CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE LAJES PRÉ-MOLDADAS E LAJE PAINEL TRELIÇADA COM A UTILIZAÇÃO DE TAVELAS CERÂMICAS E BLOCOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO

EBRAEL DALBERTO

Lajeado, junho de 2017

EBRAEL DALBERTO

ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE LAJES PRÉ-MOLDADAS E LAJE PAINEL TRELIÇADA COM A UTILIZAÇÃO DE TAVELAS CERÂMICAS E BLOCOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO

Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Mestre Marcelo Freitas Ferreira.

Lajeado, junho de 2017

Ebrael Dalberto

ANÁLISE COMPARATIVA DE ISOLAMENTO TÉRMICO ENTRE LAJES PRÉ-MOLDADAS E LAJE PAINEL TRELIÇADA COM A UTILIZAÇÃO DE TAVELAS CERÂMICAS E BLOCOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenheiro Civil:

Prof. Ms. Marcelo Freitas Ferreira - Orientador
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Ivandro Carlos Rosa
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. João Batista Gravina
Centro Universitário Univates

Lajeado, junho de 2017.

Dedico este trabalho à Deus, por guiar meus passos ao longo de minha vida. Dedico a todos os professores que fizeram parte de minha formação acadêmica, pois seus ensinamentos serão muito importantes para minha vida profissional. Dedico a toda minha família que me apoiaram ao longo de minha caminhada acadêmica, sempre me incentivando, ajudando e acreditando em mim. E dedico especialmente para minha namorada, pois graças a ela, dei meu primeiro passo na busca de minha formação de Bacharel em Engenharia Civil.

RESUMO

As residências de modo geral, devem oferecer condições térmicas adequadas ao conforto humano. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), a norma atual de desempenho, foi criado alguns requisitos e métodos de avaliação de desempenho para as principais partes que compõem uma edificação, dentre elas: estruturas, coberturas, pisos internos, vedações externas e internas, e instalações hidrossanitárias. Dentre os diversos sistemas construtivos para coberturas em edificações, o uso de lajes pré-moldadas e lajes painéis treliçadas está aumentando na região sul do pais. Usualmente estas lajes são preenchidas com Poliestireno Expandido (EPS) ou com tavelas e blocos cerâmicos. O principal objetivo deste presente estudo é avaliar o desempenho térmico de três lajes; laje pré-moldada com tavelas cerâmicas, laje pré-moldada com EPS, e laje painel treliçada com EPS. Para avaliação dos valores referentes à resistência térmica dos materiais e para a transmitância térmica, será utilizado a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) para comprovação da eficiência térmica dos três tipos de lajes. Além disso, será avaliado o principal índice de medição do conforto térmico, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), procedimento realizado com equipamento específico para a coleta de dados de temperaturas internas e externas dos protótipos, assim como a umidade relativa do ar interna. Com estes resultados espera-se poder oferecer uma nova concepção de projetos com melhores desempenhos térmicos que os projetos atualmente utilizados.

Palavras-Chave: Conforto térmico. Laje pré-moldada. Laje painel treliçada. Tavela cerâmica. Blocos de EPS

ABSTRACT

The residences in general, should offer adequate thermal conditions to human comfort. According to NBR 15575 (ABNT, 2013), the current performance standard, some requirements and methods of performance evaluation were created for the main parts that make up a building, among them: structures, roofs, internal floors, external fences and sanitary facilities. Among the various building systems for roofing in buildings, the use of precast slabs and slabs of latticed panels is increasing in the southern region of the country. Usually these slabs are filled with Expanded Polystyrene (EPS) or with slabs and ceramic blocks. The main objective of this present study is to evaluate the thermal performance of three slabs; Pre-cast slab with ceramic slabs, pre-molded slab with EPS, and slab panel lattice with EPS. For the evaluation of the thermal resistance values of the materials and for the thermal transmittance, NBR 15220-2 (ABNT, 2005) will be used to prove the thermal efficiency of the three types of slabs. In addition, the main index of thermal comfort measurement, the Temperature and Humidity Index (ITU) will be evaluated, a procedure performed with specific equipment to collect internal and external temperature data of the prototypes, as well as the relative humidity of the internal air. With these results it is expected to be able to offer a new conception of projects with better thermal performances than the projects currently used.

Keywords: Thermal comfort. Pre-molded slab. Lattice panel slab. Ceramic Blocks. EPS Blocks

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de transferências de calor..... 14
Figura 2 - Zona de Conforto: Umidade relativa do ar x Temperatura..... 22
Figura 3 - Edifício com sombreamento e revestimento natural..... 24
Figura 4 - Estrutura de uma residência *Clean* 25
Figura 5 - Mapa do zoneamento bioclimático. 33
Figura 6 - Laje pré-moldada com vigota de concreto simples e blocos de EPS..... 36
Figura 7 – Vigota pré-moldada..... 37
Figura 8 – Laje pré-moldada com utilização de tavelas cerâmicas 39
Figura 9 – Utilização de tavelas cerâmicas e vigotas de concreto..... 40
Figura 10 - Corte transversal de um sistema com EPS..... 42
Figura 11 - Esquema de uma treliça 42
Figura 12 – Execução de uma laje treliçada com enchimento em EPS..... 43
Figura 13 - Montagem de uma laje painel treliçada com o EPS de enchimento 44
Figura 14 – Estruturas de concreto armado 48
Figura 15 – Dimensões das estruturas de concreto armado..... 49
Figura 16 – Dimensionamento das lajes..... 50
Figura 17 – Laje Pré-moldada com EPS 51
Figura 18 – Laje Pré-moldada com tavela cerâmica 51
Figura 19 – Laje de painel treliçada com EPS 52
Figura 20 – Execução do protótipo A - Laje painel treliçada com EPS. 53
Figura 21 - Execução do protótipo B - Laje pré-moldada com tavela cerâmica 53
Figura 22 - Execução do protótipo C - Laje pré-moldada com EPS 54
Figura 23 –Protótipos concretados e aguardando a retirada das fôrmas 55
Figura 24 – Aplicação das camadas de impermeabilização 55

