



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Gabriela Ferreira da Silva

MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE
CÉLULAS TESTE NO PERÍODO CHUVOSO EM PALMAS-TO

Palmas - TO

2019

Gabriela Ferreira da Silva

MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE
CÉLULAS TESTE NO PERÍODO CHUVOSO EM PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Murilo de Pádua Marcolini.

Palmas - TO

2019

Gabriela Ferreira da Silva
MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE
CÉLULAS TESTE NO PERÍODO CHUVOSO EM PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Murilo de Pádua Marcolini.

Aprovado em: 23/05/2019

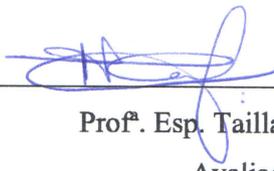
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Murilo de Pádua Marcolini

Orientador

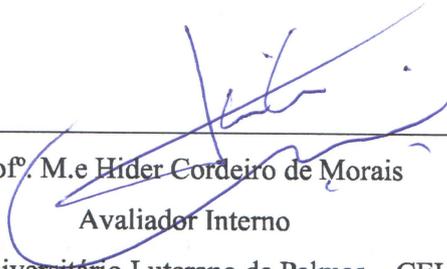
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Tailla Alves Cabral Brito

Avaliador Interno

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.e Hider Cordeiro de Moraes

Avaliador Interno

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTO

Concluindo esse trabalho devo externar meus agradecimentos primeiramente a Deus e a todos que, contribuíram para a sua realização. Devo destacar os meus agradecimentos ao Professor orientador, todo conhecimento transmitido. A minha mãe, irmãos, meu esposo, colegas e amigos pelos incentivos transmitidos durante todo o processo de execução desse trabalho.

RESUMO

SILVA, Gabriela Ferreira da. MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÉLULAS TESTE NO PERÍODO CHUVOSO EM PALMAS-TO. 2019. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Palmas, 2019.

A capital do Tocantins, Palmas, encontra-se em uma região com temperaturas bastante elevadas durante todo o ano e em destaque também no período chuvoso, logo existem problemas térmicos no interior de residências, estabelecimentos comerciais e edificações institucionais, e que acarreta o aumento da demanda de instalação de ar condicionado e conseqüentemente há um elevado consumo de energia. Nesta ótica, justifica-se que sejam estabelecidas no sistema construtivo das edificações as técnicas de ventilação cruzada para renovação do ar, e junto à tinta térmica, minimizar a radiação solar, com propósito em diminuir o gasto de energia ou até mesmo suprir a utilização de ar condicionado. Devido a esses fatores o presente trabalho discute a monitorização das condições higrotérmicas de células teste no período chuvoso em Palmas-TO. Na metodologia foram utilizados três equipamentos, o Hobo, Cerne e os termopares, dividido em quatro campanhas com três estágios de técnicas aplicadas. Os resultados foram mais eficientes com o Hobo, os termopares tiveram interferência eletromagnética no telhado e nas faces externas e implicaram em resultados fora do padrão de temperatura. E teve como objetivo avaliar a aplicação das técnicas de arrefecimento passivo, sendo elas a tinta térmica e a ventilação cruzada. Contudo, com as aferições o estudo mostrou que a tinta térmica teve melhor eficiência no período diurno e a ventilação cruzada durante a noite, e ambas as técnicas trouxe condições satisfatórias ao que tange conforto térmico, condicionando sua utilização nas edificações, conforme a demanda. Destacando, que as técnicas de arrefecimento estudadas neste trabalho, podem ser aplicadas na fase de projetos e implementadas na execução da obra, como também no serviço de reforma da edificação.

Palavras-chave: Arrefecimento passivo, Conforto térmico, Temperatura ambiente, Umidade.

ABSTRACT

SILVA, Gabriela Ferreira da. MONITORING OF THE HYDROTHERMAL CONDITIONS OF TEST CELLS IN THE RAINY PERIOD IN PALMAS-TO. 2019. 70 f. TCC (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas (CEULP / ULBRA), Palmas, 2019.

The capital of Tocantins, Palmas, is located in a region with very high temperatures throughout the year and also in the rainy season, so there are thermal problems inside residences, commercial establishments and institutional buildings, which demand for installation of air conditioning and consequently there is a high consumption of energy. From this point of view, it is justified to establish in the construction system of the buildings the techniques of cross ventilation to renew the air, and together with the thermal ink, to minimize the solar radiation, with purpose in reducing the energy expenditure or even to supply the use of air conditioning. Due to these factors the present work discusses the monitoring of hygrothermal conditions of test cells in the rainy season in Palmas-TO. In the methodology were used three equipment, Hobo, Cerne and thermocouples, divided in four campaigns with three stages of applied techniques. The results were more efficient with the Hobo, the thermopores had electromagnetic interference in the roof and in the outer faces and implied results outside the temperature standard. The objective of this study was to evaluate the application of passive cooling techniques, such as thermal ink and cross ventilation. However, with the measurements the study showed that the thermal ink had better efficiency in the daytime and the cross ventilation at night, and both techniques brought satisfactory conditions to thermal comfort, conditioning their use in the buildings, according to the demand. Emphasizing that the cooling techniques studied in this work can be applied in the project phase and implemented in the execution of the work, as well as in the building reform service.

Keywords: Passive cooling, Thermal comfort, Ambient temperature, Humidity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cronograma	33
Tabela 2: Campanhas e local de aplicação	33
Tabela 3: Referência e localização dos equipamentos	39
Tabela 4: Temperatura (°C) – Tinta Térmica - Novembro	41
Tabela 5: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica - Novembro	42
Tabela 6: Temperatura (°C) – Tinta Térmica - Dezembro	43
Tabela 7: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica - Dezembro	44
Tabela 8: Temperatura (°C) – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada	45
Tabela 9: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada	46
Tabela 10: Temperatura (°C) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –	47
Tabela 11: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –	48
Tabela 12: Temperatura (°C) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé	49
Tabela 13: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e	50
Tabela 14: Médias das temperaturas ambiente (°C)	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação manta básica em PEBD.....	17
Figura 2: Lã de vidro (ISOVER, 2015).	18
Figura 3: Placas moldadas em EPS	19
Figura 4: Reboco com argamassa térmica.....	20
Figura 5: Pannel de Bagaço de Cana.....	21
Figura 6: Película Refletante aplicada.....	24
Figura 7: Brises aplicados em fachadas.....	25
Figura 8: Sistema de Ventilação residencial	27
Figura 9: Telhado verde com vegetação rasteira.....	29
Figura 10: Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins.....	30
Figura 11: Campus Palmas Universidade Federal do Tocantins-UFT	32
Figura 12: Células Testes instaladas.....	33
Figura 13: Tinta refletora de calor	34
Figura 14: Aberturas para ventilação cruzada	34
Figura 15: Célula C1 com vãos para ventilação interna.....	35
Figura 16: Datalogger Hobo	36
Figura 17: Datalogger Cerne com SD Card e Termopares.....	37
Figura 18: Termopar tipo T utilizados.....	37
Figura 19: Estação Automática INMET, Palmas-TO.....	38
Figura 20: Croqui das Células e Posição dos Equipamentos.....	40
Figura 21: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica - Novembro	42
Figura 22: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica – Novembro –	42
Figura 23: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica - Novembro.....	43
Figura 24: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica - Dezembro	44
Figura 25: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica – Dezembro –	44
Figura 26: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica - Dezembro	45
Figura 27: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada.....	46
Figura 28: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –	46
Figura 29: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada.....	47
Figura 30: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Aberto/fechado .	48
Figura 31: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –	48
Figura 32: Umidade Relativa - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Aberto/fechado	49

Figura 33: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé.....	50
Figura 34: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé –....	50
Figura 35: Umidade Relativa - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé.....	51
Figura 36: Temperaturas ambientes de todas as campanhas	52
Figura 37: Umidades ambientes de todas as campanhas.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Problema de Pesquisa.....	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	Justificativa.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Transmitância Térmica.....	14
2.2	Formas de transmissão de calor	14
2.2.1	Condução.....	14
2.2.2	Convecção	14
2.2.3	Radiação	15
2.3	NBR 15575/2013.....	15
2.4	Definição de conforto térmico.....	16
2.5	Técnicas de Arrefecimento Passivo	16
2.5.1	Isolamentos.....	16
2.5.1.1	Mantas e Placas	17
2.5.1.2	Rebocos com Tratamentos Térmicos	19
2.5.1.3	Materiais Endógenos	20
2.5.2	Materiais de baixa emessividade.....	22
2.5.2.1	Tintas Refletantes	22
2.5.2.2	Películas Refletantes	23
2.5.3	Sombreamento.....	24
2.5.3.1	Brisas Soleil.....	24
2.5.4	Ventilação.....	25
2.5.4.1	Ventilação Cruzada	26
2.5.5	Coberturas	27
2.5.5.1	Telhado Verde	27
2.6	Caracterização climática da região Palmas - TO	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	Localização das Células Testes para Estudo	31
3.2	Células Testes para Estudo.....	32

3.3	Campanhas	33
3.3.1	Campanha 01 – Tinta Térmica	34
3.3.2	Campanha 02 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada.....	34
3.3.3	Campanha 03 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada - Aberto/fechado	35
3.3.4	Campanha 04 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé	35
3.4	Equipamentos	36
3.4.1	Datalogger Hobo	36
3.4.2	Datalogger Cerne e Termopares.....	36
3.4.2.1	Datalogger Cerne.....	36
3.4.2.2	Termopares.....	37
3.4.3	Estação Meteorológica de Palmas-TO	38
3.4.4	Verificação dos Equipamentos.....	39
3.4.5	Posicionamento e Referências dos Equipamentos	39
4	RESULTADOS.....	41
4.1	Campanha 01 – Tinta Térmica	41
4.1.1	Novembro.....	41
4.1.1.1	Temperatura	41
4.1.1.2	Umidade relativa	42
4.1.2	Dezembro	43
4.1.2.1	Temperatura	43
4.1.2.2	Umidade relativa	44
4.2	Campanha 02 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada.....	45
4.2.1	Fevereiro a Março	45
4.2.1.1	Temperatura	45
4.2.1.2	Umidade relativa	46
4.3	Campanha 03 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada - Aberto/fechado	47
4.3.1	Março	47
4.3.1.1	Temperatura	47
4.3.1.2	Umidade relativa	48
4.4	Campanha 04 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé	49
4.4.1	Abril	49
4.4.1.1	Temperatura	49
4.4.1.2	Umidade relativa	50
4.5	Comparativo das Campanhas	51

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1	Sugestões de estudos	55
6	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas está sendo discutida no Brasil e no mundo (HENSEN e LAMBERTS, 2011). A preocupação com as condições de conforto ambiental das edificações vão desde a preservação dos recursos naturais até a fase de concepção. A prática de projetar com enfoque para o desempenho das edificações deve levar em consideração as características culturais e as condições climáticas, assim como os custos ambientais e econômicos (MELHADO, 2001).

Os métodos simplificados, apesar de fornecerem uma ferramenta rápida para a avaliação do desempenho da edificação, podem compreender uma incerteza considerável em seus resultados. Muitas vezes estes métodos podem comprometer o processo de análise da edificação em questão. Já o uso de protótipos para aplicação de técnicas energéticas para avaliar o desempenho exige um conhecimento muito amplo e complexo quando comparado ao método simplificado, porém a utilização deste método possibilita que o efeito de cada fator isoladamente seja analisado, o que nem sempre é possível em um caso real (MARCOLINI, 2018).

Moura *et al.* (2011) afirma que existe pouca literatura no Brasil descrevendo técnicas para aferição de medidas em estudos de variáveis climáticas, o que se busca então é utilizar sensores e protocolos conhecidos internacionalmente. A monitorização de variáveis climáticas (umidade, precipitação, radiação solar, temperatura, entre várias outras) gera base de dados para pesquisas e trabalhos diversos, por sistemas formados com transdutores, sensores e medidores.

No Brasil, o uso de energia para arrefecimento dos edifícios residenciais, apesar de ainda apresentar uma relevância limitada, tem vindo a crescer nos últimos anos. O Tocantins, também corresponde a uma pequena fração do total da energia usada em edifícios residenciais, mas a expansão da instalação de sistemas técnicos para fornecer arrefecimento, se aplica a ventilação cruzada, definidos pela arquitetura.

1.1 Problema de Pesquisa

Com a utilização de técnicas, como Ventilação Cruzada e o uso de Tintas Térmicas, estes são procedimentos viáveis economicamente e que não necessitam da utilização de energia elétrica para funcionarem termicamente, favorecerão de forma satisfatória o bem estar dos usuários de uma edificação?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é, a partir de uma monitorização "in situ", avaliar e quantificar as condições de conforto, com a apresentação de estratégias de reabilitação térmica e energética.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Monitorar durante o período chuvoso em Palmas-TO, de outubro a abril, as técnicas de ventilação cruzada e tintas térmicas. Analisando a temperatura ambiente, temperatura superficial e umidade ambiente.
- Gerar gráficos e tabelas de dados de temperatura ambiente, temperatura superficial e umidade ambiente.
- Apresentar o resultado comparativo de temperatura ambiente, temperatura superficial e umidade entre as duas técnicas, citadas anteriormente.

1.3 Justificativa

As técnicas de arrefecimento passivo, a ventilação cruzada e tinta térmica, foram propostas para aplicabilidade deste estudo, primeiramente devido à facilidade para definir os vãos em projeto e caracterizar a edificação pensando na ventilação natural dentro do ambiente. E segundo, devido à pintura ser um material utilizado com função estética na construção, mas que pode atender duas funções de grande importância para os usuários, suprir a necessidade da estética e também de conforto térmico, com a diminuição de calor e refletância solar na edificação.

Mendes *et al.* (2005), destaca que a preocupação com a eficiência energética passou a vigorar em muitos escritórios de engenharia e arquitetura e principalmente no setor público, que necessitava promover o uso de tecnologias para proporcionar o mesmo serviço consumindo menos energia.

Segundo o Centro Meteorológico de Palmas durante o período chuvoso a temperatura média fica em torno de 32°C. Logo, justifica-se buscar técnicas de arrefecimento que melhore as condições térmicas dentro de uma edificação, visando à economia de energia, conseqüentemente, diminuindo o uso de ar condicionado, que tornar-se prejudicial à saúde respiratória dos residentes.

Para a análise foram utilizados protótipos e técnicas energéticas. Este método exige um conhecimento amplo e complexo, porém é possível que o efeito de cada variável térmica seja analisado isoladamente, o que nem sempre é possível em um caso real.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Transmitância Térmica

A NBR 15220/2005 destaca que a resistência térmica é a dificuldade imposta ao calor ao atravessar um determinado elemento, e a transmitância térmica é a facilidade. Ou seja, a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total.

