

FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LETICIA MOREIRA BRANDÃO
LUANA RODRIGUES SANTOS

DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: ANÁLISE DE
MONITORAMENTO POR CÉLULAS TESTE

GOIANÉSIA / GO

2017

**LETICIA MOREIRA BRANDÃO
LUANA RODRIGUES SANTOS**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: ANÁLISE DE
MONITORAMENTO POR CÉLULAS TESTE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE
EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA**

ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO

GOIANÉSIA/GO

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

BRANDÃO, LETICIA MOREIRA; SANTOS, LUANA RODRIGUES.

Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento por células teste.

45P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Desempenho térmico

2. Conforto térmico

3. Telha ecológica

4. Telha de Fibrocimento

I. ENC/UNI

II. 10º Período

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRANDÃO, L. M.; SANTOS, L. R., Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento por células teste, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 45p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leticia Moreira Brandão; Luana Rodrigues Santos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento por células teste

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Leticia Moreira Brandão
E-mail: eng.leticiamoreira@hotmail.com

Luana Rodrigues Santos
E-mail: luana_gsia@hotmail.com

LETICIA MOREIRA BRANDÃO

LUANA RODRIGUES SANTOS

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: ANÁLISE DE
MONITORAMENTO POR CÉLULAS TESTE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL**

APROVADO POR:

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Me. (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**BRUNO ISMAEL OLIVEIRA CARDOSO MAIA, Especialista (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FERNANDO CRUVINEL DAMASCENO, Dr. (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 13 de JUNHO de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado determinação, sabedoria e conhecimento para concluir este trabalho. Aos meus Pais e Irmã, por todo amparo e amor recebido e por estarem sempre ao meu lado nessa caminhada. Aos parentes e amigos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização do mesmo. Ao meu orientador pela dedicação e partilha de conhecimento. E à instituição de ensino na pessoa do Engenheiro Adriano Tavares pelo apoio na fase inicial de execução deste trabalho.

A Deus, por me ajudar a superar as dificuldades deste trabalho, com graça, conhecimento e sabedoria. Aos meus pais e irmãos que não mediram esforços para que eu concluísse esta etapa da minha vida. Aos meus familiares e amigos por toda demonstração de apoio e carinho. Ao meu esposo que de forma especial apoiou e colaborou com execução do mesmo. E ao meu orientador pela dedicação e ensinamentos compartilhados.

RESUMO

O setor da construção civil precisa adequar-se às transformações climáticas que vem ocorrendo no clima, decorrente do crescimento expressivo de edificações, buscando soluções em que materiais construtivos proporcionem um melhor desempenho e conforto térmico. Certo da importância desse tema, esse trabalho avaliou o desempenho térmico entre as telhas Tetra Pak e de fibrocimento, com base na NBR 15575-1, item 11.1 - Procedimento 2: método de Medição. O experimento foi realizado através de medições em protótipos de edificações construídos na Faculdade Evangélica de Goianésia, de forma que as coberturas ficaram intensamente expostas ao sol, e com o sistema de aquisição de dados já instalado. A leitura das temperaturas internas das Células Teste foi feita através de sensores de temperatura e umidade do tipo DHT 22 instalados no seu interior. O sistema foi monitorado por 15 dias e os dados coletados simultaneamente durante 24 horas por dia. Esse método serviu para verificar de forma experimental a viabilidade na utilização das duas telhas referente à necessidade de maior conforto térmico. Dentre as duas telhas analisadas, verificou-se que a de fibrocimento, quando comparada a ecológica, manteve as temperaturas no interior da célula entre 2 a 4,5% mais baixas. De forma geral, o estudo concluiu que a telha de fibrocimento, em relação a Tetra Pak, mostrou-se ser a melhor alternativa.

Palavras-chave: desempenho térmico; conforto térmico; telha ecológica; telha de fibrocimento; células teste.

ABSTRACT

The construction industry needs to adjust to the climate changes that have been taking place in the climate, arise from the growth buildings, therefore, the sector are looking for solutions in building materials that provides a better performance and thermal comfort. Right the significance of this issue, this academic work measure the thermic performance between tetra park tiles and fiber cement tiles, based in NBR 15575-1 article 11.1. Procedure 2 - measure methods. The experiment has been done by the measure in prototype of buildings in Evangélica University from Goianésia, by the way that the roofs stayed exposed to the sun intensively and with the data collection system already installed. The lecture of the internal temperatures of the cell tests has done by the temperature sensors and humidity type DHT, with 22 installed inside. The system was supervised by 15 days and the data capture for 24 hours per day simultaneously. This method verified the experimental way and viability in the utilization by the both tiles referring to the necessity of a higher thermal comfort. Between the 2 tiles analysed, verified that the fiber cement, when compared with the ecologic, retain the temperatures inside the cells from 2 to 4,5 % lower. In a general way, the study conclude that the fiber cement, related with a tetra park, showing been the best alternative.

Keywords: thermal perfomace; thermal comfort; ecological tile; tile and fiber cement; test cells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zonas Climáticas.....	15
Figura 2: Temperaturas médias observadas - 2015	17
Figura 3: Mapa de Goianésia.....	18
Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	19
Figura 5: Mecanismos de Transferência de Calor.	24
Figura 6: Trocas de calor em superfície opaca.	28
Figura 7: Células testes implantadas.	29
Figura 8: Célula de apoio para a caixa do sistema de aquisição de dados.	30
Figura 9: Sensor de temperatura instalado na parte interna da célula.	30
Figura 10: Placa Arduino Uno.....	31
Figura 13: Protoboard.	31
Figura 11: Buzzer	31
Figura 14: Sensor de temperatura e umidade DHT 22.	31
Figura 12: Módulo Cartão Micro SD.	32
Figura 15: RTC.....	32
Figura 16: Sistema de Aquisição de Dados implantado: (1) Placa Arduino Uno; (2) Buzzer; (3) Módulo Cartão Micro SD; (4) Protoboard; (5) RTC.	32
Figura 17: Vista superior da Faculdade Evangélica. Local onde foi implantado o experimento.	33
Figura 18: Gráfico das curvas de temperaturas registradas no interior das células e temperatura ambiente.	37
Figura 19: Comparativo de temperaturas máximas registradas no dia 29/04/2017.	37
Figura 20: Gráfico das curvas de temperaturas registradas no interior das células e temperatura ambiente.	39
Figura 21: Comparativo de temperaturas mínimas registradas no dia 17/04/2017.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo de Temperaturas.....	34
--	----

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	10
2 - OBJETIVOS	12
2.1 - Objetivo Geral	12
2.2 - Objetivo Específico	12
3 - JUSTIFICATIVA	13
4 - REVISÃO TEÓRICA	15
4.1 - Clima	15
4.2 - Desempenho Térmico em Edificações	18
4.3 - Conforto Térmico	20
4.4 - Transferência De Calor	22
4.4.1 - Fundamentos	22
a) Calor	22
b) Temperatura	23
4.4.2 - Condução, Convecção e Radiação	23
a) Condução	23
b) Convecção	23
c) Radiação	24
4.4.3 - Evaporação e Condensação	24
a) Evaporação	24
b) Condensação	25
4.5 - Transferência De Calor Em Coberturas	25
4.5.1 - Cobertura	25
4.5.2 - Telhado	25
4.5.3 - Telhas	26
a) Telha de Fibrocimento	26
b) Telha Ecológica Tetra Pak	26
4.5.4 - Transferência De Calor	27
5 - METODOLOGIA	29
5.1 - Característica do Experimento	29
5.2 - Sistema de Aquisição de Dados	30
5.3 - Localização e Implantação	32
6 - ANÁLISE DE RESULTADOS	34

6.1 - Análise de Temperaturas	35
6.1.1 - Temperaturas máximas	36
6.1.2 - Temperaturas mínimas	37
6.2 - Resultado do desempenho das telhas	39
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
BIBLIOGRAFIA	43

1 - INTRODUÇÃO

A sociedade moderna vem passando por diversas transformações, abrangendo às inovações tecnológicas, o aproveitamento racional de recursos, com respeito à natureza (CBIC, 2013). O aumento de áreas urbanas influencia diretamente sobre o clima. As excessivas alterações no solo, diminuindo a sua cobertura vegetal e impermeabilização, conseqüentemente alteram e elevam a temperatura do ar. Nesse aspecto de crescimento e mudanças climáticas, sociais e ambientais, foram desenvolvidas normativas que se direcionam principalmente para o crescente setor da construção civil.

As alterações climáticas estão ligadas diretamente à condição de bem-estar do ser humano, sendo assim, adaptações de tecnologia às edificações, tem como objetivo proporcionar melhores condições ambientais, resultando em bem estar térmico. As normativas NBR 15575 (2013) e 15220 (2003) tem como foco os sistemas construtivos que compõem edificações habitacionais e o desenvolvimento térmico das mesmas, recomendando diretrizes construtivas para adequação ao clima local.

A zona climática predominante do Brasil é a zona tropical, o estado de Goiás está localizado na zona tropical Brasil central, onde no inverno costuma ter temperaturas mais baixas e sensação térmica de frio e no verão temperaturas elevadas e sensação térmica de calor (MENDONÇA; DANNI – OLIVEIRA, 2007). O Sol ao se incidir sobre a edificação representará um ganho de calor, que será dado pela função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos paramentos do edifício (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A radiação solar é parcialmente absorvida pela atmosfera, após essa absorção, essa energia atinge a Terra e influencia na distribuição de temperatura. Ela irá variar em função da latitude e da época do ano, pois esses fatores determinam o ângulo de incidência dos raios solares com relação ao plano horizontal do lugar (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A radiação é a variável principal a intervir diretamente na superfície exterior dos materiais. O telhado é o elemento construtivo de uma edificação mais exposto à radiação, durante o dia, devido a exposição, ele tem uma importância significativa no desempenho térmico de edificações. Ao mesmo tempo em que ele recebe calor, ele também irradia este calor acumulado à noite. Os materiais possuem características térmicas diferentes e devem ser utilizadas como as estratégias climáticas mais adequadas em cada local (FROTA; SCHIFFER, 2001).

