

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BERNARDO LYOH SUGAWARA MISAKA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS DE TELHADO
VERDE, ECOLÓGICO E CONVENCIONAL**

**Alegrete
2021**

BERNARDO LYOH SUGAWARA MISAKA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS DE TELHADO
VERDE, ECOLÓGICO E CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Simone Dornelles Venquiaruto

Coorientador: José Wagner Maciel Kaehler

**Alegrete
2021**

BERNARDO LYOH SUGAWARA MISAKA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS DE TELHADO VERDE,
ECOLÓGICO E CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovada em: 04 de Outubro de 2021.

Banca examinadora:

Profa. Dra. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - Orientadora - UNIPAMPA

Prof. Dr. JOSÉ WAGNER MACIEL KAEHLER - Coorientador - UNIPAMPA

Prof. Dr. FLADIMIR FERNANDES DOS SANTOS - UNIPAMPA

Prof. Me. CELSO NOBRE DA FONSECA - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **CELSO NOBRE DA FONSECA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 08:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 08:06, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSE WAGNER MACIEL KAEHLER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 08:43, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FLADIMIR FERNANDES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 09:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0634480** e o código CRC **8D580280**.

Dedico este trabalho a meus familiares e amigos que sempre me apoiam e me incentivam a crescer. Dedico também a todos os mestres que dividiram sua sabedoria comigo e tornaram este trabalho possível.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, pela minha vida, por me proteger e dar forças ao longo da minha jornada.

A minha família, por me proporcionarem a chance de chegar onde estou, por sempre me apoiarem e me aconselharem durante a minha vida e por sempre me incentivarem a continuar e a não desistir, me desejando o melhor da vida.

Aos amigos que consegui conhecer no Vale do Aço, aos amigos que consegui conhecer no Rio Grande do Sul e aos amigos e colegas que conheci graças a UNIPAMPA. Um agradecimento especial aos colegas Matheus, Mayara, Rafael, Gabriella, Andressa, Carolina, Alvimar, Thais e Jhulianni, por todos os momentos que compartilhei e por todos os dias e noites de estudo. Sou muito grato por termos compartilhado parte de nossa jornada juntos.

Agradeço a Prof^ª. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto, por aceitar me orientar neste trabalho e pela dedicação ao me guiar durante toda a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler, pelo auxílio durante a realização do programa experimental e durante a formulação e a organização de ideias para este trabalho.

Aos professores e mestres que passaram em minha vida e decidiram compartilhar o conhecimento deles comigo.

Aos membros da banca, Prof. Me. Celso Nobre da Fonseca e Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos, por todo o apoio e contribuições para comigo e para este trabalho.

Desejo muita saúde, sucesso e tudo de bom para todos.

RESUMO

O “*Desenvolvimento Sustentável*” é entendido como a aptidão de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem as suas necessidades. Seguindo essa linha de pensamento, reduzir o consumo energético e buscar utilizar materiais que causem menos danos ao meio ambiente são pontos importantes a serem seguidos. Atualmente, uma das principais elevações do consumo energético de edificações ocorre pelo uso de equipamentos para controle de temperatura interna, como ar-condicionado e ventiladores. Paralelo a isso, há hoje em dia um consenso no meio científico de que a estrutura de cobertura tem uma contribuição relevante para o aumento da temperatura interna em uma edificação. Baseado no que foi exposto, este projeto visa testar a eficiência térmica de três tipos de coberturas distintas para o clima da cidade de Alegrete/RS. Para analisar o comportamento térmico das coberturas foram montados três protótipos (denominados de células-teste), no qual, dois protótipos receberam telhas com características que pontuam ecologicamente, e o outro foi confeccionado com uma telha convencionalmente utilizada no Brasil. A fim de comparar a eficiência entre as coberturas, o monitoramento da temperatura interna das células-teste foi realizado com o auxílio de equipamentos específicos. Para auxiliar na análise de dados, os resultados foram validados com a realização de cálculos ligados a transmitância térmica seguindo a norma ABNT NBR 15220. Concluiu-se que a estrutura de cobertura verde atendeu os padrões normativos vigentes e apresentou o melhor desempenho no quesito conforto térmico entre as coberturas analisadas.

Palavras Chave: transmitância térmica, eficiência energética, coberturas; telha ecológica de fibra vegetal; telhado verde; telha de fibrocimento.

ABSTRACT

“Sustainable Development” is understood as the ability to meet the needs of the current generation, without compromising the ability of the future generations to meet their needs. Following this line of thought, reducing energy consumption and seeking to use materials that cause less damage to the environment are important points to be followed. Currently, one of the main increases in energy consumption of buildings is the use of equipment to control internal temperature, such as air conditioners and fans. Parallel to this, there is nowadays a consensus in the scientific community that the roof structure has a relevant contribution to the increase in the internal temperature of a building. Based on what was exposed, this project aims to test the thermal efficiency of three different types of roofing for the climate of the city of Alegrete/RS. To analyze the thermal response of the roofs, three prototypes were assembled (called test-cells), in which two received tiles with ecological characteristics, and the other was made with a tile conventionally used in Brazil. In order to compare the efficiency between the coverings, the monitoring of the internal temperature of the test-cells was carried out with the aid of specific equipment. To aid in data analysis, the results were validated with calculations related to thermal transmittance following the ABNT NBR 15220 standard. It was concluded that the green roof structure met the current normative standards and presented the best performance in terms of thermal comfort among the analyzed roofs.

Key Words: thermal transmittance; energy efficiency; roofs; ecological vegetable fiber tile; green roof; fiber cement tile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do estado do Rio Grande do Sul com indicação da cidade de Alegrete.....	19
Figura 2 – Zoneamento bioclimático.....	20
Figura 3 – Carta bioclimática da cidade de Ponta Grossa (PR).....	21
Figura 4 – Percurso do Sol na UNIPAMPA – Campus de ALEGRETE – RS	22
Figura 5 – Carta solar polar Alegrete – RS	22
Figura 6 – Seções de um componente	26
Figura 7 – Estrutura de telhado para telhas cerâmicas	29
Figura 8 – Estrutura de telhado para telhas de fibrocimento e/ou metálicas.....	30
Figura 9 – Tipos de telhas cerâmicas	31
Figura 10 – Modelos de telha fibrocimento Brasilit.....	32
Figura 11 – Telha convencional metálica.....	33
Figura 12 – Telha ecológica de Tetra Pak	34
Figura 13 – Telha ecológica de fibra vegetal	34
Figura 14 – Telha ecológica de embalagem de pasta de dente reciclada	35
Figura 15 – As camadas de um telhado verde.....	36
Figura 16 – Exemplo de um telhado verde extensivo	37
Figura 17 – Telhado verde semi-intensivo	38
Figura 18 – Jardim sobre telhado verde extensivo	38
Figura 19 – Protótipos (células teste): (Imagem (a)) Aço galvanizado; (Imagem (b)) Fibrocimento; (Imagem (c)) Laje pré-moldada; (Imagem (d)) Cerâmica	40
Figura 20 – Células teste finalizadas	46
Figura 21 – Fluxograma do programa experimental	48
Figura 22 – Local de implantação do projeto	49
Figura 23 – Procedimento de montagem do telhado verde	51
Figura 24 – Células-teste	52
Figura 25 – Posição dos termopares dentro dos protótipos.....	52
Figura 26 – Posição do equipamento <i>Data Logger</i> e sua conexão aos protótipos	53
Figura 27 – Média das temperaturas dos tipos de cobertura	54
Figura 28 – Protótipos com telhas e área de circulação de ar visível.....	55
Figura 29 – Protótipo destinado a cobertura verde e sem área de circulação de ar.....	55
Figura 30 – Células-teste	56
Figura 31 – Anemômetro.....	57
Figura 32 – <i>Solar Meter</i>	58

Figura 33 – Posicionamento do equipamento <i>Solar Meter</i> para coleta de dados: (Imagem (a)) Plano inclinado, e (Imagem (b)) Plano horizontal.....	59
Figura 34 – Temperaturas das coberturas em 11/05/2021.....	62
Figura 35 – Temperaturas das coberturas em 13/05/2021.....	63
Figura 36 – Temperaturas das coberturas em 14/05/2021.....	63
Figura 37 – Temperaturas das coberturas em 17/05/2021.....	63
Figura 38 – Temperaturas das coberturas em 18/05/2021.....	64
Figura 39 – Temperaturas médias das temperaturas dos tipos de cobertura	66
Figura 40 – Composição das camadas da cobertura verde	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de cobertura quanto a transmitância térmica (U).....	26
Tabela 2 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	28
Tabela 3 – Resistência térmica superficial interna e externa.....	28
Tabela 4 – Valores de radiação e velocidade do vento em 11/05/2021	60
Tabela 5 – Valores de radiação e velocidade do vento em 13/05/2021	60
Tabela 6 – Valores de radiação e velocidade do vento em 14/05/2021	60
Tabela 7 – Valores de radiação e velocidade do vento em 17/05/2021	61
Tabela 8 – Valores de radiação e velocidade do vento em 18/05/2021	61
Tabela 9 – Dados médios de temperatura interna (protótipos) e dados médios de temperatura externa – temperatura ambiente.....	65
Tabela 10 – Amplitude térmica	67
Tabela 11 – Dados da telha de fibrocimento	69
Tabela 12 – Dados da telha ecológica	69
Tabela 13 – Dados telhado verde	70
Tabela 14 – Custos da pesquisa.....	72
Tabela A1 – Leituras dia 19/04/2020	81
Tabela A2 – Leituras dia 20/04/2020	81
Tabela A3 – Leituras dia 11/05/2020	81
Tabela A4 – Leituras dia 13/05/2020	82
Tabela A5 – Leituras dia 14/05/2020	82
Tabela A6 – Leituras dia 17/05/2020	82
Tabela A7 – Leituras dia 18/05/2020	83
Tabela B1 – Cálculo Telha de Fibrocimento.....	84
Tabela B2 – Cálculo Telha Ecológica de Fibra Vegetal	84
Tabela B3 – Cálculo Telhado Verde	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 2	21
Quadro 2 – Pesquisa de Daniela Arantes Rodrigues Lopes	40
Quadro 3 – Pesquisa de Iara Lima Ferraz	42
Quadro 4 – Pesquisa de Rafael Perussi	43
Quadro 5 – Pesquisa de Gabriel Lazzeri Gehard e Ana Claudia Bergmann.	45
Quadro 6 – Pesquisa de Rhayck Jordan Magalhães	46

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CRHEA – Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IGRA – International Green Roof Association

ISO – Organização Internacional para Padronização

ISS – International Specialized Skills Institute

NBR – Norma Técnica Brasileira

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PET – Polietileno tereftalato

PR – Paraná

RS – Rio Grande do Sul

SBS – Estireno-Butadieno-Estireno

SEBS – Estireno-Etileno-Butadieno-Estireno

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Unicamp – Universidade Estadual de Campinas

Unipar – Universidade Paranaense

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.2	Justificativa.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Consumo e eficiência energética em edificações.....	18
2.2	Localização e caracterização climática de Alegrete.....	19
2.3	Orientação solar da cidade de Alegrete/RS.....	22
2.4	Conforto térmico e desempenho de edificações.....	23
2.5	Estanqueidade e transmissão de calor em coberturas.....	24
2.6	Sistemas de telhado.....	29
2.6.1	Telhado convencional.....	29
2.6.1.1	Estrutura de um telhado convencional.....	29
2.6.1.2	Tipos de telhas.....	30
2.6.2	Telhado verde.....	35
2.6.2.1	Classificação do tipo de telhado verde.....	37
2.6.2.2	Benefícios do telhado verde.....	39
2.7	Estudos relacionados.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1	Programa experimental.....	48
3.2	Etapa – 01.....	49
3.2.1	Materiais para os protótipos e equipamentos.....	49
3.2.2	Montagem e transporte dos protótipos.....	50
3.2.3	Instalação dos protótipos.....	51
3.3	Etapa – 02.....	52
3.3.1	Posicionamento e ligações dos termopares.....	52
3.3.2	Testagem do sistema.....	53
3.4	Etapa – 03 e 04.....	56
3.4.1	Aquisição e apresentação dos dados.....	56
4	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
4.1	Radiação e velocidade do vento.....	59
4.2	Medição de temperaturas.....	62

4.3	Transmitância térmica	68
4.3.1	Cálculo de transmitância térmica - Telha de Fibrocimento	68
4.3.2	Cálculo de transmitância térmica - Telha Ecológica.....	69
4.3.3	Cálculo de transmitância térmica - Telhado Verde.....	70
4.4	Custo para a produção dos protótipos.....	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6	SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	75
	ANEXO A – Tabelas Excel dos respectivos dias de coleta de dados.....	81
	ANEXO B – Tabelas Excel com Cálculos para Transmitância Térmica (<i>U</i>).....	84

1 INTRODUÇÃO

Segundo *World Wide Fund for Nature - Brasil* (WWF, 2007), um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade atualmente é o aquecimento global, que pode resultar em cenários avassaladores no futuro, caso não sejam adotadas medidas concretas para diminuir o aumento de temperatura do planeta. Para lidar com esse aquecimento, uma das saídas é o condicionamento ambiental com o uso de ar-condicionado ou ventiladores, sendo que as duas opções aumentam o consumo energético.

Em uma sociedade que visa atingir um equilíbrio entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, o setor da construção civil possui grande responsabilidade em conscientizar a população sobre alternativas que reduzam o consumo energético, pois de acordo com dados retirados da Empresa de Pesquisa Energética (dados históricos de 1995 – 2018), no Brasil o consumo energético residencial junto ao comercial, representa em torno de 234.103 *GWh*, que seria em torno de 48% de toda a energia consumida no país (EPE, 2018).

O desempenho térmico na edificação é um contexto que vem se tornando um requisito importante na construção civil brasileira, principalmente a partir de 2013, quando entrou em vigor a norma (ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho) que instituiu, entre outros, os valores mínimos de desempenho térmico da estrutura durante sua vida útil, dando ênfase em sistemas estruturais, de pisos, vedação cobertura, hidrossanitários e elétricos.

Para a redução do consumo energético existem inúmeras soluções, sendo uma delas a implantação de sistemas de telhados que proporcionem melhores condições de conforto térmico nas edificações. Estudos realizados pelo professor Roberto Lamberts (2016), na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mostraram que a maior parte do fluxo de calor do exterior para o interior da edificação ocorre pela cobertura. Segundo o autor, a cobertura acaba se tornando um ponto importante para obter um controle maior do conforto térmico de uma edificação.

Em um estudo com auxílio de aplicativos realizado pelo arquiteto Francisco Massucci Silveira (2014), durante o seu mestrado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o autor reforçou a necessidade de uma maior atenção ao sistema de cobertura para melhorar o desempenho térmico em edificações. O autor apresentou (em uma de suas análises) a diferença de temperatura e conforto térmico de duas edificações, uma contendo o isolamento de laje e outra, sem o sistema de isolamento. Diante disso, ele observou o desconforto térmico gerado nas duas estruturas.

Silveira (2014) notou que, mesmo que as estruturas possuam uma laje isolante, muitas vezes, elas não conseguem proporcionar um conforto térmico aceitável classificado pela norma ABNT NBR ISO 9241:2018, na qual, para o verão, a temperatura interna da edificação deve variar entre 20 e 24 graus e para o inverno, entre 23 e 26 graus. Os resultados da pesquisa levaram o autor a concluir sobre a necessidade de mais estudos sobre materiais variados e diferentes sistemas de telhados. Segundo Silveira (2014), essas novas pesquisas permitiriam encontrar soluções inovadoras para um conforto térmico agradável dentro da edificação, reduzindo o consumo energético causado pelo uso de ar-condicionado e ventiladores.

Em função do exposto, esse trabalho aborda a análise experimental de três distintos sistemas de telhado durante o período de verão na cidade de Alegrete/RS. O experimento proporcionará obter um comparativo de desempenho entre eles, permitindo aferir sobre os benefícios dos sistemas de telhados alternativos (telhado verde e telhas ecológicas) em relação a um sistema de telhado convencional (telhado cerâmico). Os sistemas de telhados alternativos foram escolhidos pela capacidade de promoverem um conforto térmico dentro da edificação. Sendo que o telhado verde traz ainda como vantagem a amenização de problemas relacionadas ao meio ambiente, tais como ilhas de calor, poluição atmosférica e impermeabilizações (ao se ocupar uma grande faixa do terreno para se construir, a área de infiltração de água se torna limitada, conseqüentemente aumentando as chances de enchente).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico de sistemas de telhado verde, convencional e ecológico na cidade de Alegrete/RS.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar as variações de temperatura entre cada sistema e parear os resultados com os valores obtidos em cálculo;
- Comparar o custo/benefício entre cada um dos sistemas de telhado.

1.2 Justificativa

Com o mundo caminhando para um cenário que busca atender quesitos ecológicos e sustentáveis em conjunto com o crescimento e desenvolvimento das cidades, um dos pontos que tem chamado a atenção de ambientalistas está relacionado com a necessidade de redução do consumo energético. Um dos fatores que contribuem para que essa redução não seja tão eficiente está relacionada, entre outros fatores, ao uso do ar-condicionado. Tendo uma visão do futuro em que a probabilidade de que ocorra um aumento maior do consumo de energia, causado pela dependência em que a sociedade se inclui, seja crescente, a busca por novos materiais e/ou novos sistemas de telhado que possuam a capacidade de diminuir um pouco deste consumo, é considerada necessária.

Frequentemente é discutido o desperdício de material gerado pela construção civil. Além dos resíduos tradicionais (argamassa, blocos de concreto, madeira, plástico e papelão), ainda podem ser gerados, em algumas ocasiões, resíduos classificados como perigosos e inertes (JADOVSK, 2005). Logo, o aproveitamento de materiais alternativos e não perigosos, como o telhado ecológico, pode proporcionar benefício quando são considerados fatos ligados a sustentabilidade. Por ser um produto criado por meio de materiais reciclados, se estará contribuindo de maneira relevante para a redução da quantidade de resíduos gerados pela construção civil.

No Brasil, a utilização dos telhados ecológicos e verdes ainda não é muito bem difundida, porém, ambos os telhados (verdes e ecológicos) possuem capacidade de isolamento térmico superior aos telhados convencionais, agregando a edificação um maior conforto contra a grande amplitude térmica (LOPES, 2007; MAGALHÃES, 2018). Visando isto, o desenvolvimento desta pesquisa, na qual realiza um comparativo tanto de caráter técnico, quanto do

custo/benefício, é bem importante. Isso permitirá, ao final do experimento, um embasamento científico para evidenciar sobre o uso destes telhados alternativos.

Ademais, cabe lembrar que a região de Alegrete/RS possui como característica uma grande amplitude térmica tanto no inverno, quanto no verão, fato este que também justifica e embasa o desenvolvimento desta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico serão abordados alguns conceitos e embasamentos teóricos importantes para o desenvolvimento do projeto experimental.

2.1 Consumo e eficiência energética em edificações

O Brasil, assim como outros países que buscam o crescimento econômico e o desenvolvimento de suas cidades, sofre um aumento cada vez maior de consumo energético (FINKLER *et al.*, 2016). Entende-se, por consumo energético, o quantitativo total de energia consumida, contabilizando desde a utilização em edificações residenciais (eletrodomésticos, equipamentos e sistemas elétricos particulares), até as industriais (sustento próprio e produção).

Em 2016, de acordo com os dados da *The World Factbook* (2016), o Brasil chegou à classificação de oitavo (8^o) país que mais consome energia elétrica, um aumento significativo em comparação a 2012, no qual o país se encontrava na décima (10^o) posição. O aumento do consumo energético no país se torna problemático pela necessidade de gerar um investimento maior na produção energética, que pode ser gerada de forma não renovável (combustível fóssil como gás, petróleo ou carvão e nuclear) ou renovável (as principais e mais utilizadas no país, eólica, hídrica, solar e biomassa).

Na visão de Fontes (2019), a energia renovável mais utilizada (em torno de 60,8% da matriz elétrica brasileira), é aquela de fontes hidrelétricas, que tem grande impacto ambiental para sua implementação, necessitando de uma área muito grande, que muitas vezes traz grandes mudanças na área afetada.

