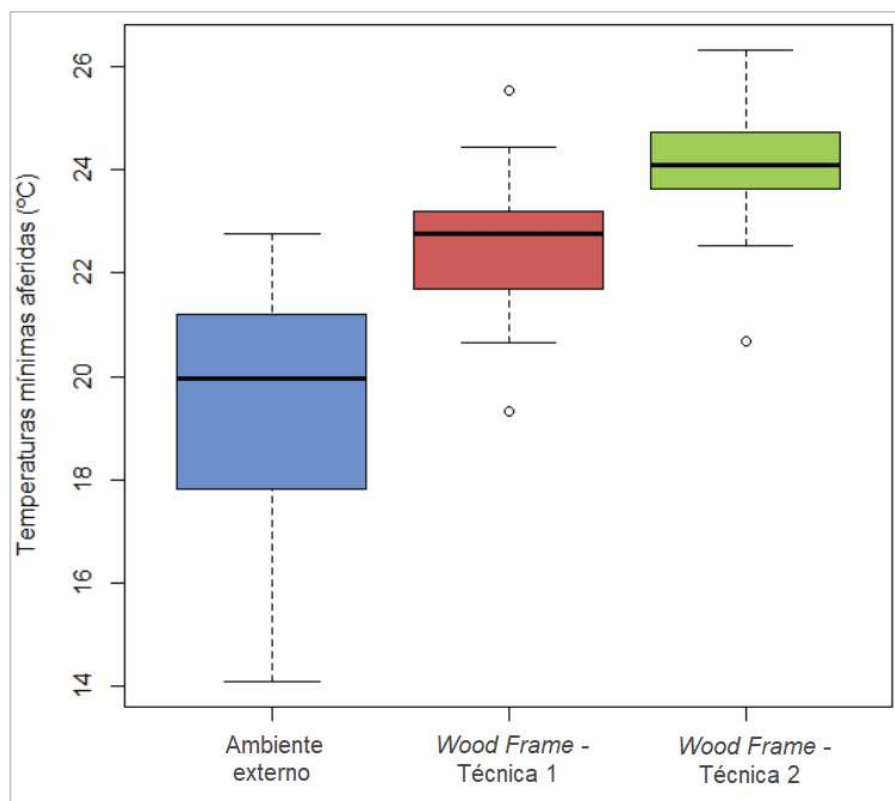
	Ambiente externo	Wood Frame - Técnica 1	Wood Frame - Técnica 2
Ambiente externo	-	7,87E-08	1,62E-11
Wood Frame - Técnica 1	-	-	0,01545
Wood Frame - Técnica 2	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Diferenciando-se dos demais resultados, conclui-se com o teste de Tukey para as temperaturas mínimas com os protótipos contendo 5 cm de isolamento térmico que os três Valores-P resultantes do teste são inferiores ao nível de significância de 0,05. Com isso, pode-se dizer que as três séries de temperaturas diferem-se entre si, ou seja, além de mais uma vez comprovada a diferença significativa entre o ambiente externo e cada um dos protótipos, também tornou-se significativa a diferença entre os protótipos construídos com as técnicas 1 e 2.

Nota-se, a partir do Gráfico 17, a variação mais distinta entre as três séries estatisticamente diferentes com o nível de significância de 5%

Gráfico 17 – Boxplot para as temperaturas mínimas da amostra B



Fonte: Autoria própria.

