

THAYARA LETÍCIA TONIETTO

TELHADO VERDE E TELHADO FRIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES  
PARA A REDUÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE EM  
CONSTRUÇÕES NA CIDADE DE CASCAVEL NO OESTE DO  
ESTADO DO PARANÁ

CASCAVEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO – 2021

THAYARA LETÍCIA TONIETTO

TELHADO VERDE E TELHADO FRIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES  
PARA A REDUÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE EM  
CONSTRUÇÕES NA CIDADE DE CASCAVEL NA REGIÃO OESTE DO  
ESTADO DO PARANÁ

Trabalho apresentado à Universidade Estadual do  
Oeste do Paraná, como parte das exigências do  
Exame de Defesa do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Energia na Agricultura - Mestrado  
Orientador: Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira

CASCAVEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Tonietto, Thayara Letícia

Telhado verde e telhado frio e suas contribuições para a redução da temperatura ambiente em construções na cidade de Cascavel no oeste do estado do Paraná / Thayara Letícia Tonietto; orientador(a), Jair Antônio Cruz Siqueira, 2021. 72 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Telhado Frio. 2. Telhado Verde. 3. Conforto térmico. I. Siqueira, Jair Antônio Cruz. II. Título.

THAYARA LETÍCIA TONIETTO

Telhado verde e telhado frio e suas contribuições para a redução da temperatura ambiente em construções na região do Oeste do Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Jair Antonio Cruz Siqueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Hitomi Mukai  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Fulvio Natércio Feiber  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Cascavel, 25 de fevereiro de 2021

*“E estou convencido de que nem morte nem vida, nem anjos nem demônios, nem o que existe hoje nem o que virá no futuro, nem poderes, nem altura, nem profundidade, nada, em toda a criação, jamais poderá nos separar do amor de Deus revelado em Cristo Jesus, nosso Senhor.”*  
*Romanos 8:38-39*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço àquele que é o primeiro e último em minha vida, meu futuro e passado, Deus, meu Pai Amoroso, que tem me sustentando ao longo desses anos, que nunca me abandonou, que sempre preencheu minha alma com sua paz e seu infinito amor. Ainda não entendo como pode me amar tanto assim. Obrigada, Aba!

Agradeço ao meu marido, Marcos Aurélio Birck Junior, antes de mais nada, meu melhor amigo. Com seu riso sincero, seu bom humor que tanto me animou durante essa jornada, você é um pedaço do céu para mim, não conseguiria sem ti. Eu te amo.

Aos meus queridos pais, Vito e Genoefa Tonietto, que tanto me apoiaram, mesmo diante de muitas dificuldades, me ajudando em todos os sentidos. Sem vocês, com certeza eu não seria quem sou hoje. Espero lhes retribuir em breve. À minha irmã, Quezia Tonietto, você é meu raio de sol, com sua espontaneidade torna minha vida mais leve.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira, por confiar em mim; suas ideias, questionamentos, apontamentos foram essenciais para a realização desse trabalho. Sua didática, alegria, conversas contagiantes, não existindo tristeza ao seu lado, sendo tudo isso, com certeza, de grande importância ao longo desse processo. Agradeço aos professores Dr. Hitomi Mukai, Dr. Fúlvio Feiber, Dr. Silmara Dias Feiber, participantes da banca como membros, os quais, através de suas observações contribuíram para complementar essa pesquisa.

Agradeço aos amigos que fiz durante essa jornada na Unioeste, com suas risadas e apoio tornaram tudo mais leve. Agradeço ao Matheus Schmidt, por toda atenção e respostas às minhas dúvidas e aos questionamentos. Agradeço a Marcelo Zampiva por todo apoio e auxílio na montagem dos equipamentos, sempre à disposição. Agradeço ao Gilson Debastiani, pelo fornecimento dos dados de temperatura ambiente.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da transferência de calor em superfícies opacas de um modelo de cobertura .....	10
Figura 2: Possíveis camadas componentes de coberturas verdes .....	15
Figura 3: Esquema dos diferentes tipos de cobertura verdes .....	16
Figura 4: O efeito da refletância nas coberturas "frias" e convencionais .....	19
Figura 5: Localização da instalação dos protótipos .....	27
Figura 6: Desenho 3D dos protótipos .....	28
Figura 7: Desenho 3D dos protótipos .....	28
Figura 8: Três protótipos de pinus instalados na Unioeste, na cidade de Cascavel-PR .....	28
Figura 9 Impermeabilizante para Telhas e Lajes 3,6 litros da marca Hydronorth .....	29
Figura 10: Grama Esmeralda .....	29
Figura 11: Plantas de cobertura com dimensões dos protótipos com cobertura de telha de fibrocimento e telhado verde .....	30
Figura 12 Plantas de cobertura com dimensões dos protótipos com cobertura de telha de fibrocimento e telhado verde .....	30
Figura 13: Protótipos montados na Unioeste em Cascavel – PR .....	30
Figura 14: Protótipos montados na Unioeste em Cascavel – PR .....	30
Figura 15: Corte esquemático protótipo telhado de fibrocimento .....	31
Figura 16: Corte esquemático protótipo telhado verde .....	31
Figura 17: Corte esquemático com as camadas componentes do telhado verde .....	32
Figura 18: Camadas da montagem do protótipo do telhado verde .....	32
Figura 19: Camadas da montagem do protótipo do telhado verde.....	32
Figura 20: Camadas da montagem do protótipo do telhado verde.....	33
Figura 21: Camadas da montagem do protótipo do telhado verde.....	33
Figura 22: Camadas da montagem do protótipo do telhado verde .....	33
Figura 23: Termopar tipo J .....	34
Figura 24: Datalogger Campbell Scientific CR1000 .....	35
Figura 25: Gráfico com o monitoramento diário da temperatura do ambiente externo no período de 60 dias .....	37
Figura 26: Gráfico com a Umidade relativa do ar (UR) para os telhados analisados, obtido através das temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido .....	38

Figura 27: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas e do ambiente .....	39
Figura 28: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas do protótipo testemunha e da temperatura do ambiente .....	40
Figura 29: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas do protótipo telhado frio x telhado verde .....	41
Figura 30: Gráfico da maior média registrada do período avaliado, 25 de novembro de 2020 .....	42
Figura 31: Gráfico da variação de temperatura da maior média diária do período avaliado, 25 de novembro de 2020 .....	44
Figura 32: Gráfico da menor média registrada do período avaliado, 06 de dezembro de 2020 .....	45
Figura 33: Gráfico da variação de temperatura da menor média diária do período avaliado, 06 de dezembro de 2020 .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) .....	39
Tabela 2: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) .....	42
Tabela 3: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia mais quente do período avaliado .....	45
Tabela 4: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia com a menor temperatura do período avaliado .....	47

TONIETTO, Thayara. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2021.  
**Telhado verde e telhado frio e suas contribuições para a redução da temperatura ambiente em construções na cidade de Cascavel no Oeste do estado do Paraná.**  
Orientador: Dr. Jair Antônio Siqueira Cruz.

## RESUMO

Desde a Era Industrial, a energia desempenha um papel fundamental na sociedade, movimentando sistemas e equipamentos. Com aumento da sua utilização, ela tem se tornado mais cara e insuficiente. Assim, estratégias de várias maneiras vêm sendo desenvolvidas para minimizar seu uso, mas sem perder a qualidade ofertada, principalmente na construção civil. Como o telhado é um dos maiores elementos das edificações que recebe radiação solar diretamente e praticamente o dia todo, alternativas para a diminuição dessas cargas térmicas são relevantes, pois logo diminuem as temperaturas internas das edificações, conseqüentemente reduzindo o consumo elétrico. Por exemplo, técnicas como o uso de telhados verdes e telhados frios em coberturas são cada vez mais estudadas e aplicadas nas construções civis. Almejou-se então avaliar e comparar nesse trabalho essas duas estratégias, telhados verdes e telhados refletivos, com foco no conforto ambiental, através da análise de 3 protótipos, os quais foram instalados no município de Cascavel-PR. Sendo 1 protótipo com telhado verde, 1 protótipo com telha de fibrocimento e tinta térmica branca aplicada, e 1 protótipo com telha de fibrocimento convencional sem tratamento, que serve como testemunha. Foram avaliadas as temperaturas internas e externas dos protótipos através de sensores e suas perdas para o meio ao longo do dia e da noite ao longo de 60 dias. Posteriormente os dados foram lançados no software Sisvar 5.6, para comparação das médias entre os tratamentos com teste Tukey a 5% de probabilidade. As médias de temperaturas do protótipo do telhado frio e verde foram iguais, porém menores do que aquelas do protótipo testemunha; já a umidade do telhado verde obteve um resultado mais satisfatório. Assim, devido aos altos custos de implantação de um telhado verde, o telhado frio é uma opção para edificações rurais.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

**PALAVRAS-CHAVE:** Telhados frios; telhado verde; conforto térmico.

Tonietto, Thayara, West Paraná State University, February 2021. **Green roof and cold roof and their contributions to the reduction of the ambient temperature in buildings in the city of Cascavel, western Paraná State.** Adviser: Dr. Jair Antônio Siqueira Cruz.

## **ABSTRACT**

Since the industrial era, energy has played a fundamental role in our society, moving systems and equipment. As its usage increased, it has become pricier and insufficient. Thus, various and different ways of strategies have been developed so to minimize its use, not losing the offered quality, tough, mainly in building sector. Since the roof is one of the most important elements of constructions receiving solar radiation directly and nearly all day long, alternatives made to minimize those thermal loads are relevant, since they diminish the internal temperatures inside the buildings, consequently diminishing the energy consumption. For instance, some techniques such as green roofs and cold roofs in roof coverings have been more and more studied and applied in building industry. Thus, the present work aimed evaluating and comparing those two strategies, green roofs and reflexive roofs, whose focus was in the ambience comfort, by analyzing the 3 prototypes, which will be installed in the city of Cascavel, Paraná Sate. One of the prototypes is green, one made of fiber-cement tile and thermal white paint, one made of conventional fiber-cement tile with no treatment, which is a witness. We will evaluate the internal and external temperatures of the prototypes through sensors as well as their losses towards the ambience along day and night. Subsequently, the data will be inserted in the software Sisvar 5.6 for comparing the average among the treatments, with Tukey test at 5% of probability. The mean temperatures of the prototype of the cold and green roofs were equal and lower than the control prototype, whereas the moisture of the green roof obtained a more satisfactory result. Thus, due to the high costs of implementing a green roof, the cold roof is an option for rural buildings.

The present work was done with the Coordination of Improvement of Upper Level Personnel support - Brazil (CAPES)- Financing code 001

**KEYWORDS:** Cold roof; green roof; thermal comfort.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>01</b>
1.1 Objetivos .....	02
1.1.2 Objetivo geral .....	02
1.1.3 Objetivos específicos .....	02
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>03</b>
2.1 Conforto térmico .....	03
2.2 Efeito da temperatura no conforto térmico .....	05
2.3 Efeito da umidade relativa no conforto térmico .....	06
2.4 Impacto dos telhados no conforto térmico da edificação .....	08
2.5 Tipos de telhados usados em galpões agrícolas .....	11
2.6 Telhado verde como opção para melhoria do conforto térmico em edificações .....	13
2.7 Efeito da pintura de telhados no conforto térmico .....	17
2.7.1 Economia de energia e retorno financeiro .....	19
2.8 Métodos de avaliação dos parâmetros de conforto térmico nas edificações .....	20
2.8.1 Análises de variância e comparação de médias .....	21
2.8.2 Procedimento 2 NBR 15575-1 .....	22
2.8.3 Episódio climático representativo .....	22
2.8.4 Fator decremental e atraso térmico .....	23
2.8.5 Índice de Temperatura e Umidade .....	23
2.9 Conclusão da revisão .....	24
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 Protocolo de coleta de dados .....	25
3.2 Local do experimento .....	26
3.3 Desenho e montagem dos protótipos .....	27
3.4 Monitoramentos .....	34
3.5 Análise estatística .....	35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
4.1 Comportamento térmico para o período de reflexão .....	37
4.2 Comportamento térmico da maior média registrada do período avaliado .....	42
4.3 Comportamento térmico da menor média registrada do período avaliado .....	45

4.4 Análise geral sobre os resultados .....	47
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido às facilidades que a modernidade tem proporcionado, a busca por bem-estar e soluções de conforto, principalmente nas residências tem aumentado, tais como o uso de equipamentos de ar condicionado, ventiladores, torneiras elétricas, cortinas automatizadas, entre outros. Demonstra-se assim, desde a antiguidade quando o homem buscava abrigo para se proteger das intempéries climáticas, que o homem e o conforto estão interligados.

Por outro lado, toda essa urbanização e tecnologia, por vezes desenfreada, exige cada vez mais o uso de energia elétrica, assim diversas estratégias tem sido desenvolvidas para minimizar e racionalizar seu uso. Na área da construção civil, percebe-se gradualmente o uso de métodos e opções sendo utilizados, estudados e analisados, a fim de melhorar a eficiência energética das edificações através da escolha inteligente de materiais para paredes e coberturas, maximização do uso da ventilação e iluminação natural, tecnologia nos equipamentos, entre outros.

A temperatura no interior das edificações está relacionada a fatores internos (iluminação artificial, equipamentos internos, entre outros) e externos (radiação solar e as variáveis climáticas). Como o telhado está exposto à radiação solar, ele possui grande influência no desempenho térmico da edificação (MASCARÓ, 1992). Os telhados de uma casa térrea são responsáveis por mais de 50% dos ganhos de calor segundo LOH *et al.* (2011).

Os materiais externos que envolvem uma edificação são determinantes da temperatura interior dos ambientes, por isso, a escolha de revestimentos com maior desempenho térmico (GIVONI, 1998) é fundamental. No Brasil, percebe-se que a maioria das coberturas são de cores escuras e telhados com uso de telhas de fibrocimento, principalmente em habitações sociais e galpões agrícolas, o que eleva a absorção da radiação solar, aumentando a temperatura interna (IKEMATSU, 2007).

Portanto, estratégias para diminuir as cargas térmicas provenientes do telhado têm ganhado ênfase nos últimos anos, como o uso de tintas frias nas fachadas e coberturas, uma alternativa para diminuir o calor absorvido pelas superfícies, sendo conhecidos como frios, pois possuem índices altos de refletância e elevada emissividade térmica sob incidência de radiação solar (LEVINSON *et al.*, 2007). Assim como os famosos telhados verdes, que refrescam o interior dos ambientes, através das vegetações e todas as camadas que compõem sua cobertura, as quais têm se

tornado cada vez mais populares, sendo, porém, pouco acessível ao público em geral, devido aos altos custos de implantação, necessidade de cálculos estruturais e uma preparação mais complexa para a instalação.

Dessa forma, o presente estudo pretende analisar e comparar o uso dessas duas estratégias em telhados, telhado verde e telhado frio, verificando qual delas teria o melhor desempenho térmico, assim como seus custos de implementação. E então, definir qual proporciona o melhor custo *versus* benefício para a cidade de Cascavel na região do Oeste do Paraná. Esse estudo é relevante, pois não foi encontrada nenhuma comparação entre os dois métodos; a maioria dos estudos analisa apenas telhados verdes ou telhados frios isoladamente ou simulações computacionais.

Portanto, a questão motivadora de tal pesquisa pode ser formulada pelo seguinte questionamento: qual estratégia para diminuição de cargas térmicas em telhados possui um melhor desempenho para a cidade de Cascavel na região oeste do Paraná?

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.2 Objetivo geral**

Este trabalho propõe como objetivo geral comparar a utilização do telhado verde e o uso de tintas em coberturas de fibrocimento, investigando a diferença de desempenho térmico das edificações entre ambas.

### **1.1.3 Objetivos específicos**

- a) Demonstrar, experimentalmente, o comportamento térmico do telhado verde em comparação aos telhados com tintas e sem o uso de tinta, provenientes dos fatores climáticos externos;
- b) Montagem dos protótipos no local;
- c) Análise dos mesmos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São apresentadas neste capítulo, as investigações realizadas na literatura disponível pela fundamentação teórica voltada ao desenvolvimento da pesquisa. A revisão bibliográfica abrange assuntos relacionados ao experimento, a saber definições sobre conforto térmico, e como os telhados exercem influência sobre questões térmicas da edificação. Ainda, a abordagem em relação aos telhados frios e verdes, destacando seus componentes, benefícios e influência na temperatura ambiente.

### 2.1 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido como a satisfação do usuário a respeito das condições térmicas do ambiente, independentemente das condições climáticas externas. Na elaboração de projetos, para que o edifício responda de maneira adequada aos parâmetros de conforto térmico, é necessário verificar a implantação, a insolação, setorização e a forma, para que os melhores recursos e estratégias arquitetônicas sejam adotados de acordo com o clima e as estações do ano (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014). Um exemplo são os projetos em clima tropical, sendo de suma necessidade a remoção do calor e da umidade dos ambientes, o que pode ser feito através do movimento do ar e do abuso da iluminação natural (CORBELLA E YANNAS, 2009).

Existem as variáveis que influenciam no conforto térmico, estando divididas em duas, variáveis humanas e as variáveis ambientais. Nas humanas são consideradas: o metabolismo provocado por atividades físicas e a resistência térmica dada pelas roupas. As ambientais são: a temperatura do ar, temperatura radiante média, a umidade relativa do ar e a velocidade do ar. Também, variáveis como altura, peso, sexo, idade, entre outros são influenciadores nas condições de conforto de cada indivíduo (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA 2014).

Os estudos e a percepção do conforto térmico mudaram nos últimos anos, antigamente os edifícios atingiam o conforto térmico sem a preocupação com a energia utilizada, devido a seu baixo custo. Tais transformações ocorreram devido às diversas alterações climáticas, os impactos ambientais, as modificações nas economias globais, desafiando assim o acesso excessivo à energia, o qual precisa

então ser reduzido para atingir-se o conforto térmico nas edificações (NICOL E ROAF, 2017).

