



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE REVESTIMENTO A VÁCUO,
PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS DE EDIFICAÇÕES**

Dantara Lerin

Lajeado, dezembro de 2017

Dantara Lerin

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE REVESTIMENTO A VÁCUO,
PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADA DE EDIFICAÇÕES**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, dezembro de 2017

Dantara Lerin

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE REVESTIMENTO A VÁCUO,
PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS DE EDIFICAÇÕES**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de bacharela em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Orientador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Odorico Konrad - Avaliador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira - Avaliador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, dezembro de 2017

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Lucindo e Enedir, pela minha educação, pelo amor incondicional e por todo apoio diante das dificuldades. Estes, sem dúvidas são os responsáveis pela minha formação pessoal e por esta conquista.

Agradeço também ao Orientador Prof. Rodrigo Spinelli por todos ensinamentos e dedicação prestada no decorrer deste trabalho.

E, por fim agradeço os demais professores pelos conhecimentos compartilhados, os colegas em que amenizaram a angústia e a saudade de estar com nossa família e aos meus amigos, pela paciência e compreensão, obrigada!

RESUMO

O advento de novas tecnologias relacionadas a sistemas de isolamento térmico na construção civil auxilia para que as edificações se tornem mais sustentáveis e eficientes, favorecendo a diminuição no consumo de energia elétrica por meio da climatização artificial, e proporcionando conforto térmico aos usuários. O presente estudo se fundamenta na elaboração de uma placa de revestimento a vácuo para fachadas de edificações, a fim de avaliar seu desempenho térmico. O seu desenvolvimento se dá através de uma caixa de acrílico em que o ar foi retirado do seu interior e posteriormente aplicado o revestimento final (argamassa). Foram construídos dois protótipos de iguais dimensões e materialidades, e em um deles foram fixadas as placas em estudo. Desta forma, foi comparada a temperatura externa em relação à temperatura interna dos protótipos. A eficiência da placa se mostrou satisfatória no momento em que foram analisados os gráficos comparativos de temperaturas internas em relação à temperatura externa, em que o protótipo com as placas fixadas apresentou menor temperatura interna em todo o período de coleta dos dados, atingindo os parâmetros de temperatura de conforto térmico.

Palavra-chave: Vácuo; Isolamento térmico; Conforto térmico; Eficiência energética.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de Conforto Térmico.....	40
------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Técnica de <i>Cabot's Quilt</i>	23
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	25
Figura 3 – Modalidades de transferência de calor.....	30
Figura 4 – Troca de calor entre paredes opacas.....	39
Figura 5 – Parede dupla de alvenaria com caixa de ar	44
Figura 6 – Fachada ventilada.....	45
Figura 7 – Sistema ETICS	46
Figura 8 – Método da construção através da <i>Countor Crafting</i>	49
Figura 9 – Protótipo 1	54
Figura 10 – Protótipo 2.....	55
Figura 11 – Projeto das caixas de acrílico	56
Figura 12 – Projeto final da placa de revestimento a vácuo para fachadas	57
Figura 13 – Caixas de acrílico submersas na água	58
Figura 14 – Dispositivo de vedação	59
Figura 15 – Caixa de acrílico com aplicação da tela de fibra de vidro.....	59
Figura 16 – Método utilizado para o vácuo.....	60
Figura 17 – Excesso de pressão interna na caixa de acrílico.....	60
Figura 18 – Passo a passo do desenvolvimento da placa proposta.....	61
Figura 19 – Execução das lajes.....	63
Figura 20 – Protótipos parcialmente finalizados	63
Figura 21 – Protótipos finalizados.....	64
Figura 22 – Local e modelo do <i>datalogger</i>	65
Figura 23 – Protótipos com o sistema de isolamento térmico na cobertura	68

Figura 24 – Protótipos sem o sistema de isolamento térmico na cobertura	76
Figura 25 – Fissuração nas placas	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	27
Quadro 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	27
Quadro 3 – Transmitância térmica máxima das paredes externas.....	28
Quadro 4 – Capacidade térmica das paredes externas.....	28
Quadro 5 – Resistência térmica superficial interna e externa	36
Quadro 6 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas	36
Quadro 7 – Características das técnicas de impressão em 3D.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas máximas diárias externas.....	67
Gráfico 2 – Comparativo da temperatura – 17 de outubro de 2017	69
Gráfico 3 – Comparativo da Temperatura – 05 de outubro de 2017.....	70
Gráfico 4 – Comparativo da temperatura – 04 de outubro de 2017	71
Gráfico 5 – Comparativo de Temperatura – 02 de novembro de 2017	72
Gráfico 6 – Comparativo da Temperatura – 16 de outubro de 2017.....	74
Gráfico 7 – Comparativo da Temperatura – 24 de outubro de 2017.....	75
Gráfico 8 – Comparativo da Temperatura – 11 de novembro de 2017	77
Gráfico 9 – Comparativo da Temperatura – 11 de novembro de 2017	78
Gráfico 10 – Comparativo da Temperatura – 09 de novembro de 2017	79
Gráfico 11 – Comparativo das temperaturas máximas externas diárias x Temperaturas internas dos protótipos.....	81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Por cento
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
4D	Quatro dimensões
5D	Cinco dimensões
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer aided design</i>
CC	<i>Countour Crafting</i>
cm	Centímetros
EPS	Poliestireno expandido
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
h	Hora

I	Intermediário
ICB	Aglomerado de cortiça expandida
INDAC	Instituto Nacional para Desenvolvimento do Acrílico
K	Kelvin
Kcal	Quilocaloria
Laser	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
m	Metro
M	Mínimo
m ²	Metros quadrados
mm	Milímetros
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira
nD	Enésima dimensão
°C	Graus celsius
PT	Platina
RW	Lã de rocha
S	Superior
SBF	Sociedade Brasileira de Física
UV	Ultravioleta
W	Watts
XPS	Poliestireno extrudido

λ

Condutividade Térmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Justificativa	17
1.3 Estrutura do trabalho	17
1.4 Delimitação.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Evolução da construção civil	20
2.2 Evolução do isolamento térmico nas edificações	22
2.3 Normas técnicas brasileiras de desempenho térmico.....	24
2.3.1 ABNT NBR 15220.....	24
2.3.2 ABNT NBR 15575.....	25
2.4 Física aplicada à construção civil.....	29
2.4.1 Conceitos básicos sobre transferência de calor.....	29
2.4.1.1 Condução.....	30
2.4.1.2 Convecção.....	31
2.4.1.3 Radiação	32
2.4.2 Condutividade térmica.....	33
2.4.3 Resistência térmica	34
2.4.4 Transmitância térmica	36
2.4.5 Atraso térmico.....	37
2.4.6 Troca de calor em paredes opacas	38
2.5 Conforto térmico x eficiência energética	40
2.6 Isolamento térmico	42
2.6.1 Técnicas construtivas para isolamento térmico em paredes	43
2.6.1.1 Parede dupla	44
2.6.1.2 Fachadas ventiladas.....	44
2.6.1.3 Sistema ETICS.....	45
2.7 Inovação tecnológica na construção civil	46
2.7.1 Tecnologias	47
2.7.1.1 BIM	47
2.7.1.2 Utilização da impressora 3D na construção civil.....	48

2.7.1.3 Corte a laser em material acrílico	50
2.7.1.4 Vácuo	51
3 METODOLOGIA.....	53
3.1 Tipo de pesquisa	53
3.2 Projeto dos protótipos e da placa de revestimento a vácuo para fachadas	54
3.2.1 Projeto Protótipo 1 e Protótipo 2	54
3.2.2 Projeto da caixa de acrílico para retirada do ar- vácuo	55
3.2.3 Projeto final da placa de revestimento a vácuo para fachadas	56
3.3. Desenvolvimento da placa de revestimento a vácuo para fachadas.....	57
3.4 Protótipos	62
3.4.1 Localização dos protótipos.....	62
3.4.2 Desenvolvimento dos Protótipos 1 e 2.....	62
3.5 Equipamentos para o levantamento de dados	64
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
4.1 Características do ambiente externo e interno dos protótipos	66
4.1 Temperatura máxima do ambiente externo.....	67
4.2 Comparativo das temperaturas com o sistema de isolamento térmico na cobertura dos protótipos	68
4.2.1 Comparativo da temperatura – 17 de outubro de 2017	68
4.2.2 Comparativo da temperatura – 05 de outubro de 2017	70
4.2.3 Comparativo da temperatura – 04 de outubro de 2017	71
4.2.4 Comparativo da temperatura – 02 de novembro de 2017	72
4.2.5 Comparativo da temperatura – 16 de outubro de 2017	73
4.3 Comparativos da temperatura com maior diferença entre a temperatura externa e temperatura interna do protótipo 2	75
4.4 Comparativo das temperaturas sem o sistema de isolamento térmico na cobertura dos protótipos	76
4.4.1 Comparativo da temperatura – 11 de novembro de 2017	76
4.4.2 Comparativo da temperatura – 13 de novembro de 2017	78
4.4.3 Comparativo da temperatura – 09 de novembro de 2017	79
4.5 Análise das comparações das temperaturas.....	80
4.6 Condutividade térmica.....	81
4.7 Patologias nas placas de revestimento para fachadas	82
5 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	85
ANEXOS.....	93
ANEXO A – Resultados de resistência a compressão do revestimento final das placas (argamassa)	94
ANEXO B – Resistência à compressão do concreto utilizado nas lajes.....	98
ANEXO C – Resistência à compressão da argamassa de assentamento dos tijolos	100

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, a mão de obra está presente em todas as etapas. Conforme o estudo da Câmara Brasileira da Indústria da Construção 74% das empresas do setor possuem dificuldades em encontrar profissionais que tenham comprovações e qualificações necessárias para o preenchimento dos cargos de trabalho, sendo que os mesmos geram grande desperdício, além da falta de qualidade na edificação desenvolvida (DESAFIOS..., 2015).

A bibliografia acima citada menciona que o tempo também é significativo, uma vez que, a técnica de utilização de elementos industrializados, evita características negativas no processo de construção, além de viabilizar técnicas sustentáveis, aumento de produtividade e a redução de custos.

A construção civil é considerada atrasada quando comparada a outras áreas industriais, a razão disso é devido ela apresentar de um modo geral, baixa produtividade, baixo controle de qualidade, grandes desperdícios de materiais e lentidão nos processos construtivos (EL DEBS, *apud* SIRTOLI, 2015).

Entretanto, no Brasil uma forma de avanço na construção civil é através da utilização de métodos que aliem tecnologia digital, sustentabilidade, mão de obra qualificada, redução de resíduos, agilidade e qualidade no processo construtivo. Um exemplo disso são os elementos pré-fabricados que possibilitam rapidez na execução da construção, tão como novas tecnologias de softwares que auxiliam na precisão, armazenando dados, permitindo maior clareza nas vistas do projeto, além de possibilitar a quantidade dos materiais construtivos.

Uma nova e avançada tecnologia empregada no setor é a impressora tridimensional, a qual oportuniza a impressão do projeto em escala real.

Assim como as tecnologias aqui citadas, o isolamento térmico é uma forma benéfica nas edificações, pois além de reduzir custos relacionados à climatização artificial, proporciona a sensação de conforto térmico aos usuários auxiliando que a edificação se torne sustentável e eficiente.

Para efetuar o isolamento térmico ressaltam-se três sistemas existentes: a) parede dupla: a qual é produzida com duas camadas de tijolos afastadas e entre meio preenchida com o isolante térmico; b) fachada ventilada: é o afastamento entre o revestimento do edifício, criando uma lamina de ar; c) sistema ETICS: constituído por placas podendo ser de lã de rocha, poliestireno expandido, poliestireno extrudido e aglomerado de cortiça expandida.

No presente estudo, o foco principal é a elaboração de uma nova técnica para isolamento térmico, sendo desenvolvida uma placa de revestimento a vácuo para fachadas de edificações, visando conforto térmico e eficiência energética. Para obter os resultados, foram construídos de maneira convencional dois protótipos, sendo que em um deles foram fixadas nas fachadas as placas propostas. Diante disso, foram analisados os dias que apresentaram temperatura externa significativa a fim de comparar com a temperatura interna dos protótipos, comprovando a eficiência do revestimento em estudo.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são divididos em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral, desenvolver um estudo relacionado a conforto térmico e eficiência energética em edificações, partindo do desenvolvimento de uma placa de revestimento a vácuo para fachadas, visando isolamento térmico. E desenvolver o estudo

comparativo em protótipos através da temperatura máxima externa, e por fim, estimar a condutividade térmica do vácuo.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, para atender o objetivo geral, apontamos:

- Desenvolvimento de revestimento a vácuo, para aplicação em fachadas de edificações;
- Aplicar o revestimento em protótipo, comparando a eficiência do elemento proposto, em relação ao protótipo sem revestimento;
- Comparar as medições de temperatura interna dos protótipos em relação à temperatura externa, para comprovar a eficiência do elemento proposto.

1.2 Justificativa

Atualmente, com o alto custo da energia elétrica se faz necessário novas tecnologias e novas formas de sustentabilidade para a eficiência das edificações. Sendo assim, este trabalho busca apresentar resultados em uma nova técnica de isolamento térmico para fachadas.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo, após uma breve introdução ao tema, são apresentados os objetivos, a justificativa para o desenvolvimento do estudo e as delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo é composto por um referencial teórico contendo uma rápida contextualização sobre a evolução da construção civil e do isolamento térmico nas edificações.

Posteriormente, são abordadas as Normas Técnicas Brasileiras NBR 15220 e NBR 15575, na qual determinam os fatores relacionados ao desempenho térmico. Para melhor entendimento do assunto são definidas questões relacionadas à física aplicada na construção civil, na qual abordam conceitos sobre transferência de calor, materiais isolantes e suas propriedades térmicas. Em seguida o texto trata de questões sobre isolamento térmico, retratando suas técnicas construtivas para fachadas de edificações.

Desta forma, como o estudo é baseado em inovações a última seção refere-se às inovações tecnológicas aplicadas na construção civil, com ênfase nos materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho.

O terceiro capítulo refere-se à metodologia aplicada na fase experimental do estudo diante disso são apresentados os projetos, os materiais empregados para o desenvolvimento dos protótipos e do elemento proposto e também os equipamentos utilizados para a coleta e o armazenamento dos dados.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, com eles, foram elaborados gráficos para analisar e comparar a temperatura externa em relação à temperatura interna de cada protótipo. Além disso, por meio da comparação das propriedades térmicas dos materiais utilizados nos protótipos e realizadas as equações especificadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), foi possível estimar o valor da condutividade térmica do vácuo.

E por fim, o quinto capítulo refere-se à conclusão do autor sobre o estudo.

1.4 Delimitação

O presente trabalho aborda a confecção de um novo revestimento para fachadas das edificações, com aplicação de um elemento preparado com tecnologia de corte a laser com vácuo no seu interior, atuando como isolante térmico. Sendo assim, será analisada a influência desse elemento nas questões relacionadas ao conforto térmico e eficiência energética.

Essa avaliação será realizada através de dois protótipos construídos em Lajeado, sendo assim, será comparada a temperatura externa em relação à interna do protótipo com a aplicação do referido elemento e o protótipo construído sem nenhum tipo de revestimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alguns conceitos e conteúdos considerados importantes ao isolamento térmico foram abordados com o propósito de fundamentar e justificar o presente estudo, além de nortear o leitor com um contexto que facilite seu entendimento.

2.1 Evolução da construção civil

Todo o setor econômico precisa de uma constante evolução nos seus processos, por parte de agentes envolvidos, para se manter economicamente viável, infelizmente essa evolução na construção civil acontece de forma lenta, descreve Krützmann (2015).

Brito e Gantois (2013) mencionam que no Brasil, a mão de obra está presente em praticamente todas as etapas de construção, devido a isso dizemos que a um grande indicativo de falta de industrialização. Segundo os autores, uma das maneiras de vencer o atraso gerado na construção civil brasileira é através de técnicas associadas aos elementos pré-fabricados, todavia as suas vantagens e os seus benefícios já estão sendo muito utilizados em todo o mundo, embora, no Brasil o seu uso ainda é bastante limitado.

Ceotto (*apud* KRÜTZMANN, 2015, p. 18) afirma que “do ponto de vista sistêmico, até o início da década de 1990 ainda se construía no Brasil de forma semelhante a como era feito em 1930”.

Diante disso, sabemos que a história da construção civil passou e passa por fases, estando fundamentada na concepção de novas técnicas e mudanças construtivas.

Em um primeiro momento, a história da industrialização identifica-se com o surgimento de novos equipamentos e novas ferramentas para a produção da construção civil estando associada com a história da mecanização. Diante disso, as atividades executadas pelo homem foram sendo substituídos por aparelhos eletrônicos, mecânicos ou automatizados (SIRTOLI, 2015).

O progresso da Revolução Industrial gerou um grande impacto no processo produtivo, tanto em nível econômico como social, o qual foi causado pelas inovações tecnológicas. A partir destas mudanças houve o desejo de fazer melhor, com maior rapidez e com custo reduzido afirma Fonyat (2013).

No Brasil, os anos 90 colaboraram com a evolução tecnológica do ramo da construção, pois permitiu que as construtoras tivessem acesso a novos componentes e equipamentos. Algumas empresas internacionais se estabeleceram no Brasil nesta época associando-se a parceiros brasileiros, trazendo consigo tecnologia (ROCHA, 1997).

Brito e Gantois (2013, p. 289) dizem que “Atualmente, a construção civil precisa atingir níveis de rentabilidade e produtividade diferentes dos de meados do século passado”, desta forma a industrialização através do uso de estruturas pré-fabricadas tornam-se essencial na construção civil.

Além disso, pensando em inovações tecnológicas, os projetistas dispõem de softwares que possibilitam as informações sobre cada material utilizado, melhorando as questões relacionadas a custos e perdas, desta forma, pode-se dizer que projetos bem elaborados, são de relevância para a otimização e racionalização na construção civil, gerando maior precisão e redução de incertezas comparado à construção convencional (ARO; AMORIM, 2004).

Goulding e Arif (2013) afirmam que a sociedade está mais consciente e preocupada com os impactos ambientais gerados pelas técnicas convencionais de construção, as quais resultam uma grande quantidade de resíduos. Os autores citam que novos produtos, processos e tecnologias, como por exemplo, o *Building Information Modeling* (BIM) pode contribuir nos processos construtivos.

Diante do exposto, pode-se dizer que a introdução de materiais, técnicas e equipamentos tecnológicos estão relacionados com a melhoria da construção civil, conduzindo a uma melhor qualidade construtiva e reduzindo a quantidade de resíduos, sendo este um dos grandes impasses enfrentados pelas empresas deste ramo. Além disso, segundo Bianchi (2014) atualmente a indústria da construção civil solicita que sejam consideradas questões relacionadas à sustentabilidade e eficiência energética em edificações. A autora menciona que o isolamento térmico é uma técnica relacionada a este aspecto.

Outro tópico relacionado ao avanço tecnológico que vem se desenvolvendo e modernizando produtos nos últimos anos é a impressão tridimensional. Porto (2016) descreve que esta tecnologia já é utilizada em diversas áreas, como na medicina, na indústria aeroespacial e na produção de peças de automóveis. Cita também que assim como nessas áreas, a impressora 3D pode trazer avanços e benefícios significativos para a construção civil, como redução de mão de obra e de resíduos proporcionando maior qualidade e agilidade no tempo de construção, além de resultar em lesões de menor gravidade e diminuir o contato do trabalhador com situações de risco.

Martins e Barros (2005) mencionam que a inovação no setor da construção civil é vista como uma estratégia competitiva, passando a ser uma importante ferramenta para que as empresas deste ramo tenham vantagens competitivas frente a seus concorrentes, agregando eficiência e agilidade nas atividades de produção, além de proporcionar maior lucratividade à empresa e significativa melhoria na qualidade final.