De acordo com Mendonça; Danni – Oliveira (2007), o Brasil, na maior parte do país, as temperaturas médias anuais oscilam entre 24,1 °C a 26 °C. Devido as temperaturas elevadas, as construções devem ter a preocupação em buscar adaptações construtivas que lhe proporcionam conforto térmico.

Segundo Ruas (1999), o ambiente é constituído da combinação dos elementos: temperatura, umidade do ar, vento, radiação, luz, ruídos, entre outros, sendo assim, as edificações devem ser planejadas e construídas com a finalidade principal de diminuir a ação direta do clima (insolação, temperatura, vento, chuva e umidade do ar).

Fiorelli; Morceli (2007), afirma que, é necessário intensificar estudos regionais, para determinar os índices de conforto térmico e os materiais mais adequados para a execução de coberturas. Podendo então, avaliar e comparar a influência das telhas, ecológicas Tetra Pak e de fibrocimento, no conforto térmico de construções.

A cobertura feita com telhas de fibrocimento, que é um composto de cimento com 10 a 15% de fibra e amianto, é bastante comum no Brasil, especialmente em construções mais simples, já que o seu custo é inferior aos demais tipos de telhas, tornando a sua principal vantagem. Como desvantagens existe o fato delas aquecerem muito e com isso exigirem mais cuidado com o seu uso neste aspecto. Conta ainda como desvantagem o fato de serem mais sensíveis e quebrar com facilidade, portanto na sua colocação ou manutenção é preciso de cuidados (JÚNIOR; MOLINA, 2010).

Com o interesse em aumentar o conforto térmico, a UNICAMP (Universidade de Campinas), lançou o projeto FORRO VIDA LONGA (2001), onde desenvolveram estudos relacionados às propriedades do alumínio, e descobriram que o alumínio presente no interior dessas embalagens tem como finalidade refletir o calor e a luz solar incidente, para aumentar o conforto térmico nas edificações, surgiu então a alternativa das telhas ecológicas Tetra Pak.

Afirma-se que, o diferencial das telhas Ecológicas de Tetra Pak está na redução da temperatura ambiente por possuir um lado de Tetra Pak e o outro em alumínio, tornando um isolante térmico natural. Em relação à leveza, a telha reciclada chega a pesar a metade do modelo convencional de fibrocimento. Isso acaba gerando mais uma série de facilidades, principalmente em relação ao custo do transporte, e também na redução do custo do madeiramento para a cobertura (CERQUEIRA, 2003).

A partir dessas afirmações, este trabalho irá estudar de forma experimental o comportamento térmico desses dois tipos diferentes de telhas usadas nas coberturas das edificações. E ao final será realizada uma análise e discussão do desempenho das mesmas. De forma a verificar qual possui um melhor conforto térmico.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de dois tipos de telhas: a telha ecológica Tetra Pak e a telha de Fibrocimento, através do método de medição proposto na NBR 15575 -1.

2.2 - Objetivo Específico

- Monitorar o interior das células teste;
- Analisar as temperaturas registradas obtidas pelo sistema de aquisição de dados;
- Fazer comparativo entre os dados coletados.

3 - JUSTIFICATIVA

Com a evolução tecnológica e a busca por redução de custo, assim como os setores industriais brasileiros, o setor da construção civil precisou adequar-se a essa realidade, promovendo qualidade das habitações brasileiras, otimizando o uso dos recursos (CBIC, 2013).

Tanto na arquitetura como na engenharia, a ideia de construção de edificações considerando o clima local vem sendo uma vertente, pois conforme a NBR 15220 (2003), existem diretrizes diferentes para cada zona bioclimática, e através das recomendações construtivas obtém-se o melhor desempenho térmico para a edificação.

Em uma edificação, a cobertura é a parte mais exposta à radiação, na qual se torna responsável por uma grande parcela de ganho e transferência de calor para o ambiente. A cobertura, utilizando telhas fabricadas de barro e cimento amianto, é considerada por Michels (2007) como uma das mais utilizadas no Brasil. As edificações de baixa renda geralmente optam pelas telhas de fibrocimento por possuírem um baixo custo.

Telhas de fibrocimento apresentam diversos modelos, tamanhos e espessuras, e por sua versatilidade possuem como diferencial a possibilidade de vencer vãos consideráveis sem o uso de apoios intermediários, porém, uma enorme desvantagem da mesma é que elas absorvem muito calor sob a incidência da luz solar, irradiando o seu calor para o interior das residências, ocasionando alto desconforto térmico (JÚNIOR; MOLINA, 2010).

As telhas Tetra Pak apresentam uma nova alternativa para mercado de construção civil, na qual a sua produção é a partir da reciclagem de embalagens de tetra pak. Apesar de terem um custo mais elevado do que as telhas de fibrocimento, a Eco-Lógica DF Telhas Ecológicas, destaca que, essas telhas se comparadas a de amianto oferecem : maior resistência (inquebráveis); 50% mais leves; anti-chamas e são capazes de reduzir a temperatura do ambiente em até 50%.

Com o crescimento expressivo de edificações habitacionais, é necessário buscar soluções, que propõe às edificações um melhor desempenho térmico, assim obterá consequentemente maior conforto térmico e redução do consumo energético.

É importante a compreensão do desempenho térmico das telhas, pois pela NBR 15575 (2013), elas pertencem ao envelopamento (paredes externas e coberturas) das edificações, e a partir das suas propriedades a NBR 15220 (2003) definiu métodos que podem

ser utilizados na avaliação do desempenho térmico. Basicamente são três métodos: prescritivo, simulação e medição. O estudo utilizará o método de medição.

Esse método servirá para verificar experimentalmente a viabilidade na utilização das telhas apresentadas, baseado na necessidade de se obter um maior conforto térmico. E desta forma poder afirmar ao final do experimento qual realmente possuiu um melhor desempenho.

4 - REVISÃO TEÓRICA

4.1 - Clima

Devido ao formato geoide da Terra e a inclinação do seu eixo, os raios solares não chegam na mesma intensidade em todas as regiões do planeta. A proximidade de uma região à linha do equador ou próximo aos polos determina a condição climática da localidade, em regiões mais próximas ao equador obtém-se temperatura elevada em quase todos os meses, e em regiões mais próximas aos polos, o frio é predominante durante quase todo o ano.

O aquecimento da superfície terrestre segundo Cavalcanti et al. (2009), ocorre pela inclinação dos raios solares, que é explicado através da inclinação do eixo de rotação da terra com relação ao plano da órbita, sendo assim, nas áreas equatoriais os raios incidem próximos da vertical, ou seja, eles alcançam a terra mais diretamente, e incidem quase a tangente nas zonas polares.

Considerando que, o aquecimento em regiões equatoriais é maior que nas regiões polares, a superfície terrestre foi então dividida em zonas climáticas: as zonas glaciais, as zonas temperadas e as zonas tropicais ou intertropicais. No Brasil, Mendonça; Danni-Oliveira (2007) explica a configuração de seu território como um triângulo, onde um dos vértices se situa no sul e a base para o norte, assim de 94% do território fica dividido entre duas zonas, sendo 55% situado em zonas equatoriais (zonas quentes e muito úmidas durante o ano) e 39% em zonas tropicais (zona onde o verão é chuvoso e o inverno com seca), os 6% restantes inclui-se na zona climática subtropical (zona em que o verão é quente e o inverno muito frio). Classificando assim o território brasileiro em zona tropical.

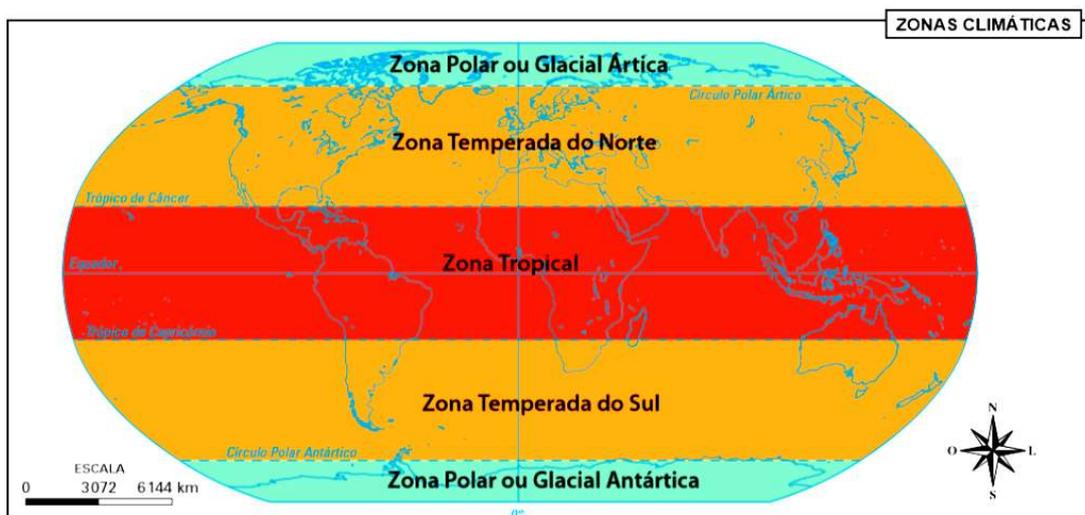


Figura 1: Zonas Climáticas

Fonte: Atlas Geográfico Escolar. São Paulo: IBEP, 2012

“O clima é uma representação média das condições meteorológicas de uma região” Marin; Assad; Pilau (2008), assim o clima é decorrente de fatores que atuam ao um longo prazo, o conceito de clima pode-se referir tanto a regiões amplas, como a regiões específicas, classificando em macro clima e microclima Roriz (2008). O macro climas englobam escala regional e geográfica, tem como características gerais termos permanentes como sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações (SOUSA, 2014). E os microclimas englobam escalas mais próximas a edificação as variáveis consideráveis que influenciam nas condições locais do clima são vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Com o aumento de áreas urbanas, o clima original da região onde cidade é fundada, sofre modificações decorrentes pela ação do ser humano e elas consistem em: aumento da temperatura, diminuição da umidade relativa, maior nebulosidade e precipitação, diminuição da velocidade do vento e aumento da turbulência. A influência que as áreas urbanas e sua forma têm sobre o clima, tem como principais fatores dessas mudanças, a localização da cidade dentro da região, o tamanho das cidades, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a orientação e largura das ruas, os efeitos de parques e áreas verdes (BORGES 2009).