A importância das análises do conforto térmico é baseada em três fatores básicos, como cita Duarte *et al.* (2016), produtividade do ser humano, bem-estar e conservação de energia. Fator que serve para estabelecer quais são as melhores condições térmicas para o ambiente e as ocupações humanas.

As grandes variações no conforto térmico interno são percebidas conforme as estações do ano, climas e culturas. As respostas que as pessoas geraram diante disso, com diferentes ações, crenças, estilos de vida, etc., asseguraram que a raça humana poderia sobreviver em quase todas as condições térmicas vistas em todo o planeta terra (NICOL E ROAF, 2017).

Uma média global aponta que mais de 40% da energia de um país estão relacionados às atividades dos edifícios, assim, as práticas arquitetônicas estão trabalhando para reduzir esse percentual através do design dos edifícios. A União Europeia estabeleceu metas para que a partir de 2020, todos os edifícios consumam pouca energia; foi criado o termo “edifício de energia quase zero” ou nZEB. Essas políticas estão encorajando o uso de simulação de energia para fornecer uma previsão dos consumos do edifício e as condições internas, sendo que as simulações são feitas de acordo com as zonas térmicas (NABONI, LEE E FABRI, 2016).

Nos projetos bioclimáticos e quase *Zero Energy Buildings* (nZEB), é necessário conhecer o comportamento da construção sob o efeito de direcionadores específicos, ou explorar os consumos de energia exatos considerando a presença de ocupantes e a exploração de fontes de energia renováveis, a fim de evitar superdimensionamento de sistemas técnicos e consequentes custos adicionais (CAUSONE, 2016).

Os itens físicos que influenciam no desempenho energético da edificação são: a absorvância das paredes e coberturas, a forma da edificação, o posicionamento da edificação e das aberturas, o tamanho dos ambientes e das fachadas, o sombreamento, como ocorre a ventilação (LAMBERTS *et al.*, 2016).

A NBR 15220 (ABNT, 2005), além dessas orientações físicas, estabelece ainda estratégias bioclimáticas nas construções, como: o resfriamento evaporativo, resfriamento artificial, inércia térmica para resfriamento e aquecimento solar, aquecimento solar artificial e passivo, ventilação e umidificação.

Conjuntos de dados meteorológicos inadequados podem determinar a superestimação de cargas térmicas durante a estação de aquecimento e o

consequente superdimensionamento de sistemas técnicos, causando custos extras, menores eficiências e um maior consumo de energia (ERBA, CAUSONEA E ARMANIA, 2017).

De acordo com Moreira *et al.* (2016), os elementos do clima são aqueles que variam no espaço e tempo e podem ser medidos, como: a temperatura, a umidade do ar, a pressão, precipitação, e radiação solar. Existem também os fatores climáticos que determinam ou interferem nos elementos do clima, sendo: o relevo, a latitude, a altitude, a vegetação, entre outros.

O sistema construtivo interfere na performance térmica de um edifício e a orientação de um ambiente influencia na exposição à radiação solar direta, ocasionando cargas térmicas diferenciadas. A velocidade do ar também exerce influência na sensação térmica, já que velocidades do ar mais altas elevam a taxa de evaporação na superfície da pele (OLIVEIRA, 2015).

A carta bioclimática utilizada no Brasil é baseada nos estudos de Givoni da década de 1990, a zona de conforto exposta na carta é obtida para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura entre 18 e 29 graus (LAMBERTS *et al.*, 2016).

## **2.2 Efeito da temperatura no conforto**

A radiação solar é a principal fonte energética disponível em nosso planeta, sendo o sol um elemento importante nos estudos da eficiência energética na arquitetura, pois é o principal agente de ganhos térmicos nas edificações. Como já dizia Le Corbusier a arquitetura moderna deve preocupar-se com o sol, e ele acaba sendo inimigo em uma parte do ano, e amigo no restante desse tempo. (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014).

Os valores da intensidade da radiação solar são variáveis de acordo com a latitude do local, a orientação das fachadas, as estações do ano e a nebulosidade (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014). De acordo com Corbella e Yannas (2009), em regiões de clima tropical, a principal causa de desconforto térmico é a radiação solar, pois esta atinge as superfícies do ambiente construído, logo a energia absorvida é convertida em energia térmica, elevando então a temperatura dos locais.

Os dados meteorológicos devem receber cuidadosa atenção e consideração na previsão do consumo de energia das construções (HERNANDEZ E KENNY, 2008). Papa *et al.* (2007) propuseram um índice de uso de energia normalizado (NEUI)

baseado em uma função de temperatura. Eles discutiram a influência das variáveis meteorológicas, como a radiação solar e a velocidade do ar, e concluíram que a temperatura ambiente tem o maior efeito no consumo de energia elétrica.

As temperaturas são fundamentais nas manutenções dos termorreguladores do organismo humano, sendo que o homem, por ser homeotérmico, necessita manter a temperatura interna do seu corpo em 37 graus Celsius, pois se não for mantido, gera desconforto, podendo até acarretar a morte (MONTEIRO, 2013, p. 155). De acordo com Padilha (2010), a temperatura limite para a existência de um bom índice de conforto térmico em diversos tipos de ambientes é acima dos 23°C.

A principal variável do conforto térmico é a temperatura, a perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre o ar e a pele, com outros mecanismos termorreguladores, determina a sensação de conforto térmico. A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente ocasiona a movimentação do ar, que é a convecção natural, no qual a parte mais quente fica mais leve e sobe, enquanto a mais fria, desce, gerando uma sensação de resfriamento do ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2016).

De acordo com Hoppe *et al.* (2016), os valores de temperatura do ar (Tar) variam conforme a localidade e as estações do ano, sendo relevante no estudo do clima de um local. Essas variações ocorrem devido ao movimento de translação e rotação da terra, correntes oceânicas, a altitude, posição geográfica, continentalidade e maritimidade. Sendo a temperatura do ar um dos elementos mais determinantes na percepção de frio e calor.

Outras variáveis meteorológicas estão associadas às temperaturas máximas e mínimas como: a nebulosidade, a direção e velocidade do vento; e parâmetros geográficos, como: altitude, latitude do local, umidade do ar e do solo, tipo de cobertura e solo (STRASSBURGER *et al.*, 2011).

### **2.3 Efeito da umidade relativa no conforto térmico**

A umidade relativa (UR) é determinada como a relação entre o teor e o vapor d'água que o ar contém e o teor máximo que poderia conter (LAMBERTS *et al.*, 2016). A umidade relativa do ar é influenciada por diversas características climáticas como: a altitude e latitude, correntes oceânicas, a temperatura do ar, vegetações, uso do solo, entre outros (BARRY E CHORLEY, 2013).

Sabendo-se que a umidade do ar é outro elemento atmosférico relacionado ao conforto térmico, o percentual de umidade relativa é dado em função da temperatura (FANTE, 2019). A temperatura e a umidade relativa possuem um impacto significativo na saúde das pessoas, especialmente em locais quentes e frios (CHENGIU *et al.*, 2020). Conforme García (1996), se a umidade estiver em menos de 20%, agravam-se os riscos de infecções, devido ao ressecamento das mucosas respiratórias; também com temperaturas elevadas e umidade acima de 60%, o que aumenta a sensação de calor, pois o suor não é evaporado, gerando sensação de calor úmido ou mormaço. Do mesmo modo, Tavares (2014) afirma que a umidade está relacionada com a sensação de térmica, sendo essa responsável pela sensação de abafamento nos dias quentes.

Conforme pesquisa realizada por Nugrahanti *et al.* (2019), os entrevistados afirmaram que a umidade na faixa de 50% com temperatura de 25 graus, é a condição mais neutra, ou seja, não sentem nem muito seco e nem muito úmido. Mas a sensação de conforto é atingida com a temperatura de 22 graus e umidade com 50%. Também concluíram que as pessoas de clima tropical sentem mais confortáveis trabalhando em situações mais frias. Concluíram então, que as diferenças de umidade possuem uma forte percepção humana em relação à sensação de umidade, preferência de umidade e o conforto da *secura corporal*.

Existem normas nacionais no tocante à qualidade, a segurança e o conforto dos usuários nas edificações, a NBR 15575-1 (2013), que garante a estanqueidade à água, sendo uma condição de habitação de uma residência, pois a umidade afeta a higiene do ambiente e a sua degradação.

De acordo com a NBR 15220 (2003), em regiões muito úmidas e quentes, como a cidade de Rio de Janeiro, as sensações térmicas dos ambientes são melhoradas através da desumidificação, alcançada através da renovação do ar interno por ar externo, através da ventilação natural. Em regiões com clima seco e quente a sensação térmica no verão pode ser diminuída com estratégias de umidificação do ar, proporcionando sensações térmicas mais agradáveis, com uso da evaporação da água, obtido através de fonte de águas, uso de vegetações, utilização de recipientes com água, controle da ventilação, pois elimina o vapor oriundo das plantas e atividades domésticas.

Como afirma Lamberts (2016), para se alcançar ambientes climatizados de maneira sustentável, é preciso controlar ou aumentar o valor da velocidade do ar, ao

invés de reduzir a umidade relativa do ar e a temperatura. Para o autor, incrementar a velocidade do ar em projetos, é uma solução eficaz, mas é preciso analisar todas as influências, como o clima, a finalidade do edifício, as necessidades, entre outras, para que ocorra o efeito desejável,

Segundo a pesquisa realizada por Amorim, Furtado e Lima (2019), em uma avaliação de unidade de telhado verde e unidade de telhado de telha de fibrocimento, em um período de um ano, dezembro a dezembro, observou-se que de dezembro a junho, as temperaturas são mais inconstantes e menores, já de junho a dezembro, apresentou-se diferenças maiores de temperatura e por um período mais demorado. Os autores associaram essas variações devido ao período mais chuvoso e menos chuvoso, que acaba influenciando na umidade relativa do ar, conseqüentemente na temperatura. Assim concluíram que, quanto maior a umidade, menor as temperaturas nas coberturas, além de concluírem que a unidade de telhado verde é mais inerte às variações de umidade.

#### **2.4 Impacto dos telhados no conforto térmico da edificação**

Segundo a NBR 1557-5, o sistema de cobertura é um conjunto de componentes localizados no topo da edificação, com função de garantir o estaqueamento das águas da chuva, proteger os elementos dos agentes naturais e contribuir para o conforto da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

O isolamento do telhado é uma das estratégias mais importantes para reduzir a carga de resfriamento e melhorar o consumo de eletricidade no edifício, reduzindo então a emissão de gases poluentes. Pois, diferente das paredes, que são superfícies verticais, as coberturas estão expostas ao sol durante todos os dias do ano, contribuindo para o ganho de temperatura (ALJEBUR, 2015). O melhor desempenho térmico do telhado pode ser obtido através das cores e materiais externos, diferentes estilos e geometrias do telhado, isolamento e níveis de ventilação (MADHUMATHI *et al.*, 2014).

Para Aljebur (2015), existem alguns princípios que devem ser atendidos para projetar coberturas eficientemente térmicas, como: não permitir que a chuva penetre na edificação, mas que seja permeável o bastante para absorver a umidade e liberá-la quando o ar estiver mais seco; boa refletividade, resistência às mudanças de temperatura e umidade; baixa temperatura, além de ser interessante que o telhado

possua multicamadas com materiais de diversas propriedades térmicas.

Estudos de Madhumathi *et al.* (2014) apontaram que 50% da carga de calor de um edifício residencial na Índia, de clima quente e úmido, deriva-se do telhado. Pode-se concluir que a mais importante propriedade física de um telhado é a condutividade térmica, esta deve ser a mais baixa possível. Assim, diminuir a transferência de calor através dos materiais envolventes da edificação é crucial para diminuir a necessidade de resfriamento e aquecimento (MADHUMATHI *et al.*, 2014).

O telhado, por ser um dos maiores fechamentos da edificação e receber a maior parte da carga térmica solar, tem atraído atenção especial para a redução da temperatura no interior das edificações (BAÊTA; SOUZA, 2010). Assim, é no telhado que a radiação solar atua com maior intensidade, sendo que o fluxo de calor que o atravessa na hora mais quente é cinco vezes maior que aquele disperso no ambiente interno. Esse calor pode ser controlado pela ventilação adequada e o efeito da radiação pelo isolamento térmico (TINÔCO, 2001).

Na pesquisa de Guimarães *et al.* (2013), analisou-se a importância da altura do telhado no conforto térmico em edificações brasileiras, através de seus estudos, notaram que a redução da altura do telhado aumentou o clima interno, os resultados apontaram aumento de um grau a cada 20 cm de altura diminuída.

Lamberts (1988) em sua tese de doutorado, findou que, a inclinação do telhado no verão possui pouca influência sobre o fluxo de calor, e que o uso de isolamento abaixo do telhado teve um melhor resultado do que o uso da ventilação. Também validou que as mais relevantes variáveis para diminuir o fluxo de calor durante o verão são a emissividade, resistência térmica dos materiais de cobertura e absorvância solar.

Pode-se analisar através da figura 01, que simplifica os mecanismos de trocas térmicas para os materiais opacos, no caso das coberturas. Uma parte da energia solar que incide, reflete e retorna para o meio externo; a outra, é absorvida pelo material, o que conseqüentemente aumenta a temperatura interna (MAESTRI, 2017).

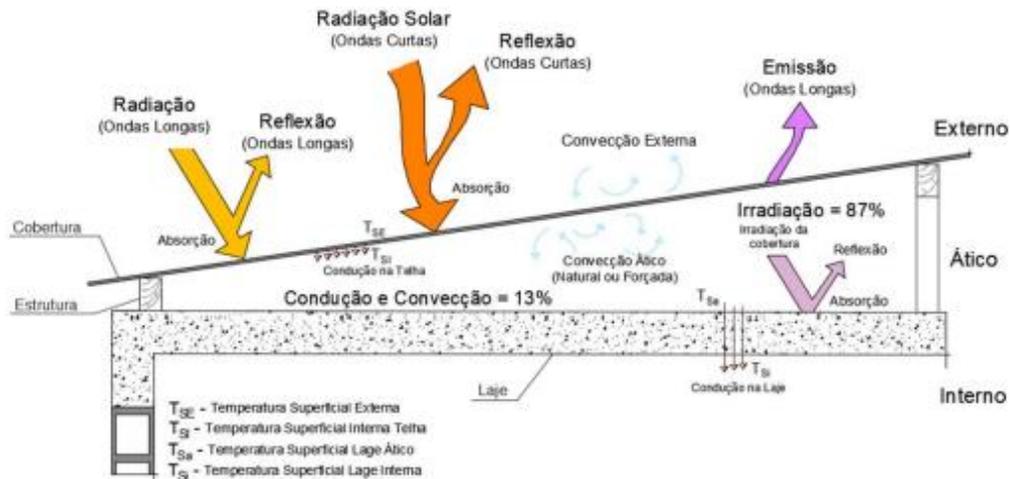


Figura 01: Esquema da transferência de calor em superfícies opacas de um modelo de cobertura  
Fonte: Maestri (2017)

Calor é energia transferida de um sistema para o ambiente, ou de um ambiente para um sistema, devido a uma diferença de temperatura (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Para que os problemas de transmissão de calor sejam resolvidos, é fundamental entender seus fenômenos e as relações físicas que interferem no mecanismo de transferência de calor (YANG, 2019), que é quando uma área mais fria envolve uma superfície quente, o calor será transferido e o processo continuará até que ambos estejam na mesma temperatura. A transferência de calor ocorre por um ou mais dos três métodos: condução, convecção e radiação (MOBLEY, 2001).

Para Incropera e Witt (2008), a condução é definida como o processo pelo qual a energia (calor) é transferido de uma região de alta temperatura, para outra com menor temperatura dentro de um meio (líquido, gasoso ou sólido), ou entre diferentes meios em contato direto. A taxa em que ocorre a condução varia consideravelmente de acordo com a substância e seu estado. Em sólidos, os metais são bons condutores - ouro, prata e cobre estão entre os melhores. O alcance continua para baixo através de minerais, como concreto e alvenaria, a madeira, e depois para os condutores mais baixos, como materiais de isolamento térmico. Os líquidos são geralmente condutores ruins, mas isso, às vezes é obscurecido pela transferência de calor ocorrendo por convecção. (MOBLEY, 2001).

Quando há transferência de calor entre um fluido em movimento e uma superfície quando os dois se encontram a diferentes temperaturas, ocorre o fenômeno chamado convecção (ORDENES; LAMBERTS; GUTHS, 2008). Ela acontece em

líquidos e gases; para qualquer sólido perder ou ganhar calor por convecção, ele deve estar em contato com o fluido, isso não ocorre no vácuo (ALJEBUR, 2015).

A convecção resulta de uma mudança na densidade em partes do fluido, a qual é provocada por uma alteração na temperatura. Se um corpo quente estiver rodeado por ar mais frio, o calor é conduzido para o ar em contato imediato com o corpo. Este ar então, torna-se menos denso que o ar mais frio mais distante. O ar mais quente e leve é assim deslocado para cima e é substituído por ar mais frio e mais pesado que, por sua vez, recebe calor e é similarmente deslocado. Assim, desenvolve-se um fluxo contínuo de ar ou convecção em volta do corpo quente, removendo o calor. (ALJEBUR, 2015).

O processo pelo qual o calor é emitido de um corpo e transmitido através do espaço como energia é chamado radiação ou irradiação (FROTA; SCHIFFER, 2003). A radiação de calor é uma forma de energia das ondas no espaço semelhante a ondas de luz e rádio. A radiação não necessita de nenhum meio intermediário, como o ar para a sua transferência, ocorrendo mesmo no vácuo. Todos os corpos emitem energia radiante (MOBLEY, 2001).

A radiação são ondas térmicas que são geradas porque os átomos e as moléculas de todos os corpos têm energia interna e transformam parte desta energia em energia radiante, sendo emitida sempre que o meio lhe é transparente. Quando um corpo recebe energia radiante, há acréscimo na sua carga interna, e, por essa razão, sua temperatura aumenta; da mesma forma, no processo inverso, há redução da temperatura do corpo (BAÊTA; SOUZA, 2010).

