

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CELIO DIAS PEREIRA**

**WANDERSON FERREIRA SIQUEIRA**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS DE  
FIBROCIMENTO EM ESTADO NATURAL E SUBMETIDAS A  
PINTURA DE COR BRANCA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2019**

**CELIO DIAS PEREIRA  
WANDERSON FERREIRA SIQUEIRA**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS DE  
FIBROCIMENTO EM ESTADO NATURAL E SUBMETIDAS A  
PINTURA DE COR BRANCA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO  
COORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO**

**ANÁPOLIS / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, CELIO DIAS/ SIQUEIRA, WANDERSON FERREIRA

Desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca

85P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Conforto

2. Desempenho

3. Térmico

4. Edificação

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEREIRA, Celio Dias; SIQUEIRA, Wanderson Ferreira. Desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 85p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Celio Dias Pereira

Wanderson Ferreira Siqueira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

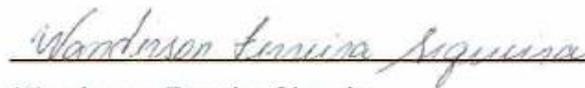
Desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca. GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

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.



Celio Dias Pereira

E-mail: celiodias2@gmail.com



Wanderson Ferreira Siqueira

E-mail: engenheirowfs@gmail.com

**CELIO DIAS PEREIRA  
WANDERSON FERREIRA SIQUEIRA**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS DE  
FIBROCIMENTO EM ESTADO NATURAL E SUBMETIDAS A  
PINTURA DE COR BRANCA**

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

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ANÁPOLIS/GO, 31 de maio de 2019.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço pela coragem e fé dada, e por ser o motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre mais forças para continuar.

A minha esposa Patrícia que foi grande motivadora acreditando e me fazendo acreditar que seria possível iniciar e terminar o curso de engenharia civil.

Aos meus pais que mesmo na simplicidade, ensinaram valores sem os quais conquista alguma poderia ser alcançada com honestidade e sem se beneficiar sobre ninguém.

Ao meu amigo Wanderson que sempre me contagiou com seu entusiasmo, seriedade, empenho e dedicação na vida acadêmica e pessoal, fazendo com que tarefas difíceis pudessem sempre parecer mais fáceis.

A todos os mestres e colegas que contribuíram na minha formação acadêmica, dentre os quais destaco o Eduardo Araújo, grande companheiro e parceiro durante esse período.

Aos professores Leandro Daniel Porfiro e Eduardo Martins Toledo, que tem nos orientado com todo empenho nessa reta final do curso.

Celio Dias Pereira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter guiado meus passos nessa longa jornada de estudos, por ter me dado paciência, perseverança, sabedoria e pela força perante as dificuldades.

A minha esposa Dayana, pelo incentivo em iniciar esse curso de graduação, por me apoiar em todos os momentos, por ter abdicado tantas coisas para viver esse sonho comigo, por caminhar ao meu lado, por ser companheira para todos os momentos.

As filhas: Camilla Victoria e Rafaella Victoria por terem compreendido os momentos que estive ausente em função de meus estudos. Através de seus sorrisos, carinhos e gestos de incentivo me fizeram compreender que, a engrenagem que move a vida é o amor.

Aos meus pais por terem me ensinado a andar pelos caminhos corretos, por terem ensinado a respeitar o próximo, ser honesto e acreditar que tudo pode melhorar.

A minha madrinha Márcia, que sempre me encorajou, foi e continuará sendo fonte de inspiração, pois sua fé é de uma força imensa, impulsionado por essa fé nunca me deixei ser vencido pelas dificuldades encontradas nesse caminho.

Ao Celio colega de graduação e coautor deste trabalho. Companheiro de todas as horas na faculdade. “Aprendi muito contigo”.

A todos aqueles que fizeram parte desse meu processo de formação, em especial aos professores Leandro Daniel Porfiro e Eduardo Martins Toledo, pelas orientações deste trabalho e por terem acreditado que seria possível concluí-lo com êxito.

Wanderson Ferreira Siqueira

## RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, dentre os quais, as condições ambientais e os materiais empregados na construção se destacam por serem os maiores responsáveis por proporcionar conforto térmico aos usuários, desta forma os materiais devem ser adequadamente definidos para diferentes condições climáticas. Entre os componentes de uma edificação as telhas são elementos que tem significativa importância no desempenho térmico, sobretudo nas edificações térreas, devido a sua intensa exposição à radiação solar. Outro componente que pode ser determinante para o desempenho térmico são as tintas, devido a sua capacidade de absorver ou refletir a radiação solar. Nesse sentido o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca através de um estudo comparativo por meio do método de medições de temperatura *in loco* utilizando o modelo de células teste. Realizou-se a construção de três células teste de mesma geometria e empregando-se o mesmo sistema construtivo e tipos de materiais, e submetidas às mesmas condições ambientais. Variou-se somente a tinta empregada na pintura da superfície superior da telha, uma foi pintada com tinta látex PVA de cor branca, outra com tinta refletiva de cor branca e a outra ficou em estado natural. Através de um sistema de monitoramento e coleta de dados que utiliza placa Arduino e sensores de temperatura, foram coletadas as temperaturas internas de cada célula teste e do ambiente que as circundam. Os valores obtidos foram comparados. Observou-se durante a noite que a temperatura ambiente é inferior às temperaturas internas das células teste, o inverso ocorre durante o dia, exceto pelo fato de a temperatura interna da célula, cuja, telha não foi pintada exceder a temperatura ambiente em um pequeno período da tarde. Ficou evidente que temperatura interna da célula teste que não recebeu pintura na telha é superior em relação as que foram pintadas. As temperaturas das células pintadas com tinta branca látex PVA e refletiva não tiveram variações significativas, possuindo desempenho térmico semelhante. Conclui-se que o tratamento com pintura branca, independentemente do tipo da tinta empregado na parte superior da cobertura de fibrocimento é fator condicionante para diminuir a temperatura e auxiliar no conforto térmico oferecido pela edificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto. Desempenho. Térmico. Edificação.

## ABSTRACT

The building thermic develop depends of many reasons, the environmental conditions and the buildings materials are responsible for thermic comfort, in that way, the materials must be rightly defined for different conditions. With many edification components the tile is an element that has a significant importance in the thermic development, especially earthen edification because of its intense exposure to solar radiation. Another element that can be determinant to the thermic development are the inks because it has the soak and reflect capacity when we talk about solar radiation. In that way, this work had the objective of measure the thermic development of asbestos cement sheet in natura and painted using the color white through a comparative work by means of temperature measurement methodology in loco using the test cell. Three same geometry test cell were built and applying the same constructive system and material types, submitted to the same environment. Only the ink used in the painting was changed, one was painted using a white PVA latex ink, other using a reflective ink and the other was kept in natural state. Through a monitoring system and data collection that uses an arduino platform and temperature sensor, the insider temperatures were collected in each test cell and in the environment around them. The measured values were compared. It was possible to note that the room temperature during the night was lower than the insider cell temperature, the opposite happens during the day, except the insider cell temperature, which tile was not painted, exceed the room temperature during a short period during the afternoon. The tile test cell temperature, which was not painted, is upper than the ones that were painted. The cells painted using the PVA and reflective inks didn't have significant changes and had a similar thermic performance. It is concluded that the treatment with white paint, regardless of the type of paint used in the upper part of the fiber cement roof is a conditioning factor to decrease the temperature and to help in the thermal comfort offered by the building.

**KEYWORDS:** Comfort. Performance. Thermal. Edification.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Carga térmica recebida por edificações térreas isoladas.....	14
Figura 2: Diagrama do conforto humano. ....	20
Figura 3: Trocas de calor em um telhado. ....	35
Figura 4: Localização de Anápolis. ....	41
Figura 5: Localização das células teste.....	42
Figura 6: Planta baixa. ....	43
Figura 7: Vista frontal.....	44
Figura 8: Corte A-A.....	44
Figura 9: Corte B-B. ....	45
Figura 10: Planta de cobertura.....	45
Figura 11: Disposição das células teste e sistema de monitoramento. ....	46
Figura 12: Vista frontal, fase de construção das células teste. ....	47
Figura 13: Vista posterior, fase de construção das células teste.....	47
Figura 14: Células teste após a pintura. ....	48
Figura 15: Sistema de monitoramento de temperatura. ....	49
Figura 16: Validação do sistema de monitoramento de temperatura. ....	50
Figura 17: Células teste e sistema de coleta de dados finalizados.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curvas de temperatura para o período da madrugada. ....	54
Gráfico 2: Curvas de temperatura para o período da manhã. ....	56
Gráfico 3: Curvas de temperatura para o período da tarde. ....	58
Gráfico 4: Curvas de temperatura para o período da noite. ....	60
Gráfico 5: Curvas de temperatura para o período de 24 horas. ....	63

## LISTA DE TABELA

Tabela 1: Temperatura média dos sensores e do termohigrômetro. ....	50
Tabela 2 Amplitude térmica para o período. ....	52
Tabela 3: Temperaturas e amplitude térmica para o período da madrugada.....	53
Tabela 4: Maiores variações de temperatura para o período da madrugada, entre ambiente e células teste e entre células teste.....	55
Tabela 5: Temperaturas e amplitude térmica para o período da manhã. ....	55
Tabela 6: Maiores variações de temperatura para o período da manhã, entre ambiente e células teste e entre células teste.....	57
Tabela 7: Temperaturas e amplitude térmica para o período da tarde.....	57
Tabela 8: Maiores variações de temperatura para o período da tarde, entre ambiente e células teste e entre células teste.....	59
Tabela 9: Temperaturas e amplitude térmica para o período da noite.....	60
Tabela 10: Maiores variações de temperatura para o período da noite, entre ambiente e células teste e entre células teste.....	61
Tabela 11: Temperaturas e amplitude térmica para o período de 24 horas. ....	62
Tabela 12: Maiores variações de temperatura para o período de 24 horas, entre ambiente e células teste e entre células teste.....	64
Tabela 13: Materiais e custos para construção de 03 unidades de célula teste .....	73
Tabela 14: Materiais e custos para construção do sistema de monitoramento. ....	74
Tabela 15: Dados de temperatura. ....	75

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 Objetivo geral .....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 METODOLOGIA .....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 CONFORTO TÉRMICO .....	20
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO .....	21
2.3 CONCEITOS FÍSICOS NA TROCA DE CALOR .....	21
2.3.1 Temperatura.....	22
2.3.2 Calor .....	22
2.3.3 Trocas térmicas.....	23
2.3.3.1 Condução .....	23
2.3.3.2 Convecção.....	24
2.3.3.3 Radiação.....	25
2.3.3.4 Trocas térmicas úmidas.....	26
2.4 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS .....	27
2.4.1 Absortância.....	27
2.4.2 Refletância.....	28
2.4.3 Emissividade .....	28
2.4.4 Calor específico e condutividade térmica .....	29
2.4.5 Capacidade térmica, resistência térmica e transmitância térmica .....	29
2.4.6 Inércia térmica e carga térmica .....	31
2.5 COBERTURA, TELHADO E TELHA .....	31
2.6 FRIBROCIMENTO .....	33
2.7 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS .....	34
2.8 TINTAS.....	35
2.8.1 Tipos de tinta e aplicações imobiliária .....	36
2.8.2 Componentes das tintas .....	37

2.8.3	Tintas refletivas .....	37
2.8.4	Tinta látex PVA.....	37
2.9	TRABALHOS CIENTÍFICOS SOBRE A INFLUÊNCIA DE TINTAS NO DESEMPENHO TÉRMICO .....	38
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>41</b>
3.1	LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DAS CÉLULAS TESTE.....	41
3.2	MATERIAIS .....	42
3.3	PLANTA BAIXA DAS CÉLULAS TESTE .....	43
3.4	MÉTODO CONSTRUTIVO .....	46
3.5	SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA.....	48
3.5.1	Validação do sistema de monitoramento de temperatura.....	50
3.5.2	Implementação do sistema de monitoramento de temperatura .....	51
3.5.3	Coleta e tratamento dos dados.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
4.1	PERÍODO DA MADRUGADA .....	53
4.2	PERÍODO DA MANHÃ.....	55
4.3	PERÍODO DA TARDE .....	57
4.4	PERÍODO DA NOITE.....	59
4.5	PERÍODO DE 24 HORAS.....	61
4.6	AValiação DO SISTEMA .....	64
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>
5.1	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	66
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>73</b>
	APÊNDICE-A .....	73
	APÊNDICE-B .....	74
	APÊNDICE-C .....	75

## 1 INTRODUÇÃO

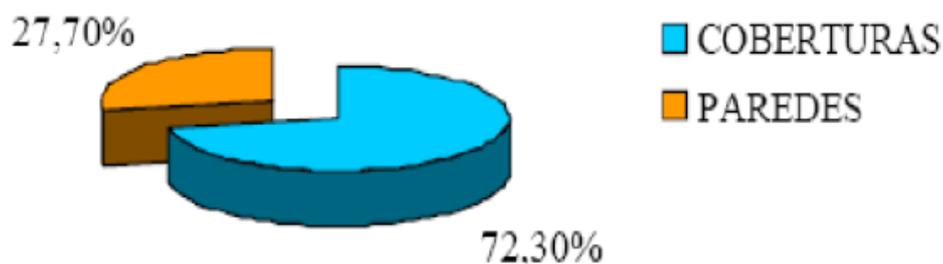
O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se: o local de implantação, posição em relação a incidência de raios solares, componentes construtivos e materiais que devem ser adequadamente definidos para diferentes condições climáticas. A temperatura interna de uma edificação é diretamente influenciada por variáveis internas como a carga térmica proveniente de iluminação artificial e de equipamentos e por variáveis externas provenientes do clima: umidade e temperatura. A edificação tem a propriedade de atuar como regulador e controlador dessas variáveis através de sua envoltória: paredes, revestimentos, pisos, aberturas e cobertura, devendo ser projetada de modo a propiciar segurança, conforto, durabilidade e eficiência energética, que somente serão alcançados com uso de técnicas construtivas e materiais adequados (CASTRO, 2006).

Entre os componentes de uma edificação as telhas são elementos que tem significativa importância no desempenho térmico, sobretudo nas edificações térreas, devido a sua intensa exposição à radiação solar.

Sendo a radiação solar a principal variável a interferir diretamente na superfície externa dos materiais, dessa forma, faz-se necessário conhecer as propriedades dos materiais bem como proceder o tratamento das superfícies onde há incidência direta da radiação solar. Quando essas superfícies são polidas ou pintadas com cores claras ocorre a reflexão de grande parte da radiação solar incidente e conseqüentemente diminuição da energia absorvida.

O telhado de uma edificação térrea é a parte mais suscetível a incidência da radiação solar.” A carga térmica recebida pela cobertura de uma edificação térrea pode chegar a 72,3%” (MASCARÓ, 1992). Como visto na figura seguinte.

Figura 1: Carga térmica recebida por edificações térreas isoladas.



Fonte: MASCARÓ, L; MASCARÓ, E, 1992.

Durante o dia a cobertura recebe grande quantidade de calor, e a noite irradia parte desse calor acumulado, tal propriedade é decorrente da composição dos materiais da cobertura e suas características térmicas.

Em estudos realizados por Castro (2002) *apud* Peralta (2006) sobre a influência das cores no que tange a refletância e absorvância, verificações foram feitas através de análises espectrofotométricas para radiação solar em tintas de variadas cores, observou-se que as cores claras, como branco e marfim tiveram menor influência no ganho de calor devido a incidência solar, pois apresentaram refletância superior a 70%, em contrapartida as cores escuras como: preto, azul profundo e telha, tiveram maior influência em relação ao ganho de calor, apresentando refletância inferior a 40%.

Na escolha dos materiais de cobertura devem ser consideradas as propriedades termofísicas destes, além da geometria e local de implantação da edificação, estes fatores são condicionantes no desempenho térmico da edificação. De acordo com Givoni (1998), os materiais com os quais uma edificação é construída determinam a relação entre a temperatura externa e as condições de radiação com a temperatura interna em edificações não climatizadas.

Quando se projeta uma edificação ela deve atender à quesitos inerentes a segurança, conforto e durabilidade.

São inúmeras as variáveis que influenciam no conforto térmico e essas podem ser subdivididas em duas categorias: variáveis humanas e variáveis ambientais, a primeira refere-se a resistência térmica oferecida pela pele e também ao metabolismo gerado pela atividade física, a segunda é mais ampla e leva em conta a temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar. As variáveis climáticas juntamente com as propriedades intrínsecas de cada material da cobertura determinam o comportamento térmico da edificação, dessa forma pode-se mensurar alguns fatores, para então, fazer uma análise comparativa entre valores obtidos e valores de referência normativa e realizar uma avaliação do desempenho térmico da edificação. Tais valores de referência podem ser obtidos através de normas de desempenho, atualmente estão em vigor no Brasil duas normas relacionadas ao desempenho das edificações: a NBR 15220–Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), e a NBR 15575–Edifícios habitacionais: desempenho (ABNT, 2013), cuja parte 5 refere-se aos requisitos para sistemas de cobertura.

Algumas regiões tem experimentado o acréscimo de temperatura, enquanto em outras regiões acontece o inverso, isso tem feito com que as pessoas usem cada vez mais os aparelhos condicionadores de ar, seja para aquecer ou resfriar o ambiente, partindo dessa premissa o consumo de energia elétrica aumenta consideravelmente em função do uso de aparelhos

condicionadores de ar. A finalidade do sistema de ar condicionado é proporcionar o conforto térmico para os ocupantes ou usuários da edificação (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Em uma edificação, o consumo de energia elétrica com sistemas de refrigeração pode ser reduzido limitando-se o ganho de calor através de sua envoltória, esse ganho de calor depende de alguns fatores como: a radiação solar incidente, a absorvância da superfície exposta a radiação solar, por sua vez esses fatores estão associados as cores das superfícies dos componentes da envoltória (DORNELLES, 2008).

O consumo de energia elétrica no Brasil cresceu significativamente nas últimas décadas, esse fato se deve a expansão da indústria de uma forma geral, expansão no setor agropecuário, no setor residencial o aumento da demanda energética se deu pelo aumento do número de habitações e aumento de uso de eletrodomésticos, eletroportáteis e produtos eletrônicos.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), “o consumo de energia elétrica no país cresceu 1,1% em junho e 0,4% no semestre “[...]” O resultado nos primeiros seis meses deste ano reflete o crescimento, principalmente, do setor residencial cuja expansão de janeiro a junho foi de 1,2%. A indústria fechou com alta de apenas 0,1%, e o comércio com queda de 0,7%”. [...]” O crescimento reflete resultados positivos em três das quatro regiões do país, mas principalmente no Centro Oeste, cuja alta foi de 4,2%” (EPE, 2017).

Além de buscar uma redução do consumo energético, enfatiza-se a importância do conforto térmico em edificações, o qual está diretamente atrelado ao tipo do material empregado nas construções e ao desempenho térmico deste. Em edificações que apresentam boas soluções relacionadas ao conforto térmico passivo há possibilidade de redução no consumo de energia elétrica. Soluções que propiciem melhorar o desempenho energético de uma edificação e atenuem os desconfortos térmicos, principalmente em unidades unifamiliares de classe média e baixa, nas edificações de interesse social (as quais tem aumentado significativamente nos últimos anos) e nas indústrias, poderão contribuir para diminuição nos gastos com eletricidade de uso residencial e industrial e evitar possíveis crises energéticas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O baixo desempenho térmico das edificações de uso residencial no Brasil tem alavancado o aumento no consumo de energia elétrica, em detrimento da maior utilização de aparelhos elétricos para climatizar o ambiente.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), o consumo de energia elétrica no país cresceu 1,1% em junho e 0,4% no semestre, o resultado nos primeiros seis meses do ano reflete o crescimento, principalmente do setor residencial cuja expansão de janeiro a junho foi de 1,2%. O aumento da demanda por energia elétrica está relacionado ao aumento do número de edificações, outro fator condicionante tem sido o aumento das temperaturas médias. Em detrimento a esse aumento de temperatura e a busca pelo conforto térmico, tem aumentado o número de aparelhos capazes de climatizar o ambiente e o uso destes tem se prolongado por um período cada vez maior.

Nos últimos anos tem crescido o número de trabalhos científicos que buscam aprimorar os vários componentes de uma edificação, comparações entre materiais como visto em, Peralta (2006) em seu trabalho sobre desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normatização específica. Jardim *et al.* (2010) faz estudo comparativo de desempenho térmico para 4 tipos de telhas na cidade de Natal-RN. Outros trabalhos buscam correlacionar as cores dos materiais com suas temperaturas superficiais na presença de radiação solar, como pode ser visto em Ikematsu (2007) no estudo da refletância e sua importância no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes. Dornelles *et al.* (2011) traz em seu estudo a avaliação do desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios.

A escolha de um material de construção civil muitas das vezes é feita somente para atender critérios estéticos ou visando diminuir gastos para edificar, esse último aplicável principalmente nas edificações térreas de interesse social. Em alguns casos há inobservância quanto a qualidade do material e na maioria das vezes o desempenho térmico do mesmo não é avaliado, fato que se deve a ausência de informações e normatização específica para desempenho térmico da vasta gama de materiais de construção, o que contribui para baixo índice de desempenho térmico das edificações.

