

COBERTURAS VERDES: ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA EXTENSIVO EM COMPARAÇÃO A UMA COBERTURA COM TELHA CERÂMICA NA CIDADE PALMAS-TO

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-022>

Data de submissão: 03/11/2024

Data de publicação: 03/12/2024

Lanuci Chagas Peruci

Eng.

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: lucytuei@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1118-2427>

Mariela Cristina Ayres de Oliveira

Dra.

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: mariela@uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4253-6586>

Thiago Henrique Omena

Dr.

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: thiagoomena@uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6161-3228>

Isaque Fontes Silva

Esp.

Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, Brasil

E-mail: aisaquefontes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2452-0139>

Taynnara Gonçalves de Oliveira Borges

Esp.

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: oliveira.taynnara@uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8754-1496>

Bibiana Zanella Ribeiro

Me.

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: bibiana@mail.uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0794-4976>

RESUMO

Este estudo comparou o desempenho térmico de coberturas verdes e telhas cerâmicas, avaliando a transmitância térmica e o conforto térmico em conformidade com as normas ABNT NBR 15.575-5:2013 e ABNT NBR 15.575-1:2013. A análise foi realizada por meio do procedimento simplificado, com o cálculo da transmitância térmica em ambas as coberturas, e do procedimento de medição in

loco, que envolveu a coleta da temperatura do ar nos protótipos durante três dias consecutivos. Além dos métodos previstos pela norma, também foram analisados os parâmetros de umidade relativa do ar e a temperatura de globo negro, por meio da interpretação de gráficos com os dados coletados durante o período de medição. Os resultados mostraram que a cobertura verde teve uma transmitância térmica menor em comparação à telha cerâmica, indicando melhor isolamento térmico. No entanto, ambas as coberturas não atenderam aos requisitos mínimos de desempenho da norma. A medição in-loco revelou que, apesar da cobertura verde proporcionar maior conforto térmico, nenhum modelo conseguiu garantir temperaturas internas inferiores às externas durante todo o período de coleta. A pesquisa sugere que a otimização dos materiais, como o aumento da espessura de componentes como a madeira compensada, poderia melhorar os resultados e atender aos critérios exigidos pela norma.

Palavras-chave: Cobertura Verde, Desempenho Térmico, Telha Cerâmica, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da urbanização é uma tendência global caracterizada pelo crescimento exponencial das áreas urbanas e a imposição de uma inevitável expansão sobre territórios ainda não explorados. Essa movimentação demanda uma profunda reconfiguração das cidades, bem como de suas políticas urbanas, com o propósito de amenizar os crescentes desafios ambientais que surgem como resultado desse processo (Coelho, 2019).

Entre as problemáticas ambientais, decorrentes do cenário comentado anteriormente, destaca-se o aumento da temperatura do ar em áreas urbanizadas. Sobre o exposto, Coelho (2019) afirma que este fenômeno se dá devido a presença de vastas áreas com revestimentos impermeáveis, como vias, calçadas, estruturas verticais e superfícies de edificações. Santos (2012), corrobora o exposto ao afirmar que com a expansão dos centros urbanos ocorre a redução dos espaços verdes, que são substituídos por estruturas de concreto e aço, retendo mais o calor ao longo do dia.

Com o surgimento de novas problemáticas, conceitos e demandas ambientais, a área da construção civil identificou a necessidade de adaptar seus métodos de planejamento e execução, seus modelos de projetos e suas normas, para reverter as consequências da grande urbanização. Isto poso, em relação ao crítico aumento de temperatura do ar, Almeida (2019) destaca que a ABNT NBR 15.575:2013- Edificações habitacionais- Desempenho, em suas partes 1, 4 e 5, aborda como o desempenho térmico é um requisito importante para manter a edificação habitável, interferindo diretamente no bem-estar do usuário.

Com a crescente ênfase no desempenho térmico das edificações e do ambiente urbano, busca-se empregar soluções sustentáveis que influenciam positivamente tanto o conforto dos ocupantes das edificações quanto o bem-estar da população em geral. Conforme defendido por Coelho (2019), as coberturas verdes surgem nesse cenário como uma alternativa ecológica às coberturas convencionais, isso devido a sua comprovada capacidade de refletir a maior parte do calor que incide sobre ela.

Do ponto de vista ambiental, os telhados verdes contribuem significativamente para a melhoria da qualidade do ar, a redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas e a minimização das vazões dos rios (Baldessar, 2012). Essa afirmação confirma que o sistema de cobertura verde possui vantagens econômicas, interferências sustentáveis no cenário urbano e vantagens no ecossistema global a longo prazo.

Para explorar o desempenho de um sistema construtivo Caldas e Carvalho (2018) sugerem a comparação entre dois materiais, modelos ou métodos para uma análise efetiva, já que esse tipo de avaliação é considerada assertiva e é recorrentemente utilizada. Assim, para explorar o comportamento

térmico do sistema cobertura verde, optou-se pelo comparativo com uma cobertura de telhas cerâmicas que, segundo Lopes (2007), está entre os três tipos de coberturas mais utilizadas no Brasil.

A região de coleta de dados escolhida para esse estudo foi a cidade de Palmas, no estado de Tocantins. Apesar de ser a mais jovem entre as capitais brasileiras e ostentar o título de "Capital Ecológica", suas áreas verdes foram negligenciadas tanto na urbanização como no processo de expansão da cidade (Paz, 2009).

Freitas e Souza (2016) em seu estudo sobre o clima de Palmas-TO concluíram que a cidade apresenta variações climáticas com tendência à prevalência de altas temperaturas durante o período seco. Esse resultado justifica o interesse do estudo na região, pois demonstra a importância de se compreender as características climáticas locais para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e melhoria às mudanças climáticas.

Ante o exposto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho térmico de coberturas verdes extensivas e de coberturas convencionais com telha cerâmica em Palmas-TO, a fim de verificar qual sistema construtivo proporciona melhor desempenho, de acordo com a análise dos dados coletados comparando-os com os requisitos mínimos estabelecidos na ABNT NBR15.575:2013.

