

ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO COM A UTILIZAÇÃO DE TELHAS SHINGLE EM COBERTURAS CONVENCIONAIS – CURSOS DE ENGENHARIAS – UNISOCIESC/ CAMPUS JOINVILLE

MOURA, Matheus Crestan de¹, LIMA, Sabrina Paula de¹
(matheus.crestan@outlook.com, sabrplm@gmail.com)

Professora orientadora: Michela Steluti Poleti Faria

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

A busca pelo desenvolvimento de sistemas construtivos com maior eficiência está diretamente associada à crescente demanda habitacional, à busca por redução de custos, pelo aumento da produtividade e à redução de desperdícios de materiais, considerando o atual panorama mundial de ecoeficiência. Entende-se que o desenvolvimento destes sistemas apresenta grande potencial para extrapolar o que se entende hoje por conforto térmico. A proposta de desenvolvimento deste estudo está na investigação do efeito do tipo de cobertura adotado nos níveis de temperatura da superfície externa e do ambiente interno, bem como do fluxo de calor absorvido. O objetivo é analisar o conforto térmico com a utilização de telhas shingle em coberturas convencionais. Para tal, foram feitos três protótipos de forma retangular em madeira com superfícies que se diferem, um com telha de fibrocimento, outro com telha cerâmica e o último com o sistema shingle. Na sequência foram testados expostos ao clima local e a intempéries, do qual coletou-se os valores de temperaturas ambientes internas e de superfície em diferentes horários do dia por um período determinado. Os resultados do estudo mostraram que modelo de cobertura shingle registrou maior absorção de calor em sua superfície, consequentemente uma maior densidade de energia térmica no período estudado, porém as temperaturas internas foram de maneira geral semelhantes, sendo assim o estudo possibilitou novos caminhos no mercado brasileiro de coberturas, o qual hoje é colonizado por modelos mais tradicionais de telhas.

Palavras-chave: Cobertura shingle; Análise térmica; Conforto térmico.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e avanços tecnológicos na área da construção civil, tem-se buscado sistemas mais eficientes de construção, quais sejam os que visam o aumento de produtividade e diminuição do desperdício de materiais para atender a crescente demanda por habitação. A construção civil no Brasil é predominantemente artesanal, de tal modo que este método construtivo apresenta baixa produtividade e altos níveis de desperdício de material (SANTIAGO, 2008).

Portanto, surge a necessidade de desenvolver sistemas que sejam mais eficientes e agredam menos o meio ambiente. Aqueles, que podem ser interessantes diante de outras conjunturas, mas que também consigam atender favoravelmente quesitos econômicos e de conforto ao usuário. Uma vez que um sistema sustentável pode agregar vantagens que vão muito além da preservação ambiental. (ZAPARTE, 2014).

¹ Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário Unisociesc.

Ainda, a arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, além de todos os quesitos que o que abrange. Logo, a edificação, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano em seu interior, sejam quais forem as condições climáticas externas. Já as coberturas devem ser de materiais com inércia média, mas com elementos isolantes, ou espaços de ar ventilados, os quais têm como característica extrair o calor que atravessa as telhas que, deste modo, não penetrará nos ambientes (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Alguns fatores no momento da implementação da cobertura são fundamentais para a durabilidade, eficiência e conforto. Através da otimização do fluxo de ar por conta do sistema de cumeeira, é possível reduzir o calor e a umidade no interior do volume, com a produção de uma camada de isolamento entre a edificação e o ambiente externo que ajuda regular a temperatura, proporcionando uma economia de energia (LAMBERTS e DUARTE, 2016).

Tendo em vista o exposto, este trabalho foi desenvolvido para responder os seguintes questionamentos: qual a eficiência do método shingle no quesito conforto termoacústico? Qual seu impacto na diminuição de desperdício de materiais e por que a sua utilização é tão inexplorada no Brasil? Para tal, com o objetivo de analisar o conforto térmico com a utilização de telhas shingle em coberturas convencionais, buscou-se através de embasamento teórico, caracterização dos conceitos de conforto térmico e a concepção da composição de um sistema de telhado shingle e sua estrutura, a fim de modelar e testar um protótipo que comparasse este com outros sistemas de cobertura usuais. Finalmente, as informações foram coletadas, sintetizadas e representadas em formas de planilhas e gráficos, para então ser comparado os pontos positivos e negativos de cada sistema.

2 DESENVOLVIMENTO

Os itens a seguir abordam assuntos pertinentes ao enredo do artigo, os quais contemplam os tópicos de conforto térmico, as telhas shingle como protagonistas do estudo, os tipos de coberturas mais usuais do mercado (sanduíche, fibrocimento e cerâmica) como forma comparativa à aplicação do modelo shingle. Também será abordado o método de análise pertinente tanto ao escopo quanto ao processo analítico a posteriori a prática laboratorial.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

Asharae 55 (2013) define conforto térmico como “...um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Já a NBR 15220 (2003) descreve o conforto térmico como “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Por sua vez, Frota e Schiffer (2001) exemplificam o conforto térmico como o estado no qual o homem tem suas melhores condições de vida e de saúde e seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse.

Explorando isto, uma das etapas para a construção de uma edificação é o levantamento das necessidades de seus usuários, dentre elas a sua capacidade de se tornar confortável termicamente, afirma Lamberts (2016) que uma edificação pode ser considerada com bom desempenho térmico na medida em que apresenta características físicas e construtivas que permitem a manutenção de condições de conforto para seus usuários, com a mínima necessidade de equipamentos mecânicos para isso. O mesmo autor ainda constata que toda edificação é separada do ambiente que a circunda por uma envoltória que além de separá-la,

protege e modifica o efeito direto das influências climáticas, dessa maneira, essas superfícies influenciam o comportamento térmico da edificação.

De acordo com Turmanl (2013), devido a histórica finalidade das coberturas, no intuito de proteger e amparar das variações climáticas, as técnicas construtivas referentes a esse sistema assumem um papel decisivo na originalidade arquitetônica de cada edificação. Com o desenvolvimento da construção civil brasileira, que está sempre em processo de evolução, busca-se sempre melhores técnicas para diminuir o tempo de execução, seja pela adoção de novas tecnologias ou pela utilização de materiais cada vez mais eficientes, tanto para execução de coberturas quanto para outros tipos de serviços, no intuito de ganhar cada vez mais estilos arquitetônicos.

Para isso, cabe a edificação como um todo suprir ao homem as condições de conforto, através da construção de seus espaços e adequação ao clima da região. Esta tem como exercício a função de amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, seja por excessivos térmicos de calor ou frio e até mesmo intempéries, mas também proporcionar ao usuário ambientes com condições mínimas que sejam tão confortáveis como os espaços em temperaturas amenas ou ao ar livre (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Ainda para os mesmos autores é possível caracterizar o Brasil pela composição de regiões predominantemente quentes, ou seja, que apresentam clima com características quente e seca ou quente e úmido. O conjunto arquitetônico difere-se em cada local, havendo o emprego de materiais com inércia mais elevada nos climas secos e nas localidades com climas úmidos são utilizados com inércia média a leve, sendo que em ambas as situações os elementos devem contribuir para minimizar a diferença das temperaturas entre os meios externo e interno. Para tal, a cobertura torna-se um fator importante, pois deve seguir o mesmo padrão de inércia dos elementos de fechamento, as paredes, porém, somados a materiais isolantes ou espaços de ar ventilados, os quais têm função de extrair o calor conduzido através das telhas, que consequentemente não irá transpassar aos ambientes.

2.2 COBERTURAS RESIDENCIAIS

O Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (1988) define a cobertura como sendo a parte superior das edificações que as protegem das intempéries. A norma NBR 15575-5 (2008) atribui à cobertura a função de isolamento térmica e acústica das edificações, sendo ela a responsável por trazer conforto aos usuários, incluindo também funções estéticas e econômicas.