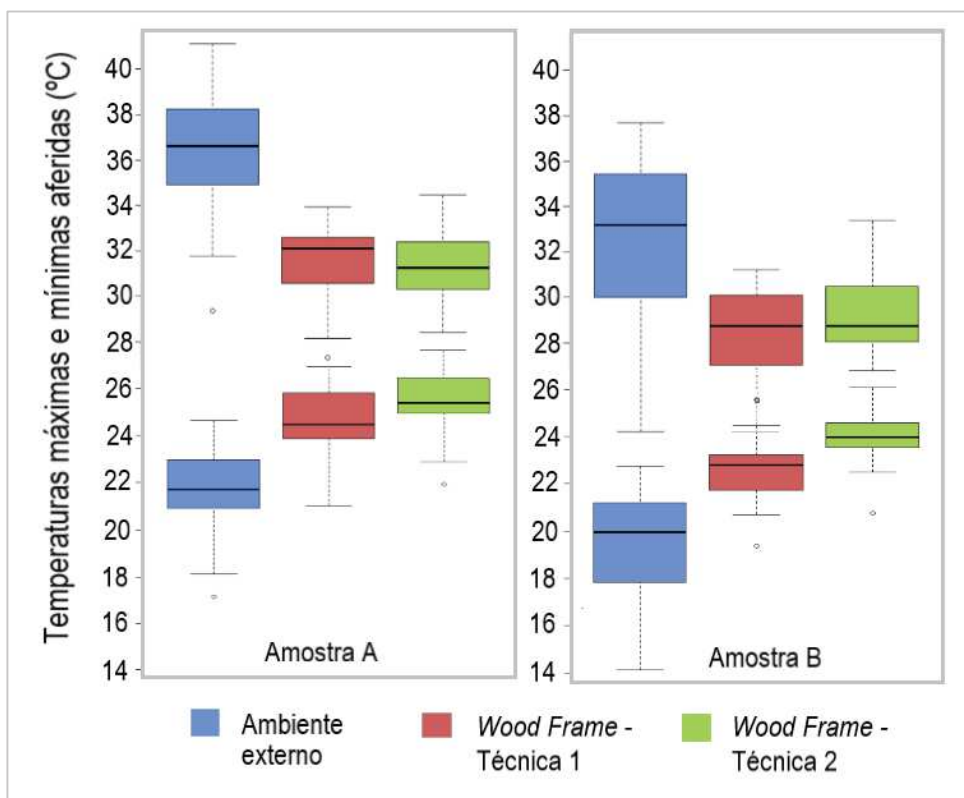
Finalizando-se a exposição dos resultados, apresenta-se um resumo para melhor visualização e comparação dos resultados dos testes estatísticos aplicados, apresentados na Tabela 19 e no Gráfico 18.

Tabela 19 – Resumo dos Valores-P do teste de Tukey para as séries de temperaturas máximas e mínimas de ambas as amostras

Amostra	Temperaturas extremas	Valor-P do teste de Tukey		
		Ambiente externo / Wood Frame - Técnica 1	Ambiente externo / Wood Frame - Técnica 2	Wood Frame - Técnica 1 / Wood Frame - Técnica 2
A	Máximas	8,32E-10	1,86E-10	0,9202
	Mínimas	1,50E-07	8,81E-11	0,1457
B	Máximas	3,19E-06	0,0001007	0,6171
	Mínimas	7,87E-08	1,62E-11	0,01545

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 18 – Resumo dos *boxplots* para as temperaturas máximas e mínimas das amostras A e B



Fonte: Autoria própria.

Por fim, apesar das aferições de dados de temperatura em períodos distintos, nota-se a semelhança entre os *boxplots* das máximas e entre os das mínimas, indicados no Gráfico 18.

Conclui-se, também, que os Valores-P foram bastante inferiores durante a ocorrência das temperaturas mínimas do que das máximas, elevando a possibilidade entre o ambiente externo, a técnica 1 e a técnica 2 em *Wood Frame* serem significativamente diferentes entre si nas temperaturas mais frias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *Wood Frame* é um sistema construtivo que ainda está sendo inserido no Brasil, um país que apresenta uma cultura que tem preconceitos com a utilização da madeira na construção civil. Entretanto, na diversidade dos estados brasileiros, diferentes empresas estão investindo neste ramo de construção. Neste sentido, estudos apontam uma variação de técnicas construtivas na etapa de vedação das edificações aplicadas pelas empresas atuantes em território nacional.

Ao longo deste estudo, denominaram-se as duas técnicas de vedação comparadas e avaliadas de técnica 1 e técnica 2, para facilitar a compreensão e exposição dos resultados. De acordo com alguns autores, a primeira técnica é aplicada nas cidades brasileiras mas é originária de outros países, como Estados Unidos e Canadá. Enquanto isso, a técnica 2 foi desenvolvida por uma empresa brasileira conhecida por atuar neste ramo, cuja tecnologia de construção é aprovada pelo Ministério das Cidades, tendo posse de um Documento de Avaliação Técnica, DATec, emitido em 2013.