2 METODOLOGIA

A fim de analisar o desempenho térmico da cobertura nos protótipos com cobertura verde e com telhamento cerâmico, conforme a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013, o presente capítulo apresenta os procedimentos metodológicos realizados na pesquisa.

2.1 CONSTRUÇÃO DA COBERTURA VERDE

Para realizar a coleta de dados foram utilizados dois protótipos já existentes e localizados na Universidade Federal do Tocantins campus de Palmas que estão enquadrados na figura 1A e visíveis na figura 1B.

Figura 1: Localização dos protótipos.



Fonte: Autores (2024) adaptado de Google Maps.

Os protótipos foram construídos por Gonçalves, Oliveira e Omena (2022) para o desenvolvimento do artigo “Comparações no desempenho térmico entre protótipos de telha cerâmica e telha de concreto em Palmas-TO”, divulgado na revista Sítio Novo no ano de 2022. De acordo com Gonçalves, Oliveira e Omena (2022, p.142):

O projeto dos protótipos possui dimensões internas, em planta, de 1,5 x 1,50 m, (área de 2,25m²) e altura de 1,5 m, o que resulta em um volume interno de aproximadamente – 3,4m³ (figura 2). As paredes foram construídas com tijolo cerâmico de oito furos de dimensões 9 x 19 x 19 cm, assentados com argamassa comum em ½ vez, revestidos em argamassas nos lados interno e externo, e com contrapiso de concreto com 5 cm de espessura (Gonçalves, Oliveira, Omena, 2022, p.142).

Os dois protótipos existentes possuem a mesma orientação solar, para o norte, uma distância de 5 metros entre si e nenhuma incidência de sombra (Gonçalves, Oliveira, Omena, 2022). As portas precisaram ser confeccionadas novamente e foram feitas com madeirite, para evitar qualquer interferência externa sobre o dispositivo de medição durante o período de registro. Em ambos os protótipos existe uma estrutura metálica construída, e no protótipo onde havia as telhas de concreto foi realizada a remoção de todas elas para instalação da cobertura verde.

Para a construção da cobertura verde foi realizada a medição das dimensões do protótipo já existente, com isso foi possível verificar que a estrutura metálica onde a caixaria seria instalada possui 1,90 de largura por 1,90 de comprimento. Foi então construída a 55 caixaria apresentada na figura 15, para tal foram utilizadas placas de madeirite, totalizando 1,90 de largura por 1,90 de comprimento e 20 cm de altura.

Posteriormente à montagem da caixaria foi realizada também a impermeabilização da mesma utilizando uma manta líquida emborrachada branca para telhados e lajes da marca Hydronorth. Foram aplicadas 3 demãos do produto respeitando o tempo de secagem entre as camadas e o tempo de cura final antes de iniciar a montagem da cobertura dentro da caixaria.

Após a instalação da caixaria deu-se início a montagem das camadas da cobertura verde. A camada drenante foi executada utilizando argila expandida. Em seguida foi instalada a camada de filtrante, essa foi desenvolvida utilizando uma manta geotêxtil bidim, cobrindo toda a argila expandida. Com a camada filtrante devidamente instalada houve a disposição da penúltima camada de substrato.

Para um ótimo resultado no plantio da grama esmeralda foi desenvolvida uma pesquisa entre as empresas de jardinagem atuantes na cidade, e chegou-se à conclusão de que o substrato Mogifertil premium seria uma ótima opção. A terra foi então despejada e espalhada uniformemente sobre toda a extensão da manta bidim, formando uma camada de 5 centímetros. Por fim foi feito o plantio da grama esmeralda sobre o substrato.

Na figura 2A, é exibida a instalação da cobertura vegetal no protótipo, juntamente com a representação da porta em madeira compensada, produzida para aprimorar a segurança e a precisão na coleta de dados. No segundo protótipo, que possui um telhado de cerâmica, a instalação da porta em madeira compensada foi a única intervenção necessária, como pode ser aferido na figura 2B do protótipo com telhas cerâmicas.

Figura 2: Protótipos do estudo.



Fonte: Autores (2023).

2.2 MEDAÇÃO IN-LOCO

A coleta de dados no interior dos protótipos foi realizada utilizando dois termômetros de globo digital com Datalogger, modelo HMTGD-1800, da marca Highmed. Os aparelhos atendem as normas ISO 7243:2017 - Ergonomia do ambiente térmico - Avaliação do estresse térmico usando o índice WBGT (temperatura de bulbo úmido e globo) e ISO 7726:1998 - Ergonomia do ambiente térmico - Instrumentos para medir grandezas físicas.

Ambos os aparelhos foram calibrados e configurados antes da coleta de dados, e conforme as instruções da ABNT NBR 15.575:2013. Ressalta-se que os aparelhos foram centralizados dentro de cada protótipo à uma altura de 1,20m com auxílio de um tripé. Para o armazenamento dos dados foi utilizado o próprio software do equipamento, nomeado como Heat Stress WBGT Meter.

Conforme instruído pela ABNT NBR 15.575:2013, a medição foi realizada durante três dias consecutivos. Os dados dos dois primeiros dias serviram como validação das características semelhantes e os do terceiro dia foram os de fato analisados e comparados com os valores externos. Os dados de temperatura externa foram disponibilizados pelo LabMET/UFT- Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Universidade Federal do Tocantins.

As medições foram realizadas dos dias 02 a 04 de outubro de 2023, das 06:40 da manhã até às 19:10 horas, com um intervalo de 30 minutos entre cada registro. A escolha da data de coleta se deu devido a ocorrência entre os dias 17 e 28 de setembro de uma onda de calor impulsionada pelo *El Niño* que gerou altas temperaturas e variações nas características climáticas. Logo, optou-se por não realizar a medição nesse período e aguardou-se mais 3 dias, para então coletar os dados necessários.

Para a análise do desempenho térmico das coberturas, os dados de temperatura do ar interno (TA) coletados pelos termômetros foram comparados com os valores de temperatura do ar externo coletados e fornecidos pelo LabMET/UFT. Os resultados foram analisados conforme as condições de verão, estipulada pela ABNT NBR 15575-1:2013.