Para que o aumento energético possa ser reduzido, existem várias alternativas, sendo uma delas ligada a indústria da construção civil. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), dados históricos de 1995 – 2018, cerca de 48% da energia total consumida no país se encontra nas residências e comércios. Este consumo é muitas vezes associado ao desconforto térmico gerados em períodos de inverno e verão, que levam os clientes a utilizarem com maior frequência ar-condicionado e aquecedores.

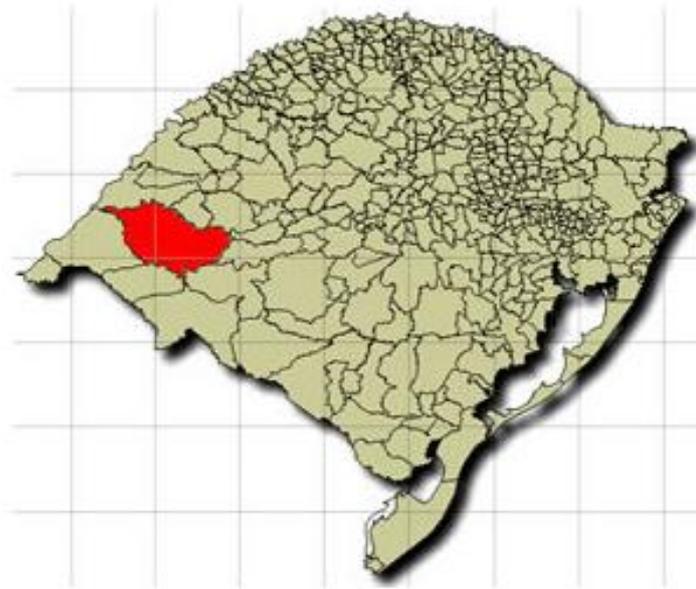
Uma forma de reduzir esse aumento de consumo energético, pode ser realizado pelas próprias empresas de arquitetura e de construção civil, segundo Positivo Tecnologia (2019), a redução pode ser implementada com conscientização da população sobre métodos e componentes que proporcionem o conforto dentro das edificações. Alguns dos sistemas e materiais que podem ser empregados são o telhado verde e a telha ecológica, pois ambos

promovem o conforto acústico e térmico, no interior das edificações, além de benefícios ligados a ecologia e sustentabilidade que proporcionam.

2.2 Localização e caracterização climática de Alegrete

O município de Alegrete está situado na região fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, distante a 488 km da capital, localizado com latitude $29^{\circ}46'59''$ Sul e longitude $55^{\circ}47'31''$ Oeste, estando ainda a 104 m acima do nível do mar (Figura 1). Com base na classificação de Koppen (1931), o clima da região é considerado subtropical, temperado quente, com chuvas bem distribuídas e estações bem definidas (PANNO, 2017).

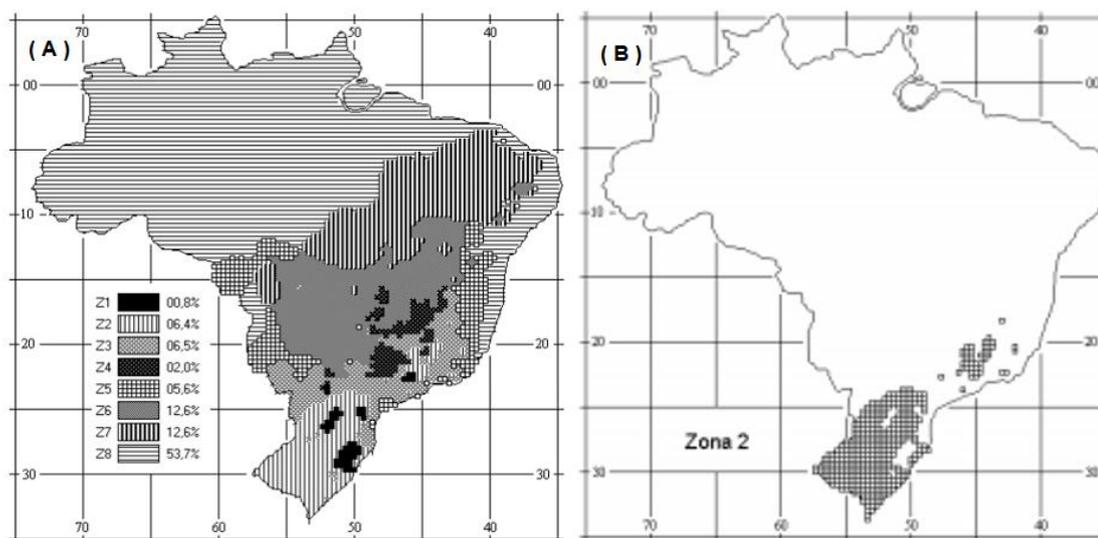
Figura 1 – Mapa do estado do Rio Grande do Sul com indicação da cidade de Alegrete



Fonte: CAMPISMO (2009, não paginado)

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2003), o zoneamento bioclimático brasileiro é dividido em oito (8) diferentes zonas relativamente homogêneas, como visto na Figura 2 - (Imagem (A)), sendo que para cada zoneamento é formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas, com o intuito de otimizar o desempenho térmico. A cidade de Alegrete se localiza na zona bioclimática 2 como visto na Figura 2 – (Imagem (B)).

Figura 2 – Zoneamento bioclimático



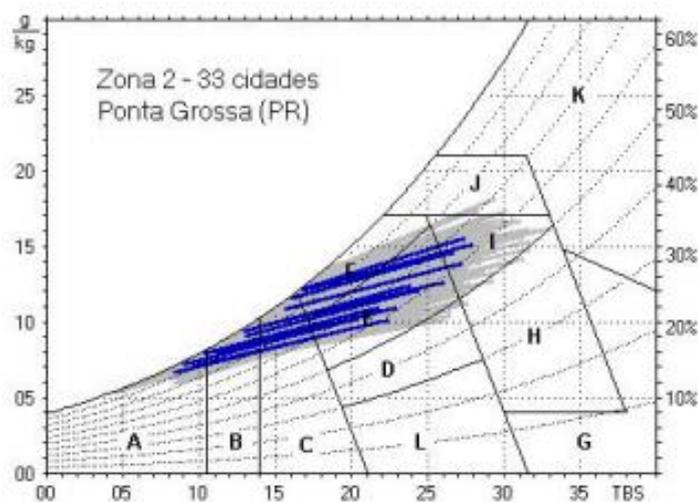
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2003)

Na Figura 2 é possível identificar a Zona Bioclimática brasileira na Imagem A e a Zona Bioclimática Z5, representando por cerca de 5,6% da extensão territorial do Brasil, onde o estado do Rio Grande do Sul se classifica, como visto na Imagem (B).

A ABNT NBR 15220 (2003) toma como referência da Zona 2 a cidade de Ponta Grossa (PR), apresentando diretrizes que devem ser atendidas como visto na Figura 3, sendo que para cada zona é determinada uma estratégia específica:

- A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
- B – Zona de aquecimento solar da edificação
- C – Zona de massa térmica para aquecimento
- D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)
- E – Zona de conforto térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H+ I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar.

Figura 3 – Carta bioclimática da cidade de Ponta Grossa (PR)



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2013)

A Figura 3 apresenta as normais climatológicas da cidade destaque da Zona 2, representada por Ponta Grossa, município do estado do Paraná.

Analisando a Carta Bioclimática (Figura 3) apresentada pela norma, as linhas azuis representam as temperaturas e umidades mínimas, médias e máximas para cada mês do ano. No caso da cidade de Alegrete é necessário dar ênfase às estratégias determinadas pelas zonas A, B, C, E e F, sendo que a zona E (Conforto Térmico) sinaliza que já existe conforto térmico, não necessitando adotar nenhuma estratégia.

As estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	(J) Ventilação cruzada
Inverno	(B) Aquecimento solar da edificação (C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (Ver anexo B da ABNT NBR 15220/2003).	

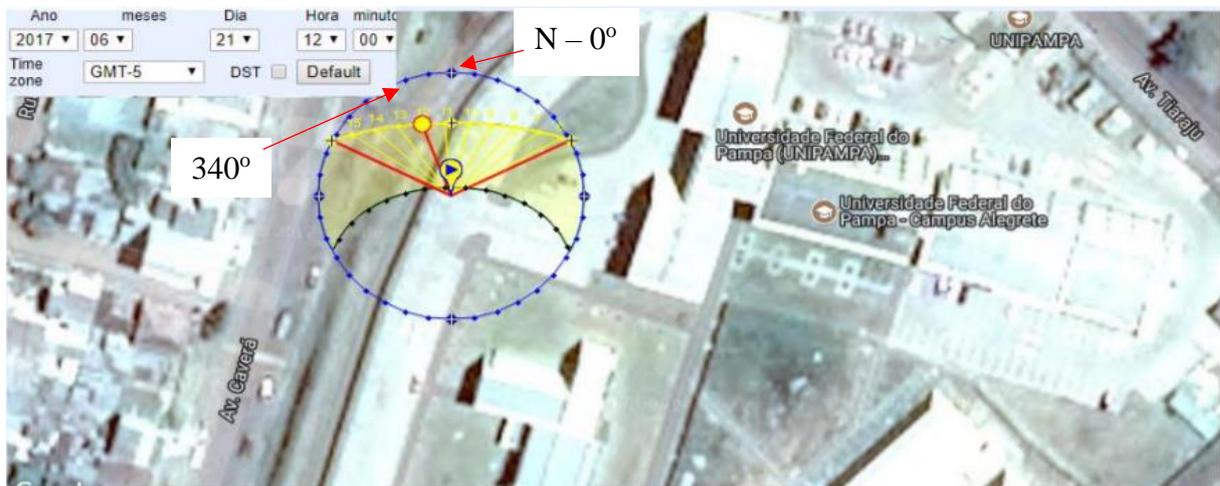
Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15220 (2003)

O entendimento do Quadro 1 pode ser obtido pela NBR 15220 (ABNT, 2003) na qual sugere que, para a Zona Bioclimática 2, aberturas de ventilação média (com estruturas que favoreçam a ventilação cruzada no período de verão) e com acesso ao aquecimento solar durante o inverno. Já as paredes externas, segundo a supracitada norma, devem ser leves, com a cobertura leve e isolada.

2.3 Orientação solar da cidade de Alegrete/RS

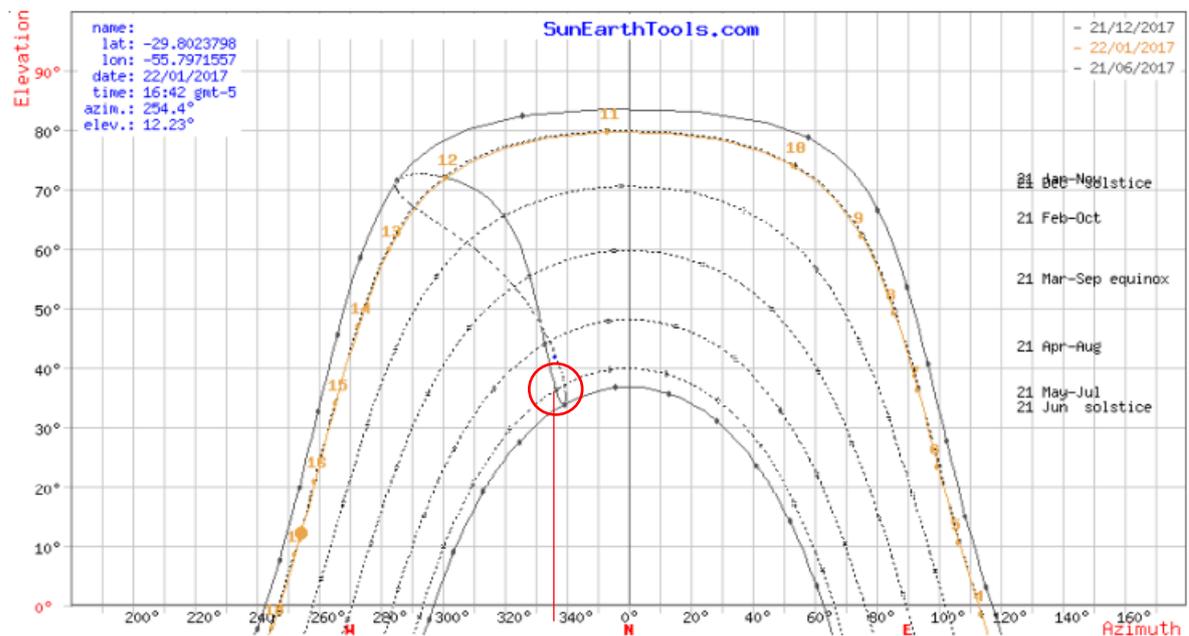
O grupo de pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos (EIRE), seguindo as orientações do CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, realizou estudos que determinaram a correção da inclinação do norte magnético (visualizado na bússola) necessária para obter o norte verdadeiro, objetivando assim obter a maior incidência solar para a cidade de Alegrete/RS, a correção que deve ser feita é observada pelas Figura 4 e 5.

Figura 4 – Percurso do Sol na UNIPAMPA – Campus de ALEGRETE – RS



Fonte: Adaptado de Kaehler (2017)

Figura 5 – Carta solar polar Alegrete – RS



Fonte: Adaptado de Panno (2017)

As Figuras 4 e 5 mostram que é necessário a realização de uma correção do ângulo de inclinação em relação ao norte magnético. O ajuste necessário é de $\delta = -23,45^\circ$, que corresponde a inclinação do eixo da Terra no solstício do Inverno para a região do hemisfério sul no período de estudo deste projeto.

2.4 Conforto térmico e desempenho de edificações

Segundo Frota *et al.* (2006), o conforto térmico se define pelas exigências humanas relacionadas ao funcionamento de seu organismo, mais especificamente a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, sendo um exemplo o fato de o organismo humano presenciar a sensação de conforto térmico ao perder calor para o ambiente sem recorrer a mecanismo de termorregulação (meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representando um esforço extra para o organismo).

Para Lamberts (2016), o conforto térmico é influenciado por variáveis que podem ser ambientais ou humanas, sendo as humanas, influenciadas pelo metabolismo e pela vestimenta e as ambientais influenciadas pela temperatura do ar, radiante média, velocidade e umidade relativa do ar.

As edificações são ambientes que abrigam pessoas, visando a sua proteção e conforto, quando comparados ao espaço externo. Em um projeto de edificação, as características climáticas locais devem ser levadas em consideração na realização de modelos arquitetônicos e construtivos para atender as demandas de variedades climáticas da região em que será implementado. Em uma análise eficiente de desempenho térmico, para melhoria do conforto térmico em edificações, devem ser considerados os mecanismos de transmissão de calor (condução, convecção e principalmente a radiação) em paredes, coberturas e janelas, nos quais representam as estruturas responsáveis pela maior taxa de transmissão de calor do ambiente externo para o interno (LAMBERTS, 2014).

Para realizar o controle do desempenho de edificações habitacionais foi implementado no Brasil a ABNT NBR 15575, no ano de 2013. Esta norma regulamenta critérios relacionados a desempenho térmico para edificações com até cinco (5) pavimentos, e está dividida em 6 partes, sendo as seguintes:

- **Parte 1: Requisitos Gerais** – Esta parte se refere às exigências dos usuários e aos requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as diversas interações e interferências entre estes.
- **Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais** – Trata dos requisitos para os sistemas estruturais aplicáveis a edificações habitacionais com respeito ao desempenho

estrutural, analisado do ponto de vista dos estados-limites último e de serviço pelo método semiprobabilístico de projeto estrutural.

- **Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso** – Esta seção trata do desempenho do sistema de pisos, destinados para área de uso privativo ou de uso comum, com a inclusão dos elementos e componentes, de acordo com os critérios estabelecidos nesta norma.
- **Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas** – Corresponde aos sistemas de vedações verticais internas e externas das edificações habitacionais que, além da volumetria e da compartimentação dos espaços da edificação, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.
- **Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura** – Esta seção se refere às exigências dos usuários e aos requisitos referentes aos sistemas de coberturas.
- **Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários** – Refere às exigências dos usuários e aos requisitos referentes aos sistemas hidrossanitários.

2.5 Estanqueidade e transmissão de calor em coberturas

Na visão de Ribeiro (2008), o sistema de cobertura é a parte da edificação com maior exposição à radiação direta do sol, logo exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes, influenciando no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para ligar equipamentos de condicionamento artificial de ar.

Conforme a NBR 15575-5 (ABNT, 2013), o sistema de cobertura é o conjunto de elementos/componentes, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade¹ às águas pluviais, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional.

A estanqueidade é de suma importância em coberturas, sendo que a NBR 15575-5 (ABNT, 2013) determina um critério de impermeabilidade, na qual o sistema de cobertura não deve apresentar escoamento, gotejamento de água ou gotas aderentes. Aceita-se o aparecimento de manchas de umidade, desde que restritas no máximo de 35% da área das telhas. (ABNT NBR 15575-2, 2013)

¹ Propriedade de um elemento (ou de um conjunto de componentes) de impedir a penetração ou passagem de fluidos através de si. A sua determinação está associada a uma pressão-limite de utilização (a que se relaciona com as condições de exposição do elemento ao fluido). NBR 9575 (ABNT, 2010, p. 4)

No que se refere à transmissão de calor, Lamberts (2016) destaca que ela é realizada através de condução, convecção e radiação, sendo cada uma especificada como:

- **Condução:** A condução se realiza por contato molecular, ou melhor, por contato entre as moléculas dos corpos. Ocorre em sólidos, líquidos e gases. No entanto, nos fluidos ocorrem fenômenos convectivos que alteram o processo original. Por esta razão, a condução refere-se aos sólidos. Poderá ser relacionada aos fluidos quando não se verificam movimentos convectivos.

- **Convecção:** A convecção se verifica quando os corpos estão em contato molecular e um deles, pelo menos, é um fluido. O processo possui duas fases: na primeira o calor se transmite por condução; já, na segunda, a alteração sofrida pela temperatura do fluido modifica sua densidade provocando o movimento convectivo.

- **Radiação:** 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.

Segundo a NBR 15575-5 (2013), o sistema de cobertura deve apresentar transmitância térmica² e absorptância³ à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada Zoneamento Bioclimático. Ainda, tem-se mencionado na supracitada norma que a transmitância térmica (U) deve apresentar valores máximos admissíveis como visto na Tabela 1. Cabe observar que o limite de transmitância (U) apresentado em destaque na Tabela 1 (em vermelho) será o critério utilizado para o zoneamento bioclimático estabelecido no presente estudo.

² Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2:2005 ou determinada através do método da caixa quente protegida da NBR 6488. NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 10)

³ Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 6)

Tabela 1 – Critérios de cobertura quanto a transmitância térmica (U)

Transmitância térmica (U) W/m^2K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3 FV$	$U \leq 1,5 FV$

α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura.
NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013)

A ABNT NBR 15220 (2003) determina que a transmitância Térmica (taxa de transferência de calor através da matéria – equação 1) é o inverso da resistência térmica total (RT), sendo considerada a variável mais importante na avaliação do comportamento térmico em uma edificação com fechamentos opacos. Segundo Lamberts (2016), essa variável possibilita também a comparação entre diferentes fechamentos através de análises comportamentais em frente a transmissão de calor do exterior ao interior.

$$U = 1/RT \quad \dots(1)$$

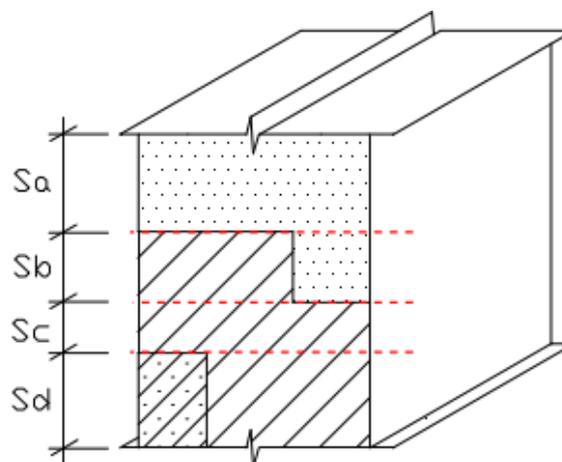
Na qual:

U – Transmitância térmica ($W/m^2. K$)

RT – Resistência térmica total ($m^2.K/W$)

Para a obtenção da resistência térmica total (RT), a NBR 15220 (2003) determina duas formas diferentes, sendo uma com camadas homogêneas e a outra com camadas não homogêneas, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Seções de um componente



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220 (2003)

Na Figura 6 tem-se as seções de um componente com camadas homogêneas (Sa; Sc) e não homogêneas (Sb; Sd). O projeto não abrange componentes com seções não homogêneas, logo, a norma regulamenta que a resistência térmica total (RT) de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pelas equações 3 e 4.