Figura 25 – Protótipos concluídos e prontos para as coletas de dados 56
Figura 26 - Termo-Higrômetro usado nas coletas de dados a campo 57
Figura 27 – Nomenclaturas dos protótipos e coleta de dados 58
Figura 28 – Coleta de dados dos protótipos 59
Figura 29 - Procedimento de coleta em cada protótipo 60
Figura 30 – Orientação solar (sentido leste – oeste) 61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas externas mais altas no período das 09:30 (dia 06/04/17) 66
Gráfico 2 - Temperaturas externas mais altas no período das 09:30 (dia 21/04/17) 67
Gráfico 3 - Temperaturas externas mais altas no período das 12:30 (dia 06/04/17) 68
Gráfico 4 - Temperaturas externas mais altas no período das 12:30 (dia 07/04/17) 69
Gráfico 5 - Temperaturas externas mais altas no período das 15:30 (dia 06/04/17) 70
Gráfico 6 - Temperaturas externas mais altas no período das 15:30 (dia 07/04/17) 71
Gráfico 7 - Temperaturas externas mais altas no período das 18:30 (dia 06/04/17) 72
Gráfico 8 - Temperaturas externas mais altas no período das 18:30 (dia 07/04/17) 73
Gráfico 9 - Temperaturas externas mais baixas no período das 09:30 (dia 22/04/17) 74
Gráfico 10 - Temperaturas externas mais baixas no período das 09:30 (dia 23/04/17) 75
Gráfico 11 – Temperaturas externas mais baixas no período das 12:30 (dia 22/04/17)..... 76
Gráfico 12 - Temperaturas externas mais baixas no período das 12:30 (dia 23/04/17) 77
Gráfico 13 - Temperaturas externas mais baixas no período das 15:30 (dia 20/04/17) 78
Gráfico 14 - Temperaturas externas mais baixas no período das 15:30 (dia 21/04/17) 79
Gráfico 15 - Temperaturas externas mais baixas no período das 18:30 (dia 21/04/17) 80
Gráfico 16 - Temperaturas externas mais baixas no período das 18:30 (dia 23/04/17) 81
Gráfico 17 – Análises da umidade relativa do ar do dia 06/04/2017..... 82
Gráfico 18 - Análises da umidade relativa do ar do dia 07/04/2017 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de desempenho de materiais isolantes 19
Tabela 2 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais. 29
Tabela 3 - Critério de avalição de desempenho térmico para o verão. 30
Tabela 4 - Critério de avalição de desempenho térmico para o inverno. 30
Tabela 5 – Tabela comparativa de isolamento térmico de lajes 37
Tabela 6 - Resultados das análises térmicas dos protótipos 62
Tabela 7 – Critério de desempenho da transmitância térmica da NBR 15575-5/2013 63
Tabela 8 – Limites estabelecidos para a zona bioclimática 02 64

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Resultados de resistência a compressão do concreto 88
Anexo B – Planilha de coletas a campo 92
Anexo C – Cálculos da NBR 15220-2/2005 94
Anexo D – Gráficos das coletas de dados 97

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EPS - *Expanded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido)

XPS - *Xtruded PolyStyrene* (Poliestireno Extrudido)

ABRAPEX – Associação Brasileira de Poliestireno Expandido

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

ASTM - American Society for Testing and Materials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

LabEEE - Laboratório de eficiência energética de edificações (UFSC)

ITU – Índice de Temperatura e Umidade;

TGN - Temperatura de Globo Negro;

ITGU – Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade;

CTR – Carga Térmica de Radiação;

ICT – Índice de Carga Térmica;

H – Entalpia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8

1.1 Objetivos 10

1.1.1 Objetivos Gerais 10

1.1.2 Objetivo Específicos 11

1.2 Justificativa de pesquisa 11

1.3 Limitações da pesquisa 12

1.4 Estrutura da pesquisa 12

2. REFERENCIAL TEÓRICO 13

2.1. Física Aplicada à Construção civil 13

2.1.1 Formas de transferências de Calor 13

2.1.2 Condutividade Térmica 17

2.1.3 Carga Térmica 17

2.1.4 Resistência Térmica 18

2.1.5 Transmitância Térmica 19

2.2 Conforto Térmico 20

2.2.1 Índices de conforto térmico 22

2.2.2 Princípios fisiológicos de conforto 23

2.2.3 Condições de conforto e trocas térmicas 23

2.2.4 Materiais isolantes **25**

2.3 Normas brasileiras de conforto térmico **27**

2.3.1 NBR 15575 (ABNT, 2013) **28**

2.3.2 NBR 15220 (ABNT, 2005) **32**

2.4 Tipologia de lajes e suas características **33**

2.4.1 Lajes pré-moldadas com utilização de EPS **35**

2.4.2 Lajes pré-moldadas com utilização de tavelas cerâmicas **38**

2.4.3 Laje painel treliçada com utilização de EPS **41**

3. MATERIAS E MÉTODOS **45**

3.1 Tipo de pesquisa **46**

3.2 Protótipos **46**

3.3 Métodos de avaliação de desempenho térmico **56**

4. ANÁLISES DE RESULTADOS **62**

4.1. Resultados dos memoriais de cálculos através da NBR 15220-5/2005 ..... **62**

4.2. Resultados das coletas de dados do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) **65**

4.2.1. Análises dos dias com temperaturas externas mais altas **66**

4.2.2. Análises dos dias com temperaturas externas mais baixas **73**

4.2.3. Análises dos índices de umidade relativa do ar **81**

5. CONCLUSÃO **84**

REFERÊNCIAS **85**

ANEXOS **88**

1. INTRODUÇÃO

A preocupação em tornar o ambiente interno em condições climáticas favoráveis para o bem estar do ser humano ou de animais, já era preocupação desde o início da humanidade. As pessoas buscavam alternativas de construção para melhorar o conforto térmico, já que ainda não havia tecnologia de climatização suficiente naquela época. Exemplo disto, na atual Arábia Saudita, os povos construíam suas moradias com fachadas quase cegas, com poucas aberturas para incidência solar e proteção das tempestades de areia; Já nos Estados Unidos, em regiões do estado de Colorado, as habitações eram construídas em encostas de pedras, protegendo as residências da incidência direta do sol, pois é uma região muito seca e quente no verão (LAMBERTS, 2004).