Para o enriquecimento do trabalho foram comparados e analisados também os dados de Umidade Relativa do Ar (% UR) com os valores de Temperatura de Globo Negro (TG) coletados. A avaliação dos resultados não se baseou em normas específicas, mas sim na aplicação de conceitos relativos às interações entre parâmetros térmicos e nos estudos de conforto térmico que foram conduzidos durante a elaboração desta pesquisa.

2.3 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

O procedimento simplificado é realizado através do cálculo da transmitância térmica (U) para o caso de coberturas, que é um sistema de vedação horizontal. Foi realizado então o detalhamento dos materiais utilizados na construção da cobertura verde e em especial para os elementos lona e impermeabilizante foi considerado o valor aproximado de 1 mm de espessura.

Para o cálculo da transmitância térmica na cobertura verde foram consideradas suas camadas e respectivas condutividades térmicas de cada material utilizado, com exceção da camada vegetal composta pela grama esmeralda. Isso porque não foi encontrado em nenhuma NBR ou ISO o valor de

condutividade térmica nem para a própria grama esmeralda, nem para gramíneas em geral e nem para vegetações.

Quadro 1: Espessuras e condutividade térmica dos materiais da cobertura verde.

Madeira compensada		Manta geotêxtil bidim (Poliéster)	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	6	e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	3
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,006	e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,003
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,12	λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,40
Impermeabilizante a base de resina acrílica		Substrato (Terra úmida)	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	1	e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	50
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,001	e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,05
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,20	λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,60
Lona preta (Polietileno de baixa densidade)		Vegetação (Gramas esmeralda)	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	1	e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	40
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,001	e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,04
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,40	λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	-
Argila expandida			
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	30		
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,03		
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	0,16		

Fonte: Autores (2023).

Apesar da impossibilidade de calcular a transmitância térmica da camada vegetal, estudos comparativos como o de Pereira e Masiero (2023) comprovam que a presença dessa camada influencia consideravelmente na melhora do desempenho térmico da cobertura como um todo, isso através da absorção de calor e radiação e também devido o processo de evapotranspiração que a vegetação realiza.

Para a cobertura com telha cerâmica foram considerados os dados apresentados no quadro 2. O cálculo da transmitância térmica foi realizado utilizando a espessura da telha medida em campo, que foi de 12 milímetros e o coeficiente de condutividade de 1,05 especificado pela ABNT NBR 15220-2:2005.

Quadro 2: Espessuras e condutividade térmica da cobertura verde.

Telha cerâmica tipo plan	
e - Espessura de material sólido homogêneo (mm)	12
e - Espessura de material sólido homogêneo (m)	0,012
λ - Coeficiente de condutividade (W/m.K)	1,05

Fonte: Autores (2023).

Segundo os critérios normativos, o valor de transmitância térmica máxima admitida para a zona bioclimática 7 é de menor ou igual a 2,3 W/m².K, para o caso onde a absorção à radiação solar da superfície externa equivale à menor ou igual a 0,4, e de menor ou igual à 1,5 W/m².K, para o caso onde

a absorção à radiação solar tenha seu valor superior à 0,4. Tais critérios estão dispostos na tabela 3 apresentada anteriormente e representam um desempenho mínimo da cobertura.

De acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013 o valor da absorção deve ser definido para as coberturas conforme a cor da superfície externa especificada no projeto. Para o caso da cobertura de telha cerâmica e da cobertura verde será utilizado o valor de $\alpha = 0,3$, referente à cores claras. Para o cálculo foi considerado também os valores de resistência térmica superficial interna e externa dispostos no quadro 3:

Quadro 3: Valores de R_{si} e R_{se} .

Resistência superficial m ² ·K/W	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

NOTA 1 Os valores de resistência superficial se aplicam às superfícies em contato com o ar. Nenhuma resistência superficial se aplica às superfícies em contato com outro material.

NOTA 2 Os valores de resistência superficial interna são calculados para $\varepsilon = 0,9$ e com h_{r0} avaliado a 20 °C. Os valores de resistência superficial externa são calculados para $\varepsilon = 0,9$, h_{r0} avaliado a 10 °C, e para $v = 4$ m/s.

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2023, p.13).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

De acordo com a ABNT NBR 15.575-5:2013, se os requisitos de transmitância térmica e o nível mínimo de desempenho térmico não forem atendidos após a medição in loco, adaptações na edificação devem ser realizadas. Desse modo, observou-se ao longo do desenvolvimento da pesquisa que, devido os protótipos servirem apenas como suporte para simular uma edificação e então poder comparar o desempenho entre a cobertura verde e a cerâmica, o valor de transmitância térmica menor ou igual à 2,3 serviu apenas de referência para os cálculos, e não como garantia do atendimento ou não da norma.

3.1.1 Cálculo de transmitância térmica- Telha cerâmica

Com a utilização dos dados de espessura e coeficiente de condutividade da telha cerâmica, foram realizados primeiramente os cálculos de resistência térmica (R) e posteriormente o cálculo de transmitância térmica (U) para a telha cerâmica. Os respectivos resultados estão resumidos abaixo:

O valor de resistência térmica encontrado foi de $R = 0,011 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; o cálculo de resistência térmica total considerando R_{si} e R_{se} resultou no valor de $RT = 0,221 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; o cálculo de transmitância térmica resultou no valor de $U = 4,525 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

O resultado obtido aproximou-se consideravelmente do valor de $U = 4,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, transmitância térmica dada pela ABNT NBR 15.220-3:2005. O cálculo foi realizado com a finalidade de confirmar a metodologia e obter um valor mais preciso para a comparação com a cobertura verde, uma vez que a norma apresenta o valor de referência generalizado independente do modelo de telha cerâmica, e consequentemente, sem especificar a espessura da mesma.

3.1.2 Cálculo da transmitância térmica- Cobertura verde

Com os dados de cada material componente da cobertura verde foi possível realizar o cálculo de resistência térmica (R) de cada material e posteriormente o cálculo de resistência térmica (U) do conjunto todo formador da cobertura verde. Os resultados obtidos estão resumidos abaixo:

O cálculo de resistência térmica total considerando R_{si} e R_{se} resultou no valor de $RT = 0,385 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; o cálculo de transmitância térmica resultou no valor de $U = 2,597 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

3.1.3 Comparação entre os resultados de transmitância térmica obtidos

Analizando os resultados obtidos foi possível afirmar que a cobertura verde proporciona um maior conforto térmico em relação à cobertura cerâmica, isso justificado pelo fato de que entre a cobertura verde e a telha cerâmica a primeira apresentou a menor transmitância térmica ($U = 2,597 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Como a transmitância térmica expressa a taxa de transferência de calor através do elemento, quanto menor o seu valor maior o conforto que aquela cobertura pode proporcionar.