Para a determinação da resistência térmica (R), a NBR 15220 (2003) instrui a utilização de valores baseados em ensaios normalizados, sempre que possível. Caso ocorra a sua ausência, a norma instrui a utilização da equação 2 em camadas sólidas:

$$R = e/\lambda \quad \dots(2)$$

Na qual:

R - Resistência térmica ($m^2.K/W$);

e - Espessura de material sólido homogêneo (m);

λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$).

A resistência térmica de superfície a superfície (Rt) será determinada pelo somatório das “n” camadas homogêneas, determinadas pela resistência térmica (R), como representado na equação 3.

$$Rt = Rt1 + Rt2 + \dots + Rtn + Rar1 + Rar2 + \dots + Rarn \quad \dots(3)$$

Na qual:

$Rt1, Rt2, \dots, Rtn$ - Resistências térmicas (R) das “n” camadas homogêneas;

$Rar1, Rar2, \dots, Rarn$ - Resistências térmicas das “n” câmaras de ar, obtidas da Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

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 $\varepsilon > 0,8$	$1,0 < e < 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e < 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 < e < 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e < 5,0$	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: Adaptado da ABNT NBR 15575 (2013)

A resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T) é determinada pela equação 4.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots(4)$$

Na qual:

R_t – Resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela equação 3;

R_{se} e R_{si} – Resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da Tabela 3.

Tabela 3 – 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: Adaptado da ABNT NBR 15575:2013

2.6 Sistemas de telhado

Os itens 2.5.1 e 2.5.2 fazem uma abordagem sobre alguns sistemas de telhados, mais especificamente sobre o telhado convencional e o telhado ecológico, respectivamente.

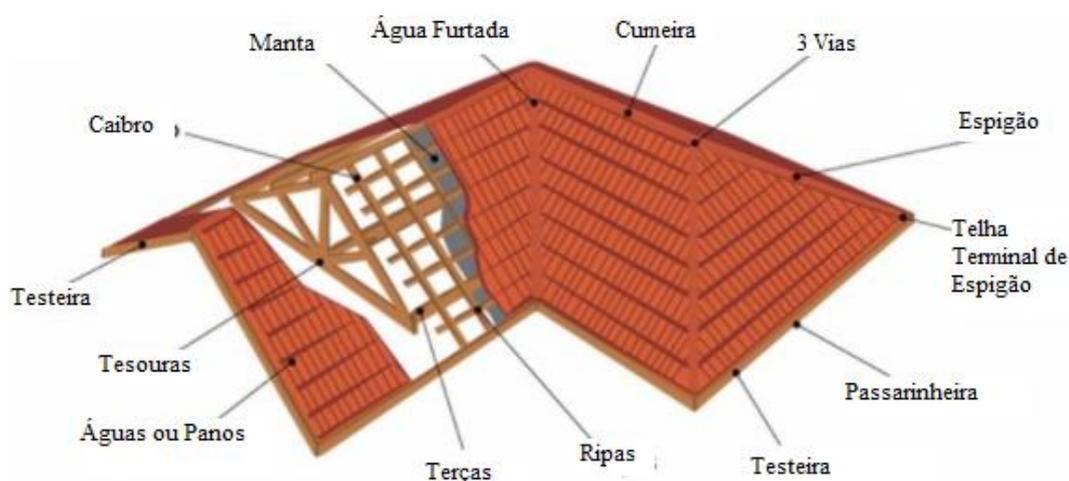
2.6.1 Telhado convencional

Ditos como convencionais, os telhados convencionais são aqueles mais comumente utilizados.

2.6.1.1 Estrutura de um telhado convencional

A estrutura (madeiramento) para suportar um telhado convencional vai depender diretamente da escolha do tipo de telha. Os telhados cerâmicos (Figura 7) exigem uma estrutura mais elaborada em função da dimensão e do peso da telha cerâmica.

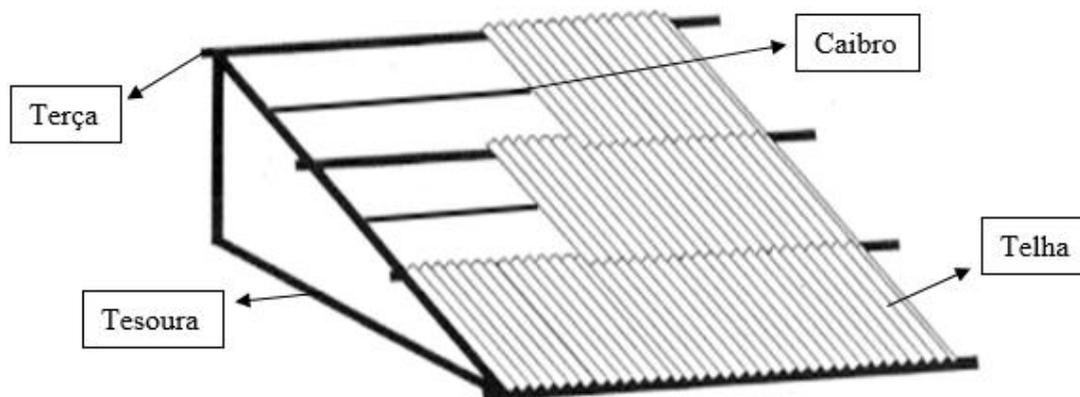
Figura 7 – Estrutura de telhado para telhas cerâmicas



Fonte: Adaptado de ONDULINE (20 –)

Já o madeiramento necessário para a instalação de um telhado de fibrocimento, telhas metálicas, ou de telhas ecológicas é mais simples, sendo exemplificado na Figura 8.

Figura 8 – Estrutura de telhado para telhas de fibrocimento e/ou metálicas



Fonte: Adaptado de manual de instalação de telhas de fibrocimento (2020)

A estrutura de madeira utilizada como apoio pode ser projetado através da ABNT NBR 7190 (2010), que apresenta o processo de caracterização, ensaios e procedimentos para a elaboração de um projeto estrutural de madeira, seguindo sempre a indicação do fabricante da telha, caso o produto seja homologado pela ABNT.

2.6.1.2 Tipos de telhas

No Brasil, os tipos de telhas mais utilizadas são as cerâmicas, de fibrocimento e as metálicas, principalmente devido a facilidade de se encontrar e de instalar (COUTINHO, 2018). No entanto, nos últimos anos tem sido disponibilizado no mercado as chamadas telhas ecológicas, fabricadas a partir de diferentes resíduos não tóxicos da indústria e /ou materiais naturais.

As telhas cerâmicas, segundo Cardoso (2000), foram uma das primeiras formas de cobertura no país. Devido a sua ampla comercialização e popularidade, possuem diversos tipos de variações de telhas, podendo variar desde sua forma de encaixe e inclinação, até a sua própria forma geométrica, possibilitando a exploração de diferentes arquiteturas. A Figura 9 apresenta alguns dos tipos de telhas cerâmicas mais utilizadas no Brasil, com seus respectivos requisitos técnicos.

Figura 9 – Tipos de telhas cerâmicas



Fonte: Adaptado de Coutinho (2018)

Sousa (2019) diz que, as vantagens na utilização da telha cerâmica ocorrem pela capacidade de criar uma barreira térmica, evitando grandes variações de temperatura no interior da edificação, também é visto como vantagem a grande variedade de estilos de telhas e cores disponibilizado facilmente no mercado e pela facilidade de execução. Como desvantagem, Sousa (2019) cita a necessidade de frequentes manutenções causadas pelo surgimento de trincas nas telhas e, dependendo da escolha do tipo de telha cerâmica, existem também as limitações nas inclinações.

As novas telhas fibrocimento, também chamadas de Brasilit e Eternit, são conhecidas assim devido ao nome de marcas produtoras de telha de fibrocimento (BRASILIT, 2018). Sendo o segundo tipo de telhado mais utilizado no Brasil, são componentes basicamente feitos de fibras sintéticas e cimento. Como vantagens do material, Sousa (2019) cita o baixo custo, leveza e resistência. Em função de cada placa possuir uma área de cobertura ampla, necessita de uma menor quantidade e ainda tem a capacidade de ser instalado com inclinações muito pequena (segundo Brasilit, podendo ter inclinações mínimas de até 9%, 5°, dependendo do tipo escolhido). O fibrocimento pode ser encontrado em diversos modelos (Figura 10), sendo o mais comumente encontrado, o modelo ondulado.

Figura 10 – Modelos de telha fibrocimento Brasilit



Fonte: Adaptada de BRASILIT (2018)

Sousa (2019) destaca como desvantagem da telha de fibrocimento a propriedade dela de absorver calor rapidamente, implicando na instalação de laje ou forro para isolar o calor absorvido e não permitir a livre circulação para realização de manutenção. Pelo fato de a telha possuir um peso mais leve, a estrutura para a implementação deste tipo de telhado se torna mais econômico e mais simples, em comparação a um telhado cerâmico, por exemplo.

As telhas metálicas também são componentes muito correntes na construção, principalmente pela facilidade de instalação e de disponibilidade no mercado. Segundo dados do Grupo Aço Cearense (2018), este tipo de telha pode ser encontrado em diversos materiais, como alumínio, cobre, estanho, zinco e aço galvanizado, permitindo assim, personalizar o estilo, preço e a durabilidade do telhado. Nakamura (2011) afirma que no Brasil, os materiais mais usados na produção da telha metálica são o alumínio, aço galvanizado e o híbrido (formado pela mistura do aço com o alumínio), denominado de galvalume.

As telhas metálicas (Figura 11) podem ser encontradas no mercado com os seguintes perfis mais comuns, a telha convencional ondulada (indicada para vãos curtos), a telha convencional trapezoidal (sendo a mais utilizada no Brasil, segundo Gomes (2018), devido a sua versatilidade) e as telhas autoportantes, que possuem como vantagem, vencer grandes vãos.

Figura 11 – Telha convencional metálica



Fonte: Adaptado de Grupo Aço Cearense (2021)

No entendimento de Azevedo (1997), a estrutura final da cobertura se torna muito leve e, em geral, costuma ter preços mais elevados. Devido a sua perfeita sobreposição, reduzida porosidade e rugosidade, o escoamento se torna eficiente, com inconvenientes de que, o fato de ser um bom condutor de calor, acaba por promover um grande aquecimento interno, também podendo causar goteiras devido a condensação do ar, bem como causar incômodo acústico em dias de chuva.

Segundo Viva Decora (2020), a telha ecológica é um componente construtivo desenvolvido com a finalidade de atender um mercado com exigências ligadas a sustentabilidade, substituindo o uso de telhas convencionais que necessitam de materiais de extração e que ao final de seu uso, geram resíduos de difícil reciclagem e destinação.

Para Gonzaga (2005), o marketing de diferenciação de novos produtos é centrado na criação ou na ênfase de uma característica benéfica, que seja percebida como valor significativo pelos consumidores e os motive a optar pelo consumo de tal produto. Analisando deste modo, o uso da telha ecológica vem ganhando o grande público, principalmente devido a matéria prima utilizada para a sua produção, que consiste basicamente em materiais recicláveis. Como pode ser visto em Viva Decora (2020) e em Voittle (2012), os resíduos mais utilizados são o Tetra Pak (embalagem de caixa de leite), a fibra vegetal (derivada do papel reciclado), a embalagem de creme dental reciclado, entre outras.

A telha ecológica de embalagem Tetra Pak (Figura 12) já está sendo utilizada na construção civil, em projetos que envolvem melhoria no conforto das habitações sociais. A produção desta telha consiste na utilização de alumínio e plástico reciclado, e o seu formato assemelha-se ao telhado fibrocimento.

Figura 12 – Telha ecológica de Tetra Pak



Fonte: Adaptado de AUTOSSUSTENTÁVEL (2017)

Algumas características que podem ser destacadas em relação a utilização destas telhas são a alta resistência à flexão, durabilidade (não se danificam com chuvas de granizo), isolamento térmico eficiente (sendo de 50% a 60% melhor que as telhas de fibrocimento), leveza (permite economia no transporte/logística e estruturas menos robustas), boa impermeabilização, material que não apresenta risco a saúde humana e material que não representa ameaça ao meio ambiente (BORGES, 2017).

A telha ecológica de fibras vegetais (Figura 13) é composta por 50% de material reciclável (fibra vegetal) e impermeabilizado com asfalto e resina termofixa.

Figura 13 – Telha ecológica de fibra vegetal



Fonte: Adaptado de ONDULINE (20--)

A ONDULINE (20 –) (principal fabricante deste tipo de telha) garante benefícios como leveza (sendo 12 vezes mais leve que o de uma telha cerâmica convencional, e 4 vezes mais leve que uma telha fibrocimento), resistência a queda de objetos, boa impermeabilização (impede formação de goteiras e infiltrações), baixa absorção de água (inferior a 1%), que consequentemente reduz a sobrecarga do telhado. Além disso, permite uma economia no

projeto estrutural (estruturas menos robustas para a sustentação do sistema de telhado) e permite um resfriamento de até 2° Celsius a mais, quando comparada a uma telha de fibrocimento.

As telhas ecológicas de embalagem de pasta de dente (Figura 14) são feitas totalmente a partir de materiais reciclados (VOITILLE, 2012). A composição básica deste material é constituída de 25% de alumínio e 75% de plástico (De acordo com SustentArqui, plástico PEBD, polietileno de baixa densidade, totalmente oriundos de aparas de tubos de creme dental).

Figura 14 – Telha ecológica de embalagem de pasta de dente reciclada



Fonte: Adaptado de Vivagreen (2016)

Lessa (2009) atribui como uma das grandes vantagens que a telha apresenta, a capacidade de reduzir o calor do interior das edificações entre 30% a 40% quando em comparação com telhas de amianto (uma propriedade adquirida pela porcentagem de 25% de alumínio na sua composição). São materiais autoextinguíveis (não propagam chamas), totalmente recicláveis após o seu uso e apresentam características boas em relação a isolamento acústico. De acordo com SustentArqui (2012), podem chegar a reduzir o peso dos sistemas de cobertura em até 80%, reduzindo drasticamente a necessidade de uma estrutura robusta para a sua sustentação.

2.6.2 Telhado verde

Arruda *et al.* (2017) afirma que o telhado verde é muitas vezes chamado de telhado vivo ou de telhado ecológico. O sistema arquitetônico deste tipo de telhado, consiste na implementação de uma cobertura vegetal sobre a laje. Em seu todo, a estrutura é composta por camadas com funções essenciais para manter o funcionamento correto e o aproveitamento máximo da estrutura sem que haja prejuízo ou uma interferência negativa no sistema construtivo da cobertura. Em geral, a estrutura de cobertura verde é composta por laje,

membrana à prova de água, barreira contra raízes, sistema de drenagem, tecido permeável, terra e vegetação, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – As camadas de um telhado verde



Fonte: Adaptado de Arruda *et al.* (2017)

A camada de laje deve ser projetada ou reforçada para que consiga suportar o tipo de cobertura vegetal que será implantado. Para impedir problemas de umidade e infiltração que futuramente causem desconforto aos moradores ou até mesmo comprometer a segurança da estrutura, é necessário a instalação de uma membrana à prova de água. Para Townshend (2007), está é a fase mais importante da instalação de um telhado ecológico. O autor ainda enfatiza que existem no mercado uma infinidade de produtos para impermeabilizações como manta asfáltica, folha ou polímero de membrana betuminosa modificada (SBS, SEBS), membranas de aplicação líquida, membranas de camada única e mistura aditiva de impermeabilização no concreto. Esta última, não é muito utilizada devido a sua aplicação ser permitida apenas em lajes recém construídas, ou seja, o aditivo pode ser utilizado apenas durante a confecção da laje.

Após a impermeabilização da laje deve ser instalada uma barreira de proteção contra raízes, aplicada quando a membrana à prova de água não for resistente o suficiente contra o crescimento das raízes.

Segundo Pérez (2011), o sistema de drenagem (instalado acima da barreira de raízes) deve ser capaz de assegurar uma boa drenagem e aeração do substrato e das raízes. A camada de tecido permeável ou filtro deve ser instalada na sequência. Segundo Baldessar (2012), O filtro é uma camada de separação do substrato com a drenagem, com o objetivo fundamental, de impedir que as partículas finas oriundas do substrato comprometam a camada de drenagem, danificando o sistema. Por fim, chega-se ao substrato, como é chamada a camada composta pela terra onde será implementada a vegetação. O substrato deverá conter uma composição

fértil, adubada, areada e que permita capacidade de absorção de água suficiente para se adequar ao tipo de plantio aplicado (extensivo, semi-intensivo e intensivo). A vegetação que será aplicada para o telhado verde deve ser escolhida levando em consideração basicamente análises regionais e climáticas, dando sempre preferência por uma vegetação nativa da região em que será implantada.

2.6.2.1 Classificação do tipo de telhado verde

Ferraz (2012) classifica o telhado verde em três categorias (extensiva, semi-intensiva e intensiva), sendo a classificação dependente do tipo de vegetação e da espessura do substrato.

A cobertura extensiva (Figura 16) não é essencialmente feita para uso público (não que não seja possível), sendo construído geralmente para atenuar os efeitos das águas pluviais na rede pública. Utilizando espécies rústicas e rasteiras, não é necessária uma manutenção constante, sendo necessário apenas em períodos de seca. O substrato para implementação da cobertura extensiva varia de 6 a 20 cm e pode ser aplicado em telhados com até 45 graus de inclinação, com auxílio de malha estrutural que proporcione tal estabilidade (FERRAZ, 2012).

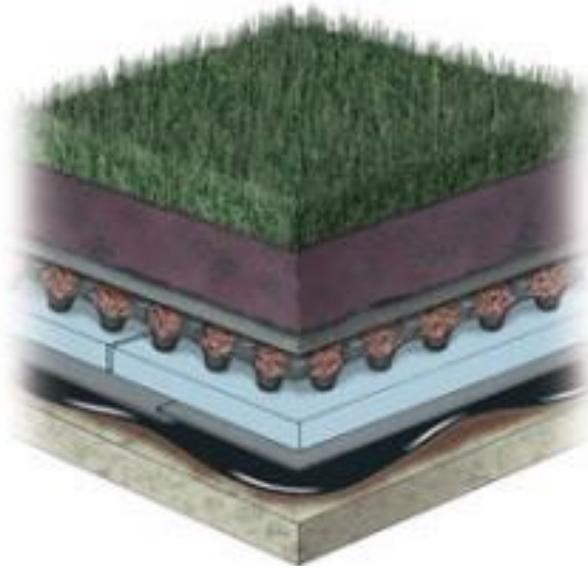
Figura 16 – Exemplo de um telhado verde extensivo



Fonte: Adaptado de Salles et al. (2017)

A cobertura Semi-intensiva (Figura 17) é considerada a cobertura intermediária entre a intensiva e a extensiva, tanto na profundidade do substrato (que pode variar entre 12 a 25 cm), quanto no tipo de vegetação (vegetações de médio porte como arbustos médios). Este tipo de cobertura requer uma manutenção periódica e a sua classificação não é muito conhecida, pois Ferraz (2012) diz que muitos autores não a consideram, atendo-se apenas à cobertura intensiva e extensiva.

Figura 17 – Telhado verde semi-intensivo



Fonte: Adaptado de Ferraz (2012)

A cobertura Intensiva permite a utilização de vegetações de grande porte (como árvores e arbustos) e se assemelha a um jardim, permitindo a implantação de decorações como bancos e pérgulas (Figura 18). De acordo com Ferraz (2012), a sua comparação ao jardim não se aplica apenas à sua capacidade de implantação de vegetação de grande porte e mobiliários, mas também à sua manutenção, que se equipara aos gastos de um jardim tradicional, necessitando de cuidados maiores como poda e irrigação constantes.