Ainda Lamberts (2004), existem muitos exemplos de construções espalhadas pelo mundo todo, onde foi usado muitas técnicas e recursos naturais com diferentes tipos de materiais, tudo para melhorar as condições de conforto térmico em suas habitações. Após a chegada da revolução industrial, foi ampliado uma série de novos materiais disponíveis para construção e isolamentos, inclusive o próprio surgimento do concreto armado e com essas novas opções construtivas no mercado, originou-se a nova arquitetura *Clean* que possuí como característica principal as fachadas de vidro nas edificações comerciais, criando então um estilo de “estufa” nas habitações prediais, esta ideia foi disseminada em muitos países, seu defeito foi que não foi adaptada para o clima de cada região. Foi neste momento em que se deu o início da criação de sistemas de iluminação e climatização artificial para então poder recuperar o conforto térmico dentro das habitações, e consequentemente aumentou o consumo de energia no mundo.

Vila Real (1990), cita que Portugal não estava habituado em isolar termicamente as residências até a década de 90, pois as construtoras e imobiliárias não haviam nenhum interesse em utilizar isolamento térmico por resultar em valores de orçamentos muito maiores do que o

previsto, resultando em perdas de negócios para as empresas concorrentes. Essa tendência só foi modificada no início dos anos 90, com o surgimento de algumas empresas construtoras que tinham como objetivo atender as necessidades dos clientes de forma que o isolamento térmico era uma das necessidades para propiciar maior conforto térmico das residências naquela época.

A NBR 15575 (ABNT, 2013), é a atual norma brasileira de desempenho térmico e ela rege o cumprimento dos requisitos fundamentais para garantir o melhor desempenho térmico das partes de uma habitação, para garantir o melhor conforto térmico aos usuários. Essa normativa está disposta através de condições e exigências dos usuários, tudo para atender itens que prezam a qualidade, e também para atender itens quantitativos de forma a garantir uma boa avaliação e desempenho dos materiais para o conforto térmico das residências

Segundo Soares (2011), podemos utilizar o EPS em diversos locais dentro de uma obra, desde como forma de lajes, pode ser moído e dissolvido dentro do concreto a fim de reduzir o próprio peso, no enchimento nas lajes unidirecional e bidirecional, entre outras utilidades. As lajes são classificadas a grosso modo, em duas direções; em unidirecional e bidirecional. As lajes unidirecional possuem suas armadas em um único sentido, paralelas com as vigas, no entanto, as lajes bidirecionais possuem armaduras nos dois sentidos, paralelas e transversalmente as vigas, o que aumenta a grau de enrijecimento da estrutura.

Ainda Soares (2011), a principal utilidade do Isopor na construção civil, é na fabricação de lajes pré-fabricadas, onde seu principal objetivo é reduzir o peso da estrutura, oferecer melhor conforto térmico e acústico e também o EPS destaca-se em um critério importante, animais como traças e cupins não comem o EPS, diferente das madeiras que ao passas dos anos, esses animais causam grandes estragos nas residências.

Fenilli (2008), cita que nos tempos atuais, o EPS vem sendo empregado na construção civil cada vez mais, devido principalmente na redução do peso da estrutura e por proporcionar melhores condições térmicas e acústicas no ambiente interno. O EPS é utilizado desde pequenas á grandes obras. Sua estrutura é formada com células fechadas e cheias de ar, o que impede a passagem de calor ou ruídos, por isso é considerado um excelente material isolante. Sua condutividade é de 0,028 $W.m^{-1}.ºC^{-1}$.

Uma das maneiras de se reduzir os custos com energia elétrica, e reduzir o peso das estruturas, é executar na obra alguns métodos e técnicas para que se possa criar um isolamento térmico, sem há necessidade excessivos gastos em aquecer as habitações em períodos do ano

em que a temperatura estiver muito baixa, e o mesmo acontece para esfriar a temperatura das habitações nos verões fortes (FREITAS, 2002).

Com o objetivo de conseguir trazer à tona o conforto térmico nas habitações, com os menores gastos possíveis nas faturas de energia elétrica, foi apresentado técnicas fundamentais para a aplicação do método da eficiência energética, métodos dos quais foram: a aplicação de isolamento térmico nas coberturas e paredes; construir paredes “ocas”, ou seja, paredes duplas com caixas de ar em seu interior; ou até mesmo paredes duplas preenchidas com materiais isolantes, tais como lã de rocha ou fibra de vidro por exemplo (MASCARÔ; MASCARÔ, 1992).

O estudo é enquadrado no âmbito de pesquisa experimental, onde será apresentada uma revisão teórica dos assuntos relacionados ao trabalho, até a execução dos experimentos, relatando os procedimentos, métodos avaliativos e metodologia adotado de acordo com as normas de desempenho, tratando-se da aplicação de um sistema de isolamento térmico em lajes de diferentes tipologias, dentre elas; laje pré-moldada com a utilização de blocos de EPS, laje pré-moldada com utilização de tavelas cerâmicas, e laje painel treliçada com a utilização de blocos de EPS.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudo sobre o comportamento térmico de lajes pré-moldadas e lajes de painéis treliçadas, com diferentes tipos de materiais isolantes. Neste caso sendo utilizados tavelas cerâmicas e blocos de EPS, para fins de análise de conforto térmico da estrutura, que deverá atender as especificações e determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013) e da NBR 15220 (ABNT, 2005).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar a utilização de laje pré-moldada com tavelas cerâmicas, laje pré-moldada com EPS, e laje painel treliçada com EPS e compará-las entre sí, afim de medir o principal índice de conforto térmico, o Índice de Temperatura e Umidade, (ITU), levando em consideração os índices da NBR 15575 (ABNT, 2013), para fins de isolamento térmico.

- E também calcular a resistência térmica dos materiais e a transmitância térmica dos protótipos através da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

1.2 Justificativa de pesquisa

Atualmente há uma grande busca em procurar soluções para isolamento térmico, ou seja, tentar isolar o máximo possível as edificações para buscar um ótimo grau de conforto térmico e diminuir gastos excessivos com energia elétrica, mas não apenas isolar a cobertura ou as fachadas com diferentes tipos de isolantes, que é o mais usual ainda, e sim isolar elementos estruturais, principalmente paredes e lajes. Isso já vem sendo praticado há anos em outros países mais desenvolvidos e preocupados com o conforto térmico e acústico nas habitações, espera-se que o uso aqui no Brasil comece a se disseminar de forma rápida e eficiente, pois ainda é muito fraco o conhecimento sobre o tema, justificando assim o desenvolvimento do presente trabalho.

É fundamental e muito importante conhecer sobre os diferentes tipos de lajes disponíveis no mercado atual, e a partir do conhecimento prévio, podemos analisar as principais características térmicas e acústicas de cada uma delas, para que no momento da escolha do tipo da laje, características como estas, sejam discutidas no momento da compra ou do projeto de uma nova edificação com o intuito de melhorar o ambiente interno das residências.