Apesar dos resultados demonstrarem que a cobertura verde favorece uma melhora no conforto térmico em comparação à cobertura de telha cerâmica, nenhuma das duas coberturas atendeu critério de desempenho mínimo segundo a ABNT NBR 15.575-5:2013. Para que a norma fosse atendida o valor de transmitância térmica, considerando a absorção à radiação menor ou igual à 4 e a zona bioclimática 7, deveria ter sido inferior ou igual a $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Observou-se durante à realização dos cálculos que a madeira compensada e o substrato possuem os maiores valores de resistência térmica, logo aumentando a espessura desses materiais seria possível chegar à um valor de transmitância térmica que atenda o critério mínimo de desempenho segundo a ABNT NBR 15.575-5:2013, assim como Misaka (2021) em seu experimento de avaliação de uma cobertura verde chegou ao valor de transmitância térmica $U = 1,129 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, que se enquadra nos parâmetros exigidos.

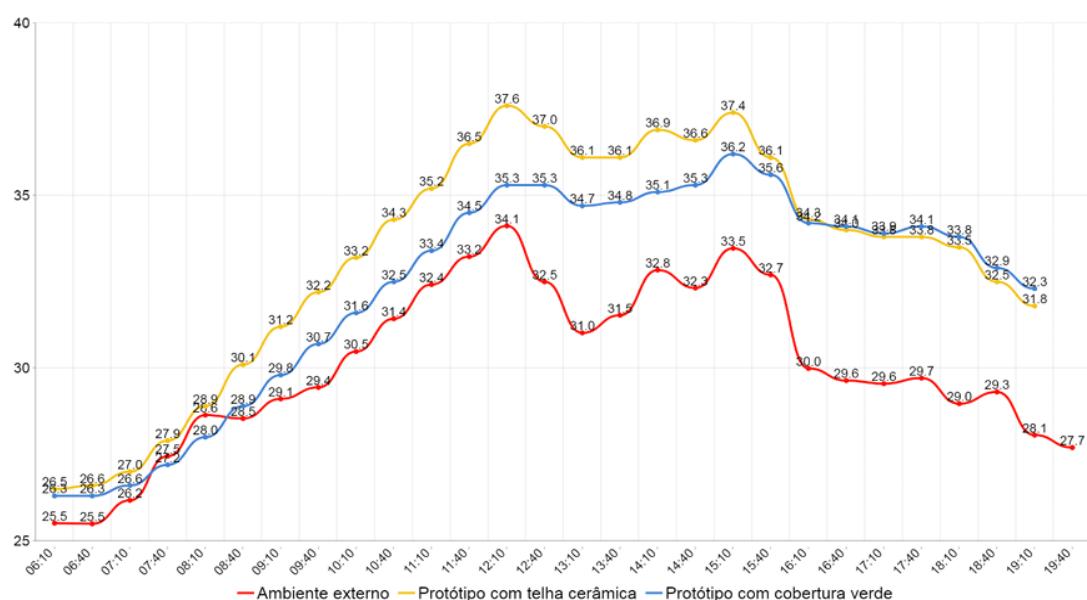
Ressalta-se ainda que durante o cálculo de transmitância térmica a camada vegetal não foi considerada devido à ausência do coeficiente de condutividade para a realização do cálculo da resistência térmica. Porém, tal como já foi citado anteriormente, Pereira e Masiero (2023) comprovaram em seu estudo que a presença da vegetação contribui para o aumento do desempenho térmico da cobertura verde. Logo, o valor de transmitância térmica teria sido ainda menor se essa camada tivesse sido considerada no cálculo, contribuindo para um resultado ainda mais favorável e assertivo.

3.2 MEDAÇÃO IN-LOCO

A medição in-loco foi realizada durante três dias consecutivos conforme solicita a ABNT NBR 15.575-1:2013 e foram coletados em cada protótipo os dados de temperatura interna do ar, umidade relativa interna, temperatura de globo negro, ponto de orvalho e temperatura de bulbo umido, além dos dados externos disponibilizados pelo LabMET/UFT. Entretanto, para a verificação da conformidade dos resultados obtidos com os critérios solicitados pela norma, apenas os dados de temperatura do ar do terceiro dia de coleta foram utilizados.

Para uma melhor visualização do conteúdo analisado os valores gravados no dia 04 de outubro foram inseridos no gráfico 1, onde o eixo y representa a amplitude das temperaturas internas e externas obtidas em grau celsius e o eixo x representa o momento em que o dado foi gravado.

Gráfico 1- Temperaturas do ar medidas no dia 04 de outubro de 2023.



Fonte: Autores (2023).

Conforme a ABNT NBR 15.575-1:2013 o requisito para que uma cobertura desempenhe minimamente sua função de isolamento térmico é que a temperatura do ar no interior dos recintos onde ocorre maior permanência ao longo do dia seja menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar externo.