2.2 Evolução do isolamento térmico nas edificações

No século XIX, a partir da revolução industrial a comercialização dos isolantes térmicos começou a se difundir. No ano de 1891, foram criadas por Samuel Cabot mantas térmicas, chamadas de *Cabot's Quilt* (FIGURA 1) eram constituídas por uma planta marinha costurada ou posta entre camadas de papel *kraft* (FRANCO; PEDOTE, 2012).

Figura 1 – Técnica de *Cabot's Quilt*



Fonte: Franco e Pedote (2012, p. 8)

O autor acima mencionado diz que o isolamento térmico nas edificações até a década de 1920 não possuía importância, pois os materiais utilizados naquela época eram pesados e espessos, possuindo elevada resistência às diferenças de temperatura. Mas com o passar dos anos à necessidade de edificações que proporcionassem economia ganhou espaço no mercado, desta forma aumentou a busca por materiais isolantes. Em 1897, o engenheiro químico C.C. Hall criou a lã de rocha, mas por volta de 1920 à procura pela mesma diminuiu, sendo substituída pelo amianto. Em 1930 foi produzida a fibra de vidro.

No século XX durante 1940, foi desenvolvido um método de isolamento térmico de edificações para o exterior das fachadas, composto por lã mineral após sua aplicação era necessário aplicar o revestimento externo. Neste mesmo ano conforme alguns autores descrevem Edwin Horbach contatou uma empresa alemã que fornecia poliestireno expandido, surgindo então o sistema de isolamento térmico EPS (E-CIVIL, [S.d]).

Conforme Franco e Pedote (2012) na década de 1970, após a crise do petróleo a população do mundo inteiro passou a ter consciência da necessidade de reduzir o consumo de energia desta forma o emprego de isolantes térmicos nas edificações passou a ter importância.

A partir da década de 1980, no Brasil, surgiram às telhas sanduíches, foram os primeiros produtos criados com a função de isolamento térmico para construção civil, usadas preferencialmente em coberturas. Vale ressaltar que nos últimos anos, o país passou a ter

alguns materiais para isolamento térmico, sendo empregados em coberturas, fechamentos laterais, forros e pisos, além de poder ser aplicado em qualquer edificação que procure conforto térmico ou redução de gastos com climatização, enfatiza Moura (2007).

Em contrapartida de acordo com Primo (2008) em Portugal as fachadas começaram a evoluir a partir do século XX, mas ao longo dos anos o isolamento pelo exterior das edificações sofreu uma grande evolução devido o surgimento de novos materiais e processos construtivos.

No Brasil, os fatores relevantes ao desempenho térmico são determinados em duas Normas Técnicas, cuja quais estão descritas na seção 2.3.

2.3 Normas técnicas brasileiras de desempenho térmico

Segundo Akutsu *apud* Spannenberg (2006, p. 56) “a avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste basicamente em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de requisitos prefixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico”. As normas que determinam os fatores relacionados ao desempenho térmico de edificações são apresentadas nos itens 2.3.1 e 2.3.2.

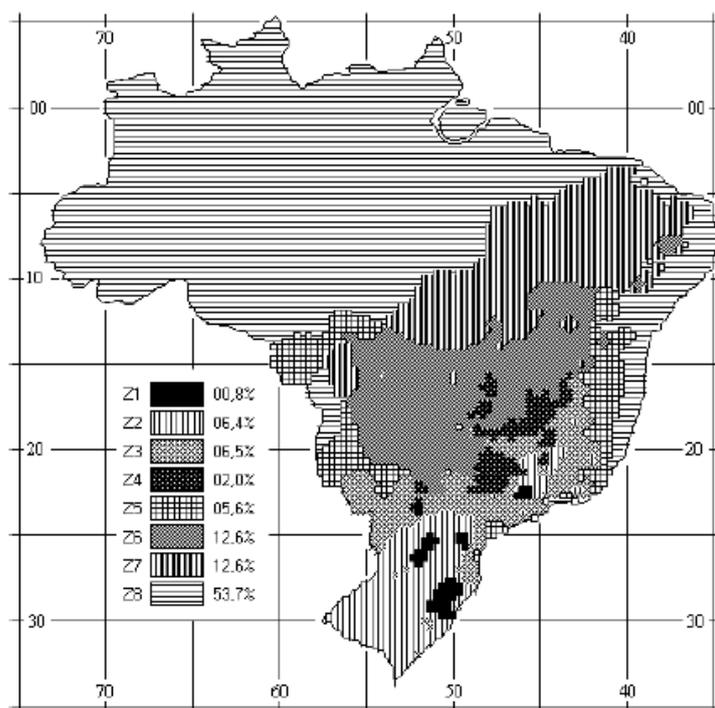
2.3.1 ABNT NBR 15220

Publicada em 2003, a NBR 15220 (ABNT, 2003a, 2003b, 2003c)- Desempenho térmico de edificações é dividida em cinco partes. A primeira parte é formada por tabelas que estabelecem definições, símbolos e unidades referentes ao desempenho térmico de edificações.

Já a segunda parte apresenta as equações e os valores típicos necessários para o desenvolvimento dos cálculos das propriedades térmicas dos materiais das edificações, tais como: fator solar, atraso térmico, capacidade e transmitância térmica. Na sua terceira parte por sua vez a norma técnica apresenta diretrizes do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, além

de um conjunto de recomendações técnicas construtivas que melhoram o desempenho térmico da edificação conforme a região em que a mesma está localizada. A Figura 2 representa o zoneamento bioclimático determinado pela norma que estabelece a divisão de oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2003c, p. 3)

Por fim a quarta e a quinta parte da norma apresentam procedimentos para a determinação da resistência e condutividade térmica de materiais que são respectivamente a partir dos métodos da placa quente protegida e fluximétrico.

2.3.2 ABNT NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b) – Edificações habitacionais: Desempenho, publicada em 2013, possui como foco principal estabelecer requisitos mínimos a serem atingidos para o conforto térmico dos usuários das edificações, independente dos materiais e do sistema construtivo utilizado. A norma divide-se em seis partes:

[...] requisitos gerais, requisitos para os sistemas estruturais, requisitos para os sistemas de pisos, requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, requisitos para sistemas de coberturas e requisitos para os sistemas hidrossanitários (RODRIGUES, 2015, p. 49).

Porém os critérios utilizados referente o desempenho térmico, encontram-se nas partes 1 e 4. O item 11 da NBR 15575-1 estabelece técnicas para a avaliação do desempenho térmico, considerando a zona bioclimática determinada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003a).

a) Procedimento 1: Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2.

b) Procedimento 2: Medição (informativo, Anexo A): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta norma, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior a), conforme disposto na Diretiva 2 da ABNT (ABNT, 2013a, p. 21).

Desta forma se a edificação apresentar na parede das fachadas ou na cobertura valores mínimos para a transmitância e capacidade térmica estabelecida conforme a parte 4 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) será necessária à execução da simulação computacional para a avaliação do desempenho térmico, em dias de verão e inverno determinados na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Para a execução das simulações computacionais a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) recomenda a utilização do programa *EnergyPlus*.

Em complemento, a NBR 15575-1 (2013a) dispõe de critérios perante o desempenho térmico das edificações, sendo classificados pela sua qualidade. Os níveis de aceitação são divididos em Mínimo, Intermediário e Superior, representados por M, I e S.

a) Exigências de desempenho no verão

Os critérios para o cumprimento da exigência mencionada na NBR 15575-1 (2013a) é apresentar melhores condições térmicas no interior da edificação proporcionando uma temperatura melhor ou igual ao ambiente externo, à sombra em um dia típico de verão, tais critérios são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
<p>$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p. 23)

b) Exigências de desempenho no inverno

Para os dias típicos de inverno o desempenho térmico das edificações deve atender os critérios mínimos especificados pela NBR 15575-1 (2013a), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3o C)$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p. 23)

Além dos níveis mínimos a tabela E.1 e E.2, do anexo E da referida norma apresentam os valores de desempenho térmico para os dias de verão e inverno para níveis Intermediários e Superiores.

O item 11 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) é destinado ao desempenho térmico de vedações verticais externos, isto é, fachada, no qual é o foco deste estudo.

Essa parte da ABNT NBR 15575 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15220-1 a ABNT NBR 15220-5 (ABNT, 2003b, p. 26).

A edificação terá que possuir transmitância e capacidade térmica que possibilitam o nível mínimo de desempenho térmico conforme cada zona bioclimática determinada na NBR 15220-3 (ABNT, 2003b).

O Quadro 3 apresenta os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica das paredes externas.

Quadro 3 – Transmitância térmica máxima das paredes externas

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b, p. 27)

A outra propriedade a ser considerada é a Capacidade Térmica, estabelecida pela NBR 15575-4 (2013b), os valores mínimos admissíveis estão representados no Quadro 4.

Quadro 4 – Capacidade térmica das paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b, p. 27)

Os cálculos tanto para a transmitância térmica como para a capacidade térmica das fachadas devem ser conforme os procedimentos determinados na segunda parte da NBR 15220, atendendo a classificação M, que é o nível mínimo de aceitação relacionado ao desempenho (ABNT, 2003b).

De acordo com Frota e Schiffer (2001) para a compreensão e o entendimento do comportamento térmico das edificações, é fundamental uma base conceitual sobre transferência de calor. Diante disso a seção 2.4 esclarece brevemente este assunto.

2.4 Física aplicada à construção civil

A física aplicada na construção civil aborda assuntos sobre transferência de calor, materiais isolantes e suas propriedades térmicas, visto que é indispensável para a compreensão do estudo.

2.4.1 Conceitos básicos sobre transferência de calor

Quando houver variação de temperatura dentro de um sistema ou então quando dois sistemas com temperaturas diferentes estiverem em contato, ocorrerá trocas de energia, o processo no qual se efetua essa troca é chamado de transferência de calor (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2014).

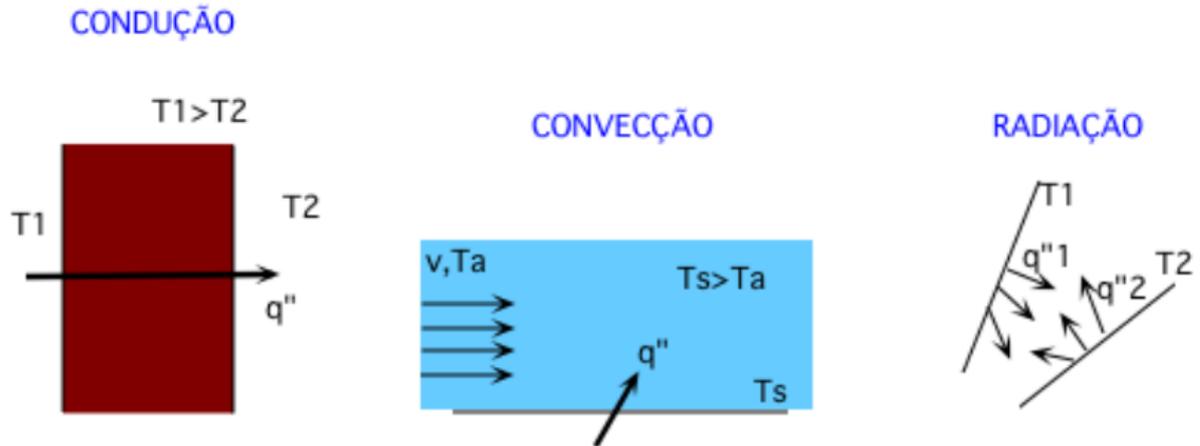
A esse respeito, Quites e Lia (2005) descrevem que a transferência de calor acontece devido à movimentação de energia em função da variação de temperatura.

Para Costa (1982, p. 89), “quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer, espontaneamente, pela passagem de calor de uma região para outra”.

Diante disso Peralta (2006, p. 19) esclarece que “para melhor compreensão da influência do clima sobre as edificações é fundamental conhecer, sobretudo, o processo de trocas térmicas, as quais são responsáveis pelo desempenho térmico de edificações”.

Desta forma segundo os autores sempre que houver variações de temperatura em um meio ocorrerá transferência ou transmissão de calor podendo efetuar-se por três modalidades diferentes: condução, convecção e radiação. A Figura 3 representa de modo sucinto as três maneiras de transferência de calor.

Figura 3 – Modalidades de transferência de calor



Fonte: Naccache ([S.d.], p. 3).

2.4.1.1 Condução

Na concepção de Kreith, Manglik e Bohn (2014) condução é a passagem de energia térmica de uma área de maior temperatura para outra de menor temperatura por meio da troca de energia intermolecular.

Segundo Schmidt, Henderson e Wolgemuth (2004, p. 9), “condução é a transferência de energia através de uma substância, um sólido ou fluido, como resultado da presença de um gradiente de temperatura dentro da substância”.

A passagem de calor por condução, segundo Costa (1982, p. 93) “obedece à chamada Lei de Fourier, segundo a qual o fluxo térmico é diretamente proporcional à superfície através da qual se verifica a passagem de calor e ao gradiente de temperatura”.

De acordo com o autor acima citado em casos mais comuns e simplificado na construção civil é possível calcular “a propagação de calor unidirecional e permanente, através de uma parede plana de faces paralelas” (COSTA, 1982, p. 93). Sendo assim, para Costa (1982) a fórmula para calcular o fluxo de calor por condução é conforme a Equação 1.

$$Q = kS \frac{\Delta t}{l} \quad (1)$$

Onde:

Q = Fluxo de calor por condução (Kcal/h)

S = Área da seção que permite a passagem de calor (m²)

Δt = Diferença de temperatura entre as faces extremas da parede (°C)

l = Espessura da parede (m)

k = Coeficiente de condutividade térmica do material (Kcal/m.°C)

2.4.1.2 Convecção

A convecção, segundo Ordenes, Lamberts e Güths (2008, p. 6), “ocorre entre um fluido em movimento e uma superfície quando os dois se encontram a diferentes temperaturas”.

Peralta (2006) descreve como sendo um processo de fluxo de energia devido à ação da condução de calor, o acúmulo de energia e o movimento de massa.

Para Schmidt, Henderson e Wolgemuth (2004) a convecção é a energia transferida entre uma superfície sólida e um fluido. A esse respeito, o autor menciona, ainda, que há dois fenômenos que movimentam o fluido, um é chamado de convecção forçada e o outro de convecção livre ou natural. Diante disso, Barrosa (2004) esclarece que conforme o líquido esquenta, o mesmo começa a ter movimentos mais rápidos, desta forma transmite energia em forma de calor para as outras partículas, diante disso como o líquido possui movimento livre devido à diferença de temperatura, trata-se de convecção natural. Em casos em que a mistura é causada por equipamentos é chamada de convecção forçada.

Em referência a este tema o mesmo autor diz que através da Equação 2 é possível calcular a quantidade de calor transmitido de uma região sólida para um fluido.

$$Q = h_c \cdot A \cdot \Delta t \quad (2)$$

Onde:

Q = Fluxo de calor por convecção (Kcal/h)

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção $\left(\frac{kcal}{h^\circ C m^2}\right)$

A = Área de transmissão de calor (m²)

Δt = Diferença de temperaturas entre a superfície sólida e o fluido (°C)

2.4.1.3 Radiação

Radiação segundo Frota e Schiffer (2007) é a troca de energia entre dois corpos que estão distanciados um do outro, isto ocorre devido à possibilidade de absorver e emitir energia térmica através de ondas eletromagnéticas.

Kreith e Bohn (*apud* BARROSA, 2004, p. 10) determinam que “a radiação é um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa quando tais corpos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles”.

A esse respeito, Lamberts *et al.* (2016, p. 90) esclarecem:

A radiação ocorre mediante uma dupla transformação da energia: uma parte do calor do corpo com maior temperatura se converte em energia radiante que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora, sendo novamente transformada em calor.

Por meio destas definições vemos que para ocorrer radiação não é necessário contato físico para que seja transferida energia (calor) entre os corpos.

Costa (1982) diz que a equação para calcular a radiação é similar a da condução, sendo representada pela Equação 3:

$$Q = kS\Delta t \quad (3)$$

Onde:

Q = Fluxo de calor por radiação (kcal/h)

S = Área do corpo exposto à radiação (m²)

Δt = Diferença de temperatura (°C)

k = Coeficiente de transferência de calor por radiação ($\frac{kcal}{h^\circ C m^2}$)

2.4.2 Condutividade térmica

A NBR 15220-1 (2003a, p. 2) determina a condutividade térmica como sendo a “propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. Conforme a norma é representada pelo símbolo λ , e sua unidade é W/(m.K).

Frota e Schiffer (2007, p. 35) definem condutividade térmica como:

O fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária.

Isto posto Gomes (2015) complementa, materiais que possuem maior condutividade térmica serão melhores condutores e apresentarão menor resistência térmica ao elemento ou componente construtivo.

A condutividade térmica, densidade de massa aparente e calor específico de materiais empregados na construção civil são apresentados na NBR 15220-2 (2003b), no anexo B da norma, tabela B.3.

2.4.3 Resistência térmica

Sabe-se que a resistência térmica está relacionada com a dificuldade da passagem de calor de um ambiente para outro. Desta forma Gomes (2015) esclarece que para aumentar o fluxo térmico em uma edificação é preciso utilizar materiais com alta condutividade térmica (bons condutores de calor) e reduzir a espessura da parede. Para diminuir o fluxo de calor nas edificações acontece ao contrário, sendo necessário utilizar materiais com baixa condutividade (isolantes) aumentando a espessura da parede.

Lima (2014) define resistência térmica total como o somatório das resistências térmicas internas e externas que correspondem às camadas de um componente ou elemento.

A ABNT por meio da NBR 15220-2 (2003b) estabelece o cálculo da resistência térmica conforme a Equação 4, na qual é determinada pelo quociente entre a espessura e a condutividade térmica dos materiais utilizados em cada seção.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

Onde:

R = Resistência Térmica (m².K)/W

e = Espessura (m)

λ = Condutividade Térmica (m.K)/W

A partir dos resultados obtidos em cada componente do fechamento, é possível calcular pela Equação 5 a resistência térmica de ambiente a ambiente, formada por camadas homogêneas ou não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor (ABNT, 2003b).

$$R_t = \frac{A_a}{\frac{A_a}{R_a}} + \frac{A_b}{\frac{A_b}{R_b}} + \dots + \frac{A_n}{\frac{A_n}{R_n}} \quad (5)$$

Onde:

R_t = Resistência Térmica de superfície a superfície (m².K)/W

R_a, R_b, \dots, R_n = Resistência Térmica de superfície a superfície para cada seção (m².K)/W

A_a, A_b, \dots, A_n = Áreas cada seção (m²)

Para o cálculo da resistência térmica total é utilizada a equação 6 (ABNT, 2003b).

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (6)$$

Onde:

R_T = Resistência Térmica Total (m².K)/W

R_{se} = Resistência Superficial Externa (m².K)/W

R_{si} = Resistência Superficial Interna (m².K)/W

R_t = Resistência Térmica de superfície a superfície (m².K)/W

Através do Quadro 5 podemos obter os valores para a resistência térmica superficial interna e externa.

Quadro 5 – Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2003b, p. 7).

A ABNT NBR 15220-2 (2003b) estabelece os valores da resistência térmica para câmaras de ar não ventiladas (QUADRO 6), sendo válida para uma camada com temperatura média entre 0°C e 20°C e com uma variação de temperatura de 15°C entre as áreas limitantes.

Quadro 6 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇒	— ↑	— ↓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ϵ é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2003b, p. 8).

2.4.4 Transmitância térmica

No conceito de Frota e Schiffer (2007, p. 38), a Transmitância Térmica:

Engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal ou vertical da lâmina e, ainda, o sentido do fluxo.

Peralta (2006) explica que no processo de transporte de calor, a convecção ocorre na superfície interna e externa da parede, já a condução é por meio da parede. O autor menciona também que a superfície de um elemento diretamente exposto à radiação solar, apresenta aumento de temperatura no ambiente interno.

Seguindo este contexto Roriz (2008, p. 13) diz que a transmitância térmica é o “fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente”.