Figura 18 – Jardim sobre telhado verde extensivo



Fonte: Adaptado de Corrent e Lehmann (20 –)

Para Ferraz (2012), a camada do substrato pode ter uma profundidade entre 10 cm a 1,20 metros de espessura com a finalidade de conseguir suportar vegetações de grande porte e estruturas mobiliadas (Figura 18). Devido a espessura do substrato, as estruturas intensivas não

são permitidas em telhados inclinados, pois podem causar deslizamentos. Heneine (2008) afirma que este tipo de cobertura requer grande quantidade de água devido a sua grande superfície de evaporação. Sendo os fatores de sol, vento e a seca, os fatores limitantes para as plantas que serão implementadas.

2.6.2.2 Benefícios do telhado verde

Segundo Ferraz (2012), quando a implementação do telhado verde é dada de forma correta e regulamentada são: as reduções das superfícies impermeáveis, redução da poluição atmosférica, redução das ilhas de calor, entre outros.

A redução das superfícies pavimentadas e impermeáveis irá variar de acordo com o tipo de sistema escolhido (Ferreira et al., 2007 *apud* Menten, 2006), sendo que o sistema intensivo apresenta capacidade de retenção em torno de 75% e os sistemas extensivos (até 45%), sendo que os valores podem sofrer alteração em meio a clima e região a qual é aplicada.

Com relação à redução dos níveis de poluição atmosférica, de acordo com a *International Specialised Skills Institute (ISS)*, 2008, a implementação de 1 m² de telhado verde pode chegar a remover até 0,2 kg de partículas aéreas no ano. Ainda pode proporcionar troca de dióxido de carbono/oxigênio na atmosfera através de fotossíntese.

Os telhados verdes ainda permitem a redução dos efeitos de ilhas de calor no meio urbano e a regulação térmica dos ambientes. Para Castleton (2010), o telhado verde contribui na redução do uso de energia elétrica que seria destinada a aquecimento e resfriamento de ambientes, sendo a vegetação e o substrato, responsáveis por essa redução. Também contribuem para a diminuição dos níveis de ruídos externos no interior das edificações (as coberturas verdes podem reduzir o som interno em até 40 decibéis, de acordo com dados da ISS (2008)) e dependendo do tipo de telhado escolhido, permite o uso para lazer e recreação (melhorando a qualidade de vida e da saúde física e mental das pessoas).

2.7 Estudos relacionados

Para o embasamento teórico desta pesquisa foi feito um levantamento de estudos relacionados ao tema e foi realizado uma compilação das informações obtidas, as quais são apresentadas nos Quadros 2 a 6.

Quadro 2 – Pesquisa de Daniela Arantes Rodrigues Lopes

Autor (a): Daniela Arantes R. Lopes	Ano: 2007	Cidade: São Carlos - Brasil
Pesquisa:		
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UMA COBERTURA LEVE VERDE (CLV) E DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURA		
Objetivos da pesquisa:		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caracterizar e situar o contexto do experimento; ➤ Definir o episódio representativo do fato climático; ➤ Sistematizar em forma de gráficos e tabelas, os valores monitorados no interior das células de teste e os dados meteorológicos tomados em superfície; ➤ Analisar o comportamento térmico do sistema de cobertura leve verde; ➤ Comparar o comportamento térmico de diferentes sistemas construtivos de coberturas. 		
Metodologia:		
<p>As células de teste estudadas (Figura 19) possuem características similares em relação à orientação solar, aberturas, dimensões e composição dos elementos construtivos, variando apenas o sistema de coberturas.</p> <p>Foram comparados no estudo o sistema de cobertura leve verde e três sistemas construtivos de coberturas utilizados amplamente no Brasil, que são: as telhas cerâmicas, as telhas de fibrocimento e as telhas de aço galvanizado. O outro sistema de cobertura utilizado, muito comum na América Latina, é a laje pré-moldada cerâmica sem colocação de telhas. Na Figura 19 tem-se ilustrado os protótipos analisados por Lopes (2007).</p> <p>Figura 19 – Protótipos (células teste): (Imagem (a)) Aço galvanizado; (Imagem (b)) Fibrocimento; (Imagem (c)) Laje pré-moldada; (Imagem (d)) Cerâmica</p>		
		
<p>Fonte: Adaptado de Lopes (2007, p. 87)</p>		
<p>Na pesquisa a autora identificou que o dia 9 de outubro se caracterizou por um sobreaquecimento, conseqüentemente, o valor de sua amplitude térmica foi um dos maiores, chegando a 21,4 °C, devido à diferença do valor da temperatura mínima do ar externo (12,7 °C) e o valor da temperatura máxima do ar externo (34,04 °C).</p> <p>Com base nos valores encontrados em relação à temperatura do ar referente à etapa pré-frontal e superando o valor das temperaturas médias máximas das Normais Climatológicas peculiares ao mês de outubro, o dia 09 ficou caracterizado como o dia típico experimental.</p>		

Continua

Continua

Principais resultados:
<p>Após a decisão do dia típico experimental (9 de outubro), a autora iniciou a análise dos resultados.</p> <p>A autora ressalta a diferença de temperatura que a cobertura leve verde proporciona para o interior da edificação, quando comparado com a temperatura externa do ar (chegando a ser 5,2°C inferior) e ainda apresentando a menor amplitude térmica dentro de todos os sistemas de cobertura, sendo de 12,6°C durante um período de 24 horas.</p> <p>A baixa amplitude térmica, foi um fator que influenciou muito no comportamento térmico da estrutura de cobertura leve verde. O comportamento do sistema de CLV, segundo Lopes (2017), é reflexo da capacidade de inércia térmica da sua camada de substrato. Na qual a propagação por radiação (principal forma de ganhos térmicos segundo Lamberts (2016)) acontece em transferência gradativa, não permitindo a sua ocorrência de forma rápida, como em uma telha de aço galvanizado. A amplitude térmica da cobertura leve verde chega a ser 50% menor do que a da temperatura do ar externo, resultado explicado pela baixa velocidade de transferência de calor.</p>
Conclusão:
<p>A autora chega à conclusão de que tanto do ponto de vista construtivo, quanto do ponto de vista térmico a cobertura leve verde apresenta grande viabilidade para sua implementação, devido a seu destaque no bom comportamento térmico frente as variações de temperatura externa e também devido a possibilidade de aplicar diferentes materiais no seu sistema construtivo, podendo ser utilizado materiais característicos das regiões que será implementado.</p>

Quadro 3 – Pesquisa de Iara Lima Ferraz

Autor (a): Iara Lima Ferraz	Ano: 2012	Cidade: São Paulo - Brasil
Pesquisa:		
O DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE COBERTURA VERDE EM COMPARAÇÃO AO SISTEMA TRADICIONAL DE COBERTURA COM TELHA CERÂMICA.		
Objetivos da pesquisa:		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comparação do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde com o sistema de cobertura convencional de telhas cerâmicas aplicadas a edificações em São Paulo, durante as diferentes estações do ano, no período de um ano. ➤ Analisar os dados climáticos do período da pesquisa para definir os dias e os episódios climáticos representativos de cada estação do ano; ➤ Analisar os dados coletados e quantificar a provável economia de energia do sistema de cobertura verde no processo de resfriamento e aquecimento do ambiente. 		
Metodologia:		
<p>Foi definido como período de medições definitivas, 21 de abril de 2011 até 31 de janeiro de 2012 que engloba as quatro estações do ano, sendo que a aquisição de dados se dá ininterrupta, permitindo análise das diferentes coberturas nas condições atmosféricas ao longo das estações. Após análise dos requisitos para determinação dos dias representativos, quatro dias foram escolhidos pela autora: 25/07/2011, 11/08/2011, 19/01/2012 e 20/01/2012. Para os dias pré-selecionados foram analisadas as temperaturas médias, amplitude diária e média da umidade.</p>		
Principais resultados:		
<p>As temperaturas e umidades do ar interno nos dois protótipos foram influenciadas pelas variações externas, o grande diferencial entre a cobertura verde e a cobertura cerâmica é que esta oscilação ocorreu com menor agressividade na cobertura verde, sendo 6°C inferior a temperatura máxima externa (período de verão – 19/01/2012 e 20/01/2012) e 7°C superior a temperatura mínima externa (período de inverno – 25/07/2011 e 11/08/2011). Esta menor oscilação dos valores de temperatura e umidade na cobertura verde, manteve o ambiente com características de temperatura mais homogêneas e ajudou a melhorar seu desempenho no conforto térmico da edificação.</p>		
Conclusão:		
<p>O protótipo com cobertura verde apresentou um melhor desempenho em períodos de frio e calor em relação ao sistema convencional. Mesmo sem condicionamento artificial, a edificação com cobertura verde conseguiu (nas condições de verão analisadas) atingir as condições que a NBR 6401/08 considera como de conforto. No entanto, a edificação com cobertura cerâmica apontou a necessidade de condicionamento artificial para atingir os mesmos resultados. Sob as condições de inverno, as duas edificações apontaram a necessidade de condicionamento artificial para atingirem as condições consideradas na norma (NBR 6401/08). Entretanto, observou-se que a edificação com cobertura verde necessitaria de 10 vezes menos potência para aquecimento que a outra cobertura, promovendo assim, menor gasto energético com condicionamento artificial.</p> <p>O telhado verde em relação à cobertura cerâmica, segundo a autora, promoveu menor flutuação de temperatura e umidade no ambiente e apresentou maior isolamento térmico da edificação. Ou seja, o telhado verde apresentou temperatura interna menor que a temperatura externa na hora mais quente do dia, e a temperatura interna maior que a temperatura externa na hora mais fria do dia. Já a mesma relação nem sempre foi observada na cobertura de telha cerâmica.</p>		

Quadro 4 – Pesquisa de Rafael Perussi

Autor (a): Rafael Perussi	Ano: 2016	Cidade: São Carlos - Brasil
Pesquisa:		
COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE COBERTURA VERDE: UM EXPERIMENTO UTILIZANDO PLATAFORMAS DE TESTE		
Objetivos da pesquisa:		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análise climática para definição do episódio representativo; ➤ Análise do comportamento térmico de um sistema extensivo de cobertura verde; ➤ Análise da influência da cobertura vegetal nos valores de temperatura do substrato em comparação com uma cobertura sem vegetação. 		
Metodologia:		
<p>O experimento compõe duas plataformas de teste construídas de forma a simular um sistema de telhado verde extensivo, nas quais ambas as plataformas são preenchidas com substrato composto por uma mistura de turfa com carvão vegetal e de solo do local do experimento, sendo que somente uma recebe o plantio de vegetação, denominada “Plataforma Verde” e a outra foi mantida sem vegetação, denominada “Plataforma Controle”, que simula o comportamento térmico de um solo exposto. Foram monitoradas as temperaturas do nível superior e inferior do substrato e as temperaturas externas abaixo da base das plataformas. Os dados das variáveis climáticas foram coletados pela estação meteorológica automática do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais), programado para obter medições dos sensores a cada 30 segundos, com totalização a cada 30 minutos. O episódio climático representativo selecionado para análise foi registrado entre os dias julianos 288 a 294 (15 a 21/10/2015), dias em que a região esteve sob o domínio de uma massa de ar de característica quente e seca e de onde foram extraídos os dias típicos experimentais.</p>		
Principais resultados:		
<p>Após a análise dos episódios atmosféricos ocorridos no período, os dias 16 e 20 de outubro foram tomados como dias de referência para o estudo do comportamento térmico do sistema de telhado verde. Em ambos os dias, a temperatura do ar atingiu o valor de 36,6°C, superior à temperatura máxima absoluta para o mês de outubro registrado em 1963 (com valor de 36,4°C, obtida das Normais Climatológicas para São Carlos de 1961 – 1990). Analisando as temperaturas das superfícies da plataforma verde, no horário da máxima temperatura da sua superfície inferior nos dois dias experimentais (16/10/15 e 20/10/15), temos que na cobertura da Plataforma Verde do dia 16, a temperatura da superfície inferior atingiu o seu valor máximo, superando a temperatura da superfície superior em 3,4°C, mas sendo superado pela temperatura da superfície externa em 1,1°C. No dia 20 a temperatura da superfície inferior atingiu o seu valor máximo no momento em que superou a temperatura da superfície superior em 3,5°C, e foi superado pela temperatura da superfície externa em 4,0°C. Analisando as temperaturas das superfícies da Plataforma Controle no horário da máxima temperatura da superfície inferior nos dois dias experimentais (16/10/15 e 20/10/15), temos que em relação à cobertura da Plataforma Controle do dia 16, quando a temperatura da superfície inferior atingiu o seu valor máximo, a temperatura da superfície superior estava 2,7°C acima deste valor e a temperatura da superfície externa estava 3,8°C abaixo deste valor. No dia 20, a temperatura da superfície inferior atingiu o seu valor máximo quando as temperaturas das superfícies superior e externa se encontravam 1,7°C acima e 2,6°C abaixo deste valor respectivamente.</p>		
Conclusão:		

Continua

Continua

O melhor desempenho térmico é dado pela Plataforma Verde, por apresentar menores valores de temperatura no perfil do substrato, quando comparado com a cobertura sem vegetação (Plataforma Controle). Estes resultados podem ser atribuídos tanto pelo sombreamento proporcionado pela camada foliar, quanto pelo maior albedo dessa camada, efeito da evapotranspiração. O sombreamento bloqueia parte da radiação incidente e favorece a retenção da umidade no substrato, que perde energia térmica através da evapotranspiração. Na ausência de uma cobertura vegetal, o substrato exposto retém menos umidade que seria evaporada durante o dia e também absorve mais radiação por ser mais escuro do que a camada foliar. Para a obtenção de um melhor desempenho térmico, em uma cobertura verde, torna-se importante a escolha do tipo de vegetação a ser utilizada, que deve priorizar espécies com maior área de cobertura foliar horizontal e com maior taxa de transpiração. Desta forma, foi possível definir para um dia quente e seco que a cobertura do substrato, com uma camada densa de vegetação, permite que a superfície superior não atinja temperaturas acima da temperatura máxima do ar e também que essa temperatura se manifeste com maior atraso na superfície inferior que, em última análise, é a que estará em contato com um elemento construtivo, como uma laje ou um forro.

Quadro 5 – Pesquisa de Gabriel Lazzeri Gehard e Ana Claudia Bergmann.

Autor (a): Gabriel L. Gehard <i>et al.</i>	Ano: 2018	Cidade: Toledo - Brasil
Pesquisa:		
O ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE TELHADO VERDE, ABORDANDO DIFERENTES ESTILOS CONSTRUTIVOS DO TELHADO VERDE		
Objetivos da pesquisa:		
Análise da implantação de um telhado verde, através de métodos construtivos apresentados pela Ecotelhado e estudo da eficiência de sua aplicação de forma financeira.		
Metodologia:		
As bases de dados para elaboração dos orçamentos se dão pelo SINAPI (2018) (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e pelo TCPO (2013) (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos). A área da edificação em estudo é a Universidade Paranaense - Campus I, na cidade de Toledo – PR, de 7.174 m ² com o custo para implantação do telhado de fibrocimento, de R\$ 569.425,00 reais, com demanda de 15.354 horas de trabalho, resultando em 4 meses e meio com uma equipe de 20 pessoas e o custo para execução do telhado verde, de R\$ 1.193.738,00, demandando 7.749 horas de trabalho, resultando em 2 meses e meio com uma equipe de 20 pessoas.		
Principais resultados:		
<p>Pelo cálculo da razão da potência, com o uso telhado verde e sem, percebe-se que a energia utilizada para manter a sala a 21°C, utilizando o telhado verde, corresponde a aproximadamente 51,6% da energia utilizada sem ele, reduzindo a 48,4% o consumo de energia elétrica. Porém, como o cálculo está sujeito a erros e imprevisões, já que não é levado em consideração a perda de calor pelas paredes das salas e a influência do calor do chão na temperatura ambiente, considera-se que um valor plausível para a economia geral do consumo de energia com a instalação do telhado verde seja de 40% (DE MELLO et al. 2010). O custo médio do consumo de energia elétrica nas instalações da Unipar – Campus I, Toledo – PR, conforme dados fornecidos pela instituição referente aos meses de janeiro de 2017 a abril de 2018 é de R\$34.564,47, no entanto, com a instalação do telhado verde, ao considerar uma redução de 40% no consumo de energia, a redução média é na ordem de R\$13.825,79 nos gastos mensais.</p> <p>O gasto total para instalação do telhado verde é de R\$ 1.193.738,00, sem considerar os custos com a estrutura da edificação e manutenção, e para o telhado de fibrocimento é de R\$ 569.425,00, com diferença entre os custos de R\$ 624.313,00.</p> <p>O tempo médio para que o investimento no telhado verde se pague completamente, devido à redução do consumo elétrico, é de 87 meses sem considerar reajustes no valor da energia. O resultado é em função do custo geral da implantação do telhado verde, dividido pela redução média dos gastos com energia.</p>		
Conclusão:		
<p>Obteve-se que o custo de implantação do telhado de fibrocimento é menor que a metade do custo da implantação do telhado verde, no entanto, considerando o estudo realizado, a longo prazo o telhado verde é vantajoso. Trazendo benefícios, principalmente na significativa redução do consumo de energia, devido ao melhor controle de temperatura do ambiente.</p> <p>Ao considerar a redução de aproximadamente 40% no consumo de energia de acordo com De Mello et al. (2010), o telhado verde se mostra benéfico, tendo em vista que o investimento se paga em 87 meses. Diferentemente do método convencional com telhas de fibrocimento, que não oferecem vantagens relacionadas a sustentabilidade e redução no consumo de energia.</p>		

Quadro 6 – Pesquisa de Rhayck Jordan Magalhães

Autor (a): Rhayck Jordan Magalhães	Ano: 2018	Cidade: Goianésia - Brasil
Pesquisa:		
DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TELHAS ECOLÓGICAS E TELHAS DE FIBROCIMENTO		
Objetivos da pesquisa:		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Obter dados de monitoramento térmico de duas células testes; ➤ Comparar os dados obtidos de cada célula teste; ➤ Analisar o desempenho térmico das telhas em conformidade com as normas brasileiras. 		
Metodologia:		
Para determinar o desempenho térmico das telhas escolhidas (telha cerâmica, telha de fibrocimento e telha ecológica – Figura 20), o autor utilizou o método de medição in loco (item 11.1a da NBR 15.575-1), por meio do modelo de células teste.		
<p>Figura 20 – Células teste finalizadas</p> 		
<p>Fonte: Adaptado de Magalhães (2018, p. 21)</p>		
<p>O software do sistema de aquisição de dados captura e armazena valores de temperatura e umidade através dos sensores, em intervalos de 15 minutos, durante todo o período de 24 horas do dia. Este monitoramento aconteceu entre os dias 19 de maio de 2017 e 5 de julho de 2017, descartando os dias 20/05, 04/05, 25/05/e 24/06, pois houve falha na leitura e armazenamento dos dados, somando um total de 44 dias de monitoramento contínuo.</p>		
Principais resultados:		
<p>Tanto a telha de fibrocimento, quanto a telha ecológica, promoveram desempenhos esperados em uma cobertura durante o período de 24 horas. No entanto, segundo Magalhães (2018) o desempenho da telha ecológica foi superior ao da telha de fibrocimento por apresentar eficiência superior nos dados recolhidos.</p> <p>Durante o período da madrugada e noite é esperado que a temperatura interna da edificação seja superior a temperatura do ambiente exterior, mantendo uma retenção de calor em meio a queda de temperatura. Nestas duas situações, a telha ecológica se destaca por apresentar uma capacidade de retenção superior a telha de fibrocimento. Já durante o período da manhã e tarde é esperado que ocorra o oposto, e novamente a telha ecológica se destaca, apresentando um potencial de manter uma temperatura amena dentro das edificações, superior a telha de fibrocimento, em meio ao aumento drástico da temperatura ambiente. Ao final do estudo, foi possível observar também que a menor amplitude térmica foi observada</p>		

Continua

Continua

na telha Ecológica Tetra Pak, sendo de 12,8°C.