$U = 1/RT$, sendo que, Transmitância Térmica (U) e Resistência Térmica Total (RT)

Segundo Peralta (2006), as trocas térmicas entre a edificação e o meio podem ocorrer por diferença de temperatura ou por influência da radiação solar. Quando há incidência da radiação solar há sempre um ganho de calor. Ocorrem perdas ou ganhos quando se trata de radiação de onda longa.

2.2 Formas de transmissão de calor

2.2.1 Condução

Peralta (2006) destaca que “a condutividade térmica nas edificações é um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (parede ou telhado) do lado mais quente para o lado mais frio do elemento da edificação. A taxa do fluxo depende da condutividade do material e da espessura do elemento da envoltória em questão”. A condução ocorre em um material sólido através da transferência do calor das moléculas mais quentes para as mais frias simultaneamente.

Rivero (1985) define a condução como a transferência de calor entre dois corpos em contato e com diferentes temperaturas, de modo que o fluxo de calor é direcionado para as áreas de menor temperatura. O volume de calor transferido em cada local depende da diferença entre a maior e a menor temperatura. O regime do fluxo de calor pode ser estacionário, no caso das temperaturas se manterem uniformes, e variável, caso uma das temperaturas varie com frequência.

2.2.2 Convecção

Segundo Peralta (2006), a convecção é um processo de transporte de energia em virtude da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa. Givoni (1998) caracteriza a convecção em dois tipos: natural (causada pela diferença de temperatura) ou forçada. Considerando-se a convecção natural, ocorre quando o ar, após

entrar em contato com uma superfície aquecida, se expande e sobe. Após entrar em contato com uma superfície mais fria, perde calor e ocorre o processo inverso (o ar é resfriado, fica mais denso e desce). O fluxo da transferência de calor depende da diferença de temperatura assim como também da posição da superfície aquecida. O fluxo é maior quando a superfície mais aquecida é o piso, e menor quando o teto é a superfície mais quente.

2.2.3 Radiação

Segundo Peralta (2006), a radiação é considerada um fenômeno superficial, pois a emissão do calor através da radiação ocorre nas moléculas que se encontram a uma distância menor do que 1 μm em relação à superfície (considerando-se o enfoque na análise de edificações). Radiação é definida, como sendo a troca de calor entre dois corpos – a partir da capacidade de emitir e de absorver energia térmica - situados a certa distância. Não é preciso que haja um meio para propagação e pode ocorrer até mesmo no vácuo. Quanto à radiação solar, o comportamento dos materiais é seletivo segundo a radiação incidente, de modo que a quantidade de energia absorvida, refletida e transmitida varia conforme o comprimento de onda (considerando-se os espectros ultravioleta, visível e infravermelho).

2.3 NBR 15575/2013

A norma de Desempenho NBR 15575 trata do desempenho das edificações. Chvatal (2014) destaca que ela não indica como o prédio deve ser construído, mas ao que a edificação deve atender para que tenha o desempenho desejado, independente de seu sistema construtivo. O objetivo da norma é atender às necessidades do usuário, as quais, por sua vez, se traduzem nos seguintes aspectos:

- Segurança (segurança estrutural, contra fogo, no uso e na operação);
- Habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico e luminoso, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico); e
- Sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental).

A NBR 15575 “Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais” (ABNT, 2013), o Regulamento Técnico da Qualidade de eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ -C, 2010) e Residenciais (RTQ-R, 2012). Segundo

Amorim et al. (2014, p. 363): “Essas ferramentas, apesar de tratarem especialmente da concepção de novos edifícios, devem ser utilizadas como diretrizes para avaliação dos edifícios existentes, fornecendo parâmetros para as adequações necessárias”.

2.4 Definição de conforto térmico

De um ponto de vista geral, a sensação de conforto térmico pode ser definida como “o estado de espírito que expressa à satisfação com o ambiente térmico”. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem calor nem frio, não havendo uma temperatura exata que o defina. O conforto térmico resulta das condições de trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente.

Uma das principais exigências para o bem-estar e conforto é manter o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o meio ambiente. Isso implica, para edifícios de habitação, ter como temperatura de referência de conforto 20°C para a estação de aquecimento e 25°C para a estação de arrefecimento. A humidade relativa condiciona, também, o conforto térmico, pois influencia as trocas de calor por evaporação ao nível da superfície do corpo humano. Uma humidade do ar elevada reduz a evaporação do suor e constitui, assim, um constrangimento térmico para os habitantes, principalmente em ambientes com temperatura elevada. Já em ambientes térmicos moderados, a humidade do ar tem uma influência relativamente pequena.

2.5 Técnicas de Arrefecimento Passivo

Com base no entendimento de conforto térmico, serão apresentadas técnicas de arrefecimento passivo que contribuem para adquirir conforto térmico nas edificações. Todas as técnicas já foram estudadas, porém algumas ainda estão em processo de adaptação e deverão ser mais aprofundadas.

2.5.1 Isolamentos

Na construção civil as variáveis climáticas que mais influenciam em relação ao conforto térmico nas edificações são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar é a variável responsável pela troca de calor entre o interior da edificação com o meio externo, a radiação solar é a variável referente ao ganho de calor (GONÇALVES E GRAÇA, 2004).

A construção que busca o arrefecimento passivo, conforto térmico, deve incluir em seu projeto tipos de isolamentos em busca da redução da perda ou ganho de calor, pois este funciona como uma barreira ao fluxo do calor podendo ser utilizado em pisos, paredes e telhados (TALEB, 2014).

2.5.1.1 Mantas e Placas

A categoria de mantas e placas utilizadas compõe as técnicas de isolamento, e manta básica em PEBD pode ser utilizada para proteção térmica e acústica em diversas alvenarias, pois possui baixa condutividade térmica, minimiza a transmissão de calor por condução evitando que o calor externo atinja a face interna que é responsável pelo aquecimento do ambiente. Ela funciona também como atenuadora acústica e pode ser utilizada em espessuras maiores de acordo com a necessidade e desempenho necessário, na Figura 1 pode ser vista a manta (JOONGBO, 2010).



Figura 1: Aplicação manta básica em PEBD

Fonte: Akron Indústria e Comércio de Materiais de Construção Ltda.

Dentre as lãs temos o rolo de lã de vidro (Figura 2), é hidrofugante, revestido numa das faces com papel kraft que atua como barreira contra o vapor, pode ser aplicado em coberturas planas ou inclinadas sem cargas, em isolamento entre divisórias e de sótãos, tetos falsos e tetos rebaixados. Sendo a principal função o isolamento térmico e acústico de lajes de cobertura pelo interior, evitando o aparecimento de condensação em climas frios.



Figura 2: Lã de vidro (ISOVER, 2015).

As vantagens desse revestimento é a melhora da eficácia do isolamento térmico e acústico em construção, fácil manuseio e aplicação devido seu formato em rolo, boa adaptabilidade da lã de vidro a juntas de janelas e pilares, sem deteriorar a qualidade e a durabilidade do produto, uma maior facilidade ao cortar devido as linhas de guia sobre o papel kraft e possui boa acessibilidade em centros comerciais. A lã de vidro é sustentável, pois é um material 100% reciclável, apresenta ainda como característica o não desenvolvimento de micro-organismos por ser um material inerte, possui facilidades quanto a manutenção do desempenho do sistema inalterado durante toda a vida útil do edifício, não se degradada com o tempo. É assim recomendado para a reabilitação de coberturas pelo interior e coberturas ligeiras (ISOVER, 2015).

O EPS é um isolante térmico em placas moldadas em Poliestireno expandido, com alta densidade, é amplamente utilizado na construção civil, podendo ser usado na isolação térmica em lajes sobre camada impermeabilizante, sob telhados (telhas metálicas, fibrocimento, etc.) e como miolo de paredes duplas e divisórias, tanques de água gelada, saunas, câmaras frigoríficas, dutos de ar condicionado, entre outros. Além destes usos o DENVERTEM EPS (Figura 3), possuiu ótima resistência à compressão, podendo também ser utilizado como camada amortecedora, sob piso, em áreas sujeitas a trânsito de veículos e áreas que receberão cargas concentradas sobre impermeabilização. Tem como principais vantagens o fácil manuseio, transporte e estocagem, ser 100% reciclável e inerte, não agredir o meio ambiente, pois não contem em sua composição CFC, boa eficiência na faixa de -20°C a $+85^{\circ}\text{C}$,

resistência a materiais como: cimento, cal, gesso e substâncias como: ácidos diluídos, álcool, tintas e adesivos de base aquosa, não apodrecer, pois não constitui alimento para microrganismos, possui elevada resistência mecânica e estabilidade dimensional, tem baixa absorção e baixa permeabilidade ao vapor d'água, e otimiza a vida útil das impermeabilizações (DENVER, 2014).



Figura 3: Placas moldadas em EPS

Fonte: Marcolini, M. P.

A lã de rocha é um tipo de isolamento que oferece o isolamento térmico e acústico garantindo a eficiência exigida nas legislações europeias, e tem aplicação em Paredes interiores, fachadas, pavimentos, coberturas inclinadas, apresenta proteção anti-incêndios (isolamento de condutas de ar condicionado). Tem como vantagens ser incombustível e estável mecanicamente até à temperatura de 800° C, não liberar gases tóxicos e não provocar alergias, possuir excelente comportamento técnico, apresentar temperaturas de serviço de - 200°C a +80°C, não reter água devido a sua estrutura não capilar, não alterar-se com o passar dos anos, permitir a passagem do ar, recuperar sempre a espessura original após a retirada da força deformadora, proteger o ambiente por não possuir substâncias agressivas ou contaminantes e ser inofensivo para a saúde (FIBROSOM, 2015).

2.5.1.2 Rebocos com Tratamentos Térmicos

A argamassa térmica é um reboco isolante composto de micaxisto isolante, argilas minerais, mica e celuloses que tem como principais usos a isolação térmica em edificações que recebem grande incidência solar ou invernos rigorosos, pisos aquecidos, piscinas, lareiras, reservatórios de água, lajes, estufas climatizadas, saunas, etc. (GRX, 2014).

O Reboco térmico Projetado é uma argamassa seca, que tem em sua fórmula ligantes mistos, agregados especiais de baixíssima densidade (Poliestireno Expandido – EPS) e adições, e é destinada à execução de rebocos na parte exterior e interior da edificação, com a finalidade de isolamento térmico sendo um produto utilizado para aplicação projetada (ISODUR, 2017).

Essa argamassa pode ser utilizada como reboco que proporciona isolamento térmico sendo aplicado em alvenarias de variados tipos (cimento, blocos de cimento ou betão), constituindo o sistema de revestimento isolante que promove o tratamento térmico das paredes envolventes utilizando pano simples e/ou duplo (Figura 4). Pode ser usada ainda como revestimento primário para o enchimento de pavimentos. Ressalta-se que esta não deve ser aplicada a temperaturas ambientes e de suporte inferiores a 5°C e superiores a 30°C, e em tempos quentes e/ou secos ou onde os suportes tenham ação direta de raios solares é necessário umedecer previamente o suporte iniciando a aplicação quando este estiver seco, em seguida molhar diariamente as superfícies durante uma semana para o reboco permanecer úmido, a aplicação em locais de ventos fortes pode provocar fissura neste reboco (ISODUR, 2017).



Figura 4: Reboco com argamassa térmica

Fonte: Marcolini, M. P.

2.5.1.3 Materiais Endógenos

Com a necessidade e enfoque na preservação ambiental, como um dos requisitos para o desenvolvimento sustentável para o ambiente construído é necessário à substituição de materiais sintéticos, vítreos e metálicos para compostos naturais com isso e ainda de forma a construir com mais sustentabilidade e diminuir a demanda de energia com o uso de

condicionadores de ar, a procura por novas tecnologias que utilizem materiais nativos no Brasil como o buriti e os resíduos gerados pelo consumo urbano destes materiais como o bagaço da cana, casca de arroz e resíduos da casca do coco e do babaçu é alvo de pesquisas, buscando maneiras de estes materiais servirem à melhoria no conforto das edificações para substituir materiais usados menos sustentáveis (MARCOLINI, 2018).

O estudo realizado por Carvalho (2012) onde é utilizado bagaço da cana (Figura 5) como painel para revestimento térmico observou por meio de experimentos que este material apresenta baixa densidade e condutividade térmica, tendo como grande potencial como isolante em construções, pode ser utilizado em subcoberturas, regularização de pisos, entre paredes duplas, como preenchimento de pisos elevados e divisórias, e com a função de promover a inércia térmica em ambientes que dela necessitem.



Figura 5: Painel de Bagaço de Cana

Fonte: CI Florestas

Santos e Silveira (2013) concluíram em seus experimentos que o painel de buriti de 2,0 cm e da manta da fibra do coco tem desempenhos térmicos semelhantes ao do poliestireno expandido (EPS), com a vantagem de ser um material renovável, regional e de baixo impacto ambiental. Os resultados também mostraram que as fibras estudadas se comportam melhor que o EPS frente a grandes temperaturas, que no caso variam por volta de 11:00 h da manhã até aproximadamente 15:00 h quando as temperaturas começam a diminuir. A pesquisa mostra que os materiais fibrosos de origem vegetal, como os retirados da palmeira buriti e dos resíduos da casca coco de praia podem ser utilizados como isolantes térmicos, devendo ser aprofundados estes estudos.

2.5.2 Materiais de baixa emissividade

A NBR 15220/2005, caracteriza a emissividade, sendo a capacidade de emitir radiação das superfícies, ou seja, interferir na passagem de calor de uma superfície a outra.

Entre os materiais de baixa emissividade estão as tintas e películas refletantes (Figura 6). São chamados também de cool materials “que apresentam elevadas refletância solar e baixa emitância, contribuindo desta forma para a redução dos ganhos térmicos convectivos e radiativos em ambiente urbano e para a mitigação do heat island effect” que é um fenômeno relacionado com as elevadas temperaturas nos centros urbanos se comparadas às zonas menos habitadas como a zona rural, pois a causa apontada para este é a enorme densidade de edifícios, ausência de espaços verdes e a produção de calor pelas atividades do homem (GONÇALVES, 2014, p. 01).

2.5.2.1 Tintas Refletantes

A tinta térmica elastomérica é um tipo de tinta refletante que tem sua composição à base de resina flexível 100% acrílica combinada com microesferas de cerâmica, sendo um revestimento impermeável que resiste à ação do tempo e aos raios ultravioletas. Possui alto teor de sólidos, alta durabilidade, bom poder de cobertura e de rendimento, foi desenvolvida principalmente para a pintura protetiva reflexiva de telhados, paredes, containers e instalações industriais e comerciais. Apresenta como características positivas funcionar como isolante térmico, reduzindo em até 90% os efeitos dos raios solares, minimizar o calor interno das edificações, reduzindo a temperatura em até 8°C, possuir propriedade refletiva e controle de condensação, funcionar como reparo de rachadura e fissuras internas e externas, como proteção e reduzir os efeitos dos raios UVs, apresentar aderência a diversos tipos de substratos, alta flexibilidade, memória elástica, resistência ao fogo, granizos e aos efeitos da poluição além de alta impermeabilidade (CIN, 2014).