O estado de Goiás está situado na zona tropical Brasil Central, para Cavalcanti et al. (2009), essa região possui uma complexa variabilidade climática, outra característica são as estações do ano bem definidas onde o verão é quente e chuvoso, e o inverno é seco e com temperaturas amenas. O comportamento da temperatura é determinado pela posição geográfica e pelo relevo, tendo temperaturas altas, em regiões com baixa altitude e temperaturas baixas, em regiões com altas altitudes. Segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) as temperaturas médias observadas em 2015 variaram entre 18°C e 30°C.

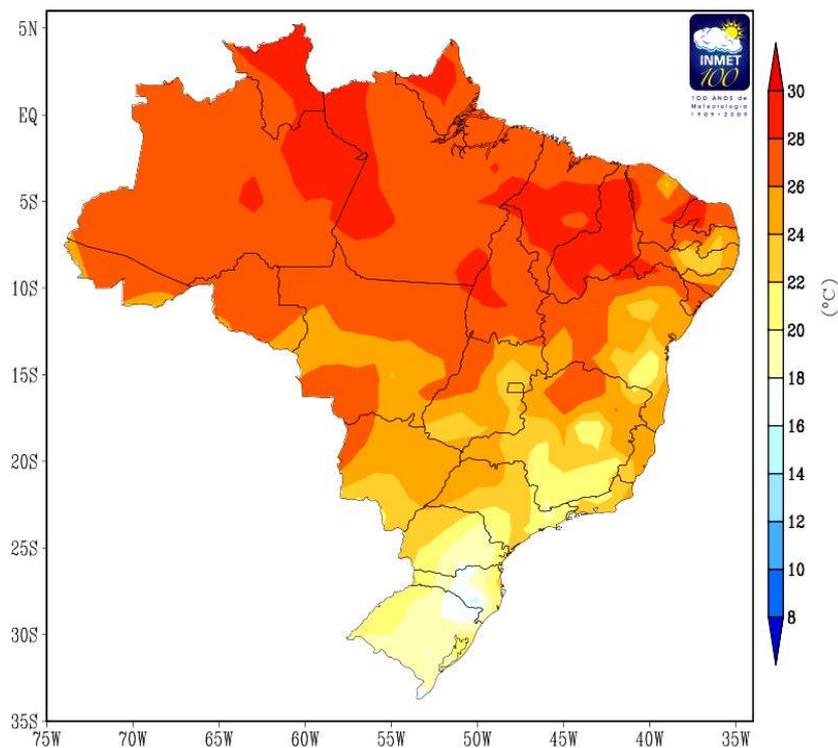


Figura 2: Temperaturas médias observadas - 2015
Fonte: *Temperaturas Médias do Brasil*, INMET, 2015.

O município de Goianésia está situado a 170 quilômetros de Goiânia, que é a capital do estado de Goiás, conforme o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), as temperaturas máximas e mínimas registradas variam entre 24°C e 26°C, numa altitude de 667 metros. Segundo Borges (2009), a altitude é um dos fatores que mais influenciam na temperatura, pois é a diferença vertical entre um ponto de referência, no qual normalmente, é em relação ao nível do mar, e outro ponto.

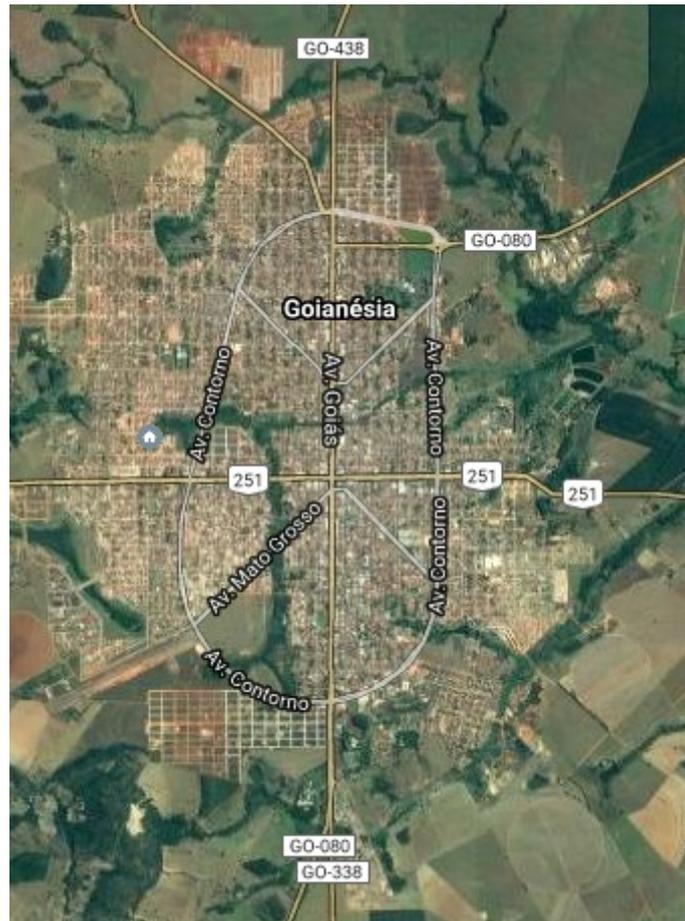


Figura 3: Mapa de Goianésia
Fonte: *Google Earth*, 2016.

A relação entre a altitude e temperatura é inversamente proporcional, quanto maior a altitude menor será a temperatura e quanto menor a altitude, maior será a temperatura. De acordo com os dados oferecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) foi possível fazer um comparativo entre algumas cidades que estão situadas entre 650 e 750 metros acima do nível do mar. Assim obteve-se a temperatura mínima de 24°C e a máxima de 28,8°C. O estado de Goiás possui um clima com temperaturas mais elevadas, justificando assim as temperaturas registradas e mencionadas pelo INMET referentes ao município de Goianésia.

4.2 - Desempenho Térmico em Edificações

A adequação arquitetônica e de materiais construtivos estão ligados ao desempenho térmico. Segundo CBIC (2013), algumas características locais como a topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento entre outros, são fatores que precisam ser pontuados para obter resultados do desempenho desejado. Lamberts; Dutra; Pereira; (2014),

relaciona também o bioclima, pois incluem condicionantes locais do clima, explorando suas vantagens e evitando seus extremos, visando conforto dos usuários.

O zoneamento bioclimático brasileiro abordado na terceira parte da NBR 15220 (2003) de Desempenho Térmico de Edificações, abrange oito diferentes zonas. Assim a norma formulou recomendações construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática. Dentre essas zonas temos a zona bioclimática 6, que inclui a cidade de Goiânia, que é a capital do estado de Goiás, o Distrito Federal e demais cidades em torno. A zona 6 tem como principais diretrizes aberturas médias e sombreadas, coberturas leves e isoladas e paredes pesadas.

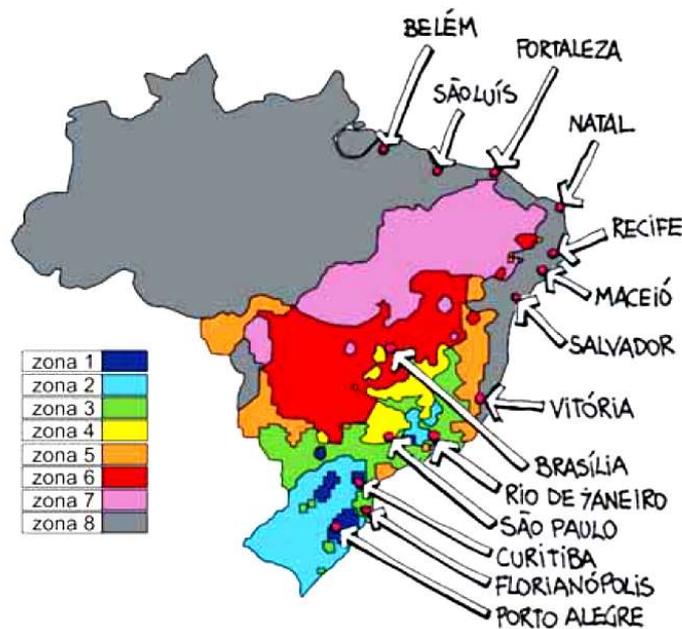


Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Fonte: LAMBERTS, et al. - *Eficiência Energética na Arquitetura*, 3ed - pág. 98.

As condições de direção e de velocidade do movimento do ar sofrem variações significativas, essas variações são decorrentes de temperatura entre a massa de ar, deslocando da área de maior pressão para a área de menor pressão. A velocidade do vento é mais baixa nas cidades do que campo devido aos obstáculos encontrados, e na cidade também há mais turbulência e direcionamento variável.

As propriedades térmicas são responsáveis pelo comportamento dos materiais e dos elementos construtivos, a radiação é a principal fração de ganhos térmicos em ambientes por ser de grande influência nas propriedades dos materiais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Por isso será abordada de forma específica posteriormente.

De acordo com Lamberts; Dutra; Pereira; (2014), os materiais de construção diante da radiação térmica, se comportam de modo distinto, ao se incidir em um material construtivo, terá uma parcela absorvida, uma refletida, uma transmitida e uma reemitida. Os materiais de construção são seletivos à radiação solar, e um determinante dessa característica é a cor superficial que esse obtém. Um material escuro absorve mais radiação do que um material mais claro. “A parcela da radiação solar absorvida por certo material, aquecerá o mesmo e será parcialmente reemitida para fora e emitida para o ambiente interno” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A condutividade térmica indica a capacidade de um material conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo e depende da densidade do material (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Em termos normativos é, “a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por m^2 ” (NBR 15220). A condutividade está ligada à característica dos materiais, quanto maior e mais denso for o material, maior valor de condutividade térmica ele terá.