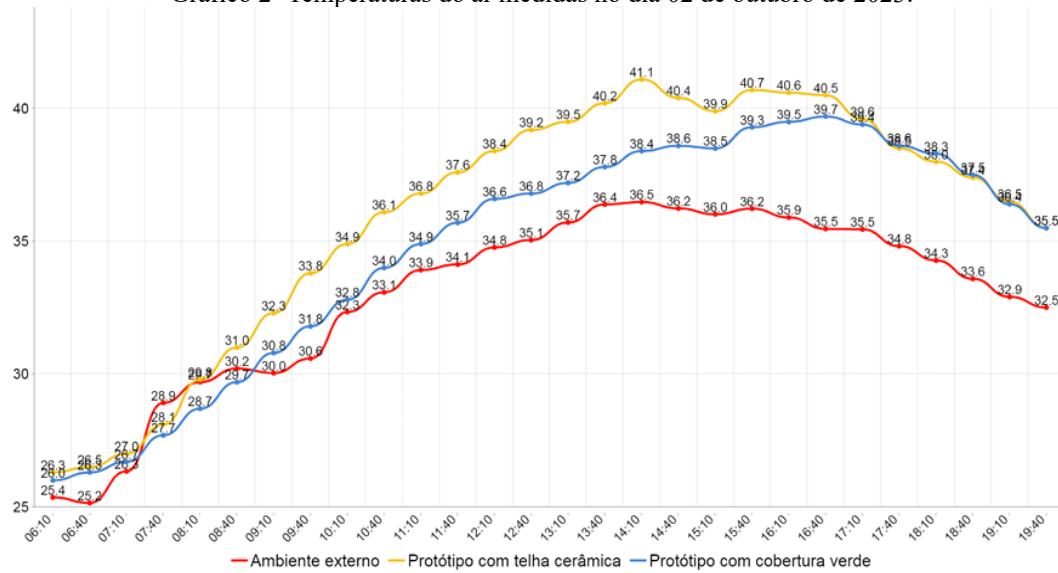
No dia 04 de outubro a máxima registrada no ambiente externo foi de 34,10 °C às 12:10 horas. No protótipo com cobertura de telhas cerâmicas a máxima interna registrada foi de 37,60 °C, também às 12:10 horas, enquanto no protótipo com cobertura verde a máxima alcançada foi de 36,20 °C às 15:10 horas.

Visto que a temperatura interna em ambos protótipos permaneceram superiores à temperatura externa na maior parte do período de coleta, com exceção apenas de um período entre às 07:40 horas e 08:40 horas onde a temperatura interna do protótipo com cobertura verde manteve-se abaixo da temperatura externa, avaliou-se o desempenho térmico de ambas coberturas como insatisfatório, pois nenhum conseguiu satisfazer a condição de desempenho mínimo de verão onde $T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$.

3.3 ANÁLISE DE TEMPERATURA, UMIDADE E AMPLITUDE

Os dados de temperatura do ar dos dias 02, 03 e 04 estão respectivamente dispostos nos gráficos 2, 3 e 4. O gráfico 4 possui os mesmos dados apresentados anteriormente no gráfico 1, entretanto por se tratar de análises distintas optou-se por incluí-lo novamente neste tópico para facilitar a projeção dos comentários.

Gráfico 2- Temperaturas do ar medidas no dia 02 de outubro de 2023.



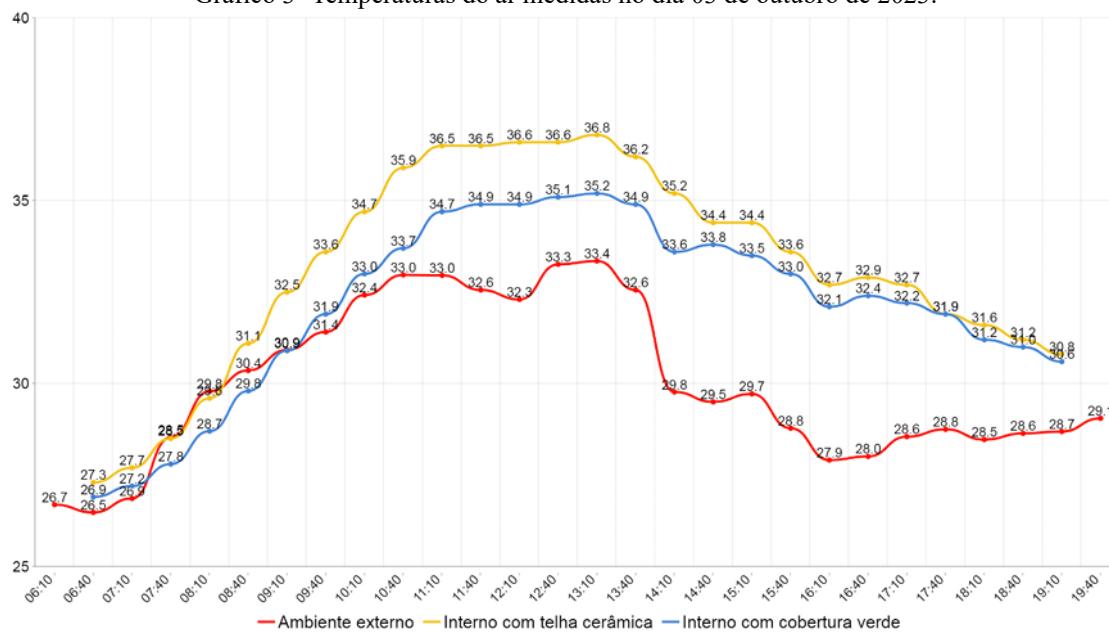
Fonte: Autores (2023).

No primeiro dia de medição a coleta de dados iniciou às 06:10 horas e finalizou às 19:40 horas, no segundo dia a coleta iniciou às 06:40 hora e finalizou às 19:10 horas, e no terceiro e último dia de coleta os dados começaram a ser gravados às 06:10 horas e finalizou-se às 19:10 horas. Tal variação ocorreu devido motivações externas, logo para uma análise correta por comparação de dados foram considerados em todos os dias apenas os registros do período entre 06:40 e 19:10 horas.

No primeiro dia de medição (02/10/2023) houve o registo de maior temperatura externa entre os três dias, esse ocorreu às 14:10 e teve o valor de 36,5 °C. Enquanto o protótipo com telha cerâmica acompanhou o aumento paralelamente chegando a uma temperatura interna máxima de 41,10 °C também às 14:10, o protótipo com cobertura verde continuou aumentando sua temperatura interna com menor agressividade, de modo que a maior temperatura registrada ocorreu apenas duas horas e meia depois às 16:40 com um valor de 39,7 °C.

O registro de menor temperatura máxima ocorreu no segundo dia de medição (03/10/2023) às 13:10 com um valor de 33 °C. Os gráficos demonstram que o dia mais quente foi também o que manteve maior linearidade com menor variação da temperatura ao longo do dia, enquanto o terceiro e quarto dia de medição tiveram picos e declínios de temperatura variando após as 11:40.