Neste estudo serão utilizadas as normativas e as equações determinadas na NBR 15220-1 (ABNT, 2003a, p. 2) que descreve a transmitância térmica como o “inverso da resistência térmica total”, caracterizada pelo símbolo U .

De acordo com a segunda parte da NBR 15220 torna-se possível calcular por meio da Equação 7 a transmitância térmica de uma parede, relacionando-a com a resistência dos materiais utilizados na edificação (ABNT, 2003b).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

Onde:

U = Transmitância Térmica ($m^2.K/W$)

R_T = Resistência Térmica Total ($m^2.K/W$)

2.4.5 Atraso térmico

Gemelli (2009, p. 32) diz que “A grande função das paredes externas de uma edificação deve ser atrasar a transferência de calor do exterior para o interior, e amenizar as temperaturas internas das amplitudes térmicas que ocorrem externamente”. Diante do exposto

Frota e Schiffer (2007) acrescentam que dois fenômenos estão associados à inércia térmica: o amortecimento e o atraso térmico.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2003a, p. 2) determina que o atraso térmico é o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. O atraso térmico é caracterizado pela norma através do símbolo θ e sua unidade de medida é em hora (h).

Tamanini (2002) define atraso térmico como sendo o tempo necessário que a diferença de temperatura em um meio leva para manifestar-se até sua superfície oposta. Seguindo este contexto Gomes (2015, p. 35) menciona que “os revestimentos desempenham importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor através da envoltória. O atraso térmico será tanto maior, quanto maior for à inércia da construção”.

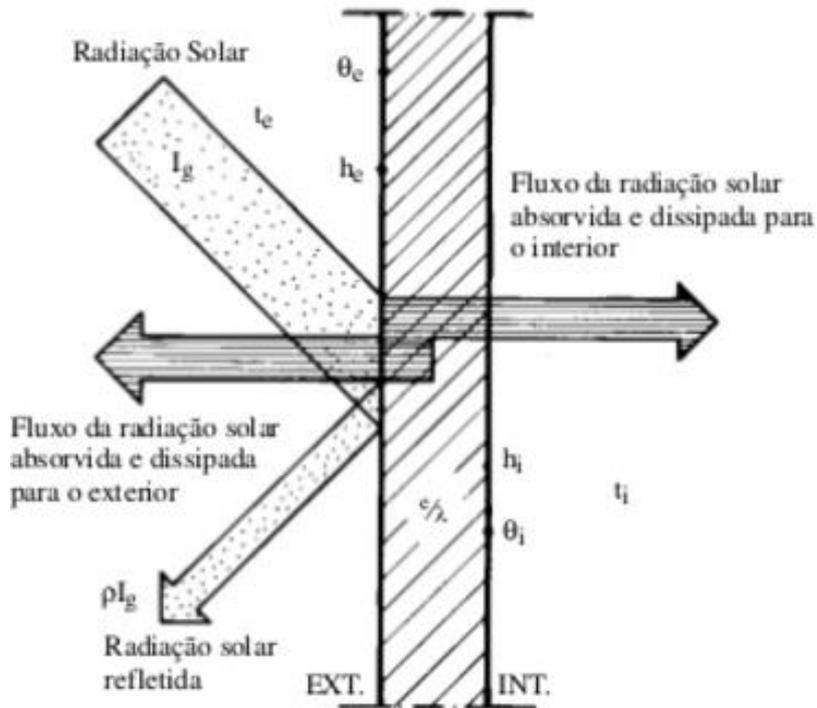
2.4.6 Troca de calor em paredes opacas

Este estudo é relacionado ao isolamento térmico de fachadas, sendo assim, é de fundamental importância entender os mecanismos da troca de energia entre as superfícies separadas por uma parede opaca.

O comportamento térmico das edificações conforme o entendimento de Frota e Schiffer (2007) depende do desempenho dos materiais que estão a sua volta, pois os mesmos estão expostos ao sol, o qual é considerado uma importante fonte de energia, que incidindo sobre os edifícios apresenta ganho de calor, isso acontece devido à intensidade da radiação solar e das características térmicas dos materiais das edificações. Na construção civil ocorre a exposição das fachadas que são formadas por componentes podendo ser classificados como opacos, transparentes ou translúcidos.

Givoni (*apud* PERALTA, 2006, p. 34) ressalva que “a radiação solar ao incidir sobre uma superfície opaca, tem uma parcela da energia absorvida e outra refletida. A parcela absorvida (onda curta) é emitida ou novamente irradiada sob a forma de radiação solar de onda longa”. A Figura 4 representa este mecanismo.

Figura 4 – Troca de calor entre paredes opacas



Fonte: Frota e Schiffer (2007, p. 42).

Segundo Frota e Schiffer (2007) por meio da Equação 8 é possível definir a intensidade do fluxo térmico que passa por uma parede opaca, em virtude da incidência da radiação solar e da diferença das temperaturas dos ambientes externos e internos.

$$q = K \left(t_e + \frac{\alpha I_g}{h_e} - t_i \right) \quad (8)$$

Onde:

q = Intensidade do fluxo térmico (W/m^2)

K = Coeficiente global de transmissão térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

α = Coeficiente de absorção da radiação solar

I_g = Intensidade de radiação solar incidente global (W/m^2)

h_e = Coeficiente de condutância térmica superficial externa (W/m² °C)

t_i = Temperatura do ar interno (°C)

A seção 2.5 define conforto térmico x eficiência energética, na qual estão diretamente ligados a transferência de calor.

2.5 Conforto térmico x eficiência energética

A definição de conforto térmico conforme ASHRAE (*apud* LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004) está associada com a sensação de bem-estar do homem e o ambiente térmico que o envolve. O autor menciona também que para ter conforto térmico é preciso equilíbrio de temperatura entre o calor gerado pelo corpo e o calor perdido no ambiente.

A NBR 15220-2 (ABNT, 2003b, p. 5) descreve conforto térmico como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

Corbella e Yannas (2003) e Lamberts, Dutra e Pereira (2004) dividem a sensação de conforto térmico em variáveis humanas (atividade física e vestimenta) e variáveis ambientais (radiação infravermelha, radiação solar, temperatura, movimento, umidade e velocidade do ar). Os autores descrevem também que variáveis como sexo, idade, peso, etc. influenciam na sensação de bem estar de cada pessoa.

A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) estabelece parâmetros de conforto no verão e no inverno que caracterizam sensação de bem estar para as pessoas. A Tabela 1 descreve tais parâmetros.

Tabela 1 – Parâmetros de Conforto Térmico

	Verão	Inverno
Temperatura/ Umidade	22,5°C a 25,5°C / 65%	21,0°C a 23,5°C / 60%
Relativa	23,0°C a 26,0°C / 35%	21,5°C a 24,0°C / 30%

Fonte: NBR 16401-2 (ABNT, 2008, p. 3).

Já de acordo com Givoni (*apud* LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014) a temperatura para que as pessoas sintam conforto térmico nos ambientes internos é entre 18 e 29°C, com umidade relativa entre 20 e 80%.

Frota e Schiffer (2007) comentam que no ano de 1916 a Comissão Americana de Ventilação realizou um estudo com o objetivo de determinar a influência e a importância do estado térmico de um ambiente em relação ao rendimento do trabalho físico de operários. Os resultados encontrados foram os seguintes:

- Acréscimo da temperatura ambiente de 20°C para 24°C fez com que o rendimento do trabalho físico diminuísse em 15%;

- Temperatura ambiente a 30°C, com umidade 80%, o rendimento de trabalho cai 28%.

Segundo Peralta (2006) o conforto térmico em edificações está relacionado com o desempenho dos materiais construtivos, diante disso, edificações que tenham boas propriedades de conforto térmico possibilitam redução do consumo energético, além de proporcionarem aos usuários condições apropriadas para a realização de atividades que requerem exigências mínimas de conforto térmico.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2004) eficiência energética é entendida quando uma edificação com funções similares consegue consumir uma menor quantidade de energia que a outra, apenas por ter um projeto melhor adaptado às condições climáticas.

Seroa *et al.* (2009, p. 5) menciona que “a maior eficiência é garantida quando desde os estudos preliminares se pensa no projeto e na sua climatização passiva, ou seja, sem sistemas de condicionamento artificial ou aqueles que minimizem o uso desses sistemas.”

Diante do exposto Gonçalves e Duarte (2006) afirmam que para o desenvolvimento de um projeto arquitetônico considerando desempenho ambiental atrelado sustentabilidade, conforto e eficiência energética são necessárias algumas questões:

- Orientação solar e direção dos ventos;
- Forma arquitetônica;
- Condicionantes ambientais e tratamento do entorno;

- Envoltória da edificação: posicionamento e detalhamento das esquadrias e proteções solares;

- Materiais da envoltória: vedações internas e externas considerando o desempenho térmico e as cores.

Conforme o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2006 a maioria das atividades realizadas pela sociedade concentravam-se no setor industrial, comercial, residencial e público. Considerando os dados disponibilizados pelo BEN em 2006 o setor que possui maior consumo de energia é o industrial com 44,45%, por outro lado o setor residencial consome 24,71%, o setor comercial tem patamares de 15,92% e o setor público 10,30% (IAB, 2007).

Geller (*apud* IAB, 2007) diz que 40% da energia utilizada nos setores comerciais e públicos são gastos com sistema de climatização. Outros estudos concluem que a orientação inadequada da edificação pode aumentar em até 45% o consumo de energia.

Os autores mencionados no parágrafo acima descrevem que a eficiência energética está interligada com o aprimoramento e desenvolvimentos de tecnologias desta forma nos projetos arquitetônicos devem ser incluídos técnicas e materiais construtivos que reduzem o ganho térmico na envoltória da edificação proporcionando melhor conforto térmico e garantindo melhor eficiência energética.

2.6 Isolamento térmico

Segundo Primo (2008) o isolamento térmico é um elemento que reduz o fluxo de energia térmica do exterior para o interior da edificação, ou vice-versa, interferindo diretamente na sua temperatura interna.

O isolamento térmico para Kreith, Manglik e Bohn (2014, p. 36) é alcançado pelo:

Aprisionamento do ar ou algum outro gás dentro de pequenas cavidades existentes em uma superfície sólida, mas, por vezes, o mesmo efeito pode ser obtido com o preenchimento dos espaços vazios com pequenas partículas sólidas e aprisionamento do ar entre essas partículas, o que reduz o fluxo de calor.

O consumo de energia está diretamente ligado a variáveis que utilizam o sistema de climatização artificial, equipamentos e iluminação artificial, as variáveis que interferem nestes sistemas é o uso de materiais construtivos empregados no envoltório da edificação e a utilização de equipamentos. Os materiais utilizados na fachada podem interferir na perda ou ganho de calor, como por exemplos, as cores, as propriedades térmicas dos materiais, os componentes utilizados, ausência de sombreamento e exposição direta da fachada com o exterior (CARLO, 2008).

2.6.1 Técnicas construtivas para isolamento térmico em paredes

Os custos energéticos, sensação de conforto, durabilidade e sustentabilidade são técnicas relevantes na concepção da envolvente das edificações que visam eficiência energética e redução de consumo de energia, essas técnicas podem ser atingidas mediante o isolamento térmico (VALE DA GÂNDARA, [S.d]).

Para Sousa (2002) uma das principais técnicas de garantir conforto térmico e diminuir consumos de energia relacionados a aquecimento e refrigeração é melhorar a qualidade das paredes da envolvente.

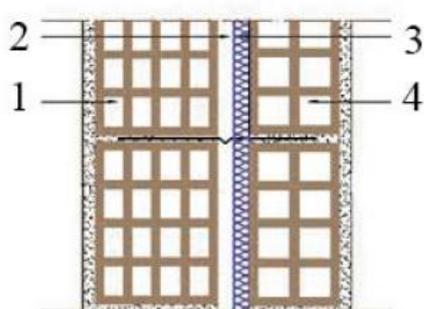
Segundo Chaiben (2014) há pouco tempo atrás à questão do isolamento térmico em edificações não era muito considerada, mas atualmente esta se tornando cada vez mais importante devido ao elevado custo de energia e as restrições ambientais. A autora complementa que o método de isolamento térmico mais empregado é a parede dupla, porém possui novos processos de isolamento pelo exterior, fachada ventilada e ETICS.

Primo (2008) comenta que o sistema de isolamento térmico em fachadas, é um método de alta qualidade, apresentando inúmeras vantagens, como aumento da durabilidade das fachadas, economia de energia entre outras.

2.6.1.1 Parede dupla

Os métodos mais usuais em isolamento térmico são as paredes duplas compostas por tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, consistindo na duplicação do pano de alvenaria simples, dando origem a uma cavidade chamada de caixa de ar, podendo ser relativamente preenchida com um material isolante (FIGURA 5) (CHAIBEN, 2014).

Figura 5 – Parede dupla de alvenaria com caixa de ar



Legenda:

- 1.Pano externo de alvenaria simples,
- 2.Caixa-de-Ar,
- 3.Isolamento térmico,
- 4.Pano interno de alvenaria simples.

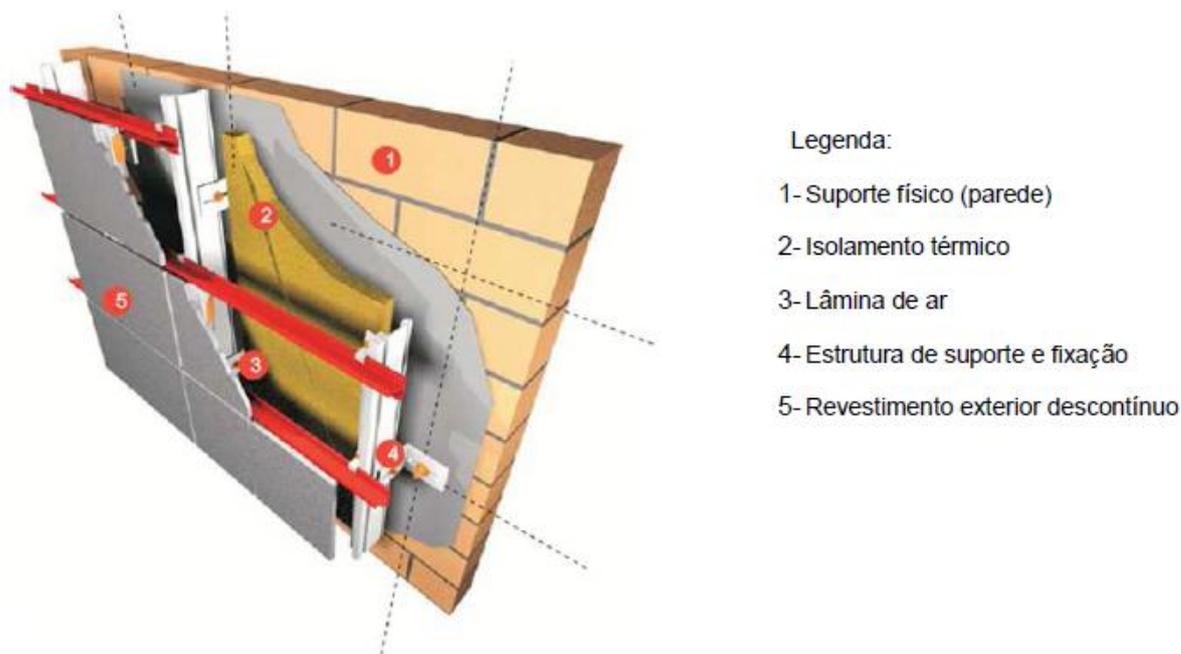
Fonte: Chaiben (2014, p. 23).

As desvantagens desta técnica segundo Sousa (2002, p. 32) esta no fato de que “estas paredes são em geral pouco cuidadas ao nível da ligação à estrutura, ligadores entre panos, drenagem da caixa de ar, fixação e posicionamento do isolamento térmico e pontes térmicas”.

2.6.1.2 Fachadas ventiladas

A fachada ventilada é definida como um sistema de proteção e revestimento exterior de edificações, determinado pelo afastamento e o revestimento do edifício, criando uma lâmina de ar, no qual permite a ventilação natural da parede garantindo o adequado funcionamento do sistema. A lâmina de ar possui dimensões de 5 a 15 cm que permite a passagem da ventilação no sentido vertical, por meio do efeito chaminé (PRIMO, 2008). A Figura 6 representa este sistema.

Figura 6 – Fachada ventilada



Fonte: Primo (2008, p. 9).

Essa solução construtiva apresenta várias vantagens como ausência de umidade nos revestimentos, alta resistência mecânica das placas, proteção contra ruídos, eliminação de pontes térmicas, economia energética entre outros proporcionando qualidade e conforto térmico aos edifícios (FAVEGRUP, [S.d]).

No entanto, o sistema possui desvantagens, o custo geralmente é mais alto quando comparado a outros sistemas, dificuldade na execução de remates, zonas de cunhais, saliências e etc. (PRIMO, 2008).

2.6.1.3 Sistema ETICS

O sistema é designado de *External Thermal Insulation Composite System (ETICS)* no qual pode ser constituído por placas de poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), aglomerado de cortiça expandida (ICB) e lã de rocha (RW) a função principal é fornecer as paredes um bom isolamento térmico (LEÃO, 2017).

Conforme Chaiben (2014) é um sistema formado por várias camadas de materiais, podendo ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Sistema ETICS



Fonte: Gerador de preços ([S.d.], txto digital).

As vantagens desta técnica construtiva é proporcionar maior conforto térmico, ótima relação custo x benefício, redução de pontes térmicas e diminuição do consumo de energia. As desvantagens não são muitas significativas, embora o sistema permitir uma redução nos custos energéticos o investimento inicial torna-se relativamente alto, além disso, possui uma alta reação ao fogo e necessidade de equipes especializadas para a sua aplicação (LEÃO, 2017).

2.7 Inovação tecnológica na construção civil

Para o desenvolvimento e crescimento de um país é fundamental que o setor da construção civil procure por novas tecnologias, novos materiais e novos processos construtivos. Costa e Leite (2014) ressaltam que cada vez mais as empresas buscam por inovações tecnológicas para poder manter a competitividade. No Brasil, novos processos construtivos estão sendo introduzidos em busca de redução de custos, aumento de velocidade

na produção e sustentabilidade nas edificações. Diante disso, percebe-se também que o avanço tecnológico computacional favorece a engenharia, pois há um aumento de produtividade e vantagens em relação à disponibilidade de informações, desta forma o item a seguir descreve sobre as tecnologias inovadoras empregadas na construção civil.

2.7.1 Tecnologias

2.7.1.1 BIM

O *software* BIM é conceituado para a desenvolvedora Autodesk como uma forma de “entendimento preciso e claro entre arquitetos, engenheiros, profissionais de construção, administradores das instalações e proprietários” (AUTODESK, 2017, texto digital).

A utilização da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) vem beneficiando a engenharia civil como um novo software para modelagem, armazenamento e análise de informações. A ferramenta BIM permite que se tenha acesso as informações de projeto com maior rapidez e com um grau de confiabilidade elevado (MULLER, 2015).

Porto (2016) diz que em comparação ao CAD o sistema BIM possui inúmeras vantagens, pois não são apenas elementos gráficos 2D ou 3D, carregam com si, vários parâmetros, armazenados em uma base de dados, como por exemplo, informações estruturais, materiais utilizados, custos, propriedades térmicas entre outros. Além disso, é possível visualizar com clareza as vistas do projeto. O BIM atualiza automaticamente as plantas diante de quaisquer modificações em elementos do projeto, reduzindo desperdícios e erros, aprimorando o resultado final (ROSSO, 2011).

Segundo Porto (2016) as construtoras brasileiras passaram a utilizar o BIM, pois além de gerar vistas tridimensionais e possibilidade de verificação dos elementos construtivos, é possível através da quarta dimensão de projeto (BIM 4D) incorporar cronograma, sequência de obra e fases de implantação. Outra novidade é a quinta dimensão de projeto, o chamado BIM 5D que possibilita a integração do custo, sendo possível gerar orçamentos. Lima (2014, p. 20) complementa que “para modelos permeados por dados energéticos, de sustentabilidade,

gerenciamento de empreendimentos, etc., as dimensões continuam a crescer de forma a alcançar a enésima dimensão do projeto ou BIM nD.”