> O conforto térmico é objeto de busca incessante. Uma pessoa qualquer, muitas vezes ao dia, abre e fecha os botões da gola e da manga da camisa, que sobe e desce. Retira seu paletó e o veste novamente. Abre e fecha as janelas. Ajusta as persianas. Sai pelos corredores ora em busca de café quente, ora em busca de água gelada. São gestos irrefletidos que fazem parte da rotina das pessoas,

> independendo de sua classe social ou atividade profissional (SCHIMID, 2005).

1.3 Limitações da pesquisa

A pesquisa se limitará a um estudo comparativo de isolamento térmico em três diferentes tipos de lajes, restringindo-se ao estudo somente a análise térmica das lajes, onde serão coletados dados de temperatura interna e externa dos protótipos e discutido qual estrutura apresenta melhores condições de conforto térmico. Não será abordado aspectos de resistência estrutural, análise acústica, análise térmica da paredes, aberturas, vidros, coberturas, tampouco quantificar financeiramente o consumo de energia reduzido, ou custos de materiais. Será desconsiderado os efeitos do vento sobre os protótipos.

O estudo abordará três protótipos de residenciais, construídos na rua Otto Pedro Rohenkhol, 139 no município de Lajeado RS, sendo todos de mesmos tamanhos e dimensões, e respectivamente construído uma laje de 1,1 m comprimento x 1 m largura x 0,14 m de espessura em cima do protótipo, todas as três lajes terão materiais diferentes, abordados a seguir no trabalho.

1.4 Estrutura da pesquisa

O capítulo 1, inclui o tema do trabalho a ser desenvolvido, apresentando objetivos gerais e específicos e estrutura do trabalho.

No capítulo 2, desenvolve a revisão bibliográfica, nela será abordada assuntos sobre elementos estruturais, elementos pré-moldados e pré-fabricados, lajes pré-moldadas e laje painel treliçada e suas características e utilidades. Neste capítulo também será exposto tipos de isolamentos térmicos e características gerais de conforto térmico.

O capítulo 3, traz os materiais e métodos usados no decorrer deste trabalho, tudo dentro das normas técnicas de desempenho térmico.

Já no capítulo 4, são apresentados os resultados e com eles, as análises de cada protótipo comentando sobre as exigências e os cumprimentos das normativas.

E por último, no capítulo 5, é apresentado uma conclusão sobre este trabalho de conclusão de curso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico aborda assuntos relacionados ao objetivo principal do trabalho, como conceitos de física referentes aos métodos de transferências de calor, conforto térmico, a tipologia das três lajes estudadas, relatando seus conceitos e aplicações, e principalmente, assuntos relacionados ao isolamento térmico da edificação, neste caso sendo utilizados dois tipos de materiais isolantes, tavelas cerâmicas e blocos de EPS, para fins de análise de conforto térmico da estrutura, que deverá atender as especificações e determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013).

2.1. Física Aplicada à Construção civil

Um prévio conhecimento sobre física aplicada nas áreas de construção civil, se torna indispensável para o perfeito entendimento da pesquisa, uma vez que, ela aborda processos de transferências de calor, materiais isolantes e suas propriedades térmicas, transferências de calor.

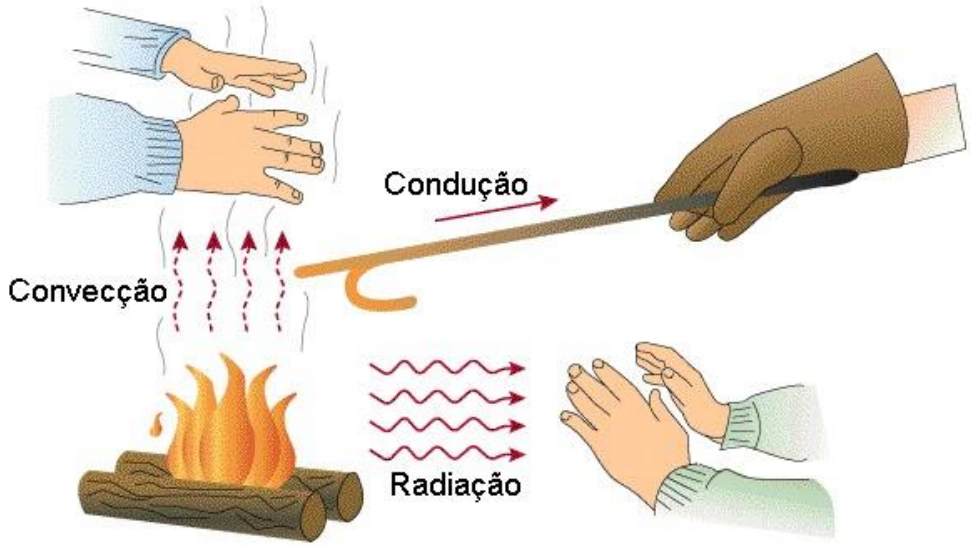
2.1.1 Formas de transferências de Calor

Sempre que houver variação de temperatura entre diferentes ambientes, essa variação tem uma tendência de sumir depois de um certo tempo de forma naturalmente, graças ao fluxo

de energia (calor) de um ambiente para o outro. Esse processo como um todo, é chamado de transmissão de calor, e isso pode ocorrer de acordo com três métodos diferentes de transmissão de calor, que são: convecção, radiação e condução, onde todos eles carregam o mesmo princípio básico, que são as variações de temperaturas de um ambiente para o outro e também de acordo com a direção do fluxo térmico no sentido das temperaturas decrescentes (COSTA, 2003).

Dentre as diversas tipologias de energias, o calor é uma delas, e o mesmo pode ser transferido de um lugar para o outro quando houver variação de temperatura entre eles. Na Figura 1, é possível ver as três maneiras de transmissão de calor.

Figura 1 - Formas de transferências de calor



Fonte: Universidade Federal do Paraná.

2.1.1.1 Condução

Condução é um forma de deslocamento de calor, através de um ambiente para outro ambiente, decorrente da agitação das moléculas no interior dos corpos (COSTA, 2003).