“A resistência térmica é a propriedade de resistir à passagem do calor” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A condutividade térmica é proporcional à quantidade de calor transferida e inversamente proporcional à resistência térmica. A resistência de componentes com camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo do calor é dada igual à espessura do material pela condutividade térmica e, de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas são calculadas pelas somas das resistências. Esta soma pode ser em série e em paralelo, dependendo da estruturação das camadas do material (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A norma da ABNT NBR 15575 (2013), nas três primeiras partes, mostra que os sistemas que estão relacionados ao desempenho térmico são as vedações externas e as coberturas. A NBR 15575-1 no item 11.1, estabelece que os procedimentos para avaliação do desempenho térmico são: o Procedimento 1 que é o simplificado (normativo) e o Procedimento 2 que é o de medição (informativo), o qual é realizado através de medições em edificações ou protótipos construídos e é de caráter meramente informativo.

4.3 - Conforto Térmico

O conforto térmico é definido por Ruas (1999), como a sensação satisfatória de uma pessoa experimentada em um ambiente térmico adequado, as atividades desenvolvidas neste

ambiente, e a vestimenta usada pelas pessoas. Na definição de ASHRAE (2005), o conforto térmico é o momento em que a mente evidencia satisfação, com o ambiente térmico em que está situado.

Segundo Frota; Schiffer (2001), o homem é homeotérmico, ou seja, ele se mantém dentro de certos limites a temperatura corporal entre 36,1 e 37,2°C. É preciso manter a temperatura interna do organismo, pois se variar para mais ou para menos de 37°C pode causar alterações em seu metabolismo, enfermidade e até risco à sobrevivência. O mecanismo termorregulador comanda a redução dos ganhos ou aumento das perdas de calor, e para o organismo humano experimentar a sensação de conforto térmico não pode recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, pois eles são ativados quando as condições térmicas ultrapassam o limite. Na presença do frio, o organismo reage pelos mecanismos buscando reduzir perdas de calor e aumentando a combustão interna, já na presença de calor é reduzido as combustões internas, ocorrendo perdas de calor para o ambiente.

As variáveis de maior influência no conforto térmico segundo Lamberts; Dutra; Pereira; (2014), são:

- Variáveis ambientais: temperatura do ar (variável climática resultante dos fluxos das massas de ar e da recepção da radiação do sol), temperatura radiante (temperatura medida nas superfícies horizontais e verticais dos locais observados), umidade relativa (quando a proporção de o vapor de água no ar é menor para temperatura) e velocidade do ar (deslocação de grandes massas de ar a uma certa velocidade, o que também é conhecido como vento);
- Atividade física: em cada local terá alternativas construtivas específicas, que resultaram no melhor conforto térmico, pois quanto maior a atividade física, maior será o calor gerado;
- Vestimenta: é uma variável que equivale à resistência térmica, pois, a pele troca calor com a roupa e a roupa troca calor com o ar, que troca calor com o ambiente. Essas trocas são feitas por condução, convecção e radiação;

De acordo com as exigências humanas para obter conforto térmico, foram desenvolvidos os índices de conforto térmico, os mesmos abrangem a variáveis citadas acima. Frota; Schiffer (2001), classificam os índices em:

- Índices biofísicos - obtidos pelas trocas de calor entre o corpo e o ambiente;
- Índices fisiológicos – obtidos pelas reações originadas pelas variáveis do ambiente;

- Índices subjetivos – obtidos pelas sensações de conforto em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

“A escolha de um ou outro tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais, com a atividade desenvolvida pelo indivíduo e pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto” (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O conforto térmico tem como finalidade estabelecer condições necessárias para avaliar a percepção de um ambiente térmico, baseado em três fatores: na satisfação do seu bem estar humano, ao se sentir confortável; na performance humana decorrente as atividades executadas e o seu rendimento; e na conservação de energia, evitando perdas e ganhos de calor (LAMBERTS; XAVIER, 2008).

4.4 - Transferência De Calor

“Calor é energia transferida de um sistema para o ambiente ou vice-versa devido a uma diferença de temperatura” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Essa transferência é condicionada à existência de corpos que estejam em temperaturas diferentes, onde ocorrerá transferência de calor do corpo com temperatura mais elevada para o corpo com temperatura mais baixa (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Os mecanismos envolvidos na transferência de calor em que ocorrem fluxos devido à diferença de temperatura são: condução, convecção e radiação. Quando há a mudança de estado os mecanismos envolvidos são: evaporação e condensação.

4.4.1 - Fundamentos

Calor e Temperatura apesar de terem definições diferentes, eles estão relacionados. A temperatura do ar pode mudar quando ele ganha ou perde calor. Pode ocorrer também quando há mudança de fase da água no ar ou mudança de volume da parcela de ar, relacionada com o ganho ou perda de calor.

a) Calor

Segundo Ordenes; Lamberts; Guths; (2008), o calor é uma grandeza física que possui valor quantitativo, direção e sentido vetorial. A sua transferência ocorre na direção do gradiente de temperatura e no sentido decrescente da temperatura. Portanto, sempre que existir uma

diferença de temperatura entre meios, sejam diferentes ou o mesmo, ocorrerá a transferência de energia térmica do meio de maior para a o de menor temperatura.

b) Temperatura

A Temperatura é a propriedade de um material ou sistema que implica as noções comuns de "quente" ou "frio". Em geral a matéria com a temperatura maior é dita mais quente (ORDENES; LAMBERTS; GUTHS, 2008).

De acordo com Ordenes; Lamberts; Guths, (2008), conforme um sistema acumula calor, sua temperatura aumenta. Caso ocorra perda de calor, há uma diminuição da temperatura do sistema. Esse aumento e diminuição de temperatura estão relacionados à quantidade de energia térmica ou calor nesses sistemas. Este calor corresponde à agitação térmica de átomos e moléculas no sistema. Desta forma, um aumento da velocidade de agitação térmica dos átomos ocasionará uma elevação de temperatura.

4.4.2 - Condução, Convecção e Radiação

a) Condução

De acordo com Halliday; Resnick; Walker (2009), a condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região a elevada temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto (Figura 5).

A transferência de energia ocorre através de um meio material, sem transporte de matéria, onde essa energia se propaga de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância devido a interações entre elas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

b) Convecção

Convecção é um fenômeno que ocorre quando há transferência de calor entre um fluido em movimento e uma superfície quando os dois se encontram a diferentes temperaturas. A transferência acontece tanto pelo movimento molecular aleatório quanto pelo movimento global do fluido (Figura 5). Ela pode ser natural (ou livre), mista ou forçada,

dependendo das condições de escoamento do fluido (ORDENES; LAMBERTS; GUTHS, 2008).

Portanto, a convecção térmica se processa exclusivamente em meios fluídos, ou seja, em líquidos e gases devido ao processo de transferência de energia por condução térmica com o movimento de massa, havendo então, deslocamento de partículas. Podendo também ser definida como processo pelo qual a energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

c) Radiação

A radiação é o processo pelo qual o calor é transferido de uma superfície com temperatura elevada para uma superfície com temperatura mais baixa, onde essas superfícies são separadas por um espaço (ainda que exista vácuo entre elas). A energia então transferida é denominada por radiação térmica e ocorre sob a forma de ondas eletromagnéticas¹ (Figura 5) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

De acordo com Ordenes; Lamberts; Guths; (2008), enquanto a transferência de calor por condução e convecção requer a presença de um meio material (sólido ou fluído), a radiação ocorre no vácuo, sem precisar de meio.

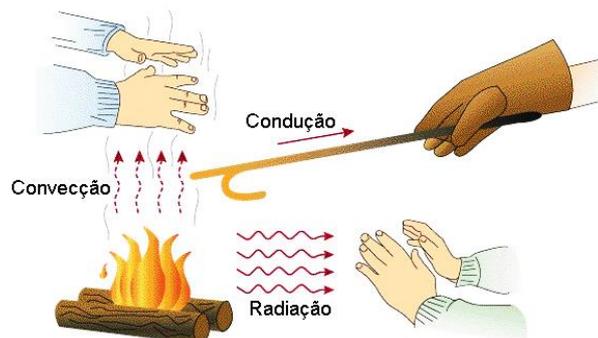


Figura 5: Mecanismos de Transferência de Calor.
 Fonte: Disponível em - <http://fisica.ufpr.br/> - Acesso em 21/11/2016.

4.4.3 - Evaporação e Condensação

a) Evaporação

¹ Ondas Eletromagnéticas são formadas pela combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis segundo Halliday et. al., 2009.

A evaporação é uma troca térmica proveniente da mudança do estado líquido para o estado gasoso (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Segundo Luz; Álvares; (2006), as moléculas de um líquido, a qualquer temperatura, encontram-se em constante agitação quando um líquido é aquecido, o calor dá mais energia às suas moléculas. A medida que ocorre a evaporação, as de maior velocidade abandonam o líquido, fazendo com que as que estão próximas à superfície se libertem do líquido e entrem no ar como um gás.

b) Condensação

Condensação é a troca térmica decorrente da mudança do estado gasoso do vapor d'água contido no ar para o estado líquido (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Ao retirar o calor do vapor de uma substância que esteja a uma temperatura superior ao seu ponto de ebulição, as moléculas de um gás se resfriam, ou seja, perdem calor, elas perdem energia e velocidade e se aproximam de outras moléculas gasosas, se juntam e formam um líquido, ocorrendo desta forma o processo de condensação (LUZ; ÁLVARES, 2006).