Outra tinta é Biotherm, um revestimento a base de água, acrílico especial de alta refletância com capacidade de refletir grande parte da radiação solar, evitando que esta seja convertida em calor pela estrutura. Possui microesferas cerâmicas ocas que conferem maior refletância e resistência em relação às tintas convencionais. Apresenta como vantagens a alta resistência e rendimento, mínima manutenção, baixo acúmulo de sujeira e mofo, baixa emissão de voláteis orgânicos. Apresenta como limitações o fato de necessitar de tratamento anterior em superfícies metálicas com tratamento galvanizado (BIOMASSA, 2015).

Outra tinta utilizada para isolamento em telhados e coberturas é a GET Tinta Térmica que é um composto impermeável por copolímeros acrílicos, elastômeros e microesferas minerais, pode ser utilizado em superfícies como metais, cerâmicas, concretos, madeiras, fibrocimento etc. Diminui até 84% da absorção dos raios UV nos telhados e pode diminuir a temperatura interna do ambiente em até 8°C apresenta vantagens como ter excelente aderência em diferentes superfícies, ser um produto sustentável, por ser à base de água e não liberar solventes orgânicos, formar camada contínua e elástica, possuir fácil aplicação com rolo de lã de carneiro, pincel ou trincha, alta resistência e durabilidade, não formar fungos, possibilidade de lavagem e estar pronto para uso.

Por fim a Thermocin é uma tinta aquosa que apresenta alta refletância solar total e alta emissividade térmica, recomendada para a pintura de telhados e coberturas de edifícios e industriais (CIN, 2014).

2.5.2.2 Películas Refletantes

Segundo especificações técnicas do fornecedor a manta de fibra de vidro atua como isolante térmico nas construções funciona assim graças a sua baixa emissividade de calor (radiação infravermelha). Composta por várias camadas que proporcionam maior durabilidade, estabilidade dimensional e impermeabilidade, tem em sua fabricação o processo de extrusão para a aderência das várias e diferentes camadas de forma que garante a estabilidade da estrutura do produto, prolongando a vida útil do mesmo (DURALFOIL, 2006).

Este tipo de manta é a única subcobertura composta por uma malha de reforço de fios de fibra de vidro entrelaçados, impregnados com polímeros especiais, e revestidos nas duas faces com alumínio, seu uso é recomendado como barreira radiante no calor e no frio e barreira para vazamentos de telhados industriais, residenciais e comerciais. Esta subcobertura deixa a construção mais confortável termicamente no verão e mais aquecida no inverno, diminui o consumo de sistemas de condicionamento térmico, e proporciona melhor aproveitamento de iluminação em galpões e minimizar erros de projeto e instalação (DURALFOIL, 2006).

Outro tipo de manta é a de espuma de poliuretano que é um isolante térmico e impermeável utilizado em telhados constituído de células de ar fechadas que neutralizam as ondas de calor por não permitir a condutibilidade das mesmas. Tem ainda em uma das faces filme de poliéster aluminado que reflete o calor por radiação. Esta subcobertura tem como

vantagens a isolamento térmica no verão, a manutenção do calor ambiental no inverno, evitar a condensação e goteiras nos telhados, reduzir ruídos e deposição de poeira e consumo de energia com equipamento de ar condicionado, possuir alta resistência mecânica, não ser condutora de eletricidade nem desenvolver fungos. A aplicação deve ser realizada por profissionais habilitados para tal execução (CITIMAT, 2010).



Figura 6: Película Refletante aplicada

Fonte: Portal da Acústica

2.5.3 Sombreamento

O sombreamento é a obstrução do raio solar, parcial ou total, realizado por um objeto ou superfície interveniente direcionando esse raio para outra superfície. Para a aplicação do sombreamento é necessário analisar a arquitetura e sua disposição em relação à posição solar, pois a sombra varia de acordo com a posição do sol e posição da superfície escolhida para o sombreamento. Algumas adequações buscam este sombreamento para gerar economias consideráveis ao longo da vida útil da edificação (GEETHA E. VELRAJ, 2012).

2.5.3.1 Brises Soleil

O Brise é um elemento de controle solar na edificação, tendo sua aplicação útil ao conforto térmico desta por impedir que o calor penetre no ambiente, além de ser eficiente na distribuição de iluminação, auxiliar na ventilação e naturalmente diminuir o consumo energético (SILVA E AMORIM, 2013). De forma simples o brise é um protetor solar

(Figuras 7) que segundo Leite e Araujo (2004) podem ser divididos em horizontais, verticais e mistos e quanto à sua mobilidade em fixos ou móveis (LEITE E ARAUJO, 2004, p. 02).

Os brises horizontais são paralelos às fachadas com eixos horizontais e tem maior eficiência no final do período da manhã e começo da tarde (horários em que o sol está “alto”). Os protetores deste tipo móveis por sua maior mobilidade apresentam maior eficiência, no entanto tem alto custo e dificuldade de ser encontrado no mercado como obstáculo.

Protetores fixos estão presos em forma perpendicular à fachada sujeita a proteção, e os móveis podem variar de posição, pois possui mobilidade, este último é mais eficiente já que pode ocorrer mudança de posição de acordo com a incidência do sol, no entanto não é tão difundido e utilizado como os primeiros devido seu alto custo. Há ainda protetores mistos que como o nome já sugere é a combinação de proteção vertical e horizontal (LEITE E ARAUJO, 2004).

Os painéis utilizados nos brises podem ser lisos ou perfurados e quando perfurados tornam possível o contato com o ambiente interno com o externo (AEROSCREEN, 2010).



Figura 7: Brises aplicados em fachadas

Fonte: Sunbreaker Orientable (BSO)

2.5.4 Ventilação

A ventilação natural é uma das técnicas de arrefecimento passivo. Diferenças de temperatura e pressão entre os ambientes, diferenças de temperatura direção e velocidade dos ventos são as principais características utilizadas a favor do arrefecimento (TALEB, 2014).

Para um projeto de ventilação eficiente é necessário observar além das condições climáticas do local os efeitos causados pelas edificações vizinhas, junto com a posição das janelas bem como o projeto interno do edifício (GEETHA E. VELRAJ, 2012).

2.5.4.1 Ventilação Cruzada

O efeito causado pelo movimento do ar, em relação ao conforto térmico, reduz a temperatura que é percebida pelo indivíduo, pois o suor evapora da superfície da pele e ocorrem trocas convectivas entre o corpo e a corrente, podendo aumentar a zona de conforto.

Gonçalves e Graça (2004, p. 09) apontam a importância de estruturas que induzam a ventilação na fase de projeto de uma edificação para o arrefecimento esperado e necessário ao melhor conforto térmico:

A ação do vento deverá também ser tomada em consideração pelo projetista, particularmente naquelas regiões em que o clima apresenta esta característica como muito marcante. A utilização de vegetação para proteção de ventos dominantes que provocam efeitos desconfortáveis nos edifícios, bem como a existência de sistemas de captação do vento e de indução de correntes de circulação de ar para arrefecimento, são estratégias que os projetistas deverão avaliar por forma a selecionarem as que forem mais corretas para o clima do local. Acresce que estes processos são na maioria dos casos os únicos que permitem a renovação do ar interior, necessária por questões de salubridade, e a necessidade de se manter esse mesmo ar num estado higrométrico que possa evitar a ocorrência de condensações interiores. De salientar o importante papel da ventilação natural no Verão, como processo de arrefecimento noturno ou quando tal se torna necessário no sentido de arrefecer o ambiente interior. Mas também não é só no Verão que tal efeito é importante. Nas estações intermédias, Outono e Inverno, a ventilação natural é o processo mais eficiente no controle do sobre/subaquecimento dos edifícios.

Figueiredo (2007) destaca a importância da ventilação não só para o conforto térmico, para esta autora em áreas urbanas a ventilação natural que pode ser utilizada depende de quatro parâmetros: temperatura, vento (forças motrizes), ruído e poluição. “Podemos considerar a ventilação natural como o deslocamento do ar através do edifício por meio de aberturas, umas funcionando como entradas e outras como saídas” (FIGUEIREDO, 2007, p. 39). Allard (2003) aponta dispositivos para a construção ter o arrefecimento pela ventilação natural, sendo: espaço de transição, chaminés, shafts e aberturas frontais (Figura 8).

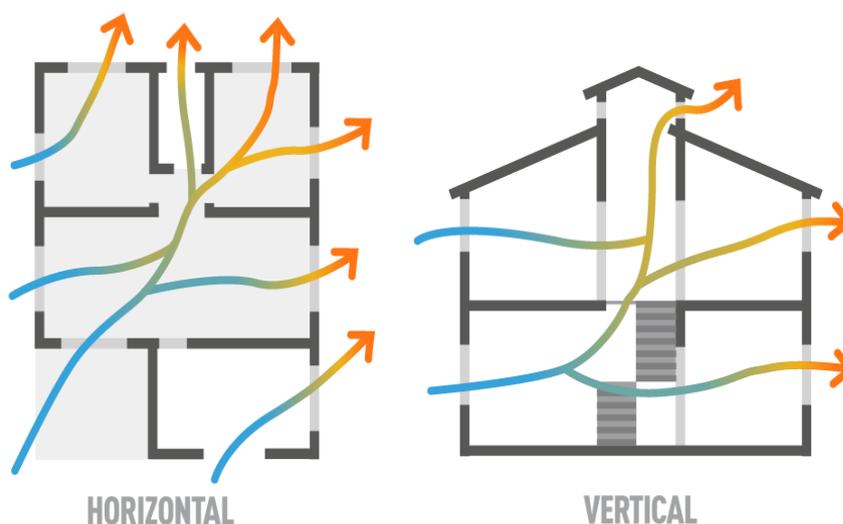


Figura 8: Sistema de Ventilação residencial

Fonte: Grupo MB

2.5.5 Coberturas

Taleb (2014) aponta esta técnica como o melhor método de isolamento para um telhado, e basicamente é um "telhado de edifício coberto por gramíneas ou plantas que se encontram sobre uma membrana impermeável". Considerado um dos principais ganhos de calor em uma edificação, o telhado, se bem isolado reduz significativamente a condução de calor para dentro.

2.5.5.1 Telhado Verde

Liz et al (2016) descreve que a cobertura de uma edificação é sua área mais exposta às radiações, assim é responsável por grande parte da eficiência e desempenho térmico da mesma. Os telhados verdes são também técnicas para melhorar esse desempenho térmico além de ser benéfico ao meio ambiente urbano e podem ser chamados também de cobertura verde ou jardim suspenso, neste sistema construtivo há uma cobertura vegetal que pode ser instalado nos mais variáveis substratos (lajes, telhados convencionais, etc.) (SILVA, 2011).

Silva (2011, p. 13) descreve os benefícios deste tipo de cobertura segundo trabalho de SPANGENBERG (2004):

Segundo Spangenberg (2004) “o custo-benefício da solução compensa.” Em sua pesquisa em convênio com a Universidade de São Paulo “... a utilização em larga escala dos telhados verdes poderia reduzir 1oC ou 2oC a temperatura nas grandes cidades.”

Após a instalação de uma cobertura verde em uma laje, a temperatura da superfície reduz cerca de 15°C influenciando no conforto térmico dos ambientes e, dependendo do tipo de telhado, da vegetação e da capacidade da área, a redução de carga térmica para o ar condicionado se aproxima de 240 kWh/m². (SPANGENBERG, 2004)

São compostos por um sistema vivo onde a transferência de calor depende não só dos materiais como do metabolismo das plantas bem como com “a espessura, densidade e condutividade térmica do solo” também interferem (LIZ et al., 2016, p. 1727). Basicamente estes sistemas compreendem “o componente estrutural, camada impermeabilizante, camada drenante, manta geotêxtil, substrato e cobertura vegetal” (LIZ et al., 2016, p. 1727).

Estas coberturas verdes podem ser divididas em extensivas, semi – intensivas e intensivas, sendo as primeiras mais simples (Figura 9), com menor espessura de substrato e as últimas espessuras mais espessas para suportar plantas de maior porte, este necessita de mais manutenção do que aquelas (LIZ et al., 2016).

A vegetação varia desde pequenas plantas a árvores frutíferas e a manutenção exige cuidados específicos, similares à aos empregados num jardim comum. Neste tipo de vegetação, o telhado verde também protege a cobertura da radiação ultravioleta aumentando sua vida útil.

Quanto ao sistema de aplicação e construção existem três tipos basicamente:

A) aplicação contínua que é o mais antigo onde o substrato é aplicado em uma base impermeabilizada com todas as outras camadas;

B) módulos pré-elaborados, que são pequenos módulos já prontos onde o substrato está em uma bandeja rígida e a vegetação já crescida, tem fácil manuseio, aplicação e resultado imediato, algumas empresas já fabricam este tipo em materiais recicláveis como fibra de coco, e este sistema se subdivide em B.1 modular, B.2 alveolar e B.3 laminar;

C) modular que são módulos de material biodegradável e podem ter utilização em coberturas planas ou inclinadas (PEREIRA, 2007).



Figura 9: Telhado verde com vegetação rasteira

Fonte: Bioclimatismo

2.6 Caracterização climática da região Palmas - TO

Palmas é a capital e a maior cidade do estado do Tocantins, localizada na região Norte do Brasil. De acordo com as estimativas de 2017 do IBGE, sua população é de 286.787 habitantes apresentando uma densidade populacional de 102,9 hab/km² (IBGE, 2017).

A temperatura média é de 32°C no período de seca (de abril a setembro) e de 28°C no período de chuvas (de outubro a março). Na região norte do Estado as temperaturas médias são cerca de 3°C mais altas do que na região sul. Existem áreas planas e elevadas, onde o clima é influenciado de maneira marcante pelo relevo, altitude e exposição das serras.

A regionalização climática para o Estado foi realizada pela SEPLAN (2012), a partir do método de Thornthwaite, considerando para isso os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica (evapotranspiração potencial), derivados diretamente da precipitação, da temperatura e dos demais elementos resultantes do balanço hídrico de Thornthwaite – Mather (1955). Foram identificados assim três tipos de clima: · B1wA´a´ - clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada. · C2wA´a´´ - clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada. · C2w2A´a` - clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, evapotranspiração potencial média anual de 1.600 mm, distribuindo-se no verão em torno de 410 mm ao longo dos três meses

consecutivos com temperatura mais elevada. De acordo com o Atlas do Tocantins, a precipitação média anual do Estado varia de 1300 a 2100 mm, sendo que as chuvas não são distribuídas de forma uniforme durante o ano, caracterizando-se assim um inverno com o mínimo de precipitação (seco) e o verão com o máximo (chuvoso). A temperatura média do ar anual apresenta variação entre 25 e 27 °C (SEPLAN, 2012).