## **2.5 Tipos de telhados usados em galpões agrícolas**

O planejamento das construções rurais é importante, seja na parte da agricultura ou da criação de animais, assim aumentando a produtividade, melhorando os armazenamentos, o mercado, a industrialização, a racionalização de produtos, entre outros. Nas instalações rurais existem locais que são destinados às atividades agrícolas, sendo os galpões de beneficiamento, armazenamento, construções destinadas ao armazenamento de produtos, agrotóxicos, as estufas e os viveiros e as instalações de produção animal, que são as zootécnicas (NOVAIS, 2014).

Os fatores técnicos e econômicos influenciam o tipo de instalação de acordo com o sistema de produção. No planejamento das construções agrícolas para animais

e plantas, deve haver proteção contra as intempéries climáticas, assim proporcionando um ambiente saudável. Para os produtores, as construções devem ser funcionais e práticas para que as atividades diárias tenham o máximo de eficiência. Na visão da engenharia, isso significa ter um maior rendimento com o custo mínimo de produção (NOVAIS, 2014).

A cobertura que protege a construção das ações climáticas é constituída por laje, estrutura metálica ou de madeira, entre outros, e por telhas, que possui a função de vedação, podendo ter um forro e um isolante térmico. Devem atender as seguintes funções: proteger as partes internas da edificação; inclinação adequada conforme a telha usada; formar um colchão de ar entre a telha e o forro, para melhorar o conforto térmico interno (NOVAIS, 2014).

As técnicas de construção evoluíram ininterruptamente, desde as habitações nas cavernas até os modernos arranha-céus. Tradicionalmente, os edifícios são construídos com materiais disponíveis localmente, como pedra, madeira, lama e cal. Nos últimos anos, materiais de construção modernos como o cimento e a chapa de aço substituíram a maior parte dos materiais locais, devido à alta durabilidade, baixa manutenção, baixa probabilidade de corrosão e deterioração, e facilidade de construção da primeira. (SAMUEL, *et al.*, 2017).

O custo mais elevado dos materiais de construção modernos aumenta o custo de capital dos edifícios. Portanto, edifícios construídos com uso predominante dos materiais locais e um uso criterioso dos materiais de construção modernos não seriam apenas baratos, mas também duráveis (SAMUEL, *et al.*, 2017).

Segundo Conceição *et al.* (2008), o tipo de material determinará a quantidade de radiação que passará para dentro da construção, contribuindo para elevação da temperatura no seu interior. Como nos aviários, onde a este calor soma-se o calor latente e sensível produzido por cada ave, o que aumenta ainda mais a carga térmica radiante e, conseqüentemente, a temperatura interna do ar.

Para Rivero (1986) citado por Tinôco (2001), a cobertura ideal de instalações para animais nas condições brasileiras deve apresentar grande capacidade para refletir a radiação solar, ter considerável capacidade de isolamento térmico e capacidade de retardo térmico em torno de 12 horas. Com essas características, a pequena quantidade de radiação solar absorvida pela telha terá dificuldade em atravessar o material e, ao fazê-lo, atingirá seu interior com defasagem em torno de 12 horas, aquecendo o ambiente interior quando a temperatura deste estiver mais

baixa.

De acordo com Baêta & Souza (2010), o uso de abrigos com materiais adequados de cobertura promove a redução de até 30% da carga térmica radiante quando comparado com situações de exposição à radiação solar direta, melhorando assim o estado de conforto térmico de seus ocupantes.

A altura do pé-direito da edificação é de suma importância no conforto térmico, pois mantém os animais afastados do calor que vem do telhado, dessa forma é recomendado o pé-direito de três metros, e, em instalações com mais de treze metros de largura, essa altura deve ser maior. Além da altura do telhado, o material da cobertura deve ser analisado, podendo a parte externa da cobertura ser pintada na cor branca; uso de forro atuando na redução da transferência de calor no interior da construção; e o lanternim, que é a abertura na parte superior do telhado, muito recomendada para conseguir a ventilação, permitindo a renovação do ar (DIAS, 2011).

Para auxiliar no isolamento térmico das instalações agrícolas, existem diversos tipos de telhados. A melhor opção é a telha térmica, que possui isolamento sobre a cobertura (poliuretano) ou sob a cobertura (poliestireno extrusado, poliuretano, lã de rocha ou similares).

Os tipos de coberturas mais usuais são as que utilizam telha de barro e telha de fibrocimento, sendo que os de telha de barro podem ser melhores termicamente do que as de fibrocimento. As telhas de barro exigem engradamento mais caro, apresentam muitas frestas que atuam como pequenas bolsas de ar e permite certa ventilação, o que é desejável. As coberturas com telhas de fibrocimento, apesar de esquentarem muito ao sol, demandam menos engradamento o que facilita sua instalação e conseqüente redução de custos (RIVERO, 1986)

## **2.6 Telhado verde como opção para melhoria do conforto térmico em edificações**

As primeiras edificações com coberturas que possuíam vegetações são da Mesopotâmia, hoje conhecido como Iraque. Essas construções chamadas de Zigurates eram templos em formato de pirâmides, com vários andares construídos um sobre o outro, e a cada andar a área era menor que a plataforma inferior, e nesses espaços aplicavam-se vegetações em busca de amenizar o caráter formal (SALEIRO *et al.*, 2015).

Os alemães são pioneiros e líderes na aplicação dos telhados verdes com a taxa de instalação mais alta da Europa, com aumento da área de aproximadamente 8 km por ano. Na cidade de Toronto no Canadá, o interesse por telhados verdes levou à criação de uma lei que institui a instalação dessas coberturas em novos edifícios com coberturas planas superior a 2.000m<sup>2</sup>; hoje a cidade possui mais de 232.000m<sup>2</sup> (SAADATIAN *et al.*, 2013; BERARDI E GHAFARIANHOSEIN, 2014).

Algumas cidades têm sancionado leis referentes a telhados verdes em novas construções, como a cidade de Itu em São Paulo, Canoas no Rio Grande do Sul e Recife em Pernambuco (LIZ, ORDENES E GUTHS, 2018).

As coberturas verdes podem ser identificadas na literatura como telhados verdes, telhados jardim, coberturas vegetadas, tetos verdes, coberturas vivas, entre outras denominações similares (ETHUR, 2016). A função principal de uma cobertura verde é prevenir que a radiação solar seja conduzida para o interior da construção (FIORETTI *et al.*, 2008).

O principal benefício do telhado verde é a diminuição das temperaturas internas dos ambientes, devido à inércia térmica do sistema construtivo, assim ocorre um atraso na transmissão do fluxo de calor derivado da radiação solar (PERUSSI E VECCHIA, 2017). Outros benefícios são a redução da poluição atmosférica, o desempenho energético e o aumento da biodiversidade (COELHO, 2019).

Além disso o uso de telhado verde nas edificações permite a obtenção de créditos no programa LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), que é uma certificação para construções sustentáveis (TASSI *et al.*, 2014). Além das certificações brasileiras, selo Casa Azul e o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica), existem a certificação do Reino Unido BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), e a da Alemanha DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) (MARCATO, 2017).

As coberturas verdes são sistemas construtivos usados na cobertura das edificações, sendo a sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície (PERUSSI E VECCHIA, 2017). São formadas no geral por cinco camadas principais, por ordem de aplicação de suas camadas a partir do teto do interior da edificação, conforme visto na figura 02: laje de sustentação; membrana impermeabilizante; sistema de drenagem; substrato (meio de crescimento da vegetação) e vegetação ou plantas (SAADATIAN *et al.*, 2013). Podem ser criadas composições mais complexas

de acordo com o projeto proposto, como adicionar isolantes térmicos, assim formando diversas configurações de telhado verde possível (ETHUR, 2016).



Figura 02 - Possíveis camadas componentes de coberturas verdes  
Fonte: Vijayaraghavan (2016)

Os telhados verdes são classificados em uma visão mais ampla, como extensivos e intensivos, baseados na espessura da camada do substrato, conforme visto na figura 03. Essas camadas são responsáveis por controlar a transferência de calor para a edificação. Se a cobertura possui a camada de substrato menor que 15 cm, é considerado extensivo. O peso da cobertura extensiva pode variar de 60 e 170 kg/m<sup>2</sup>, e a irrigação é baixa e de pouca manutenção (IGRA, 2020). Além dos baixos custos de instalação, oferecem bom isolamento e são excelentes para integrar com outras tecnologias, como os painéis solares (COELHO, 2019).

Já as coberturas intensivas são quando o substrato possui mais que 20cm (TAM, WANG E LE, 2016), as cargas estruturais apresentadas são de 150 a 500 kg/m<sup>2</sup> para alturas de 20 a 40 cm, os valores podem ser maiores dependendo da vegetação escolhida (PECK *et al.*, 1999).

Existem alguns autores que incluem uma categoria intermediária, chama de semi-intensiva ou semi-extensivo (BERARDI *et al.*, 2014). Nessa, a camada de substrato varia entre 15cm e 25cm, que permite uma variedade maior de plantas e necessidade de mais manutenção com fertilizantes e regas. Cálculos estruturais e dimensionamento da laje são necessários para a instalação desse tipo de cobertura (COELHO, 2019).

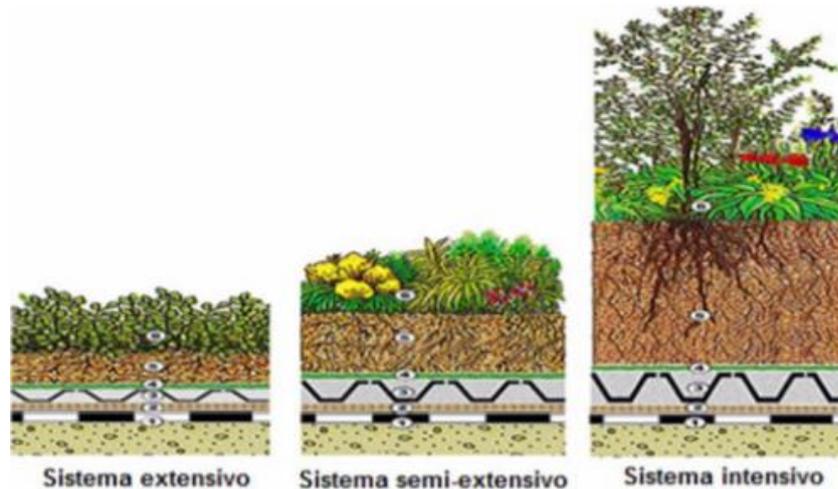


Figura 03: Esquema dos diferentes tipos de cobertura verde  
Fonte: Jobim (2013)

Sobre o tipo de vegetação em telhados, depende do tipo da cobertura verde; os intensivos são mais flexíveis, podem ter pequenas árvores ou arbustos. Já nos extensivos, são cultivadas as gramas (TAM, WANG E LE, 2016). As sugestões de plantas empregadas nas coberturas verdes são aquelas de preferência nativas e adaptáveis ao clima local, com pouca manutenção, raízes curtas e resistente às mudanças climáticas (JOHNSTON E NEWTON, 2004). A grama ou as plantas do gênero *Sedum* são geralmente usadas em telhados verdes extensivos. A *Sedum* pertence a uma espécie de planta suculenta que não necessita de manutenção especial e nem suprimento de água para sua sobrevivência (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

O comportamento térmico dos telhados verdes são diferentes dos telhados frios (ETHUR, 2016), as coberturas verdes não possuem alta refletância em suas superfícies, dessa maneira não reduz o fluxo térmico através da radiação, mas sim através dos processos físicos de evapotranspiração, devido ao transporte de umidade que ocorre da vegetação e do substrato utilizados (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011). O potencial de resfriamento evaporativo da vegetação e da camada dependem da característica da vegetação, a densidade e espessura da folha (FEITOSA E WILKINSON, 2016; HE *et al.*, 2016).

Existem três formas de as coberturas verdes influenciarem nas propriedades térmicas dos telhados: o substrato atuando como uma camada de isolamento adicional, o dossel da planta que sombreia a superfície do telhado. e a

evapotranspiração (SAADATIAN *et al.*, 2013).

Os estudos de Morakinyo *et al.* (2017) mostram que a intensidade solar e a umidade relativa são os parâmetros-chave que determinam o potencial de resfriamento por evaporação dos telhados verdes. Os resultados apontam que em climas quente e úmido, os telhados verdes são menos eficientes para a refrigeração e redução do consumo de eletricidade comparado aos climas quentes e secos. A menor eficiência encontrada pelos autores foi no clima temperado, que possui baixa intensidade solar e umidade.

Por mais que os custos de instalação dos telhados sejam os mais altos, em relação a outros métodos, cerca de R\$320,00 por metro quadrado, os ganhos térmicos e de isolamento são confirmados, a umidade é até 23,4% maior e 3,4 graus mais fria em dias de verão, se comparados aos telhados convencionais (FRIZON, 2018).

Já os estudos de Sproul *et al.* (2014) analisaram a economia líquida dos telhados verdes em relação aos telhados frios; em um período de 50 anos, os telhados verdes tiveram prejuízo devido aos maiores custos de instalação. Os telhados frios proporcionaram uma economia líquida de US\$ 25/m<sup>2</sup> em 50 anos e os telhados verdes tiveram um prejuízo econômico de US\$ 71/m<sup>2</sup>. Os autores afirmam que, se o proprietário do telhado estiver preocupado com o aquecimento global, deve escolher o telhado branco, pois este é três vezes mais eficaz do que os telhados verdes para resfriar o mundo. Todavia, evidenciam que os telhados verdes proporcionam uma estética urbana natural à paisagem e gerenciam as águas pluviais. Recomendam políticas que eliminem gradualmente os telhados de cor escura em climas quentes.

## **2.7 Efeito da pintura de telhados no conforto térmico**

Materiais frios são uma classe específica de tintas caracterizadas por alta refletância solar, assim, tendem a diminuir a absorção da radiação solar quando comparada a materiais de construção convencionais, portanto, limitando o aumento da temperatura da superfície do telhado. Estes também são caracterizados por alta emissão de infravermelho que dissipa o calor acumulado sem transferi-lo para dentro das salas do edifício (GANGULY *et al.*, 2015).

A refletância solar, a emissividade térmica e a absorção solar, são uns dos principais fatores responsáveis pelas temperaturas superficiais dos materiais (GANGULY *et al.*, 2015).

Os telhados frios ou brancos possuem alta refletância solar e alta emissão térmica (LEVINSON E AKBARI, 2010) reduzindo a quantidade de calor absorvido, resultando em temperaturas mais baixas (CUBI, *et al.*, 2015). A emissão térmica e a refletância são parâmetros que descrevem a capacidade relativa de um material refletir a luz solar e emitir radiação. A refletância dos materiais de cobertura escura varia de 0,05 a 0,2, enquanto a dos telhados frios são de 0,55 a 0,85 (URBAN E ROTH, 2010). A tinta fria possui seis entradas químicas, os polímeros, aditivos, plastificantes, pigmentos, solventes e carga (SHITTU *et al.*, 2020).

Diversos são os benefícios dos telhados frios, como a redução da temperatura do ar local e efeito urbano das ilhas de calor, redução da demanda de energia elétrica (URBAN E ROTH, 2010), todavia, em climas frios pode aumentar a necessidade de aquecimento, devido à menor absorção solar. (LEVINSON E AKBARI, 2010). No entanto, durante o inverno, o sol está muito mais baixo no céu, os dias são mais curtos e os céus costumam estar mais nublados do que no verão, assim diminui a quantidade de luz solar disponível para um telhado (SANTAMOURIS *et al.*, 2011).

A instalação de materiais refletivos são um recurso economicamente eficiente e de baixo custo (PÉREZ, *et al.*, 2017). A economia de custos de energia provindos dos telhados refletivos depende de muitos fatores como o local, o clima, o preço da energia, e a quantidade de isolamento do telhado. Dessa forma é importante avaliar-se os benefícios e custos para que se verifique se isso é viável para o edifício local (URBAN E ROTH, 2010).

É importante que os arquitetos, engenheiros, projetistas entenderam os fluxos de calor do edifício, pois as consequências podem ser negativas, como ganhos térmicos que poderiam ser evitados. De acordo com Givoni (1994), a cor da superfície da parede e do telhado tem um efeito significativo para a temperatura do ar interior.

Telhados frios são telhados projetados para manter uma temperatura menor que telhados tradicionais. A luz solar é o principal fator que faz com que os telhados fiquem muito quentes. Telhados frios têm superfícies que refletem a luz solar, mantendo-os mais frios ao sol, como pode ser observado na figura 04 (ALJEBUR, 2015). As empresas de serviços públicos também estão interessadas em coberturas frias porque as mesmas ajudam a reduzir o pico de demanda de eletricidade durante as horas das tardes de verão, evitando interrupções de energia.



Figura 04: O efeito da refletância nas coberturas "frias" e convencionais  
Fonte: SILVA (2017)

Do ponto de vista ambiental, as coberturas também podem ajudar a mitigar um fenômeno conhecido como o efeito ilha de calor (KRINER, 2006). Os telhados frios em uma escala maior, podem também diminuir a temperatura ao redor do edifício, diminuir os gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub> e diminuir os efeitos das ilhas de calor urbana (LEVINSON E AKBARI, 2010).

A refletância solar e emitância térmica são as duas principais propriedades da superfície do material que determinam a temperatura de um telhado. Como a maioria dos telhados são escuros, eles absorvem 90% ou mais da energia solar, assim, o telhado pode atingir temperaturas acima de 66 graus quando o clima está ensolarado e quente (URBAN E ROTH, 2010).

O desempenho térmico de um edifício é afetado pela absorção da energia solar do telhado. Durante condições de céu claro até cerca de 1 kW / m<sup>2</sup> de radiação solar pode incidir em uma superfície do telhado, e entre 20% e 95% desta radiação é absorvida (SUEHRCKE, PETERSON, SELBY, 2008).