4.5 - Transferência De Calor Em Coberturas

4.5.1 - Cobertura

A cobertura de uma edificação tem como principal função proteger a construção das intempéries (chuva, poeira, sol, ventos e temperaturas extremas), atendendo às funções utilitárias, estéticas e econômicas sem perder sua estabilidade estrutural ao longo de toda a sua vida útil, devendo ter também risco baixo e aceitável de incêndio. Para uma boa escolha do tipo de cobertura a ser executada, deve-se analisar alguns aspectos fundamentais como: seu desempenho estrutural, térmico e acústico, o nível de segurança contra incêndio, a funcionalidade e acessibilidade, e as condições de durabilidade e possibilidade de manutenção (JÚNIOR; MOLINA, 2010).

4.5.2 - Telhado

“Parte da cobertura de uma edificação, constituída pelas telhas e peças complementares.” (NBR 8039, p.1).

4.5.3 - Telhas

Para se construir uma cobertura eficiente, que atenda a toda sua necessidade, o primeiro passo é a escolha da telha. O tipo da escolha é que determina a inclinação das águas e o desempenho termoacústico da cobertura. As telhas devem garantir a segurança das residências contra a ação do vento, poeira, ruídos, sol, chuva granizo e outras intempéries (JÚNIOR; MOLINA, 2010).

No mercado existe uma série de alternativas de telhas, sendo que, dentre elas, estão algumas como as telhas cerâmicas, as telhas de fibrocimento, as telhas metálicas e as ecológicas.

a) Telha de Fibrocimento

De acordo com Júnior; Molina (2010), a telha de fibrocimento é resultado de um composto de cimento com 10 a 15% de fibra e amianto. Bastante comum, no Brasil, especialmente em construções mais simples, pois apresenta como vantagens permitir executar com rapidez telhados de custo reduzido, boa resistência a ataques físicos e químicos e alta resistência ao fogo. Segundo a NBR 7581, elas são fabricadas em diversas ondulações e dimensões, redundado em diversos modelos.

b) Telha Ecológica Tetra Pak

As telhas Ecológicas são fabricadas a partir de plástico/alumínio provenientes das embalagens Tetra Pak². Ela atende aos mesmos parâmetros determinados para as telhas de fibrocimento, desta forma podem ser utilizadas em construções sem maiores restrições.

Uma de suas principais características, destacada por Cerqueira (2003), está na redução da temperatura ambiente por possuir um lado de Tetra Pak e o outro em alumínio, tornando um isolante térmico natural. Segundo a Eco-Lógica DF - Telhas Ecológicas, em relação à leveza, a telha reciclada chega a pesar a metade do modelo convencional de

² Embalagem composta por três materiais: papel, polietileno e alumínio, nas proporções, em peso, de 75%, 20% e 5%, respectivamente.

fibrocimento. Isso acaba gerando mais uma série de facilidades, principalmente em relação ao custo do transporte, e também na redução do custo do madeiramento para a cobertura.

4.5.4 - Transferência De Calor

Em construções residenciais horizontais, o telhado é o elemento construtivo mais exposto ao sol, decorrente dessa exposição, uma parcela da radiação é transmitida para o interior da construção, desta forma haverá ganhos térmicos e elevação da temperatura interna (MICHELS, 2007).

A radiação solar sofre interferências durante o trajeto em direção à superfície terrestre, assim ela é dividida em direta e difusa, a difusa incide na atmosfera e sofre um espalhamento, a radiação direta atinge a terra diretamente e está condicionada à altura solar e ao ângulo de incidência dos raios solares sobre as superfícies. Quanto menor a altura solar, maior é o curso da radiação, e menos radiação sucederá sobre a superfície (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Em superfícies opacas, devido à inércia térmica³ os fechamentos podem absorver calor interiormente e exteriormente, dependendo onde o ar tem maior temperatura. Assim, quanto maior for o valor da inércia térmica maior será o calor retido (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A de transmissão de calor ocorrerá por convecção e radiação, onde a temperatura exterior será maior que a do interior da superfície.

As telhas influenciam no ganho de calor interno, pois as temperaturas superficiais das telhas resultaram da intensidade da radiação solar. A radiação ao atingir a superfície, sua energia pode ser refletida, absorvida ou transmitida através do material. A NBR 15220 define esses termos como sendo:

- Absortância Solar: quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;
- Refletância Solar: quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.
- Transmitância Solar: Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.

³ “A inércia térmica pode ser usada para aquecer ou resfriar, conforme os dados do clima local se situem nas zonas referidas” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

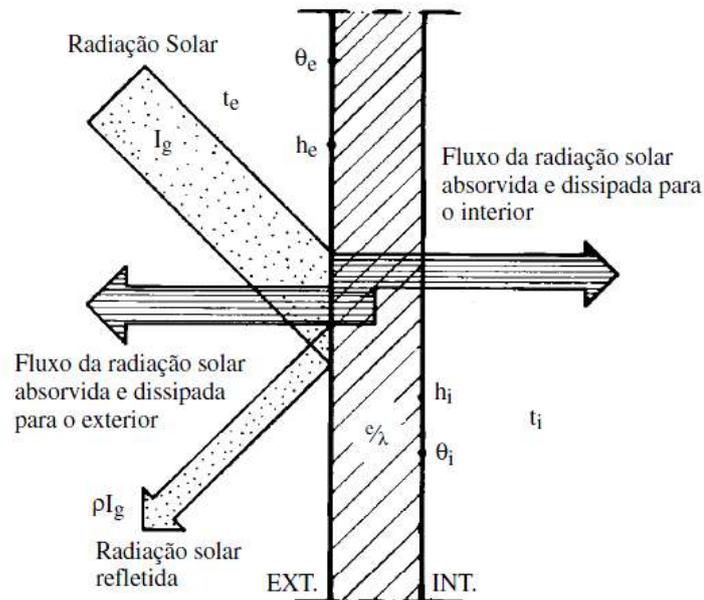


Figura 6: Trocas de calor em superfície opaca.

Fonte: FROTA; SCHIFFER, – *Manual do Conforto Térmico* – 5 ed. 2001 pág. 45.

Michels (2007), explica a radiação solar em uma composição por radiação de onda curta, que ao incidir sobre a superfície das telhas pela absorvância, parte do calor é absorvido pela parte boreal da edificação. A outra parcela do calor é perdida por convecção e irradiação sob a forma de radiação de onda longa, ao ambiente externo. Então o forro ou a superfície da laje absorve parte do calor e transmite ao ambiente interno.

5 - METODOLOGIA

Para realizar a avaliação do desempenho térmico entre as duas telhas, escolheu-se o método descrito na NBR 15575-1 no item 11.1, a qual apresenta o procedimento 2, onde a avaliação da adequação de habitações é realizada por medições. O experimento é composto por um sistema de aquisição de dados instalados em protótipos de edificações já implantados na Faculdade Evangélica de Goianésia, os quais foram construídos para a realização de um Projeto de Iniciação Científica.

5.1 - Característica do Experimento

Os protótipos possuem dimensões internas de 1,00 x 1,00 m e pé direito de 1,27 m. O sistema construtivo é composto por alvenaria cerâmica, tijolos de seis furos com dimensões de 9 x 14 x 19 cm e para sustentação da cobertura, utilizou-se caibro de madeira com dimensões 4,5 x 9,5 cm, constituindo dois pontos de apoio. Os protótipos receberam o nome de células teste e foram implantados na área de campo da Faculdade Evangélica totalmente expostas a luz solar, conforme a Figura 7, e seguindo o sentido norte-sul, com o espaçamento de 2,5 metros entre elas, evitando sombra de uma sobre a outra.

As células testes receberam coberturas diferentes, a C2 com telha ecológica Tetra Pak de 6 mm, e a C3 com telha de fibrocimento ondulada de 6 mm. Foi fixado em cada experimento um sensor DHT 22 na parte interna da célula, para as medições das temperaturas internas de cada uma. A temperatura ambiente foi obtida também através de um sensor DHT 22 fixado na célula de apoio onde a caixa com o sistema de aquisição de dados foi instalada.



Figura 7: Células testes implantadas.

Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 8: Célula de apoio para a caixa do sistema de aquisição de dados.
Fonte: Arquivo Pessoal.

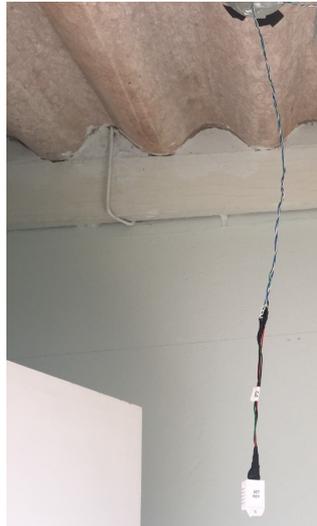


Figura 9: Sensor de temperatura instalado na parte interna da célula.
Fonte: Arquivo Pessoal.

5.2 - Sistema de Aquisição de Dados

Utilizou-se alguns equipamentos para a coleta das temperaturas. Os dados foram obtidos através de sensores fixados na parte interna das células, conforme Figura 9 acima.

O sistema de aquisição, conforme demonstrado na Figura 16, é composto por uma placa de Arduino, modelo Uno-Mega-R3 (Figura 10), por sensores de temperatura e umidade DHT 22 (Figura 14), e usou-se também uma placa protoboard (Figura 13), facilitando a inserção de componentes.

Os dados obtidos foram recolhidos e armazenados, com data e hora fornecidas pelo RTC (Figura 15), em arquivos do tipo texto em um cartão micro SD (Figura 12). A captura e

o processamento através dos sensores foram controlados por um *software* implementado no Arduino. O *hardware* foi montado pelo professor de Física da instituição e orientador Eduardo Toledo e o *software* desenvolvido pelo professor de Informática também da instituição, Ivandro Rocha, no qual a programação tem a função de salvar os dados das temperaturas registradas pelos sensores DHT 22. Apesar dos sensores utilizados terem o funcionamento garantido pelos fabricantes, realizou-se de forma paralela, um processo de validação dos sensores. Para este processo, foram utilizadas medidas sincronizadas entre os sensores do sistema de aquisição de dados (DS18B20 e DHT22) e o um termohigrômetro (HT 270 – Instruthermi).