Segundo a Figura 10, as temperaturas médias mais amenas ocorrem nos meses de junho (24,92°C) e julho (24,86°C), sendo estes também os meses mais secos registrando valores de precipitação de 11,49 mm e 5,22 mm respectivamente.

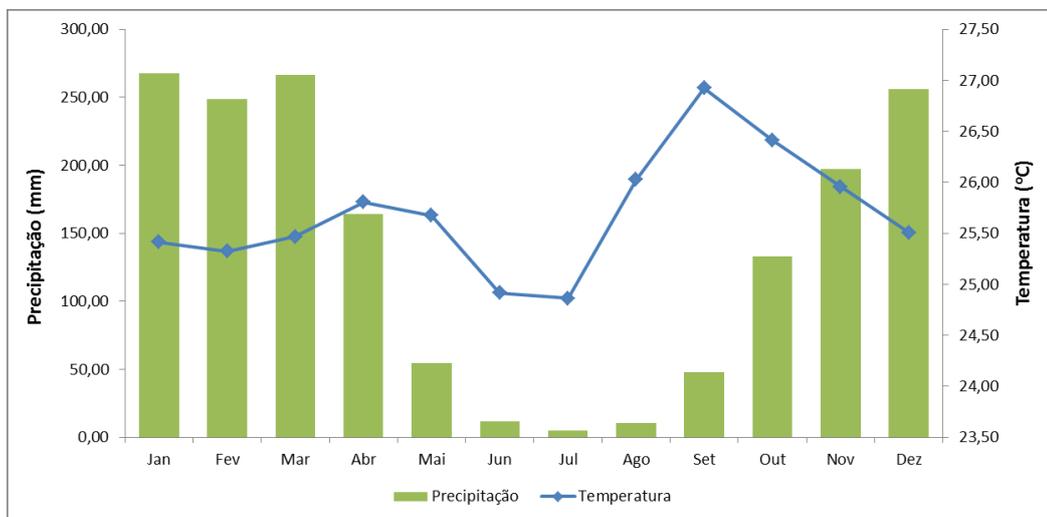


Figura 10: Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins.

Fonte: SEPLAN.

Com relação à pluviosidade, a precipitação média anual deste Estado é de aproximadamente 1662,46 mm tendo seus valores variando entre a máxima de 2427,00 mm e a mínima de 1121,00 mm.

3 METODOLOGIA

Conforme estudado por Marcolini (2018), a metodologia aplicada deu-se em recolher dados internos (espaços interiores) e externos (ambiente exterior do edifício), aferidos por equipamentos in loco, sendo estes equipamentos o HOBO, Datalogger Cerne e Termopares. Após aferição, foi realizado o tratamento e análise dos dados de temperatura ambiente, temperatura superficial e umidade ambiente.

Marcolini (2018) caracteriza a monitorização destas condições importantes para avaliar técnicas de arrefecimento passivo, testando assim tipo de revestimento, como pintura térmica e ventilação cruzada, quanto à sua melhoria no conforto térmico de uma edificação. A escolha da localidade para a realização deste experimento foi a capital Palmas, Estado do Tocantins, com elevadas temperaturas durante todo o ano sendo a busca pelo arrefecimento passivo e consequentemente o menor consumo de energia indispensável ao desenvolvimento sustentável da região.

Para esse efeito, conforme metodologia aplicada no estudo de Marcolini (2018) efetuando-se um levantamento e registro geométrico das características das células estudadas. Foram recolhidos e analisados dados obtidos através de três equipamentos, colocados nos protótipos, durante o período chuvoso. Cada célula era composta por sensores de termopares e também o equipamento hobo, que registraram as temperaturas ambiente e superficial e a humidade relativa, interiores e exteriores.

3.1 Localização das Células Testes para Estudo

A área a ser utilizada para o estudo foi da Universidade Federal do Tocantins – UFT no campus Palmas, atrás do prédio laboratorial do curso de Engenharia Civil.

Na Figura 11 foi enfatizado na cor amarela o prédio laboratorial do curso de Engenharia Civil e na cor vermelha o local onde estão localizadas as duas células teste que serão utilizadas para a realização do experimento.



Figura 11: Campus Palmas Universidade Federal do Tocantins-UFT
Fonte: Autor (2019).

3.2 Células Testes para Estudo

Para o estudo foram construídas duas células idênticas (Figura 12) pela empresa BM Engenharia, uma paralela a outra, as quais foram a base para a análise comparativa dos dados levantados. Portanto, as células foram executadas com tamanho de 2,4 x 2,4 x 2,4m, piso de concreto, paredes feitas de painéis de madeira OSB parte externa e lã de vidro internamente, cobertura de telhas termo acústica com duas águas, como mostra a Figura 12.

Segundo MARCOLINI, M. P., as duas células foram estudadas antes da aplicação de técnicas para arrefecimento passivo e concluiu que poderiam ser estudadas através de comparativos de dados.

Marcolini, M.P. destaca ainda que a espessura das camadas utilizadas nas paredes das células foram determinadas com base na referencia da resistência térmica das paredes de residências mais usuais na região de Palmas – TO. Sendo que, na maioria dos casos, as paredes de tijolo cerâmico furado com espessura de 9 cm e reboco interno e externo de aproximadamente 3 cm de espessura, com resistência térmica de $0,45 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. E o material OSB e lã de vidro utilizados nas paredes das células testes, foram utilizados devido a rapidez na execução, com resistência térmica pouco superior a alvenaria, sendo de $0,61 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$



Figura 12: Células Testes instaladas

Fonte: Autor (2019).

3.3 Campanhas

O período de aferição de cada campanha foi de acordo com a Tabela 1, que trata do cronograma trabalhado. A Tabela 2 caracteriza o local de aplicação, sendo apenas na célula C1.

Tabela 1: Cronograma

CAMPANHAS	MÊS
01- TINTA TÉRMICA	Novembro e Dezembro de 2018
02- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA	Fevereiro de 2019
03- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA 12h/12 h	Março de 2019
04- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA CHAMINÉ	Abril de 2019

Tabela 2: Campanhas e local de aplicação

CAMPANHAS	C1	C2
01- TINTA TÉRMICA	SIM	NÃO
02- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA	SIM	NÃO
03- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA 12h/12 h	SIM	NÃO
04- TINTA TÉRMICA + VENTILAÇÃO CRUZADA CHAMINÉ	SIM	NÃO

3.3.1 Campanha 01 – Tinta Térmica

Durante o período de dois meses, novembro (19 dias) e dezembro (19 dias), de 2018, realizou-se a medição com a técnica de pintura com tinta refletante na cor branca, aplicado na célula C1, em todas as paredes externas e cobertura na parte externa, foram utilizadas 3 demãos da tinta térmica, conforme indicações do fabricante (Figura 13).



Figura 13: Tinta refletora de calor
Fonte: Marcolini, M. P.

3.3.2 Campanha 02 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

Durante 11 dias, no período de 19/02/2019 a 02/03/2019, foi realizada a campanha 02, onde utilizou-se a tinta refletante na cor branca e o sistema de ventilação cruzada, na célula C1. Quanto aos vãos para adquirir a ventilação no interior da célula, consistia em aberturas de 20 x 20 cm, estando uma na parte inferior da fachada leste e a outra na parte superior da fachada oeste, podendo ser vista na Figura 14. Ressaltando que estes vãos, permaneceram abertos durante toda a campanha 02.



Figura 14: Aberturas para ventilação cruzada
Fonte: Autor (2019).

3.3.3 Campanha 03 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada - Aberto/fechado

Durante 14 dias, no período de 06/03/2019 até o dia 20/03/2019, realizou-se a campanha 03, que teve como objetivo analisar a ventilação durante a noite, com os vãos de 20 x 20 cm abertos das 18 h as 8 h, e em contrapartida mantendo os vãos fechados durante o período diurno, que foi de 8 h as 18 h. Os vãos consistiam em aberturas de 20 x 20 cm, estando uma na parte inferior da fachada leste e a outra na parte superior da fachada oeste, conforme Figura 14. Com isso, aferiu-se levando em consideração a maior funcionalidade da tinta refletante durante o dia e a ventilação durante a noite.

3.3.4 Campanha 04 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé

No período de 05/04/2019 até o dia 17/04/2019, durante 12 dias, realizou-se a campanha 04, onde utilizou-se a tinta refletante na cor branca e o sistema de ventilação cruzada, na célula C1. Quanto aos vãos para adquirir a ventilação no interior da célula, consistia em três aberturas de 20 x 20 cm, estando uma na parte inferior da fachada leste, a outra na parte inferior da fachada oeste, e a terceira abertura no forro, próximo ao centro. Conforme a Figura 15.



Figura 15: Célula C1 com vãos para ventilação interna.

Fonte: Autor (2019).

3.4 Equipamentos

Para aplicabilidade deste trabalho foram necessários equipamentos para aferição de dados, como mostrado posteriormente.

3.4.1 Datalogger Hobo

O Datalogger Hobo (Figura 16) realizou aferição de temperatura e umidade do ambiente, e foi utilizado dois em cada célula estando posicionados a um metro de altura do piso um mais próximo da fachada norte (maior período de contato com sol) e o outro mais próximo da fachada sul (menor período de contato com sol). O equipamento foi programado para fazer aferições em intervalo de tempo de 10 minutos. A precisão do equipamento é de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $\pm 2,5\%$ para umidade do ar (ONSET, 2009). Os 4 (quatro) equipamentos utilizados na análise são de propriedade do Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto-FEUP.

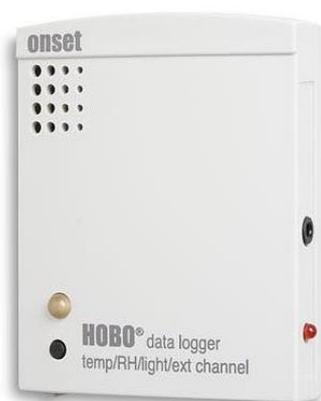


Figura 16: Datalogger Hobo

Fonte: Marcolini, M. P.

3.4.2 Datalogger Cerne e Termopares

3.4.2.1 Datalogger Cerne

Este Datalogger é da marca Cerne e apresenta 20 canais para termopares do tipo T. Para seu funcionamento é necessária uma fonte de alimentação estabilizada de +12V -12V com no mínimo 500 mA de corrente. Para armazenar os dados utilizou-se um cartão de memória SD de no máximo 2Gb (tendo esse que ser formatado antes do uso formato FAT16). Ele possui dois leds sendo o de luz vermelha informando alimentação de energia na placa e o de luz amarela informando que está sendo feita leitura dos canais naquele momento (Figura

17). Para configuração da placa utilizou-se um arquivo com nome CONFIG.TXT onde se armazena no SD CARD e o Datalogger assim consiga processar as constantes de linearização para conversão da tensão proveniente dos termopares para temperatura medida. Configuraram-se ainda outros parâmetros como tempo de aquisição entre uma amostragem e outra, número de canais a ser utilizado, número de aquisições por leitura, offset de temperatura e canais. Sua precisão é de $\pm 1^\circ\text{C}$ (CERNE, SD). Após início da leitura o Datalogger cria um arquivo com nome DADOS.TXT no SD CARD em que se registraram todas as leituras obtidas.

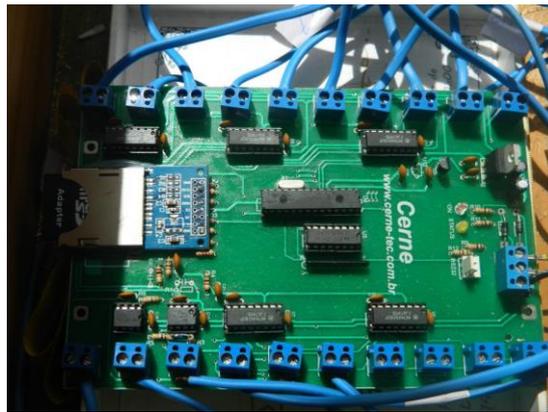


Figura 17: Datalogger Cerne com SD Card e Termopares

Fonte: Marcolini, M. P.

3.4.2.2 Termopares

Foram utilizados 16 cabos termopares do tipo T, cada um possuindo 7 metros de comprimento e espessura de 2,5mm². Sua capa de isolamento é constituída de PVC na cor azul, possuindo dois fios dentro, um de cobre na cor azul e outro consta na cor vermelha (Figura 18). A precisão desses termopares é de $\pm 1,1^\circ\text{C}$ (RBC, 2017). Os termopares são de propriedades da empresa BM Engenharia.



Figura 18: Termopar tipo T utilizados

Fonte: Marcolini, M. P.

3.4.3 Estação Meteorológica de Palmas-TO

Para dados do clima externo foram utilizados dados da estação meteorológica automática administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A estação meteorológica automática (EMA) realiza coleta de minuto em minuto, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que está localizada (Latitude: -10.190744° e Longitude: -48.301811°) em Palmas-TO, a uma distância de 8,5 Km de distância das células na UFT (Figura 19). A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos dados recebidos é validado, através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados, sendo disponibilizados dados de máxima, mínima e do instante da coleta (BRASIL, 2011).