A variação entre as técnicas de vedação analisadas é simples, em que a técnica 1 não apresenta uma camada de chapas de OSB internas à edificação quando comparada a técnica 2. A princípio, esta variação pode aparentar não ser significativa, contudo estudar e avaliar duas técnicas construtivas de um sistema recentemente trazido ao país tem grande relevância, tanto para as questões sociais e econômicas, quanto para as questões ambientais.

Para possibilitar a avaliação final das técnicas, executaram-se os dois protótipos e aferiram-se as temperaturas em dois intervalos de tempo de 22 dias, para tornar possível também analisar a variação causada na substituição do material isolante de 2,5 cm para 5 cm. Ao final das análises estatísticas aos quais foram submetidos os dados, destaca-se a significativa atenuação das amplitudes térmicas aferidas no ambiente externo para ambos os protótipos, comprovando que o sistema construtivo cumpre sua função na proteção das edificações das hostilidades climáticas.

O objetivo principal deste estudo, entretanto, é comparar e avaliar o desempenho térmico das duas técnicas de vedação entre si. Sendo assim, é possível

concluir com a aplicação da análise da variância e teste de Tukey que a diferença entre os protótipos apresentou-se significativa apenas para as temperaturas mínimas e no período em que os protótipos encontravam-se isolados termicamente com a espessura de 5 cm de lã de vidro, em que a técnica 2 apresentou vantagem sobre a técnica 1. Nos demais casos analisados não pode-se afirmar que é significativa a diferença entre as temperaturas dos dois protótipos.

Portanto, na maioria dos casos apresentados a variação entre as duas técnicas não resultou em diferenças significantes, abrindo portas a outros estudos complementares a esta pesquisa. Um dos fatores que pode ser estudado é a comparação orçamentária entre a construção de uma mesma residência nas duas técnicas, tornando assim possível correlacionar os resultados de desempenho térmico frente à análise econômica. Outro ponto importante a ser considerado e possivelmente abordado em outro estudo é a aplicação dos ensaios de resistência a impacto de corpo duro e de corpo mole contidas na norma de desempenho de edificações, ABNT NBR 15.575, às paredes dos protótipos das duas técnicas, comparando-se a eficiência de ambas e suas respectivas vantagens de aplicação.

Por fim, reforça-se a importância do estudo de novos sistemas construtivos, sistemas promissores que mostrem-se potencialmente favoráveis à maior qualidade das edificações e que afetem o ambiente em proporções reduzidas.

REFERÊNCIAS

ADRIAZOLA, Marcia Keiko Ono. **Avaliação experimental por meio de protótipos e por simulação de painéis de madeira para habitação de interesse social**. 2008. Tese (Doutorado em Ciência Florestais) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Manual da construção industrializada – Conceitos e etapas**. v.1, 2015. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/site/arquivos/manual-versao-digital-selecao.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.

ALMEIDA DE ARAUJO, Victor; BARBOSA, Juliana Cortez; GARCIA, José Nivaldo; GAVA, Maristela; LAROCCA, Christine; CÉSAR, Sandro Fábio. **Woodframe: light framing houses for developing countries**. Revista de la Construcción, Santiago, vol. 15, n. 2, p. 78-87, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2016000200008&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 14 out. 2017.

ALVES, Letícia Pereira. **Comparativo do custo benefício entre o sistema construtivo em alvenaria e os sistemas steel frame e wood frame**. Uberlândia, 2015.

AMANCIO, Rosa Carolina Abrahão; FABRICIO, Márcio Minto; MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente. **Avaliações técnicas de produtos de construção inovadores no Brasil**. Lisboa: LNEC, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais - desempenho parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2003b.

BARBETTA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antonio Cezar. Estatística para cursos de engenharia e informática. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S. S., 2010.