Desse modo o conhecimento acerca do desempenho térmico de elementos componentes da edificação, possibilitara o uso adequado dos materiais e conseqüentemente aumento no desempenho térmico das habitações.

Na tentativa de melhorar o desempenho térmico nas edificações e assim proporcionar conforto térmico aos usuários (para que possam desempenhar plenamente suas atividades sem desconfortos) e ainda reduzir o consumo de energia elétrica é que propomos este estudo para avaliar o desempenho térmico da cobertura de fibrocimento em estado natural e quando submetida a pintura de cor branca com emprego de tinta refletiva e de tinta látex PVA.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo comparativo de desempenho e conforto térmico da cobertura de fibrocimento em estado natural e submetida à pintura de cor branca com uso de tinta látex PVA e tinta refletiva.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Construir células teste, de mesma geometria, utilizando o mesmo sistema construtivo e com materiais idênticos, diferenciando somente o tipo de tinta empregado na pintura da parte externa da cobertura.
- Desenvolver um sistema de monitoramento e coleta de temperatura, utilizando placa Arduino e sensores.
- Coletar dados do sistema de monitoramento.
- Analisar e comparar os dados obtidos das medições de temperatura.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente trabalho será baseada primeiramente em uma revisão bibliográfica sobre o assunto tema deste, faz-se uma abordagem sobre: conceitos físicos envolvidos nos processos de trocas térmicas, tintas, telhado, telhas e suas propriedades. Em um segundo momento busca-se o conhecimento de forma prática através da realização de ensaio experimental em campo.

O ensaio proposto consiste na construção de três células teste e na construção de um sistema de monitoramento.

As células teste serão contruídas com as mesmas características geométricas, empregando-se o mesmo método construtivo e materiais idênticos, exceto o tipo de tinta empregado na pintura das telhas, uma será pintada com tinta látex PVA de cor branca, outra com tinta branca com propriedades refletivas, a outra não receberá nenhum tipo de pintura.

O sistema de monitoramento que propuzemos utilizará placa arduino e sensores de temperatura, e estes serão utilizados para instrumentar as células teste. Posteriormente será feita a coleta e tratamento dos dados de temperatura das células teste e do ambiente que as circundam.

A partir dos dados coletados será feita uma análise comparativa com o objetivo de determinar se o tratamento influí ou não no desempenho térmico e no conforto térmico.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor apresentação e entendimento optou-se pela estruturação do presente trabalho em capítulos, os quais pretendem levar o leitor à compreensão e a importância da temática proposta.

No primeiro capítulo expôs-se a introdução, bem como a justificativa deste trabalho e os objetivos geral e específicos.

No capítulo 2 apresenta-se o referencial teórico sobre o qual este trabalho está fundamentado, enfatizando-se os conceitos físicos e as pesquisas relacionadas ao assunto.

No capítulo 3 estão descritos os procedimentos de realização do ensaio experimental e a construção das células teste e do sistema de monitoramento e coleta de dados.

No capítulo 4 são apresentados os resultados das medições do monitoramento das células teste e é feita uma análise comparativa entre os dados obtidos.

No capítulo 5, são apresentadas as nossas considerações finais, bem como as sugestões para pesquisas futuras.

No final deste apresentamos os apêndice A e B com o quantitativo de materiais e os custos para realização do experimento. E no apêndice C, são apresentados os dados de temperatura coletados para o estudo proposto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

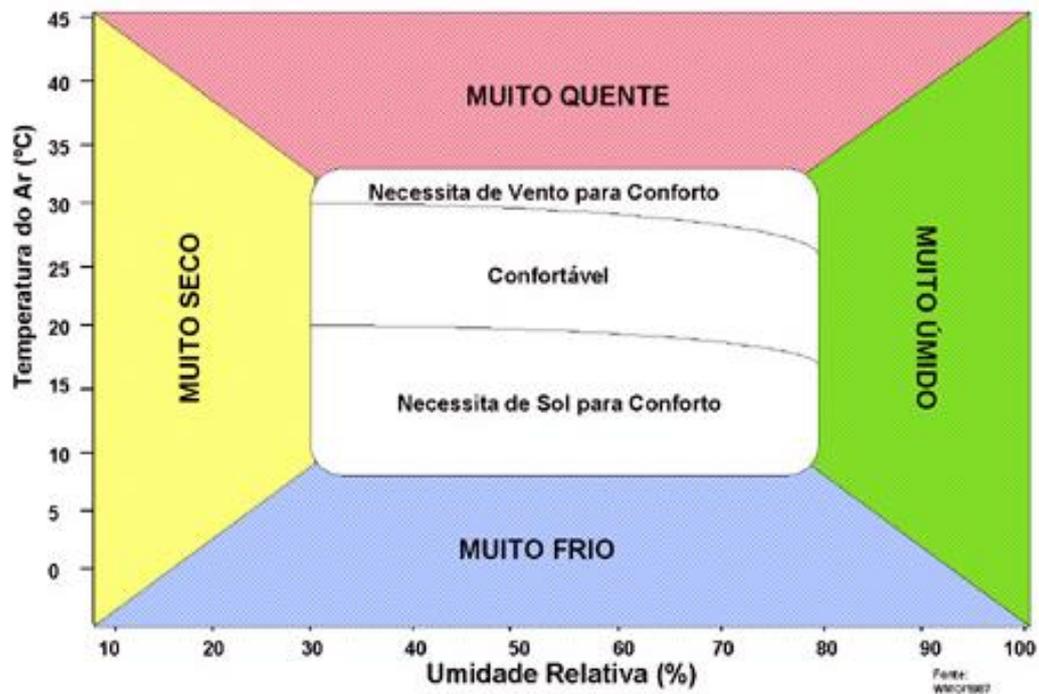
### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

Define-se o conforto térmico como sendo o estado mental que expressa a satisfação do ser humano com o ambiente térmico que o circunda (LAMBERTS *et al.*, 2005).

O conforto do corpo humano depende principalmente de três fatores, temperatura, umidade relativa e movimento do ar. A temperatura é o mais importante índice de conforto. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Os autores ainda definem a zona de conforto térmico, onde a maioria das pessoas sobre determinadas condições não sentem nem frio, nem quente, e o corpo não precisa ativar nenhum dos mecanismos de defesa para manter a temperatura do corpo normal.

A figura seguinte extraída no instituto nacional de meteorologia ( INMET ), mostra o diagrama do conforto humano, onde a zona de conforto depende da temperatura e da umidade relativa do ar.

Figura 2: Diagrama do conforto humano.



Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) (2018)

De acordo com Ferreira (2016) o conforto térmico relaciona-se de forma direta com a sensação térmica (frio, calor, fresco, morna e quente), a sensação térmica na qual o ser humano

se sente confortável é função do metabolismo e do ritmo das trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente.

Em um ambiente frio, a taxa de perda de calor pode exceder a taxa de geração de calor metabólico, já em ambientes quentes a taxa de perda de calor pode cair abaixo da taxa metabólica de geração de calor. Diante dessas situações deseja-se atender um sistema de conforto, o qual deve proporcionar condições uniformes ao longo de todo espaço de vivência para evitar desconforto causados pela não uniformidade, como as decorrentes da: radiação térmica assimétrica, correntes de ar, pisos quentes ou frios e estratificação vertical da temperatura.

As variáveis envolvidas no conforto térmico podem ser divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas, a primeira advém do metabolismo gerado pela atividade física, a resistência térmica da pele, idade, peso, altura e sexo do usuário da edificação, a segunda compreende a umidade do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar (LAMBERTS *et al.*, 2005).

## 2.2 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se, o local de implantação, posição em relação a incidência de raios solares, componentes construtivos e materiais que devem ser adequadamente definidos para diferentes condições climáticas. De acordo com Peralta (2006) o desempenho térmico dos materiais componentes de uma edificação depende da parcela de radiação solar incidente, bem como das propriedades das superfícies atingidas por essa radiação.

Para Batista e Lamberts (2010), através da avaliação do comportamento térmico dos materiais que compõem uma edificação é determinado seu desempenho térmico. Por sua vez este, influi diretamente no conforto térmico do usuário, propiciando ou não condições térmicas que favoreçam a execução de atividades rotineiras do cotidiano.

Podemos então caracterizar o desempenho térmico como sendo uma resposta do comportamento térmico dos materiais, que por sua vez é caracterizado pela resposta física dos componentes da edificação, sendo a cobertura a contribuição majoritária, justificada pela sua intensa exposição a radiação solar. E sendo assim o desempenho térmico repercute diretamente no conforto térmico do usuário.

## 2.3 CONCEITOS FÍSICOS NA TROCA DE CALOR

Segundo Peralta (2006) para melhor compreensão da influência do clima sobre as edificações é fundamental conhecer o processo de trocas de calor, trocas essas responsáveis pela transferência de calor em coberturas e conseqüentemente pelo desempenho térmico das edificações.

Segundo Lamberts *et al.* (2010) a quantidade de calor liberado pelo organismo é função da atividade desenvolvida, este calor será dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.

### **2.3.1 Temperatura**

De forma implícita as pessoas associam o conceito de temperatura com as propriedades de um corpo que implica nas noções de “frio” e “quente”. Desta forma costumam dizer que um corpo com elevada temperatura é “mais quente”, enquanto um corpo com temperatura menor é dito “menos quente ou frio”. Contudo do ponto de vista físico o conceito de temperatura é bem mais elaborado e leva em conta a compreensão da natureza da matéria que o compõe e seu arranjo molecular.

Sendo a matéria constituída por átomos, que por vez formam as moléculas. Os átomos estão em constante agitação devido aos movimentos que os elétrons realizam em torno do núcleo. Eles são dotados de energia cinética, uma energia que está associada a essa movimentação atômica. Com o aumento da energia cinética ocorre o aumento de agitação atômica e molecular e por conseqüência existe elevação da temperatura da matéria.

Novicki (2013) conceitua a temperatura como sendo uma grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas que compõe um corpo.

A velocidade média e o grau de atividade das moléculas são proporcionais à temperatura, em altas temperaturas as moléculas tem energia cinética alta, conseqüentemente o sistema apresenta alta energia interna. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

### **2.3.2 Calor**

O calor pode ser definido como a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro em decorrência da diferença de temperatura entre eles. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

O calor é uma grandeza que pode ser caracterizada por um valor quantitativo, além disso o calor tem direção e sentido vetorial. Quando há interior de um sistema um gradiente de

temperatura, ou havendo contato de dois ou mais sistemas com diferenças de temperaturas entre eles, haverá um processo de transferência de energia.

### 2.3.3 Trocas térmicas

As trocas térmicas também são chamadas de transferência de calor. Costa (1991) conceitua a transferência de calor como um conjunto de fenômenos que ocorrem quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta diferença tende a desaparecer espontaneamente pela passagem de calor de uma região para outra. Conforme a segunda lei da termodinâmica o fluxo de calor ocorre sempre da maior para a menor temperatura.

De acordo com Kreith (1977) *apud* Peralta (2006) o processo através do qual a energia é transferida é conhecido como transferência de calor.

A transferência de energia como calor, ocorre do meio de maior temperatura para o de menor temperatura e cessa quando os dois meios atingem a mesma temperatura (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

As trocas térmicas secas são trocas em que há variação de temperatura. O calor pode ser então transferido de três diferentes modos: condução, convecção e radiação.

#### 2.3.3.1 Condução

De acordo com Çengel e Ghajar (2012) a condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas.

A troca térmica por condução pode ocorrer tanto em sólidos como em fluídos, nos sólidos ela acontece devido a combinação das vibrações das moléculas em rede, desta forma a energia é transportada por elétrons livres; nos fluídos as colisões e difusões das moléculas em seus movimentos aleatórios fazem com que haja a troca térmica.

O movimento vibratório das moléculas permite uma troca de energia cinética entre elas, onde as de maior temperatura cedem por choque energia às de menor temperatura.

Segundo Costa (1991) a condução é a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos quando estes estão em contato, esse processo se deve ao movimento molecular dos mesmos, sem que hajam deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado.

A taxa de condução de calor por um meio depende sobretudo da geometria, da espessura e tipo do material e da diferença de temperatura em que o meio está inserido. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Ainda de acordo com Çengel e Ghajar (2012) quando se trata de regime permanente, ou seja quando a temperatura não varia com o tempo, a taxa de condução de calor através de uma camada plana é proporcional à diferença de temperatura através da camada e a área de transferência de calor, e inversamente proporcional à espessura da camada, pode-se então expressar a partir da lei de Fourier da condução térmica, de acordo com a equação (1).

$$Q_{cond} = K * A * \frac{\Delta T}{e} \quad (1)$$

Onde:

- $Q_{cond}$ , é taxa de transferência de calor por condução, expressa em W.
- $K$ , é a condutividade térmica do material, ou seja a capacidade do material de conduzir calor, expressa em W/m.K.
- $A$ , é a área da seção transversal em, m<sup>2</sup>.
- $\Delta T$ , é diferença de temperatura, °K.
- $e$ , corresponde a espessura da placa, m.

Os conceitos relativos a condutividade térmica serão vistos no item: 2.4.4.

### 2.3.3.2 Convecção

A convecção é a maneira de transferência de energia entre a superfície sólida e a superfície de um fluido adjacente que está em movimento, envolvendo os efeitos combinados de condução e movimento do fluido. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Costa (1991) considera a convecção como sendo a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido devido ao efeito de movimento relativo das partículas do mesmo. A diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e consequente diferença de densidade da massa fluída provocam esse movimento relativo das partículas.

A ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa são fatores determinantes do processo de transporte de energia chamado de convecção. A convecção pode ser de dois tipos, segundo Givoni (1998), convecção natural e convecção forçada. E ocorrem quando o ar, depois de entrar em contato com uma superfície aquecida se

expande e sobe, ou após entrar em contato com uma superfície mais fria perde calor, o ar então é resfriado ficando mais denso e desce.

De acordo com Çengel e Ghajar (2012) convecção natural ocorre quando o movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, devido a variação da temperatura do fluido, e a convecção é dita forçada, quando o fluido é forçado a fluir sobre a superfície através de meios externos, como exemplo podemos citar o uso de aparelhos condicionadores de ar.

Processos naturais de convecção, como por exemplo a convecção atmosférica desempenham um papel de fundamental importância na formação de padrões climáticos globais e também na variação do tempo em curto prazo. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009).

A taxa de transferência de calor por convecção é proporcional a a diferença de temperatura. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Sendo a mesma convenientemente expressa pela lei de NEWTON, lei do resfriamento. Ver equação (2).

$$Q_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Onde:

- $Q_{conv}$ , e taxa de transferência de calor por convecção. W.
- $h$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção em, W/m<sup>2</sup>.K.
- $A_s$ , é a área da superfície por meio da qual ocorre a transferência de calor por convecção, expressa em m<sup>2</sup>.
- $T_s$ , temperatura da superfície, Kelvin (°K).
- $T_{\infty}$ , temperatura do fluido suficientemente longe da superfície, Kelvin (°K).

### 2.3.3.3 Radiação

Todo corpo é dotado de calor, essa energia térmica é transformada em energia radiante através da emissão de ondas eletromagnéticas. Segundo Peralta (2006) os corpos não só emitem radiações infravermelhas como também absorvem tais radiações, que são chamadas de radiações térmicas.

Çengel e Ghajar (2012) consideram a radiação como a energia transmitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas, que resultam das mudanças nas configurações

eletrônicas de átomos ou de moléculas. A radiação é considerada um fenômeno volumétrico, no qual todos os sólidos e os fluídos transmitem ou absorvem radiação em diferentes graus.

Todos os corpos emitem energia calorífica sob a forma de radiação, em quantidade que depende essencialmente da natureza da matéria que o compõe e de sua temperatura. Esse fenômeno ocorre entre corpos dotados de temperatura diferente (COSTA, 1991).

A taxa máxima de radiação que pode ser emitida de uma superfície idealizada (conhecida como corpo negro) na temperatura termodinâmica ( $0^{\circ}\text{K}$ ), é dada pela lei de **Stefan-Boltzmann**, (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Como mostra a equação (3).

$$Q_{m\acute{a}x} = \sigma * A_s * T_s^4 \quad (3)$$

Contudo a radiação emitida por todas as superfícies reais é menor que a radiação emitida por um corpo negro quando ambos estão em mesma temperatura. Introduce na equação (3) um novo termo, a emissividade, e a mesma passa a ser escrita de acordo com a equação (4).

$$Q_{m\acute{a}x} = \varepsilon * \sigma * A_s * T_s^4 \quad (4)$$

Em que:

- $Q_{m\acute{a}x}$  = taxa máxima de radiação, W.
- $\sigma$ , constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 * 10^{-8}, \text{W/m}^2.\text{K}^4$
- $A_s$ , é a área da superfície a qual emite a radiação, expressa em  $\text{m}^2$ .
- $T_s$ , é a temperatura em  $^{\circ}\text{K}$ .
- $\varepsilon$ , emissividade, cujo valor está na faixa de  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ .

#### 2.3.3.4 Trocas térmicas úmidas

Devido as mudanças de estado de agregação da água, sejam elas do estado líquido para estado de vapor ou de forma inversa, ocorrem as trocas úmidas, para que essas trocas ocorram são necessários alguns mecanismos, a saber: evaporação e condensação ( FROTA, SCHIFFER, 2001). A mudança do estado gasoso (vapor de água) para o estado líquido é segundo eles, a condensação. Para que esse processo ocorra é necessário que o vapor de água ceda energia térmica para o ambiente, havendo portanto uma perda energética, contrário ao que ocorre no processo de evaporação onde há um ganho energético.

## 2.4 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Uma superfície recebe calor e também o irradia para o meio que o circunda, essa propriedade varia conforme as características térmicas dos materiais. Para a melhoria do desempenho térmico dos materiais faz-se necessário conhecer todos os aspectos que relacionem os materiais construtivos com o clima, para então através das características térmicas e das estratégias climáticas definir o material que atenda as necessidades de segurança e conforto.

As propriedades termofísicas que interferem nas formas de transmissão de calor são: características dos materiais (transparentes e opacos), absorptância, refletância, emissividade, condutividade térmica, calor específico, resistência térmica e capacidade térmica, (PERALTA, 2006).

### 2.4.1 Absortância

De acordo com a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades (ABNT, 2005) a absorptância à radiação solar é o quociente entre taxa de radiação absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície

Çengel e Ghajar (2012) consideram a absorptância como a fração de energia de radiação incidente sobre a superfície que a absorve.

De acordo com Jardim *et al* (2010), em fechamentos opacos de espessura reduzida, como as telhas, no processo de troca de calor a absorptância desempenha um papel de maior importância do que a inércia térmica.

Para Granja (2002) os efeitos da absorptância se reduzem à medida que se aumenta a espessura dos materiais.

Um fator importante no comportamento térmico de determinado material é a rugosidade da superfície deste.

Em estudo realizado por Dorneles e Roriz (2007), no qual mediram a rugosidade e absorptância de dez amostras pintadas de cor branca. Observaram por meio de análise de regressão e identificaram que o acréscimo de 1 milímetro na rugosidade provoca um acréscimo de 23% na absorptância.

### 2.4.2 Refletância

A refletância à radiação solar de acordo com a NBR 15220-parte 1 (ABNT,2005), pode ser expressa como a taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

O comportamento da refletância de um material depende tanto da refletância especular quanto da refletância difusa, a primeira ocorre quando a superfície do material consegue refletir em um mesmo ângulo toda a luz incidente sobre ele, a segunda se deve ao fato da superfície do material refletir a luz incidente em diversos ângulos, devido a rugosidade da superfície.

Estudo realizado por Ikematsu (2007), no qual analisou-se o comportamento de tintas comuns e reflexivas, constatou-se que independentemente da cor as tintas reflexivas apresentam altos valores de refletância na região do infravermelho, e menores temperaturas do que as tintas comuns.

De acordo com Sailor e Resh (2006) *apud* Ikematsu (2007), superfícies que apresentam valores altos de refletância apresentam alta refletividade na luz visível, e teoricamente apresentam cores mais claras.

A refletância de uma cobertura pode ser alterada no decorrer do tempo, devido sua exposição às condições ambientais, sendo indispensável a manutenção periódica para que as propriedades refletivas dos materiais sejam mantidas (IKEMATSU 2007).

Coberturas de edificações com alta refletância à radiação solar tendem a se manterem “frias” quando expostas à radiação solar, transferindo menos calor para o interior da edificação. (LEVINSON *et al.*2005).

### 2.4.3 Emissividade

A emissividade é o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura NBR 15220-parte 1 (ABNT, 2005).

A emissividade de uma superfície real não é constante Çengel e Ghajar (2012), pelo contrário, varia com a temperatura da superfície, com o comprimento de onda e com a direção das radiações emitidas.

Em estudos realizados por Guyot *et al* (1983) *apud* Peralta(2006), os materiais seletivos quentes (exemplo: aço galvanizado novo e cobre tratado), tem dificuldade de perder calor para o meio externo devido à baixa emissividade. Já os materiais seletivos frios (cal,

pintura branca, mármore branco) possuem elevada emissividade, razão pela qual perdem calor para o meio rapidamente.

#### **2.4.4 Calor específico e condutividade térmica**

O calor específico de uma substância depende, em geral, de duas propriedades independentes: temperatura e pressão. Çengel e Ghajar (2012) definem o calor específico como a energia necessária para aumentar a temperatura em um grau de uma unidade de massa de uma substância.