2.7.1.2 Utilização da impressora 3D na construção civil

Conforme Santos e Soares Neto (2009) a construção civil tem sido reconhecida como uma indústria que produz grande quantidade de resíduos, provocando significativos impactos ambientais. De acordo com Mesquita (2012, p. 59) “os resíduos produzidos pela indústria de construção variam entre 41% e 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos.” Entretanto é necessário considerar também os problemas relativos à construção apontados por Oliveira *et al.* (2014): baixa produtividade de trabalho em comparação com equipamentos automatizados, alta taxa de acidentes e escassez de mão de obra qualificada.

Diante disso, a utilização da impressora 3D na construção civil é uma forma de minimizar esses problemas, Wu *et al.* (*apud* PORTO, 2016) menciona que com a impressão 3D é possível trazer benefícios ao setor da construção civil, como:

- Redução de resíduos: a técnica de impressão 3D permite que se tenha precisão na quantidade do material a ser utilizado;
- Flexibilidade de design: é possível desenvolver estruturas utilizando atuais práticas construtivas;
- Mão de obra reduzida: como a técnica de impressão é automatizada, a mão de obra necessária no processo de construção pode ser significativamente reduzida;
- Aumento de produtividade, reduzindo o tempo de construção.

De acordo com Wolfes (*apud* PORTO, 2016) o primeiro processo de impressão tridimensional na construção civil é chamado de *Contour Crafting*, criada e desenvolvida pela *University of Southern California* é uma inovação tecnológica automatizada que permite a impressão de edificações através de materiais cerâmicos e a base de cimento, proporcionando produtividade, controle de processos, redução de custos, resíduos e perda de materiais (*CONTOUR CRAFTING*, [S.d.]). A Figura 8 representa esta técnica construtiva.

Figura 8 – Método da construção através da *Countor Crafting*



Fonte: Countor Crafting ([S.d.], texto digital).

Segundo Porto (2016), além da pioneira CC existem outras técnicas de construção por meio da impressão 3D a *Concrete Printing* e *D-Shape*, o Quadro 7 resume as características de cada uma delas. O autor menciona também que estas técnicas de impressão serviram como referência para o surgimento de novas tecnologias aplicadas na impressão de edifícios.

Quadro 7 – Características das técnicas de impressão em 3D

	<i>Contour Crafting</i>	<i>Concrete Printing</i>	<i>D-Shape</i>
Processo	Extrusão	Extrusão	Impressão tridimensional
Uso de forma	Sim. Torna-se parte da peça	Não	Primeira tentativa para construção livre
Material de Impressão	Mistura de argamassa para molde. Material cimentício para construção	Concreto para Impressão (fórmula própria)	Material granular (pó de areia/rocha)
Aglutinante	Não. Extrusão de material úmido	Não. Extrusão de material úmido	Material à base de cloro líquido
Diâmetro bocal	15 mm	9 – 20mm	Desconhecido
Número de bocais	1	1	6 – 200
Espessura da camada	13mm	6 – 25mm	4 – 6mm
Reforço	Sim	Sim	Não
Prós	Bom acabamento. Devido a ação das espátulas laterais	Liberdade de forma	Liberdade de forma
Contra	Processo de extra (moldagem)	Taxa de deposição (bico único)	Remoção e limpeza do material após a impressão
Aplicações	Paredes e peças de concreto	Paredes e peças de concreto	Elementos paisagísticos e projetos marítimos

Fonte: Adaptado de Porto (2016).

Outra inovação tecnológica é a proposta de construir em Marte, de acordo com o autor citado no parágrafo anterior algumas empresas possuem interesse na construção espacial, sendo a CC, *TotalKuston e D-Shape*. O autor complementa que NASA incentivou a CC neste estudo (NASA, 2017).

Khoshnevis (2012, *apud* NASA, 2017) explica que a maioria de suas propostas para a construção em colônias espaciais consistem no transporte dos elementos estruturais fabricados na Terra sendo apenas montados no seu destino. Entretanto, a CC possui uma proposta para desenvolver um método de construção *in-situ*, utilizando material presente na superfície lunar, o regolito, desta forma a fabricação das edificações se tornarão mais viáveis, econômicas e práticas (*COUNTOUR CRAFTING*, [S.d.]).

2.7.1.3 Corte a laser em material acrílico

Laser é a denominação de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação) o conceito conforme Baumann (2017, texto digital) “é um sistema que produz calor devido a incidência de um feixe de luz altamente concentrado e de elevada potência.”

De acordo com a Messer Cutting Systems (2017) a técnica de corte a laser produz um feixe de luz forte e centrado, gerado por estimulações eletrônicas ou transmissões moleculares. “Quando aplicada no processamento de materiais, verifica-se que a alta densidade de energia do feixe Laser promove a fusão e evaporação destes” (ALFA, [S.d.], texto digital).

Na indústria o corte a laser é uma técnica muito utilizada, conforme o Instituto Nacional para Desenvolvimento do Acrílico (INDAC, [S.d.], p.26) possui como principais características:

- Alta precisão no corte;
- Flexibilidade na manufatura;
- Alta capacidade de produção com conseqüente redução de custos;
- Possibilidades de cortes retos, curvos e complexos.

Diante do exposto a técnica de corte a laser será utilizada em material acrílico desta forma será realizado um estudo sobre as suas propriedades.

O acrílico é classificado como polímero, composto por moléculas formadas por unidades químicas que se repetem. É um material termoplástico, quando está submetido à alta temperatura e pressão, permite que ocorram alterações físicas, sem perder sua composição química (INDAC, [S.d]).

Conforme o Instituto acima citado, entre outros materiais, o acrílico ganha destaque por meio das suas propriedades e qualidades. Sendo um material que possui resistência a intempéries, resistência à radiação UV, maior durabilidade, baixa absorção de água, entre outras. As chapas acrílicas podem contrair ou expandir conforme as mudanças de temperatura e umidade.

Com um equipamento a laser é possível gravar, cortar e dobrar uma superfície acrílica de até 30mm de espessura, isto acontece devido ao acúmulo de energia em apenas um ponto assim é possível evitar deformações por calor e alterações na estrutura do material (INDAC, [S.d.]).

A empresa ALFA ([S.d.]) e a INDAC ([S.d.]) mencionam que o corte a laser em acrílico pode ser utilizado em diversas áreas, inclusive na construção civil, sendo aplicado em coberturas, domos e servindo como protetores acústicos.

2.7.1.4 Vácuo

A Sociedade Brasileira de Física (SBF, 2014, texto digital) esclarece que “o vácuo não é de fato completamente vazio. Existe uma quantidade de energia presente nele que se manifesta na forma de partículas virtuais – partículas que aparecem e desaparecem numa minúscula fração de segundo”.

Em um estudo sobre vácuo, o experimentalista e físico Otto Von Guericke notou que um dos problemas que é enfrentado até hoje por quem quer produzir vácuo é a questão da vedação, porém Stempniak (2002) menciona que nos últimos anos essa tecnologia evoluiu através de novos tipos de bombas e novos materiais que são utilizados como vedantes.

De acordo com a fundamentação teórica e com o auxílio do orientador deste trabalho de conclusão de curso, foi elaborada a validação do estudo. Diante disso, o Capítulo 3 é composto pela metodologia do estudo, sendo descrito de modo explicativo o seu desenvolvimento.

3 METODOLOGIA

Este capítulo possui a finalidade de expor a metodologia aplicada na etapa experimental do estudo. No qual será apresentada de forma explicativa a elaboração dos projetos, os materiais empregados para o desenvolvimento dos protótipos e do elemento proposto e também os equipamentos utilizados para a coleta e o armazenamento dos registros das temperaturas.

Diante disso, conforme citado no capítulo introdutório, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma placa de revestimento a vácuo para fachadas, visando isolamento térmico.

Nesta pesquisa, foram realizadas análises por meio da comparação da temperatura do ambiente externo e da temperatura interna dos protótipos verificando a real funcionalidade da placa proposta a fim de comprovar sua eficiência.

3.1 Tipo de pesquisa

Para a realização desta pesquisa, a metodologia aplicada foi a de Gil (2012) de ordem qualitativa exploratória, pois foram desenvolvidas hipóteses testadas e exploradas para alcançar o objetivo deste estudo, sendo que a abordagem qualitativa é relacionada aos dados coletados e suas fontes, a proporção da amostra e quais são os instrumentos empregados para que seja possível a fundamentação da pesquisa.

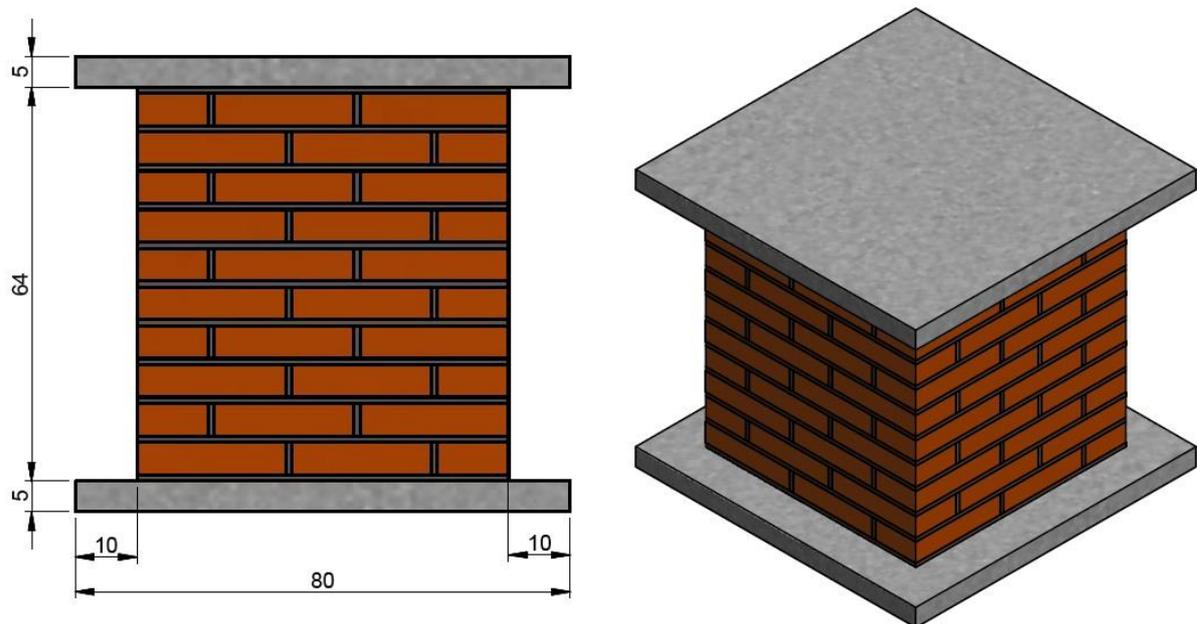
3.2 Projeto dos protótipos e da placa de revestimento a vácuo para fachadas

Inicialmente, para a presente pesquisa foi elaborado em um *software* BIM o projeto de dois protótipos, do elemento proposto para a retirada do ar – vácuo e o projeto final da placa de revestimento. As representações dos projetos estão descritos a seguir.

3.2.1 Projeto Protótipo 1 e Protótipo 2

Para este estudo foi designado Protótipo 1, o projeto que representa uma edificação sem o sistema de isolamento térmico em suas fachadas. Conforme a Figura 9, o protótipo possui dimensões de 60 x 60 cm e altura de 64 cm. Para sua base e cobertura foi utilizada laje de concreto armado possuindo dimensões de 80 x 80 x 5,0 cm de espessura.

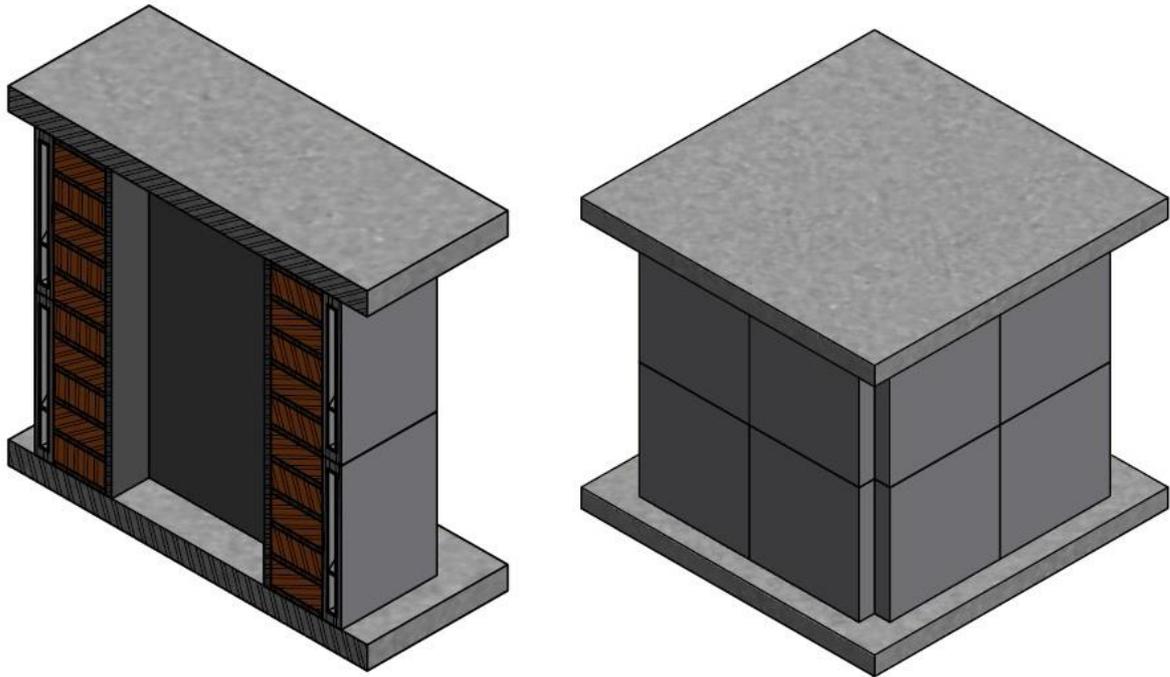
Figura 9 – Protótipo 1



Fonte: Da autora (2017).

O projeto com o sistema de isolamento térmico é nomeado Protótipo 2, no qual possui as mesmas dimensões do Protótipo 1, porém nas paredes das fachadas foram fixadas as placas a vácuo (FIGURA 10).

Figura 10 – Protótipo 2



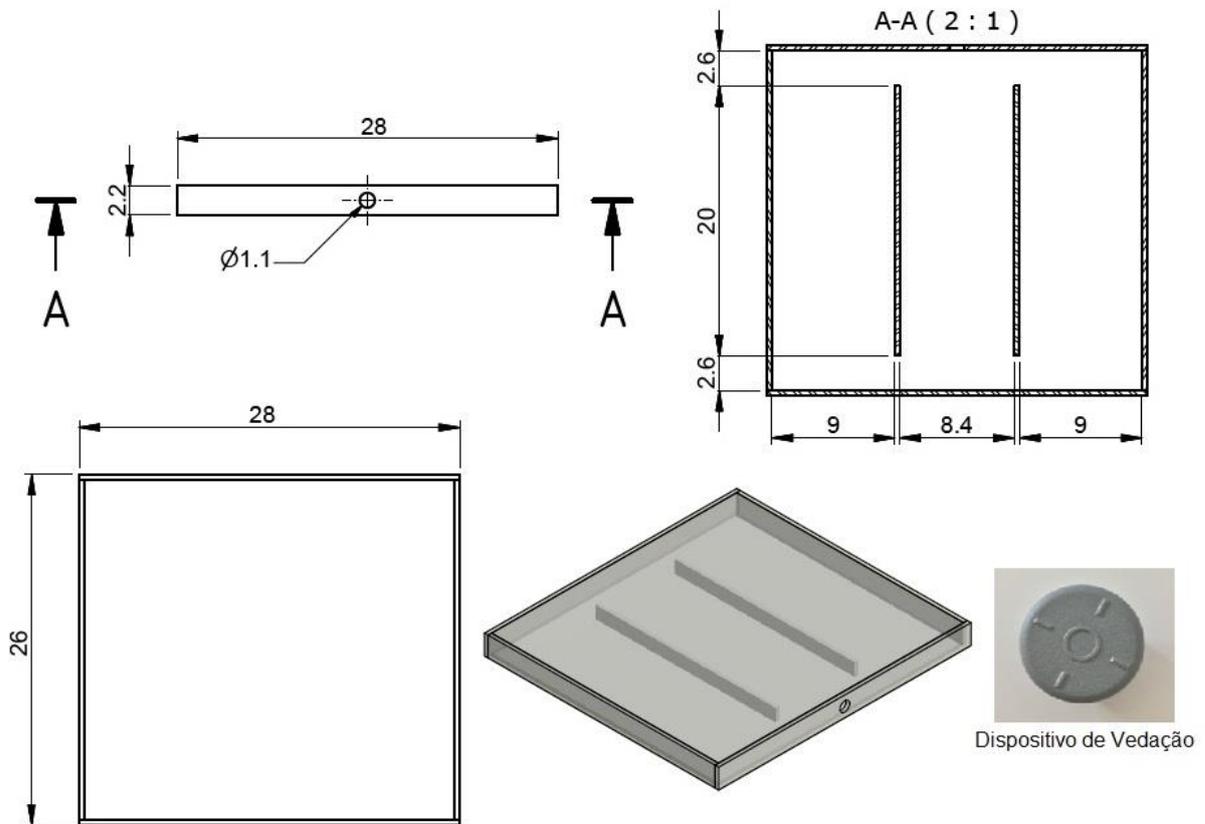
Fonte: Da autora (2017).

3.2.2 Projeto da caixa de acrílico para retirada do ar- vácuo

Inicialmente, para melhor compreensão e entendimento do elemento proposto foi elaborado o projeto da caixa empregada no estudo para a retirada do ar, cujo material é acrílico com espessura de 4 mm.

As caixas de acrílico possuem dimensões de 28 x 26 x 2,2 cm. Para auxiliar como reforço na retirada do ar foi projetado no interior das caixas duas barras de igual materialidade. Na lateral da caixa encontra-se uma abertura de \varnothing 1,10 cm para a colocação do dispositivo de vedação sendo feita por essa mesma abertura a retirada do ar. Estas características estão representadas na Figura 11.