BARBOSA, Juliana Cortez. **Caracterização e avaliação do fluxo produtivo de habitação em madeira de plantios florestais segundo indicadores de sustentabilidade – consumo de energia e resíduos gerados**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BATISTA, Fábio Domingos. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O Conceito de Desempenho de Edificações e a sua Importância para o Setor da Construção Civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BUILDING SCIENCE CORPORATION. **BSI-033: Evolution**. fotografia. Disponível em: < <https://buildingscience.com/documents/insights/bsi-033-evolution>>. Acesso em 17 out. 2017.

CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. **Canadian Wood-Frame house construction**. [s.l.]: Central Mortgage and Housing Corporation, 2014.

CARDOSO, Filipa; ASCENSO, Rita. **As novas casas passivas**. Revista Edifícios e Energia, Climatização. Disponível: < <http://www.edificioseenergia.pt/media/44676/tcapa.pdf> >. Acesso em: 15 out. 2017.

CM Reforma. **Casa pré-fabricada de madeira: dúvidas e dicas**. Fotografia. Disponível: < <http://cmreforma.com.br/casa-pre-fabricada-de-madeira-duvidas-e-dicas/> >. Acesso em: 07 out. 2017.

DRYWALL. Associação Brasileira dos Fabricantes de chapas para drywall. Manual de projeto de sistemas drywall. 86p. Ed. PINI, São Paulo, 2006.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GARCIA, Carlos Henrique. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Piracicaba: IPEF, 1989. 12p.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. 2001. **PAST**: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. Version 3.16. 2017.

HARKINS. **Portifolio Log Homes**. [s.d.]. fotografia. Disponível em: < <http://www.harkins.ca/en/portfolio/> >. Acesso em: 08. out. 2017.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Anuário Estatístico da IBÁ 2015. 2015. Disponível em: < http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-iba_2015.pdf >. Acesso em: 20 set. 2017.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Desvios de Precipitação e Temperatura**: Fevereiro, março e abril, 2018. Disponível em < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=984> >. Acesso em: 20 mai. 2018.

KALUA, Amos. **Envelope Thermal Design Optimization for Urban Residential Buildings in Malawi**. In: *Buildings*. Mzuzu: v. 6, n. 2, p. 13, 2016. Disponível em: < <http://www.mdpi.com/2075-5309/6/2/13/htm> >. Acesso em: 19 abr. 2017.

KRAMBECK, Thaís Inês. **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

KRÜGER, Eduardo L.; LAROCA, Christine. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de baixo custo em madeira de reflorestamento**. In: *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 62, n. 4, p. 447-454, 2009. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000400006&lng=pt&nrm=iso >. Acesso em: 01 out. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **A eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LP Building Products. **Fixação de cargas em qualquer ponto da parede de Drywall com placas LP OSB Home**. Curitiba, 2014. Disponível em: < http://globalplac.com.br/wp-content/uploads/2014/04/LP_OSB_como_reforco_de_Drywall.pdf >. Acesso em: 16 out. 2017.

MARTUCCI, Ricardo; BASSO, Admir. **Uma visão integrada da análise e avaliação de conjuntos habitacionais: aspectos metodológicos da pós-ocupação e do desempenho tecnológico**. Coletânea Habitare - Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social. 2002. São Paulo, v. 1, cap. 11, p. 268-293, 2002.

MASCARÓ, Juan Luiz. **O custo das decisões arquitetônicas no projeto de hospitais**. Brasília: Ministério da saúde, 1995.

MINISTÉRIO DAS CIDADES – SECRETARIA NACIONAL DA HABITAÇÃO. DATec nº 020 - Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing). 2017a. Disponível em < www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php >. Acesso em: 20 set. 2017.

_____. Diretriz SiNAT nº 005 – Revisão 02. 2017b. Disponível em < www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php >. Acesso em: 20 set. 2017.

_____. Regimento do SiNAT. 2017c. Disponível em: < http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php >. Acesso em: 08 out. 2017.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. In: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, 2010 p. 143-156.

MOORE, David S. **A estatística básica e sua prática**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MORAES, Paulo Thiago Araujo; LIMA, Maryangela Geimba. Levantamento e análise de processos construtivos industrializados sob a ótica da sustentabilidade e desempenho. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA – ENCITA, 15., 2009, São José dos Campos, SP. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009. Disponível em: < <http://www.bibl.ita.br/xvencita/CIVIL04.pdf> >. Acesso em: 07 out. 2017.