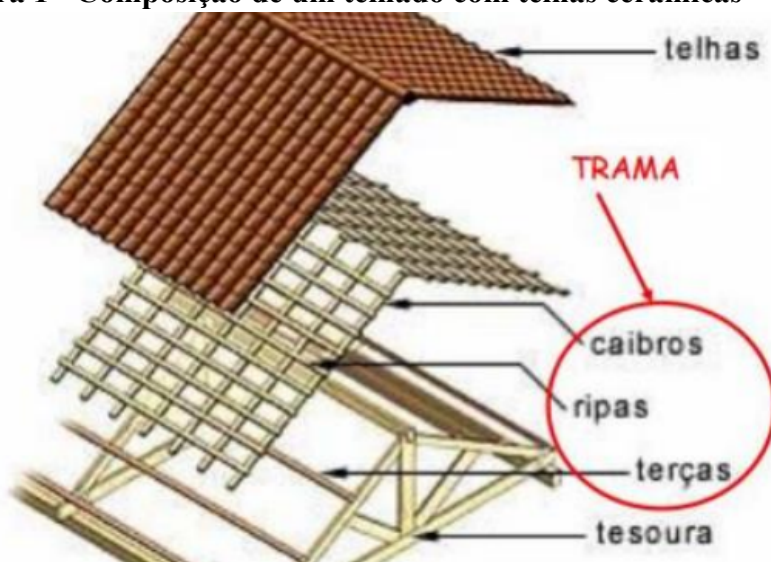
Ainda sobre a definição de coberturas, Logsdon (2002, p. 5), afirma que:

O termo cobertura é utilizado para designar todo o conjunto da obra destinado a abrigá-la das intempéries. Assim, entende-se por cobertura ao conjunto formado: pelas telhas; pela estrutura secundária de apoio às telhas, denominada trama ou armação; pela estrutura principal de apoio, que pode ser uma estrutura maciça, treliçada ou lamelar; e pelas estruturas secundárias, que têm a função de manter a estabilidade do conjunto, usualmente denominada contraventamentos. Nas coberturas residenciais, a estrutura principal mais utilizada é uma treliça triangular, usualmente denominada tesoura.

Para Cardoso (2000), um telhado caracteriza-se como um revestimento descontínuo constituído de materiais capazes de prover estanqueidade à água da chuva, repousado ou fixado sobre uma estrutura. O mesmo possui como partes constituintes o telhamento, que pode ser de diversos materiais (cerâmica, fibrocimento, metálicas, entre outros) e dimensões,

tendo como sua principal função a vedação; a trama, que é geralmente constituída por terças, caibros e ripas, tendo por função a sustentação das telhas; a estrutura de apoio, constituída geralmente por tesouras, oitões, pontaletes ou vigas, tendo a função de receber e distribuir adequadamente as cargas verticais ao restante do edifício; e o sistema de captação de águas pluviais, constituído geralmente por rufos, calhas, condutores verticais e acessórios, tendo como função a drenagem das águas pluviais, conforme ilustra a Figura 1, a seguir:

Figura 1 - Composição de um telhado com telhas cerâmicas



Fonte: Ballarin, 2006

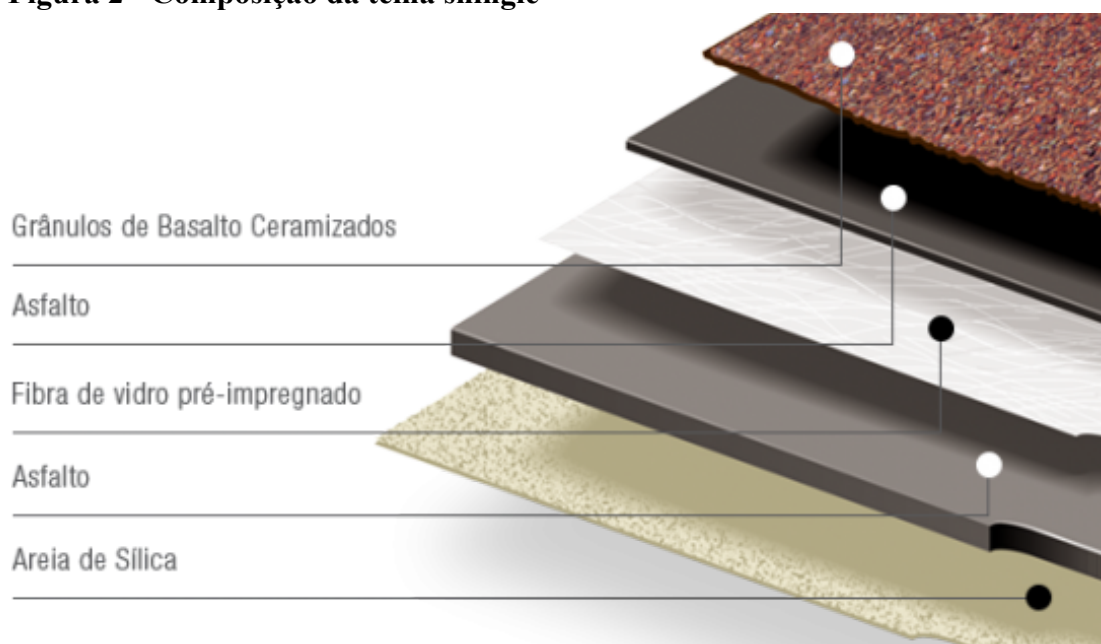
Outrossim, Logsdon (2002) afirma que as telhas cerâmicas e as de fibrocimento são as técnicas de coberturas mais utilizadas no Brasil em residências, já as telhas de aço corrugado ou de alumínio são mais restritas às indústrias. Já nos países europeus são utilizadas telhas de madeira cobertas por material betuminoso com aspecto “escamado”.

2.3 TELHAS SHINGLE

Segundo Castro e Figueiredo (2022), “as telhas shingle estão no mercado mundial há mais de 150 anos, cobrindo anualmente 2,5 bilhões de metros quadrados de telhados. Conhecidas também como telhas asfálticas e telhado americano, foram desenvolvidas no Canadá...”. Além disso, são comumente utilizadas em regiões dos Estados Unidos e na Europa, por serem flexíveis em todos os arranjos de cobertura. Esse modelo de telhado tem se disseminado no Brasil por conta da facilidade de instalação, impermeabilidade e durabilidade, apresentando ainda a característica de ser resistente a impactos e intempéries, além do efeito visual atraente, adaptando-se a diversos tipos de telhados (BRASILIT SAINT GROUP, 2022).

Na mesma linha, Cardoso (2000) descreve que as telhas são fabricadas à base de manta asfáltica, compostas por camadas de asfalto, fibra de vidro e grãos minerais aliados a um material cerâmico que define a sua cor. Tem por finalidade garantir estanqueidade, mesmo quando aplicada em telhados com diversos planos de escoamento, flexível e durável. Por ser versátil, é possível também a aplicação em fachadas, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Composição da telha shingle



Fonte: Cobrire, 2022

Por serem mais leves que as telhas convencionais, as shingle proporcionam uma economia na estrutura do telhado e, conseqüentemente, da edificação como um todo. Sua flexibilidade permite adequá-las a qualquer tipo de arranjo, seja curvo, plano ou recortado, inclusive coberturas com pequenos ângulos, conforme Figura 3. Suportam uma vasta faixa de temperatura, ações de ventos, impactos de granizo, chuvas e variações climáticas. Em comparação com telhas convencionais, estas são características vantajosas que demonstram a superioridade em termos de resistência mecânica. (CASTRO e FIGUEIREDO, 2022).