### 2.7.1 Economia de energia e retorno financeiro

Nos estudos de Akbary *et al.* (1992), investigou-se a quantidade de economia de energia na cor branca nas superfícies, mostrando que os telhados com cor branca reduziram o uso de energia com ar condicionado, economizando 12kWh por dia em energia elétrica e 2,3 kW em potência de pico. O telhado e a parede pintados de branco pouparam 50% do consumo de eletricidade na atual condição. Parker *et al.* (1996) em seu estudo experimental em edifícios residenciais na Flórida descobriu que

20% da eletricidade para ar condicionado foi reduzida após a aplicação de tinta branca nos telhados.

Simpson e McPherson (1997) descobriram em seus estudos que um telhado branco era de 2 a 3 graus mais fresco do que telhados de cor prata ou escura em dias de sol quente. Além disso, a casa modelo de telhado branco consumiu 5% e 28% menos energia que os telhados de cor cinza e marrom, respectivamente. Labaki e Granja (2003) avaliaram o fluxo de calor que penetra em uma laje de concreto com duas cores e diferentes espessuras do telhado. A refletância teve um efeito mínimo quando a espessura do telhado é maior que 15 cm.

De acordo com estudo realizado por Sarmiento *et al.* (2005), também é viável a aplicação de tintas brancas na face externa da cobertura, sendo observada a redução de temperatura em até 9 graus no horário das 13 horas.

Em estudos realizados por Pisello, Rossi e Cotana (2014) no norte da Itália, quanto mais alta a irradiância (600 kw/m<sup>2</sup> no verão), a refletância do telhado triplica, dada a incidência mais importante da radiação solar. A avaliação do comportamento térmico do telhado apresentou uma redução média de 15 a 20 graus no verão, durante a noite a diferença é quase insignificante, comprovando que a temperatura do telhado depende das condições externas em relação à radiação e a temperatura do local. E as temperaturas internas no verão diminuíram de 3 a 2 graus e permaneceram mesmo durante a noite, devido a inércia térmica dos materiais.

Garg *et al.* (2016) avaliaram o impacto dos telhados frios em edifícios rurais e periurbanos na Índia. Foram monitoradas por dez semanas salas de aula com as mesmas especificações, um com teto branco e outro cinza, os resultados apontaram que o telhado branco teve um efeito significativo na redução da temperatura do ar interno devido à redução da temperatura da superfície do telhado interno e externo, melhorando as horas de conforto térmico durante as dez semanas do experimento. Um dos resultados das diferenças de temperatura interna eram de no mínimo 1 grau e no máximo 4 graus comparado com a sala não tratada.

Bhatia *et al.* (2011) realizou um estudo baseado em simulação, em cinco zonas climáticas na Índia, e verificou que o retorno financeiro do telhado frio é inferior a três anos.

## **2.8 Métodos de avaliação dos parâmetros de conforto térmico nas edificações**

A seguir, serão apresentados alguns métodos de avaliação sobre conforto térmico nas edificações, sendo o primeiro abordado aquele que foi utilizado no experimento.

### 2.8.1 Análises de variância e comparação de médias

Farias *et al.* (2017) avaliaram a temperatura superficial interna, externa e a diferença das temperaturas em diferentes tipos de materiais para cobertura de aviários móveis, em Santarém – PA, sendo protótipo de palha, Tetra Pak, lona Plástica dupla face e telha de zinco. Foi utilizado termômetro do tipo infravermelho com distância média de 10 a 15 cm. Após as coletas, os dados foram organizados em planilhas do programa Excel e analisados por meio do programa estatístico Sisvar. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Quanto ao desempenho térmico de um telhado convencional e um eco telhado, Amorim, Furtado e Lima (2019), em seu estudo comparativo através de protótipos com 1m<sup>2</sup> cada, realizado na cidade de Belém do Pará, tiveram de analisar a média, máxima e mínima diária, tanto da temperatura interna das unidades de medição quanto das superfícies internas das telhas, devido à grande quantidade de dados,

Além disso, foi definido um período de 3 dias, no qual foram obtidos os maiores níveis de temperatura, permitindo analisar de forma mais detalhada e significativa os comportamentos que acontecem em um período de 24 horas. Alguns dos resultados apontaram a redução de temperatura média de 1,5° C, quando comparando-se à temperatura da superfície interna das telhas, o que gera uma redução de 0,26° C na temperatura do ar interno nas unidades; diferença entre temperaturas máximas das superfícies internas foram de 15,5° C. Ainda foram obtidos dados meteorológicos da radiação solar, temperatura do ar, com a finalidade de realizar uma comparação entre esses dados meteorológicos com os dados adquiridos nas unidades de medição.

Os termômetros utilizados foram do modelo TD-880, da marca Icel, e datalogger para capacidade de armazenamento de 10.000 dados. Cada termômetro possuía dois sensores, um foi deixado no centro da unidade de medição para medir a temperatura interna do ar e outro foi inserido diretamente em contato com a superfície interna da telha para medir a temperatura superficial interna da telha. A coleta de dados foi no período de um ano, dezembro de 2011 a dezembro de 2012.

### 2.8.2 Procedimento 2 NBR 15575-1

Mohamad *et al.* (2019) avaliaram a temperatura e umidade em residências revestidas no interior com embalagens longa vida na cidade de Santa Maria/RS. Os aparelhos utilizados para medição são do modelo HOBO H08-003-02, a temperatura e a umidade relativa do ar são medidas com intervalos que podem variar de 0,5 segundos a 9 horas.

O comportamento térmico foi avaliado conforme o procedimento 2 da NBR 15575-1 (2013), que busca comparar a temperatura máxima interna e externa de um protótipo, a fim de simular uma edificação em estudo. Para a análise, calcularam-se as médias horárias e diárias para a temperatura e umidade relativa do ar, utilizando todos os dados obtidos nos protótipos e na medição externa. Além disso, foram apontados os valores máximos e mínimos diários encontrados em cada medição, além do cálculo do desvio padrão. Os resultados apontaram a necessidade de reestruturação do projeto durante o período do verão, devido às elevadas temperaturas internas e o alto teor de umidade.

### 2.8.3 Episódio climático representativo

Kussaba Kayano *et al.* (2018) elaboraram diferentes sistemas de fachadas vegetadas em protótipos de tijolo maciço, construídas sob as mesmas orientações, assim avaliaram o comportamento térmico das paredes e da temperatura interna do ar durante a primavera, na cidade de Itirapina, São Paulo. As temperaturas da superfície das paredes e do interior foram coletadas através de termopares, conectados a um medidor automático, que mede a temperatura a cada 30 segundos e são agregados numa média a cada hora.

A análise do comportamento térmico foi feita através do episódio climático representativo, no qual é escolhido um dia crítico experimental (dia com maior temperatura registrada) para um dia de calor, utilizando-se as variáveis climáticas de temperatura, pressão atmosférica, radiação solar, precipitações e imagens de satélite. Os estudos apontaram que a cobertura verde proporcionou uma capacidade de diminuir a temperatura máxima tanto das paredes quanto do teto em relação ao protótipo testemunha, conseqüentemente, a temperatura interna do ar também foi no protótipo vegetado.

#### 2.8.4 Fator decremental e atraso térmico

Liz *et al.* (2018) analisaram o comportamento térmico do telhado verde através de protótipos, dois de telhado verde com diferentes configurações e outro com cobertura de telha de fibrocimento. Os estudos aconteceram em Florianópolis, Santa Catarina, no verão e foram registrados dados de fluxo de calor superficiais e temperatura. Os sensores utilizados para coleta de dados foram o termopar tipo T e transdutor de fluxo de calor, os dados foram coletados a cada minuto, sendo registradas as médias do período de 5 minutos, por um sistema de aquisição de sinais Marca Agilent, modelo 34970A. Os dados coletados foram radiação solar global, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. A temperatura do ar externo foi medida na própria bancada de experimento, através de um termopar tipo T inserido em um tubo pvc isolado e protegido da radiação solar direta.

Para analisar as medições observadas e avaliar o desempenho térmico de cada etapa, foram utilizados os parâmetros de fator decremental e atraso térmico, os quais estão associados à inércia térmica, características do telhado verde. O fator decremental é a razão entre a amplitude de temperatura na superfície de contato superior do componente estrutural e a amplitude de temperatura externa para um período de 24 horas. Já o atraso térmico se caracteriza pelo intervalo de tempo entre a hora da temperatura máxima na superfície de contato superior do componente estrutural (laje) e a hora da temperatura máxima do ambiente externo.

#### 2.8.5 Índice de Temperatura e Umidade

Silva *et al.* (2018) avaliaram o conforto térmico de uma unidade de saúde na cidade de Barra do Bugres, interior do Mato Grosso. Utilizaram o Índice de Temperatura e Umidade – ITU, proposto por Thom (1959) obtido através da relação entre a temperatura média e a umidade relativa do ar, cujos dados obtidos se entendem como limites para análise de conforto ou desconforto térmico (FERNANDES, 2017). Logo, com base em estudos sobre conforto térmico, estabeleceram parâmetros e classificações de desconforto e conforto térmico. Para as medições, utilizaram um Kit Arduino da marca Sparkfun Electronics para montagem do Data Logger de temperatura e umidade relativa, uma bateria de 12 Volts da marca Multilaser, um sensor RHT03 de temperatura e umidade relativa do ar. Foi

utilizada a Carta Psicométrica de Givoni (1992) para avaliar o conforto térmico da ala de atendimento da Unidade de Saúde da Família, usaram dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

## **2.9 Conclusão da revisão**

Este capítulo apresentou uma revisão de literatura com o objetivo de contextualizar os aspectos sobre as coberturas, os telhados verdes e frios e suas estratégias para redução de temperatura, além de questões sobre conforto térmico, umidade relativa do ar, entre outros.

Dentre as diversas estratégias propostas para minimizar as temperaturas dos ambientes, a cobertura é um dos alvos mais promissores, devido toda a radiação solar que recebe diretamente durante o dia, e a dimensão de sua área. Assim é inegável a importância dos estudos nessa área, principalmente para as tipologias das construções brasileiras, onde a maioria ainda não possui isolamentos ou estratégias para minimizar cargas térmicas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento pertence a linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e na agricultura. A pesquisa é de caráter experimental e consiste em determinar qual estratégia em telhados, sendo telhado verde ou uso de tinta térmica, seria a mais recomendada e teria os melhores efeitos térmicos para a região do oeste do Paraná.

A pesquisa científica é utilizada para adquirir e gerar novos conhecimentos, sobre si mesmo ou o mundo em que se vive. Responder a questionamentos, resolver problemas, atender as necessidades da humanidade ou obter e sistematizar a realidade empírica (TOGNETTI, 2006).

O tipo de pesquisa utilizado no desenvolvimento desse trabalho foi em campo, realizada onde acontece o fato, o fenômeno ou o processo, com a coleta de dados e observação dos mesmos. O procedimento da coleta de dados foi experimental, que consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que são capazes de influenciá-lo, definir formas de controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto (TOGNETTI, 2006).

A unidade de análise foram os efeitos térmicos, as perdas para o meio, além de contribuir para construções, reformas, adequações ou pesquisas.

Assim, o objeto de estudo são protótipos de telhados e a validação da pesquisa foi dada através de dados coletados diariamente, por um período de quase dois meses, do dia 21 de novembro de 2020 a 20 de janeiro de 2021, o período mais quente do ano devido ao solstício de verão do hemisfério sul. Os protótipos são de: telhado verde, telhado com cobertura de fibrocimento com aplicação de tinta térmica e telhado com cobertura de fibrocimento.

#### 3.1 Protocolo de coleta de dados

A finalidade do protocolo da coleta de dados é sistematizar os procedimentos e regras para o levantamento de dados (YIN, 2003). Os procedimentos foram estabelecidos conforme as etapas apresentadas a seguir.

Primeira etapa: Revisão bibliográfica: A revisão aborda sobre assuntos relacionado ao conforto térmico, temperatura, umidade relativa, estratégias e benefícios térmicos telhado verde e telhado frio, além de aspectos técnicos.

Segunda etapa: Experimento de campo: Foi elaborado o projeto e a execução de 3 protótipos, a escolha de 3 protótipos foi devido a instalação dos sensores, 2 em cada protótipo, totalizando 6 no total, o limite máximo de sensores que o *Datalogger* poderia registrar.

Terceira etapa: Coleta de dados do experimento e resultados: Foram realizados os registros dos dados diariamente de hora em hora, para a obtenção de um número maior de resultados e uma análise mais precisa, a partir dos sensores instalados que estarão ligados ao *Datalogger*, que repassará os dados para a interface do programa *Datalogger* no computador, logo foram organizados em planilha dos do *software excel*. Posteriormente os dados foram lançados no *software Sisvar 5.6*, para comparação das médias entre os tratamentos com teste Tukey a 5% de probabilidade.

Quarta etapa: análise dos dados: Foi feita uma correlação dos protótipos, para avaliar qual telhado teve a maior contribuição para a diminuição da temperatura no interior. Quanto ao método de análise dos dados, foi estabelecido um padrão de avaliação dos indicadores recolhidos, da temperatura externa do ambiente, estes dados foram comparados e relacionados com as médias de temperaturas diárias dos diversos sensores instalados. Para realizar os gráficos, foram elegidos por meio de médias diárias de temperatura externa, os dias mais frios e quentes do período avaliado, depois a confrontação dos dados obtidos através das médias diárias. E também confrontados com os limites para conforto de acordo com a NBR 16401/08, são temperaturas entre 22,5°C no inverno e 26°C no verão.

### **3.2 Local do experimento**

O local de realização do experimento foi na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, no Campus de Cascavel – PR. Localizada na Rua Universitária, 2069, Latitude de 24°98' Sul, Longitude 53°45' Oeste e altitude de, aproximadamente, 750 metros em relação ao nível do mar (figura 05).

O município de Cascavel está localizado na região oeste do estado do Paraná, na região sul do Brasil. Cascavel tinha uma população estimada de 332.333 pessoas no ano de 2020 e se estende por 2.100,8km<sup>2</sup>, sendo polo estratégico do Mercosul e considerada a capital do Oeste do Paraná (IBGE, 2021).

A temperatura média em Cascavel é de 18.2 °C, a média anual de pluviosidade é de 1.822 mm. Resultando na classificação climática de Köppen-Geiger em Cfa, com

clima subtropical úmido. Durante o ano as temperaturas médias variam 8.2 °C (CLIMATEDATE, 2020).

Os protótipos foram instalados no campo experimental do Centro de Análises de Sistemas Alternativos de Energia – CASA, conforme pode ser observado na figura a seguir, no quadrado amarelo do mapa.



Figura 5 – Localização da instalação dos protótipos  
Fonte: Google Maps (2020)

### 3.3 Desenho e montagem dos protótipos

Foram executados 3 protótipos, conforme podem ser vistos na figura 6 e 7. Sendo:

- 1 protótipo de telhado convencional com telha de fibrocimento;
- 1 protótipo de telhado verde;
- 1 protótipo de telhado com telha de fibrocimento, com aplicação de tinta térmica branca;

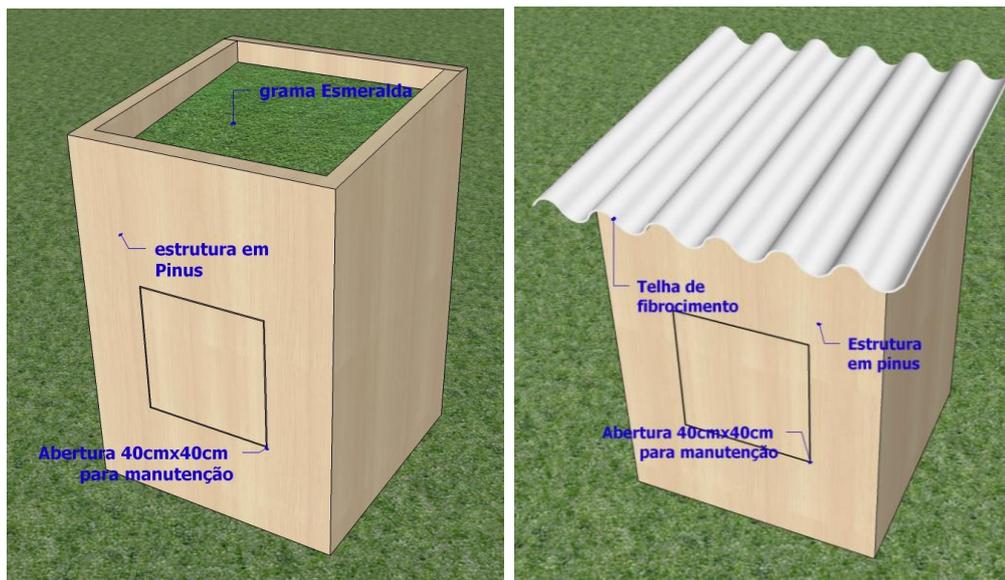


Figura 6 e 7 – Desenho 3D dos protótipos  
Fonte: Autora (2020)

O protótipo com telha de fibrocimento sem aplicação de nenhuma tinta foi utilizado como testemunha, para possibilitar a comparação da temperatura interna com os demais protótipos que terão tinta aplicada e telhado verde.



Figura 8: Três protótipos de pinus instalados na Uniãoeste, na cidade de Cascavel-PR  
Fonte: Autora (2020)

A etapa construtiva dos protótipos foi da seguinte maneira:

- Levantamento da estrutura de madeira;
- Instalação da cobertura de fibrocimento em 2 protótipos
- Aplicação da tintura térmica branca em 1 protótipo (Impermeabilizante para Telhas e Lajes 3,6 litros da marca Hydronorth), nas características

afirmam que especificamente para a cor branca, os benefícios relacionados à redução de temperatura interna (sensação térmica) variam de -1C até -5C em locais onde a temperatura ambiente varia de 20 a 35 graus.