Gráfico 3- Temperaturas do ar medidas no dia 03 de outubro de 2023.

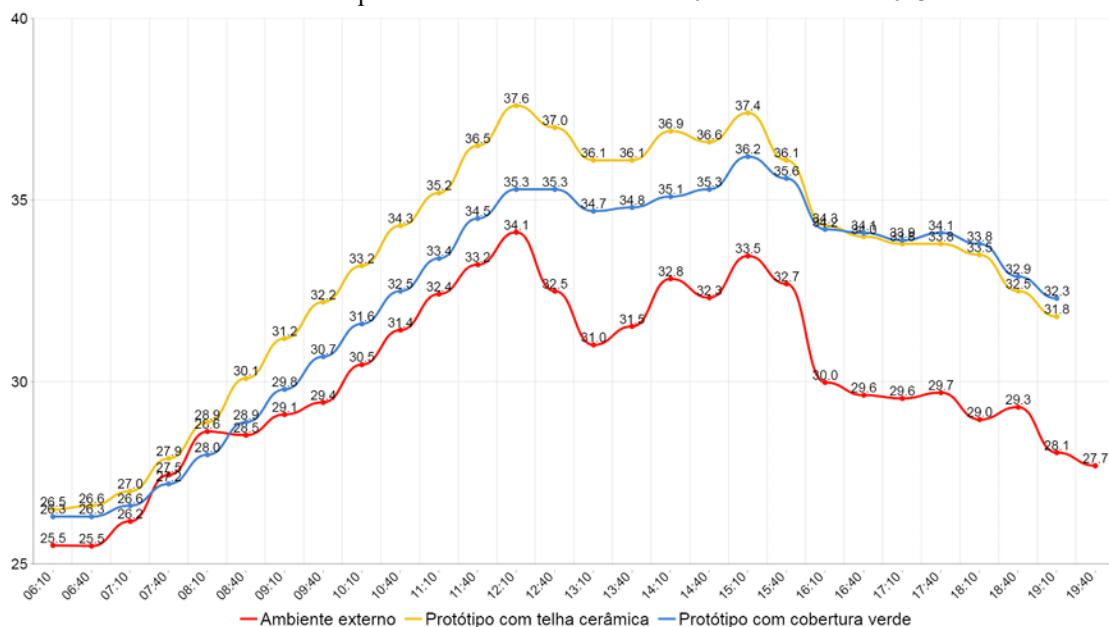


Fonte: Autores (2023).

Ao analisar os gráficos, foi possível identificar três períodos em que ocorrem comportamentos distintos e que estão diretamente relacionados às características físicas de cada cobertura e como elas respondem às variações ambientais externas. O primeiro período ocorre das 06:40 até

aproximadamente às 09:10 horas, o segundo período ocorre das 09:10 até às 17:10 e por fim o terceiro período se estende das 17:10 até às 19:10 horas.

Gráfico 4- Temperaturas do ar medidas no dia 04 de outubro de 2023.



Fonte: Autores (2023).

Nesse primeiro período a cobertura verde conseguiu proporcionar maior conforto térmico que a cobertura com telha cerâmica, isso devido à baixa amplitude que teve em relação à variação externa de temperatura. Enquanto a temperatura interna do protótipo com cobertura de telha cerâmica chegou a variar em 1°C a mais que o ambiente externo o com cobertura verde conseguiu manter sua amplitude sempre abaixo da temperatura externa.

O segundo período é caracterizado por uma alta incidência da radiação solar, de modo que as temperaturas internas nos protótipos se elevam consideravelmente. Nessa faixa de tempo, quanto maior for a transmitância térmica do material componente da cobertura, maior será a transmissão de calor para o interior da edificação, logo é desejável que a cobertura tenha também uma boa emissividade, para que haja um equilíbrio. Por ser um período mais extenso é comum que a temperatura apresente variações, como as que ocorreram nos dias 03 e 04, com picos e quedas, consequentes da variação da umidade e da ação dos ventos.

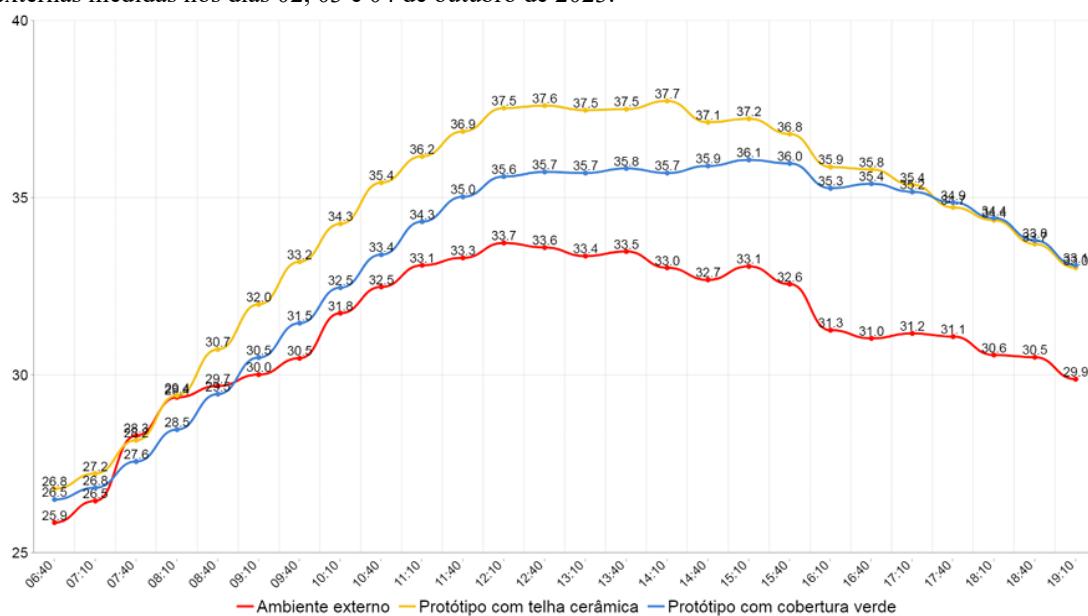
Ao comparar as duas coberturas durante o segundo período, observou-se que o protótipo com telha cerâmica apresentou uma temperatura mais elevada em relação ao protótipo com cobertura verde. Essa diferença pode ser explicada pela transmitância térmica, significativamente menor, da cobertura verde em comparação com a telha cerâmica.