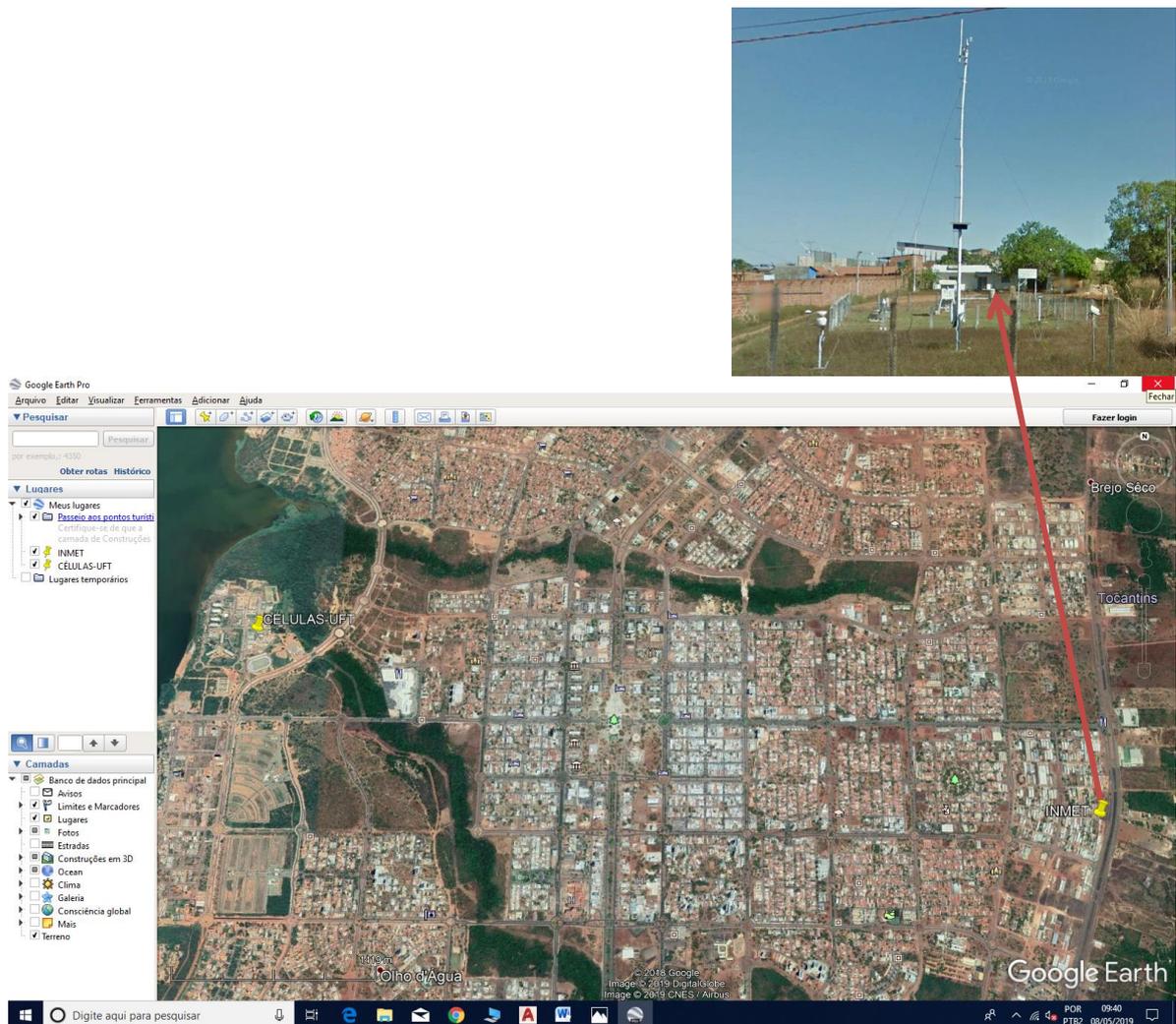


Figura 19: Estação Automática INMET, Palmas-TO.

Fonte: Google Earth

3.4.4 Verificação dos Equipamentos

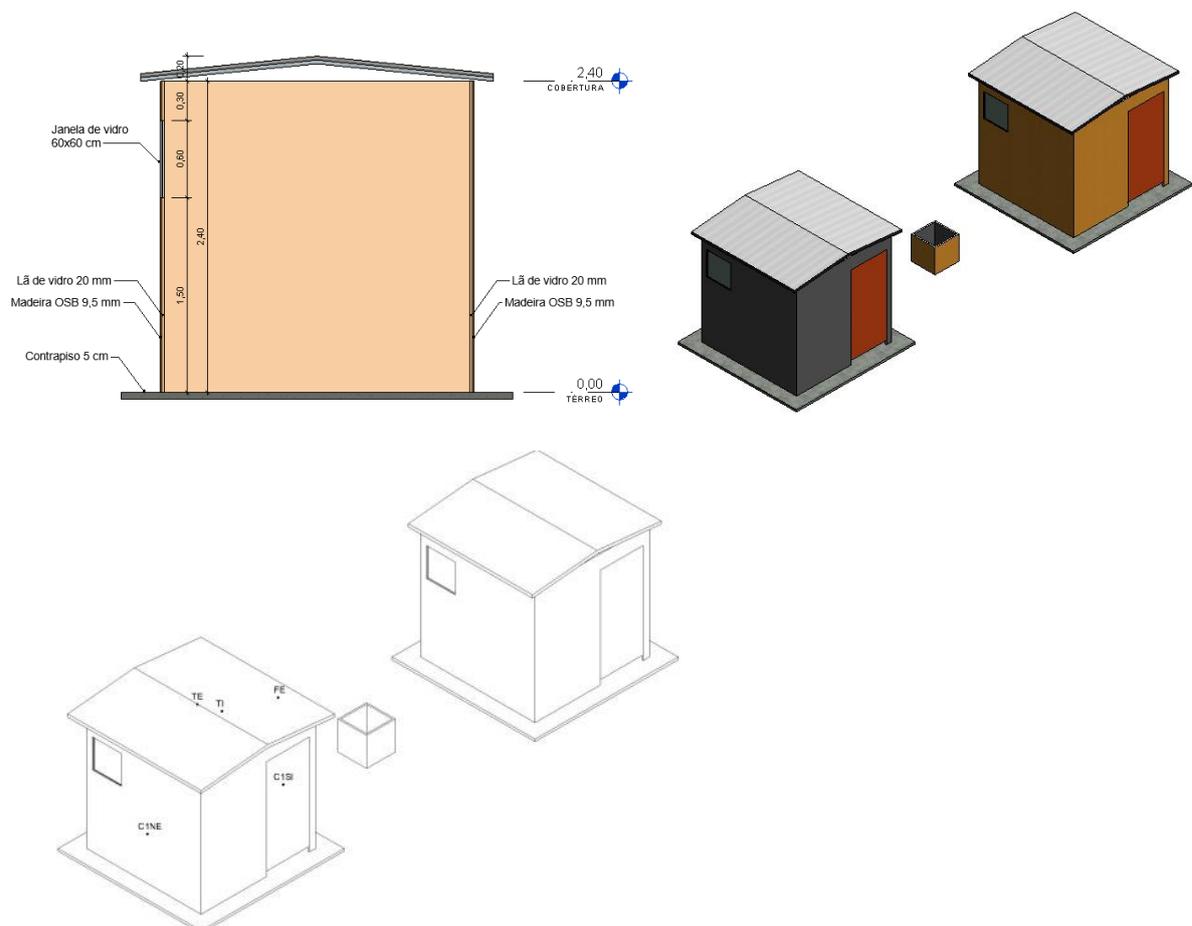
Os equipamentos para análise dos dados foram verificados e calibrados, e também instalados nas células testes pela empresa BM Engenharia.

3.4.5 Posicionamento e Referências dos Equipamentos

Tabela 3: Referência e localização dos equipamentos

Local	Legenda	Local	Legenda
Célula 01 (C1) Forro Exterior	C1FE	Célula 02 (C2) Forro Exterior	C2FE
Célula 01 (C1) Telhado Exterior	C1TE	Célula 02 (C2) Telhado Exterior	C2TE
Célula 01 (C1) Sul Exterior	C1SE	Célula 02 (C2) Sul Exterior	C2SE
Célula 01 (C1) Norte Exterior	C1NE	Célula 02 (C2) Norte Exterior	C2NE
Célula 01 (C1) Telhado Interior	C1TI	Célula 02 (C2) Telhado Interior	C2TI
Célula 01 (C1) Forro Interior	C1FI	Célula 02 (C2) Forro Interior	C2FI
Célula 01 (C1) Sul Interior	C1SI	Célula 02 (C2) Sul Interior	C2SI
Célula 01 (C1) Norte Interior	C1NI	Célula 02 (C2) Norte Interior	C2NI

Conforme Figura 20, segue a locação dos equipamentos no âmbito das células testes, onde foram estudadas e verificadas as condições higrotérmicas, baseando-se na aplicação das técnicas de arrefecimento passivo.



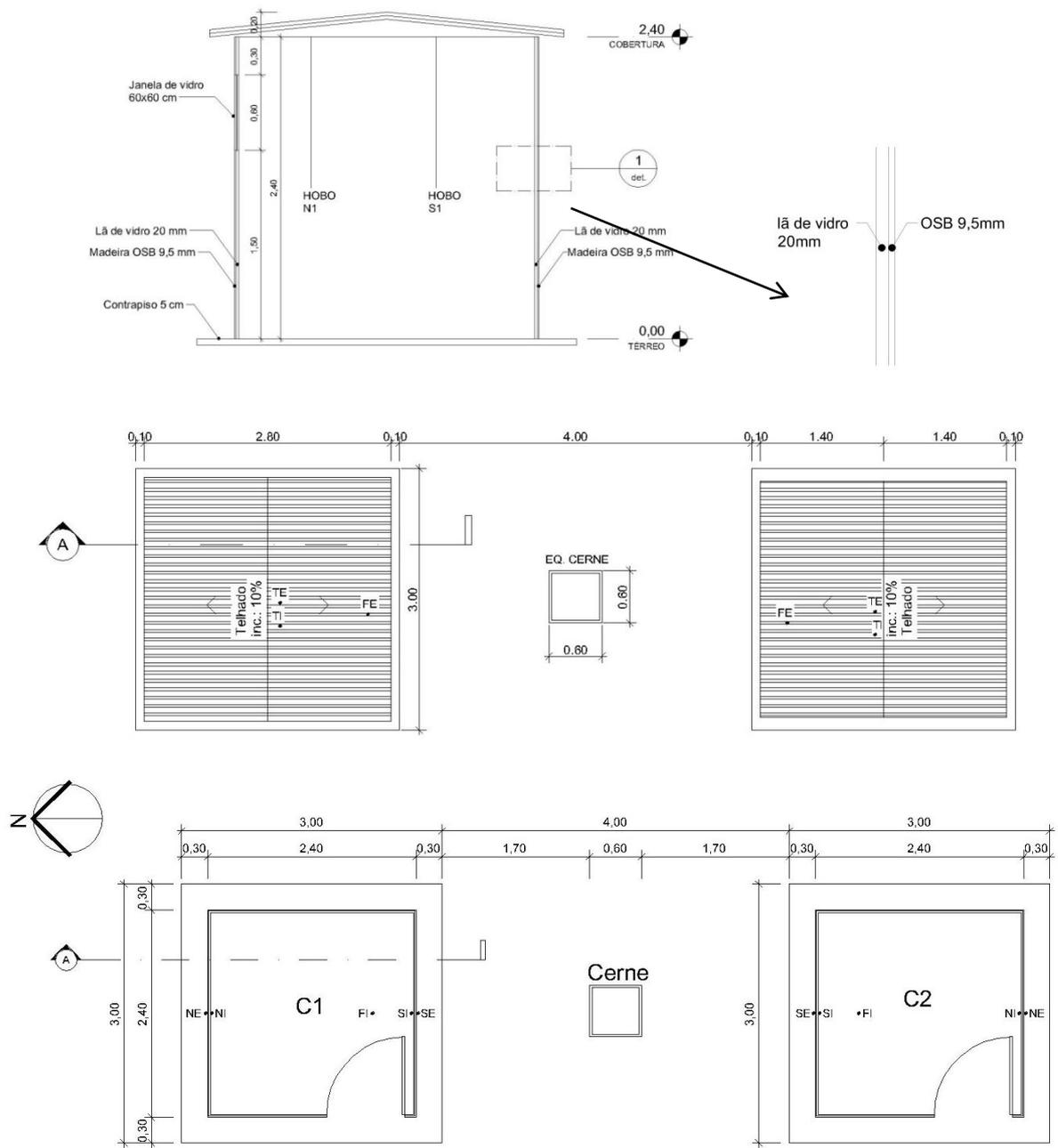


Figura 20: Croqui das Células e Posição dos Equipamentos
 Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS

O estudo foi realizado nas células testes executadas pela BM Engenharia, e foram aplicadas duas técnicas de arrefecimento passivo na célula C1. A célula C2 manteve sem alteração, sendo caracterizada como base comparativa e assim foi possível avaliar a eficiência das técnicas aplicadas ao que tange o conforto térmico.

4.1 Campanha 01 – Tinta Térmica

Durante o período de dois meses, novembro (19 dias) e dezembro (19 dias), de 2018, realizou-se a medição com a técnica de pintura com tinta refletante na cor branca, aplicado na célula C1, em todas as paredes externas e cobertura na parte externa, foram utilizadas 3 demãos da tinta térmica.

4.1.1 Novembro

4.1.1.1 Temperatura

No mês de novembro, durante 19 dias, foram aferidos dados de Temperaturas (°C) no ambiente externo, no ambiente interno da célula C1 e da célula C2. Das temperaturas aferidas a mais elevada, foi da célula C2 (38,31°C) e a menor temperatura ocorreu no meio externo, 21,70°C.

Entre as células, a célula C2 apresentou média de temperatura superior a 1,06°C em comparação a célula C1 como mostra a Tabela 4 e Figura 21.

A Figura 22, caracteriza que dia 16/11/18 no decorrer das 15:00 h, choveu 49 mm e a média da temperatura ambiente na célula C1, foi de 26,59°C, conforme dados do INMET, e no 17/11/18 não houve precipitação durante todo o dia, e no decorrer das 15:00h a temperatura média, foi de 30,65°C.

Tabela 4: Temperatura (°C) – Tinta Térmica - Novembro

	Tinterna (C1)	Tinterna (C2)	Texterna
Máxima	34,70	38,31	36,60
Mínima	23,99	24,56	21,70
Media	27,89	28,95	26,62

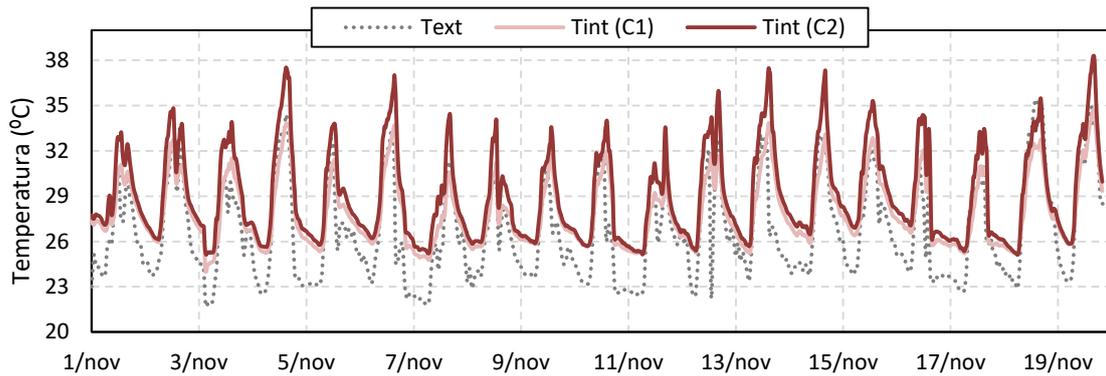
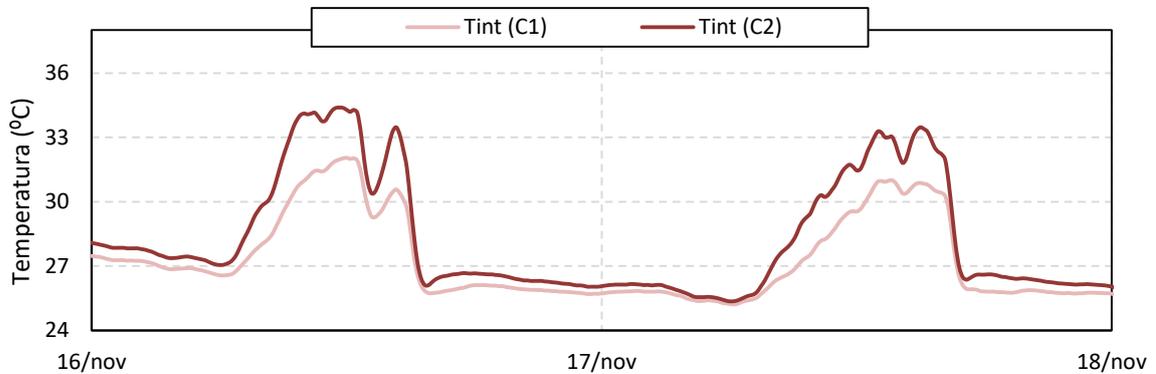


Figura 21: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica - Novembro



**Figura 22: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica – Novembro –
Dia chuvoso e dia sem precipitação**

4.1.1.2 Umidade relativa

A umidade foi preponderante nas duas células, C1 e C2, registrando 100% para novembro de 2018, mas houve variação entre as médias de 12,79% de umidade, comparando a célula C1 e C2. Outro fator relevante foi com base à mínima registrada, sendo 78,51% na célula C1 e 55,48% na célula C2. Como mostra a Tabela 5 e Figura 23.