MULLER, Davi Aponus. **Levantamento quantitativo, orçamento e comparação de custos orçados X estimados pelo CUB em uma edificação residencial multifamiliar**. 2016. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2016.

NEW ENERGY WORKS. Timber Frame Home Exteriors. [s.d.]. fotografia. Disponível em: < <http://newenergyworks.com/galleries/timber-frame-homes/timber-frame-home-exteriors> >. Acesso em: 07 out. 2017.

OLIVEIRA, Roberto de; WAGNER, Flávio Segundo; GROHMANN, Sandra Zampieri. A madeira como alternativa racional para habitação. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela, RS. **Anais...** Canela: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997.

PAESE, Michelle Cristine Bonatto. **Análise de sistemas construtivos em madeira implantados na região de Curitiba – Paraná**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

POWELL, Kevin L.; TILOTTA, David C.; MARTINSON, Karen L. **Assessment of research and technology transfer needs for wood-frame housing**. Madison: USDA, 2008.

POZZOBON, Cristina E.; MIRON, Laura P. **Composição dos custos de construção e análise de curvas ABC de empreendimento vertical**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC. 12. Fortaleza, 2008.

R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em: 15 abr. 2018.

SOUZA, Laurilan G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame**. Florianópolis, 2013. Disponível em < <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=analise-comparativa-do-custo-de-uma-casa--unifamiliar-nos-sistemas-construtivos-de-alvenaria-madeira-de-lei-e-wood-frame-1335716.pdf> >. Acesso em 20 ago. 2017.

STAMATO, Guilherme Corrêa; ANDRADE JUNIOR, Jairo Ribas de. Diretriz SINAT Nro 005 “Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamento em chapas delgadas (sistemas leves “light wood framing”)”. In:

ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - EBRAMEM, 15., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

STULTS, Rachel. Supersize that house? New homes get bigger. fotografia. 2014. Disponível em: < <https://www.realtor.com/news/real-estate-news/supersize-house-new-homes-get-bigger/> >. Acesso em: 20 ago. 2017.

TAKEUCHI, Washington Cesar. **Casa de madeira de Curitiba**. 2012. fotografia. Disponível em: < <http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2012/03/casas-de-madeira-de-curitiba-54.html> >. Acesso em: 07 out. 2017.

TECVERDE. Sistema construtivo. 2017. Disponível em: < <http://www.tecverde.com.br/sistema-construtivo/> >. Acesso em: 20 ago. 2017.

THALLON, R. **Graphic guide to frame construction**. 3ed. Newtown, CT: Taunton Press, 2008.

VELLOSO, Joana Geraldí. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VENDRAMETO, Oduvaldo; FRACCARI, Pedro Luiz; BOTELHO, Wagner Costa. A inovação tecnológica na construção civil e os aspectos humanos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 24., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABEPRO, 2004 p. 4091-4098.

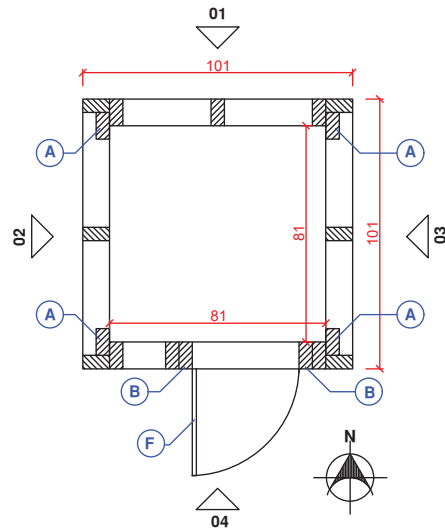
WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L.; YW, Keying. Probabilidade & estatística para engenharia e ciências. 8 ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2009.