Figura 11 – Projeto das caixas de acrílico

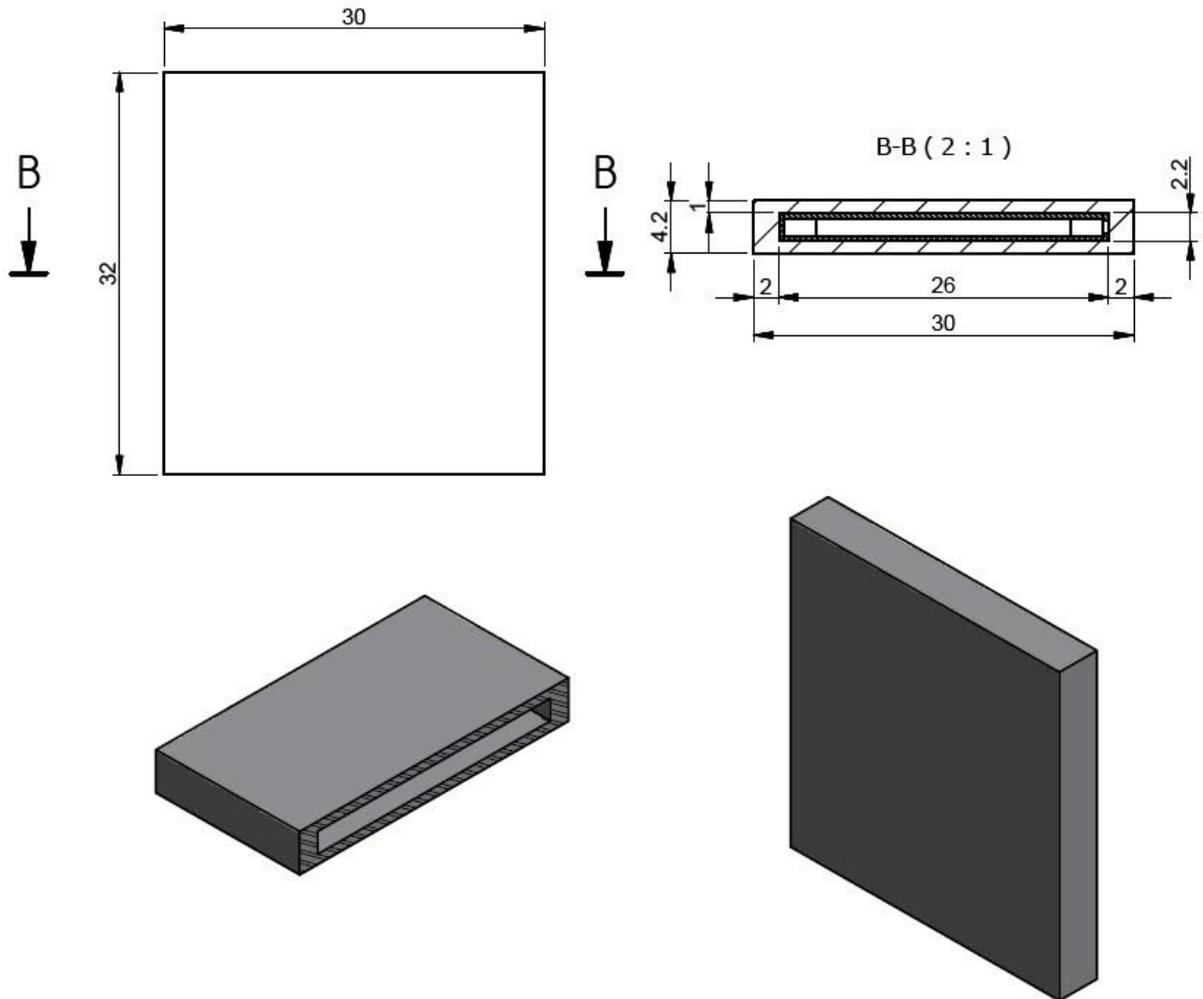


Fonte: Da autora (2017).

3.2.3 Projeto final da placa de revestimento a vácuo para fachadas

O projeto final das placas de revestimento a vácuo para fachadas foi elaborado a partir de fôrmas com dimensões de 32 x 30 x 4,2 cm. Cuja finalidade foi o auxílio da montagem. Através delas foi possível realizar as camadas de argamassa e sobrepôr a caixa de acrílico com vácuo no seu interior (FIGURA 12). A explicação do desenvolvimento final da placa encontra-se no item 3.3.

Figura 12 – Projeto final da placa de revestimento a vácuo para fachadas



Fonte: Da autora (2017).

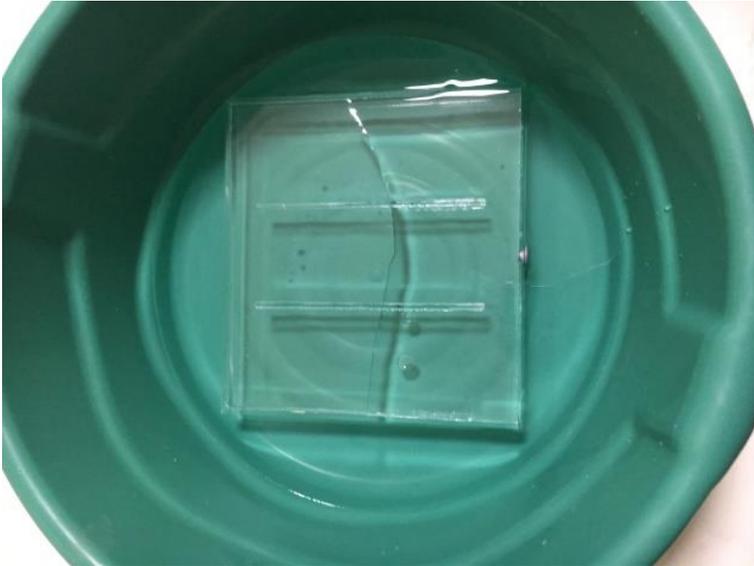
Os projetos nortearam o desenvolvimento dos elementos propostos, a explicação de cada um deles encontra-se nos itens 3.3 e 3.4.

3.3. Desenvolvimento da placa de revestimento a vácuo para fachadas

As caixas de acrílico conforme descritas na seção 3.2.2, foram preparadas em um equipamento com tecnologia de corte a laser e posteriormente colada às faces. Diante disso, foram confeccionadas 17 caixas produzidas pela empresa Acrilmarco Chapas Acrílicas do município de São Marcos/RS, porém somente 16 foram utilizadas.

Para ter a garantia que as caixas estavam vedadas, as mesmas foram submersas em um recipiente com água sendo verificadas se alguma delas possuía infiltração. A Figura 13 representa este passo inicial.

Figura 13 – Caixas de acrílico submersas na água



Fonte: Da autora (2017).

Como a maioria das caixas tiveram infiltração, foi necessário vedar com silicone as junções laterais. O silicone de vedação utilizado foi da marca Blacksul, e para a cura da colagem foi esperado 3 dias, o que é recomendado nas instruções. Após a secagem do silicone, as caixas novamente foram submersas na água, sendo repetido o processo de colagem por mais duas vezes até obter êxito.

Os dispositivos de vedação foram colados na caixa de acrílico com Super Bonder Power Flex em gel, sendo também respeitado seu tempo de secagem (FIGURA 14). Somente após todas as caixas estarem perfeitamente vedadas foi realizada a retirada do ar de seus interiores.

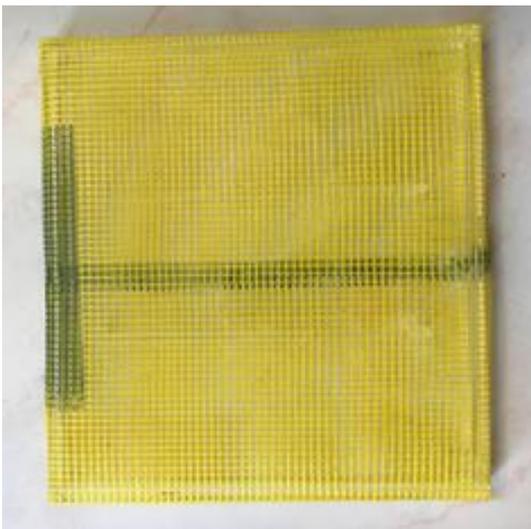
Figura 14 – Dispositivo de vedação



Fonte: Da autora (2017).

Após a conclusão da etapa acima citada foi aplicado sobre as caixas de acrílico uma tela de fibra de vidro da marca Plaflux com malha trançada de 5 x 5 mm, para garantir uma melhor aderência entre o acrílico e a argamassa (FIGURA 15).

Figura 15 – Caixa de acrílico com aplicação da tela de fibra de vidro



Fonte: Da autora (2017).

Finalizados os passos anteriores, foi possível a retirada do ar do interior das caixas de acrílico. Essa etapa deu-se através do dispositivo de vedação no qual foi acoplada uma agulha

em uma mangueira e ao manômetro que são conectados a um compressor (FIGURA 16). A pressão interna registrada na caixa foi de 5,89 Psi, indicando a ausência de ar (vácuo).

Figura 16 – Método utilizado para o vácuo



Fonte: Da autora (2017).

Vale destacar que em função da falta de flexibilidade do acrílico, a primeira caixa do experimento estourou devido a grande pressão interna, desta forma, no segundo momento foi realizado o vácuo com menor pressão, alcançando a pressão acima descrita. (FIGURA 17).

Figura 17 – Excesso de pressão interna na caixa de acrílico



Fonte: Da autora (2017).

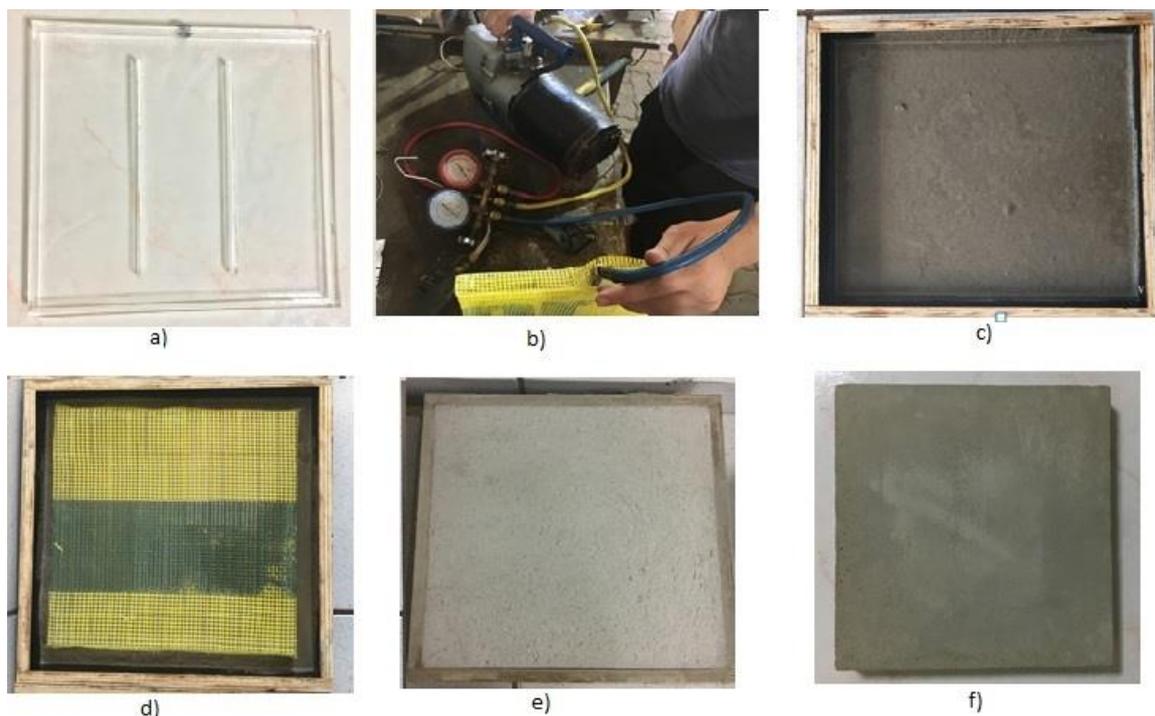
Após as etapas concluídas foi desenvolvido o revestimento de fachada conforme suas características mencionadas no item 3.2.3. O material utilizado para as fôrmas foi compensado naval garantindo um melhor acabamento.

O revestimento se trata de argamassa, sendo utilizado um traço experimental de 1:2 (cimento e areia). Foram moldados quatro corpos de prova e encaminhados ao Laboratório de Tecnologias da Construção - LATEC, da Univates para realizar o teste de compressão da argamassa. A resistência aos 28 dias atingiu 38,15 Mpa, conforme relatório de ensaio em anexo.

As caixas de acrílico foram confeccionadas em tamanho menor que as fôrmas da argamassa, para remeter a ideia de “placa sanduíche”.

Após a conclusão das caixas, foi possível realizar a montagem final das placas, sendo executadas primeiramente com uma camada de 1,0 cm de espessura em argamassa, sobre ela foi inserida a caixa de acrílico com vácuo, envolvida com a tela de fibra de vidro e posteriormente aplicado a segunda camada de argamassa, possuindo a mesma espessura. A Figura 18 demonstra o passo a passo do desenvolvimento da placa proposta.

Figura 18 – Passo a passo do desenvolvimento da placa proposta



a) Placa de acrílico com tecnologia de corte a laser; b) Compressor e manômetro para retirada do ar – vácuo; c) Primeira camada de argamassa; d) Inserção da caixa de acrílico com vácuo envolvida com tela de fibra de vidro; e) Segunda camada de argamassa; f) Elemento proposto final.

Fonte: Da autora (2017).

As placas foram confeccionadas em Guaporé-RS, e os materiais utilizados para o desenvolvimento da argamassa foram comprados em uma empresa do município. O cimento

utilizado foi CPV e como agregado miúdo utilizou-se areia do tipo médio. A retirada do ar das caixas de acrílico, assim como o preenchimento da argamassa foi realizada no dia 19 de setembro de 2017. Para a cura da argamassa, as placas foram molhadas durante os primeiros dias, e após 7 dias as mesmas foram desenformadas e fixadas no protótipo.

3.4 Protótipos

Os itens abaixo descrevem o local em que os protótipos estão localizados e seu desenvolvimento.

3.4.1 Localização dos protótipos

Os protótipos estão localizados na cidade de Lajeado- RS. O local para a construção foi disponibilizado pela Universidade do Vale do Taquari – Univates, próximo ao prédio 17 da instituição.

3.4.2 Desenvolvimento dos Protótipos 1 e 2

Primeiramente, para o desenvolvimento dos protótipos foram executadas as lajes em concreto armado, no dia 21 de agosto de 2017, no município de Guaporé/RS, cuja quais serviram como base e cobertura para os protótipos.

A sua confecção deu-se com a utilização do cimento tipo CPIV, areia média e brita 1 nas dimensões especificadas no item 3.2.1. Para sua execução foi utilizado o traço 1:2:2 (cimento, areia e brita), atingindo resistência média do concreto aos 28 dias de 23,83 Mpa, conforme relatório de ensaio em anexo. Para evitar retração na cura das lajes, a mesma foi controlada sendo molhada nos primeiros dias. A Figura 19 representa a execução das mesmas.

Figura 19 – Execução das lajes



Fonte: Da autora (2017).

A construção dos protótipos foi realizada e finalizada no dia 06 de setembro de 2017, por um profissional da área da construção civil. O sistema construtivo empregado foi o método convencional. Para o seu desenvolvimento foram utilizados tijolos cerâmicos maciços de 24 x 11,5 x 5,3 cm e as dimensões foram empregadas conforme descrito no item 3.2.1.

Os materiais utilizados para a argamassa de assentamento foram disponibilizados pelo LATEC. Empregou-se o cimento CPIV, cal e areia média. O traço aplicado foi 1:1:5 (cimento, cal e areia), que atingiu resistência média aos 28 dias de 7,732 Mpa, conforme relatório de ensaio em anexo. A Figura 20 demonstra os protótipos parcialmente finalizados.

Figura 20 – Protótipos parcialmente finalizados



Fonte: Da autora (2017).

A aplicação das placas nas fachadas do protótipo 2, foi realizada no dia 25 de setembro de 2017, a fixação deu-se por meio de um suporte metálico. Na cobertura dos protótipos foi apoiada telha metálica com isolamento de poliuretano para garantir a real funcionalidade da placa proposta. A Figura 21 representa as placas sendo fixadas e os protótipos finalizados.

Figura 21 – Protótipos finalizados



Fonte: Da autora (2017).

3.5 Equipamentos para o levantamento de dados

O método utilizado para a obtenção dos dados pertinentes à pesquisa deu-se através de monitoramentos, no qual são responsáveis pela coleta das informações referente às temperaturas para o desenvolvimento do estudo.

Para obter os dados relacionados à temperatura externa (T_e) e interna (T_i) dos protótipos utilizou-se em cada um deles e no ambiente externo sensores PT 100 (sensor de termoresistência, que possui a função de registrar temperaturas) conectados em um *datalogger*, modelo *FieldLogger 512K* que a cada 15 minutos armazenou os registros das temperaturas. A Figura 22 representa o local em que o equipamento está inserido e o modelo utilizado.

Figura 22 – Local e modelo do *datalogger*



Fonte: Da autora (2017).

Os dados armazenados foram transferidos a um computador uma vez por semana, partindo do dia 26 de setembro de 2017 até 13 de novembro de 2017, porém somente foram analisados os dias com temperaturas externas significativas.

Os dados relacionados à radiação solar do mês de setembro, outubro e novembro de 2017 foram disponibilizados pelo Centro de Informações Hidrometeorológicas da Universidade do Vale do Taquari – Univates, cujo modelo da estação é Vantage Pro 2, da marca Davis e o modelo do sensor acoplado é 6450. Desta forma, foram recolhidas as informações necessárias para a comparação e avaliação do desempenho térmico dos protótipos.

A seguir, o capítulo 4 apresenta as análises realizadas a partir dos dados coletados, e também o resultado referente à condutividade térmica do vácuo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo, são apresentadas as informações registradas no levantamento de dados. Ainda, serão analisados e discutidos os dados que foram coletados da temperatura externa em relação à temperatura interna de cada protótipo, posteriormente será realizada uma estimativa quanto ao valor da condutividade térmica.

4.1 Características do ambiente externo e interno dos protótipos

Conforme citado anteriormente, os dados referentes à temperatura externa (T_e) e a temperatura interna (T_i) dos protótipos foram registrados através de sensores PT 100 e seu armazenamento por meio de um *datalogger*. No período da coleta, o equipamento armazenou 10.710 dados de temperatura. Essas informações foram fundamentais para a análise da influência das condições climáticas do ambiente externo sobre a temperatura do ambiente interno dos protótipos estudados.

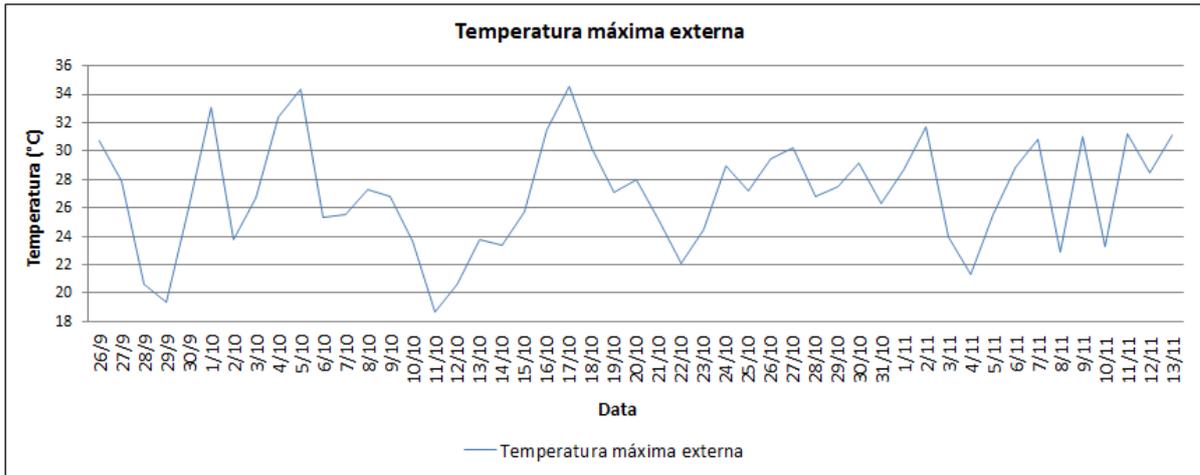
Os dados foram coletados no período de 26 de setembro de 2017 a 13 de novembro de 2017, porém somente foram analisados os dias que atingiram T_e máxima significativa no período da coleta. Diante disso, foram desenvolvidos gráficos com o propósito de comparar a T_e em relação à T_i de cada protótipo, sendo possível verificar a interferência da T_i do protótipo em que foram fixadas as placas de revestimento a vácuo.

Ainda sobre o ambiente externo a seção 4.1 apresenta de uma forma geral, as temperaturas máximas diárias registradas no período.

4.1 Temperatura máxima do ambiente externo

O Gráfico 1, retrata as temperaturas máximas externas de cada dia registradas no período da coleta dos dados.

Gráfico 1 – Temperaturas máximas diárias externas



Fonte: Da autora (2017).