Conclusão:

As telhas na maior parte dos períodos analisados, obedeceram à norma de desempenho (NBR 15.575/2013), que determina que a temperatura no interior de edificações deve permanecer menor nos períodos mais quentes do dia e maior nos períodos mais frios, para que ofereça o mínimo de conforto térmico. A análise comparativa entre ambas mostrou que a telha ecológica, mesmo atingindo valores maiores de temperatura entre 16 horas e 17 horas, apresentou melhor desempenho térmico que a telha de fibrocimento. Este resultado é devido à amenização na temperatura interna que ela proporciona em momentos que a temperatura externa atinge valores fora do padrão de conforto térmico.

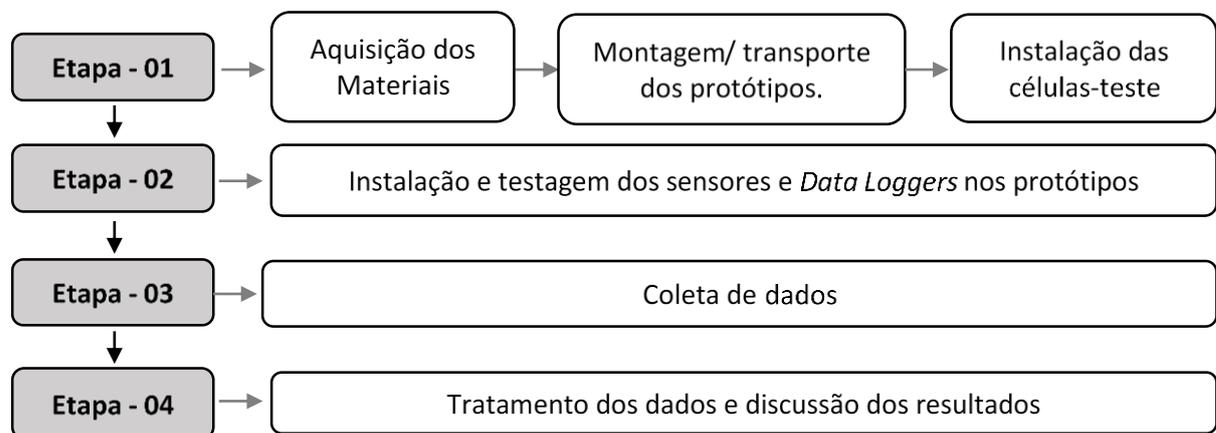
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão apresentados os materiais e equipamentos utilizados para a confecção dos protótipos (células-teste) e os métodos de pesquisa empregados para a coleta, tratamento e apresentação dos dados.

3.1 Programa experimental

O desenvolvimento do Programa Experimental foi organizado em quatro etapas distintas, conforme apresentado na Figura 21, e foi desenvolvido em uma área em campo aberto da UNIPAMPA - campus Alegrete/RS.

Figura 21 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Elaboração própria

O local escolhido para a implantação do projeto (Figura 22) foi determinado seguindo os critérios de acessibilidade à rede elétrica para a utilização dos equipamentos de medição e armazenamento, bem como respeitando o aproveitamento máximo da fonte solar durante o período de recolhimento de dados. Também foi considerado o critério “segurança” na escolha do local, mantendo os equipamentos e as células-teste próximas a uma das portarias da universidade, reduzindo chances de roubos e danos.

Figura 22 – Local de implantação do projeto



Fonte: Retirado de *Google Maps* (2021)

3.2 Etapa – 01

Após a definição do local de instalação dos protótipos (células-teste), no campus da UNIPAMPA, e aquisição de todos os materiais, foi dado início a primeira etapa do Programa Experimental.

Os itens 3.2.1 a 3.2.3 apresentam um detalhamento dos procedimentos executados nesta etapa da pesquisa.

3.2.1 Materiais para os protótipos e equipamentos

Os materiais (madeirite, pregos, parafusos, etc.) necessários para a confecção dos protótipos (células-teste) foram adquiridos no comércio local de Alegrete/RS. As células-teste foram confeccionadas por um carpinteiro com a mesma área padrão ($0,25 \text{ m}^2$) dos protótipos utilizados por Panno (2017), no qual este trabalho foi embasado. Os materiais destinados a confecção do telhado verde (manta asfáltica, argila expandida, manta jeans para barreira contra raízes, substrato e gramínea) foram comprados no comércio local da cidade de Alegrete/RS.

Dos três (3) tipos de telhas testados, dois (2) foram adquiridos comercialmente na cidade de Alegrete/RS (telha de fibrocimento e telhado verde) e um foi adquirido pela Internet (telha

ecológica). A cobertura vegetal utilizada na cobertura verde foi uma gramínea forrageira (*Cynodon Dactylon*) existente nos gramados da UNIPAMPA campus – Alegrete/RS. A escolha da gramínea se justifica pelo fato de que as plantas para telhado verde no modo extensivo (adotado neste estudo) devem ser espécies de menor crescimento, para que o controle e manutenção seja facilitada, em função da limitada profundidade da terra da cobertura. A escolha de uma gramínea local, já adaptada ao ambiente e ao clima de Alegrete, facilitou a sua manutenção durante o período do experimento, garantindo uma boa eficiência durante a coleta de dados.

Para o controle da temperatura no interior das células-teste foram utilizados sensores termopares, *data logger*, computador e programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*. Os equipamentos foram disponibilizados pelo Laboratório de Fluidos Térmicos da UNIPAMPA, campus Alegrete-RS.

3.2.2 Montagem e transporte dos protótipos

Em uma marcenaria local foi realizada a confecção e montagem dos protótipos com seus respectivos telhados, com exceção da cobertura verde. Devido ao peso da cobertura verde poder interferir/dificultar o processo do transporte do protótipo até a universidade, a montagem dessa cobertura foi realizada após a sua instalação no campus da UNIPAMPA.

Os protótipos foram confeccionados com Madeirit plastificado (12mm), nas dimensões de 0,50 m por 0,50 m, totalizando em uma área construída de 0,25 m². Os protótipos com telhas, foram confeccionados com inclinação de 30°, respeitando a inclinação mínima designada pelos fabricantes das telhas. Após a confecção, os protótipos foram transportados até o campus e, por fim, foi realizado a montagem da cobertura verde.

Para a instalação dos telhados com telhas convencional e ecológica foram seguidas as recomendações normativas e dos fabricantes, respectivamente. Para o telhado com cobertura verde foi empregado o método extensivo, por ser mais viável economicamente, tanto para a execução projeto, quanto para a sua instalação e manutenção. Na Figura 23 é apresentado o procedimento de montagem do telhado verde. A estruturação do telhado iniciou com a colocação de uma manta asfáltica para impermeabilização (Figura 23 – Imagem (a)). Na sequência, foi realizado o posicionamento do sistema de drenagem composto por argila expandida (Figura 23 – Imagem (b)), em seguida foi instalado uma manta permeável anti-raízes (Figura 23 – Imagem (c)). O processo finalizou com a inserção da camada de substrato (Figura 23 - Imagem (d)) e a grama (Figura 23 - Imagem (e)).

Figura 23 – Procedimento de montagem do telhado verde



Fonte: Acervo do autor

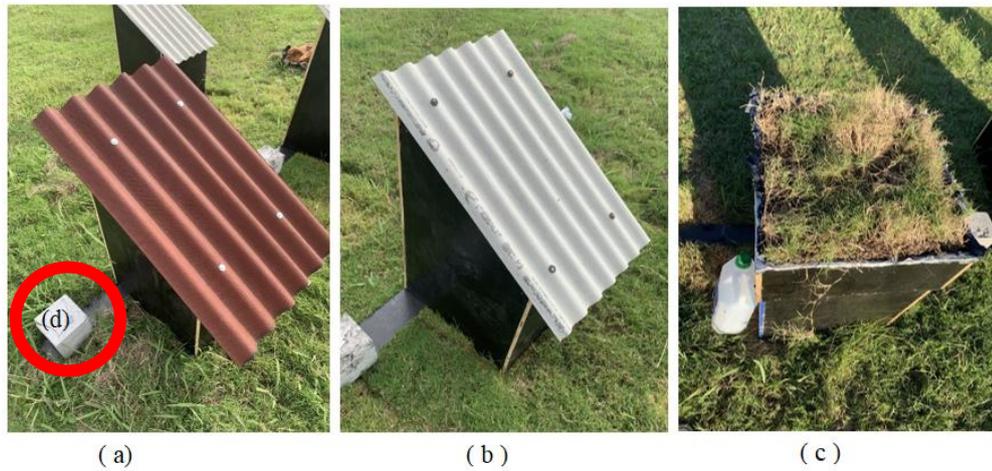
3.2.3 Instalação dos protótipos

Os protótipos foram organizados no terreno com a “água” alinhada ao norte verdadeiro, como descrito na orientação solar (Tópico 2.3). O ângulo de correção adotado para a obtenção do norte verdadeiro foi de $\delta = -23,45^\circ$, devido ao período da coleta de dados para a execução do projeto, que ocorreu entre os dias 19/04/2021 e 18/05/2021.

A Figura 24 representa os protótipos (célula-teste) após o processo de instalação, sendo: (Imagem (a)) – célula-teste com cobertura de telha ecológica, (Imagem (b)) – célula-teste com cobertura de telha de fibrocimento, e (Imagem (c)) – célula-teste com cobertura verde.

Para evitar que os protótipos (células-teste) fossem danificados por ventos fortes e chuvas foi necessário realizar uma ancoragem em cada módulo conforme mostrado na Figura 24 – Detalhe (d).

Figura 24 – Células-teste



Fonte: Acervo do autor

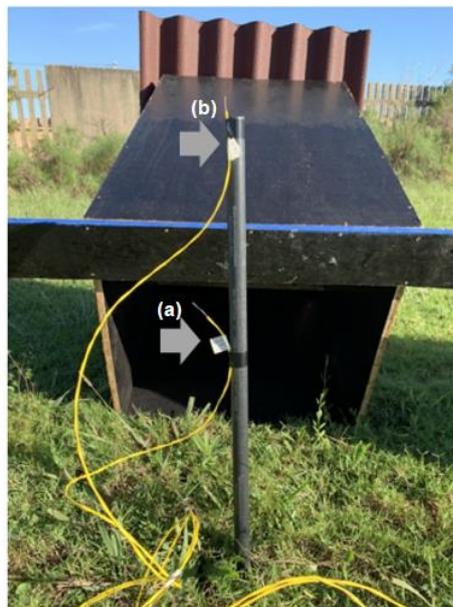
3.3 Etapa – 02

A segunda etapa correspondeu a instalação e a testagem dos sensores (termopares e *Data Loggers*). Os itens 3.3.1 e 3.3.2 apresentam a descrição dos processos executados nessa fase do experimento.

3.3.1 Posicionamento e ligações dos termopares

Em cada protótipo (célula-teste) foram instalados dois termopares apoiados por bastões, um ao centro da estrutura (Figura 25 - Imagem (a)) e outro mais próximo da cobertura (Figura 25 – Imagem (b)), conforme é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Posição dos termopares dentro dos protótipos



Fonte: Acervo do autor

O posicionamento dos termopares adotados para o projeto (Figura 25) se justificam por fornecerem uma coleta de dados mais detalhada, que permitirá uma melhor análise do aquecimento interno das edificações oriundas da estrutura de cobertura.

O equipamento *Data Logger* possui a função de medição direta de termopares, RTDs, termistores, tensão DC, tensão AC, resistência, corrente DC, corrente AC, frequência e ponto final, com a capacidade de realizar armazenagens limitadas apenas pelo equipamento utilizado e apresentação de dados através do programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*. Para o projeto foi utilizado a sua função de medição direta através de termopares, registrando temperaturas com o espaçamento de tempo de 30 minutos entre as capturas no decorrer do período de coleta. O equipamento foi instalado próximo as células-teste para facilitar a conexão aos termopares e a retirada de dados, conforme demonstrado na Figura 26.

Figura 26 – Posição do equipamento *Data Logger* e sua conexão aos protótipos



Fonte: Acervo do autor

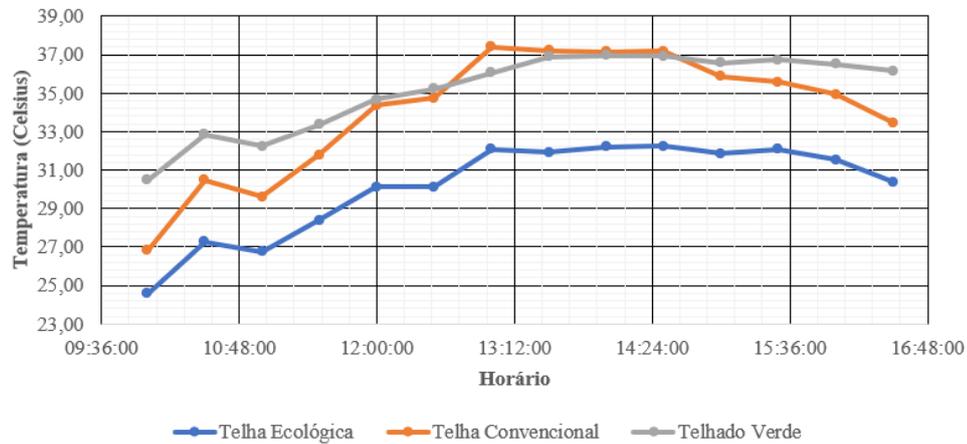
3.3.2 Testagem do sistema

No período de 19 a 20 de abril de 2021 foram realizados testes no sistema de coleta de dados objetivando observar possíveis falhas. Durante o período de teste dos equipamentos foram identificados alguns problemas, sendo o mais relevante a ausência de ventilação na células-teste com a cobertura verde.

Durante o período de testagem dos equipamentos foi observado um problema com os dados retirados da célula-teste com a cobertura de Telhado Verde. A temperatura interna

captada pelo *Data Logger* não se mostrava coerente com os dados da literatura, apresentando o gráfico como visto na Figura 27.

Figura 27 – Média das temperaturas dos tipos de cobertura

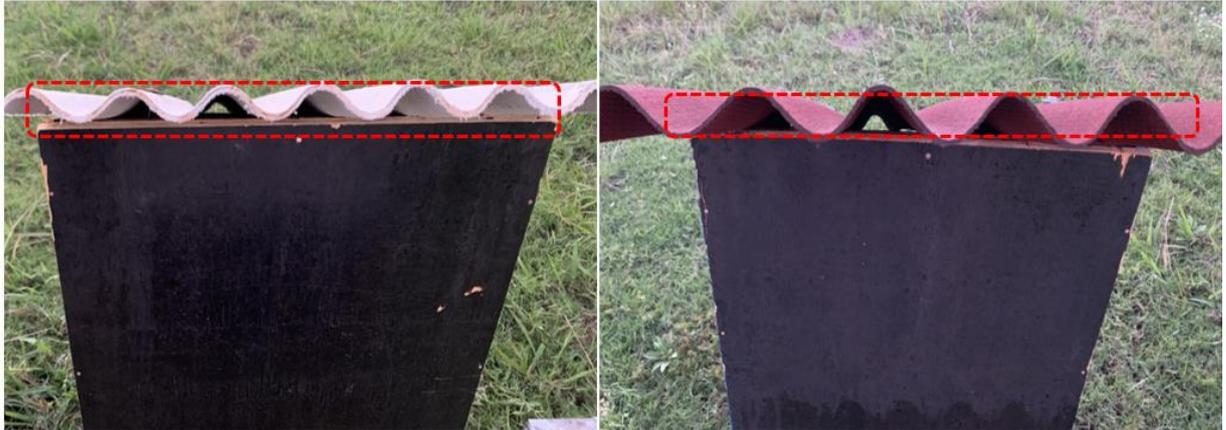


Fonte: Acervo do autor

A Figura 27 mostra os valores de temperatura média obtida no período de testagem do sistema. Nesse gráfico, a célula-teste com a cobertura de Telhado Verde apresenta por um bom período do dia, temperaturas internas superiores as capturadas nas células-teste de Telha Ecológica e Telha Convencional, divergindo dos dados encontrados na literatura. Teoricamente era esperado que fosse observado o comportamento oposto, na qual a célula-teste com a cobertura de Telhado Verde apresentasse temperatura interna inferior as demais células teste ou semelhante à célula-teste com cobertura de Telha Ecológica, como observado por Lopes (2007), Ferraz (2012) e Perussi (2016).

Após a revisão dos equipamentos utilizados (objetivando detectar possível chance de falha), a análise do posicionamento das células-teste e da troca de ideias com os orientadores, concluiu-se que o problema poderia ter sido causado pela falta de ventilação no protótipo com a cobertura verde. Foi observado que nas células testes com cobertura de telhas havia uma área de circulação de ar entre a telha e o protótipo (Figura 28), devido a configuração destas telhas. Essa circulação de ar não estava presente no protótipo com a cobertura verde, em função da configuração deste telhado (Figura 29).

Figura 28 – Protótipos com telhas e área de circulação de ar visível



Fonte: Acervo do autor

Figura 29 – Protótipo destinado a cobertura verde e sem área de circulação de ar



Fonte: Elaboração própria

O protótipo com a cobertura verde, necessitou de adaptações para proporcionar a ventilação como proposto pela ABNT NBR 15220 (2003). Em função do modelo adotado para o telhado verde foi necessário executar a abertura de orifícios (Figura 30 – Imagem (a)), também foi realizado uma leve elevação da estrutura com o auxílio de blocos de concreto (Figura 30 – Imagem (b)), para possibilitar que a célula-teste apresentasse ventilação interna semelhante aos dos protótipos com telhas.

Figura 30 – Células-teste



Fonte: Acervo do autor

Na Figura 30 observa-se na parte superior, os furos para a entrada de vento e na parte inferior, os blocos utilizados para proporcionar uma leve elevação na estrutura e permitir a saída do vento. Esses procedimentos proporcionaram a ventilação necessária para a estrutura, e após a realização das modificações a célula-teste apresentou o desempenho esperado.

3.4 Etapa – 03 e 04

Na terceira etapa foi realizada a coleta dos dados de temperatura interna dos protótipos, temperatura externa, velocidade do vento e radiação solar. E, por fim, na quarta etapa, os dados foram tratados e discutidos.

3.4.1 Aquisição e apresentação dos dados

A terceira etapa do Programa Experimental consistiu na coleta dos dados e montagem de gráficos.

A coleta de dados foi executada de modo a respeitar as limitações que foram impostas devido ao período de pandemia do Covid-19 e visando a segurança dos equipamentos eletrônicos que foram emprestados pela UNIPAMPA.

A coleta de dados ocorreu no período de 19/04/2021 a 18/05/2021, totalizando 17 dias de coleta (inclusos os dias de testagem, coletas de dados falhos e as coletas de dados finais). Os dias escolhidos para a coleta respeitaram o critério de dias corridos, levando em conta as limitações impostas pelos equipamentos, ou seja, apenas em dias nublados ou dias de sol. Não foram realizadas coletas em dias de chuva, pois os equipamentos, por mais que estivessem cobertos, poderiam ser danificados pela umidade.

O *Data Logger* armazena os dados sobre as variações de temperaturas (captadas pelos Termopares). A captação de dados foi programada para iniciar aproximadamente as 09:30 da manhã e encerrar aproximadamente as 17:30 da tarde. Ao final de cada dia de teste, os dados eram armazenados em um computador e o *Data Logger* era reprogramado e novamente instalado para o dia de observação seguinte.

O *Data Logger*, ao finalizar o registro de dados, armazena os dados de temperatura de cada termopar dentro das célula-teste, em arquivos *Excel*, dentro do equipamento de armazenamento (*Notebook*), com auxílio do programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*. Logo, com os dados baixados foi necessário, inicialmente, realizar a sua organização, dispondo os valores em colunas e linhas, para facilitar o entendimento durante a análise dos resultados. Após o planilhamento foram realizadas as montagens de gráficos e tabelas (contendo as temperaturas internas das células-teste e a temperatura externa), com os seus respectivos horários e datas. Posteriormente, também foi realizado a montagem de uma tabela e um gráfico com os valores médios, que foi utilizado para a análise de resultados.