A condutividade térmica, é uma propriedade específica de cada material, pode ser definida como a característica física de um material, a qual determina a sua capacidade de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. De acordo com a segunda lei da termodinâmica a temperatura sempre flui da maior para a menor temperatura.

De acordo com Rodrigues (1998), a condutividade térmica de um dado material, varia de acordo com algumas de suas propriedades como por exemplo: densidade, temperatura e geometria. No item 2.3.3.1 foi vista relação entre a taxa de condução de calor e a condutividade térmica, a qual leva em conta a geometria do material (área e espessura) e a variação de temperatura.

Outro fator que influí na condutividade térmica de um material é a porosidade, de acordo com Effitng, Guths e Allarcon (2006) *apud* Jardim (2011), há um decréscimo no valor da condutividade térmica à medida que a porosidade aumenta.

Para Figueredo (2006), a condutividade térmica deve ser levada em conta ao analisar o fluxo de calor entre a parte externa e interna de um ambiente, pelo fato da mesma ter influência no cálculo da transmitância térmica e da resistência térmica.

#### **2.4.5 Capacidade térmica, resistência térmica e transmitância térmica**

De acordo com a NBR 15220-parte-1 (ABNT, 2005), a capacidade térmica é a quantidade calor empregado para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

A resistência térmica pode ser expressa como a resistência oferecida pelo material à passagem de calor (RIVERO, 1985).

De acordo com a NBR 15220-parte-1 (ABNT, 2005), a resistência térmica é subdividida em parcelas, sendo a resistência térmica total o somatório dessas parcelas.

- Resistência térmica de elementos e componentes: quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente pela densidade de fluxo de calor em regime estacionário.
- Resistência térmica superficial interna: é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação ou convecção.
- Resistência térmica superficial externa: é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação ou convecção.
- Resistência térmica total: somatório das resistências térmicas correspondentes às camadas de cada elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas.

A norma NBR 15220 recomenda o uso de valores de resistência obtidos através de medições baseadas em ensaios normatizados, na ausência destes valores recomenda-se que a determinação da resistência térmica de uma camada homogênea de material sólido seja determinada conforme a equação (5).

$$R = K * e \quad (5)$$

Onde,

- R é a resistência térmica do material (m<sup>2</sup>.K)/W
- e, espessura da camada (m)
- K, condutividade térmica do material (W/m.K.).

A transmitância térmica pode ser expressa como o inverso da resistência térmica. Conforme a equação (6).

$$U = \frac{R}{e} \quad (6)$$

- Onde ( U ), é transmitância térmica expressa em: W/(m<sup>2</sup>.K)

A transmitância térmica indica a facilidade com que o fluxo de calor atravessa o material.

#### 2.4.6 Inércia térmica e carga térmica

A determinação da quantidade total de calor, (extraído ou fornecido) a uma edificação para que a mesma propicie conforto térmico aos usuários é determinada através da carga térmica do ambiente edificado, assim sendo a carga térmica será a soma de todas as energias envolvidas no sistema.

Lambertes *et al.* (1997) considera que os principais fatores que contribuem para a carga térmica de um ambiente construído são: fatores do clima ( insolação, umidade e temperatura do ar externo), os fatores humanos (atividades que são desenvolvidas no ambiente e o número de ocupantes), e o fator arquitetônico (aberturas, ventilação, equipamentos e os tipos de fechamento).

A inércia térmica é a capacidade que os materiais tem em reter parte da energia que flui entre suas faces, essa capacidade depende da capacidade térmica do material, este quando possui elevada inércia térmica permite diminuir a amplitude de variação da temperatura no interior das edificações.

#### 2.5 COBERTURA, TELHADO E TELHA

Uma edificação possui elementos que separam o ambiente construído do meio externo, esses elementos formam a envoltória da edificação (paredes, telhados, portas e janelas), esses elementos exercem simultaneamente, contato e proteção contra a influência das variáveis climáticas. Conhecer as propriedades dos materiais utilizados em cada componente da edificação, bem como os processos físicos que ocorrem na envoltória permite fornecer informações no que concerne à energia térmica e por consequência ao desempenho térmico de cada material e da edificação.

As coberturas são partes fundamentais de uma edificação além de compor esteticamente o ambiente devido a sua característica arquitetônica contribuem com a proteção tanto da edificação quanto dos usuários no que se refere as condições ambientais adversas.

De acordo com a NBR 15775-5 (ABNT 2013), o sistema de cobertura é formado por um conjunto de elementos (componentes), dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais, proteger os demais sistemas da edificação da deterioração por agentes naturais, além de contribuir positivamente para o conforto termoacústico.

A proteção que a cobertura oferece à edificação e aos usuários depende no entanto das propriedades térmicas dos elementos que a compõe, tais propriedades podem gerar condições internas mais adversas do que as do meio externo. (PERALTA 2006).

Além de oferecer proteção as coberturas devem atender a diversos fatores de eficiência, como: estanqueidade, desempenho estrutural, térmico e acústico. Quando se refere a cobertura com ênfase na eficiência, deve-se dividi-la em duas categorias: planas ou com baixa inclinação, e as que possuem um grau de inclinação maior do que  $9,5^\circ$ . Predominantemente no Brasil usa-se coberturas planas ou de baixa inclinação em prédios residenciais, comerciais e industriais e em garagens, nas residências de até três pavimentos é usual coberturas com grau de inclinação maior do que  $9,5^\circ$ , variando entre  $15^\circ$  e  $35^\circ$  de inclinação em sua maioria.

O sistema de cobertura é segundo NBR 15775-5 (ABNT 2013), a parte da edificação habitacional mais exposta a radiação térmica, dessa forma exerce predominantemente influência na carga térmica transmitida aos ambientes (casas térreas e no último pavimento de sobrados e prédios) influenciando de forma direta no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia por parte dos equipamentos de ventilação mecânica e condicionamento artificial de ar.

De acordo com Peralta (2006) a cobertura é responsável pelo acréscimo de considerável parcela da carga térmica devido a sua exposição permanente à radiação solar e a telha é o elemento construtivo mais importante em relação a este ganho de calor (de forma mais acentuada nos casos de coberturas sem forro), desta forma em coberturas simples sem a presença de forro a propriedade do material (que compõe a telha) é de extrema importância, pois como não existem outras camadas, a proteção contra a passagem de calor é realizada exclusivamente pela própria telha.

A cobertura para ser energeticamente eficiente deve ter preferencialmente alta refletância à radiação solar e ou alta emissividade para ondas longas, desta forma implicará em baixas temperaturas superficiais dos materiais, o que possibilitará em uma menor quantidade de calor penetrado na edificação e menor quantidade de calor transferido para o ar interno (TEIXEIRA, 2013).

O telhado é um elemento que faz parte do sistema de cobertura, é caracterizado por possuir um ou mais planos inclinados em relação a um plano horizontal, a este plano inclinado dá-se o nome de água.

As telhas são elementos que compõem a cobertura, capazes de proteger das condições ambientais adversas, devem apresentar baixo índice de absorção de água, boa resistência mecânica, resistência ao fogo, bom desempenho térmico e acústico. São fabricadas com os mais

diversos tipos de materiais, como: cerâmicos, metal, fibrocimento, materiais reciclados, PVC (policloreto de vínila), policarbonato, vidro, etc.

Basicamente no Brasil há dois tipos de telhas que se destacam quanto à utilização, as telhas de material cerâmico e as telhas de fibrocimento. As telhas de fibrocimento geralmente são utilizadas em edificações de interesse habitacional (ocupadas por pessoas de baixa renda), possuem um custo menor em relação às telhas cerâmicas, são também mais leves, sua instalação requer uma quantidade menor de madeira ou peças metálicas, quando comparada à telha cerâmica possui um peso próprio menor, desta forma contribui para diminuir o peso da edificação e consequentemente das cargas na fundação.

Balthazar (2012), em análise de habitações populares na cidade de São Paulo, constatou que a escolha do material de construção baseia-se no custo, assim sendo nas coberturas predomina o uso de telhas de fibrocimento.

## 2.6 FRIBROCIMENTO

O fibrocimento é um material à base de cimento com adições de minerais, agregados e com fibras (minerais, vegetais, sintéticas) de reforço distribuídas discretamente pela matriz.

Dentre as fibras utilizadas na composição do fibrocimento, as de amianto destacam-se devido seu baixo custo e por suas propriedades. De acordo com Sacramento (2007) o amianto apresenta alta resistência mecânica, baixa condutividade térmica, boa capacidade termoacústica, resistência ao fogo e baixo custo.

As fibras de amianto largamente usadas pela indústria da construção civil no Brasil e no mundo, constituem matéria prima de muitos produtos de baixo custo comumente usados nas edificações brasileiras, como exemplo em telhas. Estudos apontam que o amianto causa grandes problemas à saúde humana ao ser inspirado ou ingerido. Em decorrência de oferecer riscos a saúde o seu uso foi tema de grandes embates, provocando divergências entre especialistas no assunto.

Estudos realizados por Mendes (2001), descrevendo a evolução do conhecimento científico da inalação das fibras de amianto e seus efeitos sobre a saúde, apontam que seus efeitos nocivos são tão antigos quanto seu uso.

Para Meirelles *et al* (2007), existem várias afecções pleuropulmonares relacionadas a exposição ao amianto, estas podem ser benignas ou malignas.

Em relatório do grupo de trabalho da comissão de meio ambiente e desenvolvimento sustentável da Câmara dos Deputados destinados à análise de implicações do uso do amianto

no Brasil, todas as doenças causadas pelo amianto são progressivas e incuráveis. A doença continua a evoluir mesmo depois do afastamento do paciente à exposição ao amianto (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2010).

Os maiores danos a saúde causados pelo amianto advém do contato prolongado com as fibras desse mineral, essas fibras quando inaladas incorporam-se ao tecido pulmonar causando fibroses (cicatrizes), com o passar do tempo essas fibroses se tornam maiores e ocasionam danos às funções respiratórias (ABCMED, 2013).

Existe a necessidade da substituição das fibras do amianto por outras capazes de oferecer propriedades iguais ou melhoradas. Alguns trabalhos tem sido desenvolvidos na busca de materiais que possam substituir o amianto.

A fabricação de telhas onduladas que levam em sua composição fibras sintéticas possuem normatização específica: NBR 15210 (ABNT, 2005). Parte-1: telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Essa norma define o fibrocimento sem amianto como o produto resultante da mistura homogênea de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos, com reforço de fibras, fios ou filamentos, com exceção das fibras de amianto.

Rodrigues *et. al* (2015), propõe como alternativa ao uso das fibras de amianto, as fibras sintéticas, vegetais e cinzas. Nesse sentido realizou experimentos com fibras de coco verde e cinzas de cana-de-açúcar com lama abrasiva e cimento em diversas proporções. Os testes de resistência e absorção de água se mostraram satisfatórios quando comparados com um modelo comercializado que usa fibras de amianto.

Sales (2015) em seu trabalho sobre a utilização de fibras de curauá, *ananás erectifolius*, como reforço de matriz com cimento Portland, para o emprego em elementos estruturais como placas e telhas, analisou-se através de ensaios: o módulo de elasticidade, a compressão e resistência de tração na flexão dos corpos de prova com e sem fibra. Os resultados comprovaram influência das fibras na capacidade de deformação, aumento de resistência à tração na flexão e aumento na carga de ruptura.

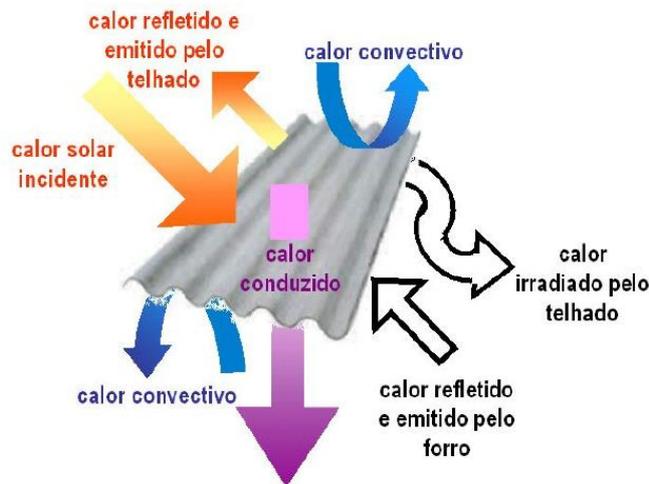
## 2.7 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS

De acordo com MICHELS (2007), nas edificações horizontais, a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte da energia solar e a transfere para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e elevando a temperatura interna.

No que concerne aos componentes de uma cobertura, a telha é o elemento de maior importância, devido ao fato de receber diretamente a carga térmica, a qual, através de processos de transferência de calor é transmitida para o interior da edificação.

As coberturas podem ser constituídas de telhado e forro ou de telhado sem forro, em ambos ocorrem vários tipos de trocas de calor entre o ambiente externo e o interno, conforme apresentado na figura seguinte.

**Figura 3: Trocas de calor em um telhado.**



Fonte IKEMATSU (2007).

Salleh e Haw (2008) *apud*. Jardim (2011), consideram que em torno de 87% do calor transferido pela cobertura aos ocupantes se dá devido a radiação, e 13% do calor transferido ocorre por meio de condução e convecção.

Durante a noite, em ausência da radiação solar, e conseqüente diminuição da temperatura externa, ocorrem trocas térmicas na cobertura, inversas ao do período diurno. Assim sendo durante a noite a energia térmica é transferida por meio de condução entre superfície interna e a externa da telha, que por sua vez, transfere calor por convecção e irradiação para o meio externo. (JARDIM, 2011).

## 2.8 TINTAS

A história do uso das cores e da pintura confunde-se com a própria história da humanidade. O ser humano na pré-história, possuidor de limitados recursos verbais para transmitir suas experiências, viu-se obrigado a desenvolver alternativas que complementassem sua comunicação e que perpetuasse a informação, iniciando assim o uso de misturas a base de

cal, carvão, óleos vegetais e sangue entre outros para as primeiras pinturas rupestres (POLITO, 2006).

No Egito, surgiram os primeiros pigmentos sintéticos derivados de alumínio, silício, cobre e cálcio, tendo como ligantes elementos orgânicos a base de ovo e cera de abelha. A primeira fábrica de tintas de que se tem história no Brasil foi inaugurada em Blumenau, Santa Catarina em 1886, mas foi depois dos anos 50 do século passado que a indústria brasileira se desenvolveu com uso de resinas sintéticas criando assim tintas para as mais diversas aplicações.

As tintas de modo geral são misturas de várias substâncias onde partículas sólidas se encontram distribuídas em componentes líquidos. Quando aplicadas em uma superfície se torna uma camada sólida em consequência da evaporação da parte líquida alcançando assim sua função de decorar, dar acabamento ou proteger.

De acordo com a norma ISO 4618 (2014) Tintas e vernizes -termos e definições, tinta é um produto líquido ou em pó, e quando aplicado sobre um substrato, forma uma película opaca, com características protetoras e decorativas.

Tinta é uma composição líquida que depois de aplicada sobre uma superfície, passa por um processo de secagem ou cura e se transforma em um filme sólido, fino, aderente, impermeável e flexível (FAZENDA et al, 2009).

### **2.8.1 Tipos de tinta e aplicações imobiliária**

Os principais tipos de tintas são: tintas acrílicas, tintas PVA (acetato de polivinila), tintas vinil-acrílicas e texturas. É importante destacar que tintas acrílicas são do tipo: látex PVA e látex acrílicas. A principal diferença entre elas é a resina utilizada. As tintas PVA usam acetato de polivinila, enquanto as acrílicas são à base de resina acrílica. Existem ainda as tintas vinil-acrílicas.

Muitos ainda acreditam que as tintas acrílicas são indicadas para uso externo enquanto as PVA estão restritas aos ambientes internos, em função de fatores como lavabilidade e durabilidade, dessa forma a falta de informação gera dúvida no consumidor, para melhor entendimento existem tintas acrílicas econômicas, indicadas apenas para uso interior, assim como tintas látex PVA *Standard* e *Premium*, que podem ser aplicadas em partes externas sem nenhum problema. Os acabamentos variam entre fosco, acetinado, semibrilho e brilhante. Para metais e madeiras, os mais comuns são: esmaltes sintéticos e tintas a óleo (ABRAFATI, 2013).

### **2.8.2 Componentes das tintas**

As tintas são compostas basicamente por: resinas, pigmentos, solventes e aditivos. As resinas são os ligantes da mistura, dão aderência aos pigmentos, constituem a parte não volátil da tinta. A resina determina também o tipo da tinta, acrílicas, alquídicas, epoxídicas, etc. Pigmentos são materiais sólidos utilizados para conferir cor, opacidade, características de resistência e outros efeitos. Os solventes constituem a parte volátil, geralmente de baixo ponto de ebulição e são utilizados nas tintas para dissolver as resinas, deixando essas com a consistência desejada. Aditivos são componentes adicionados as tintas para conferir características especiais ou para melhorar suas propriedades (FAZENDA *et al*, 2009).

### **2.8.3 Tintas refletivas**

Produtos refletivos para coberturas são compostos de materiais altamente refletivos e emissivos, usualmente de cor branca e podem manter-se aproximadamente 30°C mais frios que os materiais tradicionais durante condições de verão extremas Synnefa *et al*, 2006 *apud* (DORNELLES *et al* 2001).

As tintas refletivas trazem em sua formulação, um tipo de resina e pigmentos com capacidade de refletir a radiação infravermelha que contribui para o aquecimento da superfície, diminuindo a temperatura superficial dos materiais e a transferência de calor entre o meio ambiente e a edificação (IKEMATSU, UEMOTO, SATO, 2006).

A maior parte dos materiais refletivos encontrados no mercado são de cor branca, o que nem sempre satisfaz esteticamente quem procura materiais refletivos, surgindo a necessidade de desenvolvimento de produtos de cores variadas, porém com boa capacidade refletiva. Uma característica muito importante das tintas refletivas é apresentar alta refletância independente de sua cor (SYNNEFA, SANTAMOURIS, APOSTOLAKIS, 2006).

Quanto ao rendimento, a aplicação de 1 litro de tinta refletiva proporciona um cobrimento médio de 8,5 m<sup>2</sup> por demão, podendo variar 3m<sup>2</sup> para mais ou para menos.

### **2.8.4 Tinta látex PVA**

As tintas vinílicas também chamadas de látex PVA, possuem de baixa a média lavabilidade, secagem rápida e média cobertura. Seu uso é indicado para reboco, fibrocimento,

gesso e sobre superfícies com massa corrida e normalmente é feito nos acabamentos fosco e semi-brilho. (DORNELLES, 2008).

Seu uso é amplo devido ao fato de ter uma vantajosa relação de custo benefício, fácil aplicabilidade e bom resultado final, cada litro de tinta possui uma cobertura média de 15 m<sup>2</sup> por demão, podendo variar 3m<sup>2</sup> para mais ou para menos. Comparando seu custo com o da tinta refletiva, esse chega a ser três vezes menor.

## 2.9 TRABALHOS CIENTÍFICOS SOBRE A INFLUÊNCIA DE TINTAS NO DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com Castro *et al* (2003), as tintas refletivas ao serem aplicadas sobre diferentes superfícies melhoram seu desempenho térmico. Estudos de Synnefa *et al* (2005) feitos com 14 amostras de revestimentos refletivos internacionais, confirmam que as tintas refletivas podem melhorar significativamente o desempenho térmico dos materiais aos quais são aplicados. Comparando-se a tinta refletiva branca com as tintas convencionais, nota-se que as tintas convencionais embora reduzam a temperatura na superfície, ainda apresentam altas temperaturas no interior das edificações.

Peralta (2006), realizou estudo para avaliar o desempenho térmico de telhas através de monitoramento de células teste na cidade de São Carlos no estado de São Paulo, foram analisadas e comparadas as temperaturas internas e da superfície das telhas de aço, cerâmica, fibrocimento e de material reciclado, após análise comparativa as telhas de aço e fibrocimento foram escolhidas para receberem aplicação da tinta látex acrílico de cor branca. Concluiu-se após as análises comparativas, que o tratamento das superfícies externas das coberturas proporciona menores temperaturas.

Synnefa, Santamoris, Livada (2005) *apud* Ikematsu (2007) realizaram na Grécia um estudo com tintas coloridas, onde foram avaliados e comparados o desempenho térmico de tintas coloridas refletivas, com monitoramento constante de temperatura. Concluiu-se que é possível a utilização de tintas coloridas com propriedades refletivas e eficiência térmica significativa, contudo para que as propriedades refletivas sejam mantidas, existe a necessidade de manutenção periódica da cobertura.

Ikematsu (2007), avaliou a refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas convencionais e de tintas refletivas aplicadas em telhas de fibrocimento para coberturas de edificações habitacionais brasileiras. Realizou-se análise espectrofotométrica em películas

para determinação da refletância, o estudo de comportamento térmico foi realizado em simulações laboratoriais, onde os corpos de prova foram submetidos à radiação infravermelha. As temperaturas dos corpos de prova do ensaio foram aferidas, os resultados mostraram que as pinturas refletivas apresentaram valores de refletância superiores quando comparados com as pinturas de tinta convencional. Concluiu-se que as tintas refletivas têm potencial para redução da temperatura superficial da telha de fibrocimento.