Durante as medições realizadas, manteve-se a porta fechada para que não houvesse interferências no ambiente. Os dados foram coletados durante 20 dias de monitoramento, em um período de tempo de 24 horas, sendo arquivados em intervalos de 15 minutos e a cada intervalo o buzzer (Figura 11) emitia sons, facilitando as medições.



Figura 10: Placa Arduino Uno

Fonte: <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>

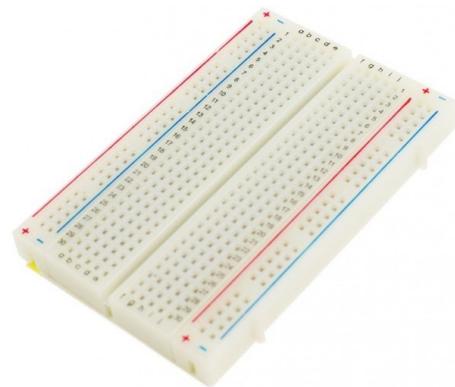


Figura 11: Protoboard.

Fonte: <http://www.explorelabs.com/solderless-breadboard-half-size>



Figura 12: Buzzer

Fonte: <http://www.eletrogate.com/buzzer-ct-c6eb7>

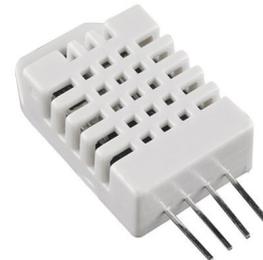


Figura 13: Sensor de temperatura e umidade DHT 22.

Fonte: <https://www.autocorerobotica.com.br/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22>

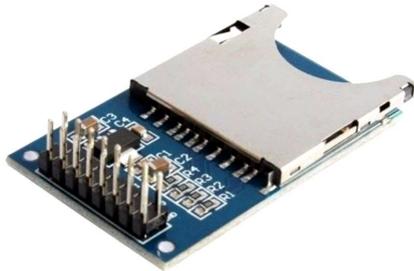


Figura 14: Módulo Cartão Micro SD.

Fonte: <http://blog.filipeflop.com/modulos/cartao-sd-com-arduino.html>



Figura 15: RTC.

Fonte: <https://it.pinterest.com/explore/arduino-rtc/>

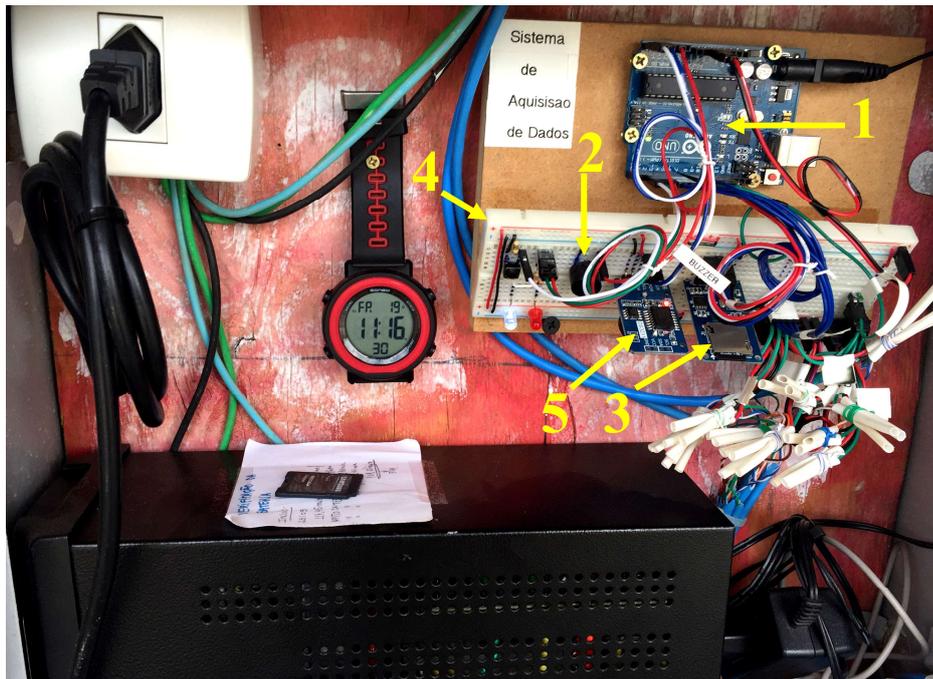


Figura 16: Sistema de Aquisição de Dados implantado: (1) Placa Arduino Uno; (2) Buzzer; (3) Módulo Cartão Micro SD; (4) Protoboard; (5) RTC.

Fonte: Arquivo Pessoal.

5.3 - Localização e Implantação

O experimento foi instalado na área de campo da Faculdade Evangélica de Goianésia, situada em Goianésia, Goiás, como mostra a Figura 17 abaixo.



Figura 17: Vista superior da Faculdade Evangélica. Local onde foi implantado o experimento.
Fonte: Imagem retirada do Geoprocessamento de Goianésia.

6 - ANÁLISE DE RESULTADOS

As medições foram realizadas entre os dias 16/04/2017 a 05/05/2017, os dados obtidos equivalem a 20 dias observados. Eles foram coletados simultaneamente entre as células em intervalos de 15 minutos, durante 24 horas por dia. Houve monitoramento do sistema de aquisição de dados três vezes ao dia, distribuídos entre manhã, tarde e noite, de forma a garantir que o mesmo estivesse funcionando corretamente e registrando as medições no intervalo de tempo determinado.

As temperaturas externa/ambiente, foram obtidas através de um sensor instalado junto a célula de apoio em que também foi implantado a caixa com todo o sistema de aquisição de dados. Na comparação individual, os valores observados são inferiores $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, que é a incerteza dos sensores.

Durante o monitoramento houve alguns imprevistos, como queda de energia, ocasionando erros no sistema. Havendo a necessidade de uma pausa para manutenção entre os dias 21/04/2017 a 25/04/2017. Dessa forma então, os dados utilizados para a análise dos resultados são de um período de 15 dias.

Para a realização de um comparativo entre a temperatura ambiente e as temperaturas no interior das células, recorreu-se a uma estação meteorológica automática, que disponibiliza dados da cidade de Goianésia, fornecida pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Na planilha de dados disponibilizada pelo INMET, a leitura das temperaturas é realizada em intervalos de 60 minutos. A temperatura apresentada às 18:00 horas, na maioria dos dias observados, é a máxima registrada durante todo o dia. Tomando por base essa análise, a Tabela 1 abaixo apresenta o comparativo entre as temperaturas da Estação Automática e as obtidas através dos sensores instalados nas células e coletados pelo sistema de aquisição de dados. Todas referente ao mesmo horário.

Tabela 1: Comparativo de Temperaturas.

Dias	Horas	Temperatura INMET	Temperatura obtida pelo DHT 22		
			Temperatura Ambiente	Temperatura C2	Temperatura C3
16/04/2017	18:00:00	31,6	29,4	34,2	32,7
17/04/2017	18:00:00	31,9	29,0	32,9	31,6
18/04/2017	18:00:00	30,7	29,6	34,4	33,0
19/04/2017	18:00:00	31,4	29,6	34,5	33,2

20/04/2017	18:00:00	30,0	27,9	31,5	30,7
26/04/2017	18:00:00	26,4	24,5	28,7	28,1
27/04/2017	18:00:00	29,8	27,1	30,7	29,5
28/04/2017	18:00:00	29,2	27,2	31,8	30,7
29/04/2017	18:00:00	32,1	27,9	33,7	32,5
30/04/2017	18:00:00	30,7	28,9	33,2	32,1
01/05/2017	18:00:00	29,3	28,1	32,4	31,4
02/05/2017	18:00:00	29,1	26,6	30,6	29,6
03/05/2017	18:00:00	28,6	26,1	30,9	29,9
04/05/2017	18:00:00	30,5	27,7	32,4	31,4
05/05/2017	18:00:00	30,0	27,7	31,8	30,6

Analisando a Tabela 1 acima, observa-se as variações de temperatura nos dias mencionados, percebe-se que elas estão variando entre 24°C a 35°C, esses valores registrados aproximam-se às temperaturas máximas da estação do ano na qual os meses de abril e maio se enquadram. No Outono é onde as temperaturas começam a cair, as chuvas vão diminuindo, as temperaturas médias continuam sendo amenas e as máximas chegam ou podem ultrapassar à 30°C.

Sendo assim, esse período foi escolhido entre os meses abril / maio para implantação e análise do projeto, por ser um período de transição, onde ocorrem amplitudes térmicas na qual pode-se obter uma melhor avaliação do desempenho térmico das telhas.

6.1 - Análise de Temperaturas

A avaliação do desempenho térmico das telhas embasou-se na NBR 15575 – 1, nos itens 11.3 e 11.4, onde apresentam os critérios de valores máximos e mínimos de temperatura. A norma também recomenda utilizar dados climáticos de uma cidade próxima, no caso da discussão que será apresentada, utilizou-se os dados da própria cidade de Goianésia, o que foi possível devido a disponibilidade no site do INMET.

Assim, junto aos dados fornecidos pelo site, entre o intervalo de dias monitorados foi escolhido os dias com índices de temperaturas máximas e mínimas. A partir da identificação desses dias, fez-se um comparativo entre os dados coletados pelos sensores implantados no interior das células teste e de apoio.

6.1.1 - Temperaturas máximas

A Figura 18, representa o gráfico do desempenho térmico das telhas avaliado no dia 29/04/2017, dia em que se observou a maior temperatura registrada de acordo com o INMET.

Pela NBR 15575 – 1 no item 11.3.1, as temperaturas máximas são valores máximos diários da temperatura, em graus Celsius, do ar interior de recintos, ou seja, no interior da edificação.