Ainda Costa (2003), salienta que essa transferência de energia por condução, é reconhecida como a Lei de Fourier, onde o fluxo térmico é diretamente proporcional à

superfície de onde é propagado a transferência do calor. Podendo ser calculada através da equação a seguir:

$$Q = kS\frac{\Delta t}{l} \qquad \text{(kcal/h)}$$

Onde:

k = condutividade térmica do material (kcal/m.°C)

S = área na qual se dá a passagem de calor (m^2)

Δt= diferença de temperatura entre as faces da parede (°C)

l = espessura da parede (m)

2.1.1.2 Convecção

Convenção é a passagem de calor de uma zona a outra de um fluído por efeito do movimento relativo das partículas do mesmo, movimento este provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e consequentemente diferença da densidade da massa fluída considerada (COSTA, 2000).

Segundo Costa (2003), a convecção é o resultado da agitação microscópica das partículas dos fluidos, e essa agitação é em muitas vezes confundida com a condução, que é a agitação das moléculas. Não há como acontecer transferência de calor por convecção pura, ou seja, sem depender da transferência de calor por condução, em prática sem condução, não há convecção. Pode ser calculada através da equação a seguir:

$$Q = \alpha_c S \Delta t \qquad \text{(kcal/h)}$$

Onde:

S = Área superficial do corpo em contato com o fluido (m²)

Δt= Diferença de temperatura (°C)

α_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção ($\frac{kcal}{m^2 h°C}$)

2.1.1.3 Radiação

O processo de transferência de calor através do processo de radiação, é radiada através de um elemento detentor que emite energia, ou seja calor. Pode ser radiada através de materiais dos 3 estados físicos, sólidos, líquidos e gasosos. O que difere dos outros dois métodos apresentados anteriormente, é q a radiação não necessita ter a presença de alguma matéria, tampouco algum meio material (INCROPERA et al., 2011).

Segundo Costa (2000), todos os corpos transmitem energia calorífica sob a forma de radiações semelhantes a luz, em quantidade que depende essencialmente da sua natureza e temperatura. A radiação será, portanto, a transmissão de calor verificada entre dois corpos de temperaturas diferentes, dentro de um mesmo ambiente mais ou menos transparentes a essa espécie de radiação.

Para Schmidt (2004, p. 11) “a transferência de energia por ondas eletromagnéticas é chamada de calor por radiação”, ou seja, qualquer tipo de matéria com temperatura acima de zero absoluto, vai emitir calor. A Radiação é calculado conforme a equação a seguir.

$$Q = \alpha_i S \Delta t \qquad \text{(kcal/h)}$$

Onde:

S = Área superficial do corpo exposto a radiação (m²)

Δt= Diferença de temperatura (°C)

α_i = Coeficiente de transferência de calor por radiação ($\frac{kcal}{m^2 h°C}$)

2.1.2 Condutividade Térmica

Segundo a normativa brasileira NBR 15220 (ABNT, 2003), a condutividade térmica é caracterizada como "propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro". Sua unidade de medida é W/(m.K).

De acordo com Incropera et al. (2011, p. 39), a condutividade térmica é uma propriedade que transporta energia e indica a "taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada ao estado da matéria".

Ainda a mesma NBR 15220 (ABNT, 2003), traz na Tabela B.3 do Anexo B da normativa, informações como condutividade térmica e propriedades dos materiais isolantes térmicos usados na construção civil.

2.1.3 Carga Térmica

Creder (2004, p.88), define a carga térmica como “a quantidade de calor sensível e latente, geralmente expressa em BTU/h1 (*British Therm Unit*[1]) ou kcal/h que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar condições de conforto desejadas”.

Para saber qual é a carga térmica de um lugar distinto, é preciso seguir um roteiro de cálculos a fim de se obter esse resultado de carga térmica, onde são calculadas a transferência de energia por condução e por radiação, e também avaliadas questões como usuários que se encontram no ambiente, equipamentos, iluminação e ventilação. Além do somatório dessas cargas ainda será acrescido mais 10% como margem de segurança (CREDER, 2004).

2.1.4 Resistência Térmica

Segundo Costa (2003), a resistência de um ou mais elementos, são os somatórios das resistências térmicas das camadas de um elemento ou de um conjunto, onde inclui as resistências superficiais internas e externas. A resistência térmica significa quanto a transferência de calor sofre para atravessar um elemento, neste presente estudo, quanto o calor externo sofre para atravessar as lajes dos protótipos, e isso é influenciado na espessura do material e com a condutividade térmica do material. Quando mais espessa a camada e menor o índice de condutividade térmica, consequentemente maior será a resistência do material.

Ainda Costa (2003), encontramos no mercado vários tipos de materiais que são usados para construção civil, e utilizados de acordo com a situação específica. Na Tabela 1, é possível compará-los de acordo com a espessura e o tipo de material.

---

[1] *British Therm Unit* (BTU), é uma unidade de energia, correspondente a 252,2 calorias. Muito usado nos Estados Unidos e Reino Unido (CREDER, 2004, p. 88).

Tabela 1 - Comparativo de desempenho de materiais isolantes

Materiais isolantes - Comparativos de desempenho		
Material	K (kcal/hm°C)	Espessuras (mm)
Concreto celular	0,3	150
Cimento-amianto	0,13	65
Argila expandida	0,12	60
Aglomerado de madeira	0,061	30
Fibra de amianto	0,045	23
Cortiça expandida	0,035	18
Fibra de vidro	0,032	16
Poliestireno expandido	0,031	16
Poliestireno extrudado	0,03	15
Lã de rocha	0,03	15
Poliuretano	0,018	10

Fonte: ABNT NBR 15575/2013.

A NBR 15575 (ABNT, 2013), diz que a resistência térmica dos materiais sempre deve ser calculada através dos procedimentos de cálculos da norma NBR 15220-2/2005.

2.1.5 Transmitância Térmica

Segundo COSTA (2003), a transmitância térmica é oriunda do somatório dos coeficientes de transmissão de energia e também através do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais que são empregados na execução de partes da estrutura, neste caso, materiais que foram usados para construir as lajes pré-fabricadas, como areia, brita, EPS, vigotas pré-moldadas, tavelas cerâmicas e cimento.

Para este estudo, serão utilizados os procedimentos de cálculos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) que diz que a transmitância térmica, é inversamente proporcional a resistência térmica.

A mesma norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), apresenta um exemplo de roteiro de cálculo para calcular a resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, fator

solar e atraso térmico. A equação descrita na normativa, é a mesma utilizada para o cálculo das lajes neste trabalho.