Figura 3 - Troca de telhado convencional (cerâmico) para sistema shingle



Fonte: Shingle Brasil, 2022

No Brasil, não existe norma ou regulamento que estabeleça parâmetros mínimos para projeto e execução de coberturas com a utilização de telhas shingle. A norma NBR 15220-3 (2005) estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. Para cada uma das Zonas Bioclimáticas são apresentadas diretrizes construtivas para as vedações externas. Já a norma NBR 15575-5 (2013) estabelece os requisitos e critérios de desempenho exigidos dos sistemas de coberturas para edificações habitacionais em cada Zona Bioclimática. O critério para desempenho térmico é a transmitância térmica.

2.4 TIPOS DE TÉCNICAS DE COBERTURA

De acordo com Fabrício e Rossignolo (2007) “as coberturas são estruturas que se definem pela forma, observando as características de função e estilo arquitetônico das edificações...” Ou seja, além de contribuir com a proteção contra intempéries, se adequam muito bem como elemento estético e muitas vezes econômico, de acordo com a proposta de implantação.

Ainda para os mesmos autores, vale ressaltar tópicos associados à funcionalidade e durabilidade da estrutura, como levar em consideração os fatores do clima, por exemplo, os quais são responsáveis por determinar os detalhes a serem construídos no processo. Garantir as funções projetadas, salubridade, estanqueidade e contribuir para o conforto termo-acústico são características de coberturas modelos, dimensionadas e executadas da melhor forma.

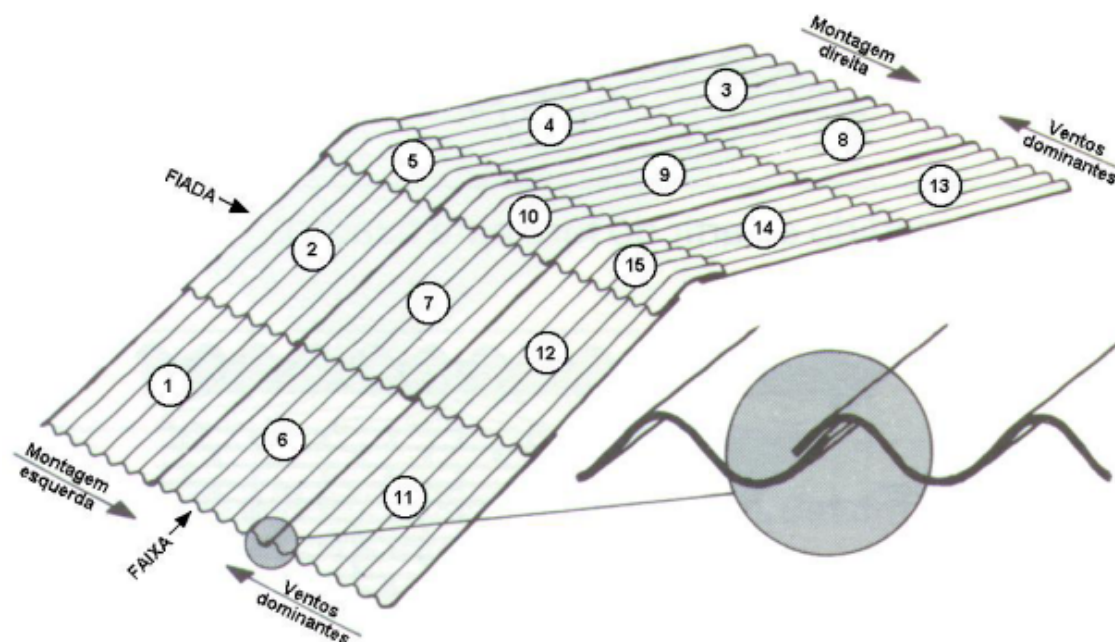
Segundo Pestana (2014), os telhados são compostos por três grandes grupos ou etapas: a estrutura, que serve de apoio para a cobertura e pode ser composta tanto por elementos de madeira, quanto metálicos; a cobertura, que é o material de proteção, pode ser fabricado em diversos formatos e composições; e os condutores, que constituem os coletores pluviais.

2.4.1 TELHA FIBROCIMENTO

O fibrocimento é constituído por cimento, minerais e fibras, que reforçam a estrutura. As fibras empregadas podem ser de origem mineral, vegetal, ou sintética (entre elas o polipropileno). A telha constituída de fibra de amianto (ou asbesto), muito utilizada até a década de 90, é proibida e regulamentada no Brasil pela Lei Federal 9.055/1995, por causa das propriedades cancerígenas do amianto. Este tipo de cobertura apresenta dentre suas características, elevada resistência mecânica, alto nível de isolamento acústico, assim como propriedades físicas e mecânicas que a tornam resistente ao fogo e a ataques químicos. (ARTIGAS, 2015).

Moliterno (2011) explica que não há necessidade de empregar o uso de ripas e caibros nos telhados construídos com telhas de fibrocimento, a nível de suas dimensões serem grandes. Além da própria telha são necessárias apenas tesouras e terças, trazendo assim uma vantagem econômica.

Figura 4 - Montagem de um telhado com telhas de fibrocimento modelo “ondulada”



Fonte: ETERNIT, 2002

As telhas de fibrocimento sem amianto possuem peso específico de 1600 kg/m^3 , sua absorção à água é de 25% a 30% e sua condutibilidade térmica de $0,35 \text{ W/(m.K)}$. Ainda entre suas características, apresentam boa resistência ao calor, a qual possui ciclos alternados de aquecimento de até 100°C e resfriamento à temperatura que não danifica o material, elevada resistência à agentes químicos (neutros e alcalinos), imunidade à corrosão e oxidação, bom comportamento acústico com grande atenuação do ruído de chuvas, além de serem incombustíveis e contemplarem uma resistência biológica, pois não proliferam fungos e bactérias. (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2007)

2.4.2 TELHAS CERÂMICAS

De acordo com a *Federal Energy Management Program - FEMP* (2004), os telhados deste tipo apresentam vida útil em torno de 20 a 30 anos, não exigem custos elevados com manutenção e possuem a característica de manter uma baixa temperatura na superfície interna da cobertura, mesmo que a superfície externa da cobertura sofra com a exposição à radiação solar. Michels (2007) explica que este fato se deve à absorção de água pelas telhas cerâmicas durante a noite, proveniente da umidade do ar noturno. Ao serem expostas às altas temperaturas durante o dia, perdem a água por evaporação e permanecem, portanto, mais frias que o ambiente externo.