Isto posto, foi possível observar através dos gráficos que a cobertura cerâmica realizou o processo de liberação do calor do ambiente interno para o externo com mais rapidez, de modo que a temperatura interna do protótipo baixou muito rapidamente. Enquanto isso, a cobertura verde também liberou o calor do interior do protótipo para o meio externo, porém com menor agressividade, retendo parte dele.

Para a realização da análise da amplitude térmica durante o período completo de medição, considerando que os dados coletados nos três dias são semelhantes, foi desenvolvido o gráfico 5, que dispõe as médias dos valores de temperatura interna coletados nos protótipos com cobertura verde e com cobertura de telhas cerâmica, e as médias da temperatura externa disponibilizada pelo LabMET/UFT.

A amplitude térmica é determinada pela diferença entre a temperatura máxima e mínima registrada durante um determinado período. Quanto maior é essa variação, menor é a eficiência da cobertura em isolar a transferência de calor de um ambiente para outro. Para otimizar o desempenho e o conforto térmico, é desejável que a amplitude térmica da cobertura seja reduzida, uma vez que amplitudes elevadas resultam em mudanças de temperatura mais bruscas e rápidas, tornando o ambiente interno menos confortável.

Gráfico 5- Dados referentes às temperaturas médias internas (Protótipo com telha cerâmica e protótipo com cobertura verde) e externas medidas nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2023.

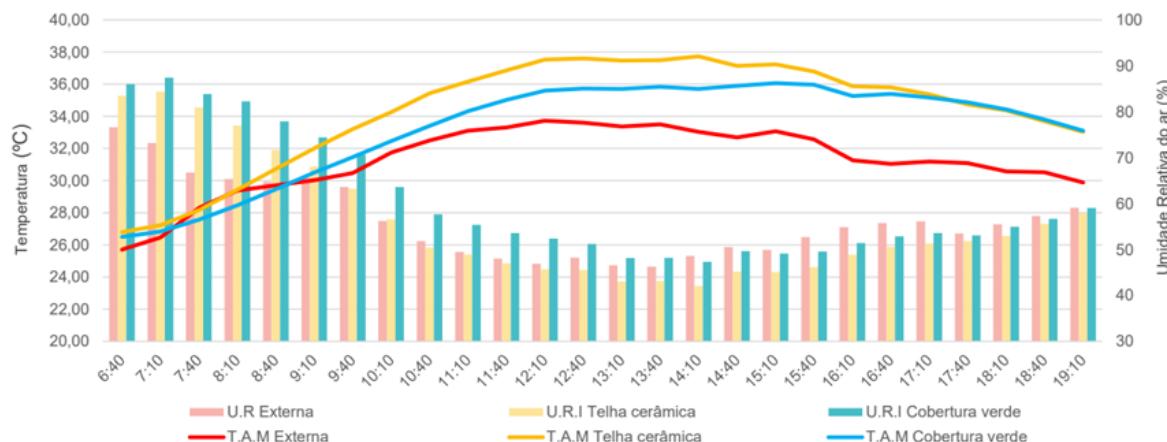


Fonte: Autores (2023).

Foram analisados também os dados de umidade relativa do ar (% UR) nos três dias de medição. Para compreensão da relação comportamental entre a temperatura do ar e a umidade foram feitas as

médias das umidades dos três dias (U.R Externa, U.R.I Telha cerâmica e U.R.I Cobertura verde) e seus dados foram inseridos no gráfico 6 juntamente aos dados de temperatura do ar média externas (T.A.M Externa) e internas (T.A.M Telha cerâmica e T.A.M Cobertura verde).

Gráfico 6- Dados referentes às temperaturas e umidades médias internas (Protótipo com telha cerâmica e protótipo com cobertura verde) e externas medidas nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observa-se pelo gráfico 6 que as umidades relativas externa mantiveram-se inferiores às internas até 09:10 horas, quando iniciou o segundo período com maior incidência de radiação solar. Do segundo período em diante ocorre uma queda considerável nas umidades relativas, acompanhando o aumento da temperatura, de modo que no protótipo com telha cerâmica os valores de U.R ficam sempre abaixo dos correspondentes ao protótipo com cobertura verde.

Entre o período das 06:40 às 13:40 horas, ocorreu a diminuição progressiva da U.R externa, chegando a uma redução de 40,26%. Paralelamente à essa queda houve o aumento nas temperaturas externa e internas, o incremento térmico no protótipo com telha cerâmica chegou a 40% da temperatura inicial enquanto no protótipo com cobertura verde o acréscimo foi de 35%.

Após às 13:40 horas, quando se inicia uma variação leve na temperatura do ar com aumentos e reduções intercalados, é verificado um aumento nos valores de U.R externa e interna, com os valores externos sobressaindo os valores internos nos protótipos. Esse acontecimento é justificado no fato de que enquanto o ambiente externo sofre a alteração de ambos os indicadores simultaneamente os ambientes internos ainda estão retendo o calor acumulado ao longo do dia, assim, logo após às 17:10 horas, percebe-se que gradativamente a umidade interna em ambos protótipos retornam ao seu comportamento do início do dia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do estudo comparativo entre a cobertura verde extensiva e a cobertura de telha cerâmica, buscando analisar qual desempenha melhor a sua função de isolamento térmico, permitiu concluir que a cobertura verde é a alternativa que proporciona melhor conforto térmico quando comparado à telha cerâmica. A combinação dos três procedimentos avaliativos utilizados foi essencial para a análise dos resultados, pois apenas pela metodologia normativa ambas as coberturas teriam o seu uso considerado como inviável.

O primeiro método avaliativo foi o procedimento simplificado que utiliza dos valores de transmitância térmica como parâmetro de desempenho estipulado pela NBR 15.575-5:2013. Nem a cobertura verde e nem a cobertura cerâmica atenderam o padrão normativo exigido, entretanto, entre os dois valores de transmitância térmica calculados, o da cobertura verde foi o que mais se aproximou da exigência da norma. Ressalta-se também que não foi possível considerar no cálculo a interferência da grama e que a espessura do substrato, se maior, poderia ter resultado no atendimento da norma.