WITTMANN, Angelina. **Levantamento de casas enxaimel: projeto contemplado no 28º edição do prêmio Rodrigo Melo Franco de Andrade**. 2015. fotografia. Disponível em: < <https://angelinawittmann.blogspot.com.br/2015/08/levantamento-das-casas-enxaimel-projeto.html> >. Acesso em: 20 set. 2017.

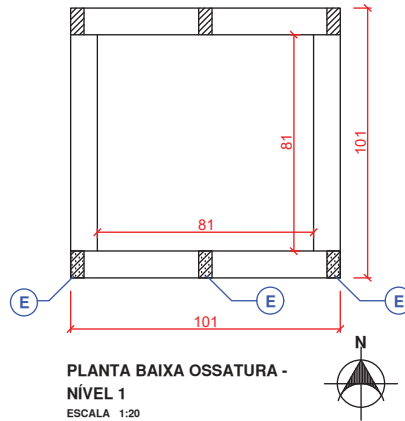
WRUBLESKI, Caroline; LAROCCA, Christine. Arquitetura habitacional em madeira: comparação entre os sistemas construtivos utilizados em Curitiba, Brasil e Auckland, Nova Zelândia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS

DE MADEIRA - EBRAMEM, 15., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

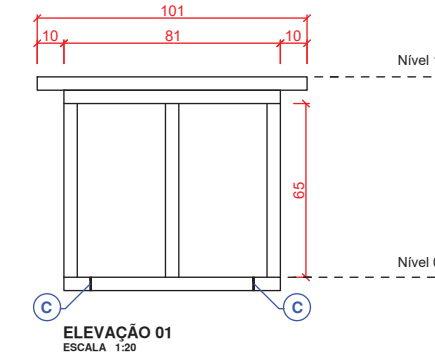
ZANI, Antonio Carlos. **Arquitetura em madeira**. Londrina: Eduel, 2013. 397 p.



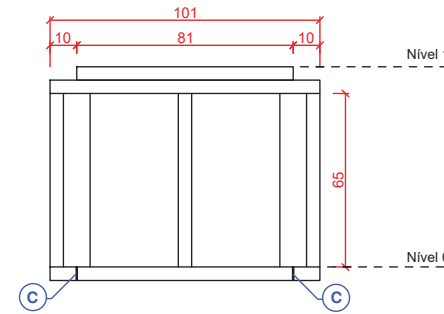
PLANTA BAIXA OSSATURA - NÍVEL 0
ESCALA 1:20



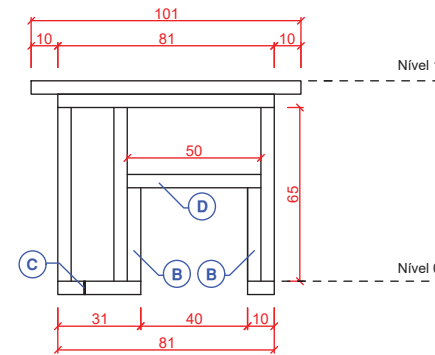
PLANTA BAIXA OSSATURA - NÍVEL 1
ESCALA 1:20