- Colocação em 1 protótipo das camadas para o telhado verde, na seguinte ordem: 1 – Camada impermeabilizante com saco plástico; 2 – Camada drenante (argila expandida); 3 – Camada filtrante (tecido geotêxtil); 4 – Substrato arenoso; 5 – Vegetação grama Esmeralda (*Zoysia japônica*).

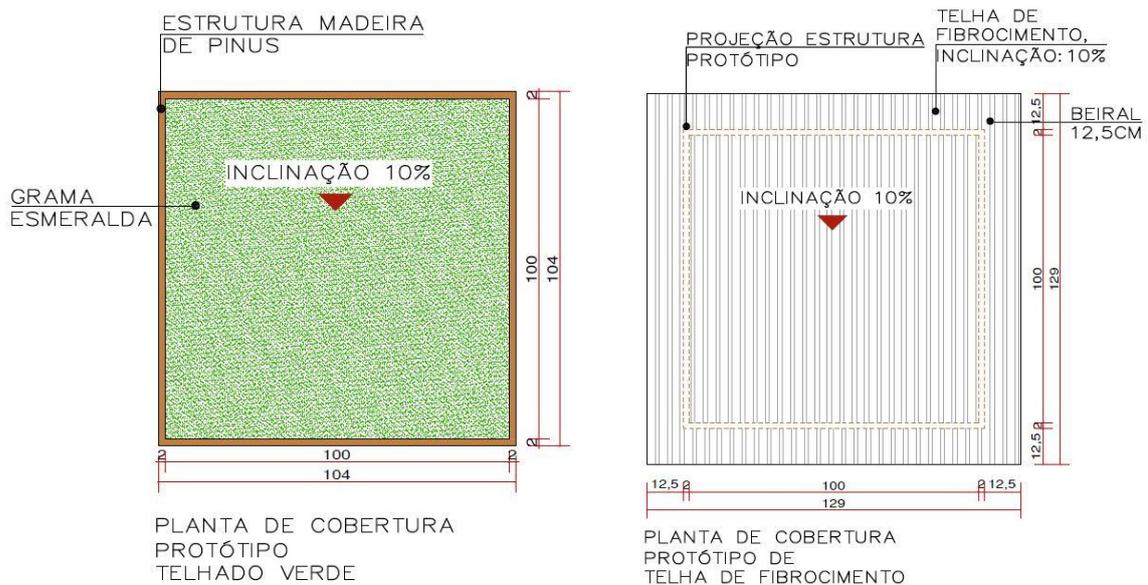


Figura 09 - Impermeabilizante para Telhas e Lajes 3,6 litros da marca Hydronorth  
Fonte: Mercado Livre (2020)



Figura 10 - Grama Esmeralda  
Fonte: Gramas e gramados (2020)

As estruturas dos protótipos foram construídas com madeira de pinus, de 3mm, devido ao baixo custo de fabricação. As superfícies possuem caimento para escoamento das águas pluviais de 10%. Com as seguintes dimensões: 1 metro de altura, por 1m x 1m, sendo 1m<sup>2</sup> (um metro quadrado), o que possibilita a obtenção de um valor que pode ser aplicado a áreas maiores construídas. Também foi feita a abertura de 40cm x 40cm em uma das faces laterais, com sistema de fechamento, para facilitar a colocação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (UR) no interior. Podem ser vistas nas figuras a seguir:



Figuras 11 e 12 – Plantas de cobertura com dimensões dos protótipos com cobertura de telha de fibrocimento e telhado verde  
Fonte: Autora (2020)



Figuras 13 e 14 – Protótipos montados na Unioeste em Cascavel - PR  
Fonte: Autora (2020)

O protótipo de telhado verde se diferenciará dos protótipos de telha de fibrocimento, devido à base do suporte ser 20 cm abaixo do topo, diferente das

demais, pois as telhas estarão fixadas no topo.

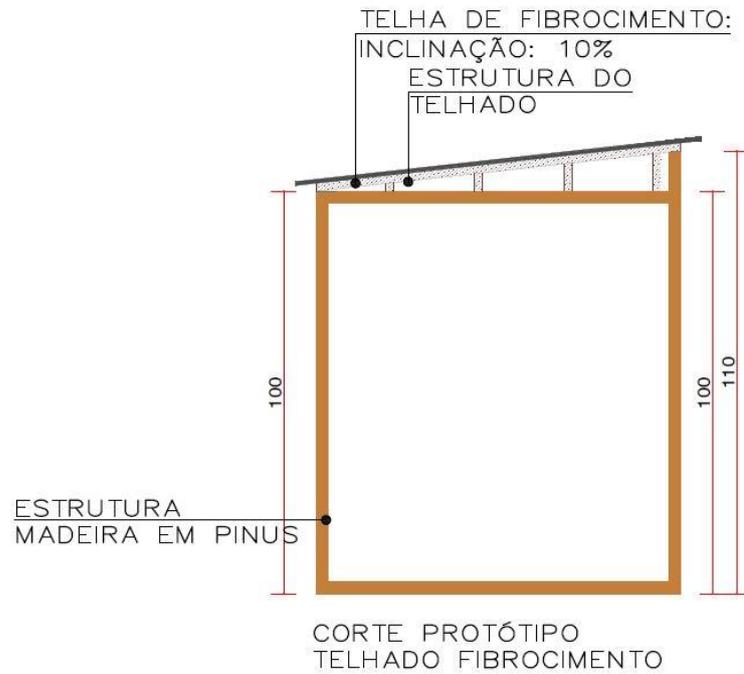


Figura 15 – Corte esquemático protótipo telhado de fibrocimento  
Fonte: Autora (2020)

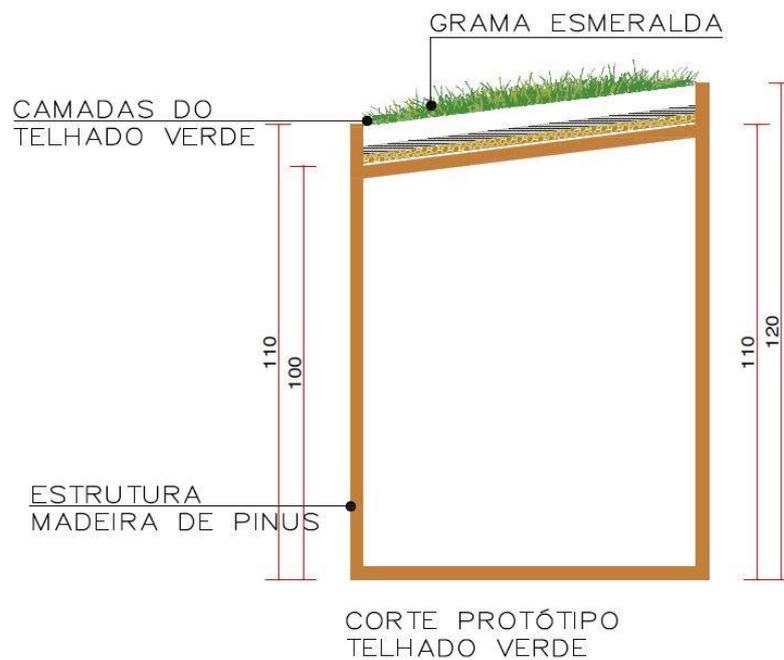


Figura 16 – Corte esquemático protótipo telhado verde  
Fonte: Autora (2020)

Sobre as camadas do protótipo do telhado verde foram ilustradas conforme as figuras 17 a 22:

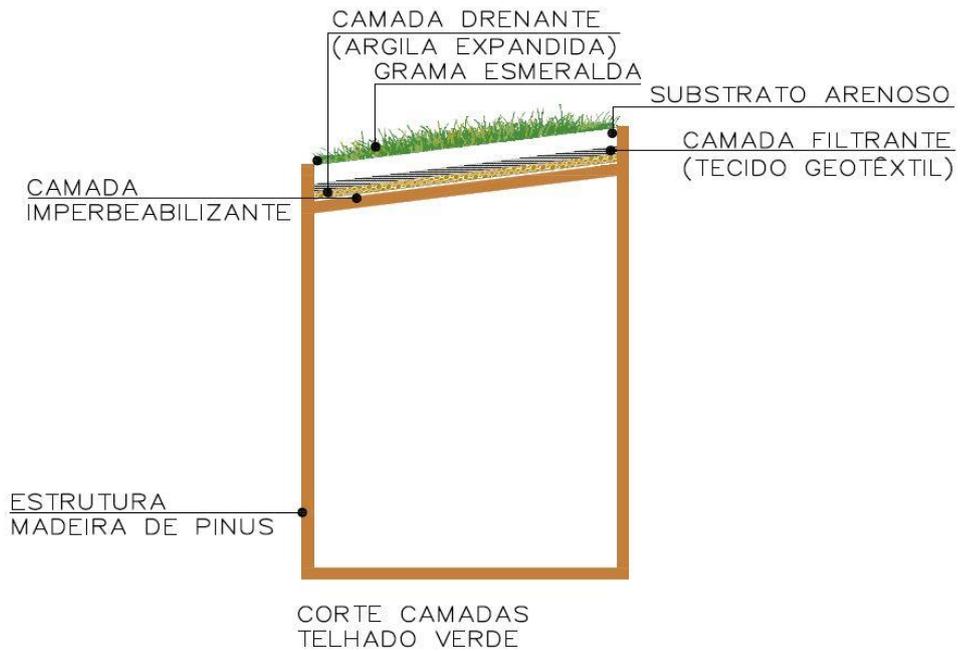


Figura 17 – Corte esquemático com as camadas componentes do telhado verde  
Fonte: Autora (2020)



Figuras 18 e 19 – Camadas da montagem do protótipo do telhado verde, manta impermeabilizante e argila expandida  
Fonte: Autora (2020)



Figuras 20 e 21 – Camadas da montagem do protótipo do telhado verde, tecido geotêxtil e substrato arenoso  
 Fonte: Autora (2020)



Figuras 22– Camadas da montagem do protótipo do telhado verde, vegetação grama esmeralda  
 Fonte: Autora (2020)

Sobre a vegetação escolhida para o telhado verde, é a grama esmeralda, por ser muito comum na região, de custo baixo e muito utilizada em telhados verdes. Sobre as outras camadas foram escolhidas as mais usuais no mercado de telhado verdes no Brasil. A camada impermeabilizante, normalmente é utilizada a manta asfáltica, todavia devido ao alto custo da aquisição, superior a mil reais, foi utilizado um saco plástico, para que os demais itens não vazassem para o interior do protótipo.

O substrato escolhido é o arenoso, é a mistura de uma parte de terra comum, com uma de terra vegetal e outras duas de areia comum. Segundo Snodgrass e McIntyre (2010) é importante que o substrato tenha esse toque arenoso, para que quando estiver molhado não fique pegajoso, pois assim não se compactam com seu próprio peso, o que facilita a permeabilidade do meio.

A camada filtrante é de tecido geotêxtil, fundamental para impedir que as partículas finas do substrato atravessem a camada de drenagem, danificando todo o sistema. A camada drenante, argila expandida.

### 3.4 Monitoramentos

Foram instalados em cada protótipo, 2 sensores de temperatura tipo J, conforme figura 23, um para temperatura do bulbo úmido, outro para bulbo seco; e quanto à umidade relativa do ar, foi instalado em cada uma das unidades um sistema de psicrômetro aspirado. Termopares tipo J são sensores de temperatura simples, robustos e de baixo custo, sendo amplamente utilizados nos mais variados processos de medição de temperatura. São constituídos de dois metais distintos que unidos por sua extremidade formam um circuito fechado (DIGEL, 2020).



Figura 23 – Termopar tipo J  
Fonte: Omega Company (2020)

O sistema de psicrômetro aspirado consiste na instalação de dois termopares adaptados a um tubo de PVC de 75mm, sendo um sensor para a temperatura de bulbo seco, e outro adaptado a uma mecha de material higroscópico, ligado a um reservatório de água ventilado por sistema de cooler, com velocidade cerca de mais ou menos 5 m/s acionado a cada 15 minutos, conforme Cunha e Volpe (2014).

Estes sensores foram ligados ao *Datalogger* da marca *Campbell Scientific CR 1000*, conforme figura 24, que repassou os dados para a interface do programa *Datalogger* no computador.



Figura 24 – Datalogger Campbell Scientific CR1000  
Fonte: Solitec (2020)

### 3.5 Análise estatística

O experimento trata-se de um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo o mais simples de todos os delineamentos experimentais, tendo a vantagem de utilizar qualquer número de tratamento e repetições, por isso são muito usados em laboratórios, casas de vegetação, etc. Para saber se os tratamentos são diferentes ou iguais entre si, foram realizados testes estatísticos que se baseiam na diferença mínima significativa entre as médias, a um dado nível de significância (COSTA, 2003).

O trabalho possui então 3 tratamentos, sendo: 1 protótipo em madeira com telha de fibrocimento que será a amostra, com nenhum tratamento, aplicado; 1 protótipo de madeira com telha de fibrocimento, com tratamento de tinta branca térmica; 1 protótipo de madeira com tratamento de telhado verde. As repetições foram os dias avaliados, sendo 60 dias, ou seja, 60 repetições.

A coleta de dados foi da temperatura interna dos protótipos do bulbo seco e bulbo úmido e a temperatura externa ambiente. Após os dados coletados, os mesmos foram inseridos no *software* de análise de estatísticas e de experimentos de uso gratuito *Sisvar 5.6*. Para obter a comparação das médias dos tratamentos, foi aplicado posteriormente o teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a análise de dados, considerou-se a norma 16401/08 que baseia-se fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005), definindo temperaturas internas entre 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais permitiram avaliar e comparar o comportamento térmico para os três sistemas de cobertura, durante o período de 21 de novembro de 2020 a 20 de janeiro de 2021, sendo analisados durante 60 dias seguidos, na cidade de Cascavel, no Oeste do Paraná.

### 4.1 Comportamento térmico para o período de reflexão

O período da coleta de dados ocorreu no final da primavera e início do verão (21 de novembro de 2020 – 20 de janeiro de 2021), e a faixa de conforto a ser utilizada foi baseada na norma 16401/08, com temperaturas internas entre 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

Considerando os 60 dias completos da coleta de dados, verifica-se a partir da Figura 25, o monitoramento diário durante os 60 dias analisados da temperatura do ambiente externo (°C) registrado na Cidade de Cascavel, Paraná, sendo que a média da temperatura ambiente foi de 25,08 graus Celsius durante esse período. Infelizmente não foi possível analisar os dados da velocidade do vento e da irradiação solar devido o equipamento de análise ter sido atingido por um raio, o que resultou na sua queima e conseqüentemente a perda de todos os dados monitorados.

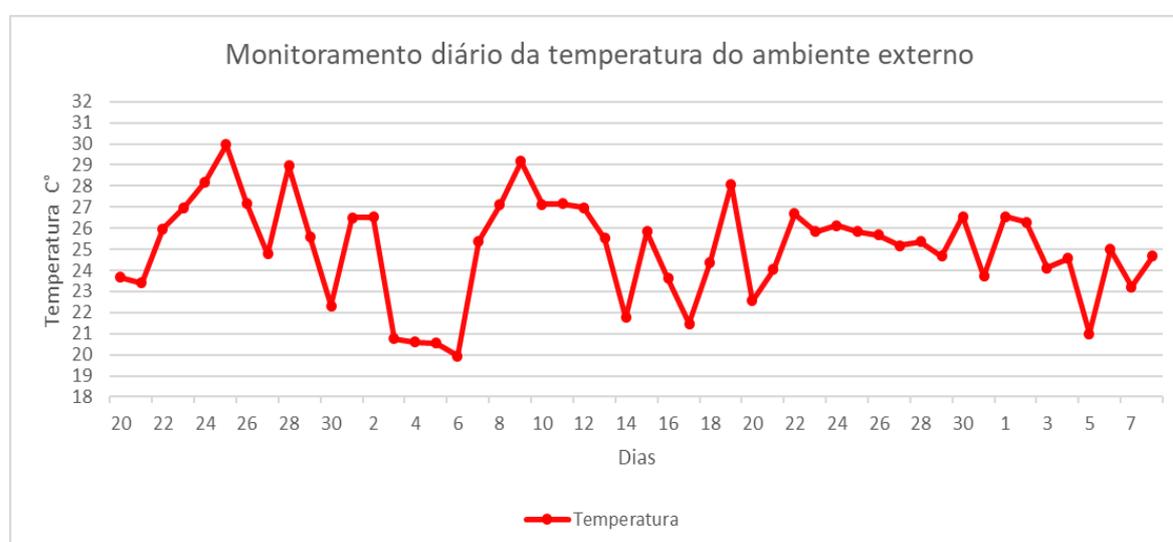


Figura 25: Gráfico com o monitoramento diário da temperatura do ambiente externo no período de 60 dias.  
Fonte: Autora (2021)

A umidade relativa do ar – UR %, é o índice mais conhecido para descrever o conteúdo de vapor d'água, indicando o quão próximo o ar está da saturação, ao invés de indicar a quantidade real de vapor d'água no ar. (GRIMM, 1999).

Na figura 26 é apresentada a UR interna dos ambientes do telhado testemunha, do telhado frio e do telhado verde, através dos dados obtidos a partir do psicrômetro aspirado. Observa-se que o telhado testemunha apresentou a umidade relativa do ar, praticamente a mesma do telhado frio; e que o telhado verde apresentou níveis diferentes deles. Isso pode ser confirmado na análise variância, através do teste Tukey a 5% de significância, conforme visto na tabela 01.

Em relação à umidade, observa-se que a umidade dos componentes do telhado verde é sempre superior à umidade registrada em telhados tradicionais. Feitosa e Wilkinson (2018) também obtiveram esse mesmo comportamento na pesquisa realizada no Rio de Janeiro, assim como nos resultados de Frizon (2018) para a cidade de Limeira, São Paulo.