Analisando o gráfico, é possível observar uma grande variação de T_e no período da coleta, o qual é um ponto positivo para a análise das informações. Devido à oscilação da T_e , podemos observar que a T_e máxima coletada ocorreu no dia 17 de outubro de 2017, a qual registrou 34,50°C, às 15h51min, com variação de radiação solar entre 689 a 938 W/m².

Em contrapartida, a menor T_i registrada foi de 18,70°C, a qual ocorreu no dia 11 de outubro de 2017, às 14h21min, mantendo-se até 14h36min, com variação de radiação solar entre 144 a 206 W/m².

A seguir, são apresentados os comparativos de forma detalhada das temperaturas, classificadas pelos dias que apresentaram T_e máxima significativa no período da coleta, com o propósito de analisar e avaliar o comportamento do desempenho térmico de cada protótipo, chegando à conclusão final da placa em estudo.

4.2 Comparativo das temperaturas com o sistema de isolamento térmico na cobertura dos protótipos

Esta seção apresentará os dias em que marcaram maior ocorrência de calor para a análise da eficiência da placa proposta. Inicialmente, a comparação será realizada pelo dia em que alcançou maior T_e no período dos registros coletados levando em consideração a incidência da radiação solar.

Vale ressaltar, que estas análises possuem a telha de poliuretano sobre a cobertura dos protótipos, com o propósito da mesma não influenciar nas análises (FIGURA 23).

Figura 23 – Protótipos com o sistema de isolamento térmico na cobertura

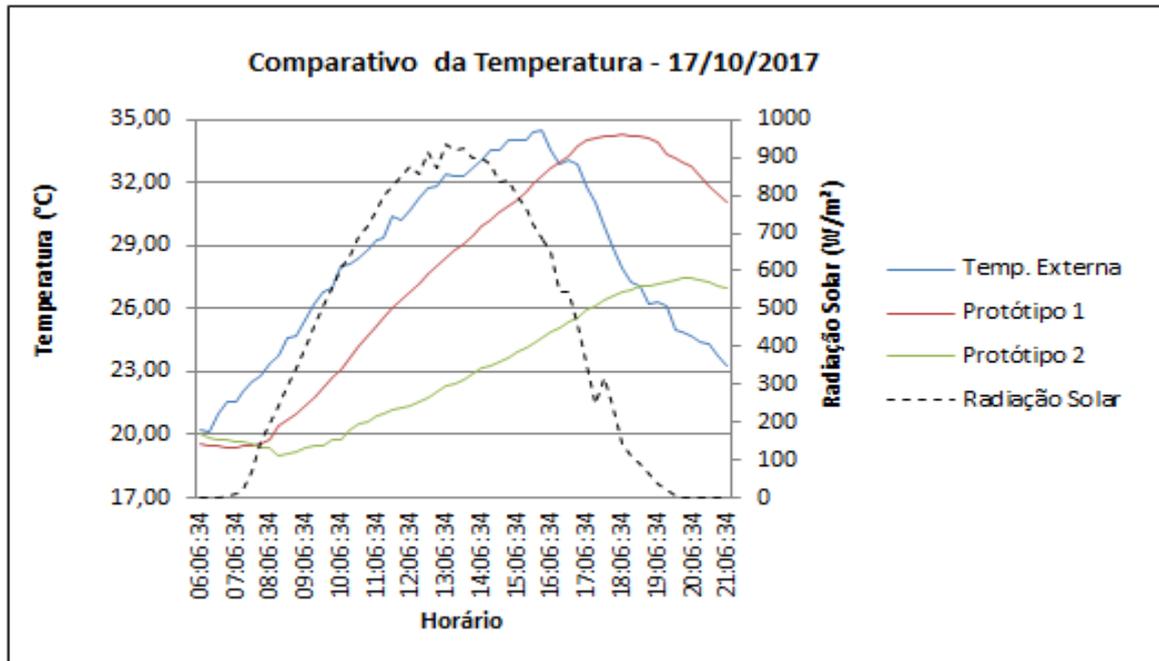


Fonte: Da autora (2017).

4.2.1 Comparativo da temperatura – 17 de outubro de 2017

O Gráfico 2 representa o dia 17 de outubro de 2017, o qual atingiu maior T_e dos dias coletados.

Gráfico 2 – Comparativo da temperatura – 17 de outubro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

Analisando o gráfico, pode-se observar que às 15h 51min, com radiação solar horizontal de 689 W/m², a T_e máxima atingiu 34,50°C, enquanto o protótipo 1 apresentou $T_i = 32,30^\circ\text{C}$ e o protótipo 2 marcou $T_i = 24,60^\circ\text{C}$, diferença de 9,90°C em relação à T_e .

Outro ponto a ser analisado é que 2h 15min após o pico da T_e , o protótipo 1 apresentou sua temperatura máxima do dia $T_i = 34,30^\circ\text{C}$, e depois de 1h 45min, o protótipo 2 atingiu sua T_i máxima, sendo 27,50°C mantendo-se em um intervalo de 15 minutos. Diante disso, a diferença do atraso térmico da maior T_e em relação à máxima T_i do protótipo 2, ocorreu após 4h 00 minutos, com diferença de 7°C a menos em relação a T_e , no mesmo instante o protótipo 1 marcou 1,50°C a menos em relação a T_e . A variação solar ficou entre 0 e 689 W/m².

O pico da radiação solar ocorreu às 13h 06 min, atingindo 938 W/m², e $T_e = 32,40^\circ\text{C}$, o protótipo 1 apresentou 4,00°C a menos em relação a T_e , enquanto o protótipo 2 registrou 10,10°C a menos.

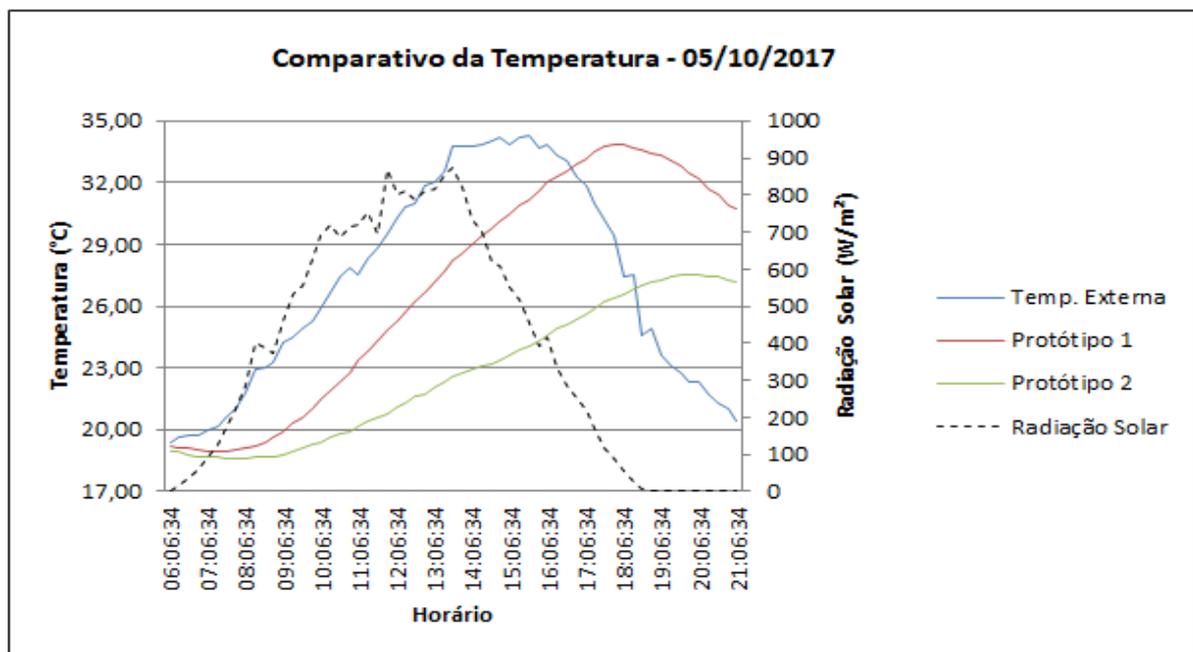
A maior diferença de temperatura do ambiente externo em relação ao protótipo 2, ocorreu às 14h 21min, no momento em que a $T_e = 33,60^\circ\text{C}$, com radiação solar de 882 W/m².

Neste instante a variação de temperatura do protótipo 2 alcançou 10,30°C a menos em relação T_e , enquanto o protótipo 1 atingiu 3,40°C.

4.2.2 Comparativo da temperatura – 05 de outubro de 2017

Seguindo as máximas T_e , e conforme o Gráfico 3, houve registro de 34,30°C, no dia 05 de outubro de 2017, às 15h 36min, com radiação solar de 456 W/m². No mesmo instante o protótipo 1 apresentou $T_i = 31,20^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 2, $T_i = 24,10^\circ\text{C}$, diferença de 10,20°C em relação a T_e .

Gráfico 3 – Comparativo da Temperatura – 05 de outubro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

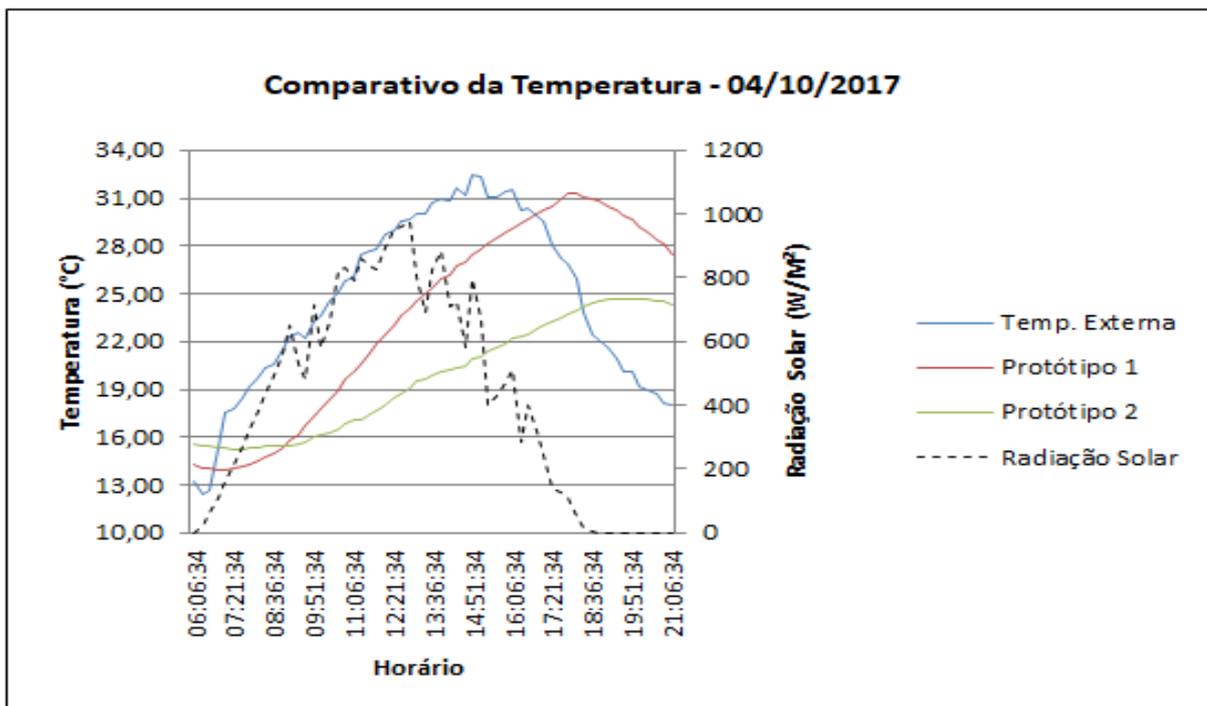
Por meio do atraso térmico, após 2h 15min, o protótipo 1 atingiu sua máxima $T_i = 33,90^\circ\text{C}$, mantendo-se por 15 minutos, e, depois de 1h 30min, o protótipo 2 alcançou a máxima, $T_i = 27,50^\circ\text{C}$, mantendo-se por 30 minutos. Diante disso, vemos que a diferença total da T_e em relação ao protótipo 2 foi de 6,8°C, já o protótipo 1 marcou 1,5°C no mesmo instante. A variação de radiação solar variou de 0 a 456 W/m².

O pico de radiação solar (873W/m^2) ocorreu às 13h 36 minutos, com $T_e = 33,80^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 1 marcou $5,60^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e , o protótipo 2 registrou $11,20^\circ\text{C}$, sendo a maior diferença registrada no dia.

4.2.3 Comparativo da temperatura – 04 de outubro de 2017

Outro comparativo que alcançou bons resultados foi referente o dia 04 de outubro de 2017 em que a radiação solar marcou 796 W/m^2 . Conforme o Gráfico 4 podemos observar que as 14h 51min, a T_e máxima registrou $32,40^\circ\text{C}$, no mesmo momento a T_i do protótipo 1 marcou $27,40^\circ\text{C}$, e o protótipo 2, $T_i = 20,90^\circ\text{C}$, diferença de $11,50^\circ\text{C}$ em relação a T_e , sendo a máxima registrada no dia.

Gráfico 4 – Comparativo da temperatura – 04 de outubro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

A máxima T_i do protótipo 1 marcou $31,30^\circ\text{C}$ após 3h 00min da máxima T_e , se mantendo em um intervalo de 15 min, e após 1h 00min, o protótipo 2 atinge sua máxima $T_i = 24,60^\circ\text{C}$, mantendo-se por 1h 15min. Desta forma, é possível analisar que a diferença total

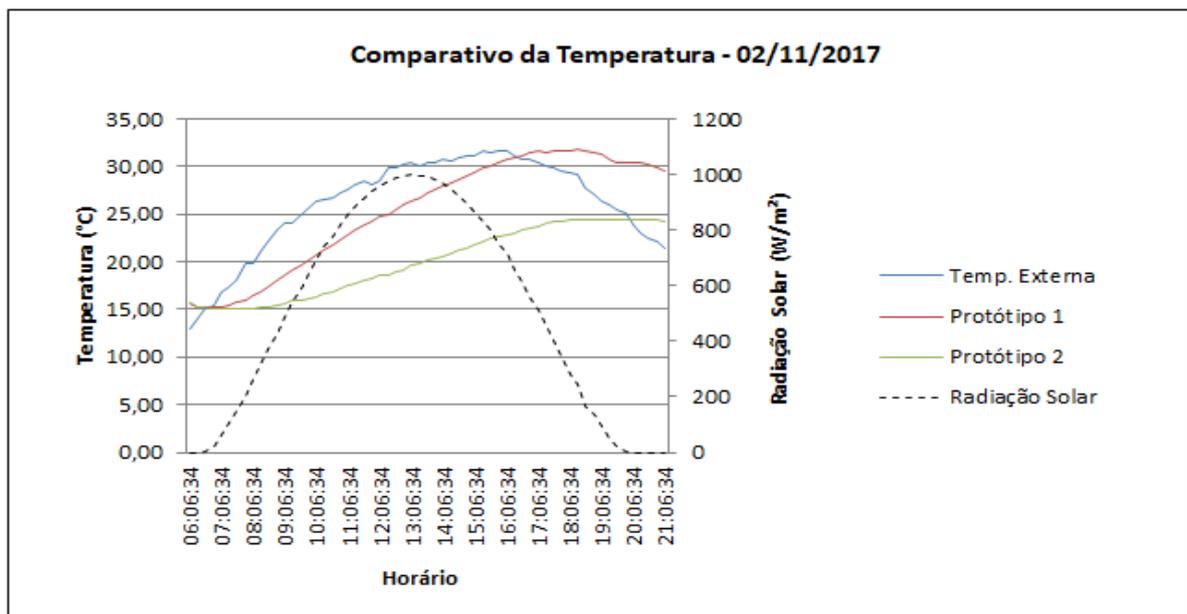
que ocorreu no atraso térmico entre a T_e e T_i do protótipo 2, foi de $7,8^\circ\text{C}$, sendo que no mesmo momento o protótipo 1 marcou $1,90^\circ\text{C}$. A radiação variou de 0 a 796 W/m^2 .

A maior radiação solar do dia apresentou um valor de 979 W/m^2 às 12h51 min, com $T_e = 29,70^\circ\text{C}$, no mesmo instante o protótipo 1 marcou $T_i = 24,10^\circ\text{C}$ e o protótipo 2, $T_i = 19,10^\circ\text{C}$, diferença de $10,60^\circ\text{C}$ em relação a T_e .

4.2.4 Comparativo da temperatura – 02 de novembro de 2017

A maior T_e registrada no dia 02 de novembro de 2017, ocorreu em dois horários. Primeiramente às 15h 21 min, onde apresentou $T_e = 31,70^\circ\text{C}$ enquanto a T_i do protótipo 1 marcou $29,80^\circ\text{C}$, e o protótipo 2, $T_i = 22,20^\circ\text{C}$, diferença de $1,90^\circ\text{C}$ e $9,50^\circ\text{C}$ respectivamente, em relação a T_e . Neste instante a radiação solar registrou 833 W/m^2 . Às 15h 51 min, a radiação solar diminuiu, atingindo 754 W/m^2 , porém a T_e se manteve, o protótipo 1 apresentou diferença de $1,30^\circ\text{C}$ em relação a T_e , enquanto o protótipo 2, marcou $9,10^\circ\text{C}$. O Gráfico 5 representa as variações ocorridas no dia.

Gráfico 5 – Comparativo de temperatura – 02 de novembro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

A maior T_i do protótipo 1 ocorreu após 3h 00min da máxima T_e , a qual marcou 31,80°C, e depois de 15 minutos o protótipo 2 atinge sua máxima $T_i = 24,50^\circ\text{C}$ e se mantém em um intervalo de 2 h 15min, a variação da radiação solar ficou entre 0 e 833 W/m².

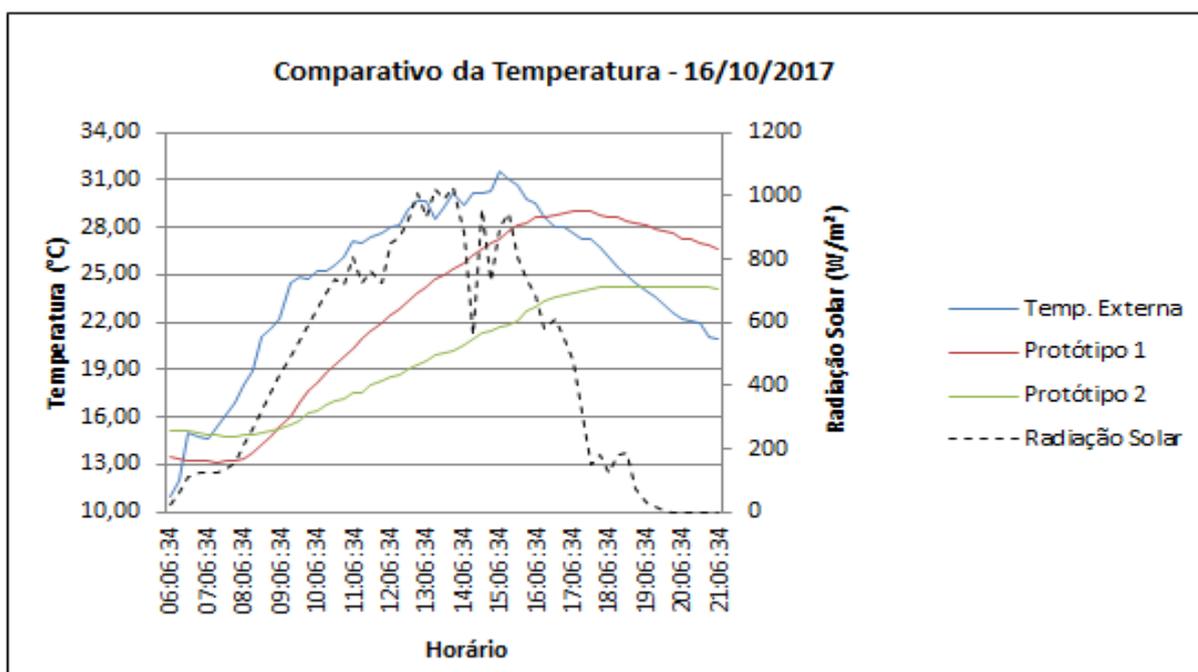
O pico da radiação solar ocorreu às 13h 06min, atingindo 1000 W/m², o registro da $T_e = 30,50^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 1 marcou $T_i = 26,40^\circ\text{C}$ e o protótipo 2, $T_i = 19,60^\circ\text{C}$, diferença de 10,90°C a menos em relação a T_e .