Dornelles (2008), realizou estudo sobre a absorvância solar em superfícies opacas, com o objetivo de disponibilizar dados de absorvância solar para diversas cores e tipos de tintas, analisou-se o efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, os dados obtidos levaram a indicar que a rugosidade da superfície aumenta linearmente a absorvância das superfícies.

Büttner e Duarte (2009) em seu trabalho, fizeram uma avaliação térmica e também energética de coberturas, para a cidade de Cuiabá, no estado de Mato Grosso, as coberturas estudadas eram de edificações comerciais de partido horizontal. Foram analisadas variações concernentes a cor e a composição do sistema de cobertura, aplicando-se técnicas de redução de cargas térmicas: sombreamento e resfriamento evaporativo. Realizou-se simulações com um programa computacional denominado: *EnergyPlus*, versão 2.2, que não contemplou o resfriamento evaporativo, para incluir os efeitos deste empregou-se equações num processo externo ao programa. Concluiu-se que, a associação de barreira radiante e sombreamento da cobertura atenuam melhor a carga térmica do que a associação do sistema evaporativo e cor da telha.

Dos Santos (2013), realizou estudo sobre a absorvância dos componentes opacos da envoltória construtiva, segundo a autora a falta de dados atualizados de absorvância solar para superfícies opacas faz com que pesquisadores e especialistas utilizem a percepção visual ou valores estimados de absorvância, provocando às vezes escolha equivocada sobre a cor da envoltória. Realizou-se estudos com quatro instrumentos de medição para diferentes níveis de textura de superfície opaca, o efeito da rugosidade foi verificado em relação a absorvância dessas superfícies. Observou-se que as amostras de cor azul, com textura PVA acrílica fosca e acrílica semi-brilho apresentaram absorvância próxima, contudo diferentes, mostrando que a absorvância não depende somente da cor da tinta mas também de sua composição química.

Dornelles *et al* (2011) traz em seu estudo a avaliação do desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios. Os resultados demonstraram que pintar a cobertura com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia.

Teixeira (2013) realizou estudo e análise do desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidos à aspersão de água. Para caracterização do desempenho da tinta de cor branca realizou-se ensaios para determinar algumas características dos materiais, a saber: emissividade, refletância solar, a absorção de água aspergida. As tintas usadas nos ensaios foram tintas imobiliárias comuns de diferentes composições químicas mas de mesma cor, as amostras foram submetidas a aspersão de água e expostas às condições ambientais naturais. Foram aferidas temperaturas internas das telhas e um conjunto de dados meteorológicos foi coletado e analisado conjuntamente com dados dos ensaios de emissividade, refletância solar e absorção de água. Os resultados encontrados para a técnica refletiva de acabamento de cor clara comprovaram as expectativas, contudo os resultados foram otimizados quando a técnica foi associada a aspersão de água.

Dornelles *et al* (2013), em seu trabalho sobre tintas frias e convencionais para pintura externa de paredes e coberturas, as quais foram avaliadas e comparadas através de caracterização de suas absorvâncias e emissividades, bem como o desempenho térmico das mesmas à partir de medições de temperaturas superficiais. Os resultados indicaram que tintas frias com baixa absorção no infravermelho próximo de cor e tonalidades iguais às tintas convencionais apresentam menor absorvância solar, as temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol indicaram que absorvância solar das tintas afeta diretamente o conforto térmico das superfícies pintadas. Concluiu-se que quanto mais baixa é a absorvância solar da superfície da evoltória, menor será a temperatura da mesma.

Souza (2018), em seu estudo de avaliação comparativa da refletância solar de tintas para telhas com uso de pigmento frio (possuem alta refletância solar) e convencional nas cores cinza claro e escuro, nesse estudo formulou-se dois grupos de tintas, um de cor cinza claro, o qual foi preparado com pigmento preto convencional de natureza orgânica, e outro de cor cinza escuro, no qual houve a adição de pigmento frio de natureza inorgânica. Os resultados das avaliações apontaram que as tintas preparadas com pigmentos orgânicos apresentaram baixa refletância solar, enquanto as tintas preparadas com pigmento frio apresentaram maior refletância solar. Concluiu-se que as tintas preparadas com pigmentos frios mesmo apresentando cor escura, resultam em um material adequado para a aplicação em superfície de cobertura como a telha, pois o mesmo tem boa capacidade de reflexão solar e absorve menos calor.

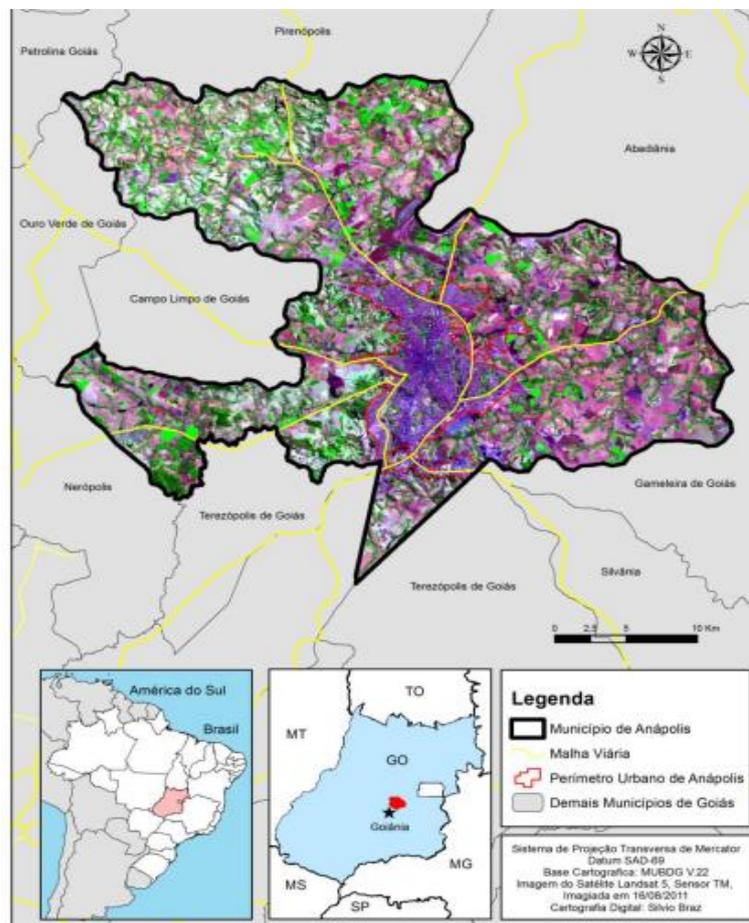
### 3 METODOLOGIA DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os métodos para realização do ensaio experimental, será feita uma abordagem sobre o local de implantação das células teste, sobre os materiais empregados na construção das referidas, o método construtivo, o sistema de monitoramento e a coleta de dados.

#### 3.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DAS CÉLULAS TESTE

Célula teste é uma edificação de pequeno porte construída para fins de ensaios experimentais e possuem características semelhantes a uma edificação real. Escolheu-se a cidade de Anápolis para realização do estudo. De acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, Anápolis se encontra na zona 6 que inclui 38 cidades. Na figura seguinte esta indicada a localização da cidade.

**Figura 4: Localização de Anápolis.**



Fonte: Borda 2011.

As células teste foram construídas em um terreno localizado na Rua Irene Machado da Silveira, lote 02, quadra 27, bairro residencial Veneza, Anápolis – GO. A figura seguinte mostra imagem de satélite com a localização das células teste.

**Figura 5: Localização das células teste.**



**Fonte: Google Earth 2019.**

### 3.2 MATERIAIS

Para a construção das células teste, utilizou-se de materiais disponíveis no mercado local, a escolha da marca dos mesmos foi feita de forma aleatória, prezando a qualidade dos referidos, no que se refere a tinta refletiva optou-se pelo emprego de uma marca nacional pioneira no mercado de tintas, a qual garante colorir e a proteger o ambiente promovendo sensação de conforto térmico no ambiente mantendo-o mais fresco no verão e mais quente no inverno, a tinta látex PVA escolhida é da mesma marca da tinta refletiva e garante colorir e proteger o ambiente. A mão de obra empregada na construção das células teste foi dos próprios autores. Cabe ainda ressaltar que, por não haver autorização dos fabricantes as marcas dos materiais não serão reveladas.

Para o sistema de monitoramento de temperatura, os materiais foram adquiridos através de comércio eletrônico, onde a marca dos mesmos foi escolhida prezando-se mais uma vez pela qualidade e preço desses.

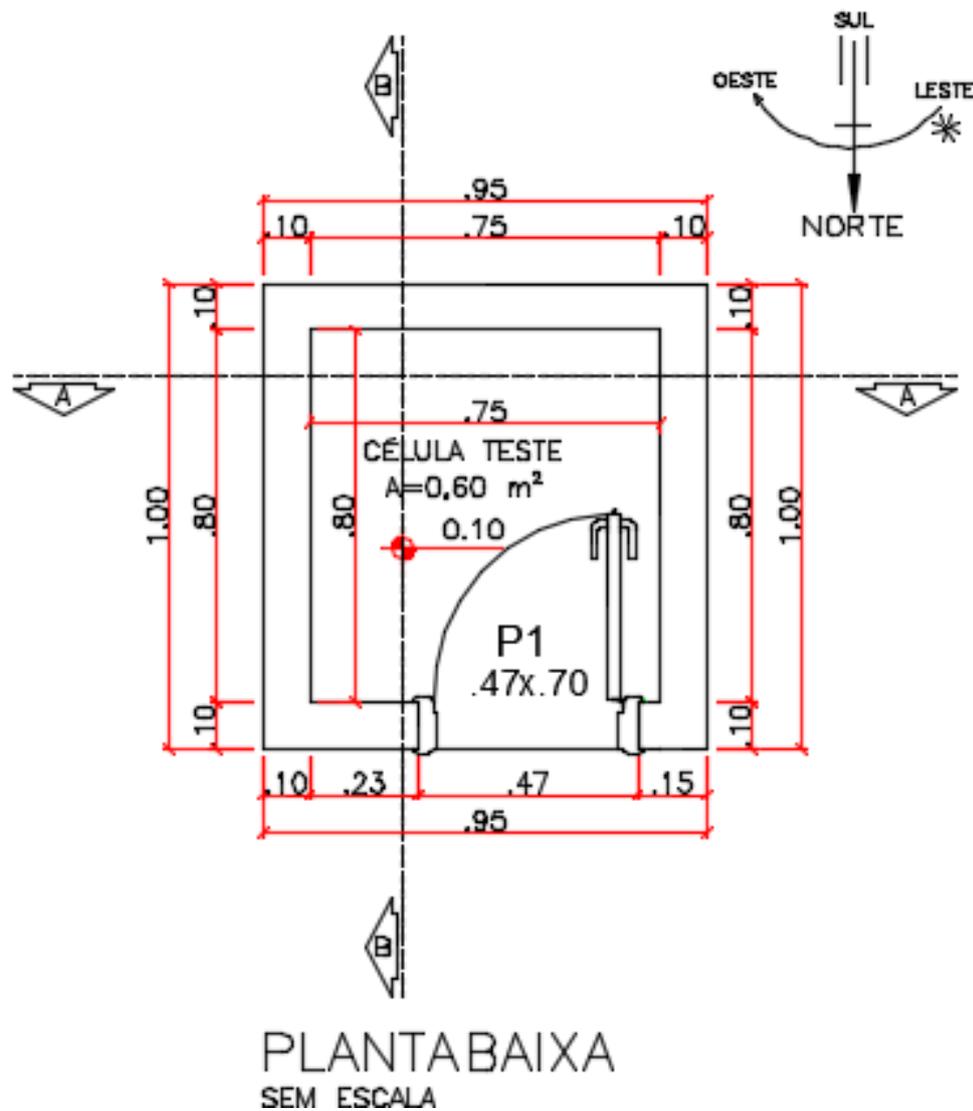
A construção do sistema de monitoramento de temperatura foi realizada em parceria com o professor Eduardo Martins Toledo.

Nos apêndices A e B são apresentados: o quantitativo de materiais e mão de obra, bem como seus respectivos valores.

### 3.3 PLANTA BAIXA DAS CÉLULAS TESTE

Na figura a seguir é apresentada a planta baixa da célula teste.

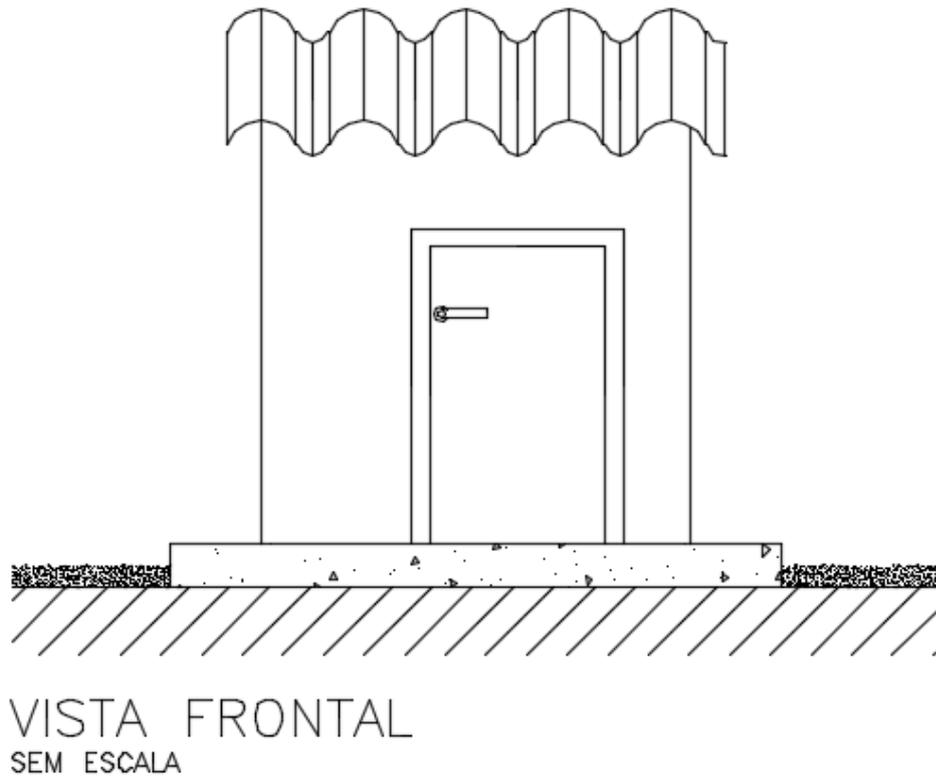
Figura 6: Planta baixa.



Fonte: Próprios autores, 2018.

A figura seguinte mostra a vista frontal da célula teste.

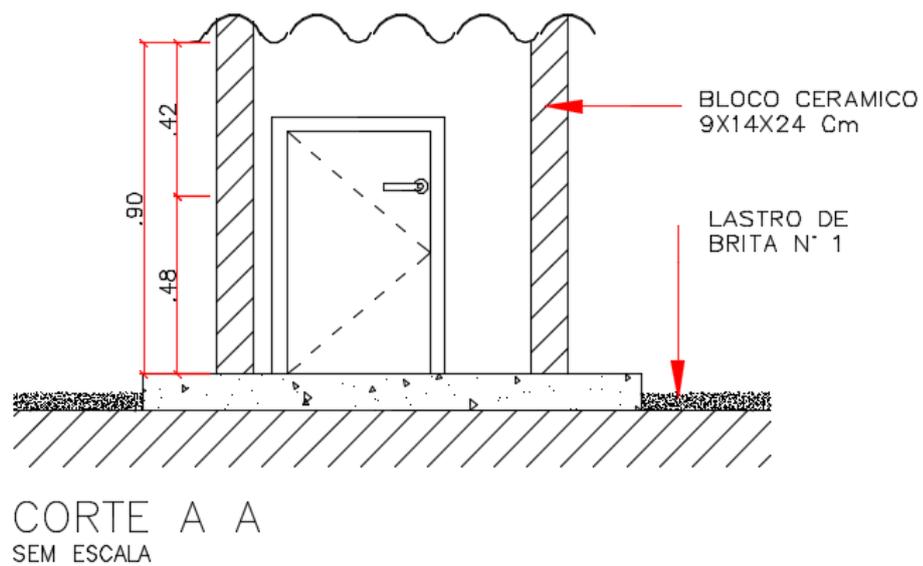
**Figura 7: Vista frontal.**



**Fonte: Próprios autores, 2018.**

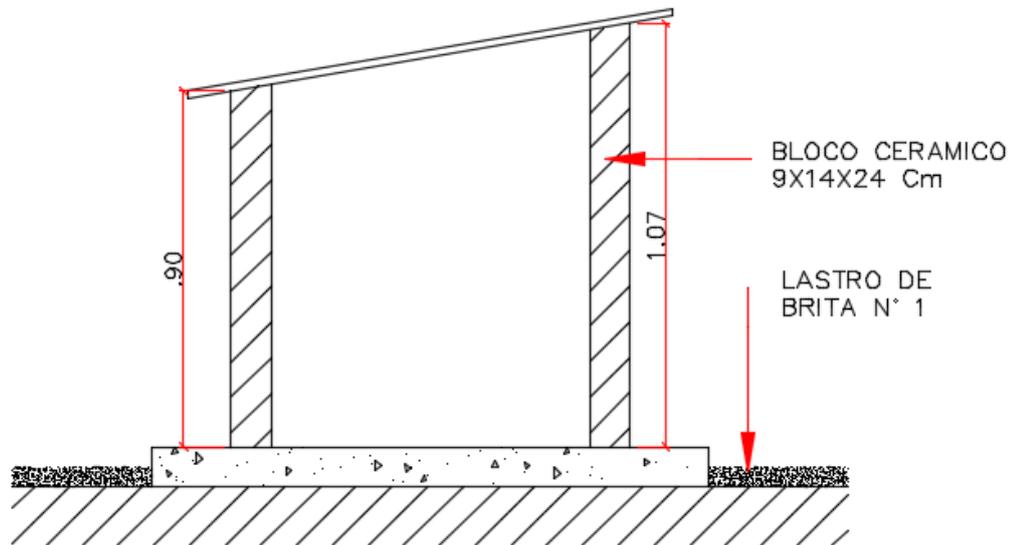
As figuras que seguem mostram a vista da célula teste em corte.

**Figura 8: Corte A-A.**



**Fonte: Próprios autores, 2018.**

**Figura 9: Corte B-B.**

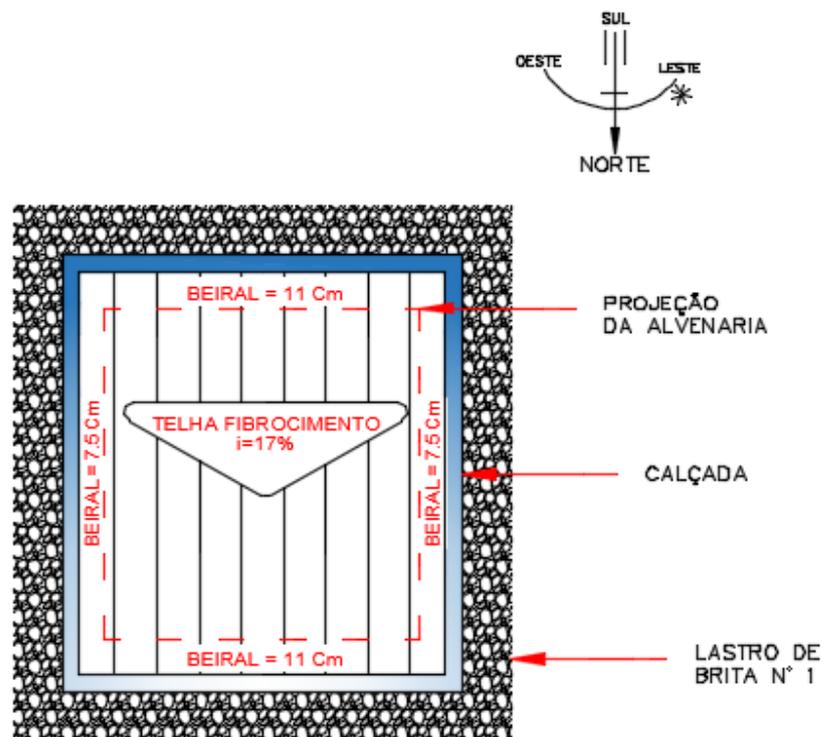


CORTE B B  
SEM ESCALA

Fonte: Próprios autores, 2018.

A figura seguinte mostra a planta de cobertura da célula teste.