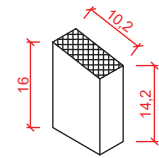
ELEVAÇÃO 01
ESCALA 1:20



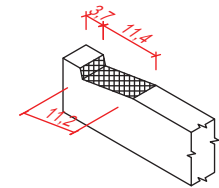
ELEVAÇÃO 02 E 03
ESCALA 1:20



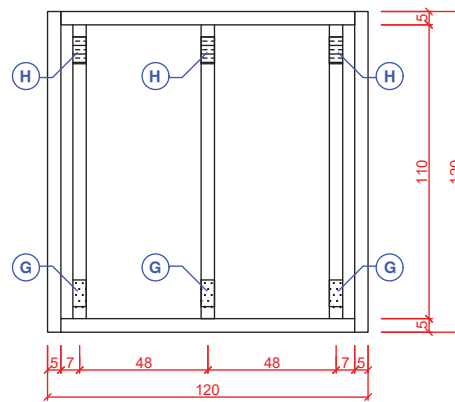
ELEVAÇÃO 04
ESCALA 1:20



ENTALHE DOS MONTANTES DE EMPENA (5x10 cm)
ESCALA 1:10

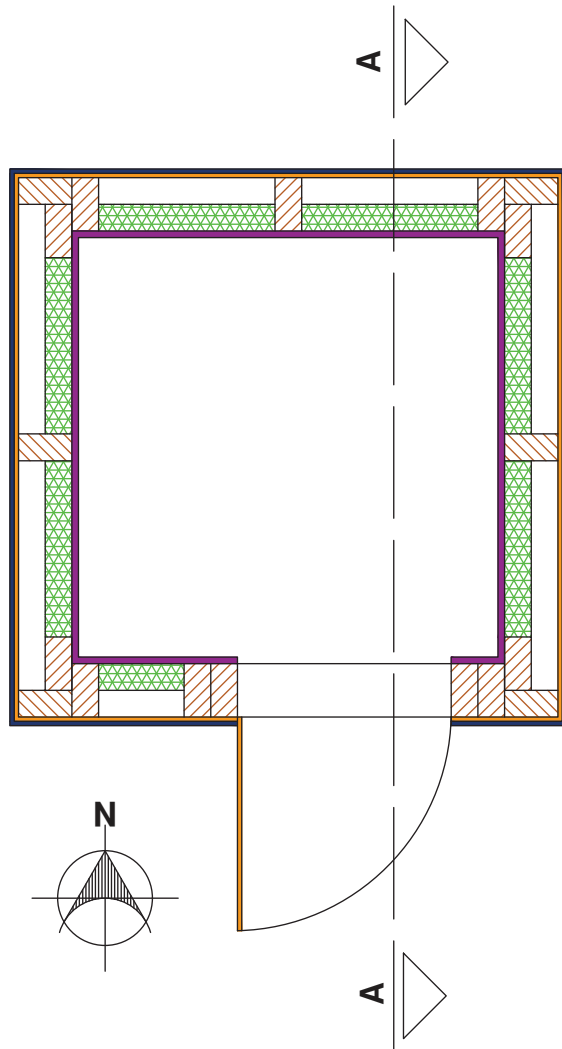


ENTALHE DE APOIO DAS TERÇAS (5x10 cm)
ESCALA 1:10

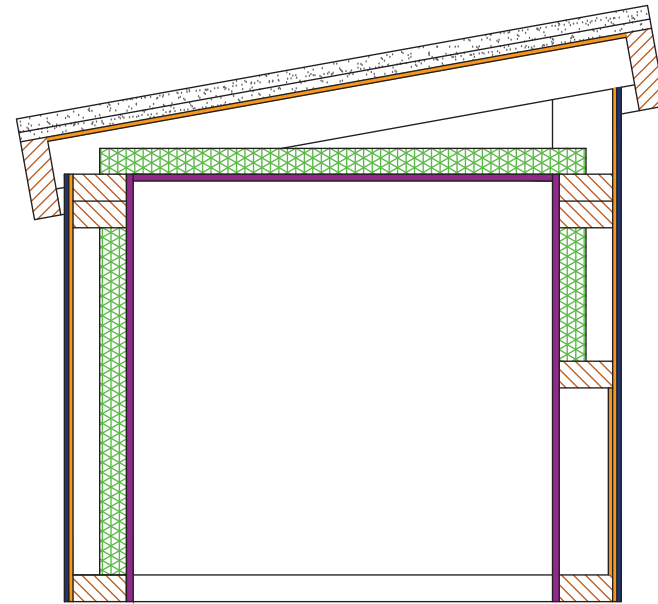


ESTRUTURA DE COBERTURA
ESCALA 1:20







LEGENDA	
	Montante 5x10 cm
	Soleira 5x10 cm
	Montante adicional 5x10 cm
	Umbra 5x10 cm
	Parafuso chumbador Ø 10 mm
	Verga 5x10 cm
	Local de encaixe da terça de cobertura
	Porta da edificação em OSB 8 mm
	Projeção do entalhe de apoio das terças
	Projeção do montante de empena