A diferença máxima de temperatura entre a T_e e o protótipo 2 ocorreu no momento em que a T_e estava 29,80 °C, a qual alcançou 11,20°C a menos no protótipo 2 e 4,80°C no protótipo 1.

4.2.5 Comparativo da temperatura – 16 de outubro de 2017

Na sequência dos dias que apresentaram maior ocorrência de calor, em 16 de outubro de 2017, às 15h 06min, a maior T_e do dia atingiu 31,50°C, no mesmo instante o protótipo 1 marcou $T_i = 27,30^\circ\text{C}$, e o protótipo 2, $T_i = 21,70^\circ\text{C}$, diferença de 9,80°C em relação a T_e , enquanto o protótipo 1, registrou 4,20°C. A radiação solar neste momento estava 899 W/m². O Gráfico 6 representa as informações do dia.

Gráfico 6 – Comparativo da temperatura – 16 de outubro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

A máxima T_i do protótipo 1, ocorreu 2h 00min após a T_e máxima do dia, atingindo $T_i = 29,00^\circ\text{C}$, mantendo-se em um período de 30min. Posteriormente o protótipo 2 atinge sua máxima $T_i = 24,20^\circ\text{C}$, permanecendo por 3h 00min. A diferença entre a T_e e o protótipo 2 foi de $7,3^\circ\text{C}$ a menos com atraso térmico total de 2h 45min em relação a T_e . A radiação solar variou de 0 a 899 W/m^2 .

A máxima radiação solar ocorreu às 13h 51min, a qual marcou 1028 W/m^2 , neste instante a T_e registrou $30,20^\circ\text{C}$, o protótipo 1 marcou $4,80^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e , enquanto o protótipo 2 registrou diferença de $10,00^\circ\text{C}$ a menos.

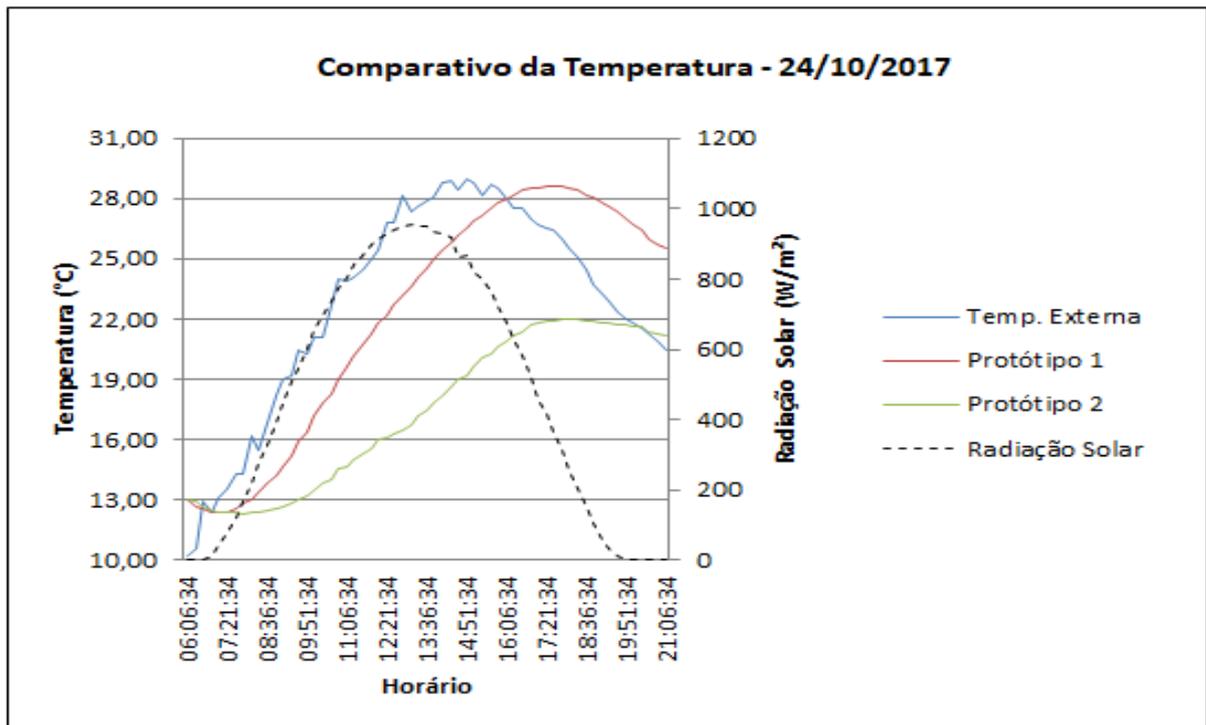
Já a maior diferença de temperatura ocorreu às 12h 51min, quando a T_e marcou $29,60^\circ\text{C}$, o protótipo 1 registrou $5,80^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e , e o protótipo 2 marcou $10,30^\circ\text{C}$ a menos. A radiação solar neste instante atingiu 1006 W/m^2 .

4.3 Comparativos da temperatura com maior diferença entre a temperatura externa e temperatura interna do protótipo 2

A maior diferença de temperatura registrada entre a T_e e a T_i do protótipo 2 no período da coleta, ocorreu em 24 de outubro de 2017, às 12h51 minutos, com radiação solar de 952 W/m² quando a T_e estava em 28,20°C, o protótipo 1 registrou diferença de 5,00°C a menos em relação a T_e , enquanto o protótipo 2 marcou 11,70°C a menos.

A maior T_e registrada neste dia ocorreu às 14h 51min, marcando 29,00°C, no mesmo momento a T_i do protótipo 1 registrou 26,50°C e o protótipo 2, $T_i = 19,20$ °C, com radiação solar de 869 W/m². Tais diferenças podem ser observadas no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Comparativo da temperatura – 24 de outubro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

Em comparação aos dias que tiverem maior ocorrência de calor no ambiente externo e menor diferença de temperatura, pode-se dizer que houve influência do vento, pois a radiação solar no dia variou de 0 a 954 W/m² e não houve precipitação.

4.4 Comparativo das temperaturas sem o sistema de isolamento térmico na cobertura dos protótipos

Para a obtenção de maiores informações comparativas, no dia 07 de novembro de 2017, foi retirada a telha de poliuretano que estava apoiada sobre os protótipos (FIGURA 20), com o propósito de analisar somente a interferência das placas em estudo.

Figura 24 – Protótipos sem o sistema de isolamento térmico na cobertura



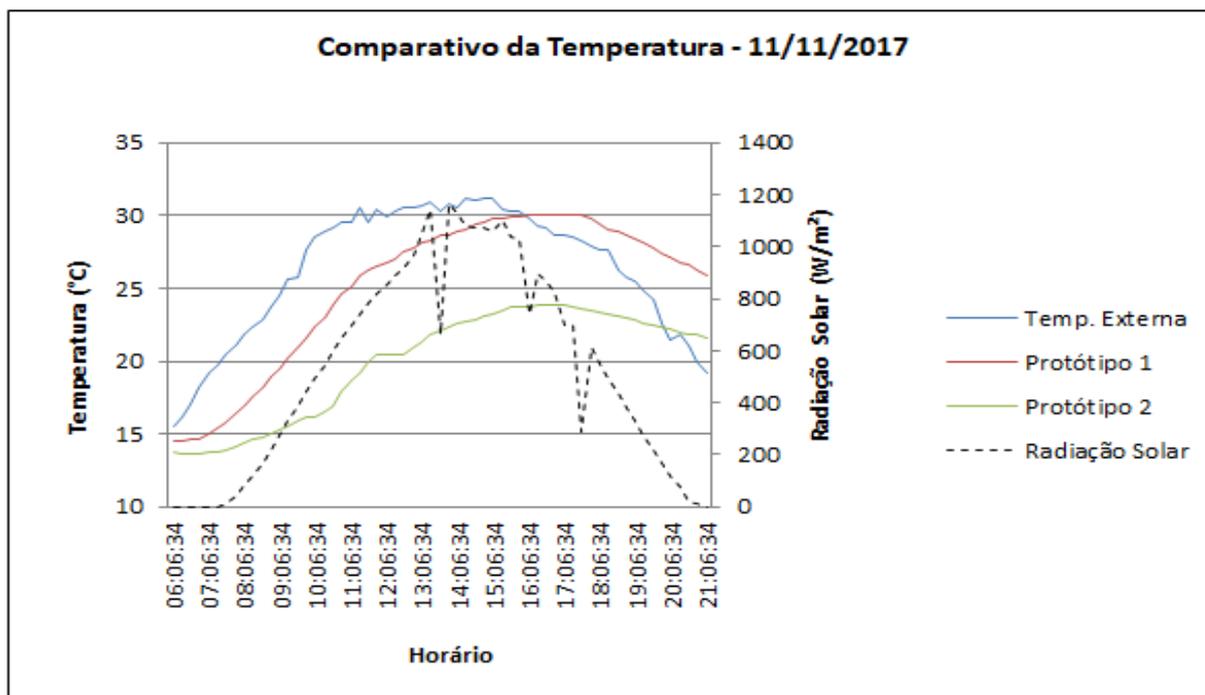
Fonte: Da autora (2017).

Conforme o item 4.2, nesta seção também será exibido os dias que apresentaram maior ocorrência de calor. O período compreende o intervalo de 07 a 13 de novembro de 2017. Inicialmente, a comparação será realizada pelo dia em que apresentou maior T_e .

4.4.1 Comparativo da temperatura – 11 de novembro de 2017

O primeiro dia com T_e máxima registrada no período em que foi retirada a telha de poliuretano da cobertura foi o dia 11 de novembro de 2017. Conforme o Gráfico 8, às 14h 21min registrou a $T_e = 31,20^\circ\text{C}$, com radiação solar de 1082 W/m^2 . No mesmo momento o protótipo 1 registrou $2,10^\circ\text{C}$ a menos comparado com a T_e , e o protótipo 2 registrou diferença de $8,50^\circ\text{C}$ a menos.

Gráfico 8 – Comparativo da temperatura – 11 de novembro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

A T_i máxima do protótipo 1 ocorreu às 16h 36min, mantendo-se por 45min, já o protótipo 2 atingiu sua $T_i = 23,90$ às 16h 51min. Diante disso é possível observar que o atraso térmico entre a T_e e a T_i do protótipo 2 foi de 2h 30min, com diferença de temperatura de $7,3^\circ\text{C}$, enquanto o no mesmo instante o protótipo 1 marcou $1,10^\circ\text{C}$. A variação de radiação estava entre 702 a 1082 W/m^2 .

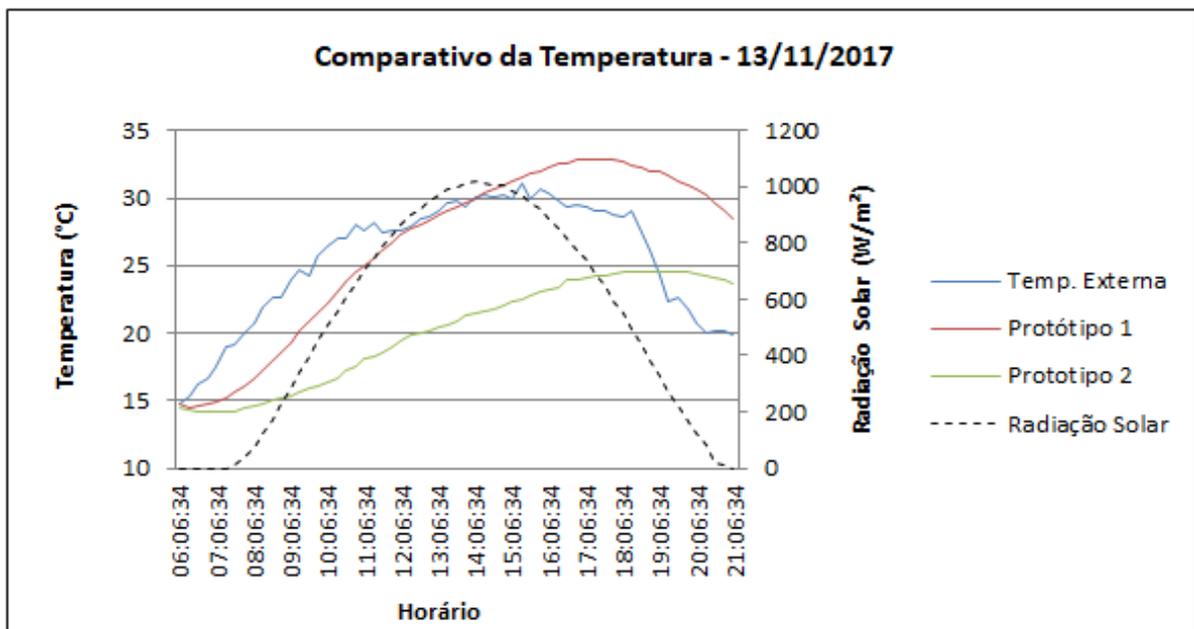
A diferença máxima de T_e e T_i do protótipo 2, ocorreu às 10h 21min, a T_e marcou $28,90^\circ\text{C}$, o protótipo 1 registrou $5,90^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e , enquanto o protótipo 2 marcou $12,40^\circ\text{C}$ a menos.

Outro ponto a ser observado é o pico da radiação solar, em que ocorreu 15 minutos antes da T_e máxima do dia, atingindo 1163 W/m^2 . Neste momento a T_e estava $30,80^\circ\text{C}$, o protótipo 1 marcou $2,10^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e e o protótipo 2, $8,40^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e .

4.4.2 Comparativo da temperatura – 13 de novembro de 2017

O dia 13 de novembro de 2017 foi o segundo dia que apresentou maior T_e , atingindo às 15h 21min, $T_e = 31,10^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 1 registrou $T_i = 31,50^\circ\text{C}$, o protótipo 2 marcou $T_i = 22,50^\circ\text{C}$. Essa diferença é significativa para a comprovação da eficiência da placa, pois a temperatura do protótipo 1 ficou acima da T_e , enquanto o protótipo 2 registrou $8,60^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e . Neste momento a radiação solar apresentou 970 W/m^2 . As análises descritas podem ser observadas no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Comparativo da temperatura – 11 de novembro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

Com a diminuição da radiação solar, os protótipos atingiram suas máximas T_i . Após 1h 45min da máxima T_e , o protótipo 1 marca sua máxima $T_i = 32,90^\circ\text{C}$, mantendo-se por 15 minutos. Passado mais 1h 15min o protótipo 2, registra sua $T_i = 24,60^\circ\text{C}$, no qual se mantém por 1h 00min. Neste período de tempo a radiação solar variou de 220 a 970 W/m^2 .

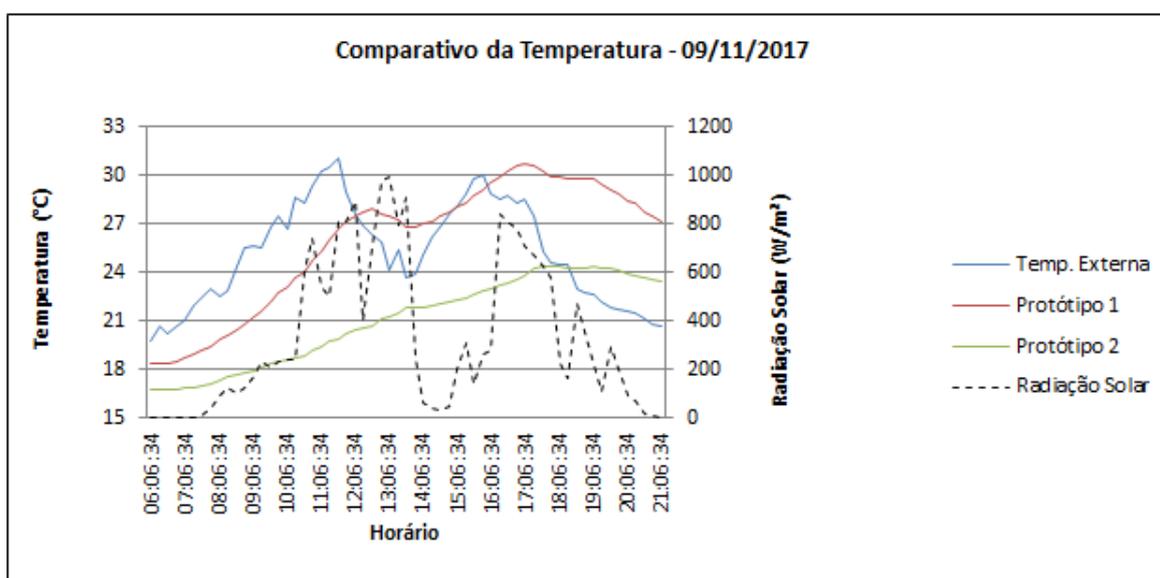
A máxima radiação solar ocorreu às 14h 06min, atingindo 1018 W/m^2 , neste instante a $T_e = 30,10^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 1 marcou $0,10^\circ\text{C}$ a menos e o protótipo 2, $8,7^\circ\text{C}$ a menos em relação a T_e .

A maior diferença registrada entre a T_e e a T_i do protótipo 2 ocorreu às 10h 51min, quando apresentou $T_e = 28,10^\circ\text{C}$ e diferença de $10,60^\circ\text{C}$ a menos na T_i do protótipo 2, enquanto o protótipo 1, registrou $3,60^\circ\text{C}$ a menos. A radiação solar neste momento atingiu 657 W/m^2 .

4.4.3 Comparativo da temperatura – 09 de novembro de 2017

Em sequência aos dias que apresentaram temperaturas significantes sem a telha de poliuretano apoiada nos protótipos, o dia 09 de novembro registrou às 11h 36min, a máxima $T_e = 31,00^\circ\text{C}$, enquanto o protótipo 1 marcou $T_i = 26,60^\circ\text{C}$ e o protótipo 2, $T_i = 19,80^\circ\text{C}$, além disso foi a maior diferença registrada no dia entre a T_e e T_i do protótipo 2, variando $11,20^\circ\text{C}$ a menos, enquanto o protótipo 1 marcou $4,40^\circ\text{C}$, esta diferença pode ser visualizada no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Comparativo da temperatura – 09 de novembro de 2017



Fonte: Da autora (2017).

Analisando o gráfico pode-se observar que a radiação variou bruscamente, diante disso, o atraso térmico para que o protótipo 1 alcançasse sua máxima $T_i = 30,70^\circ\text{C}$, ocorreu as 17h 06min, ou seja, após 5h 30min da máxima T_e . Já, o protótipo 2 atingiu sua

máxima $T_i = 24,30^\circ\text{C}$, após 6h 00 min da máxima T_e . Neste período a variação da radiação solar ficou entre 225 e 992W/m².

A máxima radiação solar ocorreu às 13h 06min, quando marcou 992 W/m², neste instante a $T_e = 24,10^\circ\text{C}$. O protótipo 1 registrou diferença de 3,30°C a mais em relação a T_e . Já o protótipo 2, diminuiu 6,20°C em relação a T_e .

4.5 Análise das comparações das temperaturas

Nesta seção será apresentada uma análise geral sobre as comparações realizadas referente os dias que apresentaram T_e máxima significativa, para poder comprovar a eficiência da placa de revestimento a vácuo e concluir o estudo.