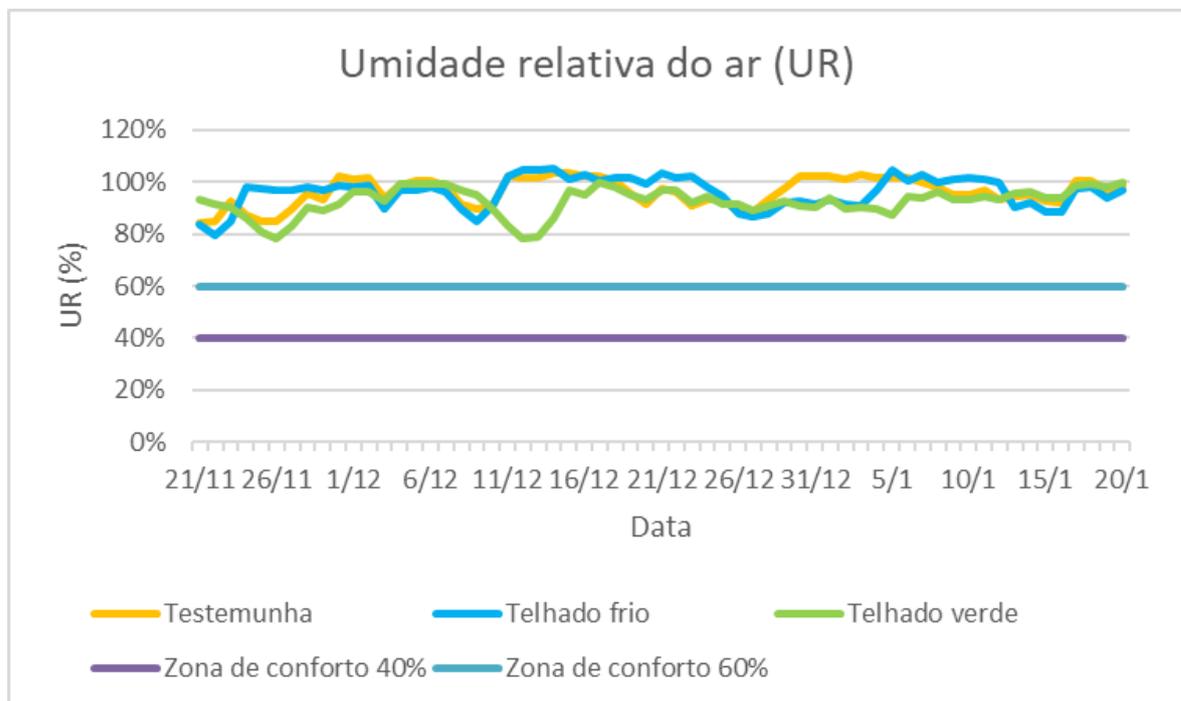


Figura 26: Gráfico com a Umidade relativa do ar (UR) para os telhados analisados, obtido através das temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido  
Fonte: Autora (2021)

Tabela 01: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%).

Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	26,08 b	96 a
Telhado frio	24,59 a	96 a
Telhado verde	24,80 a	92 b

Teste Tukey a 5% de significância da média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2021)

A figura 27, mostra o gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado verde, frio e testemunha. Pode-se notar no gráfico que o telhado sem tratamento, em vários dias, apresentou uma temperatura maior que a própria temperatura ambiente e ao telhado frio e telhado verde.

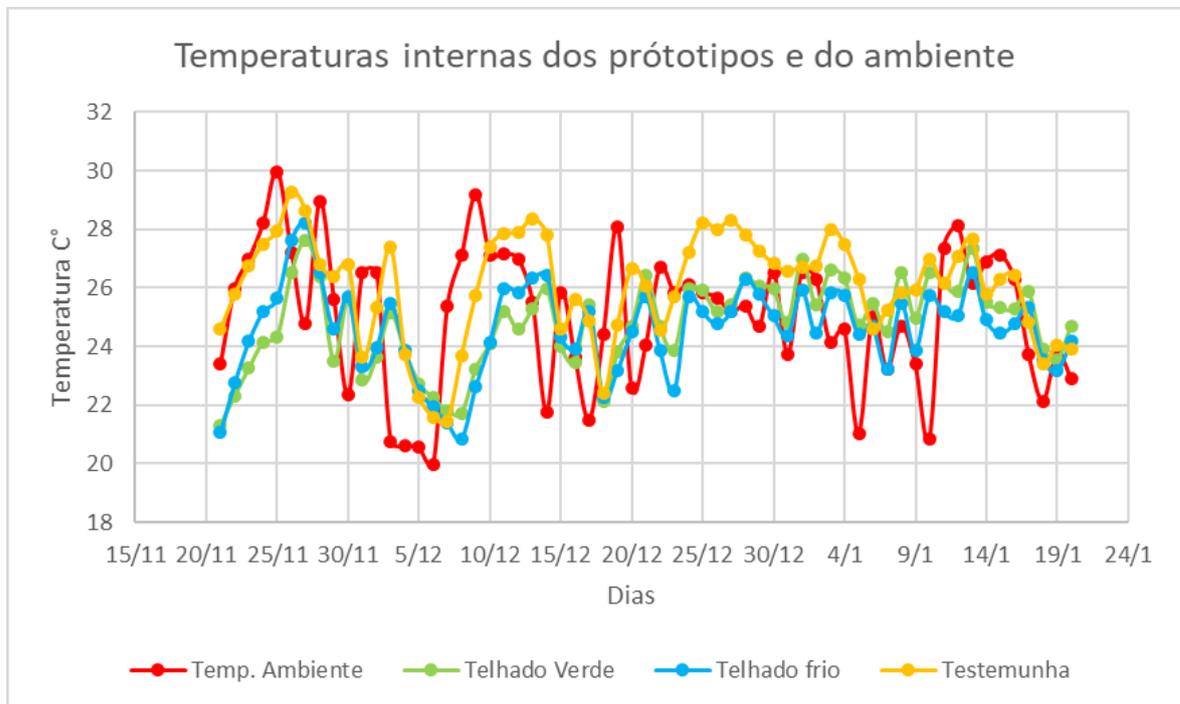


Figura 27: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas e do ambiente  
Fonte: Autora (2021)

Na figura 28, é possível verificar melhor essa diferença térmica entre a temperatura interna e do ambiente.

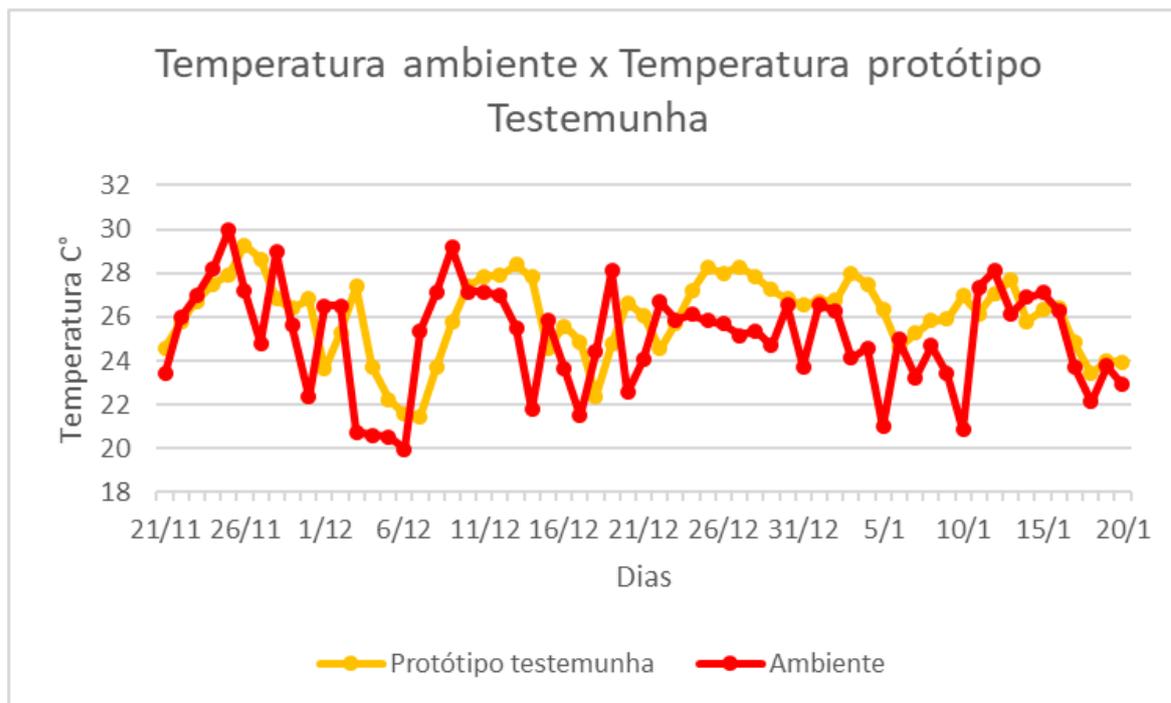


Figura 28: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas do protótipo testemunha e da temperatura do ambiente  
Fonte: Autora (2021)

No gráfico 29, observa-se uma comparação das temperaturas entre o telhado frio e o verde. Nessa análise, percebe-se que praticamente os dois tratamentos tiveram os mesmos resultados, e que houve uma diferença na diminuição ou aumento de temperatura em relação à temperatura ambiente. Como por exemplo, no dia 25 de novembro, dia mais quente do período analisado, os dois tratamentos apresentaram temperaturas menores que da temperatura ambiente. E no dia mais frio, dia 06 de dezembro, temperaturas maiores, confirmando a que os telhados armazenam calor nos dias mais frios.

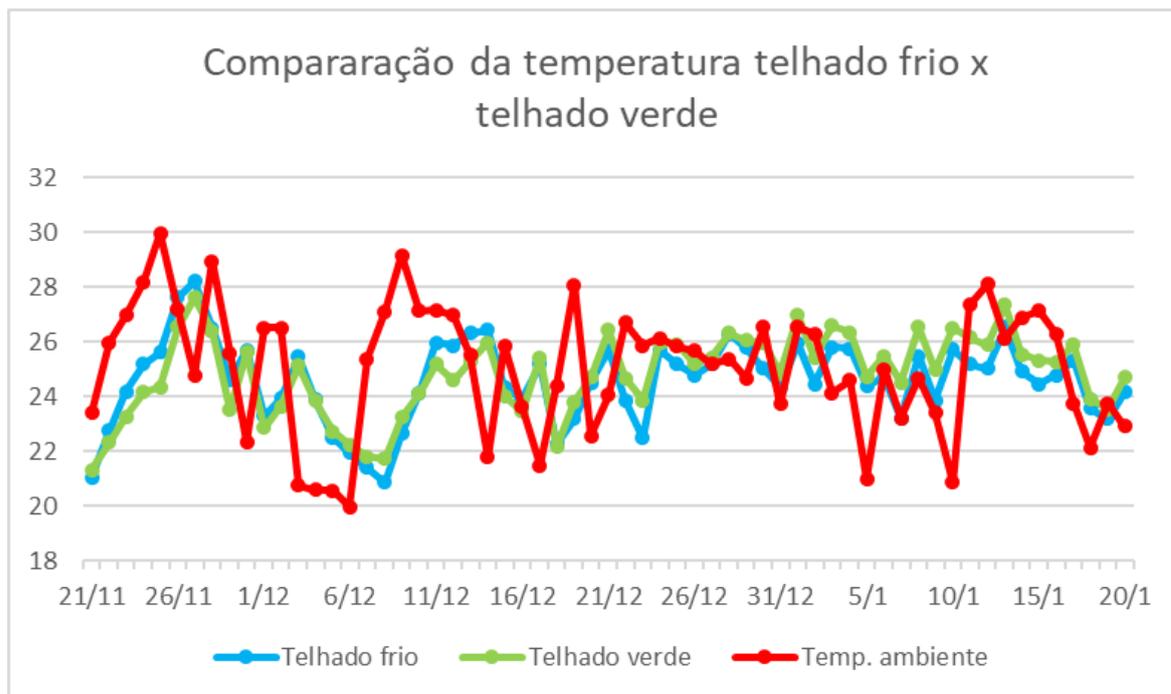


Figura 29: Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas do protótipo telhado frio x telhado verde  
Fonte: Autora (2021)

A comparação do  $\Delta t$  ( $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do protótipo}$ ) para os três protótipos durante todos os dias avaliados apresentou que o telhado sem tratamento ficou  $1^{\circ}\text{C}$  mais quente que a temperatura média externa do período, no qual a temperatura externa teve média de  $25,08^{\circ}\text{C}$  e a do protótipo testemunha de  $26,08^{\circ}\text{C}$ .

Enquanto o telhado frio apresentou resultados do delta de temperatura de  $0,46^{\circ}\text{C}$  mais frio que a temperatura média externa, o telhado verde ficou com  $0,26^{\circ}\text{C}$  mais frio que a temperatura média externa. Ou seja, conforme foi comprovado através do teste de análise de variância do Teste Tukey a 5% de significância, conforme visto na tabela 02, os dois tratamentos não diferem entre si, e ainda o telhado frio apresentou uma menor temperatura geral que o telhado verde. Todavia, lembramos que a umidade relativa do ar não obteve dados favoráveis de conforto.

Tabela 02: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%).

Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	26,08 b	96 a
Telhado frio	24,59 a	96 a
Telhado verde	24,80 a	92 b

Teste Tukey a 5% de significância da média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2021)

#### 4.2 Comportamento térmico da maior média registrada do período avaliado

A maior média térmica registrada durante o período avaliado foi no dia 25 de novembro de 2020, com 28,83 graus. Na figura 30 são apresentadas as variações de temperatura ao longo do dia dos 3 protótipos e da temperatura ambiente.

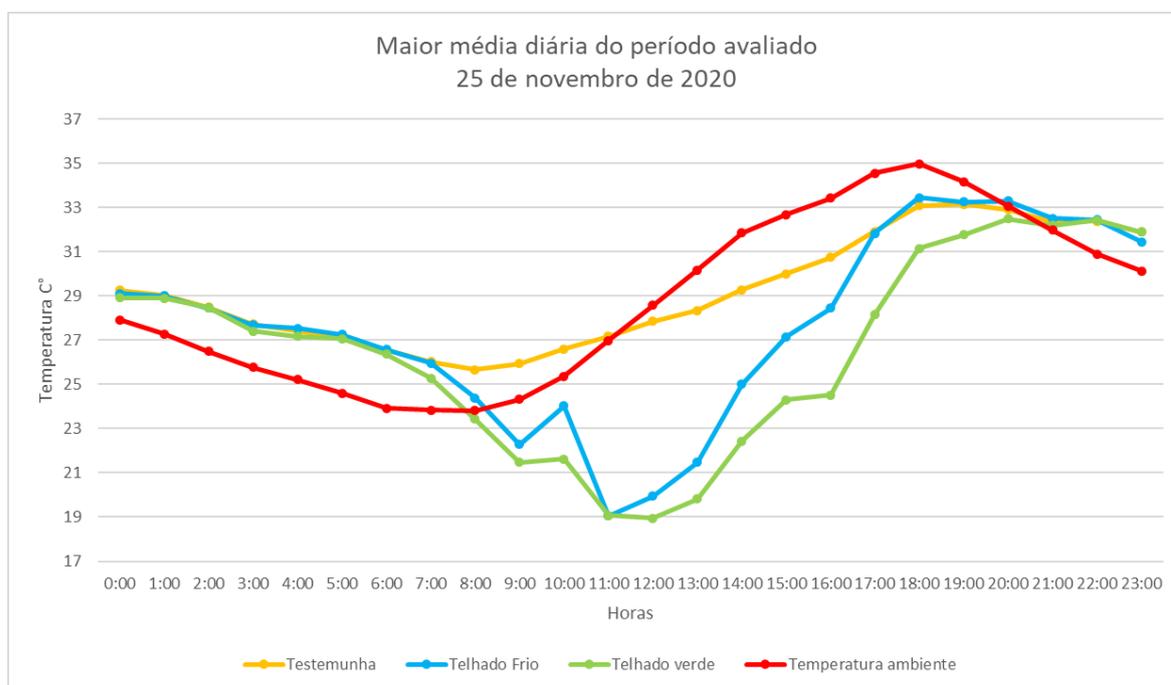


Figura 30: Gráfico da maior média registrada do período avaliado, 25 de novembro de 2020

Fonte: Autora (2021)

- Média da temperatura externa: 28,83°C
- Média da temperatura interna do telhado sem tratamento: 29,20°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)

- Média da temperatura interna do telhado frio: 27,56°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)
- Média da temperatura interna do telhado verde: 26,46°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)

Percebe-se que todos os protótipos apresentaram médias fora da zona de conforto segundo a norma 16401/08. Todavia, se analisarmos por horário, no período das 10h às 14h, horário que o telhado mais recebe radiação solar, o telhado frio e o telhado verde apresentaram dados dentro da zona de conforto, enquanto a temperatura externa estava fora da zona de conforto.

Para verificar a contribuição na diminuição da temperatura de cada protótipo, conforme observado na figura 31, tem-se o  $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$  de cada protótipo, assim percebe-se que o telhado verde chegou a apresentar uma variação média de temperatura de 10,37°C, às 13h, apresentando a umidade relativa dentro da zona de conforto, com 55%, que segundo Olgyay (1973), compreende entre 40% e 60%. Na hora mais quente do dia, que foi às 17h, com 28,16°C, a variação média de temperatura chegou a quase 7°C de diferença.

O protótipo do telhado frio apresentou às 11 horas a mesma variação de temperatura que o telhado verde, com 7,92°C de diferença da temperatura ambiente. Todavia, a umidade relativa do telhado frio foi de 80%, ficando fora da zona de conforto, enquanto do telhado verde foi de 49%, dentro da zona de conforto.