**Figura 10: Planta de cobertura.**



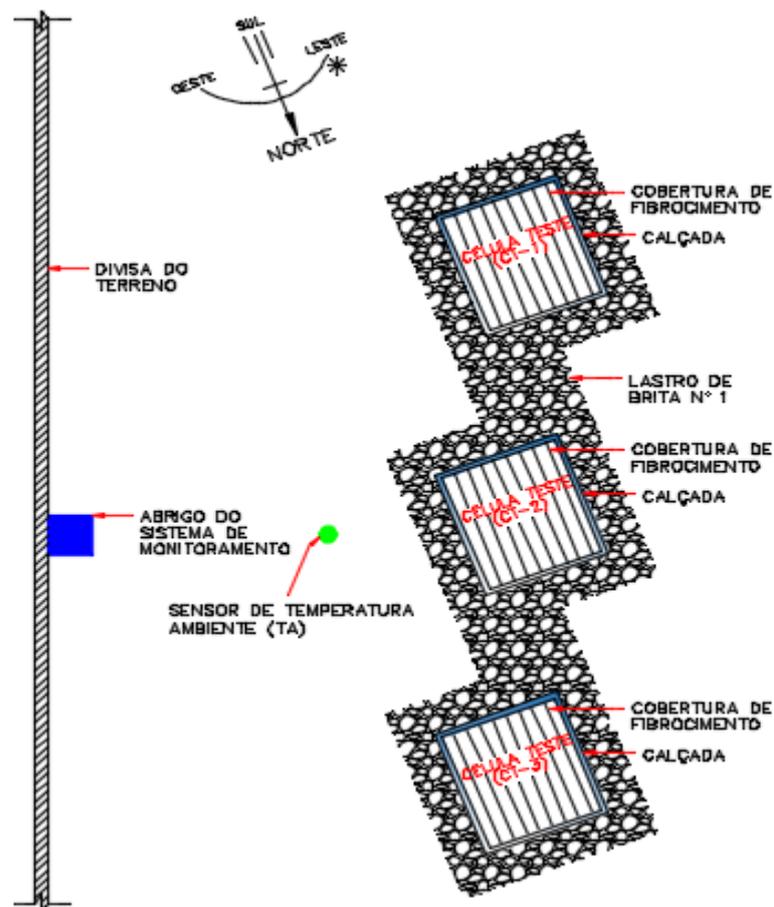
PLANTA DE COBERTURA  
SEM ESCALA

Fonte: Próprios autores, 2018.

### 3.4 MÉTODO CONSTRUTIVO

Primeiramente verificou-se a posição que corresponde ao Norte, posição esta, cuja, inclinação do telhado estará voltada. Verificou-se através da observação *in-loco* o local dentro do terreno que está sujeito a maior incidência de raios solares, para que as células fiquem o maior período do dia sujeitas a carga térmica proveniente do sol. De posse dessas informações procedeu-se o estudo do distanciamento entre as células teste de modo que as mesmas não projetem sombra umas nas outras, fez-se então a marcação do local de implantação de cada célula teste para posterior construção. A figura a seguir nos mostra a disposição das células teste (CT), do sensor de temperatura ambiente (TA) e do abrigo do sistema de monitoramento e coleta de dados de temperatura.

**Figura 11: Disposição das células teste e sistema de monitoramento.**



Fonte: Próprios autores, 2018.

As células teste foram construídas sobre uma base de concreto não armado que serviu de apoio para a alvenaria, além de proteção para o ambiente interno tanto da umidade quanto

da carga térmica natural do terreno. As vedações das células teste foram feitas com blocos de tijolos cerâmicos e telhas de fibrocimento sem amianto. Após o término da alvenaria, acentou-se o conjunto de portais e portas feitos de madeira compensada, fez-se o chapisco, após a cura do mesmo fez-se o reboco, como visto nas figuras seguintes.

**Figura 12: Vista frontal, fase de construção das células teste.**



**Fonte: Próprios autores, 2018.**

**Figura 13: Vista posterior, fase de construção das células teste.**



**Fonte: Próprios autores, 2018.**

As superfícies das envoltórias (paredes e telhas) foram preparadas (lixadas e limpas). Em seguida as células teste foram pintadas e enumeradas.

A célula teste 1 (CT-1), recebeu pintura em duas demãos, usou-se: tinta látex PVA de cor branca nas paredes, já a superfície externa do telhado foi pintada em duas demãos empregando-se tinta refletiva de cor branca. A célula teste 2 (CT-2) recebeu pintura em duas demãos, usou-se tinta látex PVA de cor branca nas paredes e também na superfície externa do telhado. A célula teste 3 (CT-3) recebeu pintura em duas demãos com tinta látex PVA de cor branca nas paredes, o telhado não recebeu pintura (ficou em estado natural).

**Figura 14: Células teste após a pintura.**



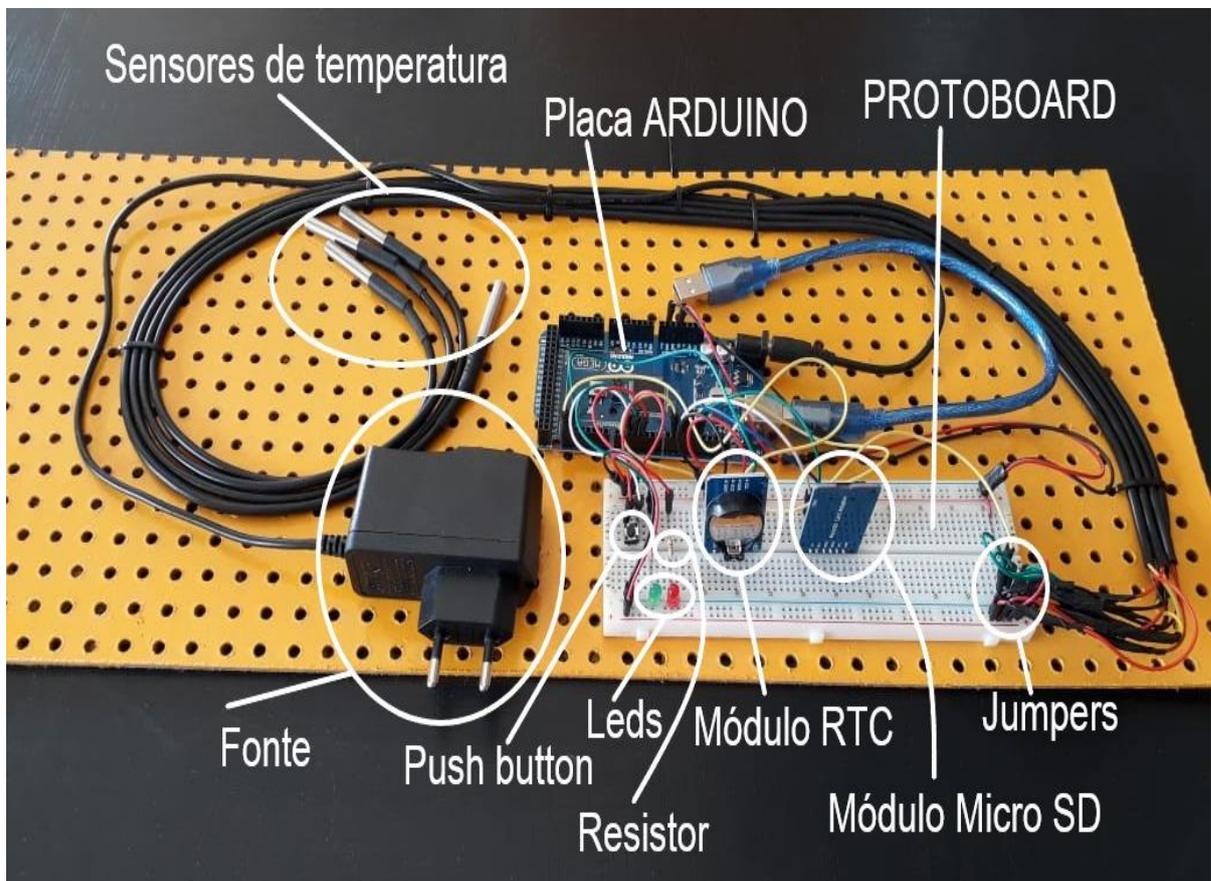
**Fonte: Próprios autores, 2018.**

### 3.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

O sistema de monitoramento de dados de temperatura é composto pela parte física (*hardware*) e pela parte lógica (*software*), a primeira tem como componentes: placa ARDUINO MEGA (placa de prototipagem eletrônica de *software* livre), *proto board* (placa de ensaio ou matriz de contato, possui orifícios e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos), SD (cartão de memória e armazenamento de dados), sensores de temperatura (os quais captam

a temperatura e através de impulsos elétricos os dados são transmitidos para a placa e decodificados), resistores (tem como finalidade transformar energia elétrica em energia térmica e mudar a diferença de potencial elétrico do circuito), módulo de conexão micro SD (responsável pela conexão entre o SD e a *protoboard*), módulo RTC (responsável pelo horário do sistema), *jumpers* (macho-macho e macho-fêmea, usados para conectar a placa ARDUINO à *protoboard*), *push button* (cuja função é ligar e desligar o equipamento), LED'S, (os quais indicam se o equipamento está ligado), fonte de 5 Volts (atua como regulador de tensão). A segunda parte (*software*), foi desenvolvida na própria interface de desenvolvimento do ARDUINO, de modo simplificado o sistema quando iniciado aciona os sensores de temperatura e faz o reconhecimento dos mesmos, aciona o módulo RTC, os dados são capturados (em um intervalo de tempo definido na programação do sistema) pelos sensores e são mostrados na interface (na janela serial monitor) e armazenados em cartão SD quando o sistema está conectado a um computador, ou então são somente armazenados em cartão SD quando o sistema não está conectado a um computador, proporcionando assim autonomia ao sistema.

**Figura 15: Sistema de monitoramento de temperatura.**



Fonte: Próprios autores, 2018

### 3.5.1 Validação do sistema de monitoramento de temperatura

Para validação do sistema, verificou-se a medida de temperatura de cada sensor, confrontando as mesmas com a medida de temperatura do termohigrômetro (INSTRUTEMP, modelo ITHT 2220). Os sensores foram enumerados assim que reconhecidos pelo *software*. As medidas de temperatura foram colhidas de forma simultânea a cada 5 minutos por um período de 1 hora (entre às 19:00 e 20:00 horas do dia 30/11/2018), calculou-se a temperatura média registrada por cada um dos sensores bem como do termohigrômetro, feita análise dos valores obtidos verificou-se que a variação de temperatura entre os sensores de temperatura e o termohigrômetro foi bastante pequena, de forma a não interferir significativamente no resultado final das medidas de temperatura, tornando o sistema válido e confiável, a tabela a seguir mostra os valores médios das temperaturas para o período.

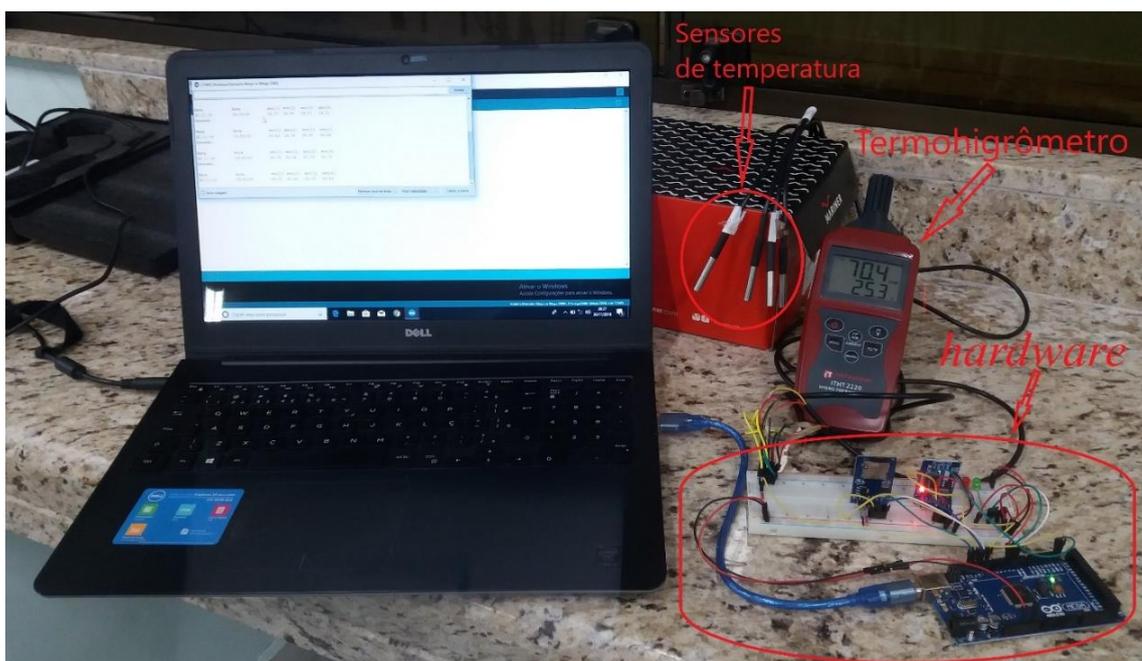
Tabela 1: Temperatura média dos sensores e do termohigrômetro.

Equipamento	Sensor-1	Sensor-2	Sensor-3	Sensor-4	Termohigrômetro
Temperatura °C	25,32	25,33	25,35	25,34	25,3

Fonte: Próprios Autores, 2018.

A figura que segue mostra a realização de teste verificação para validação do sistema.

Figura 16: Validação do sistema de monitoramento de temperatura.

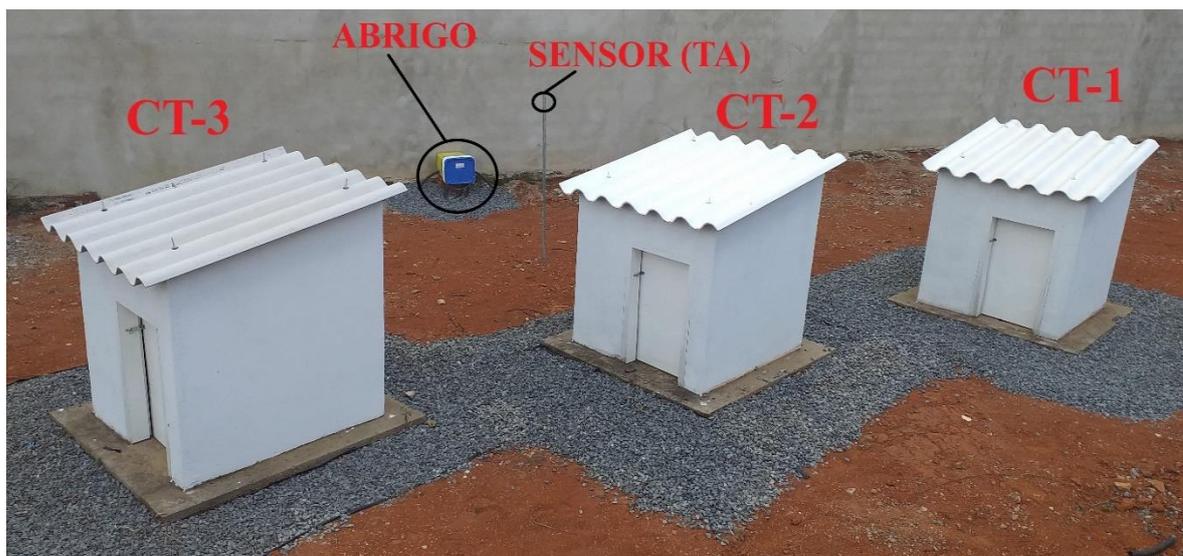


Fonte: Próprios autores, 2018.

### 3.5.2 Implementação do sistema de monitoramento de temperatura

Após a construção das células teste e validação do sistema de monitoramento, o mesmo foi montado no local de coleta dos dados. Para medição da temperatura do ar no interior da célula teste, cada uma foi equipada com um sensor de temperatura, o qual foi instalado no centro geométrico da mesma, sendo o sensor-1 instalado na célula teste 1 (CT-1), sensor-2 instalado na célula teste 2 (CT-2), sensor-3 instalado na célula teste 3 (CT-3), instalou-se próximo das células teste o sensor-4, o qual é responsável por medir a temperatura ambiente do ar (TA). Para o *hardware* foi montado um abrigo (com ponto de energia elétrica para alimentação do sistema), mantendo o mesmo protegido do sol e da umidade, houve a necessidade do prolongamento dos cabos dos sensores o qual foi realizado por meio de cabos de rede, propiciando assim o funcionamento do sistema.

Figura 17: Células teste e sistema de coleta de dados finalizados.



Fonte: Próprios autores, 2019.

Preliminarmente realizou-se testes de verificação de funcionalidade do sistema de coleta de dados de temperatura, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019. O sistema foi programado para coletar dados a cada 5 minutos de forma ininterrupta, os dados coletados são armazenados no cartão SD com arquivo de extensão \*.TXT, a cada 24 horas o sistema cria um novo arquivo, proporcionando assim facilidade na localização de dados para uma data específica.

Durante a realização dos testes percebeu-se que o sistema apresentava temperaturas (negativas) incondizentes com a realidade e falha no armazenamento de dados em períodos

aleatórios, verificou-se que as falhas foram ocasionadas por má aderência entre os pinos que conectam os sensores de temperatura e a *protobord* e pela instabilidade da rede elétrica local. As falhas foram sanadas fazendo com que os pinos se encaixassem de forma correta com a *protobord*, instalou-se um *Nobreak* (responsável por regular a voltagem e a pureza da energia que é servida ao equipamento a ele conectado). De modo análogo ao descrito anteriormente no item 3.5.1. novos testes foram feitos, verificou-se a medida de temperatura de cada sensor, confrontando as mesmas com a medida de temperatura de termohigrômetro (INSTRUTEMP, modelo ITHT 2220. Os resultados obtidos apresentaram pequena variação de temperatura entre os sensores de temperatura e o termohigrômetro, de forma a não interferir significativamente no resultado final das medidas de temperatura, tornando o sistema válido e confiável.

### 3.5.3 Coleta e tratamento dos dados

Coletou-se os dados por um período de 3 dias consecutivos, entre os dias 01/03/2019 a 03/03/2019, época do ano cuja estação é o verão. Os dados foram coletados em intervalos de 5 minutos e gravados automaticamente pelo sistema em cartão SD com arquivo de extensão \*.TXT, o arquivo foi executado usando o bloco de notas do pacote MICROSOFT OFFICE-2013, em seguida usou-se o MICROSOFT EXCEL-2013 para importação dos dados, construindo dessa forma planilhas eletrônicas para o tratamento dos dados.

Realizadas as análises, optou-se por desprezar os dados referentes aos dois primeiros dias, fato este justificado pela maior amplitude térmica da temperatura ambiente do terceiro dia. Os dados referentes ao terceiro encontram-se no apêndice-C.

A tabela seguinte fornece os valores referentes a amplitude térmica diária.

**Tabela 2 Amplitude térmica para o período.**

Período	01/03/2019	02/03/2019	03/03/2019
Amplitude °C	14,20	13,52	15,94

**Fonte : Próprios Autores, 2019.**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta dos dados de temperatura, estes foram copiados do cartão SD para um documento do bloco de notas e posteriormente copiados para uma planilha do MICROSOFT EXCEL-2013, fez-se o processamento dos dados coletados com vistas a comparar as temperaturas internas entre as células teste, e entre a temperatura ambiente e a temperatura de cada célula teste.

Optou-se por dividir o período a ser analisado em intervalos de 6 horas cada, de tal forma que o período entre 00:00 e 06:00 horas compreende o período da madrugada, entre às 06:00 e 12:00 horas o período da manhã, de 12:00 às 18:00 horas o período da tarde e de 18:00 às 00:00 horas o período da noite.

### 4.1 PERÍODO DA MADRUGADA

Para o período da madrugada, verificou-se queda da temperatura ambiente (TA), e interior das células teste também apresentaram queda de temperatura. Na tabela 3 são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período analisado bem como a amplitude térmica.

**Tabela 3: Temperaturas e amplitude térmica para o período da madrugada**

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	18,37	19,37	19,56	19,81
T mínima ° C	16,69	18,25	18,44	19,62
Amplitude °C	1,68	1,12	1,12	1,19

**Fonte: Próprios autores 2019.**

Tomando como referência as curvas de temperatura para o período da madrugada (gráfico 1), observou-se que as temperaturas no interior de todas as células se mantiveram superiores em relação à temperatura ambiente externa (TA).