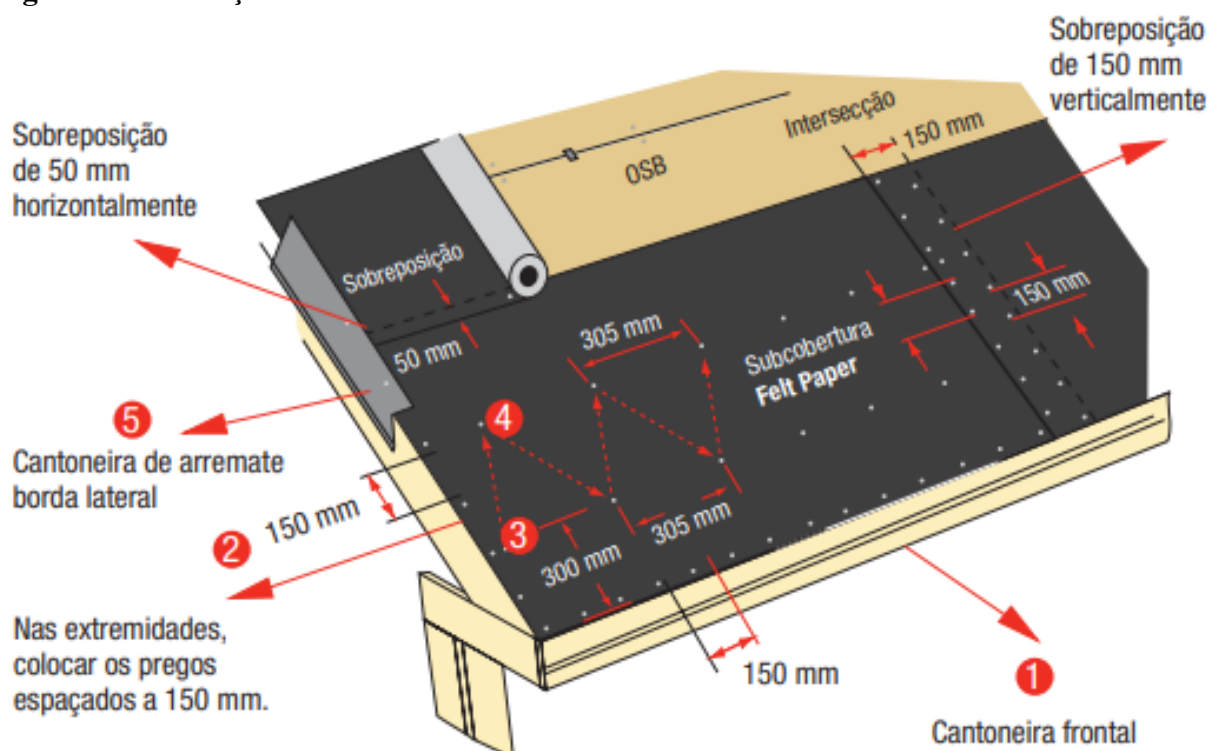
2.5 SISTEMA DE TELHADO SHINGLE

Apesar de ser um telhado simples de se executar, é necessário seguir alguns passos para que o processo tenha êxito. É recomendado que a inclinação não seja inferior a $9,5^\circ$ e não superior a 90° , sendo mais comum se apresentar no intervalo de $18,5^\circ$ a 60° (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2022).

Ainda segundo Brasilit Saint-Gobain (2022), a estrutura do telhado se mantém aproximadamente igual a qualquer outro modelo, porém com terças e caibros menos

espaçados, a fim de garantir a sustentação das chapas de *Oriented Strand Board* - OSB. O grupo ressalta que “os painéis de compensado que formam a base do telhado deverão ter junta de dilatação de 3 mm a 8 mm”. Contudo, após a fixação dessa base é possível aplicar a subcobertura, que consiste em papel impregnado com asfalto, contendo microporos e fibras reforçadas, conforme Figura 5, a seguir:

Figura 5 - Instalação de subcobertura

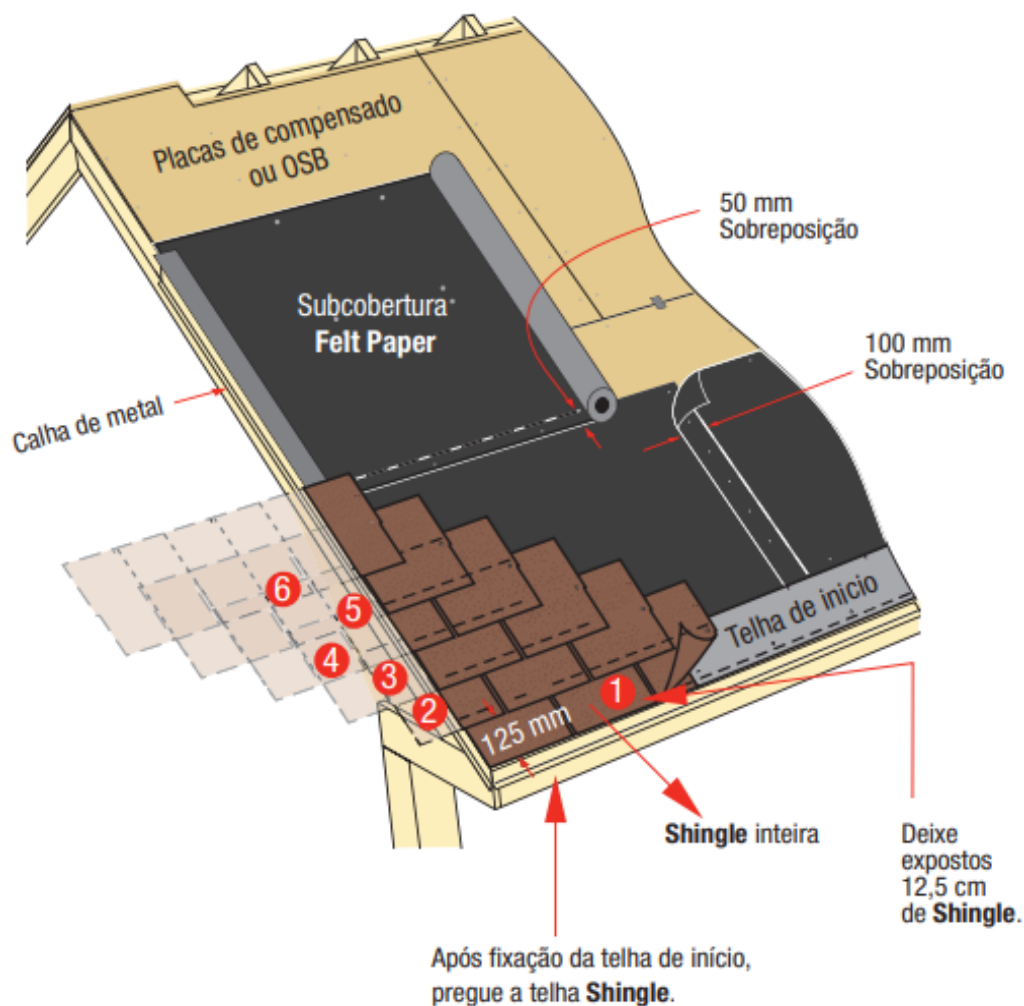


- ① A cantoneira de arremate da borda frontal deve ficar embaixo da subcobertura;
- ② Toda a extremidade da subcobertura deve ser fixada com pregos 50 mm da borda e com 150 mm entre eles;
- ③ Coloque um prego a 300 mm da borda inferior do telhado;
- ④ Outro a 600 mm fazendo um “zigue-zague” com espaçamento de 305 mm;
- ⑤ A cantoneira de arremate da borda lateral do telhado deve ficar sobre a subcobertura.

Fonte: Adaptado de Brasilit Saint Gobain, 2022

Na fixação das telhas, o processo é iniciado de baixo para cima, com a aplicação da telha de início, que vai servir de guia para todo o restante e é instalada de forma a retirar suas abas e quantidade de pregos conforme a inclinação. Para isso, dispõe-se de pregos de 18 x 25 mm especiais para telha shingle. Após, basta fixar a sequência das telhas, com a devida sobreposição entre elas, conforme a Figura 6. Já na cumeeira, é preciso utilizar primeiro a peça ventilada e depois aplicar a telha. A fixação desta se dá por meio de selante elástico à base de poliuretano (PU) com espaçamento de 5 cm entre a linha de cumeeira e os painéis de compensado (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2022).

Figura 6 - Instalação das telhas shingle



- ① Fixe uma telha inteira;
- ② Corte $\frac{1}{2}$ aba da telha shingle (15 cm) e fixe;
- ③ Corte uma aba da shingle (30 cm) e fixe;
- ④ Corte metade da telha e fixe;
- ⑤ Fixe 1 aba que sobrou do recorte da 3ª telha;
- ⑥ Fixe $\frac{1}{2}$ aba que sobrou da 2ª telha.