Para auxílio e veracidade dos dados obtidos, também foram coletadas informações adicionais como a velocidade do vento (*Anemômetro*) e a radiação solar (*Solar Meter*) no início de cada dia de observação e ao final de cada dia de observação. Os equipamentos utilizados (*Anemômetro* e *Solar Meter*) foram disponibilizados pelo laboratório do EIRE na UNIPAMPA. As Figuras 31 e 32 apresentam o *Anemômetro* utilizado para a retirada da velocidade do vento em m/s e o *Solar Meter* utilizado para a retirada da radiação solar dada em $Btu/(ft^2 \times b)$ ou W/m^2 .

Figura 31 – Anemômetro



Fonte: Acervo do autor

Figura 32 – *Solar Meter*



Fonte: Acervo do autor

Após a coleta, os dados foram tratados, analisados e discutidos. Os resultados destas análises são apresentados detalhadamente no capítulo 4.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutido os dados de radiação e velocidade do vento, transmitância térmica e temperatura nos dias de medição. A coleta de dados, conforme já informado, ocorreu no período de 11/05/2021 a 18/05/2021, totalizando cinco dias.

4.1 Radiação e velocidade do vento

Durante a semana de retiradas de dados das temperaturas dos protótipos, foram observados e coletados os valores de radiação e velocidade do vento (Tabelas 4 a 8). A coleta desses dados ocorreu pelo período da manhã e pelo período da tarde (ao final da retirada de dados de temperatura) para cada um dos dias de observação.

Com o equipamento *Solar Meter* foi possível registrar valores de radiação solar em planos inclinados (Figura 33 – Imagem a), respectivos a radiação incidente sobre as coberturas de fibrocimento e ecológica em que ambas se encontram a uma inclinação de 30° e no plano horizontal que corresponde à radiação incidente sobre a cobertura verde (Figura 33 – Imagem b). Com o equipamento anemômetro foi possível registrar valores de velocidades mínimas e máximas obtidas em seus respectivos períodos dos dias de observação.

Figura 33 – Posicionamento do equipamento *Solar Meter* para coleta de dados: (Imagem (a)) Plano inclinado, e (Imagem (b)) Plano horizontal.



Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – Valores de radiação e velocidade do vento em 11/05/2021

Data	Horário de Coleta	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
11/Mai	Manhã	<i>Btu/(ft²xb)</i>	37,2	33,5
		<i>W/m²</i>	116,4	105,7
	09:14	Anemômetro	Min.	Máx.
		<i>m/s</i>	2,52	3,06
	Tarde	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
		<i>Btu/(ft²xb)</i>	20,4	8,2
17:30		<i>W/m²</i>	67,6	28,2
		Anemômetro	Min.	Máx.
	<i>m/s</i>	0,03	1,67	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5 – Valores de radiação e velocidade do vento em 13/05/2021

Data	Horário de Coleta	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
13/Mai	Manhã	<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	202	140
		<i>W/M²</i>	632	735
	09:30	Anemômetro	Min.	Máx.
		<i>M/S</i>	0,14	0,4
	Tarde	Solar Meter	Inclinad	Horizontal
		<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	13,8	10,6
17:27		<i>W/M²</i>	43,3	33,3
		Anemômetro	Min.	Máx.
	<i>M/S</i>	0,29	0,36	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 – Valores de radiação e velocidade do vento em 14/05/2021

Data	Horário de Coleta	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
14/Mai	Manhã	<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	91	121,5
		<i>W/M²</i>	275	330
	09:25	Anemômetro	Min.	Máx.
		<i>M/S</i>	1,95	3,92
	Tarde	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
		<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	2,4	1,7
17:45		<i>W/M²</i>	7,7	5,3
		Anemômetro	Min.	Máx.
	<i>M/S</i>	0,8	1,06	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 – Valores de radiação e velocidade do vento em 17/05/2021

Data	Horário de Coleta	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
17/Mai	Manhã	<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	8,5	20,1
		<i>W/M²</i>	25,6	60,5
	08:27	Anemômetr	Min.	Máx.
		o		
		<i>M/S</i>	0	0,03
	Tarde	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
		<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	3,1	2,8
	17:54	<i>W/M²</i>	9,9	8,7
	Anemômetr	Min.	Máx.	
	o			
	<i>M/S</i>	0	0	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 – Valores de radiação e velocidade do vento em 18/05/2021

Data	Horário de Coleta	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
18/Mai	Manhã	<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	128,6	216
		<i>W/M²</i>	660	678
	09:39	Anemômetro	Min.	Máx.
		<i>M/S</i>	1,02	1,51
	Tarde	Solar Meter	Inclinado	Horizontal
		<i>Btu/(Ft²Xb)</i>	1,5	2,8
	17:48	<i>W/M²</i>	4,7	8,9
		Anemômetro	Min.	Máx.
	<i>M/S</i>	0,62	1,24	

Fonte: Elaboração própria

Os dados analisados nas Tabelas 4 a 8 não refletem com acurácia a realidade que seria capturada com equipamentos mais sensíveis e avançados. Os resultados obtidos se justificam devido ao estudo ter sido realizado durante a estação do outono, que não apresenta temperaturas extremas.

No dia 17/05/2021 não foi possível manter o padrão de horário de coleta de dados, a incidência de radiação solar foi registrada no horário das 8:30 horas, apresentando uma diferença de uma (1) hora entre os demais dias (registro realizado as 9:30 horas). Neste dia, a interferência de vento foi a menor entre os dados coletados, zero metros por segundo (0 m/s) em ambos os horários de coleta. Em função das características de velocidade do vento, o dia 17/05/2021 tem potencial para ser considerado o dia com a maior temperatura externa registrada, juntamente com o dia 13/05/2021, que apresentou a maior incidência solar no

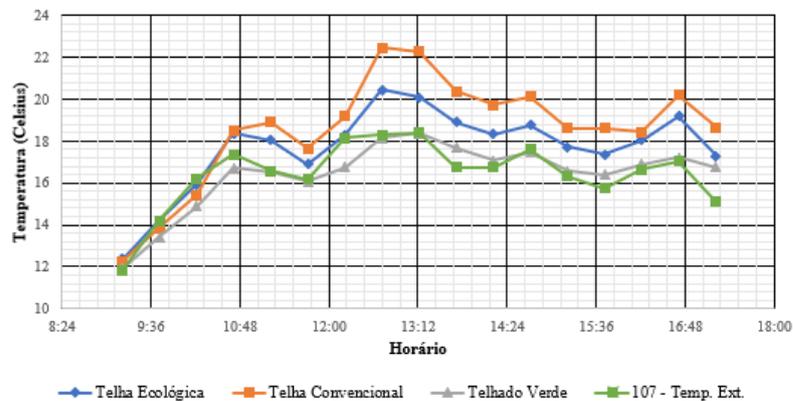
período da manhã ($140 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{xb})$) nas células-teste de telha de fibrocimento e na telha ecológica e de $202 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{xb})$, na célula-teste de cobertura verde).

Considerando os dados coletados no período da manhã, observa-se que a menor incidência solar ocorreu no dia 11/05/2021. Neste mesmo dia foi registrada a segunda maior velocidade de vento captada pelos equipamentos ($2,52 \text{ m/s}$ pelo período da manhã), tornando este dia um forte candidato para a menor temperatura externa registrada. Outro dia com baixas temperaturas foi o dia 14/05/2021, que registrou a maior velocidade de vento, entre os dias de coleta, apresentando uma velocidade máxima de $3,92 \text{ m/s}$ (dados obtidos no período da tarde).

4.2 Medição de temperaturas

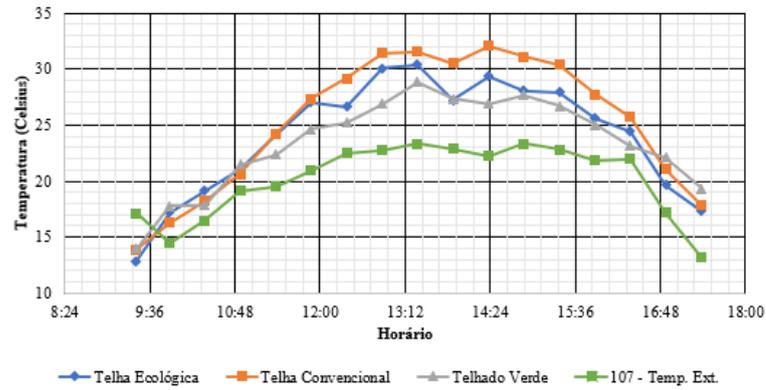
Foram utilizados cinco (5) dias para realizar a coleta das temperaturas internas das células-teste, seguindo os critérios apresentados no tópico 3.4. As temperaturas obtidas são representadas nas Figuras 34 a 38. Os gráficos foram montados de forma que o eixo y [Temperatura (Celsius)] representasse a amplitude térmica do interior das células-teste (Telha Ecológica, Telha Convencional e Telhado Verde) e no exterior (Temperatura Externa Ambiente) e o eixo x representasse o horário em que o *Data Logger* capturou as temperaturas.

Figura 34 – Temperaturas das coberturas em 11/05/2021



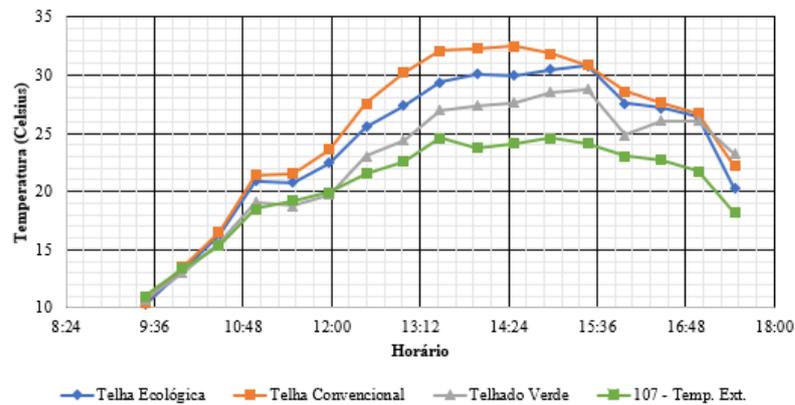
Fonte: Acervo do autor

Figura 35 – Temperaturas das coberturas em 13/05/2021



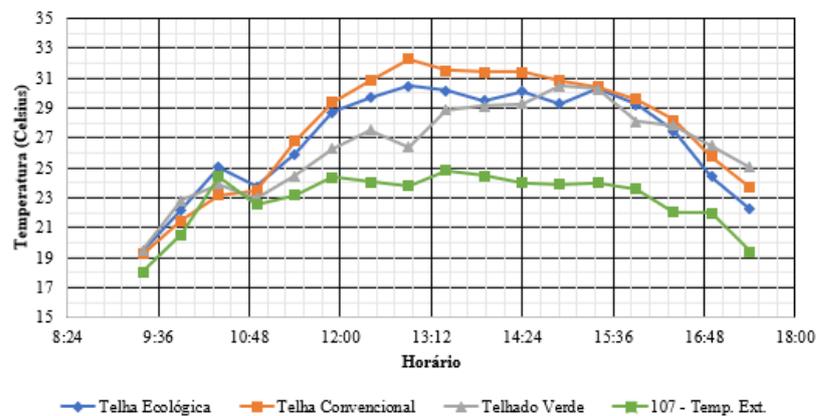
Fonte: Acervo do autor

Figura 36 – Temperaturas das coberturas em 14/05/2021



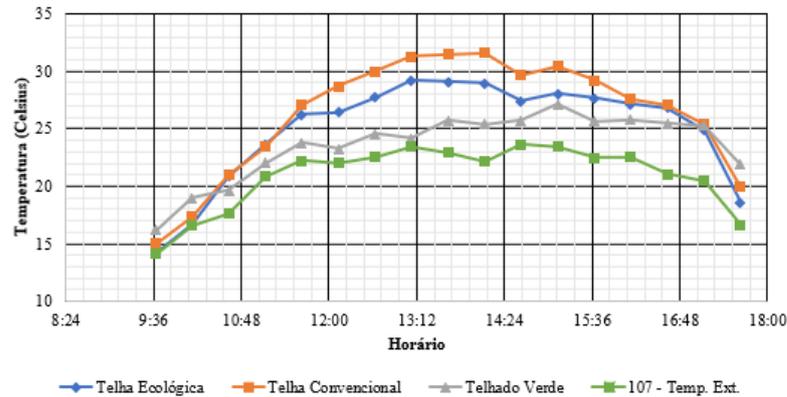
Fonte: Acervo do autor

Figura 37 – Temperaturas das coberturas em 17/05/2021



Fonte: Acervo do autor

Figura 38 – Temperaturas das coberturas em 18/05/2021



Fonte: Acervo do autor

Analisando as máximas temperaturas diárias registradas pelo *Data Logger*, o dia com a maior temperatura máxima externa registrada foi em 17/05/2021, com $24,81^{\circ}\text{C}$ registrado às 13:23 horas. Enquanto que a menor das máximas temperatura externa diárias registrada no *Data Logger* correspondeu ao dia 11/05/2021, com registro de $18,41^{\circ}\text{C}$ às 13:13 horas.

Paralelamente a análise da temperatura foi realizada a análise da velocidade de vento, uma vez que este fator pode influenciar na variação das temperaturas. Este fato é observado nos gráficos das Figura 34 (dia 11/05) e 37 (dia 17/05), que apresentam as menores velocidades máximas de vento registradas pelos equipamentos. Nestes dias, as temperaturas externas apresentaram as menores variações (máxima-mínima) registradas no período de coleta, sendo que, para o dia 11/05 a variação foi $6,57^{\circ}\text{C}$ e para o dia 17/05, a variação foi de $6,76^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Por outro lado, o gráfico da Figura 36 corresponde ao dia com a maior incidência de vento, mostrando a maior variação registrada ($13,6^{\circ}\text{C}$) de temperatura externa (temperatura máxima subtraído pela temperatura mínima).

Os gráficos das Figura 34 a 38 representam as temperaturas internas das células-teste comparadas a temperatura externa ambiente, respectivos aos dias de coleta. Nos gráficos é possível visualizar que, durante o período das 9:30 às 11:30 horas, existiu uma tendência de aumento da temperatura interna, relacionada diretamente ao aumento da emissão de radiação solar. Entre o período das 12:00 às 16:30 horas, a temperatura interna apresentou uma certa inércia com leves variações de temperatura, sendo influenciadas pelo vento e pela leve variação da temperatura externa. Já a partir das 17:00 às 17:30 horas as temperaturas dos gráficos apresentaram uma tendência de redução, isto devido a diminuição da emissão de radiação solar.

Com os dados apresentados pelas Figuras 34 a 38 foi elaborada a Tabela 9 e um gráfico (Figura 39) com a média dos valores de temperatura coletados (temperatura média interna dos protótipos e temperatura média externa ambiente), para melhor análise dos resultados.

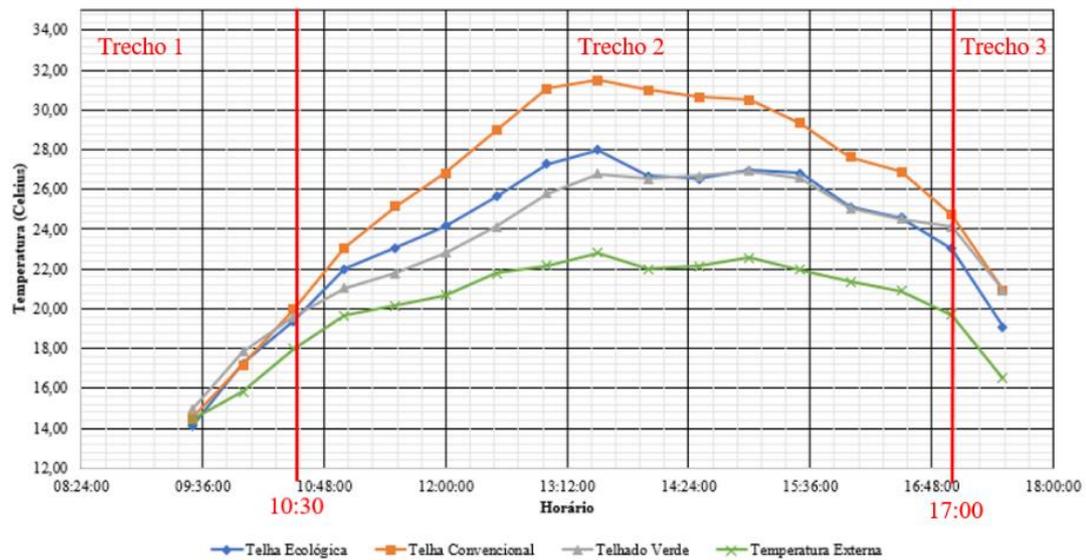
Tabela 9 – Dados médios de temperatura interna (protótipos) e dados médios de temperatura externa – temperatura ambiente

Trecho	Horário Coleta	Telha Ecológica	Telha Convencional	Telhado Verde	Temperatura Externa
T-1	09:30:00	14,08	14,48	14,95	14,42
	10:00:00	17,26	17,18	17,84	15,84
T-2	10:30:00	19,38	19,98	19,58	18,00
	11:00:00	21,99	23,08	21,04	19,68
	11:30:00	23,07	25,16	21,80	20,15
	12:00:00	24,16	26,80	22,81	20,68
	12:30:00	25,64	28,97	24,11	21,77
	13:00:00	27,26	31,07	25,78	22,17
	13:30:00	27,98	31,49	26,78	22,82
	14:00:00	26,66	31,01	26,55	22,00
	14:30:00	26,54	30,64	26,68	22,14
	15:00:00	26,95	30,50	26,92	22,56
	15:30:00	26,82	29,34	26,55	21,95
	16:00:00	25,13	27,65	25,03	21,36
	16:30:00	24,60	26,89	24,51	20,89
17:00:00	23,04	24,72	24,14	19,68	
T - 3	17:30:00	19,09	20,95	20,95	16,50

Fonte: Elaboração própria

As análises foram realizadas em três trechos distintos, sendo o primeiro trecho correspondente as informações coletas entre o período de 8:30 h – 10:30 h, o segundo trecho correspondendo ao período das 10:30 h – 17:00 h e o terceiro trecho correspondendo as informações coletadas entre o período de 17:00 h – 18:00 h.

Figura 39 – Temperaturas médias das temperaturas dos tipos de cobertura



Fonte: Acervo do autor

Analisando o gráfico da Figura 39 e a Tabela 9 é possível visualizar três trechos que demandam diferentes comportamentos das estruturas de cobertura. O Trecho 1 correspondeu ao período em que a estrutura de cobertura da edificação precisou ter maior capacidade de reter calor, devido à baixa incidência de radiação solar (Tabelas 4 a 8 do tópico 4.1) no período do dia em que o trecho se localiza. Neste trecho o telhado verde se destacou das outras estruturas de cobertura por apresentar uma temperatura interna superior de $0,87^{\circ}\text{C}$ a $0,47^{\circ}\text{C}$, em comparação a Telha Ecológica e Telha Convencional, respectivamente no período das 09:30 horas; e de $0,58^{\circ}\text{C}$ a $0,66^{\circ}\text{C}$ em comparação a Telha Ecológica e Telha Convencional, respectivamente, no horário das 10:00 horas.

O Trecho 2 correspondeu a um período do dia em que as temperaturas internas das células-teste se elevaram, devido ao aumento da incidência de radiação solar, fazendo com que a temperatura interna da edificação se eleve consideravelmente dependendo do tipo de material utilizado para a estrutura de cobertura. Em função do exposto, neste período é desejável uma cobertura que tenha capacidade de reter a transmissão excessiva de calor para o interior da edificação. Analisando o Trecho 2, é possível observar que a cobertura verde apresentou uma temperatura interna relativamente inferior à registrada na cobertura de Telha Convencional, sendo a maior diferença registrada de $5,29^{\circ}\text{C}$, às 13:00 horas. Quando comparada com a cobertura de Telha Ecológica, até o período das 14:00 horas, a cobertura verde apresentou uma temperatura interna inferior com a máxima diferença ($1,53^{\circ}\text{C}$) no horário das 12:30 horas, e a partir deste horário até as 17:00 horas (final do o trecho 2) as duas telhas apresentaram temperaturas internas semelhantes.