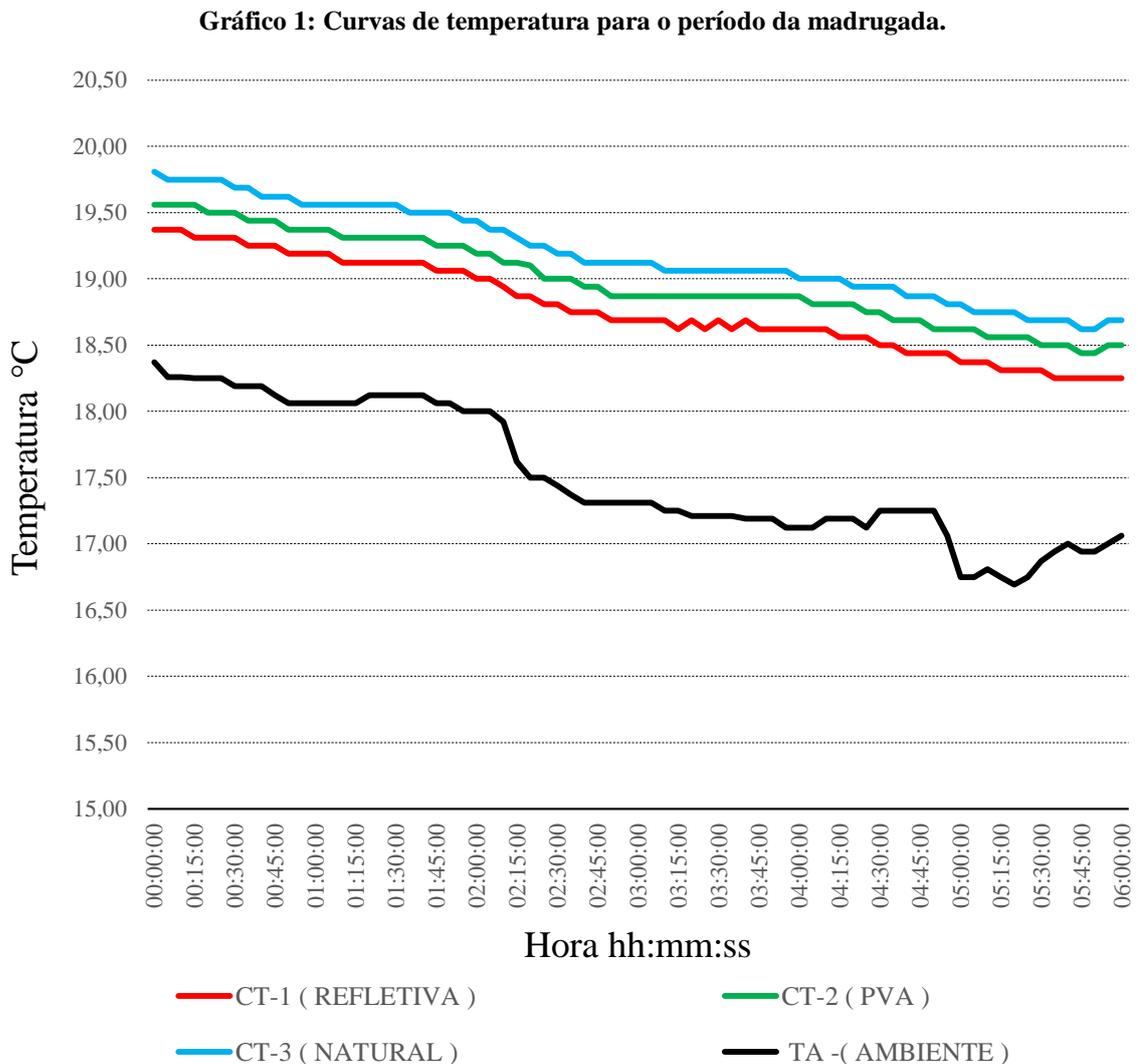
Ainda tendo como referência as curvas de temperatura para o período da madrugada, nota-se que a célula teste (CT-3) apresenta temperatura superior em relação às outras. A célula teste (CT-2) apresenta temperatura superior em relação à célula teste (CT-1) e temperatura menor em relação à célula teste (CT-3). Contudo as diferenças de temperatura entre as células não excede 0,44 °C, que em termos percentuais corresponde a 2,34%.

Notou-se, que para o período da madrugada no horário das 05:00 horas as diferenças de temperatura foram as maiores para o período.

Em relação a amplitude térmica as células (CT-1) e (CT-2) apresentam os mesmos valores os quais são superiores em apenas 0,07 °C quando comparado com a da (CT-3), assim sendo a resistência térmica oferecida pelo conjunto (telha e tinta) é muito próxima quando comparada com resistência térmica da telha.

Verificou-se também que as três células para o período em questão cumprem bem o seu papel quanto ao quesito de conforto térmico, pois para as menores temperaturas aferidas as células se mantêm com temperatura superior a temperatura ambiente.

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da madrugada entre 00:00 e 06:00 horas.



Fonte: Próprios autores, 2019.

Na tabela seguinte são apresentadas para o período da madrugada de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

**Tabela 4: Maiores variações de temperatura para o período da madrugada, entre ambiente e células teste e entre células teste.**

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	2,06	12,3
(TA) e (CT-2)	1,87	11,16
(TA) e (CT1)	1,62	6,67
(CT-3) e (CT-2)	0,25	1,26
(CT-3) e (CT-1)	0,44	2,34
(CT-2) e (CT-1)	0,25	1,26

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

#### 4.2 PERÍODO DA MANHÃ

Para o período da manhã, verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA), as células teste também apresentaram aumento de temperatura. Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período analisado bem como a amplitude térmica.

**Tabela 5: Temperaturas e amplitude térmica para o período da manhã.**

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	27,19	22,75	22,81	24,50
T mínima °C	17,00	18,25	18,50	18,69
Amplitude °C	10,19	4,50	4,31	5,81

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

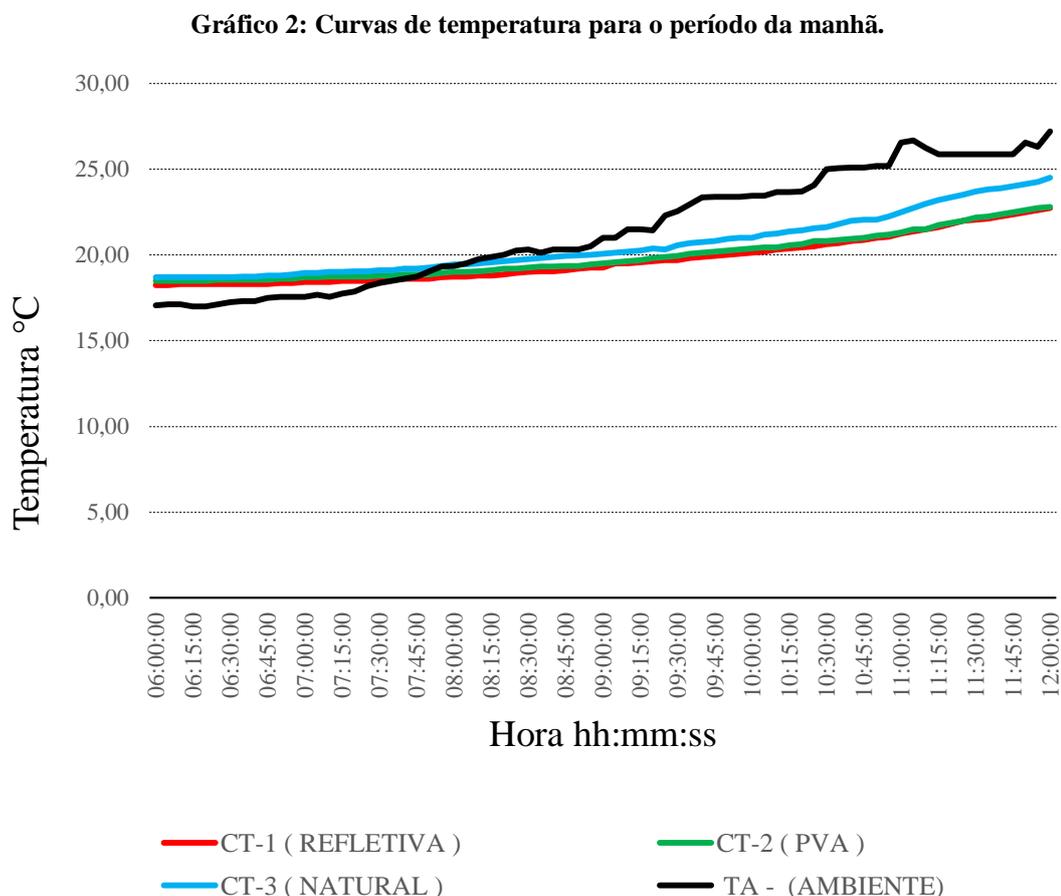
De acordo com análise do gráfico (gráfico 2) mostrado adiante, nota-se considerável aumento de temperatura ambiente (TA), a qual no início do período era menor em relação às temperaturas das células teste, mas rapidamente passa a ser superior. Comparando as diferenças de temperatura entre a (TA) e as células teste verificou-se que, a maior temperatura ambiente (TA) foi superior em 4,06°C em relação a (CT-3) e 5,25°C em relação a (CT-2) e 5,32°C quando

comparado a (CT-1). Essas diferenças são devidas ao aumento rápido da temperatura ambiente e pela resistência térmica da telha.

As temperaturas das células teste também sofrem aumento de temperatura, contudo menor do que o aumento de temperatura ambiente, nota-se uma proximidade muito grande entre as curvas de temperatura das células teste (CT-1) e (CT-2), essas curvas em certos períodos se sobrepõem.

As diferenças de temperatura entre as células (CT-2) e (CT-1) é bastante pequena, não ultrapassando  $0,32^{\circ}\text{C}$ . Comparando a variação de temperatura entre a célula (CT-2) e (CT-3), verificou-se que a temperatura da (CT-3) foi de  $1,69^{\circ}\text{C}$  maior que a da (CT-2). Quando comparada a diferença de temperatura entre a (CT-3) e a (CT-1), notou-se que a primeira apresentou  $1,75^{\circ}\text{C}$  a mais que a segunda. O tratamento com a pintura de cor branca está funcionando como barreira e já se percebe redução da temperatura no interior das células em relação a outra que não teve a telha pintada.

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da manhã.



Fonte: Próprios autores, 2019.

Na tabela seguinte (tabela 6) são apresentadas para o período da manhã, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

**Tabela 6: Maiores variações de temperatura para o período da manhã, entre ambiente e células teste e entre células teste.**

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	4,06	18,00
(TA) e (CT-2)	5,25	24,64
(TA) e (CT1)	5,32	24,89
(CT-3) e (CT-2)	1,69	7,41
(CT-3) e (CT-1)	1,75	7,69
(CT-2) e (CT-1)	0,32	1,69

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

#### 4.3 PERÍODO DA TARDE

Para período da tarde verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA) até as 15:30 horas, após esse horário choveu no local provocando assim decrescimento da temperatura ambiente (TA). As células teste também apresentaram aumento de temperatura seguido por um decrescimento. Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da (TA) foi menor que as das células teste, na comparação de amplitude entre células, a (CT-3) teve maior amplitude seguida pela (CT-1), a menor amplitude foi a da célula (CT-2).

Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período da tarde bem como a amplitude térmica para o período.

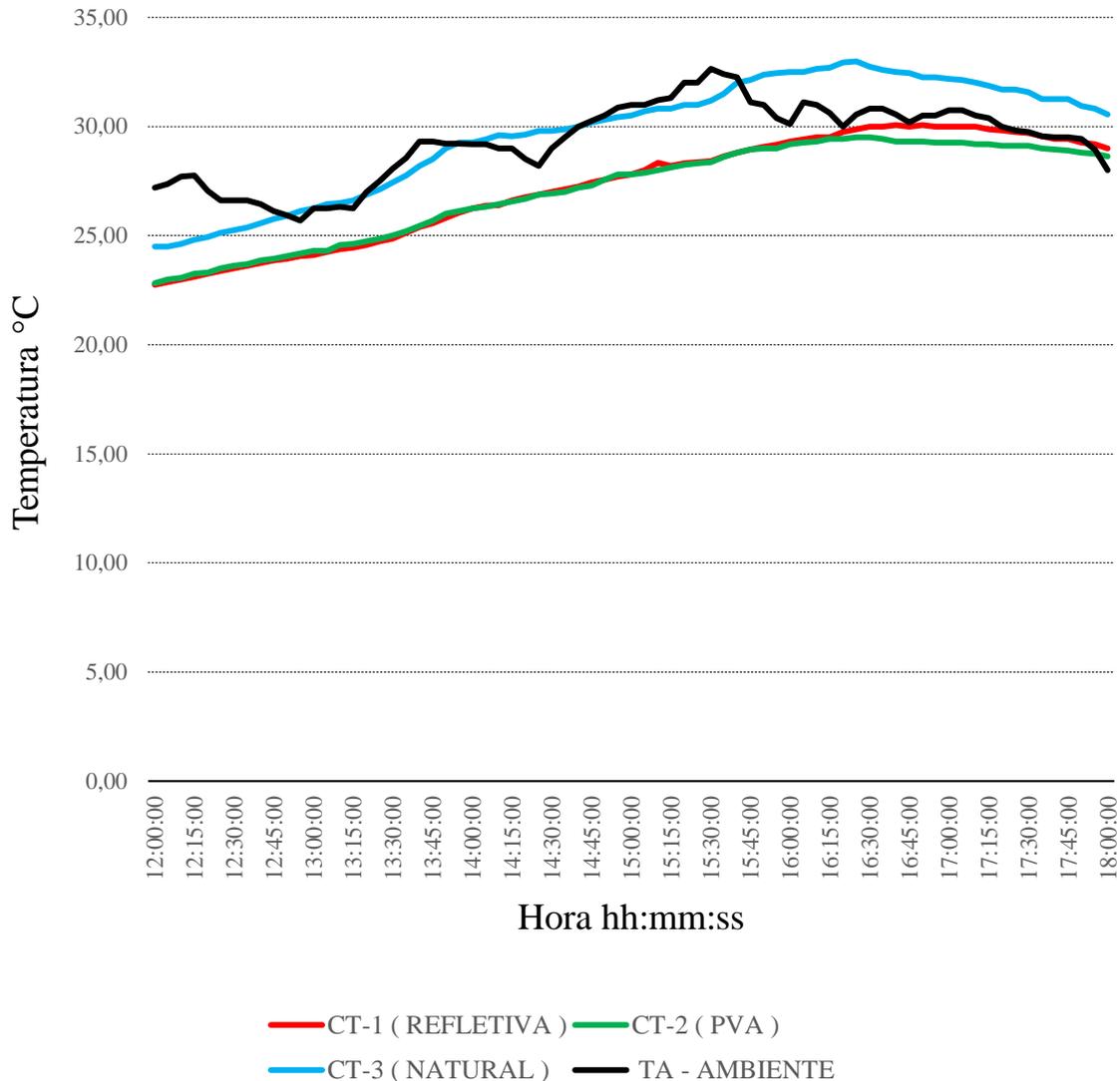
**Tabela 7: Temperaturas e amplitude térmica para o período da tarde.**

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	32,63	30,06	29,69	32,97
T mínima °C	25,69	22,75	22,81	24,50
Amplitude °C	6,94	7,31	6,88	8,47

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da tarde.

**Gráfico 3: Curvas de temperatura para o período da tarde.**



**Fonte: Próprios autores, 2019.**

Pecebeceu-se pela análise do gráfico anterior que há uma grande sinuosidade na curva de temperatura ambiente (TA), o que é explicado pelo fato de que houve nebulosidade e choveu em parte do período. Apesar de haver quebra de continuidade na curva de temperatura ambiente (TA), nota-se que a mesma, quando confrontada com as curvas de temperatura das células (CT-1) e (CT-2) mantém-se acima destas, ou seja a temperatura ambiente (TA) permanece maior que a temperatura das células (CT-1) e (CT-2).

A curva de temperatura ambiente (TA) quando comparada com a curva de temperatura da (CT-3) ora apresenta temperatura superior, ora apresenta temperatura inferior, havendo também pontos onde as temperaturas são iguais. Nesse sentido é válido afirmar que a telha em estado natural não está tendo um bom desempenho térmico no período em questão, pois permite

que a temperatura no interior da célula seja maior que no exterior, podendo causar desconforto ao usuário.

Feita a análise comparativa entre as células teste percebe-se nitidamente que a temperatura da célula (CT-3) mantém-se superior em relação às outras, fato perfeitamente justificável pelo não tratamento com pintura na parte superior externa da telha, nessas condições a telha apresenta menor refletância e conseqüentemente absorve mais calor quando comparada às telhas que receberam pintura de cor branca. Já as temperaturas das células (CT-1) e (CT-2) se mantiveram praticamente no mesmo nível, não havendo diferença significativa até a metade da curva, contudo percebe-se que a temperatura da (CT-2) mantém-se menor do que da (CT-1) no final da tarde (das 15:00 às 18:00) onde a diferença máxima de temperatura entre elas chega a 0,81 °C, na qual a célula (CT-1) está com uma temperatura 2,77% superior a célula (CT-2).

Na tabela seguinte são apresentadas para o período da tarde, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

**Tabela 8: Maiores variações de temperatura para o período da tarde, entre ambiente e células teste e entre células teste.**

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	3,08	12,5
(TA) e (CT-2)	4,64	20,12
(TA) e (CT-1)	4,70	20,43
(CT-3) e (CT-2)	3,50	11,89
(CT-3) e (CT-1)	3,32	11,42
(CT-2) e (CT-1)	0,81	2,77

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

#### 4.4 PERÍODO DA NOITE

Para o período da noite verificou-se queda da temperatura ambiente (TA), o mesmo ocorreu para as células teste. Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da (TA) foi maior que as das células teste, na comparação de amplitude entre células, a (CT-3) teve maior amplitude seguida pela (CT-1), a menor amplitude foi a da célula (CT-2).

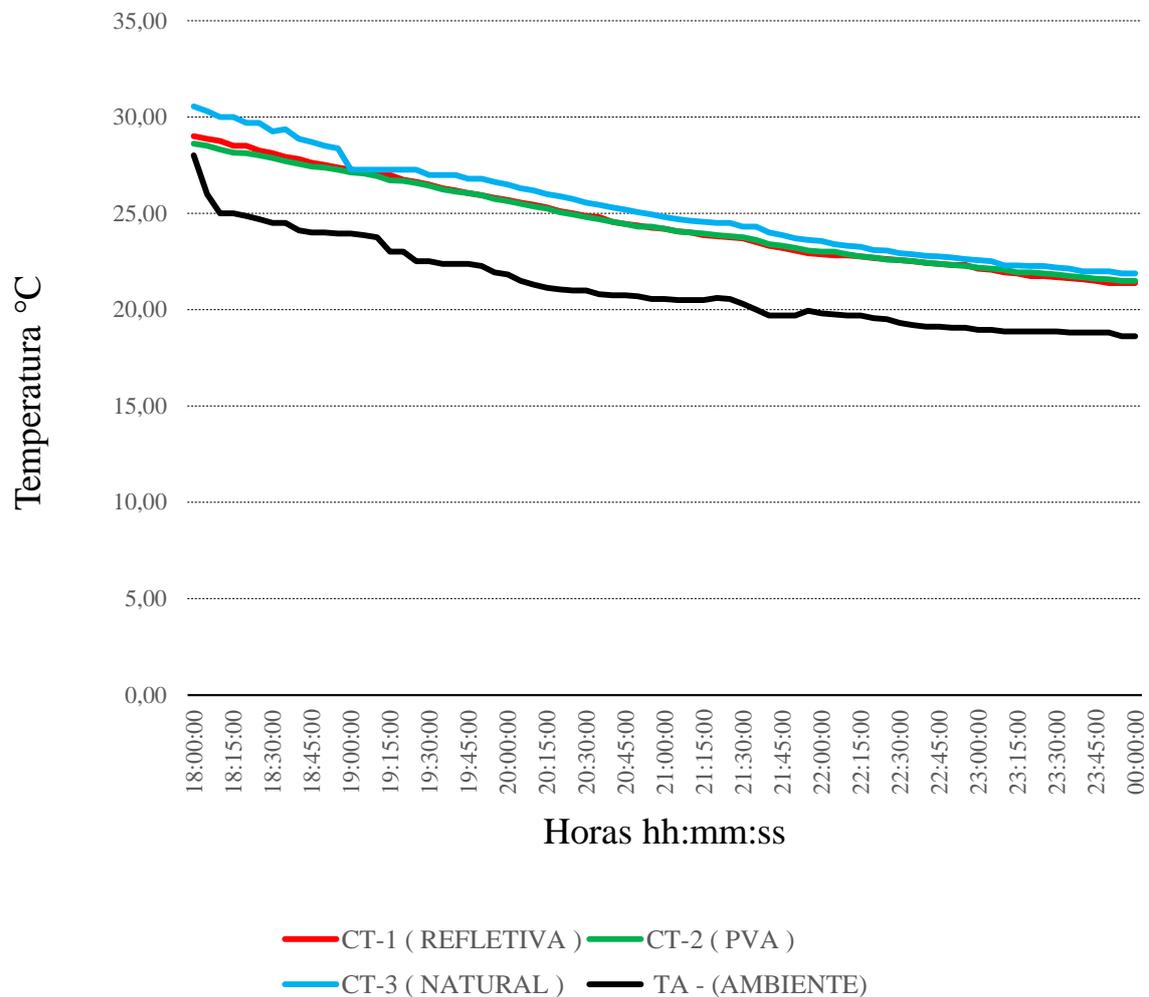
Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período da noite bem como a amplitude térmica correspondente.

**Tabela 9: Temperaturas e amplitude térmica para o período da noite.**

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	28,00	29,00	28,62	30,56
T mínima °C	18,62	21,37	21,50	21,87
Amplitude °C	9,38	7,63	7,12	8,69

Fonte: Próprios autores, 2019.

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da noite.

**Gráfico 4: Curvas de temperatura para o período da noite.**

Fonte: Próprios autores, 2019.

Nota-se que a temperatura ambiente (TA) quando comparada com as temperaturas das células teste, mantém-se menor durante todo o período analisado, havendo uma diferença

considerável de temperatura, onde as temperaturas das células teste se mantém maior, em termos percentuais em no mínimo 8,37% após transcorrido os quinze primeiros minutos do período. Portanto as três células desempenharam bem a sua função quanto ao quesito desempenho térmico, mantendo para o período da noite temperatura superior em relação a temperatura ambiente, propiciando dessa forma conforto térmico, de tal forma que se torna dispensável o uso de condicionador de ar.

As maiores diferenças de temperatura para o período ocorrem quando confrontamos as medidas de temperatura entre a (TA) e a temperatura da (CT-3). As diferenças de temperatura entre a temperatura ambiente (TA) e as células (CT-1) e (CT-2) são praticamente constantes para o período, havendo alternancias sutís na posição que ocupam na curva de temperatura.