Tabela 5: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica - Novembro

	Uinterna (C1)	Uinterna (C2)	Uexterna
Máxima	100,00	100,00	94,00
Mínima	78,51	55,48	29,00
Media	95,68	82,89	75,71

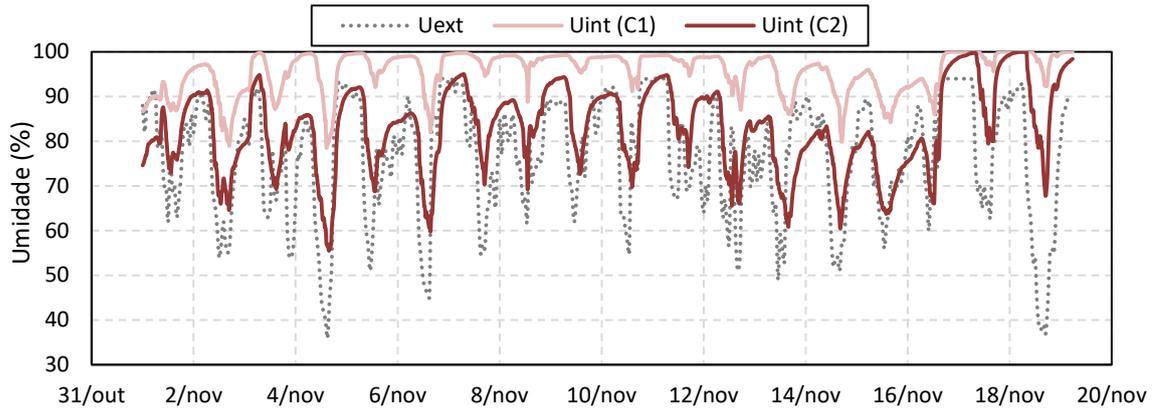


Figura 23: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica - Novembro

4.1.2 Dezembro

4.1.2.1 Temperatura

No mês de dezembro, durante 19 dias, foram aferidos dados de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) no ambiente externo, no ambiente interno da célula C1 e da célula C2. Das temperaturas aferidas a mais elevada, foi da célula C2 ($40,75^{\circ}\text{C}$) e a menor temperatura ocorreu no meio externo, $20,90^{\circ}\text{C}$.

Entre as células, a célula C2 apresentou média de temperatura superior a $1,15^{\circ}\text{C}$ em comparação a célula C1 como mostra a Tabela 6 e Figura 24.

A Figura 25, caracteriza que dia 02/12/18 no decorrer das 10:00 h, choveu 22,4 mm e a média da temperatura ambiente na célula C1, foi de $24,35^{\circ}\text{C}$, conforme dados do INMET, e no 03/12/18 não houve precipitação durante todo o dia, e no decorrer das 10:00h a temperatura média, foi de $28,42^{\circ}\text{C}$.

Tabela 6: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) – Tinta Térmica - Dezembro

	Tinterna (C1)	Tinterna (C2)	Texterna
Máxima	36,01	40,75	36,00
Mínima	23,73	23,63	20,90
Media	27,70	28,85	26,43

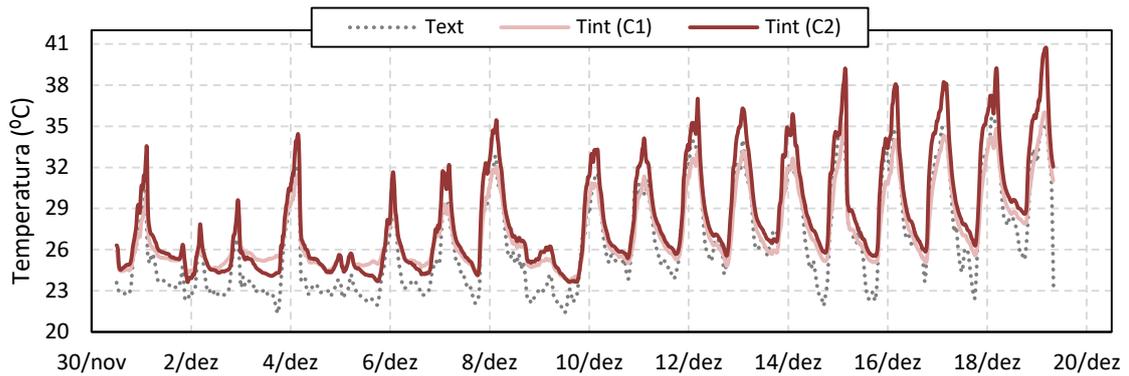
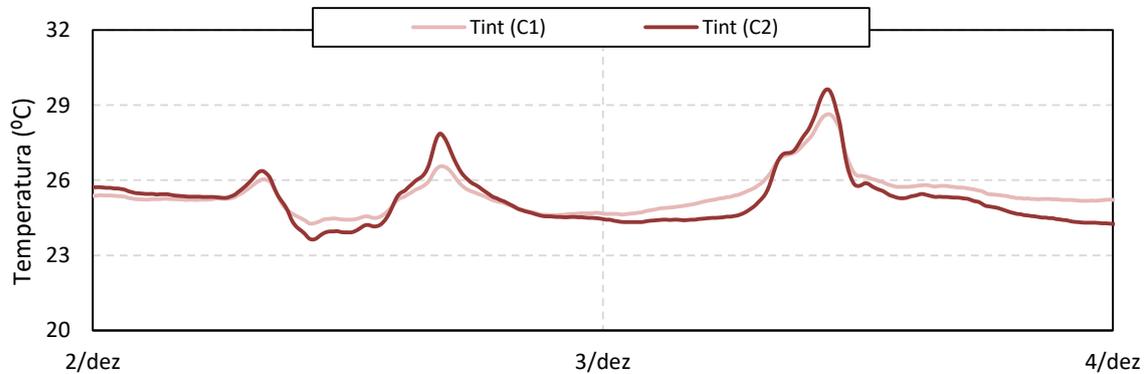


Figura 24: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica - Dezembro



**Figura 25: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica – Dezembro –
Dia chuvoso e dia sem precipitação**

4.1.2.2 Umidade relativa

A umidade foi preponderante nas duas células, C1 e C2, registrando 100% para dezembro de 2018, mas houve variação entre as médias de 12,79% de umidade, comparando a célula C1 e C2. Outro fator relevante foi com base à umidade mínima registrada, sendo 78,51% na célula C1 e 55,48% na célula C2. Como mostra a Tabela 7 e Figura 26.

Tabela 7: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica - Dezembro

	Uinterna (C1)	Uinterna (C2)	Uexterna
Máxima	100,00	100,00	94,00
Mínima	73,52	50,28	32,00
Media	95,03	85,07	72,59

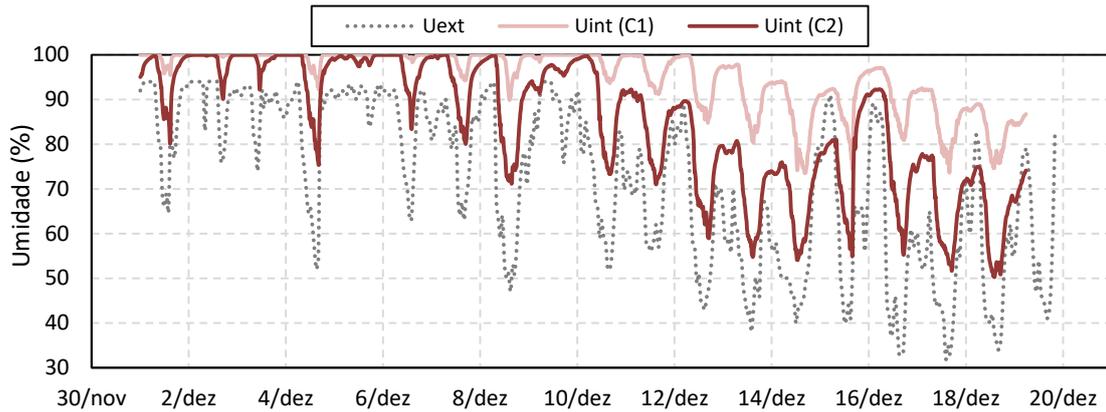


Figura 26: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica - Dezembro

4.2 Campanha 02 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

4.2.1 Fevereiro a Março

4.2.1.1 Temperatura

Entre as células, a célula C2 apresentou média de temperatura superior a $2,27^{\circ}\text{C}$ em comparação a célula C1 como mostra a Tabela 8 e Figura 27.

A Figura 28, caracteriza que dia 27/02/19 no decorrer das 13:00 h, choveu 15,8 mm e a média da temperatura ambiente na célula C1, foi de $28,19^{\circ}\text{C}$, conforme dados do INMET, em contrapartida no 26/02/19 não houve precipitação durante todo o dia, e no decorrer das 13:00h a temperatura média, foi de $30,03^{\circ}\text{C}$.

Tabela 8: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

	Tinterna (C1)	Tinterna (C2)	Texterna
Máxima	32,72	36,93	33,00
Mínima	23,16	24,09	21,30
Media	26,75	29,02	25,76

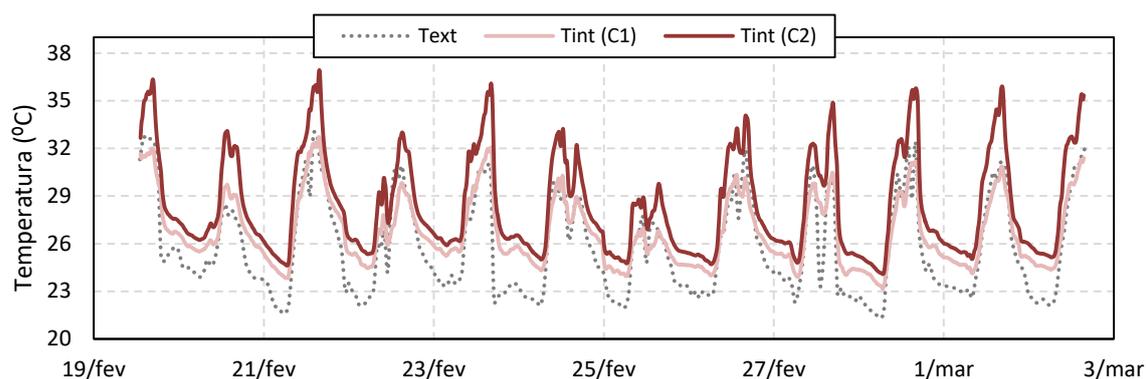


Figura 27: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

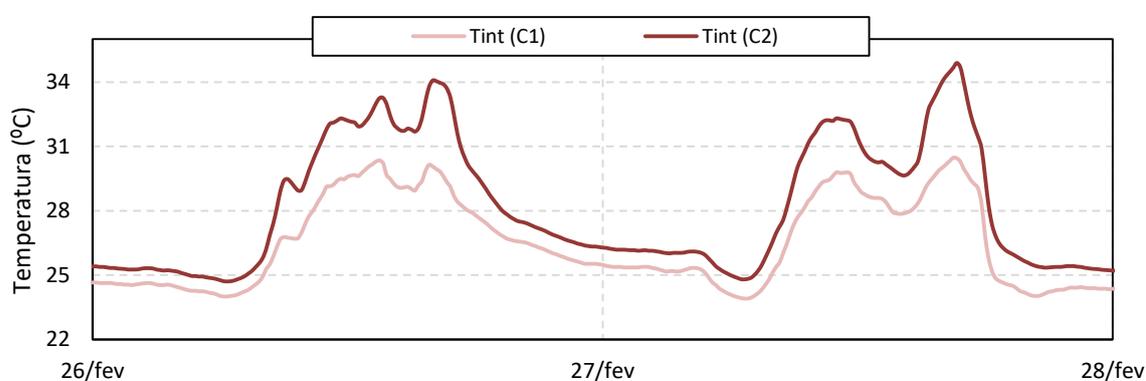


Figura 28: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Dia chuvoso e dia sem precipitação

4.2.1.2 Umidade relativa

A umidade foi preponderante nas duas células, C1 e C2, registrando 100%, em relação às médias a célula C1 apontou valores superiores a C2 e ao ambiente externo, com variação de 5,05% de umidade, entre as células C1 e C2. Outro fator relevante foi com base à umidade mínima registrada, sendo 73,23% na célula C1 e 67,2% na célula C2. Como mostra a Tabela 9 e Figura 29.