Fonte: Adaptado de Brasilit Saint Gobain, 2022

A Brasilit Saint-Gobain (2022) afirma ainda que, se for necessário, conforme arquitetura do telhado, há a possibilidade de fazer a água furtada do telhado por dois métodos, o primeiro é por sobreposição das telhas que se encontram dos dois lados das águas do telhado, o outro consiste em trançar as telhas. Em ambas as aplicações é preciso empregar junto ao sistema a manta autoaderente no centro da água furtada antes da aplicação das telhas, as quais não precisam de prego a pelo menos 15 centímetros na linha de eixo da manta.

2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

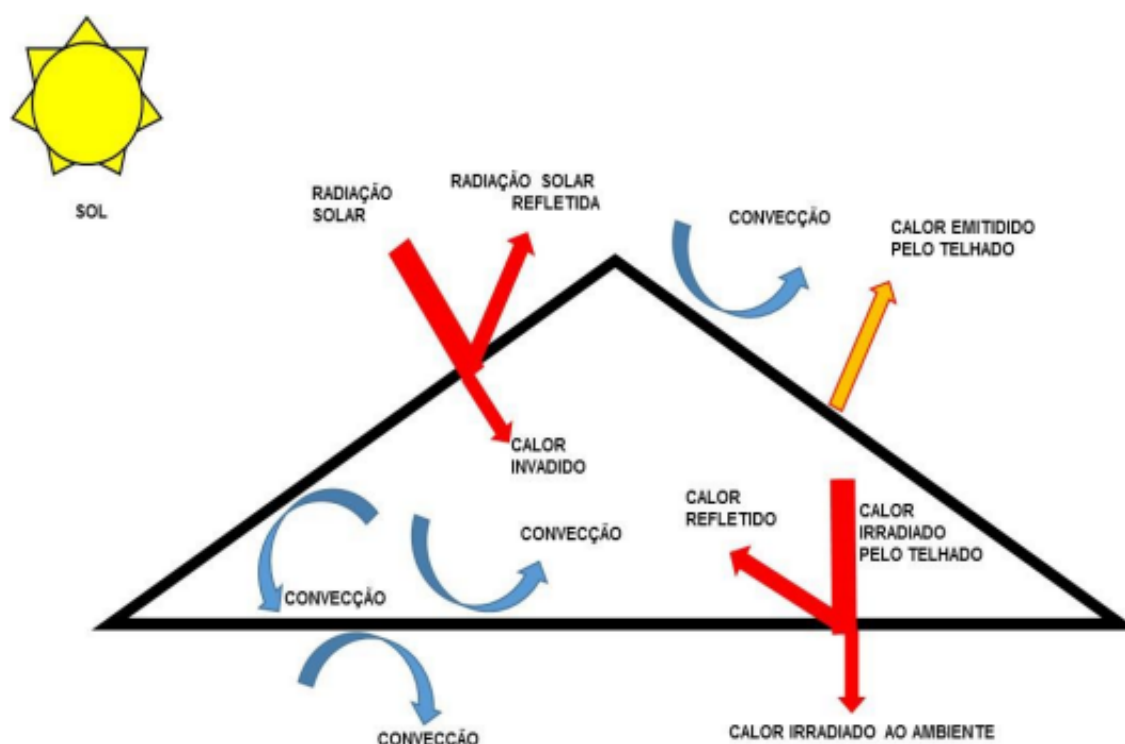
Incropera et al. (2008) conclui que a transferência de calor “é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço.” Portanto, esse fenômeno ocorre quando há transferência de energia térmica de um ambiente a outro, no objetivo de obter-se o equilíbrio térmico.

De forma geral, pode-se definir o calor como a energia transferida entre sistemas que se encontram com valores de temperaturas distintas até atingir a singularidade. O aumento da temperatura ocorre quando um corpo, ao receber essa energia em forma de calor, a transforma em energia interna. (COSTA, 1991)

A transferência de calor ocorre por três processos, como mostra a Figura 7 e afirma Incropera et al. (2008, p. 2):

Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser sólido ou um fluido, usamos o termo *condução* para nos referirmos à transferência de calor que ocorrerá através do meio. Em contraste, o termo *convecção* se refere à transferência de calor que ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas. O terceiro modo de transferência de calor é chamado de *radiação térmica*. Todas as superfícies com temperatura não nula emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Desta forma, na ausência de um meio interposto participante, há transferência de calor líquida, por radiação, entre duas superfícies a diferentes temperaturas.

Figura 7 - Esquema das trocas de calor em um telhado



Fonte: Adaptado de MICHELS, 2007

Givoni (1998) define condutividade em edificações como: “...um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (paredes e telhados) do lado quente para o lado frio do elemento da edificação. A taxa do fluxo depende da condutividade do material e da espessura do elemento da envoltória em questão.”

A transmitância térmica representa o desempenho térmico de um edifício, esta define-se como: “o fluxo de calor que, por unidade de tempo e por unidade de área, transita através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente” (RORIZ, 2008, p. 13).

Segundo Rodrigues (1998), para quantificarmos a quantidade de calor utilizamos a grandeza chamada condutividade térmica ($W/m.^{\circ}C$), propriedade física que define a transferência de calor através do material. O fluxo de calor varia de acordo com a constituição do material, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura, densidade, porosidade e umidade.

Ainda para o mesmo autor, a propriedade que refere-se a capacidade do material em conduzir mais ou menos calor através de elementos construtivos de determinada espessura, é chamada de condutância térmica ($W/m.^{\circ}C$). Para o valor de resistência térmica do material ($m.^{\circ}C/W$), propriedade que expressa a resistência que o material oferece à passagem de calor, é possível obtê-lo por intermédio da relação inversamente proporcional da condutância térmica, ou seja, divisão da espessura do material por sua condutividade térmica.

2.6.1 CONDUÇÃO

A condução pode ser descrita como a transferência de calor produzida por um contato físico entre superfícies ou substâncias, sendo a energia transferida de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura (INCROPERA et al., 2008).

Segundo Reynolds (1986), a equação da taxa de transferência de calor por condução é descrita como “Lei de Fourier” que relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por condução na forma de fluxo térmico. (Eq.1).

$$q''_x = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Esta representa a taxa de transferência de calor na direção “x” por unidade de área perpendicular à direção da transferência e é proporcional ao gradiente de temperatura, nesta mesma direção e ao aplicar a distribuição de temperatura linear, o gradiente de temperatura pode ser descrito na seguinte forma (Eq.2). Porém, só é possível considerá-lo, caso $T_{se} > T_{si}$.

$$q''_x = k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (2)$$

Onde, “ q_{cond} ” representa a fluxo de calor, em W/m^2 ; “k” representa a condutividade térmica do material, em $W/m.K$; “ T_{se} , T_{si} ” representam a temperatura da superfície externa e da superfície interna respectivamente, em K; e “L” representa a espessura do material, em metros.

2.6.2 CONVECÇÃO

De acordo com Incropera et. al. (2008), a transferência de calor por convecção advém de uma troca de calor de um material sólido e um fluido em movimento. Esta troca de calor envolve um fluido e uma superfície sólida.

Já Givoni (1998) defende que esse processo pode ser natural ou forçado. A convecção é natural quando o movimento do fluido ocorre devido às variações de sua densidade, e na convecção forçada a movimentação do fluido é realizada por forças mecânicas externas, seja por bombas ou ventiladores.

Ainda para o mesmo autor, a grandeza física que caracteriza o processo convectivo é o coeficiente de transmissão de calor por convecção (h_c) e seu valor depende de alguns fatores como a natureza do fluido, velocidade do fluido, geometria e rugosidade da superfície sólida,

características da camada limite, se a convecção é natural ou forçada e da direção de deslocamento do fluido.