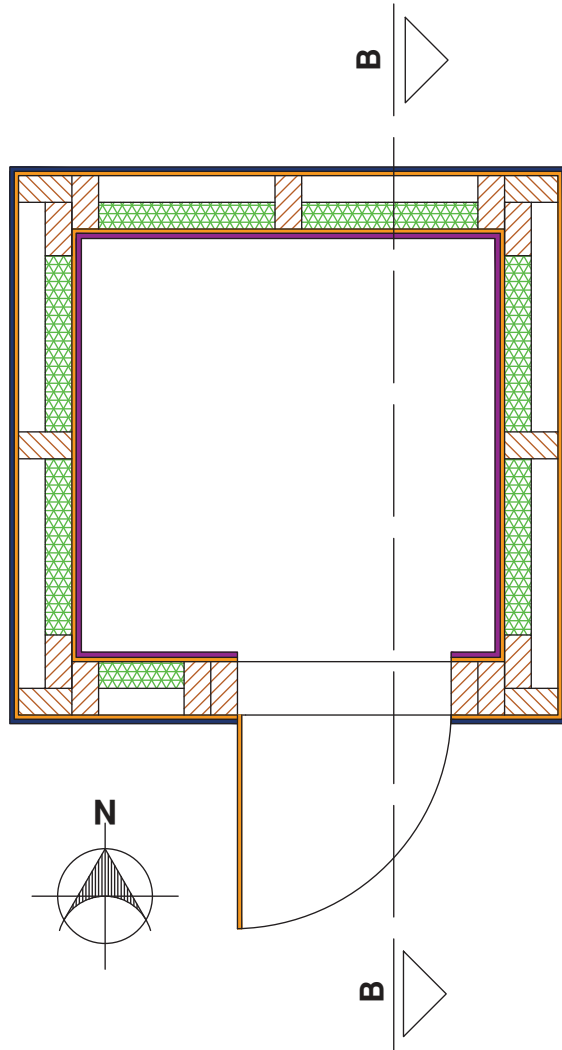


PLANTA BAIXA - TÉCNICA 1
 ESCALA 1:10



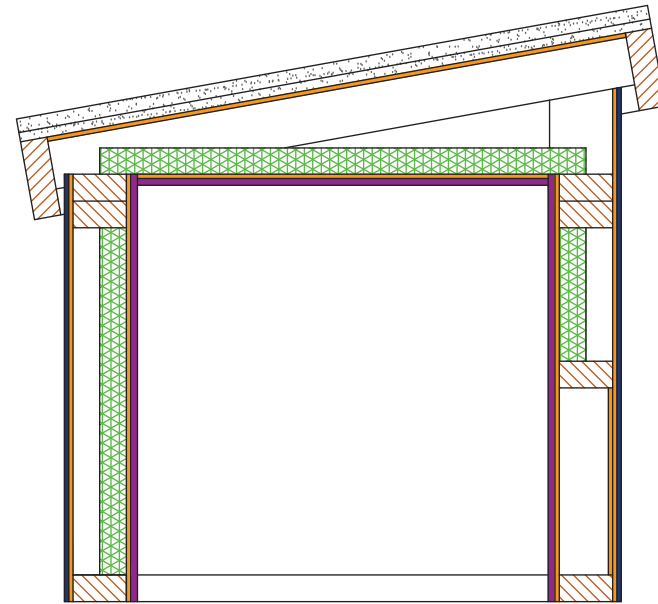
CORTE A-A
 ESCALA 1:10

LEGENDA	
	Montantes
	Lã de vidro 2,5 cm / 5 cm
	Gesso acartonado ST 12,5 mm
	Chapa de OSB 8 mm
	Placa cimentícia 8 mm
	Telha de fibrocimento 6 mm









PLANTA BAIXA - TÉCNICA 2

ESCALA 1:10



CORTE B-B

ESCALA 1:10

LEGENDA	
	Montantes
	Lã de vidro 2,5 cm / 5 cm
	Gesso acartonado ST 12,5 mm
	Chapa de OSB 8 mm
	Placa cimentícia 8 mm
	Telha de fibrocimento 6 mm

APÊNDICE D

A base de dados aferidos durante este estudo encontra-se disposta em planilhas inseridas no disco compacto (CD-ROM) apresentado a seguir.