Às 13h, o horário que teve a maior amplitude térmica dos dois telhados com tratamento, foi o telhado frio que apresentou 8,71°C e o telhado verde 10,37°C, conforme citado anteriormente, nem dois graus de diferença. Contudo, percebe-se também que a umidade relativa do ar foi de 82%, fora da zona de conforto, enquanto a do telhado frio foi de 55%, dentro da zona de conforto. Ou seja, a amplitude térmica dos dois foi quase a mesma, conforme confirmado no teste Tukey a 5% de significância, mas a média da umidade relativa do ar do telhado frio foi a mesma do telhado sem tratamento, já o telhado verde foi diferente dos dois.

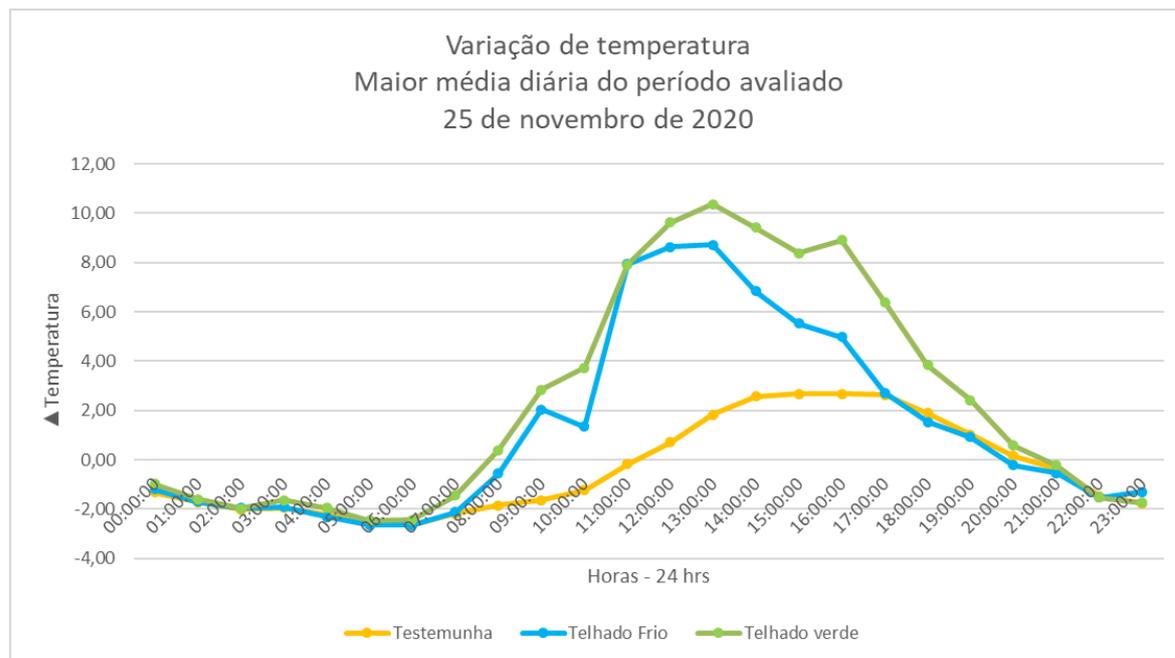


Figura 31: Gráfico da variação de temperatura da maior média diária do período avaliado, 25 de novembro de 2020  
Fonte: Autora (2021)

O  $\Delta t$  do telhado testemunha ( $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado testemunha}$ ) apresentou variação média de  $-0,40^{\circ}\text{C}$  a temperatura externa do ambiente no dia mais quente do período avaliado, 25/11/2020, ou seja, ficou  $0,40^{\circ}\text{C}$  mais quente que o ambiente externo. Enquanto o telhado frio e o telhado verde apresentaram variações térmicas médias de  $1,27^{\circ}\text{C}$  e  $2,36^{\circ}\text{C}$  conseqüentemente, ou seja, ficaram  $1,27^{\circ}\text{C}$  e  $2,36^{\circ}\text{C}$  mais frios que o ambiente externo, confirmado no teste Tukey, que os dois tratamentos não diferem entre si, apenas do protótipo testemunha.

Em seu trabalho, Souza (2015) comparou o telhado verde com o telhado convencional, onde encontrou resultados similares, mas com uma amplitude térmica maior de  $4,49^{\circ}\text{C}$  para a cidade de Cascavel-PR. Gagliano *et al.* (2015), em sua pesquisa na Itália, observaram que a temperatura interna diferia em até  $3,5^{\circ}\text{C}$  em comparação com a camada de cobertura verde. Os valores exibidos são semelhantes aos obtidos neste trabalho. Algumas diferenças entre os valores podem estar relacionadas a diversos fatores, como o clima, localização, estação do ano, espécies vegetais, entre outros. (EKSI *et al.*, 2017).

Segundo Rosseti *et al.* (2013), o fato ocorre devido ao fato de que o telhado verde possui camadas de isolamento que desaceleram o fluxo de calor através da cobertura, assim, menor energia térmica é transferida do exterior para o interior da

edificação.

Tabela 03: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia mais quente do período avaliado.

Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	29,20 a	85 a
Telhado frio	27,56 b	90 a
Telhado verde	26,46 b	77 b

Teste Tukey a 5% de significância da maior média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2021)

### 4.3 Comportamento térmico da menor média registrada do período avaliado

A menor média de temperatura registrada no período avaliado foi no dia 06 de dezembro de 2020, sendo 20,17°C, na figura 32 é possível verificar o registro da temperatura diária. Das 9h às 16h, a temperatura do protótipo testemunha foi superior à temperatura ambiente e aos demais protótipos, chegando em uma variação de até 2 graus de temperatura às 9h da manhã.

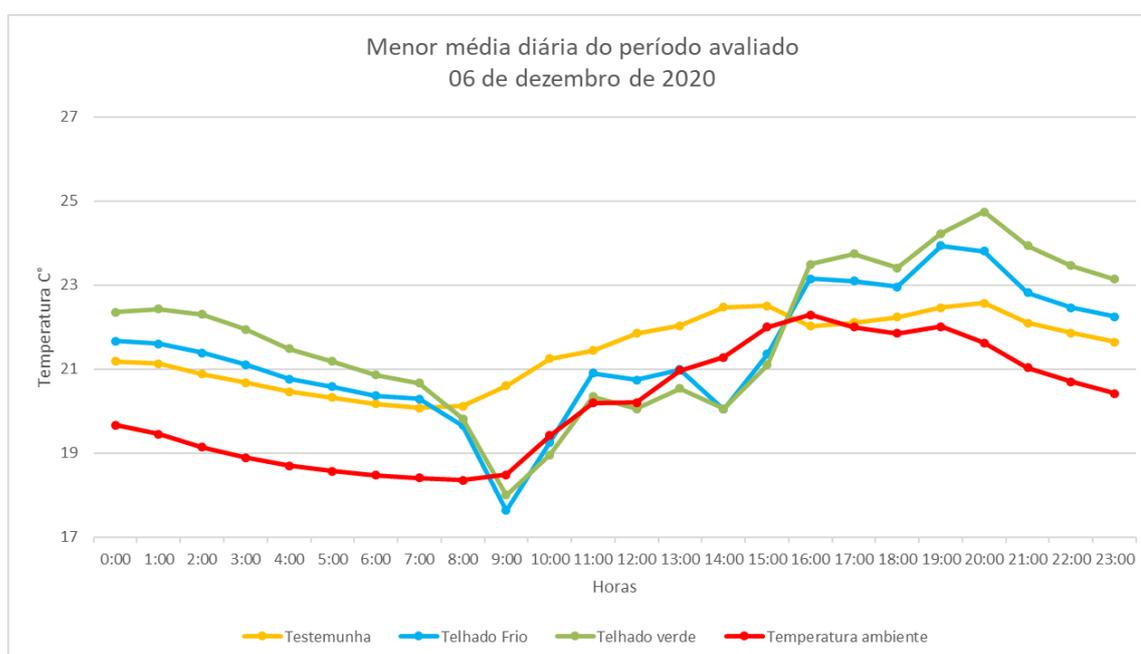


Figura 32: Gráfico da menor média registrada do período avaliado, 06 de dezembro de 2020

Fonte: Autora (2021)

- Média da temperatura externa: 20,17°C
- Média da temperatura interna do telhado sem tratamento: 21,42°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)
- Média da temperatura interna do telhado frio: 21,37°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)
- Média da temperatura interna do telhado verde: 21,76°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08)

Através do gráfico, é possível verificar que os telhados apresentaram durante o início da noite e madrugada temperaturas superiores à temperatura externa, ou seja, armazenaram calor para utilizar no período mais frio. Já no período diurno, o telhado frio e o telhado verde apresentaram quase a mesma temperatura da temperatura externa, salvo o telhado sem tratamento, que apresentou temperatura superior.

Através do teste Tukey realizado a 5% de significância, foi apontado que os três tratamentos não se diferenciaram entre si no dia mais frio do período avaliado, conforme visto na tabela 04.

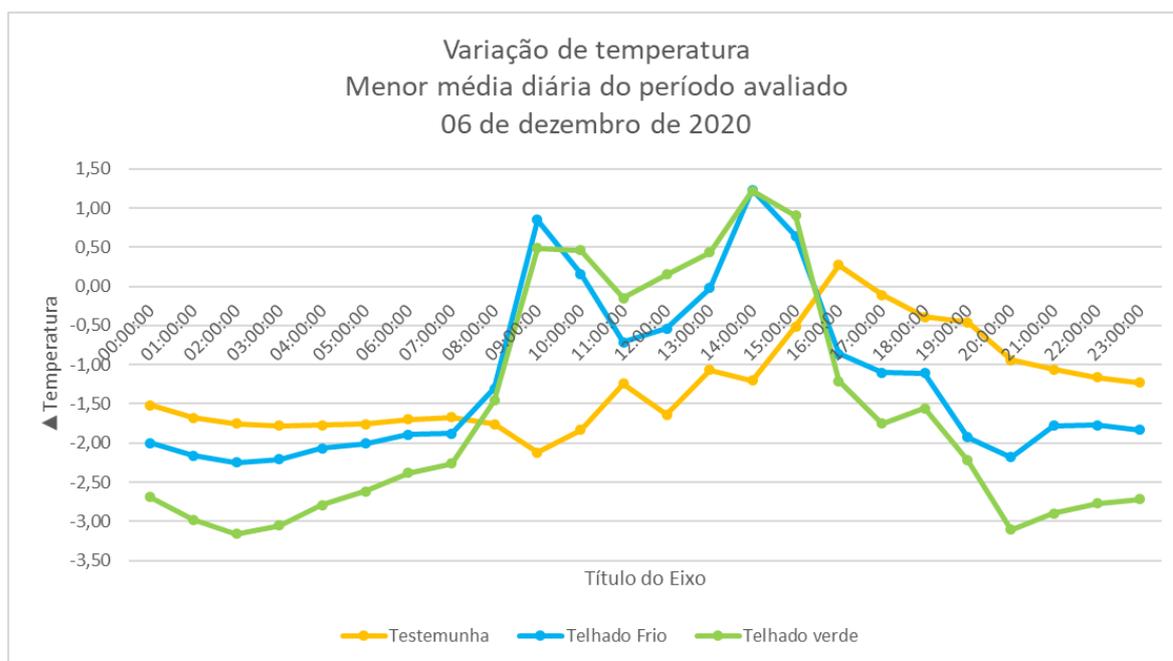


Figura 33: Gráfico da variação de temperatura da menor média diária do período avaliado, 06 de dezembro de 2020  
Fonte: Autora (2021)

Tabela 04: Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia com a menor temperatura do período avaliado.

Tratamento	Bulbo seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	21,42 a	98 a
Telhado frio	21,37 a	98 a
Telhado verde	21,76 a	96 b

Teste Tukey a 5% de significância da menor média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2021)

#### 4.4 Análise geral sobre os resultados

Com a apresentação dos resultados e discussões, pode-se observar, entre as variáveis monitoradas dos protótipos, que a temperatura do protótipo do telhado frio e telhado verde apresentaram a mesma média a 5% de significância no teste Tukey. Já o sem tratamento apresentou diferença significativa, mostrando temperaturas superiores muitas vezes até à temperatura externa.

Entretanto, a umidade relativa do ar que pode determinar o conforto do indivíduo no ambiente, sendo a faixa considerada confortável entre 40% e 60%, e durante o monitoramento, percebe-se através dos resultados e testes que o telhado verde apresentou níveis mais próximos da zona de conforto, e o telhado frio e sem tratamento apresentam a mesma média de dados.

Conclui-se então, que a melhor opção para ficar dentro da zona de conforto térmico, o telhado verde é a melhor escolha. Todavia, através do teste de análise de médias, foi possível verificar que o telhado frio apresentou a mesma média de temperatura do telhado verde. Resultados similares encontrados por Ethur (2016) na simulação computacional para telhados frios e verdes na cidade de Belém do Pará, quanto ao acúmulo de energia ao longo do dia, não obtiveram diferença média significativa.

Os resultados do telhado sem nenhum tratamento demonstraram diferenças térmicas mais elevadas em relação aos que tinham algum tratamento. Nos estudos de simulação computacional de Galindo (2015), os telhados com telha sanduíche que não possuíam tinta reflexiva, apresentaram pior desempenho se comparados aos que possuíam revestimento branco, verificado ainda através das simulações que a tinta reflexiva é a melhor opção para todas regiões climáticas brasileiras, em exceção para

a cidade de Curitiba. Os telhados frios oferecem a vantagem de serem de 3 a 10 vezes melhor em questão de refletir a luz solar do que os telhados sem pintura (CUBI, *et al.*, 2015).

Então para uma solução mais rápida e econômica, o telhado frio é uma opção, principalmente em galpões agrícolas já existentes, onde a estrutura da edificação não aguentaria o peso do telhado verde ou os custos seriam elevados, comparados à aplicação da tinta. Confirmado através dos estudos de Sproul *et al.* (2014), onde os telhados verdes, por mais que durem o dobro que os telhados frios, tiveram perda econômica devido aos altos custos de instalação, cerca de 71 dólares por metro quadrado ao longo de 50 anos, já os frios uma economia líquida de 25 dólares por metro quadrado. Também nas simulações computacionais de Kock, Theiss e Parizotto (2021), nas quais compararam o telhado verde versus telha de fibrocimento para a cidade de Florianópolis, o telhado verde possuiu custo aproximado três vezes maior que o telhado convencional e todas as taxas de retorno ficaram negativas, ficando inviável economicamente sua instalação.

Os materiais reflexivos aplicados nos telhados dos edifícios refletem a energia solar ao longo do ano, o que pode ser desvantajoso no inverno, porque refletem o calor necessário. No entanto, no inverno, em comparação com o verão, os dias são mais curtos e os céus costumam estar mais nublados do que no verão, a quantidade de luz solar disponível para um telhado então é menor.

## 5. CONCLUSÕES

Neste último capítulo da dissertação são apresentadas as conclusões da pesquisa. O presente trabalho terá colaboração para as pesquisas sobre Eficiência Energética, com foco na racionalização da energia, a fim de verificar e comparar o conforto térmico em ambientes com telhados com aplicação de tinta frias, telhado verde e telhado convencional.

O conhecimento dos níveis de conforto térmico é relevante, para obter ambientes com temperaturas mais agradáveis para as pessoas e a realização de suas atividades, assim minimizando o uso de estratégias de refrigeração, consequentemente diminuindo o consumo de energia elétrica.

Com a intenção de reproduzir um ambiente interno com influência das intempéries climáticas externas, as dimensões internas dos protótipos foram de 1m x 1m, com um metro de altura, possibilitando a obtenção de valores e estudos que poderão ser aplicados às áreas construídas maiores.

Algumas complicações surgiram durante o experimento. Como foi realizado durante a pandemia do Covid-19, por muitos dias alguns locais estavam fechados para compra de equipamentos, materiais, também impedindo a visita ao local do experimento. Outro empecilho foi o raio que caiu no equipamento que registrava a temperatura ambiente, a radiação solar e a quantidade de chuvas, ocasionando sua queima e consequentemente a perda de todos os dados. Dessa forma sugere-se que em trabalhos futuros, esses dados sejam computados, para que mais análises possam ser realizadas.

Quanto as temperaturas dos protótipos, o telhado frio e o telhado verde apresentaram a mesma média de temperatura, 24,59°C e 24,80°C respectivamente, quando confrontados no teste de análise de variância, com o teste Tukey a 5% de significância, apresentando médias menores que o telhado sem tratamento, 26,08°C

Quanto à umidade relativa do ar, o telhado verde apresentou-se como sendo a melhor opção, com média de 0,92%, diferente do telhado frio e o telhado sem tratamento com 0,96%. Sendo as mesmas médias quando submetidos ao teste de análise de variância, com o teste Tukey a 5% de significância.

O balanço térmico das coberturas vegetativas é diferenciado das coberturas convencionais, sendo a evapotranspiração o fator responsável pelo aumento da capacidade de evitar ganhos de calor. A cobertura fria se mostrou também uma forma

valiosa para ajudar a reduzir os ganhos de calor pela cobertura, demonstrando reduções expressivas de cargas térmicas. Já o telhado de fibrocimento, utilizado neste trabalho como cobertura sem tratamento, mostrou-se um material cujas propriedades não são favoráveis para um bom desempenho térmico, apesar de muito utilizado em construções. O efeito resultante da redução da absorção, através apenas da aplicação da tinta reflexiva de cor branca, mostrou-se uma forma prática de melhorar significativamente o desempenho térmico no caso da utilização deste material.

Assim, analisa-se através dos dados de conforto, que o telhado verde ainda é a melhor opção, devido aos índices de umidade relativa do ar serem mais favoráveis. Porém, ao analisar somente as médias de temperatura, o telhado frio possui dados satisfatórios na diminuição de temperatura, sendo uma alternativa mais prática, rápida e econômica em relação ao telhado verde, ainda mais em propriedades rurais onde a economia é prioridade. Também sendo uma opção para telhas de fibrocimento sem nenhum tratamento aplicado, o qual nesse trabalho demonstrou possuir temperaturas elevadas em relação ao ambiente externo.