A equação denominada como “Lei de Resfriamento de Newton” (Eq. 3) relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por convecção.

$$q_{conv} = h_c * (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (3)$$

Onde, “ q_{conv} ” representa a densidade de fluxo de energia térmica, em W/m^2 ; “ h_c ” representa o coeficiente de transferência de calor por convecção, em $W/m^2.K$; “ T_{sup} , T_{∞} ” representa a temperatura da superfície e temperatura do fluido, em K.

2.6.3 RADIAÇÃO

A radiação térmica pode ser definida como a energia emitida pela matéria que estiver numa temperatura finita, a qual pode ser transmitida tanto pelos corpos sólidos como pelos fluidos por meio de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, quando um corpo recebe energia radiante, há um aumento de sua temperatura e também há emissão de energia para as superfícies adjacentes, que é proporcional à temperatura do corpo (KREITH, 1973).

A equação de Stefan-Boltzman (Eq. 4), relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por radiação em uma superfície à determinada temperatura.

$$q_{rad} = \varepsilon * \sigma * T_s^4 \quad (4)$$

Onde, “ q_{rad} ” representa a densidade de fluxo de energia térmica, em W/m^2 ; “ ε ” representa a emissividade da superfície; “ σ ” representa a constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$; “ T_s ” representa a temperatura da superfície, em K.

Vale ressaltar que a emissividade (ε) fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação à de um corpo negro (radiador ideal), com valores que se encontram entre $0 \leq \varepsilon \leq 1$, dependendo do material utilizado e da superfície (KREITH, 1973). Os valores encontrados para tal propriedade estão descritos na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Valores de emissividade

Substância	Emissividade
Asfalto	0,90 a 0,98
Cerâmica	0,90 a 0,94
Cimento	0,96

Fonte: Adaptado de Minipa, 2013

A energia radiante incidente sobre um corpo é em parte absorvida, refletida e transmitida (Eq. 5, 6), sendo as propriedades físicas envolvidas nesses processos denominadas respectivamente de absorvidade (α), de refletividade (ρ) e de transmissividade (τ). Considerando E_i a energia radiante incidente em uma determinada superfície, E_a a parcela de energia absorvida, E_p a energia refletida e E_t a energia transmitida, tem-se que:

$$E_i = E_\alpha + E_\rho + E_t \quad (5)$$

A absorptividade (α) também varia na faixa $0 \leq \alpha \leq 1$. As superfícies opacas absorvem uma parte da radiação incidente e refletem a outra parte em quantidade proporcional ao total de radiação incidente (HALÁSZ, 1994). A equação que define esta relação é dada por:

$$1 = \alpha + \rho \quad (6)$$

Para Incropera et. al. (2008), um corpo cinza, característica mais comum dos materiais, é aquele considerado com uma superfície difusa e cinza, do qual a emissividade pode ser julgada igual a absorptividade, pois independe da natureza espectral (Eq. 7).

$$\varepsilon = \varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda = \alpha \quad (7)$$

3 METODOLOGIA

Neste estudo foi analisado o conforto térmico com a utilização de telhas shingle em coberturas convencionais, a fim de verificar as propriedades de condução de calor relacionadas a cada tipo de cobertura selecionada no estudo. Desta forma, este capítulo apresenta a caracterização da pesquisa e a descrição das etapas que foram realizadas ao longo da pesquisa.

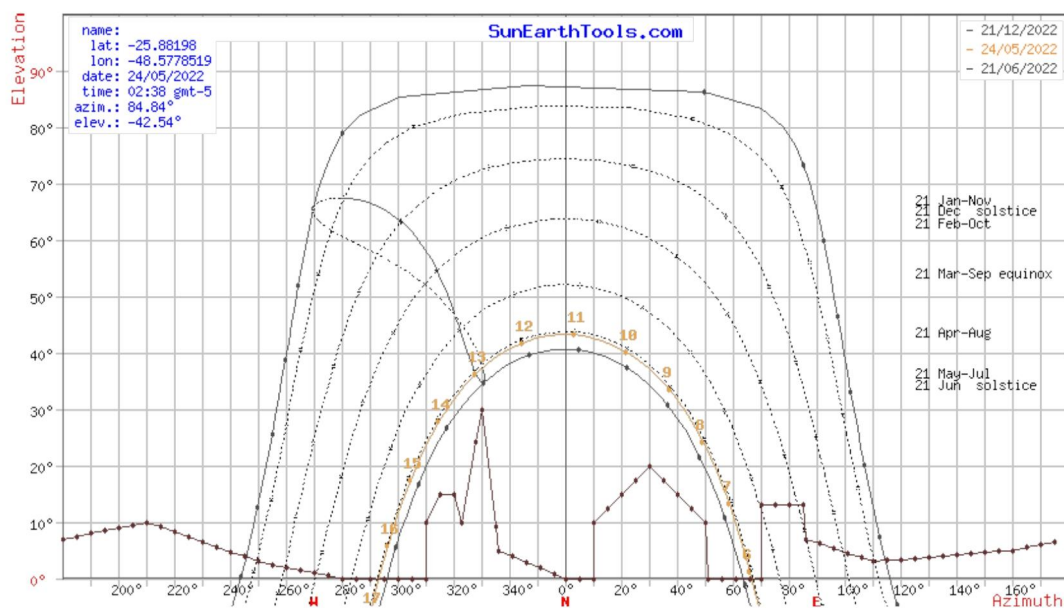
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O estudo caracteriza-se como exploratório e experimental, pois buscou-se primeiramente o embasamento através de referencial teórico em artigos, livros, normativas, periódicos e manuais técnicos, bem como, a confecção de protótipos de compensado, para implantação dos modelos de cobertura: telhas cerâmicas, de fibrocimento e o protagonista, a telha shingle. No intuito de analisar o conforto térmico com a utilização de telhas shingle comparadas a outros tipos de coberturas mais convencionais, fez-se a coleta de dados por prazo determinado, a fim de, mensurar e classificar o material mais coerente a relação conforto térmico.

3.2 AMBIENTE DA PESQUISA

Diante das etapas de pesquisa e fases práticas do estudo, os protótipos foram ambientados e testados na região central de Guaratuba/PR, mas especificamente no logradouro Rua Dom Pedro II, 335. O ponto exato do local está descrito pela coordenada $25^\circ 52' 55.128''$ (Sul) e $48^\circ 34' 40.267''$ (Oeste), com ela e através de ferramentas online (Sun Earth Tools) é possível saber a inclinação do sol no decorrer das horas do dia, na localização escolhida. Conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Inclinação do sol *versus* horário



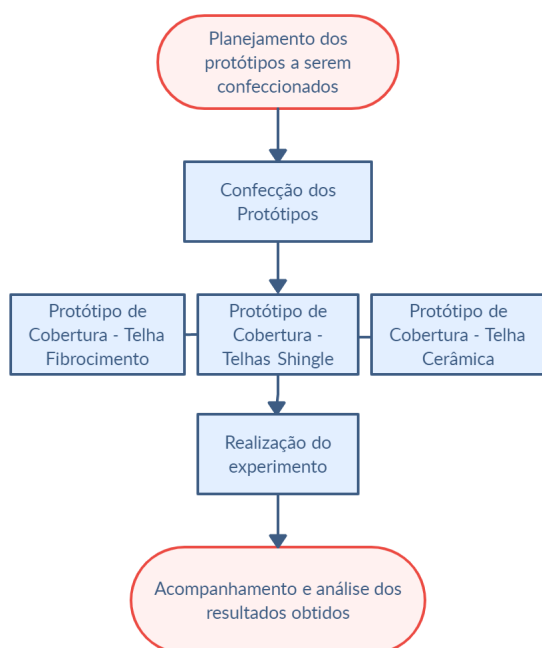
Fonte: Sun Earth Tools, 2022

As amostras ficaram sem nenhuma obstrução ou interferência nos períodos estipulados para coleta de dados, a não ser pela própria arborização e sombras de outras edificações.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

O fluxograma demonstrado na Figura 9, mostra as etapas realizadas para a confecção da pesquisa.