Quando comparadas as curvas de temperatura entre as células teste, percebe-se que, a (CT-3) apresenta temperatura superior em relação as outras, quando a comparação é realizada entre as células (CT-1) e (CT-2), percebe-se não haver diferenças significativas de temperatura, infere-se que, o desempenho térmico de ambas para o período é bastante semelhante, onde as trocas térmicas entre o ambiente externo e as células não é influenciado pelo tipo de tinta usada na pintura aplicada na cobertura das células teste.

Na tabela seguinte são apresentadas para o período da noite, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

**Tabela 10: Maiores variações de temperatura para o período da noite, entre ambiente e células teste e entre células teste.**

Ambiente e células	Varição de temperatura (°C)	Varição de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	5,00	20,02
(TA) e (CT-2)	4,13	16,35
(TA) e ( CT1 )	4,19	16,55
(CT-3) e (CT-2)	1,94	6,78
( CT-3) e (CT-1)	1,56	5,38
(CT-2) e (CT-1)	0,45	1,58

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

#### 4.5 PERÍODO DE 24 HORAS

Além da análise por períodos de 6 horas, optou-se por fazer análise referente ao período de 24 horas, visando perceber o comportamento de temperatura do experimento de forma global.

Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período de 24 horas bem como a amplitude térmica correspondente.

**Tabela 11: Temperaturas e amplitude térmica para o período de 24 horas.**

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	32,63	30,06	29,5	32,97
T mínima ° C	16,69	18,25	18,44	18,62
Amplitude °C	15,94	11,81	11,06	14,35

**Fonte: Próprios autores, 2019.**

Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da (TA) foi maior que as das células teste, na comparação de amplitude entre células, a (CT-3) teve maior amplitude seguida pela (CT-1), a menor amplitude foi a da célula (CT-2).

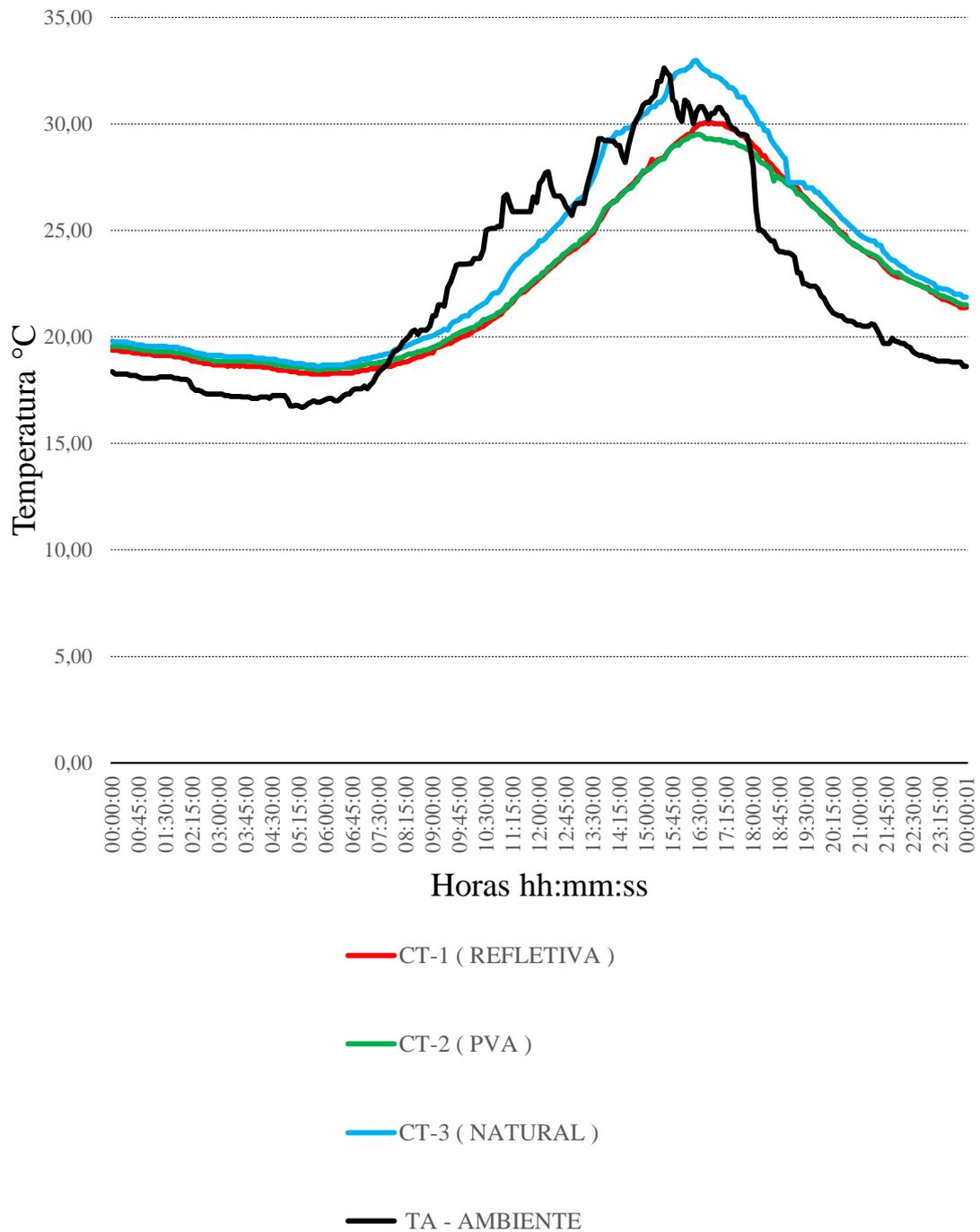
De acordo com análise do gráfico seguinte, notou-se que a temperatura ambiente (TA, durante parte do período do dia (entre 08:00 e 17:00 horas) mantém-se maior do que a temperatura das células (CT-1) e (CT-2). Quando comparada a (TA) com a (CT-3), nota-se temperatura superior da primeira em relação a segunda em aproximadamente metade do período acima mencionado, e há alternância entre temperaturas na segunda metade do período possivelmente devido a nebulosidade e precipitação ocorrida. Durante a noite observou-se inversão do ocorrido durante o dia onde a temperatura ambiente (TA) é menor que a temperatura das células teste.

Percebe-se claramente que temperatura da (CT-3) é superior às temperaturas das células (CT-1) e (CT-2), fica evidente que o tratamento com pintura branca na parte superior externa da telha de fibrocimento é fator condicionante para diminuir a temperatura no interior das células teste.

Comparando os valores de temperatura entre as células (CT-1) e (CT-2) para o período de 24 horas, verificou-se valores muito próximos, onde as curvas de temperatura praticamente se sobrepõem, notou-se discreto aumento de temperatura da (CT-1) em relação a temperatura da (CT-2), contudo a diferença máxima constatada foi de apenas 0,81 °C, fato ocorrido em um lapso temporal não superior a 2 horas.

A seguir apresentamos o gráfico de temperatura em função do tempo para o período de 24 horas.

**Gráfico 5: Curvas de temperatura para o período de 24 horas.**



**Fonte: Próprios autores, 2019.**

Na tabela seguinte são apresentadas para o período de 24 horas, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

**Tabela 12: Maiores variações de temperatura para o período de 24 horas, entre ambiente e células teste e entre células teste.**

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	5,00	20,02
(TA) e (CT-2)	5,25	24,64
(TA) e (CT1)	5,32	24,89
(CT-3) e (CT-2)	3,50	11,89
(CT-3) e (CT-1)	3,32	11,42
(CT-2) e (CT-1)	0,81	2,77

Fonte: Próprios autores, 2019.

#### 4.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Após certos ajustes e correções o *hardware* do sistema de aquisição de dados satisfaz as necessidades do projeto, contudo entendemos que algumas melhorias podem ser realizadas, como melhorar o sistema de encaixe entre os pinos que conectam os sensores de temperatura e a *protobord*, ampliar a quantidade de sensores instalados, além de instalar sensores para aferir a umidade do ar. Dessa forma possibilitando estudar de forma conjunta o comportamento térmico das paredes, cobertura e piso de uma edificação.

Quanto ao *software*, este mostrou-se estável, atendendo as necessidades do projeto. Contudo entendemos que o mesmo pode ser melhorado, elaborando um protocolo para que o sistema seja capaz de comunicar-se com sensores de umidade e com uma rede sem fio e transmitir os dados em tempo real, possibilitando dessa forma, que o usuário tenha acesso aos dados de forma remota.

No tocante aos custos de implementação do sistema, percebe-se que o mesmo é bastante atrativo. Quando comparado o custo total de implementação do sistema com o custo para a aquisição do mais simples sistema automático de aferição e armazenamento de dados (*data loggers*), o primeiro custa até 70% menos que o segundo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, avaliamos através do modelo experimental aplicado, os valores de temperatura interna de três células teste com cobertura feita de telhas de fibrocimento, bem como da temperatura do ambiente que as circundavam. Para que fosse possível uma avaliação e comparação detalhada dos valores de temperatura foi desenvolvido com uso de placa de Arduino e sensores um sistema de aferição de temperatura que permitiu a aquisição de dados simultâneos em intervalos de tempo pré definidos na programação.

Dentre as células uma teve a superfície superior da telha submetida à pintura de cor branca com tinta látex PVA, outra teve a superfície superior da telha submetida à pintura de cor branca com tinta refletiva e a outra não recebeu pintura na telha.

A cobertura de fibrocimento em estado natural, apresentou desempenho térmico insatisfatório, quando comparado com as coberturas que receberam a pintura de cor branca, devido a sua cor mais escura, devido à sua baixa capacidade refletiva.

Tanto a cobertura submetida à pintura de cor branca com tinta látex PVA, quanto a submetida à pintura de cor branca com tinta refletiva, apresentaram desempenho térmico semelhante. Dessa forma pode-se inferir que os compositos usados para proporcionar refletividade a tinta ora analisada, não proporciona aumento no desempenho térmico quando comparado à tinta látex PVA de cor branca.

Fica evidente que o tratamento na telha de fibrocimento com pintura de cor branca, seja ela refletiva ou látex PVA, proporciona conforto térmico aos usuários da edificação, uma vez que para o período mais quente do dia há redução na temperatura interna da mesma, comparada à célula sem pintura, e para o período mais frio a temperatura no interior das células teste se mantém superiores em relação a temperatura ambiente. Assim como afirma Dornelles *et al* (2011), tais resultados demonstraram que pintar a cobertura com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia com sistemas de refrigeração para restabelecer o conforto dos usuários no interior das edificações.

O presente trabalho não quantificou a redução do consumo de energia elétrica usada para condicionamento térmico com aplicação de pintura de cor branca na telha de fibrocimento. Mas é possível dizer que haverá redução, pois para o período onde as temperaturas estavam mais elevadas, a temperatura no interior das células teste que receberam pintura foram inferiores quando comparadas com a da célula que não recebeu pintura. Ou seja, este aspecto está de acordo com o trabalho de Dornelles (2008), no qual ela conclui que o consumo de energia

elétrica para refrigeração pode ser reduzido quando limita-se a quantidade de calor trocado pela cobertura da edificação.

De acordo com os resultados do estudo realizado, no que se refere a escolha entre um dos dois tipos de tinta (látex PVA e refletiva), deve-se optar pela que ofereça o menor custo e boa durabilidade. Contudo estudos a cerca da durabilidade não foram realizados neste trabalho porém servem de fomento para novas investigações. Neste sentido, sugerimos alguns caminhos para futuras pesquisas.

## 5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

No intuito de continuação desse trabalho sugerimos:

- Estender a pesquisa para as demais estações do ano.
- Estender a pesquisa comparando-se outros tipos de tintas.
- O estudo da influência da umidade do ar na avaliação do desempenho e do conforto térmico em edificações térreas.
- Durabilidade das pinturas e sua relação com desempenho térmico nas edificações.
- Avaliação da redução do consumo de energia elétrica para condicionamento térmico com aplicação de diversos tipos de tintas em coberturas.
- Incorporação de resíduos em tintas visando aumentar a capacidade de reter maior quantidade de calor.

## REFERÊNCIAS

**ABRAFATI Informações Gerais Sobre Tintas e Pintura Imobiliária.**

<https://www.abrafati.com.br/noticias-e-artigos/informacoes-gerais-sobre-tintas-e-pintura-imobiliaria/> Acessado em 03/06/2018.

**ABCEMED. Você sabe o que é pneumoconiose?** Disponível em:

<http://www.abc.med.br/p/sinais.sintomasedoencas/811884/voce+sabe+o+que+e+pneumoconiose.htm>, acessado em 30/05/2018.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro 2005.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro 2005.

**BALTHAZAR, R. D. S. A permanência da Autoconstrução: um estudo de sua prática no Município de Vargem Grande Paulista,** Dissertação (Mestrado em Habitat) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BATISTA, J. O; LAMBERTS, R. Classificação do desempenho térmico da casa eficiente: avaliação segundo as normas brasileiras. In: LAMBERTS, R; GHISI, E; PEREIRA, C. D; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico.** Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

BÜTTNER, S.B; DUARTE, D. **Aplicação de desempenho térmico e energético de coberturas em clima tropical continental.** Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ANTAC), Natal, RN, 2009.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, **Dossiê Amianto Brasil**: Relatório do Grupo de Trabalho da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Câmara dos Deputados destinado à análise das implicações do uso do Amianto no Brasil. Brasília, 2010.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2002.

CASTRO, A. P. A. S et al. **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-73, abr./jun. 2003

CASTRO, ADRIANA PETITO DE ALMEIDA SILVA. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. 2006. 223 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

COSTA, ENNIO CRUZ da Física **Aplicada à construção: Conforto Térmico**, editora Blucher, São Paulo 1991.

ÇENGEL. A YUNUS, GHAJAR J. AFSHIN. **Transferência de Calor e Massa uma Abordagem Prática** 4ªed, Porto Alegre – RS, Editora AMGH, 2012.

DORNELLES, Kelen Almeida.; RORIZ, Mauricio. **Métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas**. Encontro nacional de conforto no ambiente construído, 9º; Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007.

DORNELLES, Kelen Almeida **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas SP, 2008.

DORNELLES, Kelen Almeida, CARAM, Rosana Maria, SICHIERI, Eduvsldo Paulo, **Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope**

**construtivo, XII** Encontro Nacional e VII Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído- ENCAC/ELACAC, Paranoá, Brasília 2013.

DORNELLES, Kelen Almeida, RORIZ, Mauricio, RORIZ Victor, CARAM Rosana **Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios**, XI; Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído Búzios, Rio de Janeiro 2011.

DOS SANTOS, ELISIANE IZA, **Comparação de Métodos Para Medição de Absortância Solar em Elementos Opacos**, (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina- RS, 2013.

EPE **Empresa de pesquisa Energética** disponível em:

<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-08/consumo-de-energia-eletrica-no-pais-cresce-11-em-junho-e-04-no-semester> acessado em 12/02/18.

FAZENDA M. R. JORGE. **Tintas Ciência e Tecnologia** 4<sup>a</sup>ed, rev. e ampl., Editora EDIGARD BLUCHER LTDA. São Paulo, SP,2009.

FERREIRA, C. C. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais: contribuição à revisão das normas brasileiras**. Tese (Doutorado) Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

FIGUEIREDO, EDGAR ROMERO HERRERA de. **Condutividade térmica de rochas: Uma aplicação para granitos ornamentais**. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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

GRANJA, Ariovaldo Denis **Transmissão de calor em regime periódico: Efeito da inércia térmica em superfícies opacas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

HALLIDAY; RESNICK; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos de Científicos, 2009.

INMET, **instituto nacional de meteorologia**

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortotermicoHumano>, Acessado em: 29/10/2018.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

ISO 4618:2014 - **Paints and varnishes -- Terms and definitions**. Geneva switzerland 2014.

JARDIM. P. R. S. A, ARAÚJO. V. N. B, MARINHO. G. S, **Análise Comparativa de Desempenho Térmico de Telhas Comerciais**, XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela- RS, 2010.

JARDIM, PATRÍCIA RAFAELLA SALGADO DE ABREU. **Desempenho térmico de coberturas: Um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica**. (Dissertação de mestrado), Natal, RN, 2011.

LAMBERTS.L, ABREU. A.L.P, CARLO. J.C, GHISI. E. **Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LAMBERTS, R. et al. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/UFSC, 2010. 13p

LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; ALBARI, H. **Solar spectral optical properties of pigments** – Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. *Solar Energy Materials e Solar Cells*, 2005

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia Elvira Raffo (Coordenadores). **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre, Editora Sagra-dc Luzzatto, 1992.

MEIRELLES, G. S. P.; KAVAKAMA, J. I.; RODRIGUES, R. T. **Imagem nas doenças ocupacionais pulmonares**. J. Bras, pneumol., São Paulo, 2007.

MENDES, R. **Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da atual política brasileira sobre a questão**. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.

NOVICKI, A. **A física dos equipamentos utilizados em eletrotermofototerapia** Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**, São Carlos, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

POLITO, G. **Principais sistemas de pinturas e suas patologias**, Apostila do departamento de engenharia de materiais e construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima. Condicionamento Térmico Natural**. Porto Alegre Luzzato, 1985.

RODRIGUES, E.H.V **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente, na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcidos.** TESE (DOUTORADO) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, SÃO PAULO, 1998.

SALES, CÍNTIA GOMES. **Fibra de Carauá como Reforço em Matriz Cimentícia para Fabricação de Telhas e Placas de Fibrocimento.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Pará- UFPA, Belém do PA, 2015.

SACRAMENTO FILHO, A. L **Boletim Informativo do Amianto,** Departamento Nacional de Produção Mineral- DNPM, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2007.

SOUZA, ANA CRISTINA INÁCIO, **Avaliação comparativa da refletância solar de tintas para telhas com uso de “pigmento frio” e convencional nas cores cinza claro e escuro,** (Dissertação de mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2018.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., LIVADA, I. **A study of the thermal performance of reflectivecoatings for the urban environment.** Solar Energy, 2005.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., APOSTOLAKIS, K. **On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment.** Solar Energy, 2006.

TEIXEIRA, CARLA FERNANDA BARBOSA. **Análise do desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidos à aspersão de água.** TESE (DOUTORADO) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, SÃO PAULO, 2013.

## APÊNDICE

## APÊNDICE-A

Na tabela seguinte são apresentados o quantitativo de materiais e custos para construção de 03 unidades de célula teste.

**Tabela 13: Materiais e custos para construção de 03 unidades de célula teste**

Quantidade	Material, mão de obra e transporte	Valor R\$
315 unidades	Blocos cerâmicos 09x14x24 cm	141,75
0,8 m <sup>3</sup>	Areia fina de rio	80,00
0,5 m <sup>3</sup>	Areia grossa	50,00
0,25 m <sup>3</sup>	Brita n° 0	30,00
0,25 m <sup>3</sup>	Brita n° 1	30,00
250 kg	Cimento	110,00
06 diárias	Pedreiro	600,00
06 diárias	Ajudante de pedreiro	480,00
03 unidades	Conjunto: porta e portal	Doação*
01 unidade	Telha de fibrocimento 366x110cm x 8mm	67,00
12 unidade	Haste metálica de 30cm para telha	10,80
01 galão 3.600 ml	Tinta látex PVA branca	38,00
01 galão 3.600 ml	Tinta refletiva branca	89,00
20 m	Eletroduto 3 /4"	16,00
03 unidades	Trinco ( porta cadeado )	3,00
01 unidade	Transporte de materiais	21,00
Custo total		1793,55

**Fonte: Próprios autores, 2018.**

Agradecemos a doação do conjunto de porta e portal pela Marcenaria Sagrada Família.

## APÊNDICE-B

Na tabela seguinte são apresentados os materiais e os custos para construção do sistema monitoramento de temperatura.

**Tabela 14: Materiais e custos para construção do sistema de monitoramento.**

Quantidade	Material, mão de obra e transporte	Valor R\$
25 m	cabo de rede	33,75
01 bisnaga 270g	Silicone transparente	15,00
01 unidade	Fita isolante 05m	2,50
01 unidade	Chave touch 2t. 5mm red	0,40
01 unidade	Fonte-Convertor 12v x 1 A	11,50
01 unidade	Placa PROTOBOARD 830 furos	10,60
07 unidades	Resistor 1/4w 220r – cr25	0,42
05 unidades	Resistor 1/4w 4k7 – cr25 –	0,30
01 unidade	Arduino – mega – Atmega 2560	98,00
01 unidade	Módulo RTC – calendário eletrônico ds 1307	11,50
04 unidades	Sensores de temperatura ds18b20	70,00
01 unidade	Módulo cartão “ micro sd” arduino	11,00
01 Pacote com 65 und.	Cabos jumper macho x macho	18,50
01 Pacote com 40 und.	Cabos jumper macho x fêmea	18,00
02 unidades	Módulo RTC ds1307	35,00
02 unidades	Transporte de materiais	36,60
80 horas	Mão de obra	Parceria*
Custo total		373,07

**Fonte: Próprios autores, 2018.**

Ressaltamos que a construção do *hardware* e do *software* foi realizada em parceria com o professor: Me. Eduardo Martins Toledo, o qual somos profundamente gratos.