A pesquisa contribuiu para a realização de trabalhos futuros, com foco na eficiência energética. Além da contribuição social, pois as estratégias de resfriamento de telhado serão mais claras, facilitando a tomada de decisão de qual método é o mais adequado e qual trará melhores benefícios.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H., TAHA, H. & SAILOR, D. Measured savings in air conditioning from shade trees and white surfaces. Proceedings of the 1992 ACEEE summer study on energy efficiency in buildings Washington, **American Council for an Energy-Efficiency Economy**. 1992
- ALJEBUR, R. K. A. **The effect of various types of building roof materials on the cooling load**. Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia. 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. São Paulo, SP, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais - desempenho**. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, p. 73. 2013.
- AMORIM, C. M. R. FURTADO, B. R. LIMA, A. C. M. Estudo comparativo entre o desempenho térmico de um telhado convencional e um eco telhado na região amazônica. **Científico**. V. 19, N. 39, Fortaleza, jan./jun. 2019
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C, F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Editora UFV, 2.ed. 2010. 269p.
- BARRY R. G; CHORLEY R. J. **Atmosfera tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman, ed.9, 2013.
- BERARDI, U. GHAFARIANHOSEINI, A. GHAFARIANHOSEINI, A.; State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. Applied Energy. **Elsevier**, v. 115(C), p.411-428. 2014.
- BHATIA, A; MATHUR, J; GARG, V. Calibrated simulation for estimating energy savings by the use of cool roof in five Indian climatic zones, J. Renew. **Sustain Energy**. V. 3, p. 1–14, 2011.
- BLANCO, K. C.; **Coberturas verdes: aplicação como estratégia de mitigação de impacto ambiental em Brasília**. Centro Universitário de Brasília. (UniCEUB/ICPD)

Brasília/DF. 2012.

CAUSONE, F. Potencial climático para ventilação natural. **Revista de Ciência Arquitetural**. 59 (3) (2016), pp. 212 – 228.

CHENGIU, D; BAIZHAN, L; HONG L; CHAO, L. Efeito da umidade do ar na temperatura térmica humana aceitável ambientes e avaliação. **SciEngine**. v. 65, ed. 4, p. 311-324, 2020.

COELHO, K. S. D. **Avaliação de um sistema modular de cobertura verde: comportamento térmico, hídrico e acústico**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, Portugal, 2019.

CONCEIÇÃO, M et al. **Desempenho de telhas de escoria de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.5, p. 536, 2008.

CORBELLA, O. D.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: 2 Edição. Editora Revan, 2009. p.308

COSTA, J. R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Emprapa Agrobiologia Documentos, 2003. 102p.

CLIMATEDATE ORG. **Clima Cascavel (Brasil)**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/cascavel-5965/#:~:text=18.2%20%C2%B0C%20%C3%A9%20a,pluviosidade%20%C3%A9%20de%201822%20mm.>> Acesso em: 16.jun.2020

CUBI, E; ZIBIN, et al. Sustainability of Rooftop Technologies in cold climates. Comparative Life cycle assessment of White roofs, green roofs, and photovoltaic panels. **Journal of Industrial Ecology**. Yale University. V. 20, n. 2. P. 249-262. 2015.

CUNHA, A. R.; VOLPE, C. A. Medidas Automatizadas de psicrômetro de termopar aspirado versus não aspirado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Botucatu - SP, 29, n. N.02, 2014. 271 - 280.

DIAS, A. C.; et al. **Manual Brasileiro de boas práticas Agropecuárias na Produção de Suínos**. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Emprapa Suínos e Aves, 1 ed. 2001, 140 p.

DIGEL. **Termopar tipo J**. Disponível em: <<https://www.digel.com.br/produto/473/kit-termopar-tipo-j>> Acesso em: 18.fev.2021

DUARTE, V. C. P. et al. **Desempenho térmico de Edificações**. Apostila – Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

ERBA, S. CAUSONEA, F. ARMANIA, R. The effect of weather datasets on building energy simulation outputs. **Energy Procedia**. Volume 134, October 2017. Pages

545-554 October 2017. Pages 545-554

ETHUR, A. D. **O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2016.

FANTE, K. P. **Eventos extremos de temperatura e seus impactos no conforto térmico humano**: Estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima. 2019, 300 p. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, São Paulo

FARIAS, R. Avaliação da temperatura do telhado de diferentes materiais de cobertura para construção do telhado de aviários móveis. **Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 308 – 315, 2017.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Modelling green roof storm water response for different soil depths, *Landsc. Urban Plan.* 153 (2016) 170–179.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. **Building and Environment**, v.140, p. 11-22, 2018.

FIORETTI, R. et al. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building And 182 Environment*, v. 45, n. 8, p.1890-1904, ago. 2010.

FRIZON, A. J. et. al. Telhados verdes como alternativa para construções sustentáveis. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 13, n.5, p.620-629, Edição Especial, 2018.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. 7.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GAGLIANO, A.; et al. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. **Building and Environment**, v. 90, p. 71-81, 2015, 10.1016/j.buildenv.2015.02.043.

GALINDO, A. S. **Eficiência energética de telhados no Brasil**. 2015, 135p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em engenharia Mecânica, Recife

GANGULY, A; CHOWDHURY, D; NEOGI, S; Performance of Building Roofs on Energy Efficiency – A Review. **Energy Procedia**. School of Energy Studies, India. P. 200-208. 2016.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Primeira reimpressão. Madrid: Editorial Sintesis, 1996.

GARG, V. et al. Assessment of the Impact of Cool Roofs in Rural Buildings in India. **Energy and Buildings**. v.114 p.156-63. 2016.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**, New York, Van Nostrand Reinhold. 1994

GIVONI, B. **Climate Considerations in Urban and Building Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GUIMARÃES R.P., CARVALHO M.C.R.; SANTOS F.A., 2013. "The influence of ceiling height in thermal comfort of buildings: A case study in Belo Horizonte, Brazil," *International Journal of Housing Science*, 37(2):75-86. 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de física**, volume 3: eletromagnetismo. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biase. – Rio de Janeiro: LTC, 2009. 4v.

HE, Y.; YU, H.; DONG, N.; YE, H.; Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai, **Energy Build.** 127 (2016) 762–773. doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.016.

HERNANDEZ P. KENNY P. Defining zero energy buildings. A lifecycle perspective. In: **Proceedings of the PLEA 2008 – 25th conference on passive and low energy architecture**, Dublin, Ireland; 2008. p. 22–4.

HOPPE, I. L.; WOLLMANN, C. A.; BARATTO, J.; GOMES, S. L. S. Análise da Temperatura e Umidade Relativa Média do ar no Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca, em Agudo - RS. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2016, Goiânia. **ANAIS - XII SBCG**, 2016. p. 48-58.

IBGE. **Cascavel**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/cascavel.html>> Acesso em: 04. out. 2020

IGRA – International Green Roof Association. Disponível em: <<http://www.igra-world.com>>. Acesso em: 20.mar.2020

INCROPERA F., DE WITT D.P., **Fundamentos da transferência de calor e massa**, 6ª ed., Rio de Janeiro, Editora LTC, 2008.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. Dissertação de Mestrado, departamento de engenharia de construção Civil, Universidade de São Paulo, (2007).

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building green: a guide for using plants on roofs, walls and pavements**. Greater London Authority, London, 2004

KOCK, R. V; THEISS, V; PARIZOTTO, S. F. Análise econômica financeira do emprego de cobertura vegetada em edifícios públicos. **Navus**. Florianópolis, SC. V.11 p.01-17. Jan/dez.2021

KRINER, S. **Cool Metal Roofing – An Emerging Hot Topic**. Retrieved from.

Disponível em:

[http://www.coolmetalroofing.org/elements/uploads/casestudies/tmi\\_casestudy\\_25.pdf](http://www.coolmetalroofing.org/elements/uploads/casestudies/tmi_casestudy_25.pdf) 2006

KUSSABA, T. Y. K. et al. Avaliação do comportamento térmico de cobertura e fachada verde em células de testes. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 145-159, out. 2018. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2814>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

LABAKI, LC. GRANJA, AD. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. **Int. J. Energy Research**; V. 27 p. 771-779. 2003

LACERDA FILHO, Adílio 7. SILVA, Juarez de Sousa. RESENDE, Caetano. Estruturas para armazenagem de grãos. In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Editora aprenda Fácil, 2008. Disponível em: <<http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/agr006/files/2014/08/estruturas-para-armazenagem-de-gr%c3%A3os.pdf>>. Acesso 21 out.2017.

LAMBERTS, R; et al. **Desempenho Térmico de edificações**: Apostila do curso de Engenharia Civil, ECV 5161. 7.ed. Florianópolis: UFSC, 2016. 13p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.; **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: 3ª Edição. Editora: Eletrobrás/Procel, 2014. p. 284

LAMBERTS, R. **Heat transfer through roofs of low cost Brazilian house**. 1988. 156p. These (Doctor of Philosophy) – University of Leeds, 1988.

LEVINSON, R; AKBARI, H. Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: Conserving energy, saving Money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants. **Energy Efficiency** 3 (1) p. 53-109. 2010

LIZ, D. S. et al. ORDENES, M. GUTHS, S. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. **Oculum ens**. Campinas, v.15(2) | 315-333, 2018

LOH, K. et al. **Outdoor Paint Ageing of Brazilian Paints** - Part II, Correlation between results of accelerated and outdoor paint ageing of Brazilian paints - Part one. 12thDBMC International conference on durability of building materials and components. Porto, Portugal, April (2011).

MAESTRI, A. **Avaliação da refletância solar em coberturas no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina**/ Alexandre Maestri; 2017. 212p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

MADHUMATHI, A. RADHAKRISHNAN, S. PRIYA, R., SH. **Sustainable Roofs for Warm Humid Climates** -A Case Study in Residential Buildings in Madurai,

Tamilnadu, India. *World Applied Sciences*, 32(6), PP. 1167-1180. 2014

MARCATO, C. A. F. G. **Avaliação comparativa do desempenho térmico de módulos executados em light steel frame com cobertura verde e com telha de fibrocimento.** Dissertação (mestrado) Universidade Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2017

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. E. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre, Editora Sagra Luzzatto, 1992.

MOBLEY, R. K. **Plant engineer's handbook.** Rev. ed. The United States of America: Butterworth-Heinemann, 2001

MOHAMAD, G. et al. Avaliação de temperatura e umidade em residências revestidas internamente com embalagens longa vida. **Mix Sustentável.** Florianópolis, v.5, n.3, p.19-26, jul.2019

MONTEIRO, A. Riscos climáticos: hazards, áleas, episódios extremos. In: AMORIM, M. C. de C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. **Climatologia urbana e regional.** Questões teóricas e estudos de caso. 1ª edição. São Paulo: Outras expressões, 2013, p 143 – 171

MORAKINYO, T. E.; DAHANAYAKE, K. W. C.; NG, E.; CHOW, L. C. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. **Energy and Buildings.** v.145. p.226-237. 2017.

MOREIRA, P. S. P.; GALVANIN, E. A. dos S.; DALLACORT, R.; NEVES, R. J. Análise de agrupamento aplicado ao ciclo diário das variáveis meteorológicas nos biomas do estado de mato grosso. **Acta Iguazu,** Cascavel, v.5, n.1, p. 80-94, 2016

NABONI, E. LEE, D, S-H. FABBRI, K. Thermal Comfort-CFD maps for architectural Interior Design. *Internacional High-Performance Built Environment Conference – A sustainable Built Environment Conference 2016 series.* Procedia Engineering 180 (2017) 110-117. **Revista Science Direct.** 2016

NICOL, J, F; ROAF, S. Rethinking thermal comfort, **Building Research & Information,** 45:7, 711-716, DOI: 10.1080/09613218.2017.1301698, 2017

NOVAIS, D. **Instalações rurais,** Instituto formação. Técnico em agricultura. 2014

NUGRAHANTI, F. et al. (2019). **Influence of Humidity on termal comfort for worker productivity in Hot-Humid Climate.** 127-133. 3ª Conferência Internacional sobre Rede Inteligente e Cidades Inteligentes, 2019.

OLIVEIRA, R. D. **Classificação do desempenho térmico da envoltória de habitação popular em concreto armado.** Dissertação de doutorado apresentado a Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015. 227p.

ORDENES, DR. M; LAMBERTS, PHD. R; GÜTHS, PHD. S. **Transferência de Calor**

**na Envolvente da Edificação.** Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, março de 2008.

PADILHA, A. **Higiene do trabalho – Módulo: Temperaturas extremas.** Apostila do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2010.

PAPA, R. P; ASSIS, J. S; SAD, E. Energy index evaluation of buildings in function of the external temperature. **Proc: Build Simul** (2007), pp. 1890-1894

PARKER, D. S. et al. **Demonstration of cooling savings of light colored roof surfacing in Florida commercial buildings:** Our Savior's school. FSEC-CR-904-96. 1997

PARKER, D. BARKAZI S. Roof solar reflectance and cooling energy use: field research results from Florida. **Energy Buildings.** v. 25 p.105-115. 1997

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p.1712-1722, Jul. 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.03.014.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C; KUHN, M. E.; BASS, B. **Greenbacks from green roofs:** forging a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion. Canada: Mortgage and Housing, 1999

PERUSSI, R; VECCHIA, F. A. S. Análise do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde utilizando plataformas de teste. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 225-236, dez. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647932>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

PÉREZ, H. I; XAMÁN, J; MACÍAS, M. E. V. CASTRO, A. K. M. Reflective Materials for Cost-Effective Energy-Efficient Retrofitting of Roofs. **Elsevier Lt.** P. 119-139. 2017

PISELLO, A. P; ROSSI, F; COTANA, F. Summer and Winter Effect of Innovative Cool Roof Tiles on the Dynamic Thermal Behavior of Buildings. **Energies.** v.7. p.2343-2361. 2014

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural.** 2.ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 1986. 240 p

ROSSETI, K. A. C; DURANTE, L.C; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J; NOGUEIRA, J. S. **Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados.** Brazilian Geographical Journal: Geosciences and humanities research medium. Ituiutaba, v.4, n.1, p. 55-77.

SAADATIAN, O. et al. A review of energy aspects of green roofs. **Elsevier Science**, v.23, p. 155-168. 2013.

SALEIRO, F. M.; REIS, A. L.; S.; SCHUELER, A.; ROLA, S. Além de um diálogo reservado com as estrelas: O processo de formação e transformação do terraço jardim ao telhado verde. **Revista de Ciência e Tecnologia (RCT)**, v.1 n.1. 2015.

SAMUEL, D. G. L. DHARMASASTHA, K. NAGENDRA, S. S. M. MAIYA, M. P. **Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials**. International Journal of sustainable Built Environment. 464-475. 2017

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar energy**, V. 85, ed.12. p.3085-3102. 2011

SARMENTO, L. G. V. et al. **Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte**. Agropecuária Técnica, v. 26, n. 2, p. 117-122, 2005.

SHITTU, E; STOJCESKA, V; GRATTON, P; KOLOKOTRONI, M. Environmental impact of cool roof paint: case-study of house retrofit in two hot islands. **Energy e Buildings**, v. 217. 2020

SOUZA, C, R, B. **Telhado verde e sua contribuição para a redução da temperatura ambiente em construções para Cascavel/PR**. Dissertação (mestrado) Universidade do Oeste do Paraná, Programa de pós graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura, 2016.

SILVA, N. K. F. et al. Conforto Térmico em Habitações de Interesse Social: um Estudo Aplicado a uma Unidade de Saúde da Família. **Uniciências**, v. 22, n. 1, p. 2-7, 2018

SIMPSON, JR. MCPHERSON, EG. **The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona**. Energy Buildings; 25:127-137. 1997

SNODGRASS, E. C; MCINTYPRE, L. **The Green roof Manual. A professional guide to design installation, and Maintenance**. Timber Press: Inc., 2010.

SPROUL, J. WAN, M. P. MANDEL, B. H. ROSENFELD, A. H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States, **Energy Build**. v. 71. p.20–27. 2014 doi:10.1016/j.enbuild.2013.11.058.  
<https://eta.lbl.gov/publications/economic-comparison-white-green-black>

STRASSBURGER, A. S. et al. Comparação de dados da temperatura do ar obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. 26, p. 273-278, 2011.

SUEHRCKE, H. PETERSON, E. L. SELBY, S. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**. V. 40 p. 2235. 2008

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICILLI, D.G. A.; PERSH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para gestão de águas pluviais. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n.1, p. 139-154. 2014

TAVARES, J. P. N. Características da Climatologia de Macapá-AP. **Caminhos de Geografia** (UFU), v. 15, p. 138-151, 2014.

TOGNETTI, M. A. R. **Metodologia da pesquisa científica**. São Carlos: Serviço de biblioteca e informação do Instituto de física de São Carlos – IFSC – SBI, 2006.

TINÔCO, I. D. F. **Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros**. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v.3, n.1, p.01-26, 2001.

URBAN, B; ROTH, K. **Guidelines for Selecting Cool Roofs**. Washington, DC: U.S. Department of Energy, Building Technologies program. V.12. 2010. Disponível em: [https://heatiland.lbl.gov/sites/default/files/coolroofguide\\_0.pdf](https://heatiland.lbl.gov/sites/default/files/coolroofguide_0.pdf). Acesso em 27.set.2019

V.W.Y. Tam, J. Wang, K.N. Le, Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong, **Building and Environment**. 110 (2016) 46–54. doi:10.1016/j.buildenv.2016.09.032.

VIJAYARAGHAVAN, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.] v. 57, p. 740 – 752, May. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>

WORRELL, E. **Cement and Energy**. Ref, Module Earth Syst, Environ. Sci. 1, 307-315. 2014

YANG, J.,WU, H.,XU, X., *et al.*, “Numerical and experimental study on the thermal performance of aerogel insulating panels for building energy efficiency”, **Renewable Energy**, v.138,pp. 445-457, 2019

YIN, R. K. **Case study research: Design and methods**. Thousand Oaks, CA: Sage, 3 ed. 2003.