Figura 9 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Os Autores, 2022

a) Planejamento dos protótipos: diante do propósito do estudo, os autores elaboraram uma rotina de trabalho para a confecção das amostras. O conceito baseou-se na representação de protótipos de diferentes tipos de coberturas: fibrocimento, cerâmica e shingle, todas contendo bases iguais e de mesmo material, de forma que o único elemento analisado fossem exclusivamente as telhas. O formato escolhido para montagem foi o retângulo, do qual melhor aproveitou os insumos, no caso das chapas de compensado.

b) Confecção dos protótipos: para a produção das amostras foi necessária a utilização de algumas ferramentas e equipamentos: plaina, régua, esquadro, lápis, serra circular com disco de madeira, parafusadeira e equipamentos de proteção individual, como óculos e protetores auriculares, além das matérias primas: telha de fibrocimento, telhas cerâmicas, lâminas de telha shingle já com a chapa de OSB empregada, duas chapas de compensado 160x220x9mm, ripas, parafusos chip 3,5x40mm e tinta spray na cor preto brilhante, conforme Figura 10.

Figura 10 - Etapas de montagem



a) Insumos: Telhas shingle e telha cerâmica;

b) Insumos: Chapa de compensado;

c) Insumos, ferramentas e equipamentos;

d) Insumos, ferramentas e equipamentos;

Fonte: Os Autores, 2022

c) Protótipos de cobertura (fibrocimento, cerâmica e shingle): esta etapa teve início com a confecção das bases de compensado responsáveis por sustentar as telhas de cada protótipo. Cada base foi composta por dois retângulos nas dimensões 25x62cm e 40x62cm e dois trapézios nas dimensões de 40 cm de altura, 40 cm de base maior e 30 cm de base menor, estes elementos foram fixados com a utilização de ripas de 3,5x3,5cm e parafusos de modo que formou a estrutura prevista, como ilustra a Figura 11.

Figura 11 - Etapas da prototipagem



- a) Execução das bases dos protótipos: Corte das chapas de compensado;
- b) Execução das bases dos protótipos: Corte das chapas de compensado;
- c) Execução das bases dos protótipos: Corte das chapas de compensado;
- d) Execução das bases dos protótipos: Base do protótipo montada;

Fonte: Os Autores, 2022

Todas as bases sofreram um banho de tinta preta, conforme Figura 12, para posteriormente receber suas coberturas. Cada modelo de cobertura sofreu ajustes conforme seu método de instalação e medida específica para cada tipo de telha.

Figura 12 - Etapas de acabamentos



- a) Protótipo em etapa de acabamento;
- b) Protótipo em execução: base finalizada;
- c) Protótipo em execução: pintura da base;
- d) Protótipo finalizado: Instalação da cobertura;

Fonte: Os Autores, 2022

Com as coberturas instaladas, foram finalizados um furo de diâmetro de 50mm na face frontal e fundos, a fim de proporcionar a mesma condição de ventilação em cada protótipo, conforme Figura 13.

Figura 13 - Protótipos finalizados



Fonte: Os Autores, 2022

d) Realização do experimento: esta etapa consistiu em posicionar as amostras (protótipos) em um local expondo-as ao clima e intempéries, a fim de simular as condições de uma residência consolidada e registrar as temperaturas internas e de superfície, em diferentes momentos do dia, no período de 3 dias.

Para a coleta das temperaturas internas foi utilizado um termômetro digital com cinco sensores da marca Full Gauge, modelo Penta III, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Processo de aferição das temperaturas internas



Fonte: Os Autores, 2022

Na coleta das temperaturas de superfície das telhas foi utilizado um termômetro infravermelho da marca Bingzun, modelo ET05, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Processo de aferição das temperaturas externas



Fonte: Os Autores, 2022

No período da amostragem as amostras e os sensores do termômetro digital se mantiveram no mesmo local, sem que houvesse deslocamento dos mesmos e os registros dos dados foram quantificados a cada três horas a partir das 9h00min da manhã, até às 18h00min da noite.

e) Acompanhamento e análise dos resultados obtidos: os dados coletados no período estabelecido foram filtrados e expostos em forma de planilhas, gráficos e cálculos, para posteriormente auxiliar as análises feitas neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2, a seguir, demonstra as temperaturas obtidas no período predefinido, no interior dos protótipos e em suas superfícies de cobertura.

Tabela 2 - Registro de temperaturas

			24/05/2022	25/05/2022	26/05/2022
09:00	Interior	Fibrocimento	18,3°	19,9°	19,3°
		Cerâmica	18,6°	19,8°	20,2°
		Shingle	18,6°	20,0°	19,8°
	Exterior	Fibrocimento	17,9°	19,6°	19,1°
		Cerâmica	18,0°	20,2°	20,2°
		Shingle			

		Shingle	18,6°	20,9°	20,4°
12:00	Interior	Fibrocimento	22,9°	24,3°	25,5°
		Cerâmica	23,6°	25,9°	25,8°
		Shingle	23,9°	24,9°	27,5°
	Exterior	Fibrocimento	35,2°	38,5°	38,5°
		Cerâmica	30,3°	37,6°	40,7°
		Shingle	44,1°	51,1°	54,6°
15:00	Interior	Fibrocimento	23,7°	24,6°	24,2°
		Cerâmica	23,7°	25,2°	24,9°
		Shingle	26,0°	26,7°	27,0°
	Exterior	Fibrocimento	23,8°	25,7°	25,0°
		Cerâmica	24,4°	26,2°	25,8°
		Shingle	27,7°	30,4°	29,3°
18:00	Interior	Fibrocimento	21,8°	21,5°	22,0°
		Cerâmica	21,8°	21,8°	22,7°
		Shingle	22,5°	21,7°	23,6°
	Exterior	Fibrocimento	19,8°	20,4°	19,9°
		Cerâmica	19,8°	20,4°	20,1°
		Shingle	19,0°	19,5°	19,4°

Fonte: Os Autores, 2022

Por intermédio dos valores de temperatura de superfície das coberturas, pode-se obter o fluxo de calor através da equação de Stefan-Boltzman e dos valores de emissividade fornecidos pela Minipa para cada material base, no caso, o cimento, a cerâmica e o asfalto. Os resultados estão sintetizados na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 - Fluxo de calor

		24/05/2022	25/05/2022	26/05/2022
09:00	Fibrocimento	0,039 W/cm ²	0,040 W/cm ²	0,040 W/cm ²
	Cerâmica	0,038 W/cm ²	0,039 W/cm ²	0,039 W/cm ²
	Shingle	0,040 W/cm ²	0,042 W/cm ²	0,041 W/cm ²
12:00	Fibrocimento	0,049 W/cm ²	0,051 W/cm ²	0,051 W/cm ²
	Cerâmica	0,045 W/cm ²	0,050 W/cm ²	0,052 W/cm ²
	Shingle	0,056 W/cm ²	0,061 W/cm ²	0,064 W/cm ²
15:00	Fibrocimento	0,042 W/cm ²	0,043 W/cm ²	0,043 W/cm ²
	Cerâmica	0,039 W/cm ²	0,043 W/cm ²	0,043 W/cm ²
	Shingle	0,040 W/cm ²	0,047 W/cm ²	0,046 W/cm ²
18:00	Fibrocimento	0,040 W/cm ²	0,040 W/cm ²	0,040 W/cm ²
	Cerâmica	0,039 W/cm ²	0,0040 W/cm ²	0,039 W/cm ²
	Shingle	0,040 W/cm ²	0,041 W/cm ²	0,041 W/cm ²

Fonte: Os Autores, 2022

Foi considerado que as superfícies dos protótipos eram difusoras e cinzas, portanto, classificamos a emissividade igual a absorvidade. E diante das informações e resultados de fluxo térmico, constatou-se que as temperaturas internas se mantiveram uniformes para todos os modelos de cobertura em ambos os dias, entretanto, o fluxo de calor proveniente da radiação solar junto ao aumento de temperatura, principalmente no meio do dia, tornou o modelo shingle o maior concentrador de calor em sua superfície.