Tabela 9: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

	Uinterna (C1)	Uinterna (C2)	Uexterna
Máxima	100,00	97,38	94,00
Mínima	73,23	67,22	50,00
Media	92,76	87,71	80,60

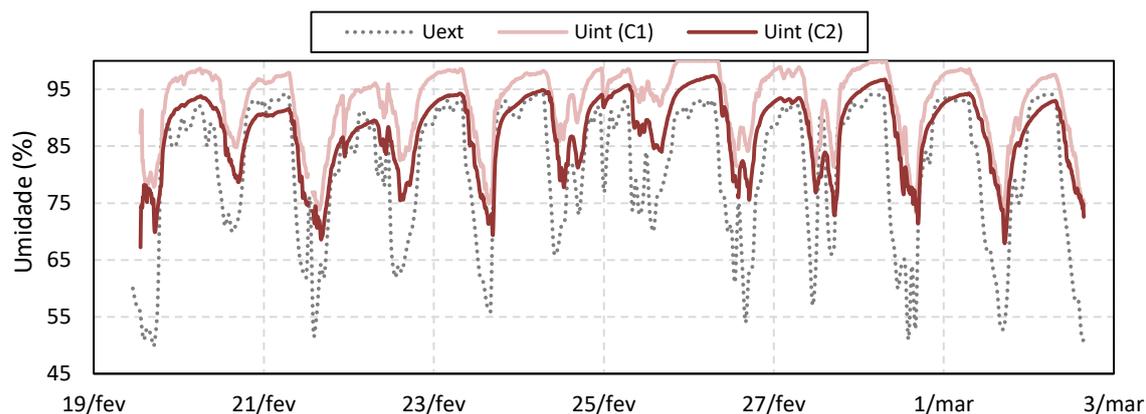


Figura 29: Umidade relativa Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada

4.3 Campanha 03 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada - Aberto/fechado

Durante 14 dias, no período de 06/03/2019 até o dia 20/03/2019, realizou-se a campanha 03, que teve como objetivo analisar a ventilação durante a noite, com as janelas abertas das 18 h as 8 h, e em contrapartida mantendo os vãos fechados durante o período diurno, que foi de 8 h as 18 h. Com isso, aferiu-se levando em consideração a maior funcionalidade da tinta refletante durante o dia e a ventilação durante a noite.

4.3.1 Março

4.3.1.1 Temperatura

Entre as células, a célula C2 apresentou média de temperatura superior a 1,64°C em comparação a célula C1 como mostra a Tabela 10 e Figura 30.

A Figura 31, caracteriza que dia 11/03/19 no decorrer das 16:00 h, choveu 18,2 mm e a média da temperatura ambiente na célula C1, foi de 27,99°C, conforme dados do INMET, em contrapartida no 12/03/19 não houve precipitação durante todo o dia, e no decorrer das 16:00h a temperatura média, foi de 31,23°C.

Tabela 10: Temperatura (°C) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –

	Aberto/fechado		
	Tinterna (C1)	Tinterna (C2)	Texterna
Máxima	33,05	37,55	33,70
Mínima	22,41	23,14	20,80
Media	26,63	28,27	25,73

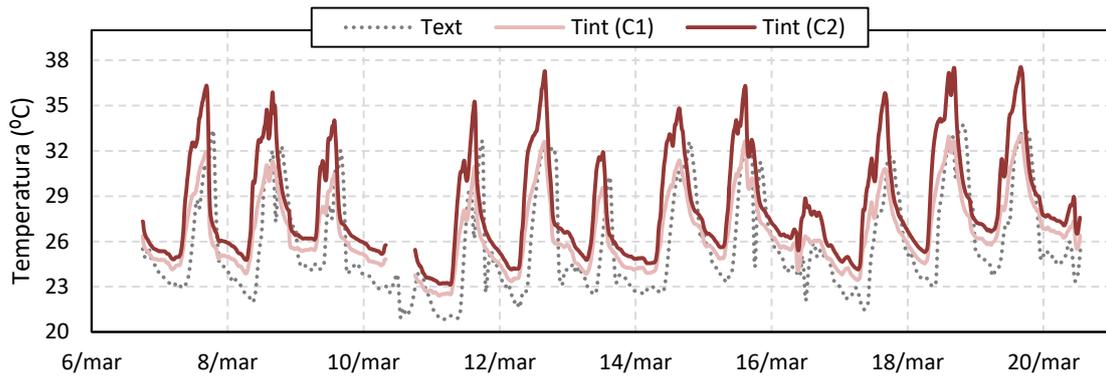


Figura 30: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Aberto/fechado

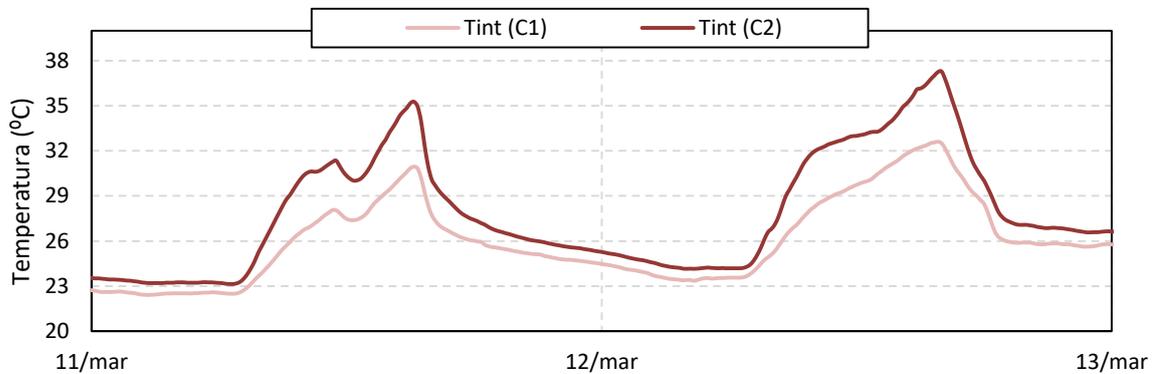


Figura 31: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Aberto/fechado - Dia chuvoso e dia sem precipitação

4.3.1.2 Umidade relativa

A umidade foi preponderante nas duas células, C1 e C2, registrando 100%, em relação às médias a célula C1 apontou valores superiores a C2 e ao ambiente externo, com variação de 7,02% de umidade, entre as células C1 e C2. Outro fator relevante foi com base à umidade mínima registrada, sendo 81,35% na célula C1 e 68,67% na célula C2. Como mostra a Tabela 11 e Figura 32.

Tabela 11: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada –

	Aberto/fechado		
	Uinterna (C1)	Uinterna (C2)	Uexterna
Máxima	100,00	100,00	95,00
Mínima	81,35	68,67	44,00
Media	98,17	91,15	82,39

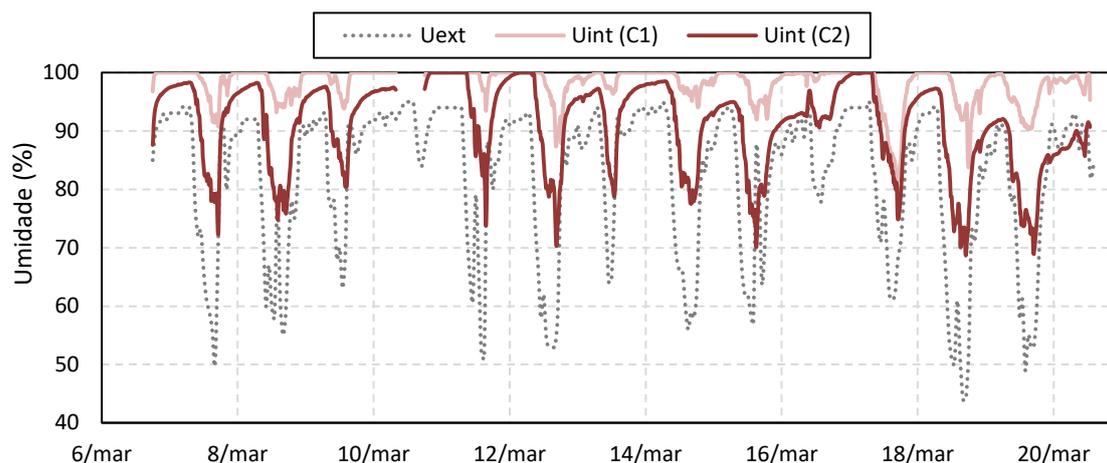


Figura 32: Umidade Relativa - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada – Aberto/fechado

4.4 Campanha 04 – Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé

No período de 05/04/2019 até o dia 17/04/2019, durante 12 dias, realizou-se a campanha 04, onde utilizou-se a tinta refletante na cor branca e o sistema de ventilação cruzada, na célula C1. Quanto aos vãos para adquirir a ventilação no interior da célula, consistia em três aberturas de 20 x 20 cm, estando uma na parte inferior da fachada leste, a outra na parte inferior da fachada oeste, e a terceira abertura no forro, próximo ao centro.

4.4.1 Abril

4.4.1.1 Temperatura

Entre as células, a célula C2 apresentou média de temperatura superior a 1,84°C em comparação a célula C1 como mostra a Tabela 12 e Figura 33.

A Figura 34, caracteriza que dia 13/04/19 no decorrer das 16:00 h, choveu 33,2 mm e a média da temperatura ambiente na célula C1, foi de 25,95°C, conforme dados do INMET, em contrapartida no 14/04/19 não houve precipitação durante todo o dia, e no decorrer das 16:00h a temperatura média, foi de 30,43°C.

Tabela 12: Temperatura (°C) - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé

	Tinterna (C1)	Tinterna (C2)	Texterna
Máxima	34,03	39,64	33,90
Mínima	24,06	24,97	21,80
Media	27,14	28,98	26,13

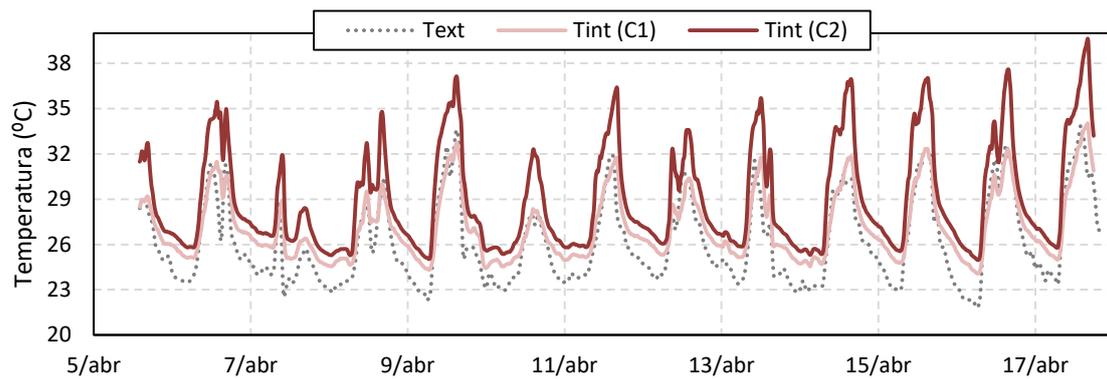
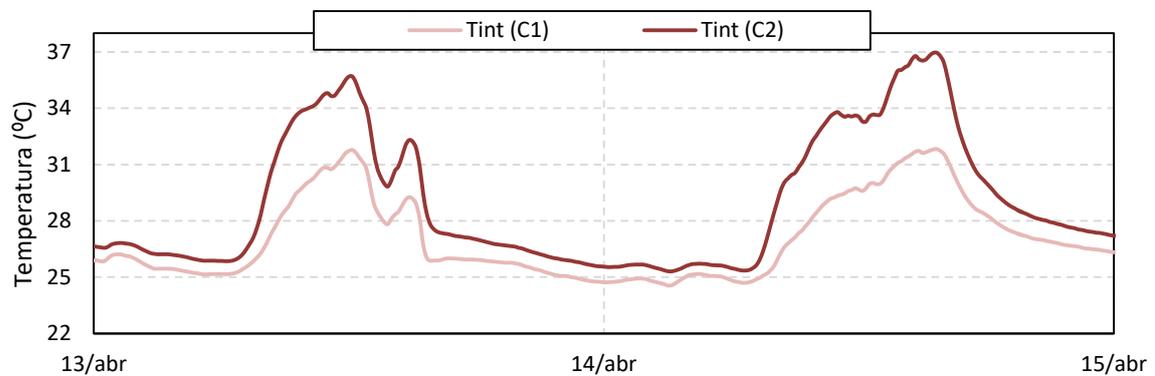


Figura 33: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé



**Figura 34: Temperatura Ambiente - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé –
Dia chuvoso e dia sem precipitação**

4.4.1.2 Umidade relativa

A umidade foi preponderante na célula C1, registrando 100%, em relação as médias a célula C1 apontou valores superiores a C2 e ao ambiente externo, com variação de 4,96% de umidade, entre as células C1 e C2. Outro fator relevante foi com base à umidade mínima registrada, sendo 69,66% na célula C1 e 61,01% na célula C2. Como mostra a Tabela 13 e Figura 35.

**Tabela 13: Umidade relativa (%) - Tinta Térmica e
Ventilação Cruzada com Chaminé**

	Uinterna (C1)	Uinterna (C2)	Uexterna
Máxima	100,00	99,02	94,00
Mínima	69,66	61,01	48,00
Media	92,12	87,16	80,95

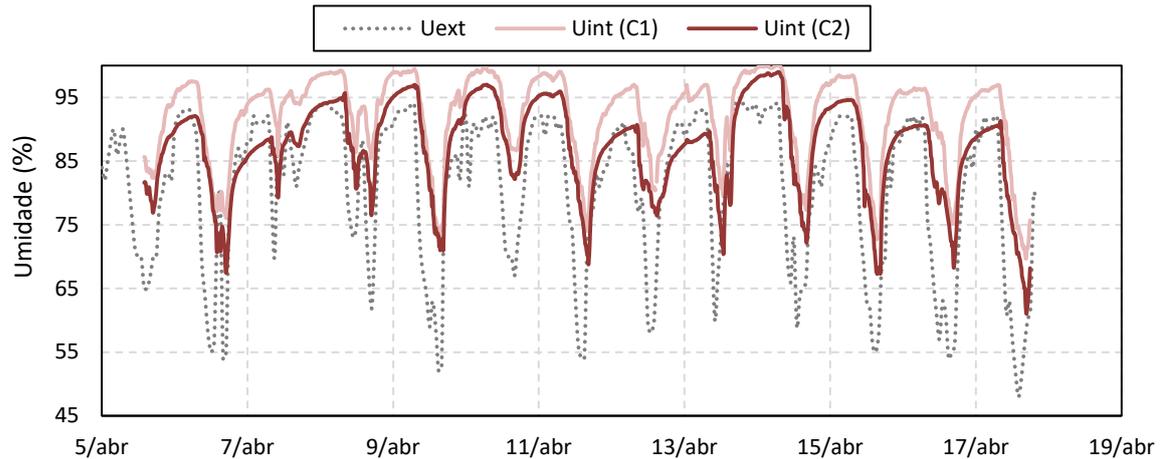


Figura 35: Umidade Relativa - Tinta Térmica e Ventilação Cruzada com Chaminé

4.5 Comparativo das Campanhas

A figura 36 retrata todas as temperaturas máximas, mínimas e médias de todas as campanhas e técnicas aplicadas no estudo, estes dados foram aferidos do equipamento Hobo.

Na célula C1, as maiores temperaturas registradas foram no intervalo de 30 °C a 36 °C, a máxima de 36,01 °C no mês de dezembro, campanha tinta térmica. As menores temperaturas na célula C1 ficaram entre 20 °C e 25 °C, mínima foi de 22,41 °C no mês de março, campanha tinta térmica e ventilação cruzada.