## APÊNDICE-C

A célula teste CT-1 recebeu pintura em duas demãos, usou-se: tinta PVA de cor branca na parte externa das paredes, a superfície externa do telhado foi pintada em duas demãos empregando-se tinta refletiva de cor branca. A célula teste CT-2 recebeu pintura em duas demãos, usou-se tinta PVA de cor branca na parte externa das paredes, e também na superfície externa do telhado. A célula teste CT-3 recebeu pintura em duas demãos com tinta PVA de cor branca na parte externa das paredes, o telhado não recebeu pintura (ficou em estado natural).

Na tabela a seguir são apresentados os dados de temperatura obtidos pelo sistema de monitoramento para as células teste CT-1, CT,2, CT-3, e do ambiente que as circundam TA.

**Tabela 15: Dados de temperatura.**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	00:00:00	19,37	19,56	19,81	18,37
03/03/2019	00:05:00	19,37	19,56	19,75	18,26
03/03/2019	00:10:00	19,37	19,56	19,75	18,26
03/03/2019	00:15:00	19,31	19,56	19,75	18,25
03/03/2019	00:20:00	19,31	19,50	19,75	18,25
03/03/2019	00:25:00	19,31	19,50	19,75	18,25
03/03/2019	00:30:00	19,31	19,50	19,69	18,19
03/03/2019	00:35:00	19,25	19,44	19,69	18,19
03/03/2019	00:40:00	19,25	19,44	19,62	18,19
03/03/2019	00:45:00	19,25	19,44	19,62	18,12
03/03/2019	00:50:00	19,19	19,37	19,62	18,06
03/03/2019	00:55:00	19,19	19,37	19,56	18,06
03/03/2019	01:00:00	19,19	19,37	19,56	18,06
03/03/2019	01:05:00	19,19	19,37	19,56	18,06
03/03/2019	01:10:00	19,12	19,31	19,56	18,06
03/03/2019	01:15:00	19,12	19,31	19,56	18,06
03/03/2019	01:20:00	19,12	19,31	19,56	18,12

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1	CT-2	CT-3	TA
		Refletiva	Látex Pva	Natural	Ambiente
03/03/2019	01:25:00	19,12	19,31	19,56	18,12
03/03/2019	01:30:00	19,12	19,31	19,56	18,12
03/03/2019	01:35:00	19,12	19,31	19,50	18,12
03/03/2019	01:40:00	19,12	19,31	19,50	18,12
03/03/2019	01:45:00	19,06	19,25	19,50	18,06
03/03/2019	01:50:00	19,06	19,25	19,50	18,06
03/03/2019	01:55:00	19,06	19,25	19,44	18,00
03/03/2019	02:00:00	19,00	19,19	19,44	18,00
03/03/2019	02:05:00	19,00	19,19	19,37	18,00
03/03/2019	02:10:00	18,94	19,12	19,37	17,92
03/03/2019	02:15:00	18,87	19,12	19,31	17,62
03/03/2019	02:20:00	18,87	19,10	19,25	17,50
03/03/2019	02:25:00	18,81	19,00	19,25	17,50
03/03/2019	02:30:00	18,81	19,00	19,19	17,44
03/03/2019	02:35:00	18,75	19,00	19,19	17,37
03/03/2019	02:40:00	18,75	18,94	19,12	17,31
03/03/2019	02:45:00	18,75	18,94	19,12	17,31
03/03/2019	02:50:00	18,69	18,87	19,12	17,31
03/03/2019	02:55:00	18,69	18,87	19,12	17,31
03/03/2019	03:00:00	18,69	18,87	19,12	17,31
03/03/2019	03:05:00	18,69	18,87	19,12	17,31
03/03/2019	03:10:00	18,69	18,87	19,06	17,25
03/03/2019	03:15:00	18,62	18,87	19,06	17,25
03/03/2019	03:20:00	18,69	18,87	19,06	17,21
03/03/2019	03:25:00	18,62	18,87	19,06	17,21
03/03/2019	03:30:00	18,69	18,87	19,06	17,21
03/03/2019	03:35:00	18,62	18,87	19,06	17,21
03/03/2019	03:40:00	18,69	18,87	19,06	17,19

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	03:45:00	18,62	18,87	19,06	17,19
03/03/2019	03:50:00	18,62	18,87	19,06	17,19
03/03/2019	03:55:00	18,62	18,87	19,06	17,12
03/03/2019	04:00:00	18,62	18,87	19,00	17,12
03/03/2019	04:05:00	18,62	18,81	19,00	17,12
03/03/2019	04:10:00	18,62	18,81	19,00	17,19
03/03/2019	04:15:00	18,56	18,81	19,00	17,19
03/03/2019	04:20:00	18,56	18,81	18,94	17,19
03/03/2019	04:25:00	18,56	18,75	18,94	17,12
03/03/2019	04:30:00	18,50	18,75	18,94	17,25
03/03/2019	04:35:00	18,50	18,69	18,94	17,25
03/03/2019	04:40:00	18,44	18,69	18,87	17,25
03/03/2019	04:45:00	18,44	18,69	18,87	17,25
03/03/2019	04:50:00	18,44	18,62	18,87	17,25
03/03/2019	04:55:00	18,44	18,62	18,81	17,06
03/03/2019	05:00:00	18,37	18,62	18,81	16,75
03/03/2019	05:05:00	18,37	18,62	18,75	16,75
03/03/2019	05:10:00	18,37	18,56	18,75	16,81
03/03/2019	05:15:00	18,31	18,56	18,75	16,75
03/03/2019	05:20:00	18,31	18,56	18,75	16,69
03/03/2019	05:25:00	18,31	18,56	18,69	16,75
03/03/2019	05:30:00	18,31	18,50	18,69	16,87
03/03/2019	05:35:00	18,25	18,50	18,69	16,94
03/03/2019	05:40:00	18,25	18,50	18,69	17,00
03/03/2019	05:45:00	18,25	18,44	18,62	16,94
03/03/2019	05:50:00	18,25	18,44	18,62	16,94
03/03/2019	05:55:00	18,25	18,50	18,69	17,00
03/03/2019	06:00:00	18,25	18,50	18,69	17,06

Tabela 14: Dados de temperatura

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	06:05:00	18,25	18,50	18,69	17,12
03/03/2019	06:10:00	18,31	18,50	18,69	17,12
03/03/2019	06:15:00	18,31	18,50	18,69	17,00
03/03/2019	06:20:00	18,31	18,50	18,69	17,00
03/03/2019	06:25:00	18,31	18,56	18,69	17,12
03/03/2019	06:30:00	18,31	18,56	18,69	17,25
03/03/2019	06:35:00	18,31	18,56	18,75	17,31
03/03/2019	06:40:00	18,31	18,56	18,75	17,31
03/03/2019	06:45:00	18,31	18,56	18,81	17,50
03/03/2019	06:50:00	18,37	18,62	18,81	17,56
03/03/2019	06:55:00	18,37	18,62	18,87	17,56
03/03/2019	07:00:00	18,44	18,69	18,94	17,56
03/03/2019	07:05:00	18,44	18,69	18,94	17,69
03/03/2019	07:10:00	18,44	18,75	19,00	17,56
03/03/2019	07:15:00	18,50	18,75	19,00	17,75
03/03/2019	07:20:00	18,50	18,75	19,06	17,87
03/03/2019	07:25:00	18,50	18,75	19,06	18,19
03/03/2019	07:30:00	18,56	18,81	19,12	18,37
03/03/2019	07:35:00	18,56	18,81	19,12	18,50
03/03/2019	07:40:00	18,62	18,87	19,19	18,62
03/03/2019	07:45:00	18,62	18,87	19,19	18,75
03/03/2019	07:50:00	18,62	18,87	19,25	19,06
03/03/2019	07:55:00	18,69	18,94	19,37	19,31
03/03/2019	08:00:00	18,75	19,00	19,44	19,37
03/03/2019	08:05:00	18,75	19,00	19,44	19,50
03/03/2019	08:10:00	18,81	19,06	19,50	19,75
03/03/2019	08:15:00	18,81	19,12	19,56	19,87
03/03/2019	08:20:00	18,87	19,19	19,62	20,00

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	08:25:00	18,94	19,19	19,69	20,25
03/03/2019	08:30:00	19,00	19,25	19,75	20,31
03/03/2019	08:35:00	19,06	19,31	19,81	20,12
03/03/2019	08:40:00	19,06	19,31	19,87	20,31
03/03/2019	08:45:00	19,12	19,37	19,94	20,31
03/03/2019	08:50:00	19,19	19,37	19,97	20,31
03/03/2019	08:55:00	19,25	19,44	20,00	20,50
03/03/2019	09:00:00	19,25	19,50	20,06	21,00
03/03/2019	09:05:00	19,50	19,56	20,12	21,00
03/03/2019	09:10:00	19,50	19,62	20,20	21,50
03/03/2019	09:15:00	19,56	19,69	20,25	21,50
03/03/2019	09:20:00	19,62	19,81	20,37	21,44
03/03/2019	09:25:00	19,69	19,87	20,31	22,31
03/03/2019	09:30:00	19,69	19,94	20,56	22,56
03/03/2019	09:35:00	19,81	20,06	20,69	22,94
03/03/2019	09:40:00	19,87	20,12	20,75	23,37
03/03/2019	09:45:00	19,94	20,19	20,80	23,40
03/03/2019	09:50:00	20,00	20,25	20,94	23,40
03/03/2019	09:55:00	20,06	20,31	21,00	23,40
03/03/2019	10:00:00	20,12	20,37	21,00	23,44
03/03/2019	10:05:00	20,19	20,44	21,19	23,44
03/03/2019	10:10:00	20,31	20,44	21,25	23,67
03/03/2019	10:15:00	20,37	20,56	21,37	23,67
03/03/2019	10:20:00	20,44	20,62	21,44	23,69
03/03/2019	10:25:00	20,50	20,81	21,56	24,06
03/03/2019	10:30:00	20,62	20,81	21,62	25,00
03/03/2019	10:35:00	20,69	20,87	21,80	25,06
03/03/2019	10:40:00	20,81	20,94	22,00	25,10

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	10:45:00	20,87	21,00	22,06	25,10
03/03/2019	10:50:00	21,00	21,12	22,06	25,19
03/03/2019	10:55:00	21,06	21,19	22,25	25,19
03/03/2019	11:00:00	21,25	21,31	22,50	26,56
03/03/2019	11:05:00	21,37	21,50	22,75	26,69
03/03/2019	11:10:00	21,50	21,50	23,00	26,25
03/03/2019	11:15:00	21,62	21,75	23,19	25,87
03/03/2019	11:20:00	21,81	21,87	23,37	25,87
03/03/2019	11:25:00	22,00	22,00	23,50	25,87
03/03/2019	11:30:00	22,06	22,19	23,69	25,87
03/03/2019	11:35:00	22,12	22,25	23,81	25,87
03/03/2019	11:40:00	22,25	22,37	23,87	25,87
03/03/2019	11:45:00	22,37	22,50	24,00	25,87
03/03/2019	11:50:00	22,50	22,62	24,12	26,56
03/03/2019	11:55:00	22,62	22,75	24,25	26,31
03/03/2019	12:00:00	22,75	22,81	24,50	27,19
03/03/2019	12:05:00	22,87	23,00	24,50	27,37
03/03/2019	12:10:00	23,00	23,06	24,62	27,70
03/03/2019	12:15:00	23,12	23,25	24,81	27,75
03/03/2019	12:20:00	23,25	23,31	24,94	27,06
03/03/2019	12:25:00	23,37	23,50	25,12	26,62
03/03/2019	12:30:00	23,50	23,62	25,25	26,62
03/03/2019	12:35:00	23,62	23,69	25,37	26,62
03/03/2019	12:40:00	23,75	23,87	25,56	26,44
03/03/2019	12:45:00	23,87	23,94	25,75	26,12
03/03/2019	12:50:00	23,94	24,06	25,90	25,94
03/03/2019	12:55:00	24,06	24,19	26,12	25,69
03/03/2019	13:00:00	24,12	24,31	26,25	26,25

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	13:05:00	24,25	24,31	26,44	26,25
03/03/2019	13:10:00	24,37	24,56	26,50	26,31
03/03/2019	13:15:00	24,44	24,62	26,62	26,25
03/03/2019	13:20:00	24,56	24,75	26,87	27,00
03/03/2019	13:25:00	24,75	24,87	27,12	27,50
03/03/2019	13:30:00	24,87	25,00	27,44	28,06
03/03/2019	13:35:00	25,12	25,19	27,75	28,56
03/03/2019	13:40:00	25,40	25,44	28,19	29,31
03/03/2019	13:45:00	25,56	25,69	28,50	29,31
03/03/2019	13:50:00	25,81	26,00	29,00	29,21
03/03/2019	13:55:00	26,06	26,12	29,25	29,21
03/03/2019	14:00:00	26,25	26,25	29,25	29,20
03/03/2019	14:05:00	26,37	26,31	29,40	29,20
03/03/2019	14:10:00	26,40	26,44	29,60	29,00
03/03/2019	14:15:00	26,62	26,56	29,56	29,00
03/03/2019	14:20:00	26,75	26,69	29,62	28,50
03/03/2019	14:25:00	26,87	26,87	29,80	28,19
03/03/2019	14:30:00	27,00	26,94	29,80	29,00
03/03/2019	14:35:00	27,12	27,00	29,87	29,50
03/03/2019	14:40:00	27,25	27,19	30,00	30,00
03/03/2019	14:45:00	27,44	27,30	30,19	30,25
03/03/2019	14:50:00	27,56	27,56	30,30	30,50
03/03/2019	14:55:00	27,70	27,80	30,44	30,87
03/03/2019	15:00:00	27,81	27,81	30,50	31,00
03/03/2019	15:05:00	28,01	27,87	30,70	31,00
03/03/2019	15:10:00	28,35	28,00	30,81	31,20
03/03/2019	15:15:00	28,19	28,12	30,81	31,31
03/03/2019	15:20:00	28,31	28,25	31,00	32,00

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	15:25:00	28,37	28,31	31,00	32,00
03/03/2019	15:30:00	28,40	28,37	31,19	32,63
03/03/2019	15:35:00	28,62	28,60	31,50	32,40
03/03/2019	15:40:00	28,81	28,80	32,00	32,25
03/03/2019	15:45:00	28,94	28,94	32,13	31,12
03/03/2019	15:50:00	29,06	29,00	32,38	31,00
03/03/2019	15:55:00	29,16	29,00	32,44	30,37
03/03/2019	16:00:00	29,31	29,19	32,50	30,12
03/03/2019	16:05:00	29,40	29,25	32,50	31,12
03/03/2019	16:10:00	29,50	29,31	32,63	31,00
03/03/2019	16:15:00	29,50	29,44	32,70	30,62
03/03/2019	16:20:00	29,75	29,44	32,94	30,00
03/03/2019	16:25:00	29,87	29,50	32,97	30,56
03/03/2019	16:30:00	30,00	29,50	32,75	30,81
03/03/2019	16:35:00	30,00	29,44	32,60	30,81
03/03/2019	16:40:00	30,06	29,31	32,50	30,56
03/03/2019	16:45:00	30,00	29,31	32,44	30,19
03/03/2019	16:50:00	30,06	29,31	32,25	30,50
03/03/2019	16:55:00	30,00	29,25	32,25	30,50
03/03/2019	17:00:00	30,00	29,25	32,19	30,75
03/03/2019	17:05:00	30,00	29,25	32,13	30,75
03/03/2019	17:10:00	30,00	29,19	32,00	30,50
03/03/2019	17:15:00	29,87	29,19	31,87	30,37
03/03/2019	17:20:00	29,81	29,12	31,70	30,00
03/03/2019	17:25:00	29,75	29,12	31,69	29,81
03/03/2019	17:30:00	29,69	29,12	31,56	29,75
03/03/2019	17:35:00	29,56	29,00	31,25	29,56
03/03/2019	17:40:00	29,44	28,94	31,25	29,50

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	17:45:00	29,44	28,90	31,25	29,50
03/03/2019	17:50:00	29,25	28,81	30,94	29,44
03/03/2019	17:55:00	29,19	28,75	30,81	28,94
03/03/2019	18:00:00	29,00	28,62	30,56	28,00
03/03/2019	18:05:00	28,87	28,50	30,31	26,00
03/03/2019	18:10:00	28,75	28,30	30,00	25,00
03/03/2019	18:15:00	28,50	28,15	30,00	25,00
03/03/2019	18:20:00	28,50	28,12	29,69	24,87
03/03/2019	18:25:00	28,25	28,00	29,69	24,69
03/03/2019	18:30:00	28,12	27,87	29,25	24,50
03/03/2019	18:35:00	27,94	27,31	29,06	24,50
03/03/2019	18:40:00	27,81	27,56	28,87	24,12
03/03/2019	18:45:00	27,62	27,44	28,69	24,00
03/03/2019	18:50:00	27,50	27,37	28,50	24,00
03/03/2019	18:55:00	27,37	27,25	28,37	23,94
03/03/2019	19:00:00	27,25	27,12	27,25	23,94
03/03/2019	19:05:00	27,19	27,06	27,25	23,87
03/03/2019	19:10:00	27,06	26,94	27,25	23,75
03/03/2019	19:15:00	27,00	26,70	27,25	23,00
03/03/2019	19:20:00	26,75	26,69	27,25	23,00
03/03/2019	19:25:00	26,62	26,56	27,25	22,50
03/03/2019	19:30:00	26,50	26,44	27,00	22,50
03/03/2019	19:35:00	26,31	26,25	27,00	22,37
03/03/2019	19:40:00	26,19	26,12	27,00	22,37
03/03/2019	19:45:00	26,06	26,06	26,80	22,37
03/03/2019	19:50:00	25,94	25,94	26,80	22,25
03/03/2019	19:55:00	25,81	25,75	26,62	21,94
03/03/2019	20:00:00	25,69	25,62	26,50	21,81

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	TA Ambiente
03/03/2019	20:05:00	25,56	25,50	26,31	21,50
03/03/2019	20:10:00	25,44	25,37	26,19	21,30
03/03/2019	20:15:00	25,31	25,25	26,00	21,12
03/03/2019	20:20:00	25,12	25,06	25,87	21,06
03/03/2019	20:25:00	25,00	24,94	25,75	21,00
03/03/2019	20:30:00	24,87	24,81	25,56	21,00
03/03/2019	20:35:00	24,80	24,69	25,44	20,81
03/03/2019	20:40:00	24,56	24,56	25,31	20,75
03/03/2019	20:45:00	24,44	24,44	25,19	20,75
03/03/2019	20:50:00	24,37	24,30	25,06	20,69
03/03/2019	20:55:00	24,25	24,30	24,94	20,56
03/03/2019	21:00:00	24,20	24,19	24,81	20,56
03/03/2019	21:05:00	24,06	24,06	24,69	20,50
03/03/2019	21:10:00	24,00	24,00	24,62	20,50
03/03/2019	21:15:00	23,87	23,94	24,56	20,50
03/03/2019	21:20:00	23,80	23,87	24,50	20,62
03/03/2019	21:25:00	23,75	23,81	24,50	20,56
03/03/2019	21:30:00	23,69	23,75	24,31	20,31
03/03/2019	21:35:00	23,50	23,62	24,31	20,00
03/03/2019	21:40:00	23,31	23,40	24,00	19,69
03/03/2019	21:45:00	23,19	23,31	23,87	19,69
03/03/2019	21:50:00	23,06	23,19	23,70	19,69
03/03/2019	21:55:00	22,94	23,06	23,62	19,94
03/03/2019	22:00:00	22,87	23,00	23,56	19,81
03/03/2019	22:05:00	22,81	23,00	23,40	19,75
03/03/2019	22:10:00	22,81	22,87	23,31	19,70
03/03/2019	22:15:00	22,75	22,75	23,25	19,69
03/03/2019	22:20:00	22,69	22,70	23,10	19,56

**Tabela 14: Dados de temperatura**

Data	Hora	Temperaturas °C			TA Ambiente
		CT-1 Refletiva	CT-2 Látex Pva	CT-3 Natural	
03/03/2019	22:25:00	22,62	22,60	23,06	19,50
03/03/2019	22:30:00	22,56	22,56	22,94	19,31
03/03/2019	22:35:00	22,50	22,50	22,87	19,19
03/03/2019	22:40:00	22,44	22,44	22,80	19,12
03/03/2019	22:45:00	22,37	22,37	22,75	19,12
03/03/2019	22:50:00	22,31	22,31	22,70	19,06
03/03/2019	22:55:00	22,31	22,25	22,62	19,06
03/03/2019	23:00:00	22,12	22,19	22,56	18,94
03/03/2019	23:05:00	22,06	22,12	22,50	18,94
03/03/2019	23:10:00	21,94	22,06	22,30	18,87
03/03/2019	23:15:00	21,87	21,94	22,30	18,87
03/03/2019	23:20:00	21,75	21,94	22,25	18,87
03/03/2019	23:25:00	21,75	21,87	22,25	18,87
03/03/2019	23:30:00	21,69	21,81	22,19	18,87
03/03/2019	23:35:00	21,62	21,75	22,12	18,81
03/03/2019	23:40:00	21,56	21,69	22,00	18,81
03/03/2019	23:45:00	21,50	21,60	22,00	18,81
03/03/2019	23:50:00	21,37	21,56	22,00	18,81
03/03/2019	23:55:00	21,37	21,50	21,87	18,62
04/03/2019	00:00:01	21,37	21,50	21,87	18,62

**Fonte: Próprios autores, 2019.**