Ao analisar a Figura 18, no período da manhã entre as 6:00 e as 12:00 horas, verificou-se que entre as máximas, das três temperaturas observadas, houve uma pequena divergência de horário, pois, na C2 – Tetra Pak e na C3- Fibrocimento ocorrem no mesmo instante, às 12h com 31,5°C e 31°C, respectivamente. Já na Temperatura Ambiente foi registrada minutos antes, às 11h45min com 32,3°C.

No período da tarde, no intervalo das 13:00 às 18:00 horas, as máximas também ocorreram em horários divergentes, a Temperatura Ambiente ocorreu às 15h com 34,7°C, a C2 – Tetra Pak às 17h com 36°C e a C3 – Fibrocimento às 15h30min com 35°C.

No período da noite, o qual abrange os horários das 19:00 às 00:00 horas, a máxima para as três temperaturas ocorre às 19h, registrando 26,9°C para Temperatura Ambiente, 31,9°C para C2 – Tetra Pak e 30,7°C para C3 – Fibrocimento.

Durante a madrugada de 1:00 às 5:00 horas, as máximas foram registradas no mesmo instante à 1h, sendo a Temperatura Ambiente com 22,4°C, na C2 – Tetra Pak com 24,9°C e na C3 – Fibrocimento com 24,3°C.

A figura 19 refere-se ao comparativo entre as temperaturas coletadas pelo sistema de aquisição de dados e a fornecida pelo INMET, referentes ao mesmo dia e horário. A temperatura máxima apresentada pela estação automática foi registrada às 18h, com índice de 32,1°C. As obtidas pelo sistema foram, ambiente com 27,9°C, 33,7°C na C2 e 32,5°C na C3.

Observou-se que a temperatura máxima do dia registrada pela Estação automática, foi divergente às outras três temperaturas analisadas, pois a máxima atingida verificada no site foi às 18h com 32,1°C, a máxima Temperatura Ambiente ocorreu às 15h com 34,7°C, na C2 – Tetra Pak às 17h com 36°C e 22,1°C e na C3 – Fibrocimento às 15h30min com 35°C.

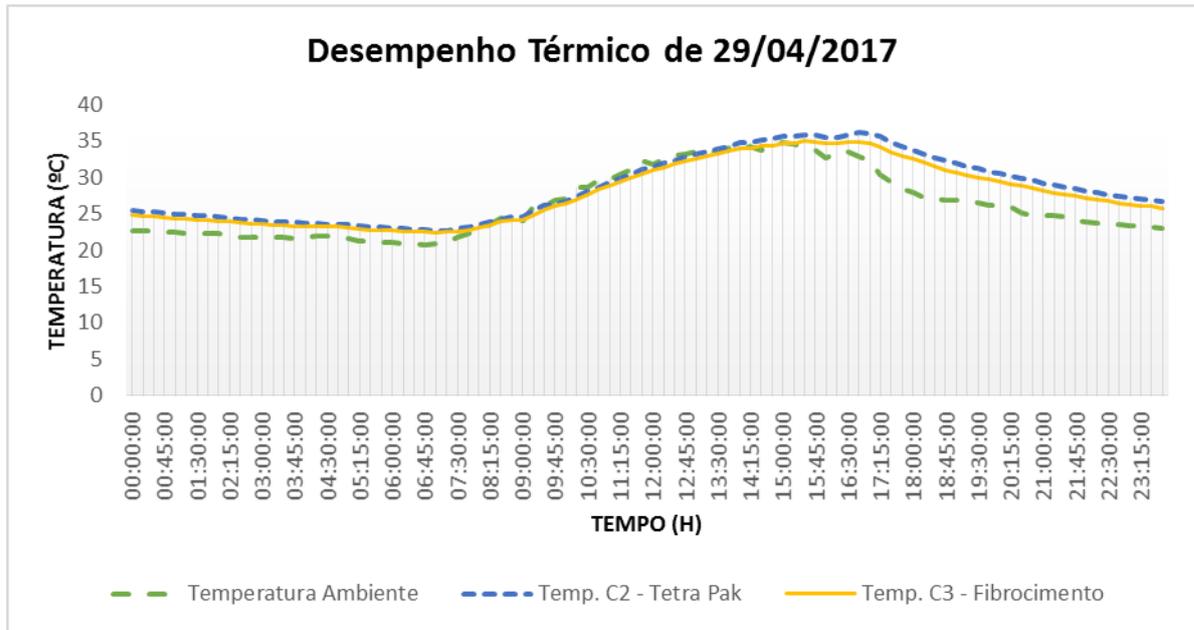


Figura 18: Gráfico das curvas de temperaturas registradas no interior das células e temperatura ambiente.
Fonte: Arquivo Pessoal

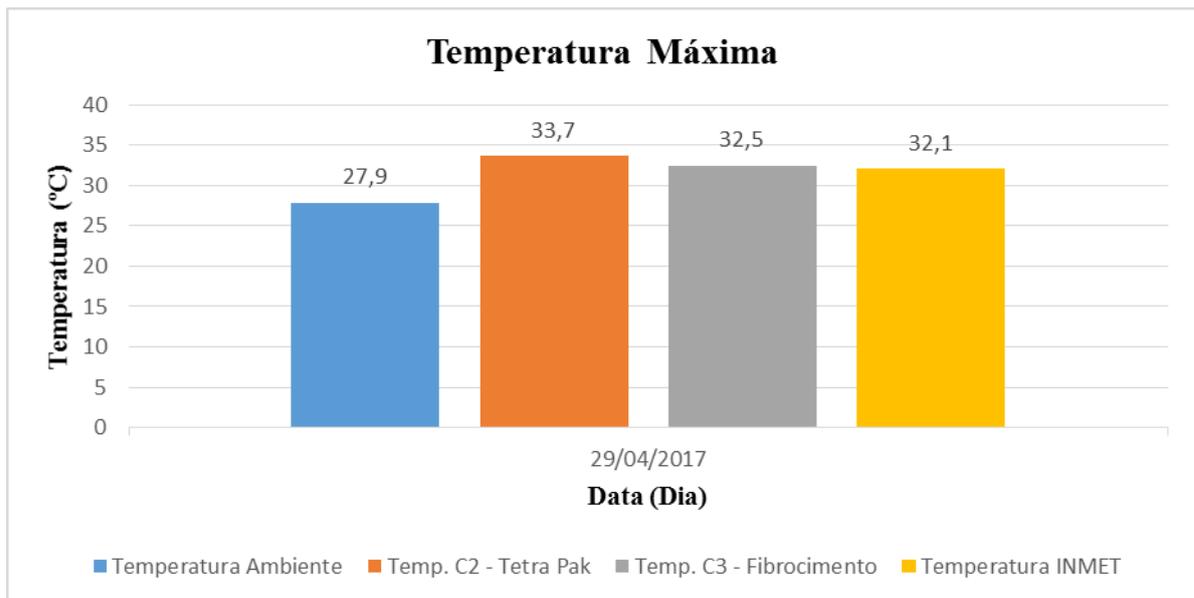


Figura 19: Comparativo de temperaturas máximas registradas no dia 29/04/2017.
Fonte: Arquivo Pessoal

6.1.2 - Temperaturas mínimas

A Figura 20, representa o gráfico do desempenho térmico das telhas avaliado no dia 17/04/2017 em que se observou a menor temperatura registrada dos dias observados de acordo com o INMET. Pela NBR 15575 – 1 no item 11.4.1, as temperaturas mínimas são valores mínimos diários da temperatura, em graus Celsius, do ar interior de recintos, ou seja, no interior da edificação.

Ao analisar a Figura 20, no período da manhã entre as 6:00 às 12:00 horas verificou-se que as mínimas, entre as três temperaturas observadas, ocorrem em momentos divergentes. A menor registrada neste período da Temperatura Ambiente foi às 6h15min com 19,2°C, na C2 – Tetra Pak ocorreu às 7h com 22,1°C e na C3 – Fibrocimento ocorreu às 6h45min com 21,7°C.

No período da tarde, que compreende os horários das 13:00 às 18:00 horas, as mínimas da Temperatura Ambiente e da C3 – Fibrocimento ocorreram no mesmo horário às 18h, com valores respectivos 29°C e 31,6°C, na C2 – Tetra Pak a mínima neste intervalo foi registrada às 17h45min com 33,2°C.

No período da noite, o qual abrange os horários das 19:00 às 00:00 horas, a mínima para as três temperaturas ocorreram às 00h, registrando 21,8°C para Temperatura Ambiente, 26,1°C para C2 – Tetra Pak e 25,1°C para C3 – Fibrocimento.

Na madrugada, de 1:00 às 5:00 horas, a mínima na C2 – Tetra Pak e na C3 – Fibrocimento, ocorreram às 5h com temperaturas respectivas de 22,9°C e 22,5°C e a Temperatura Ambiente foi registrada às 4h45min com 19,7°C.

A figura 21, refere-se ao comparativo entre as temperaturas coletadas pelo sistema de aquisição de dados e a fornecida pelo INMET, referentes ao mesmo dia e horário. A temperatura mínima apresentada pela estação automática foi registrada às 07h, com índice de 19,5°C. As obtidas pelo sistema foram, ambiente com 19,6°C, 22,1 C na C2 – Tetra Pak e 21,7 C na C3 - Fibrocimento.

Observou-se que a temperatura mínima registrada do INMET e da C2 – Tetra Pak ocorreu às 07h com 19,5°C e 22,1°C respectivamente. A mínima ambiente ocorreu às 6h15min com 19,2°C, na C3 – Fibrocimento às 06h45min com 21,7°C e a mesma se manteve nesta temperatura até as 7h.