Na célula C2, as maiores temperaturas registradas foram no intervalo de 35 °C a 41 °C, a máxima de 40,75 °C no mês de dezembro, campanha tinta térmica. As menores temperaturas na célula C2 ficaram entre 20 °C e 25 °C, mínima foi de 23,14 °C.

Conforme Figura 36, a célula C1 comparado com a célula C2 teve uma variação de quase 5 °C de máxima, e caracterizou a relevância da aplicação da tinta térmica e da ventilação cruzada no decorrer de todas as campanhas.

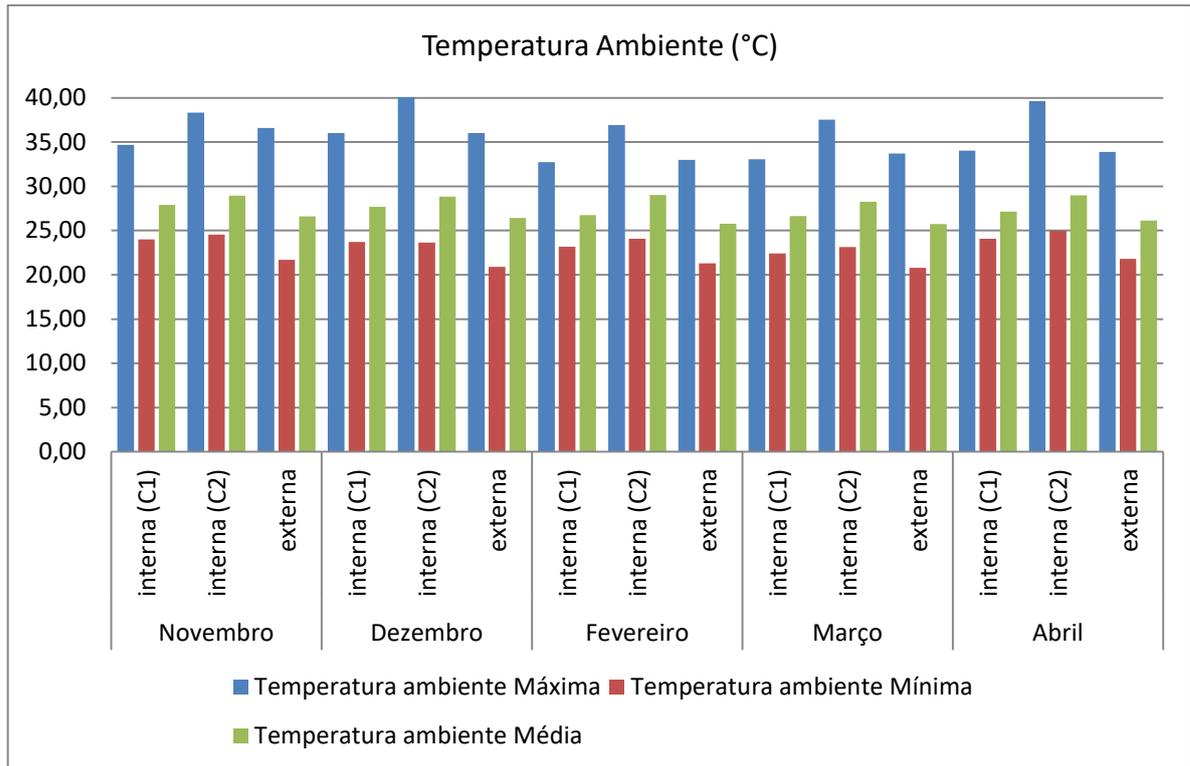


Figura 36: Temperaturas ambientes de todas as campanhas

A figura 37 retrata todas as umidades máximas, mínimas e médias de todas as campanhas e técnicas aplicadas no estudo, estes dados foram aferidos do equipamento Hobo.

Na célula C1, as menores umidades registradas foram no intervalo de 60 % a 82 %, a mínima de 69,66 % no mês de abril, campanha tinta térmica e ventilação cruzada chaminé. As maiores umidades na célula C1 foram 100 % em todas as campanhas.

Na célula C2, as menores umidades registradas foram no intervalo de 50 % a 70 %, a mínima de 50,25 % no mês de dezembro, campanha tinta. As maiores umidades na célula C2 foram 100 % em quase todas as campanhas, apenas na campanha tinta térmica e ventilação cruzada chaminé a umidade chega ao máximo de 99,02 %.

Conforme Figura 37, considerando as mínimas umidades nas células C1 e C2, o estudo apontou assiduidade entre a tinta térmica com variação de aproximadamente 20 % de umidade em novembro e dezembro. Ainda em relação às mínimas de C1 e C2, a ventilação cruzada corrido e com chaminé, em fevereiro e abril, também manteve assiduidade variando de 6 % a 8 %. No mês de março, campanha aberto/fechado, houve variação entre as mínimas umidades de C1 e C2 de 14 %, aproximadamente, e isso concluiu a eficiência da tinta no período diurno e ventilação a noite.

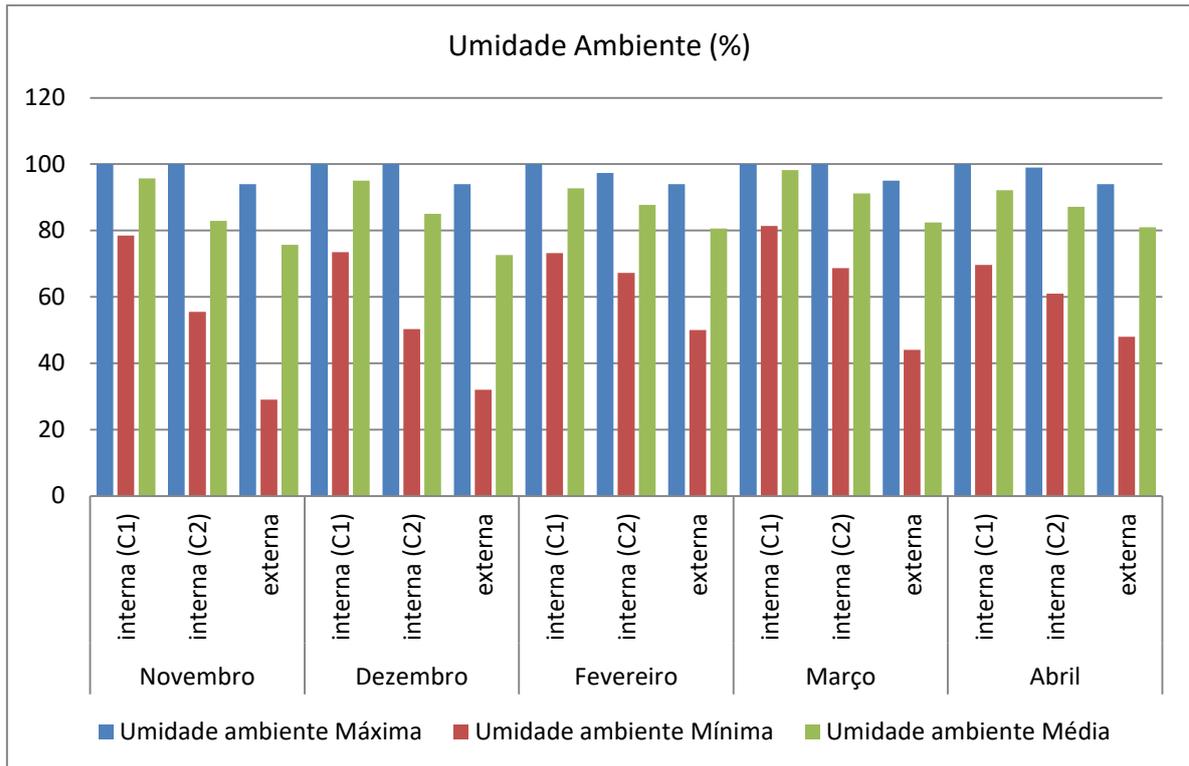


Figura 37: Umidades ambientes de todas as campanhas

Conforme a Tabela 14, o estudo mostra que as campanhas 01 e 02, com aplicação da tinta térmica, obtiveram poucas variações durante a noite, pois não havia a interferência da ventilação, e mostra também variação durante o dia de 1,72 °C e 1,59 °C, abaixo do registrado em relação às campanhas 03, 04 e 05, que tinham a contribuição da tinta térmica e também da ventilação.

As campanhas 03 e 04, com tinta térmica e ventilação cruzada, marcaram variação de temperaturas bem próximas, durante o dia e também durante a noite.

Os resultados mais satisfatórios foram as variações de temperaturas na campanha 04, com tinta térmica e ventilação cruzada em chaminé, onde obteve 2,76 °C durante o dia, e 0,89 °C de variação no período diurno.

Tabela 14: Médias das temperaturas ambiente (°C)

	Célula 01		Célula 02		Variação	
	Média Dia	Média Noite	Média Dia	Média Noite	Média Dia	Média Noite
Campanha 01	29,27	26,68	30,99	27,13	1,72	0,45
Campanha 02	28,63	26,20	30,22	26,57	1,59	0,37
Campanha 03	27,94	25,53	30,32	26,44	2,38	0,91
Campanha 04	27,95	25,42	30,37	26,34	2,42	0,92
Campanha 05	28,37	25,87	31,13	26,76	2,76	0,89

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos explanados neste trabalho, as técnicas de arrefecimento passivo, tinta térmica e ventilação cruzada, podem ser aplicadas na região de Palmas – TO, e em destaque foi possível alcançar os diferenciais de tais técnicas, sendo elas a melhor eficiência da tinta térmica no período diurno, devido a sua característica refletante contra a radiação solar. Já a ventilação cruzada, obteve-se melhor eficiência no período noturno em consequência ao que tange a tinta térmica.

Com base nos equipamentos utilizados, para aferir as temperaturas ambientes e umidades ambientes, o Hobo foi eficiente e caracterizou precisão nos dados medidos durante todas as campanhas. E quanto ao tratamento dos dados gerados pelos termopares, que aferiu a temperatura superficial das paredes, forros e telhados, não foi possível utiliza-los no trabalho de pesquisa, pois houve problema durante a aferição em todas as campanhas, e ocorreu devido a uma interferência eletromagnética, ocasionados durante a chuva e também no período próximo as 12 h. Vale ressaltar, que tal problema de interferência eletromagnética ocorreu principalmente nos termopares dos telhados e paredes externas das duas células de estudo.

Se tratando de temperatura ambiente, que no estudo foram aferidos pelo Hobo, houve grande variação de temperatura durante o período de 24 h, sendo a noite temperaturas registradas em torno de 22 °C e durante o dia em torno de 38 °C, sendo variação de 16 °C. E isso caracteriza como a região de Palmas – TO possui grandes alterações de temperaturas, também no decorrer do período chuvoso, embasando mais ainda, o que perceptivelmente os habitantes da capital sentem e os estudos apontam.

Com base nas hipóteses estabelecidas, sendo elas: As técnicas que serão aplicadas poderão apresentar melhores resultados com relação ao conforto térmico interno de uma edificação. E a segunda, é que, a tinta térmica terá melhor desempenho de arrefecimento passivo, ao final do estudo, quando comparada com a utilização de ventilação cruzada. Estas técnicas poderão ser utilizadas juntas com o mesmo propósito de conforto térmico.

Para tanto, a utilização dessas técnicas, teve como objetivos estabelecer conforto térmico para os usuários e residentes de uma edificação, sendo de suma importância aos profissionais incluir no planejamento da obra. A ventilação cruzada, adquirida e planejada no decorrer da elaboração dos projetos de arquitetura e engenharia. Já a tinta térmica deve ser trabalhada na fase de execução da pintura, sendo necessário ser orçada conforme quantidade a ser utilizada e também ao preço do fabricante.

Contudo, a capacidade térmica está diretamente associada a empregabilidade de materiais na superfície externa das edificações, devido o contato direto da radiação solar. A qualidade e conforto térmico estão em virtude de inúmeras variáveis envolvidas, mas tratar a otimização de cada material e a dinâmica dos vãos no projeto é de grande relevância para adquirir o propósito de melhoria na qualidade térmica.

5.1 Sugestões de estudos

1. Estudar a técnica de arrefecimento passivo para o telhado verde;
2. Estudar o custo- benefício entre as técnicas de tinta térmica e ventilação cruzada;
3. Estudar a interferência eletromagnética ocasionado nos termopares;

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Rafael Ponce de Leon; PEDROSA, Maria Luiza; CARVALHO, Homero Jorge Matos. **Monitoramento Térmico da biblioteca Nilo Peçanha localizada em João Pessoa/Pb**. 2014.

AEROSCREEN, Plano. **Controle solar: brises móveis**. Ficha Técnica, São Paulo, Brasil, atualização Dezembro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BIOMASSA, Inovação de Forma Concreta. **Tinta Biotherm**. Ficha Técnica de Produto. Revisão 03, Março, 2015.

BRASIL, MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Nota Técnica nº 001/2011. 2011. 11 p.

CARVALHO, Sylvia Thais Martins. **Propriedades térmicas do painel aglomerado de bagaço de canade-açúcar (Saccharum officinarum L.)** / Sylvia Thais Martins Carvalho. – Lavras : UFLA, 2012. 73 p.: il.

CHVATAL, Karin Maria Soares. **Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações** . 2014. 119-130 p. Artigo - Universidade de São Paulo, São Carlos-SP -Brasil, 2014.

CIN, Corporação Industrial do Norte. **12-750 Thermocin**. Boletim Técnico, Revisão Outubro, 2014.

CITIMAT, Impermeabilizantes. **Isolantes térmicos – espuma de poliuretano**. Boletim Técnica, São Paulo, 2010.

DA SILVA, Mariana Guedes *et al.* **Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas**. Energia na agricultura, v. 30, n. 3, p. 269-275, 2015.

DENVER, Impermeabilizantes. **Isolante térmico em placas moldadas em EPS**. Ficha Técnica, Revisão 06, Janeiro, 2014.

DURALFOIL, **Isolante térmico**. Ficha Técnica, GIB, Dezembro, 2006.

FIBROSOM, **Isolamentos Térmicos/Acústicos: Lã de Rocha**, Ficha Técnica, 2015.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara de. **Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico**. Dissertação, USP, São Paulo, 2007.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 19 set 2018.

MARCOLINI, M. P. **Monitorização das condições higrotérmicas de células teste em Palmas-TO**. 2018. 7-25 f. Dissertação Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal, 2018.

MENDES, Nathan et al. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. 2005. 47-50 p. Artigo - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba- PR-Brasil, 2005.

MORENO, Ana Cecília Rodrigues; SOUZA, RVG. **Análise de desempenho térmico em habitação de interesse social em Montes Claros-MG**. Monografia (Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados) -Escola de Arquitetura da UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – São Paulo. 2006. 128 p.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2012. 79 p.