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (\mathrm{W/m^2.K})$$

Onde:

U = Transmitância Térmica

R_t= Resistência total do elemento

2.2 Conforto Térmico

Atualmente os verões estão cada vez mais quentes, e consigo trazem sérios problemas em questões térmicas dentro de residências, indústrias, comércios, prejudicando muito o rendimento do trabalho, da produção, ou até mesmo do bem estar no momento de lazer e descanso no lar. Com isso, aumenta-se a quantia de condicionadores de ar para fim de tornar o ambiente mais agradável e confortável, para proporcionar um melhor rendimento no trabalho ou até mesmo proporcionar um ótimo descanso na residência. Por outro lado, consequentemente, aumenta o consumo de energia. No verão os gastos são mais expressivos que no inverno pois os aparelhos ficam ligados por longos períodos de tempo (MOTTIN, 2015)

Lamberts (2014), comenta que antigamente o consumo de energia elétrica de uma residência em geral, era dissolvida em geladeiras, chuveiros e lâmpadas, porém nos tempos atuais, aparelhos de ar condicionados estão liderando este ranking ultrapassando 20% do consumo residencial, isto em uma média de nível nacional, em certas regiões este número ainda é superior devido à localização territorial da residência. O problema é ainda maior no futuro, pois este valor tende a aumentar devido ao poder aquisitivo da população em poder adquirir mais aparelhos condicionadores de ar e principalmente pela não adequação do sistemas de isolamento térmico em suas residências.

> Os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. (LAMBERTS, 2008, p. 4)

Lamberts (2008), comenta que é imprescindível o conhecimento do conforto térmico, e ainda sugere uma divisão em 3 quesitos, citados abaixo:

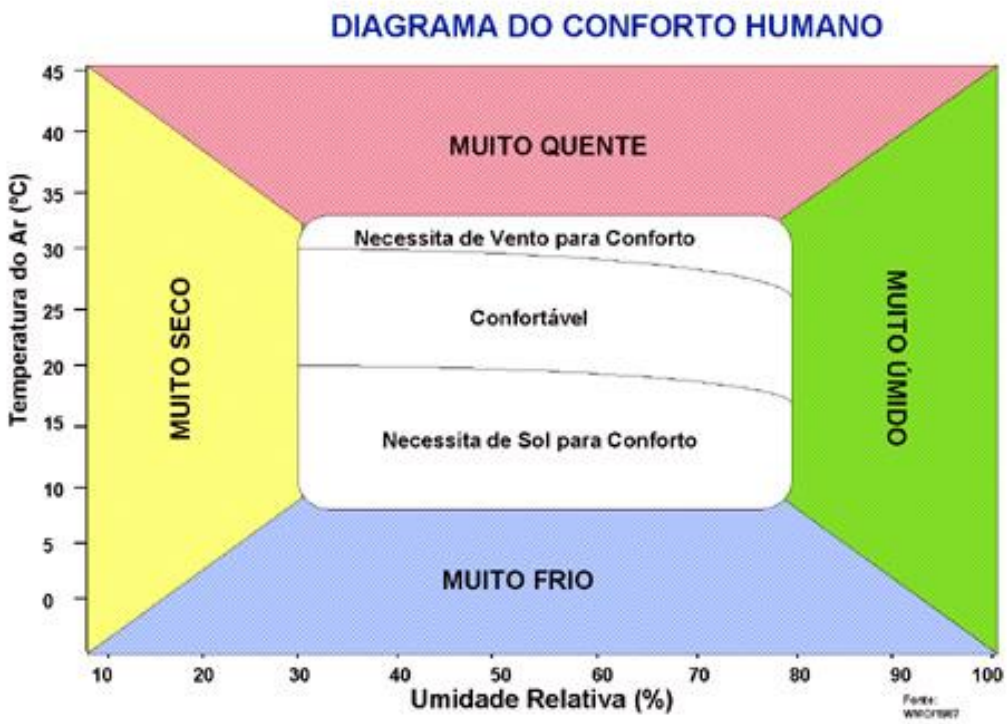
- A satisfação do homem em se sentir termicamente confortável, situação em que a pessoa se sente bem, tem disposição para elaborar seu trabalho, ou até mesmo ânimo para momentos de lazer e descanso em sua casa ou trabalho;

- A performance humana, pois estudos mostram que o frio e o calor gera um desconforto térmico reduzindo a performance humana. O indivíduo deixa de produzir tanto no trabalho quanto em casa, devido ao desconforto e mal estar relacionado a temperaturas muito baixas ou muito altas;

- A conservação de energia, grande parte dos indivíduos residem ou trabalham em locais de que possuem condicionadores de ar, gerando um ambiente de clima artificial que irá proporcionar um melhor conforto térmico e rendimento da produção.

Por outro lado, existe uma certa variação biológica entre as pessoas, nem todos os ocupantes do ambiente vão se sentir confortáveis termicamente, então, precisa-se buscar condições de conforto para o grupo, de acordo com a maioria. Algumas definições a respeito de conforto térmico, são obrigatórias para poder entender o trabalho como um todo. (LAMBERTS, 2008).

Figura 2 - Zona de Conforto: Umidade relativa do ar x Temperatura



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2.2.1 Índices de conforto térmico

Perissinoto (2007) cita que desde os primórdios, já eram utilizados alguns controles do ambiente interno, e com a passagem dos anos, originou-se alguns índices para avaliar o conforto térmico, sendo eles:

- ITU – Índice de Temperatura e Umidade;
- TGN - Temperatura de Globo Negro;
- ITGU – Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade;
- CTR – Carga Térmica de Radiação;
- ICT – Índice de Carga Térmica;
- H – Entalpia.

Sendo que de todos o mais usado é o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o ITU traz os resultados da temperatura do ar e da umidade relativa associados entre si, se tornando o índice mais utilizado pelos técnicos e pesquisadores. (BUFFINGTON et al., 1981).

Neste atual trabalho será avaliado apenas o índice ITU, assim como consta nos objetivos específicos deste trabalho.