A medição in-loco foi realizada tanto pelo não atendimento da norma pelo método simplificado quanto pelo interesse de avaliar a cobertura pelo seu requisito mínimo de desempenho. Novamente nenhuma das duas coberturas atenderam o critério normativo. Entretanto, ressalta-se aqui que ambos os protótipos já estavam construídos e são considerados inadequados para a medição in-loco por não possuírem janelas. Porém, como explicaram Gonçalves, Oliveira e Omena (2022) estes protótipos (que também foram utilizados no presente estudo) se aproximam consideravelmente dos modelos de construção utilizados em Palmas-TO, principalmente para população de baixa renda

Com a medição in-loco foi possível também identificar a diferença no comportamento das coberturas no quesito absorção de calor e transferência do calor absorvido para o interior do protótipo, assim como a perda de calor do ambiente interno para o externo. Em conformidade com os valores obtidos de transmitância térmica observou-se que a cobertura verde controla melhor a absorção e transferência de calor para o ambiente interno, gerando um maior conforto ao usuário, uma vez que o aquecimento e resfriamento acontecem de forma gradativa.

Foi possível também identificar através da coleta de dados de umidade relativa do ar e temperatura de globo negro que em comparação à telha cerâmica a cobertura verde manteve a umidade interna do ambiente mais elevado, o que ajuda na regulagem da perda de calor do ambiente interno para o externo. No quesito temperatura e amplitude térmica, a cobertura verde conseguiu manter os valores internos reduzidos e também obteve uma baixa variação em comparação à telha cerâmica.

Todos os resultados obtidos evidenciam que, em termos de conforto térmico, a cobertura verde oferece vantagens em relação à cobertura com telha cerâmica. Mesmo que não tenha atingido

plenamente os critérios normativos, os resultados obtidos ainda se aproximaram mais dos parâmetros desejáveis quando comparados com a cobertura de telha cerâmica.

Considerando que a cidade de Palmas-TO é caracterizada por suas altas temperaturas, baixa umidade e uma alta amplitude térmica, torna-se complexo e difícil solucionar os problemas de conforto térmico investindo em apenas um material ou uma solução. Isto posto, ressalta-se que a cobertura verde é um sistema de múltiplas camadas e, há a possibilidade de melhorar e incluir outras camadas, dentro das necessidades, do dimensionamento correto e das soluções de isolamento térmico.

Pontua-se ainda que devido às configurações do protótipo é possível que em outras pesquisas, utilizando edificações em tamanho real, obtenha resultados diferentes da atual investigação. Do mesmo modo, para a cobertura verde é possível que, com mudanças na espessura das diversas camadas e adoção de outros sistemas drenantes e filtrantes, seja possível obter resultados que se enquadrem nos requisitos das normas apresentadas.

Isto posto, é relevante enfatizar que este estudo se concentra na análise isolada do sistema de cobertura, utilizando dois protótipos nas mesmas configurações. Diante disto, salienta-se ainda que a incorporação de outros elementos na edificação, como forros e mantas isolantes, poderiam aprimorar, significativamente, o desempenho das coberturas no que tange ao isolamento térmico.

Ante o exposto, é possível concluir que a cobertura verde é uma alternativa viável ao melhoramento térmico de uma edificação, podendo ser adaptada aos diferentes cenários climáticos e às variáveis ambientais em que se encontra. Além de ser também uma alternativa ecológica e sustentável, de baixa manutenção a longo prazo, que contribui também, para o aumento de áreas verdes na região urbana e na redução de impactos nas regiões rurais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Vinícius Gomes de. A utilização da tecnologia BIM para análise de desempenho térmico de edificações habitacionais. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos-Sp, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações- parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações Parte 2- Componentes e elementos construtivos das edificações — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 47 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 71 p.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DA VAZÃO DA ÁGUA PLUVIAL ESCOADA. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CALDAS, Lucas Rosse; CARVALHO, Michele Tereza Marques. Avaliação do desempenho de vedações verticais utilizando o Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisão. Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 109-121, 29 jun. 2018. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v9i2.8651552>.

COELHO, Katya de Sousa Dias. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA MODULAR DE COBERTURA VERDE: COMPORTAMENTO TÉRMICO, HÍDRICO E ACÚSTICO. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Energia Para A Sustentabilidade,, Especialização em Edifícios e Ambiente Urbano, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019.

FREITAS, Thyago Phellip França; SOUZA, Lucas Barbosa e. ASPECTOS DO CLIMA URBANO DE PALMAS-TO NO EPISÓDIO DE OUTONO-INVERNO. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 17, n. 59, p. 103-125, set. 2016.

GONÇALVES, Thayane Barreira; OLIVEIRA, Mariela Cristina Ayres de; OMENA, Thiago Henrique. Comparações no desempenho térmico entre protótipos de telha cerâmica e telha de concreto em Palmas-TO. Sítio Novo: Instituto Federal do Tocantins, Palmas-To, v. 6, edição especial, p. 139-148, 09 mar. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7243: Ergonomics of the thermal environment Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index. 3 ed. 2017. 18 p.

ISO 6946:2017. Building components and building elements- Thermal performance of windows, doors and shutters- Calculation of thermal transmittance. Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

ISO 7726:2017. Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

LOPES, Daniela Arantes Rodrigues. Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos-Sp, 2007.

MISAKA, Bernardo Lyoh Sugawara. Avaliação do conforto térmico entre os sistemas de telhado verde, ecológico e convencional. 2021. 85 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2021.

PAZ, Luis Hildebrando Ferreira. A Influência da Vegetação sobre o Clima Urbano de Palmas-TO. 2009. 169 f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Departamento de Pós-Graduação da Fau-Unb do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PEREIRA, B. dos R.;MASIERO, Érico . Caracterização do comportamento térmico de um sistema de telhado verde. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. p. 1–9.

SANTOS, Daniel José Pereira. Desempenho térmico de uma cobertura verde num edifício solar passivo. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, [S.I], 2012.