O Trecho 3 representou um período em que a incidência de radiação solar voltou a reduzir (como visto nas Tabelas 4 a 8 do tópico 4.1), fazendo com que a temperatura externa apresentasse uma queda de temperatura. Nesta situação é necessário que a estrutura de cobertura apresente capacidade de retenção de calor. Considerando o momento em que ocorre a queda mais brusca de temperatura externa (17:00 horas → 17:30 horas), a cobertura que apresentou a menor queda de temperatura foi a de Telhado Verde (com uma variação de temperatura de 3,19 °C), seguida pela cobertura de Telha Convencional (com uma variação de 3,77 °C) e, por último, a cobertura de Telha Ecológica (com uma variação de 3,95 °C). Os dados mostraram novamente a cobertura de Telhado Verde em destaque.

Com os valores médios de temperatura foi possível realizar análise da variação de temperatura no decorrer do dia para cada um dos tipos de cobertura (Tabela 10). Na Tabela 10, os “Valores Mínimos” representam os menores valores registrados nas respectivas coberturas e os “Valores Máximos” representam os maiores valores registrados nas respectivas coberturas. Com os valores máximos e mínimos foi possível obter a amplitude térmica de cada cobertura, representada pela “Variação” na Tabela 10.

A “amplitude térmica” ou “variação de temperatura” é a diferença da maior temperatura com a menor temperatura registrada pelo *data logger*, sendo que, quanto maior a amplitude térmica calculada, menor a capacidade da respectiva telha de isolar a transmissão de calor do ambiente interno para o ambiente externo, ou vice-versa. Coberturas que apresentam grande amplitude térmica, em geral, promovem uma mudança de temperatura mais violenta, tornando o interior do ambiente desconfortável, quando analisado o conforto térmico. Logo, quanto menor a amplitude térmica, melhor é o conforto térmico oferecido pela cobertura no ambiente interno da edificação.

Tabela 10 – Amplitude térmica

Tipos de Coberturas	Telha Ecológica	Telha Convencional	Telhado Verde
Valores mínimos (°C)	14,08	14,48	14,95
Valores máximos (°C)	27,98	31,49	26,92
Variação (°C)	13,90	17,01	11,96

Fonte: Elaboração própria

Com relação a variação da temperatura interna da célula-teste (Tabela 10), a cobertura verde apresentou a menor variação (amplitude térmica de 11,96 °C), seguida pela cobertura de telha ecológica (amplitude térmica de 13,90 °C) e pela cobertura de telha convencional de fibrocimento (amplitude térmica de 17,01 °C). A variação de temperatura é um importante fator

para proporcionar o conforto térmico no interior das edificações e, quanto menor for a variação registrada, melhor será a capacidade do conjunto da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes externos e internos.

Os dados coletados na etapa de teste e na execução do experimento também reforçaram a importância de uma ventilação adequada em uma edificação para proporcionar um conforto térmico adequado aos usuários. Considerando que a cobertura verde apresentou a falta de ventilação nos primeiros testes, a diferença de temperatura interna da célula-teste alcançou uma diferença de $10,03\text{ }^{\circ}\text{C}$, de acordo com as máximas temperaturas captadas pelo *Data Logger* nas etapas de teste e coleta de dados ($36,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ - protótipo sem a ventilação (etapa de teste) e $26,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ - protótipo com a ventilação (coleta de dados). Também vale ressaltar que a variação de temperatura relacionados aos dias com maior incidência de vento e aos dias com menor incidência de vento (tópico 4.1), proporcionou uma diferença da variação de temperatura de aproximadamente $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.3 Transmitância térmica

De acordo com a ABNT NBR 15220 (2003), os valores obtidos de transmitância térmica devem satisfazer o valor limite máximo de $2,30\text{ W/m}^2.K$ para a zona Bioclimática 2, que é a zona em que a cidade de Alegrete/RS pertence. Este valor limite não foi respeitado para os cálculos do projeto, já que para atendê-lo seria necessário aplicar correções como modificar as dimensões das células teste, projetar vedações (paredes, lajes, pisos e esquadrias) que atendam às exigências da ABNT NBR 15220 (2003), o que elevaria os custos para a pesquisa. Logo, os valores de transmitância térmica obtida através dos cálculos serão utilizados para a comparação entre os materiais.

Para todos os cálculos deste tópico foi utilizado o valor de Resistências térmicas das “n” câmaras de ar (Tabela 2) como sendo igual a zero (0). Este procedimento foi adotado devido à falta das câmaras de ar dentro da estrutura de cobertura. Também foram utilizados como padrão os valores de resistências superficiais externa e interna (respectivamente R_{se} e R_{si} , obtidas da Tabela 3) como sendo respectivamente $0,04\text{ W/m}^2.K$ e $0,17\text{ W/m}^2.K$.

4.3.1 Cálculo de transmitância térmica - Telha de Fibrocimento

Para os cálculos de transmitância térmica da telha de fibrocimento foram utilizados os dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados da telha de fibrocimento

e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	4	
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,004	
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,65	

Fonte: Elaboração própria

Para os cálculos foi utilizado a espessura da telha adquirida para o projeto que foi de quatro (4) milímetros e o coeficiente de condutividade de 0,65 especificado pela ABNT NBR 15220 (2003).

Utilizando as Equações 1 a 4, ao final dos cálculos foi obtido o valor de transmitância térmica (U) igual a 4,626 W/m². K.

4.3.2 Cálculo de transmitância térmica - Telha Ecológica

Durante a realização do experimento foi constatado que a telha ecológica selecionada para o experimento não apresentava os dados do coeficiente de condutividade. Durante a coleta de dados foram realizadas diversas tentativas de contato com o fabricante, sem sucesso. Por fim, foi informado que a empresa não divulga dados de desempenho térmico e acústico dos seus produtos. Paralelamente ao contato com o fornecedor foi realizada uma busca por referências bibliográficas. Alguns estudos realizados no Brasil (Savastano Jr. (1996) *apud* Lessa (2009)) concluíram que algumas telhas ecológicas feitas com diversas fibras possuem eficiência térmica semelhante ao da telha de fibrocimento. Em função do exposto foi considerada para a Telha Ecológica uma condutividade térmica correspondente a da telha de fibrocimento. A Tabela 12 apresenta os dados da Telha ecológica para os cálculos da transmitância térmica.

Tabela 12 – Dados da telha ecológica

e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	3	
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,003	
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,65	

Fonte: Elaboração própria

Para o cálculo de transmitância térmica foi considerado a espessura da telha ecológica de três (3) milímetros, correspondente as características da telha adquirida para o projeto. O valor do coeficiente de condutividade (λ), apresentado na Tabela 12, não representa o valor real

para a telha ecológica. Conforme já informado, a empresa produtora desse produto apesar de estampar a característica de baixa retenção de calor, não divulga os dados de desempenho térmico da telha. Em função do exposto, para este projeto será adotado para a telha ecológica de fibra vegetal o valor de coeficiente de condutividade térmica de $0,65 \text{ W/m.K}$. Para os cálculos de transmitância térmica (U) foram utilizados as Equações 1 a 4, sendo obtido o valor $4,659 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

4.3.3 Cálculo de transmitância térmica - Telhado Verde

Para os cálculos de transmitância térmica de um telhado verde foram considerados todas as espessuras das camadas com seus respectivos coeficientes de condutividade (W/m.K). Para esta pesquisa foram utilizados os dados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados telhado verde

Dados Madeira Compensada	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	12
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,012
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,12
Dados Manta Asfáltica	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	3
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,003
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,23
Dados Argila Expandida	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	50
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,005
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,16
Dados Manta Jeans (*)	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	0
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,000
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0
Dados Substrato	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	130
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,013
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,52
Dados Grama (*)	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	0
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,000
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0

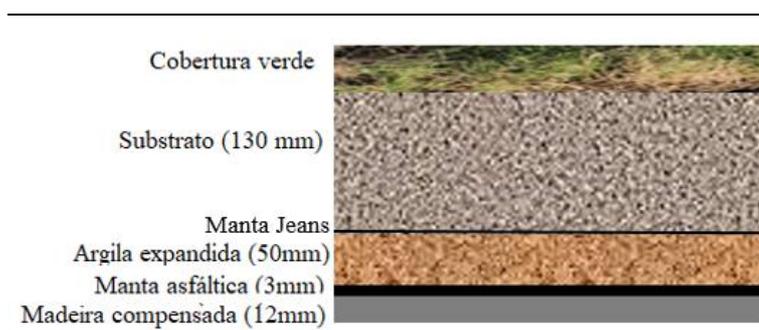
(*) *Dados não utilizados.*

Fonte: Elaboração própria

Algumas informações da Tabela 13 (“Dados Manta *Jeans*” e “Dados Grama”) não foram utilizados para o cálculo da transmitância térmica (U) da cobertura verde. Os dados da Manta *Jeans* não foram utilizados pelo fato desse material ter sido utilizado apenas como camada anti-raíz, com a função de servir como uma proteção mecânica contra o crescimento das raízes da grama segundo Ferraz (2012). Os dados da grama não foram utilizados para o cálculo devido a sua característica refletora, comprovada por Theodosiou (2003). Segundo o autor, a função da vegetação em uma estrutura de cobertura é de proteção solar através do sombreamento da superfície. No experimento realizado, Theodosiou (2003) observou que no período de verão uma cobertura com folhagem de baixa densidade não apresentou parâmetros de redução de temperatura natural, como apresentado pela cobertura com folhagem de alta densidade.

Para os cálculos de transmitância térmica (U) foram utilizadas as espessuras das camadas como foram montadas nas células-teste (Figura 40). Foi considerada para as respectivas camadas as espessuras de: madeira compensada com doze (12) milímetros, a manta asfáltica com três (3) milímetros, a argila expandida com cinquenta (50) milímetros e o substrato com cento e trinta (130) milímetros. Os valores do coeficiente de condutividade foram todos especificados pela ABNT NBR 15220 (2003).

Figura 40 – Composição das camadas da cobertura verde



Fonte: Elaboração própria

O cálculo da transmitância térmica (U) foi realizado de acordo com as Equações 1 a 4, sendo que, ao final dos cálculos, foi obtido o valor de $1,129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

A análise da média dos valores de temperatura das coberturas em três trechos distintos (apresentada no item 4.2) mostrou que a célula-teste de cobertura verde se destacou entre as demais coberturas, apresentando comportamentos que proporcionam um maior conforto térmico no interior da célula-teste em relação aos demais protótipos. Este fato pode ser justificado pelo resultado do cálculo de transmitância térmica, uma vez que a cobertura verde

apresentou a menor transmitância térmica ($U = 1,129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) entre as demais, sendo a única a se enquadrar dentro dos parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15220:2003. Segundo os critérios normativos, o valor de transmitância térmica deve satisfazer o valor limite máximo de $2,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para a zona Bioclimática 2, onde se localiza o município de Alegrete/RS.

4.4 Custo para a produção dos protótipos

Foi realizado a comparação de valores financeiros para a montagem das células-teste estudadas no projeto, como apresentado na Tabela 14, adotando-se como base valores de $0,25 \text{ m}^2$ de cobertura por célula-teste.

Tabela 14 – Custos da pesquisa

Estrutural de Madeira			
Chapas	R\$	202,90	
Ripas	R\$	4,80	
Total	R\$	207,70	
Custo da estrutura de madeira por protótipo (Célula-Teste)	R\$	69,23	
Telhado Verde			
Substrato + Argila Expandida (Camada de Drenagem)	R\$	68,00	
Manta Jeans (Camada de proteção anti-raízes)	R\$	35,00	
Manta Asfáltica (Camada Impermeabilizante)	R\$	36,80	
Protótipos de Madeira	R\$	69,23	
Total	R\$	209,03	48,01%
Telhado Fibrocimento			
Telha	R\$	20,00	
Protótipos de Madeira	R\$	69,23	
Total	R\$	89,23	20,49%
Telhado Ecológico			
Telha	R\$	67,90	
Protótipos de Madeira	R\$	69,23	
Total	R\$	137,13	31,50%
Gasto Total da Pesquisa fora encargos	R\$	435,40	100%

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 14 apresenta separadamente o custo total dos materiais utilizados para construção das células-teste. Os resultados mostram que o maior investimento foi aplicado para a execução do Telhado Verde, que apresentou um custo final de 48,01% do valor total do projeto. Na sequência, o segundo maior investimento foi utilizado para a construção do o telhado ecológico, com um custo de 31,50% e, por fim, o Telhado Fibrocimento, com um custo de 20,49% do valor total do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste projeto permitiu concluir que a seleção do material para o telhado e a escolha do tipo de cobertura a serem empregados têm importante contribuição para o conforto ambiental de uma edificação. Também foi observado que a ventilação tem uma influência relevante na temperatura interna de uma edificação, devendo sempre atender os parâmetros normativos vigentes.

Entre as coberturas investigadas e considerando o período em que os dados foram coletados e analisados, observou-se que as telhas ecológica e de fibrocimento não atenderam os padrões normativos. Ambas as telhas ultrapassaram de forma expressiva o valor limite máximo recomendado pela ABNT NBR 15220:2003 para a região. Por outro lado, a cobertura verde atendeu os parâmetros normativos. Outro ponto relevante a ser mencionado é que a cobertura verde apresentou a menor variação de temperatura interna no protótipo, indicando melhor capacidade do conjunto da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes externos e internos.

Além do exposto, a cobertura verde traz ainda como vantagem o aspecto estético para uma região, pois permite a possibilidade de execução de diferentes sistemas, variando entre um sistema com vegetações rasteiras como no telhado verde extensivo (utilizado nesta pesquisa) a até sistemas mais ricos contendo vegetações de grande porte (telhado verde intensivo) em locais que apresentam espaços limitados, como no centro de áreas comerciais, por exemplo. Em contrapartida a cobertura verde é o sistema mais caro dentre os sistemas de cobertura estudados neste projeto e é a que exige maior manutenção e cuidados executivos em relação aos demais telhados convencionais, chegando ao custo final de aproximadamente 50% do valor final deste projeto, conforme apresentado no tópico 4.4.

Em função do exposto, e com base nas análises realizadas, conclui-se que o protótipo com a cobertura verde foi o que proporcionou o maior conforto térmico entre os sistemas de cobertura selecionados para o estudo. A cobertura verde demonstrou ser a estrutura mais promissora a ser utilizada na região de Alegrete/RS, por proporcionar um conforto térmico dentro dos padrões exigidos, além de permitir uma redução com os gastos de energia elétrica.

No entanto, é importante ressaltar que os protótipos utilizados na pesquisa não foram testados com todos os seus elementos construtivos (forro, laje, paredes, revestimentos, pisos e esquadrias). Em função do exposto, os resultados devem ser vistos com cautela. Acredita-se que os desempenhos térmicos das coberturas com as telhas de fibrocimento e ecológica possam ser otimizados caso esses sistemas sejam testados com todos os elementos construtivos.

6 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Durante o desenvolvimento do trabalho e com a análise dos resultados, observou-se a importância do desenvolvimento de novos estudos sobre o tema explorado nessa pesquisa. Desse modo, são expostas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- I. Uma vez que os protótipos não foram testados com todos os seus elementos construtivos, sugere-se o desenvolvimento de um novo estudo com a inserção de outros elementos construtivos (forro, laje, paredes, revestimentos, pisos e esquadrias) nos protótipos. Espera-se que os desempenhos térmicos de protótipos com telhas de fibrocimento e ecológica possam ser otimizados;
- II. Reproduzir o mesmo estudo para as estações mais críticas (inverno e verão) para a cidade de Alegrete;
- III. Em função da dificuldade encontrada para a aquisição do coeficiente de condutividade ($W/m.K$) da telha ecológica do fabricante, sugere-se o estudo de caracterização de diversas telhas ecológicas existentes no mercado;
- IV. Estudar as diferentes formas de cobertura verde, comparar os custos benefícios e aplicações (Extensiva, Semi-intensiva e Intensiva);
- V. Visto que os sistemas de cobertura estudados neste projeto exigem maior manutenção e cuidados executivos em relação aos demais telhados convencionais, chegando ao custo final de aproximadamente 50% do valor final deste projeto, seria interessante uma análise de viabilidade econômica considerando a economia gerada com o não uso do ar condicionado, para verificar se o valor investido é recuperado;
- VI. Sugere-se realizar o mesmo estudo com a elaboração de mais de 1 protótipos do mesmo modelo, objetivando a chance de realizar análises mais refinadas como análises estatísticas.
- VII. Sugere-se o mesmo estudo com protótipos com dimensões maiores e um cuidado maior com pintura das laterais para diminuir influência da radiação em outros elementos como a parede.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais, Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**, 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA., 1997.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**, 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, 2012.

BARBOSA, Elisabeti de Fátima Teixeira. **Conforto térmico e consumo de energia em ambientes de um supermercado de médio porte**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Campinas, 2013.

BORGES, Leonardo. Telhas recicladas de embalagens tetra pak. **AUTOSSUSTENTAVEL**. Rio de Janeiro, 15 de jul. 2017. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2017/11/telhas-tetra-pak.html>. Acesso em: 19 de jul. 2020.

BRASILIT. **Telhas de Fibrocimento**. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.brasilit.com.br/busca-produtos?fac%5B0%5D=categoria%3A8&arg_0=. Acesso em: 14 de jul. 2020.

CAMPISMO. **Alegrete, Mapa do município e Região**. Alegrete, 2009. Disponível em: https://campismo.com.br/_CidadesC/RS-alegrete_m.htm. Acesso em 26 de jul. 2020.

CARDOSO, Francisco Ferreira. Coberturas em telhados: Notas de aula. **PCC 436 – Tecnologia da Construção de Edifícios II**. São Paulo: USP, 2000. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075801/mod_resource/content/1/Apostila_Cobertura.pdf. Acesso em: 24 de ago. 2020.

CASTLETON, Holly Faye et al. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and buildings**, v. 42, n. 10, p. 1582-1591, 2010.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, The World Factbook. Country Comparisons – Electricity – production, 2016. **Washington DC: Central Intelligence Agency**, 2016. Disponível em: <<https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/electricity-production/country-comparison>>. Acesso em: 06 de jul. 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA – CRESESB. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acessado em: 02 de ago. 2021

COUTINHO, Anderson Luiz Machado. **Telhados de Edificações Habitacionais**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2018.

CONFIBRA. **Manual de Instalação telhas fibrocimento**. Hortolândia, 2020. Disponível em: <https://confibra.com.br/wp-content/uploads/2020/02/manual-instalacao-telhas-fibrocimento.pdf>. Acesso em: 14 de jul. 2020.

CORRENT, Luan; LEHMANN, Priscila. TELHADO VERDE:DA BABILÔNIA AOS DIAS ATUAIS. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVII, Nº. 000107, 17/04/2017. Disponível em: <http://semanaacademica.com.br/artigo/telhado-verde-da-babilonia-aos-dias-atuais>. Acessado em: 02 de ago. 2021

EPE – EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (nacional)**. Escritório no Rio de Janeiro e Sede em Brasília, 2018.

FERRAZ, Iara Lima. **O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha Cerâmica**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Paulo, 2012.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis. **IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, v. 4, p. 1027-1036, 2007.

FINKLER, Alessandro et al. Relação do Crescimento Econômico e Consumo de Energia Elétrica. **XXIV Seminário de Iniciação Científica da Unijuí**, 2016.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2001.

FONTES, Ruy. **Energia Renovável no Brasil: Uso Atual nas Usinas e na Geração Pelos Consumidores**. Ribeirão Preto: Blues Sol Energia Solar, 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-renovavel-no-brasil/>. Acesso em: 12 de jun. 2020.

GEHARD, Gabriel Lazzeri; BERGMANN, Ana Claudia. **O Estudo De Viabilidade De Implantação De Telhado Verde, Abordando Diferentes Estilos Construtivos Do Telhado Verde**. 2018. Trabalho Final de Curso (Graduação) – Universidade Paranaense. Toledo, 2018.

GONZAGA, Carlos Alberto Marçal. Marketing verde de produtos florestais: teoria e prática. **Floresta**, v. 35, n. 2, 2005.

GRUPO AÇO CEARENSE. **Confira os principais tipos de telhas metálicas e suas aplicações.** Fortaleza: Grupo Aço Cearense, 2018, Disponível em: <http://www.grupoacocearense.com.br/blog/abrindo-o-negocio/confira-os-principais-tipos-de-telhas-metalicas-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 02 de ago. 2021.