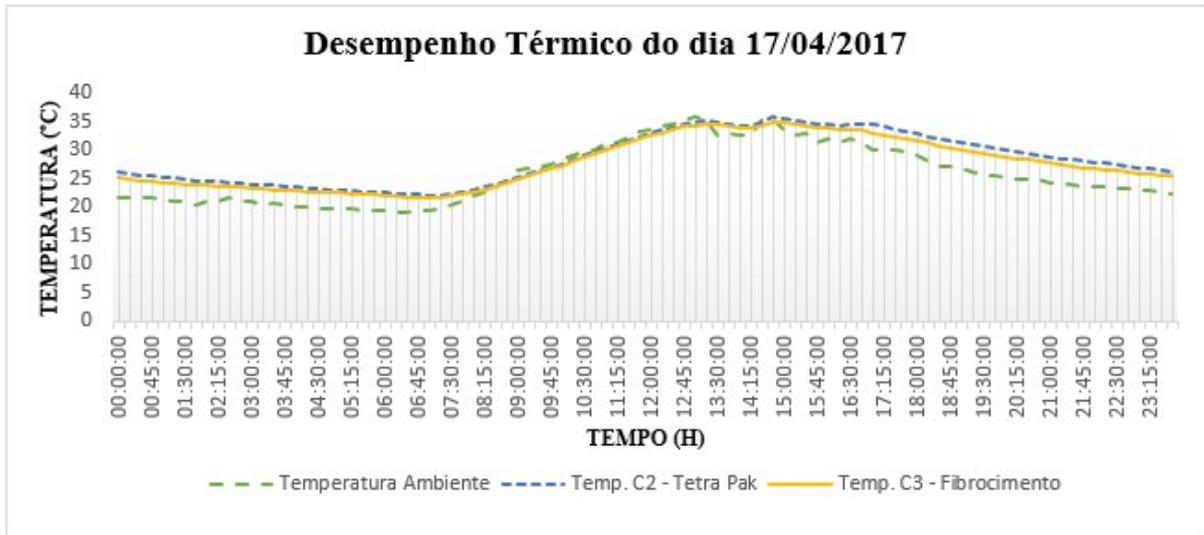


Figura 20: Gráfico das curvas de temperaturas registradas no interior das células e temperatura ambiente.
Fonte: Arquivo Pessoal

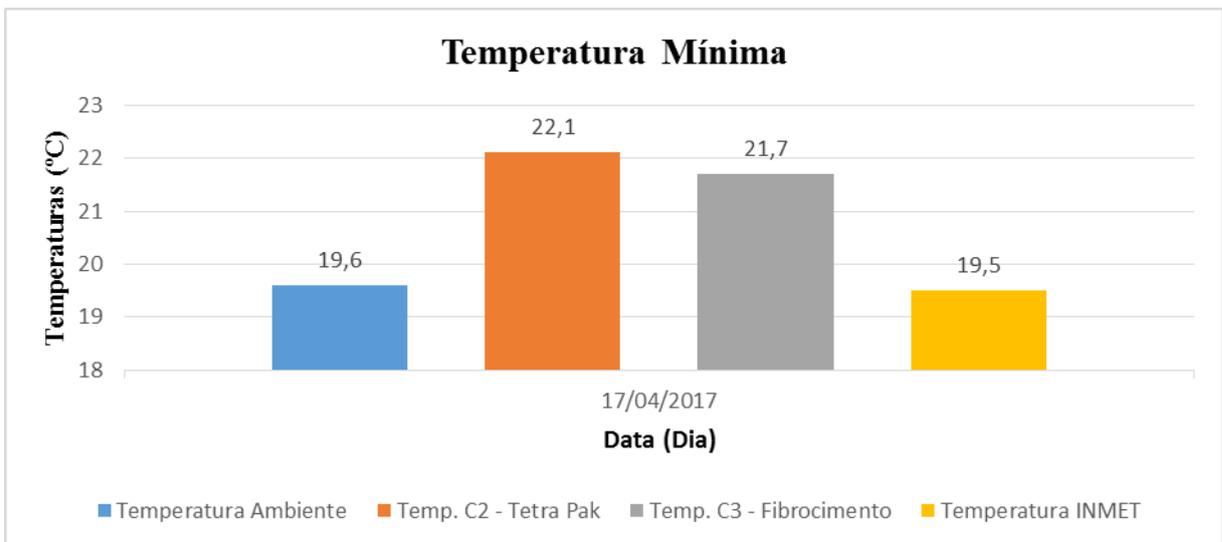


Figura 21: Comparativo de temperaturas mínimas registradas no dia 17/04/2017.
Fonte: Arquivo Pessoal

6.2 - Resultado do desempenho das telhas

A partir dos estudos experimentais, dos dias discutidos 17 e 29 de abril de 2017, observou-se que, as temperaturas no interior da célula coberta com a telha de fibrocimento se mantiveram inferiores às registradas no interior da célula coberta com telha Tetra Pak. Durante o monitoramento, nos intervalos dos períodos da manhã, tarde e noite a C3 – fibrocimento obteve uma menor amplitude térmica que a C2 – Tetra Pak, mantendo as temperaturas no seu interior próximas as temperaturas ambiente registradas.

As duas células construídas simultaneamente, receberam materiais e processos construtivos idênticos, com exceção da cobertura. Assim, foi possível avaliar que, referente as telhas, um material emitiu uma maior parcela de radiação solar para o ambiente interno.

Desta forma verificou-se então que, a telha de fibrocimento possui um melhor desempenho térmico em relação à telha Tetra Pak, pois, o interior da célula 3 que a recebeu como cobertura se manteve com temperaturas mais amenas enquanto o interior da célula 2 registrava temperaturas mais elevadas.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, através dos protótipos construídos em escala reduzida, o qual se compara a um sistema habitacional, com a implantação do sistema de aquisição de dados foi possível avaliar o desempenho térmico entre uma telha convencional e uma proposta ecológica.

Com a otimização de recursos e materiais provenientes da reciclagem de resíduos, é preciso verificar e avaliar se o produto apresenta além de características que facilitam o sistema construtivo, ele também atenda ao critério de desempenho térmico com resultados positivos, de acordo com as especificidades climáticas do local.

A NBR 15220 – 3 especifica as zonas climáticas, onde a cidade de Goianésia se enquadra na zona 6 e a diretriz para tipo de vedação externa / cobertura deve ser leve e isolada para contribuir na redução do fluxo de calor do interior da edificação. O material construtivo utilizado na fabricação das telhas é responsável por refletir, absorver ou transmitir a radiação que atinge a sua superfície. As duas telhas mencionadas atendem a esse critério de leveza e isolamento. Assim a avaliação entre elas apresentou qual material obteve melhor desempenho térmico.

Embora alguns projetos estudados para o desenvolvimento deste trabalho e até propagandas divulgadas pelo fabricante afirmarem que, a telha Tetra Pak possui melhor desempenho térmico quando comparada a telha de fibrocimento, os resultados obtidos foram contrários.

Entre os dias avaliados, comentados separadamente entre manhã, tarde, noite e madrugada, observou-se que as temperaturas máximas e mínimas das células teste se mantiveram com valores próximos. Porém a C2 – Tetra Pak, nas duas análises, se comportou com temperaturas mais elevadas do que a C3 – Fibrocimento.

Pode-se observar também que a partir dos gráficos apresentados anteriormente nos resultados e discussões, as variações de temperatura nas células 2 – Tetra Pak e 3 - Fibrocimento, comparadas às ambiente, mostraram que a célula coberta com telha de fibrocimento se manteve com temperaturas entre 2 a 4,5% mais baixas do que a célula coberta com telha Tetra Pak.

À vista disso, o objetivo deste trabalho foi atingido, porém outros experimentos devem ser executados em outras regiões climáticas, pois as telhas comparadas podem apresentar características e desempenhos diferentes de acordo com cada clima.

De forma geral, através do estudo utilizando o método de medição, conclui-se que a telha de fibrocimento mostrou ser a melhor alternativa, em se tratando do desempenho térmico, quando comparada a outra cobertura avaliada nesse estudo.

BIBLIOGRAFIA

ASHRAE, **Handbook of Fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers**, New York, USA, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** - Desempenho térmico de edificações, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - Desempenho de edificações habitacionais, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581** – Telha ondulada de fibrocimento, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039** – Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa, 1983.

BORGES, M. G. E., **Influência do ambiente construído no microclima urbano**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2009.

CAVALCANTI, I. F. DE A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. DA.; DIAS, M. A. F. DA S., **Tempo e clima no brasil**, São Paulo: Oficina De Textos, 2009.

CERQUEIRA, Mario H. **Placas e Telhas produzidas a partir de reciclagem do Polietileno / Alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak**. Tetra Pak Folheto, 10p. Monte Mor. 2003.

DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

Esclarecimentos sobre o amianto. Disponível em: <http://www.etsnit.com.br>. Acesso em 02/10/2016.

IORELLI, J.; MORCELI, J. A. B., **Avaliação do conforto térmico de instalação rural coberta com telha ecológica fabricada com tetra pack reciclada** - Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2007.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R., **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed., São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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.

HALLYDAY, D., H.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biase. – Rio de Janeiro: LTC, 2009. 4v.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET 2015. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>

JUNIOR, C. C., L.; MOLINA, J. C., **Cobertura em estruturas de madeira**, São Paulo, Pini, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R., **Eficiência Energética na Arquitetura**, 3ed, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. DE P., **Conforto e Stress Térmico**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A., **Física: ensino médio**, volume 2, 1ª edição, São Paulo, 2006.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; PILAU, F. G., **Clima e ambiente: introdução à climatologia para ciências ambientais I**, Campinas-SP, Embrapa Informática Agropecuária, 2008.

Mecanismos de transferência de calor. Disponível em.: <https://fenomenosdetransporte2unisul.wordpress.com> - Acesso em 15 de Novembro de 2016.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, R. M.; BARCA, O. G.; ANDREASI, W. A., **Análise do desempenho térmico de telhas produzidas de resíduo de construção e demolição**, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2010.

MICHELS, C., **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2007.

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.

PROJETO FORRO VIDA LONGA, Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP, 2001.
RORIZ M., **Conforto e desempenho térmico de edificações**, São Carlos-SP, 2008.

RUAS, A. C., **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 1999.

SOUSA, B. M. S. DE, **Avaliação do desempenho térmico em projeto de unidade habitacional multifamiliar com base na metodologia da ABNT NBR 15.220/2005 e nos requisitos da ABNT NBR 15.575/2013**, Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2014.