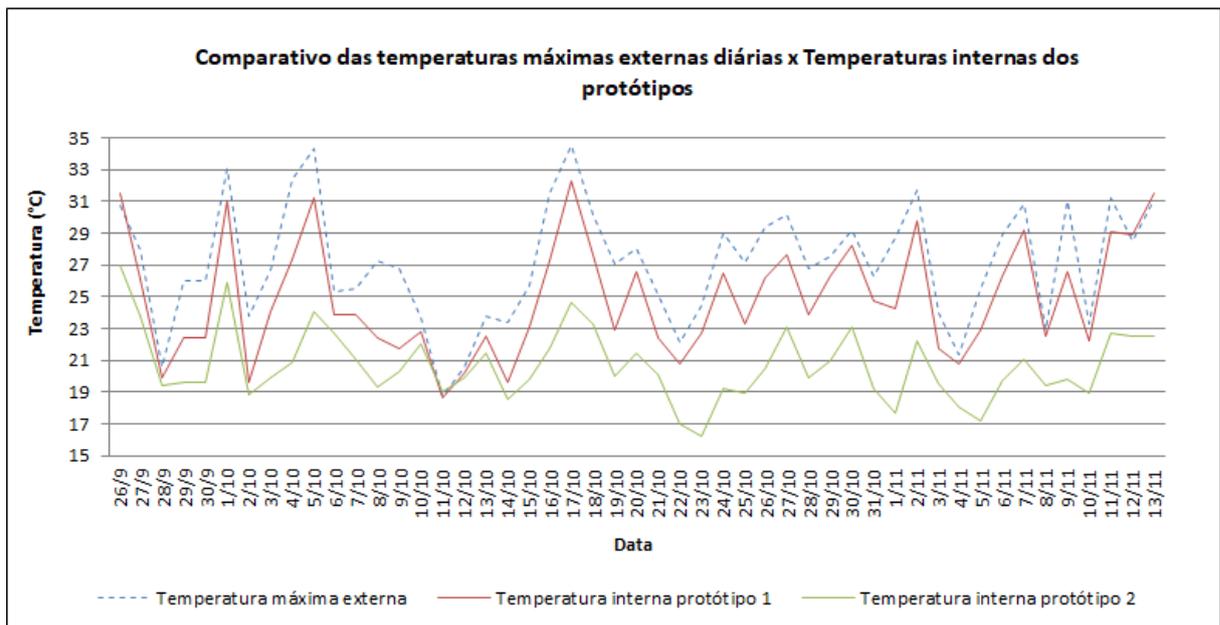
Através dos resultados obtidos, na seção 4.2 nota-se que o aumento da radiação solar provoca o aumento da T_e , em alguns instantes a radiação solar diminui, mas a T_e continua aumentando. Isto ocorre devido ao calor acumulado na atmosfera, atingindo a T_e máxima diária. Há também outros fatores que podem interferir, como altura do sol, vento, cobertura das nuvens, duração da radiação solar, entre outros.

Com a diminuição da radiação solar, os protótipos atingem sua máxima T_i , fato que está associado ao atraso térmico. Isto quer dizer que os materiais utilizados na fachada reduzem a transferência de calor do ambiente externo para o ambiente interno.

Outra relação é que a maior diferença de temperatura entre o ambiente externo e o ambiente interno, não significa que deverá ser no momento em que se tenha máxima temperatura ou radiação solar, pois poderá haver influencia do vento, da umidade relativa do ar ou de frente fria nos próximos dias.

A seção 4.4 apresentou os resultados referentes os protótipos sem o sistema de isolamento térmico na cobertura. As análises também tiveram significativos resultados, em que a T_i do protótipo 2 se manteve abaixo da T_e e da T_i do protótipo 1. O Gráfico 11 apresenta de uma forma geral as temperaturas máximas diárias do ambiente externo em relação à T_i dos protótipos no mesmo instante.

Gráfico 11 – Comparativo das temperaturas máximas externas diárias X temperaturas internas dos protótipos



Fonte: Da autora (2017).

Diante dos comparativos analisados e o gráfico acima, comprova-se que o protótipo em que foram fixadas as placas de revestimento a vácuo, ocasionou significativa e considerável redução de T_i quando comparado ao protótipo 1 e a T_e . Outro ponto a ser ressaltado é que de acordo com o estudo realizado sobre conforto térmico, as temperaturas internas ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 16401-2 e por Givoni (*apud* LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Diante disso, conforme o objetivo deste estudo, o resultado final da placa proposta se mostrou satisfatória, quanto ao seu desempenho térmico, reforçando a potencialidade de utilização do isolamento térmico com vácuo.

4.6 Condutividade térmica

Através da comparação das propriedades térmicas dos materiais utilizados nos protótipos 1 e 2, foi possível estimar matematicamente o valor da condutividade térmica do

vácuo. O cálculo foi realizado a partir das equações especificadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2003b) e neste trabalho no Capítulo 2, sendo as equações 5, 6, 7 e 4.

Realizados os cálculos, o valor aproximado encontrado foi de $\lambda = 0,048$, porém este resultado precisa ser revisado e confirmado através do princípio da placa quente protegida ou pelo método fluximétrico, especificados na NBR 15220-4 (ABNT, 2003d) e na NBR 15220-5 (ABNT, 2003e), respectivamente.

A seção 4.7 descreve a patologia que ocorreu nas placas que estavam fixadas no protótipo 2.

4.7 Patologias nas placas de revestimento para fachadas

Devido os protótipos estar diretamente expostos no sol, houve a ocorrência de fissuras nas placas, podendo ser visto na Figura 21.

Tal patologia ocorreu devido diferença de dilatação térmica dos materiais e também pela falta de aderência entre o acrílico e argamassa. As fissuras foram acompanhadas diariamente, porém devido à utilização da tela de fibra as placas não apresentaram novas aberturas.

Figura 25 – Fissuração nas placas



Fonte: Da autora (2017).

5 CONCLUSÃO

Analisando as pesquisas bibliográficas, experiências realizadas e análise final, é possível concluir que os resultados obtidos foram significativos no processo de isolamento térmico, uma vez que o mesmo teve variação térmica entre os protótipos, no qual o protótipo em que possuía as placas de isolamento térmico fixadas em suas fachadas apresentou em todo o período de análise temperatura de conforto térmico conforme parâmetros estabelecidos na NBR 16401-2 e nos estudos de Givoni (*apud* LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A escolha do material utilizado em acrílico foi experimental, uma vez que o mesmo apresentou eficiência na retirada do ar, porém podem-se realizar novas pesquisas com diferentes materiais, desde que os mesmos possuam resistência na retirada do ar. Sendo que o objetivo principal é manter o método do estudo, o qual se obteve êxito.

Além disso, o complemento referente o resultado da condutividade térmica precisa ser revisado e confirmado, no qual a estimativa partiu de cálculo matemático, sendo que o mesmo precisa ser comprovado através dos métodos estabelecidos na NBR 15220-4 e NBR 15220-5 (ABNT, 2003d; 2003e).

Outro ponto a ser verificado e para maiores comparações é alterar a escala dos protótipos, executando-os em tamanho maior, considerando aberturas em suas fachadas, diferentes combinações de materialidades, influência de diferentes coberturas e elementos construtivos.

Entretanto, como o acrílico é um material alternativo, é importante analisar o seu ciclo de vida, de acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2009), avaliando sua produção em relação ao seu uso, por exemplo, comparando se a economia de energia elétrica das edificações

compensa a sua produção. Entre estas variáveis também é possível realizar um estudo para verificar a influência do vácuo no isolamento acústico.

Muito se tem a pesquisar sobre o assunto, muito se tem a descobrir, novas experiências deverão ser realizadas, sendo fundamentais para o avanço desta tecnologia que tem muito a agregar nas edificações.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14040**: Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro. 2003a.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro. 2003b.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro. 2003c.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 4. Rio de Janeiro. 2003d.

_____. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 5. Rio de Janeiro. 2003e.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro. 2013a.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 4. Rio de Janeiro. 2013b.

_____. **NBR 5739**: Concreto- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ALFA. **Corte a Laser.** ([S.d.]). Disponível em: <<http://www.alfaperfilados.com.br/corte-cnc-de-chapas-de-%C2%BD-ate-3-000m-e-de-38-ate-4-000mm/corte-laser/>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

ARO, Celso R; AMORIM, Simar V. As inovações tecnológicas no processo de produção dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 12 a 21 jul. 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Carlo, 2004. p. 1-7.

AUTODESK. **Sobre o BIM.** 2017. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/adsk/servlet/index?siteID=1003425&id=16162683>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BARROSA, Marcelo R. da. **Princípios Fundamentais da Transferência de Calor.** 2004. 48f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 2004.

BAUMANN. **Peças preciosas com contornos complexos.** 2017. Disponível em: <<http://www.baumann.ind.br/cortesdobras/servicos/corte-a-laser.php>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

BIANCHI, Irena J.S.S. **Isolantes térmicos empregados na construção civil de residência.** 2014. III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2014.

BRITO, Rafael S. de; GANTOIS, Carlos H. J. Estruturas de concreto pré-fabricadas em edifícios de múltiplos pavimentos contraventados por núcleo de rigidez. **Seminário estudantil de Produção Acadêmica**, v. 13, p. 286-299, 2014.

CARLO, Joyce C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** 2008. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CHAIBEN, Cátia A. P. B. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS): Avaliação Preliminar de Viabilidade para sua Aplicação no Brasil.** 2014. 78f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CONTOUR CRAFTING. **Space Colonies.** [S.d.]. Disponível em: <<http://www.contourcrafting.org/space-colonies/>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, Dayana B.; LEITE, Regina M. C. **Segundo caderno de casos ne inovação na construção civil: Programa inovação tecnologia, câmara brasileira da indústria da construção**. Salvador: CBIC/Sinduscon, 2014.

COSTA, Ennio C. C. **Arquitetura ecológica: Condicionamento térmico natural**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

DESAFIOS da mão de obra na construção civil. **Tecnológica Mobuss Construção**, 2015. Disponível em: <<http://www.mobussconstrucao.com.br/blog/2015/10/desafios-da-mao-de-obra-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

E-CIVIL. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior**. [S.d.]. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/isolamento_termico_de_fachadas_pelo_exterior.htm>. Acesso em: 09 mai. 2017.

FABRICIO, Márcio M. **Industrialização das construções: Revisão e atualização de conceitos**. São Paulo, v. 20, n. 33, p. 228-248, jun. 2013.

FAVEGRUP. **Vantagens fachadas ventiladas**. ([S.d.]). Disponível em: <<http://www.favegrup.com/index.php/pt-BR/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

FONYAT, Mariana A. R. **A pré-fabricação e o projeto de arquitetura**. 2013. 189f. Dissertação (Mestre em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FRANCO, Thiago T.; PEDOTE, Lucas. **Análise da eficiência térmica de diferentes tipos de coberturas para casas de emergência**. 2012. 86f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

_____. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

GEMELLI, Carolina B. **Avaliação do conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: O caso da escola municipal de ensino fundamental Frei Pacífico.** 2009. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GERADOR DE PREÇOS. **Preços compostos.** [S.d.]. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/Reabilitacao_energetica/ZF_Envolvente_termica_em_paredes_/ZFF_Sistemas_ETICS_de_isolamento_e/ZFF060_Sistema_ETICS_Wall-Term__REVE__p.html>. Acesso em: 18 abr. 2017.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GOMES, Emmily G. S. **Desempenho térmico de alvenarias: Uma alternativa com o uso de blocos EVA.** 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade da Paraíba, João Pessoa, 2015.

GONÇALVES, Joana C. S.; DUARTE, Denise H. S. Arquitetura sustentável: Uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 4, p. 51-81, abr./ago. 2006.

GOULDING, Jack; ARIF, Mohammed. **Offsite Production and Manufacturing: Research Roadmap Report.** Reino Unido: CIB General Secretariat, 2013. Disponível em: <http://site.cibworld.nl/dl/publications/pub_372.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2017.

IAB. Instituto de Arquitetos do Brasil. **Cadernos de boas práticas em arquitetura: Eficiência energética nas edificações – esportes e lazer.** Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2007.

INDAC. Instituto Nacional para Desenvolvimento do Acrílico. **Acrílico, do começo ao fim.** ([S.d.]).

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor.** 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

KRÜTZMANN, Márlon E. **Inovação na construção civil: Viabilidade do uso de kits pré-fabricados.** 2015. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **Conforto e Stress Térmico**. 2011. 87f. Apostila (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

_____. **Desempenho térmico de edificações**. 2016. 289f. Apostila (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2. ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

_____. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: ProLivros, 2014.

LEÃO, Bernardo D. de B. **Estudo da durabilidade do Sistema ETICS em paredes exteriores através da inspeção de edifícios**. 2017. 152f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, fev. 2017.

LIMA, Tomás B. **Análise de desempenho térmico de edificações habitacionais: Desenvolvimento da interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220**. 2014. 86f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MARTINS, Marcelo G.; BARROS, Mercia M. S. B. **A Formação de parcerias como alternativa para impulsionar a inovação na produção de edifícios**. 2005. 30f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MESQUITA, A.S.G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **HOLOS**, ano 28, v. 2, fev./mai. 2012.

MESSER CUTTING SYSTEMS. **Corte a laser: A mais alta qualidade e a melhor precisão**. 2017. Disponível em: <<http://www.messer-cs.com/pt/south-america/processos/corte-a-laser/>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

MOURA, Éride. Projetos: Conforto ambiental. **Revista Técnica**, ed. 127, out. 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/127/artigo285407-1.aspx>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

MULLER, Leandro S. **Utilização da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) Integrado a Planejamento 4D na Construção Civil**. 2015. 100f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, março 2015.

NACCACHE, Mônica F. **Transferência de calor II**. ([S.d.]). 47f. [notas de aula].

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Office of the Chief Technologist**. 2017. Disponível em: <https://www.nasa.gov/offices/oct/home/niac_countour_crafting.html>. Acesso em: 20 mar. 2017.

NOVUS. **Módulo de Aquisição e Registro de Dados – FieldLogger**. 2017a. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=607370&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=917491>. Acesso em: 10 mar. 2017.

_____. **Termorresistências PT100**. 2017b. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=619288&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=545403&Idioma=55>. Acesso em: 10 mar. 2017.

OLIVEIRA, Afonso *et al.* **Automação na construção civil**. 2014. 14f. Trabalho (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2014.

ORDENES, Martin; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. 2008, 41f. Monografia (Pós- Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PORTO, Thomás M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PRIMO, André D. O. **Estudo da durabilidade de materiais e sistemas construtivos: Sistema ETICS**. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções Civas) – Universidade do Porto, Porto, 2008.

QUITES, Eduardo E. C.; LIA, Luiz R. B. **Introdução à transferência de calor**. São Paulo: Unisanta, 2005.

ROCHA, Silvério. Tecnologia: O ajuste do mercado. **Revistas Téchné**. ed. 30, set. 1997. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/30/artigo285094-1.aspx>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

RODRIGUES, Andriago. **Análise estatística na avaliação do teste de degradação acelerada de conjuntos cerâmicos em fachada**. 2015. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Materiais) – Universidade do Extremo Catarinense, Criciúma, 2015.

RORIZ, Maurício. **Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2008. [Notas de aula].

ROSSO, Silvana M. Tecnologia – softwares BIM: conheça os programas disponíveis, seu custo, principais características e segredos. **Revistas Pini**, ed. 208, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/artigo224333-1.aspx>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

SANTOS, Thiago J. de S.; SOARES NETO, José L. **Identificação de Aspectos Ambientais e seus respectivos Impactos na Construção Civil**. 2009. 11f. Artigo (Graduação em Tecnologia Ambiental) – Faculdade Católica de Tocantins, Palmas, 2009.

SBF. Sociedade Brasileira de Física. **Energia do vácuo e superfícies excitadas termicamente**. 2014. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=581:energia-do-vacuoe-superficies-excitadas-termicamente&catid=151:destaque-em-fisica&Itemid=315>. Acesso em: 24 maio 2017.

SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H. **Introdução às ciências térmicas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

SEROA, Ana et al. Entrevista com o Engenheiro Miguel Satler. In: IAB. Instituto de Arquitetos do Brasil. **Caderno de Boas Práticas em Arquitetura: Eficiência Energética em Edificações Brasileiras: Conclusões e Perspectivas**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/IAB, 2009. v. 15. p. 5.

SIRTOLI, Alex S.C. **Industrialização da construção civil, sistemas pré-fabricados de concreto e suas aplicações**. 2015. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOUSA, Hipólito de. Alvenaria em Portugal: Situação actual e perspectivas futuras. In: SEMINÁRIO SOBRE PAREDES DE ALVENARIA, 2002, Porto. **Anais...** Porto: Universidade do Minho, 2002. p. 17-40.

SPANNENBERG, Mariane G.; **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social:** Estudos de caso em Marau – RS. 2006. 189f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

STEMPNIAK, Roberto A. **A ciência e a tecnologia do vácuo:** Resumo histórico e algumas aplicações. 2002. 14f. Trabalho (Curso de Tecnologia a Vácuo) – Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos, São Paulo, 2002.

TAMANINI, Carlos A. de M. **Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá- PR.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

VALE DA GÂNDARA. **Manual de Aplicação:** de tijolos de face à vista e de pavers cerâmicos. [S.d.].

ANEXOS

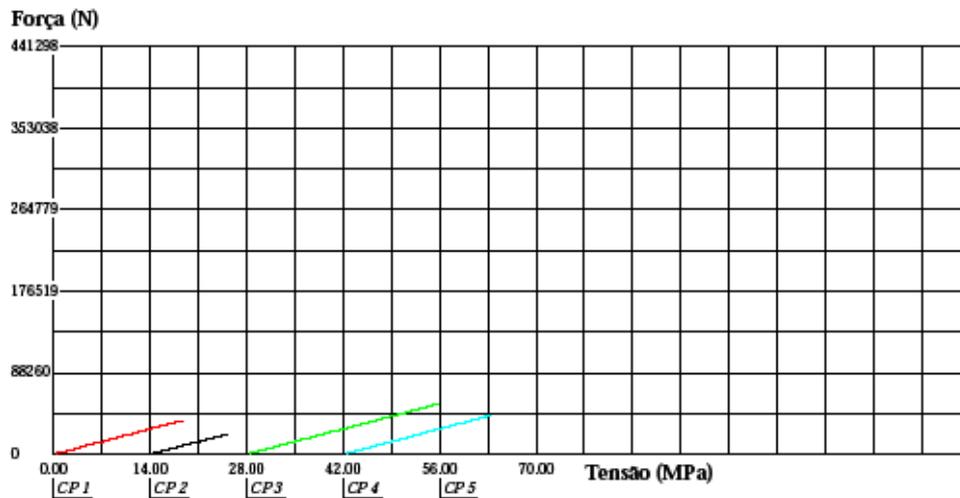
ANEXO A – Resultados de resistência a compressão do revestimento final das placas (argamassa)

LATEC Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic SSH300 Célula: Trd 30 Extensômetro: - Data: 25/05/2017 Hora: 08:13:55 Trabalho n° **1152**
 Programa: Tesc versão 4.00 Método de Ensaio: Compressão CP 10x5 argamassa
 Ident. Amostra: >>> Cliente: TCC ALUNOS SPINELLI Identificação: ARGAMASSA PLACAS Operador: MARCELO

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força Máxima (kgf)	Resistência a Compressão (MPa)	Código	Idade
CP 1	1963.49	3775.93	18.86	TIPO 1	7
CP 2	1963.49	2263.83	11.31	TIPO 2	7
CP 3	1963.49	5564.53	27.79	TIPO 3	7
CP 4	1963.49	4311.65	21.53	TIPO 4	7
Número CPs	4	4	4	0	0
Medida	1963	3979	19.87	*	*
Mediana	1963	4044	20.20	*	*
Desv. Padrão	0.0000	1367	6.828	*	*
Coef. Var. (%)	0.0000	34.36	34.36	*	*
Mínimo	1963	2264	11.31	*	*
Máximo	1963	5565	27.79	*	*





UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09