HENEINE, Maria Cristina de Souza Almeida. **Cobertura Verde.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Civil - Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

CARPENTER, Sidonie. Green roofs and vertical gardens. **International Specialised Skills Institute, Melbourne (ISS Institute) Melbourne, Australia**, v. 48, p. 2008.

JADOVSKI, Iuri. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Profissionalizante) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2005.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2000.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando OR. Eficiência Energética na Arquitetura (3ª EDIÇÃO). ANO: 2014. **Editora: ELETROBRAS/PROCEL.**

LESSA, MLS. **Critérios de Sustentabilidade Para Elementos Construtivos: um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola de Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2009.

LOPES, Daniela Arantes Rodrigues. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura.** 2007. Dissertação (Mestre em Ciências em engenharia ambiental. Universidade de São Paulo. 2007.

MAGALHÃES, Rhaych Jordan. **Desempenho térmico de telhas: Um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.

MENTENS, Jeroen; RAES, Dirk; HERMY, Martin. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. **Landscape and urban planning**, v. 77, n. 3, p. 217-226, 2006.

GERNOT, Minke. Techos verdes: Planificacion, ejecución, consejos practicos. **Fin de Siglo. Montevideo**, p., 2004.

ONDULINE. **Partes de um telhado**. Juiz de Fora: Onduline Industrial do Brasil, 20--. Disponível em: <https://br.onduline.com/pt-br/consumidor/faq/glossario/partes-de-um-telhado>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

ONDULINE. **Telha Ecológica Onduline Clássica**. Juiz de Fora: Onduline Industrial do Brasil, 20--. Disponível em: <https://br.onduline.com/pt-br/consumidor/produtos/telha-ecologica-onduline-classica>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

PANNO, Patricia. **Tecnologias de arrefecimento térmico em telhados para condicionamento ambiental**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

PÉREZ, Gabriel et al. Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material. *Applied energy*, v. 97, p. 347-354, 2012.

PERUSSI, Rafael. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataformas de teste**. 2017. Dissertação (Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

POSITIVO TECNOLOGIA. **Descubra como reduzir o consumo de energia em grandes empresas**. Curitiba: Positivo Tecnologia S/A, 2019. Disponível em: <https://www.meupositivo.com.br/panoramapositivo/consumo-de-energia-em-grandes-empresas/>. Acesso em: 12 de jun. 2020.

RIBEIRO, Luciana Pagnano. **Conforto térmico e a prática do projeto de edificações: Recomendações para Ribeirão Preto**. 2008. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SAINT – GOBAIN. **Brasilit: Mitos e Verdades do Fibrocimentos**. São Paulo: Saint-Gobain do Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/en/node/5731>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

SILVEIRA, Francisco Massucci et al. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55**. 2014. Dissertação (Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

SOUSA, Fernanda. **Os diferentes tipos de telhas, suas vantagens e desvantagens**. São Paulo: Moura Leite Loteamentos, 2019. Disponível em: <https://www.mouraleite.com.br/blog/noticias/os-diferentes-tipos-de-telhas-suas-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

SUSTENTARQUI. **Telha Reciclada de Tubos de Creme Dental**. 2012. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/materiais/telha-reciclada-de-tubos-de-creme-dental/>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

THEODOSIOU, Theodore G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and buildings**, v. 35, n. 9, p. 909-917, 2003.

Derek Townshend. (2007). Study on Green Roof Application in Hong Kong, **Final Report**, p. 77-81, 100-104.

VIVA DECORA. **Telha Ecológica: O que é, Materiais, Vantagens e Mais**. São Paulo: Viva Decora, 2020. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/telha-ecologica/>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

VIVAGREEN. **Telha ecológica**. Brasil, 2017. Disponível em: <https://vivagreen.com.br/greenarq/telha-ecologica7570/>. Acesso em: 15 jul. 2020.

VIANA, Andressa Jordana Abreu; ARRUDA, Ricardo Augusto Da Silva. **A eficácia do telhado verde na redução e retardo do escoamento superficial**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2017.

VOITILLE, Nadine. **Telhas Ecológicas**. Curitiba: Clique Arquitetura, 2012. Disponível em: <https://www.cliquearquitetura.com.br/iLnNN/public/artigo/telhas-ecologicas.html>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – BRAZIL. **Aquecimento global: desastres piores podem ser evitados**, 2007. Brasília, 2007. Disponível em: https://www.wwf.org.br/informacoes/?uNewsID=6920&gclid=Cj0KCQiAwf39BRCCARIsALXWETxlObdvbp2kp-nLuzR5OaEmZw7c2yxvVCitj8M-S1tauV3nnt0nMXYaAvDgEALw_wcB. Acesso em 26 de jul. 2020.

ANEXO A – Tabelas Excel dos respectivos dias de coleta de dados

Apresentação das tabelas utilizadas no software Excel com os valores de leituras registradas pelo *Data Logger* nos respectivos dias de coleta de dados.

Tabela A1 – Leituras dia 19/04/2020

Scan	Período	101 - Temp. Sup.	102 - Temp. Central	103 - Temp. Sup.	104 - Temp. Central	105 - Temp. Sup.	106 - Temp. Central
1	19/4/2021 10:08:28:756	25,07	25,03	26,67	26,55	30,41	29,33
2	19/4/2021 10:38:28:740	27,57	27,39	30,53	30,02	32,90	31,30
3	19/4/2021 11:08:28:740	27,01	26,79	29,55	29,77	32,17	31,02
4	19/4/2021 11:38:28:740	28,29	28,33	31,51	30,66	33,23	32,07
5	19/4/2021 12:08:28:740	30,14	29,90	34,17	32,48	35,02	33,71
6	19/4/2021 12:38:28:740	30,40	30,49	34,47	32,37	35,10	34,13
7	19/4/2021 13:08:28:740	31,95	32,07	37,26	35,04	36,15	35,00
8	19/4/2021 13:38:28:740	32,80	32,94	38,39	36,04	37,23	35,66
9	19/4/2021 14:08:28:740	32,31	32,55	37,13	35,21	36,95	35,50
10	19/4/2021 14:38:28:740	31,98	32,54	36,63	34,86	36,61	35,17
11	19/4/2021 15:08:28:740	31,76	32,06	35,69	33,64	36,42	34,63
12	19/4/2021 15:38:28:740	31,04	30,80	34,29	32,38	36,27	34,09
13	19/4/2021 16:08:28:740	32,02	32,25	35,34	33,00	36,54	34,22
14	19/4/2021 16:38:28:740	30,10	29,93	33,22	31,12	35,78	33,72

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A2 – Leituras dia 20/04/2020

Scan	Período	101 - Temp. Sup.	102 - Temp. Central	103 - Temp. Sup.	104 - Temp. Central	105 - Temp. Sup.	106 - Temp. Central
1	20/4/2021 10:00:29:837	24,10	24,31	26,96	27,95	30,57	29,18
2	20/4/2021 10:30:29:837	26,98	26,99	30,40	30,15	32,78	31,35
3	20/4/2021 11:00:29:837	26,50	26,07	29,66	29,80	32,31	31,11
4	20/4/2021 11:30:29:837	28,51	28,23	32,07	31,77	33,49	31,97
5	20/4/2021 12:00:29:837	30,10	29,82	34,54	32,86	34,36	32,83
6	20/4/2021 12:30:29:837	29,84	29,67	35,04	33,26	35,33	33,64
7	20/4/2021 13:00:29:837	32,24	32,42	37,58	34,70	35,94	34,90
8	20/4/2021 13:30:29:837	31,07	31,15	36,06	34,35	36,57	34,89
9	20/4/2021 14:00:29:837	32,10	32,58	37,13	34,71	36,95	35,29
10	20/4/2021 14:30:29:837	32,52	32,26	37,74	34,08	37,26	35,58
11	20/4/2021 15:00:29:837	31,93	31,84	36,05	33,19	36,71	34,91
12	20/4/2021 15:30:29:837	33,13	33,22	36,83	33,25	37,16	35,01
13	20/4/2021 16:00:29:837	31,07	30,86	34,50	31,51	36,45	34,17
14	20/4/2021 16:30:29:837	30,65	30,57	33,70	31,38	36,55	34,43

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A3 – Leituras dia 11/05/2020

Scan	Horário	Telha Ecológica		Telha Convencional		Telhado Verde		
		101 - Temp. S	102 - Temp. Central	103 - Temp. S	104 - Temp. Central	105 - Temp. S	106 - Temp. Central	107 - Temp. S
1	09:13:09	12,37	12,37	12,16	12,26	11,91	11,94	11,84
2	09:43:09	14,11	14,20	14,00	13,83	13,43	13,41	14,19
3	10:13:09	15,79	15,91	15,79	15,43	15,30	14,87	16,20
4	10:43:09	18,14	18,36	18,88	18,52	16,97	16,73	17,37
5	11:13:09	17,70	18,05	19,05	18,89	16,73	16,52	16,58
6	11:43:09	16,62	16,91	17,80	17,65	16,05	16,06	16,16
7	12:13:09	18,00	18,31	19,39	19,18	16,92	16,76	18,16
8	12:43:09	19,97	20,44	22,85	22,44	18,28	18,16	18,29
9	13:13:09	19,65	20,08	22,72	22,27	18,41	18,37	18,41
10	13:43:09	18,36	18,91	20,71	20,36	18,09	17,67	16,75
11	14:13:09	17,79	18,33	20,14	19,74	17,39	17,06	16,75
12	14:43:09	18,49	18,75	20,46	20,11	17,52	17,47	17,60
13	15:13:09	17,39	17,73	18,88	18,63	17,17	16,58	16,32
14	15:43:09	17,07	17,36	18,88	18,63	16,51	16,38	15,75
15	16:13:09	17,88	18,05	19,65	18,42	17,10	16,90	16,63
16	16:43:09	19,32	19,19	21,29	20,18	17,51	17,20	17,04
17	17:13:09	17,36	17,28	19,37	18,66	16,97	16,75	15,11

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A4 – Leituras dia 13/05/2020

Scan	Horário	Telha Ecológica		Telha Convencional		Telhado Verde		
		101 - Temp. S	102 - Temp. Central	103 - Temp. S	104 - Temp. Central	105 - Temp. S	106 - Temp. Central	107 - Temp. E
1	09:24:17	13,80	12,86	14,13	13,87	14,72	13,93	17,14
2	09:52:42	18,46	17,19	17,05	16,31	18,48	17,79	14,50
3	10:22:42	18,86	19,11	19,72	18,18	20,68	17,83	16,46
4	10:52:42	22,02	20,99	22,95	20,64	21,88	21,46	19,12
5	11:22:42	24,50	24,16	25,96	24,23	22,98	22,37	19,55
6	11:52:42	27,36	26,99	29,22	27,35	25,16	24,61	20,90
7	12:22:42	26,54	26,63	30,85	29,15	26,00	25,22	22,51
8	12:52:42	30,84	30,09	33,68	31,44	28,31	26,91	22,74
9	13:22:42	31,61	30,40	33,69	31,54	29,98	28,82	23,36
10	13:52:42	27,10	27,21	32,47	30,53	28,21	27,33	22,89
11	14:22:42	28,11	29,38	33,71	32,09	28,52	26,86	22,21
12	14:52:42	28,28	28,04	32,72	31,08	28,36	27,68	23,30
13	15:22:42	27,99	27,95	31,77	30,38	26,28	26,68	22,81
14	15:52:42	25,41	25,60	28,84	27,75	25,00	25,04	21,87
15	16:22:42	24,61	24,42	26,82	25,71	23,31	23,15	21,98
16	16:52:42	19,60	19,63	21,10	21,08	22,36	22,08	17,19
17	17:22:42	17,12	17,32	17,86	17,80	20,32	19,30	13,19

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A5 – Leituras dia 14/05/2020

Scan	Horário	Telha Ecológica		Telha Convencional		Telhado Verde		
		101 - Temp. S	102 - Temp. Central	103 - Temp. S	104 - Temp. Central	105 - Temp. S	106 - Temp. Central	107 - Temp. E
1	09:28:15	10,23	10,26	10,61	10,44	10,90	10,70	10,96
2	09:58:15	13,31	13,25	14,05	13,50	13,49	13,02	13,39
3	10:28:15	15,78	16,17	17,38	16,45	16,20	15,62	15,31
4	10:58:15	20,92	20,90	23,08	21,41	19,20	19,11	18,49
5	11:28:15	20,15	20,73	23,49	21,50	19,17	18,74	19,21
6	11:58:15	22,10	22,46	26,05	23,63	20,09	19,72	19,94
7	12:28:15	25,32	25,56	29,62	27,54	23,44	23,02	21,57
8	12:58:15	26,96	27,36	32,13	30,22	24,83	24,37	22,60
9	13:28:15	29,12	29,34	33,94	32,07	27,36	26,94	24,57
10	13:58:15	30,08	30,05	34,32	32,31	27,33	27,33	23,74
11	14:28:15	30,16	29,99	33,73	32,46	30,17	27,65	24,13
12	14:58:15	31,20	30,50	33,55	31,84	29,38	28,51	24,58
13	15:28:15	31,58	30,80	32,88	30,88	30,40	28,77	24,16
14	15:58:15	27,51	27,57	30,05	28,57	26,55	24,82	23,02
15	16:28:15	26,93	27,15	29,13	27,64	26,66	26,07	22,74
16	16:58:15	26,88	26,40	27,97	26,70	26,93	26,05	21,73
17	17:28:15	20,17	20,28	22,76	22,22	24,26	23,23	18,15

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A6 – Leituras dia 17/05/2020

Scan	Horário	Telha Ecológica		Telha Convencional		Telhado Verde		
		101 - Temp. S	102 - Temp. Central	103 - Temp. S	104 - Temp. Central	105 - Temp. S	106 - Temp. Central	107 - Temp. E
1	09:23:56	19,75	19,35	19,87	19,23	20,86	19,50	18,05
2	09:53:56	23,63	22,19	22,70	21,47	24,10	22,82	20,53
3	10:23:56	26,10	25,00	24,88	23,19	25,73	23,92	24,40
4	10:53:56	23,73	23,72	25,00	23,48	24,68	22,96	22,54
5	11:23:56	26,66	25,92	28,40	26,81	26,03	24,46	23,17
6	11:53:56	28,75	28,70	30,91	29,36	28,25	26,28	24,36
7	12:23:56	30,90	29,66	33,05	30,82	29,33	27,50	24,05
8	12:53:56	29,69	30,47	33,69	32,29	29,93	26,41	23,79
9	13:23:56	30,45	30,14	33,98	31,49	30,35	28,84	24,81
10	13:53:56	29,88	29,51	33,93	31,38	31,59	29,12	24,46
11	14:23:56	29,61	30,13	34,37	31,39	31,81	29,27	23,97
12	14:53:56	29,14	29,25	33,43	30,85	31,45	30,46	23,92
13	15:23:56	29,76	30,32	32,92	30,42	31,71	30,24	23,97
14	15:53:56	28,55	29,22	31,47	29,58	30,00	28,10	23,59
15	16:23:56	27,04	27,46	30,38	28,19	28,95	27,82	22,02
16	16:53:56	24,72	24,43	26,81	25,73	27,25	26,45	21,98
17	17:23:56	22,47	22,26	24,55	23,66	26,56	25,04	19,39

Fonte – Acervo do Autor

Tabela A7 – Leituras dia 18/05/2020

Scan	Horário	Telha Ecológica		Telha Convencional		Telhado Verde		
		101 - Temp. S	102 - Temp. Central	103 - Temp. S	104 - Temp. Central	105 - Temp. S	106 - Temp. Central	107 - Temp. F
1	09:37:48	14,25	14,16	15,62	15,00	16,37	16,16	14,10
2	10:07:48	16,79	16,73	18,13	17,35	19,69	18,98	16,62
3	10:37:48	20,36	20,86	22,14	20,97	19,99	19,65	17,63
4	11:07:48	25,15	23,64	25,48	23,41	22,46	22,06	20,86
5	11:37:48	26,33	26,21	28,91	27,11	24,09	23,77	22,23
6	12:07:48	25,99	26,41	30,04	28,70	24,50	23,27	22,05
7	12:37:48	27,46	27,76	31,92	29,97	24,87	24,56	22,55
8	13:07:48	28,85	29,18	33,02	31,27	27,54	24,15	23,44
9	13:37:48	29,06	29,09	33,10	31,47	27,80	25,73	22,93
10	14:07:48	27,90	28,95	33,59	31,56	27,52	25,37	22,18
11	14:37:48	27,02	27,38	31,25	29,62	25,50	25,69	23,63
12	15:07:48	27,65	28,05	32,34	30,46	27,86	27,14	23,41
13	15:37:48	27,40	27,67	30,27	29,21	27,20	25,63	22,49
14	16:07:48	27,11	27,15	29,00	27,57	27,12	25,79	22,56
15	16:37:48	26,54	26,81	28,50	27,08	26,55	25,44	21,06
16	17:07:48	24,65	24,89	26,44	25,39	26,63	25,26	20,48
17	17:37:48	18,31	18,59	20,21	19,94	22,71	21,86	16,63

Fonte – Acervo do Autor

ANEXO B – Tabelas Excel com Cálculos para Transmitância Térmica (U)

Tabelas do software Excel contendo os cálculos para a obter os valores de Transmitância Térmica (U) para cada célula-teste.

Tabela B1 – Cálculo Telha de Fibrocimento

Telha de Fibrocimento			
Dados		R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,006
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	4	$Rt1, Rt2, \dots, Rtn$ - Resistências térmicas (R) das "n" camadas	0,006
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,004	$Rar1, Rar2, \dots, Rarn$ - Resistências térmicas das "n" câmaras de ar, obtidas da Tabela 2	0
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,65	Rt - Resistência térmica de superfície a superfície ($m^2.K/W$)	0,006
		Rse e Rsi - Resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da Tabela 3	
		Rse ($m^2.K/W$)	0,04
		Rsi ($m^2.K/W$)	0,17
		RT - Resistência térmica de ambiente a ambiente ($m^2.K/W$)	0,216
		U - Transmitância térmica ($W/m^2.K$)	4,626

Fonte – Acervo do Autor

Tabela B2 – Cálculo Telha Ecológica de Fibra Vegetal

Telha Ecológica de Fibra Vegetal			
Dados		R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,005
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	3	$Rt1, Rt2, \dots, Rtn$ - Resistências térmicas (R) das "n" camadas homogêneas	0,005
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,003	$Rar1, Rar2, \dots, Rarn$ - Resistências térmicas das "n" câmaras de ar, obtidas da Tabela 2	0
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,65	Rt - Resistência térmica de superfície a superfície ($m^2.K/W$)	0,005
		Rse e Rsi - Resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da Tabela 3	
		Rse ($m^2.K/W$)	0,04
		Rsi ($m^2.K/W$)	0,17
		RT - Resistência térmica de ambiente a ambiente ($m^2.K/W$)	0,215
		U - Transmitância térmica ($W/m^2.K$)	4,659

Fonte – Acervo do Autor

Tabela B3 – Cálculo Telhado Verde

Telhado Verde			
Dados Madeira Compensada		R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,100
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	12	R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,013
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,012	R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,313
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,12	R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,000
Dados Manta Asfáltica		R - Resistência térmica ($m^2.K/W$)	0,250
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	3	$Rt1, Rt2, \dots, Rtn$ - Resistências térmicas (R) das "n" camadas homogêneas	0,000
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,003	$Rar1, Rar2, \dots, Rarn$ - Resistências térmicas das "n" câmaras de ar, obtidas da Tabela 2	0,676
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,23	Rt - Resistência térmica de superfície a superfície ($m^2.K/W$)	0
Dados Argila Expandida		Rse e Rsi - Resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da Tabela 3	0,676
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	50	Rse ($m^2.K/W$)	0,04
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,050	Rsi ($m^2.K/W$)	0,17
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,16	RT - Resistência térmica de ambiente a ambiente ($m^2.K/W$)	0,886
Dados Manta Jeans		U - Transmitância térmica ($W/m^2.K$)	1,129
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	0		
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,000		
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0		
Dados Substrato			
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	130		
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,130		
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0,52		
Dados Grama			
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	0		
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,000		
λ - Coeficiente de condutividade ($W/m.K$)	0		

Fonte – Acervo do Autor