2.2.2 Princípios fisiológicos de conforto

Lamberts (2008), diz que ser humano é considerado como uma “máquina térmica”, pois possui um mecanismo termorregulador que sua principal função é controlar as variações térmicas do organismo e manter a temperatura constante, esse mecanismo termorregulador trabalha para que isso ocorra. Também é possível entender por “máquina térmica”, àquela que precisa de uma quantidade de calor para seu bom funcionamento. Para uma pessoa estar apta a desenvolver uma certa atividade, o bom funcionamento do corpo é importante, e estas atividades são classificadas como internas e externas:

- Atividades internas, são de carácter próprio ou seja, que independentemente de nossa vontade, estão ativas para que todos os órgãos de nosso corpo funcionem.
- Por outro lado, as atividades externas são processadas através de nosso trabalho ou através de nossas atividades físicas, feitas de forma consciente.

2.2.3 Condições de conforto e trocas térmicas

Um ganho de calor no corpo humano é possível através da produção de calor causado pelo metabolismo e com as perdas de calor através da respiração da pele. Estas perdas de calor através da pele ou através da respiração, são expressas através de fatores ambientais, que podem ser; velocidade do ar, umidade do ar e temperatura do ar (ALIAS, 2002).

De acordo com Burke e Keeler (2010), o aumento excessivo de calor nas habitações, podem ser diminuídos através da execução de projetos bem planejados com o quesito conforto

térmico. Utilizando maneiras de sombreamento, boas circulações de ar e principalmente projetar os ambientes internos das edificações de acordo com a posição solar, fazendo que seja respeitada condições em que durante o dia pode-se aquecer as paredes para reduzir custos no inverno e ao mesmo tempo no verão seja mais arejada e mais fria.

Figura 3 - Edifício com sombreamento e revestimento natural

Fonte: Ecotelhado

Segundo Lamberts (2004), a maneira que os arquitetos passaram a projetar novas edificações com grandes fachadas de pele de vidro, modelo este que está sendo caracterizado por Arquitetura *Clean*. O grande vilão deste nova forma de projetos é que não foi adequado para cada clima de cada local a ser projetado, criando o efeito estuda. Projetos executados em países frios, são os mesmos executados em países de clima tropical, ou seja, em alguns deles vai precisar investir muito nos rigorosos verões para reduzir a temperatura e o mesmo para o inverno, onde terá que planejar algo para alavancar as temperaturas internas das habitações.

Ainda Lamberts, (2004), no dia a dia, especialmente no verão e no inverno, pessoas todo o tempo comentam ou até mesmo reclamam dos extremos das temperaturas, sejam elas altas ou baixas, mesmo que sabemos que muitas dessas residem em edifícios aonde não possuem nada de isolamento térmico natural ou artificial, e não há muito em que se fazer, por outro lado há muitas pessoas que sim, tem acesso a criar um ambiente mais confortável para sua residência ou trabalho, seja ela em edifícios ou casas.

A tecnologia *Clean* que vem sendo usada a cada vez mais em todos os países, a fim de embelezar mais a arquitetura das edificações, por outra lado, como já citado neste trabalho, este sistema não garante um bom conforto térmico em seu interior, e se sim, gera altos custo de eletricidades para aparelhos de ar condicionado para manter a temperatura agradável (COSTA, 2003).

Figura 4 - Estrutura de uma residência *Clean*

Fonte: Empresa EcoConstruct Brazil

2.2.4 Materiais isolantes

Um material é considerado um isolante térmico quando ele possui características que impede e/ou dificulta a propagação de energia em forma de calor, devido a sua resistência térmica. Atualmente é grande o número de materiais isolantes térmicos disponíveis no mercado brasileiro e exterior, que podem ser usados tanto em residências, comércios e indústrias a fim de melhorar o conforto térmico dos ambientes (FREITAS, 2002).

Neste presente trabalho o único material isolante a ser estudado é o Poliestireno Expandido (EPS), pois como já citado anteriormente neste trabalho, o presente estudo trata-se de três lajes apoiadas sobre 3 protótipos, duas delas com utilização de EPS e outra com tavela cerâmica, porém esta não é considerada como um material de isolamento térmico, e sim um elemento construtivo, mas mesmo assim será descrita suas propriedades térmicas, e comparada com as duas lajes de EPS, com o objetivo de reportar qual a laje que apresenta a melhor condição de conforto térmico.

E mesmo assim, será feita uma breve apresentação dos materiais isolantes a fim de melhor entendimento e conhecimento dos materiais. Os materiais isolantes são classificados de acordos com o modo de produção, estrutura e a natureza da matéria prima (KARYONO, 2015).

- Quanto ao modo de produção:

Isolantes pré-fabricados: onde são compostos por blocos, placas, painéis e mantas
Isolantes “in situ”: compostos por isolantes moldados, injetados e a granel.

- Quanto a estrutura:

Materiais celulares, fibrosos, compactos, granulares e de camada múltipla.

- Quanto a natureza da matéria prima:

Isolantes minerais, naturais, sintéticos e mistos.

Ainda Karyono (2015), dentre os diversos materiais isolantes disponíveis no mercado da construção civil, os principais de origem mineral são a lã de vidro, lã de rocha, a espuma de vidro e argila expandida. E de origem vegetal, destacam-se a cortiça expandida, lã de madeira, lã de ovelha e fibras vegetais como a fibra de coco por exemplo.

2.2.4.1 EPS

O poliestireno é apresentado de duas formas: Expandido (EPS) e Extrudido (XPS). O *Expanded PolyStyrene*, conhecido no Brasil como Poliestireno Expandido (EPS), ou simplesmente Isopor, é o mais utilizado no para isolamento térmico. O EPS é uma como um espuma de poliestireno moldada, produzida de acordo com a norma ISO-1043 (ABNT, 1978), é derivado do petróleo. Por ser versátil, permite conceber peças de vários tipos, dimensões e

utilidades, desde usos residenciais, indústria automotiva, aeronáutica, materiais esportivas, decoração, construção civil, dentre outras (CONSTRUPOR, 2016).

Entretanto, o Poliestireno extrudido (XPS), além de também ser uma espuma rígida de poliestireno, o que diferencia do EPS é o seu processo de produção, onde o Isopor é extrudido e empregado gases expansores. Sua aplicação é muito menos útil que a do EPS, pois sua única utilização é servir de isolamento na construção civil, e é apresentado em forma de placas coloridas (ABRAPEX, 2016).

O EPS é constituído de 98% de ar e 2% de matéria prima em massa, que desde sua origem tem sido muito utilizado em diversas formas, como embalagens industriais (na conservação de produtos alimentícios e também na proteção de equipamentos frágeis, inúmeros itens de materiais de construção civil e isolamento térmico (SILVEIRA et al, 1998).