Dentro do período de coleta dados, a temperatura média interna no modelo de fibrocimento foi de 22,3°C, no modelo com cobertura cerâmica foi de 22,8°C e na amostra com cobertura shingle foi de 23,5°C. O que de modo geral, torna a cobertura tipo shingle eficiente assim como as outras, mesmo que esta possuía pouca abertura para ventilação e troca de calor com o ambiente externo, em comparação ao outros modelos de formas mais curvas que fornecem maior área de ventilação.

Ainda foi constatado que o modelo americano dissipa o calor muito rapidamente em sua superfície, visto que suas temperaturas às 18h00min são as menores registradas, mesmo mantendo um gradiente térmico interno competitivo e favorável ao conforto.

CONCLUSÕES

Este estudo buscou contribuir para o esclarecimento do comportamento térmico dos tipos de telhas mais convencionais comparado ao modelo americano, o shingle. O objetivo do trabalho foi realizar a prototipagem e promover as mesmas condições de instalação e ventilação de uma residência em um experimento que constituiu na verificação das variações de temperatura nas amostras fabricadas através da implantação dos modelos de coberturas: fibrocimento, cerâmica e shingle. A análise dos dados demonstrou oscilações tão pouco significativas, o que manteve uma uniformidade nas temperaturas internas. De modo geral, o modelo shingle demonstrou maior absorção de calor em sua superfície, consequentemente uma maior densidade de energia térmica no período. No entanto, comparado às médias gerais, o intuito do trabalho se propôs satisfeito, uma vez que a diferença entre as amostras manteve uma eficiência interna competitiva.

Com os resultados, foi evidenciada as propriedades térmicas do modelo shingle, possibilitando novos caminhos no mercado brasileiro colonizado por modelos mais tradicionais de telhas. Sugere-se então, aos próximos trabalhos, investir em estudos para aumentar a eficiência do material, e consequentemente o sistema de cobertura shingle.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2:** 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, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ARTIGAS, Laila V. **Materiais de Construção III. TC034. Fibrocimento.** Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8165400-Ministerio-da-educacao-universidade-federal-do-parana-setor-de-tecnologia-materiais-de-construcao-iii-tc-034-fibrocimento.html> Acesso em 02 de Maio de 2022.

ASHRAE, ASHRAE 55: **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta, 2013.

BALLARIN, Adriano Wagner. **Notas de Aula: Aula 5 – Tesouras de Madeira.** 2006.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo.** 5. ed. São Paulo: PINI, 2006.

BRASILIT SAINT-GOBAIN. **Catálogo técnico: ondulada**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/brasilit/ondulada.pdf>>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

BRASILIT SAINT-GOBAIN. **Guia do montador shingle**. Disponível em: <http://www.amatelmadeiras.com.br/catalogo/tecnico_shingle.pdf>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

BRASILIT SAINT-GOBAIN. **Telha americana shingle é leve, flexível e dura mais**. Disponível em: <<https://www.saint-gobain.com.br/experiencias/blog/telha-americana-shingle-e-leve-flexivel-e-dura-mais>>. Acesso em: 15 de abril de 2022.

CARDOSO, Francisco Ferreira. **Notas de aula: Coberturas em Telhados**. São Paulo, 2000.

CASTRO, Mateus; FIGUEIREDO, Edmilson. **Cobertura, impermeabilização e isolamento: Shingle, mais que uma telha, é um sistema de telhado**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/shingle-mais-que-uma-telha-e-um-sistema-de-telhado/21209>>. Acesso em: 16 de abril de 2022.

COBRIRE, Construções em madeira. **Vantagens do telhado e das telhas shingle**. Disponível em: <<https://cobrire.com.br/vantagens-do-telhado-e-das-telhas-shingle/>>. Acesso em: 16 de abril de 2022.

COSTA, E. C. **Capítulo 6: transmissão de calor**. In: COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**, 4ª edição, 1991

ETERNIT (2002). Eternit – **Conheça nossos produtos**. Disponível em: <http://www.eternit.com.br>. Acesso em 18/05/2022.

FABRÍCIO, Márcio Minto; ROSSIGNOLO, João Adriano. **Cobertura: tecnologia das construções II**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5804539/mod_resource/content/1/Apost%20Cobertura%20Lima_Rossignolo.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

Federal Energy Management Program (FEMP). U.S. Department of Energy. **Energy Efficiency and Renewable Energy, “Green Roofs” DOE/EE-0298**. Estados Unidos, Agosto 2004.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, R. S. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. - São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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

HALÁSZ, J.Z. ; MARTINS, A. **Princípios para o Condicionamento de Ar**. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP: UNICAMP, 1994.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. Tradução: QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 2p.

ISAIA, Geraldo C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Isaia, G. C., IBRACON, 2010. v. 2

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Divisão de edificações. Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telha de cerâmica: manual de execução**. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. Ed. Edgard Blücher. Instituto nacional do livro. MEC. 1973.

LAMBERTS, Roberto; DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho Térmico de Edificações**. 7ª. ed. Florianópolis: UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LOGSDON, Norman Barros. **Estruturas de madeira para coberturas sob ótica da NBR 7190/1997**. 2002. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

MICHELS, Caren. **Análise da transferência de Calor em Coberturas com Barreiras Radiantes**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

MINIPA. **Manual de instruções: termômetro infravermelho**. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/images/Manual/MT-320-1100-BR.pdf>>. Acesso em 28 de maio de 2022.

PESTANA, Carlos Eduardo Troccoli. **Cobertura: técnicas de construção I**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/7314090-200888-tecnicas-das-construcoes-i-cobertura-prof-carlos-eduardo-troccoli-pastana-pastana-projeta-com-br-14-3422-4244-aula-9.html>> Acesso em 16 de maio de 2022.

REYNOLDS, W.C. **Thermodynamics**. Tokyo. International Student Edition, 1986. p.173

RODRIGUES, E.H.V. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente, na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida**. 1998. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

RORIZ, L. **Energia Solar em Edifícios**. Lisboa: Edições Orion, 2008.

SANTIAGO, Alexandre Kokke. **O Uso do Sistema Light Steel Framing Associado a Outros Sistemas Construtivos como Fechamento Vertical Externo não Estrutural**. Dissertação (Engenharia Civil) — Universidade Federal de Ouro Preto. 2008. 12 p.

SHINGLE BRASIL. **Confira a nossos cases - galeria**. Disponível em: <<http://www.shinglebrasil.com.br/galeria-shingle-brasil.html>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

SUN EARTH TOOLS. **Sun Position**. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt#top>. Acesso em: 23 de maio de 2022.

TELHAS TERMOACÚSTICAS. **Portal Metálica: Construção Civil**. Disponível em: <http://wwwo.metalica.com.br/caracteristicas-das--telhas-termoacusticas>. Acesso em: 27 abr. 2022.

TELHAS TERMOACÚSTICAS. **Importadora Americana, 2018**. Disponível em: <http://www.importadoraamericana.com.br/telhas-termoacusticas>. Acesso em: 5 fev. 2019.

TURMANL, Jacques. **Coberturas de projeto e detalhamentos construtivos**. São Paulo: J.J Carol, 2013.

VITTORINO, F., et al. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003.

ZAPARTE, Tainara Aparecida. **Estudo e Adequação dos Principais Elementos do Modelo Canadense de Construção em Wood Frame para o Brasil**. Monografia (Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014. 13 p.