Segundo Santos (2008), o EPS possui diversos campos para atuação no setor de construção civil, sendo um dos principais itens, o enchimento de lajes. Muito utilizado em coberturas, telhados, paredes, lajes, esquadrias, no concreto, dentre elas destacam-se o baixo peso; alto volume que proporciona em relação ao peso por causa do alto número de vazios; resistência ao fogo, podendo ser aplicado como retardador de chama; instalação simples, onde é fácil seu manuseio, desde cortes, montagem, fixação e por não servir de alimento a qualquer ser vivo, inclusive microrganismos e cupins e tampouco não apodrece.

Características sobre a funcionalidade, benefícios e propriedades térmicas do EPS na construção de lajes pré-moldadas serão abordados mais adiante neste mesmo capítulo, com subtítulo de Tipologia de lajes e suas características térmicas.

2.3 Normas brasileiras de conforto térmico

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), comenta que atualmente o Brasil possui duas normas que estão relacionadas ao desempenho térmico das edificações, a NBR 15575 (ABNT, 2013), com o título de Edificações habitacionais: Desempenho, e a NBR 15220 (ABNT, 2005), com o título de Desempenho térmico de edificações.

2.3.1 NBR 15575 (ABNT, 2013)

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é fragmentada em seis partes, e diz respeito ao desempenho térmico das habitações residenciais de até 5 pavimentos. A normativa traz critérios para poder avaliar as partes de uma habitação, sendo classificado como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), levando em consideração características como resistência térmica, transmitância térmica, absortância e capacidade térmica, respeitando cada zona bioclimática em que a habitação se encontra.

Para poder avaliar o desempenho térmico da edificação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) apresenta no item 11.1 a, dois procedimentos conforme reprodução explícita a seguir:

a) Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2.

b) Procedimento 2 – Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior (a), conforme disposto na diretiva 2:2011 da ABNT.

A NBR 15575 (ABNT, 2013), ainda comenta sobre os métodos de medição das propriedades térmicas dos materiais e elementos construtivos, a mesma explica como proceder em cada caso específico em que se deseja medir, e o tipo do ensaio a se realizar, conforme a tabela 11.1 da norma.

Tabela 2 - Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais.

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C 518 ou ASTM C 177 ou ISSO 8302
Calor específico	Medição ASTM C 351 -92b
Densidade de massa aparente	1.1 Medição conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ ASTM C 1371 - 04a
Absortância à radiação solar	Medição ANSI/ASHARE 74/88 ASTM E 1918-06, ASTM E 903-96
Resistência ou transmitância térmica dos elementos	Medição conforme ABNT NBR 6488 ou cálculo conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E 903-96
Características fotoenergéticas (vidros)	EM 410 1988/EM 12898

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

2.3.1.1 Exigências de desempenho no verão

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o interior do edifício habitacional deve possuir condições de conforto térmico iguais ou melhores que do ambiente externo, à sombra em um dia de verão.

Em ambientes de vivência por mais tempos, como dormitórios, escritórios e salas, é estabelecido uma temperatura máxima diária que deve ser sempre igual ou menores que a temperatura exterior.

A tabela 4 é um reprodução explícita da tabela 11.2 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) com a finalidade de expor qual o critério para avaliar o desempenho térmico na condição de verão, onde o nível de aceitação é o M (mínimo).

Tabela 3 - Critério de avalição de desempenho térmico para o verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	Ti,max ≤ Te,max	Ti,max ≤ Te,max

Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;

Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

2.3.1.2 Exigências de desempenho no inverno

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o interior do edifício habitacional deve possuir condições de conforto térmico iguais ou melhores que do ambiente externo, para um dia normal de inverno. Em ambientes de permanência prolongada, como por exemplo dormitórios, escritórios e salas, é estabelecido uma temperatura máxima diária que deve ser sempre igual ou maiores que a temperatura mínima exterior, com um acréscimo de 3°C.

A tabela 5 é um reprodução explícita da tabela 11.3 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) com a finalidade de expor o critério de avaliação de desempenho térmico somente para condições de inverno, onde o nível de aceitação é o M (mínimo).

Tabela 4 - Critério de avalição de desempenho térmico para o inverno.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Ti,min ≥ (Te,min + 3o C)	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.

Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

2.3.1.3. Procedimentos de avaliação de projeto

Ainda a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), em sua primeira parte, sub titulada de Requisitos Gerais, traz um roteiro de procedimentos de como agir na fase inicial de projetos, envolvendo um dia típico de inverno e de verão. Para unidades habitacionais isoladas, devemos simular todos os recintos da residência, levando em consideração as trocas térmicas entre os seus espaços e medir os resultados através dos critérios. A edificação deverá ser orientada conforme a implantação. Se por acaso a orientação da edificação não pode ser definida, a mesma tem que ser posicionada a fim de que avaliada a condição mais crítica do desempenho térmico.

Para condição crítica térmica, é recomendável:

a) Verão: é aconselhável que as janelas da sala e dos dormitórios estejam voltadas para o oeste, se não for possível, ao menos uma deve seguir este procedimento.

b) Inverno: é recomendado que as janelas da sala e dos dormitórios estejam voltadas para sul, se não for possível, ao menos uma deve seguir este procedimento.

c) Obstrução no entorno: Fazer o possível para que as janelas e as paredes expostas não fiquem obstruídas, livres de presença de altas vegetações, ou edificações altas que alterem a incidência de sol e a presença de ventos.

A mesma NBR 15575 (ABNT, 2013), ainda cita sobre a absortância à radiação dos raios solares nas superfícies expostas, esta é escolhida de acordo conforme a cor e o tipo da superfície externa das paredes e cobertura. Se por acaso, a residência não atingir os critérios estabelecidos para o verão, a mesma deverá ser avaliada novamente com algumas alterações:

- Na ventilação: fazer o possível para aumentar a taxa de ventilação no mínimo cinco vezes, ou seja trocar o ar que está no ambiente cinco vezes por hora (5,0 Ren/h[2]).

- No sombreamento: colocar algum tipo de proteção solar externa, que seja eficiente em diminuir pela metade a incidência de raios solares que entram pelas janelas e ainda fazer que o ar do ambiente interno seja trocado no mínimo uma vez por hora.

[2] Renovações do ar em um ambiente fechado em um período de uma hora (Ren/h).

2.3.2 NBR 15220 (ABNT, 2005)

A normativa brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005), é dividida em 5 partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

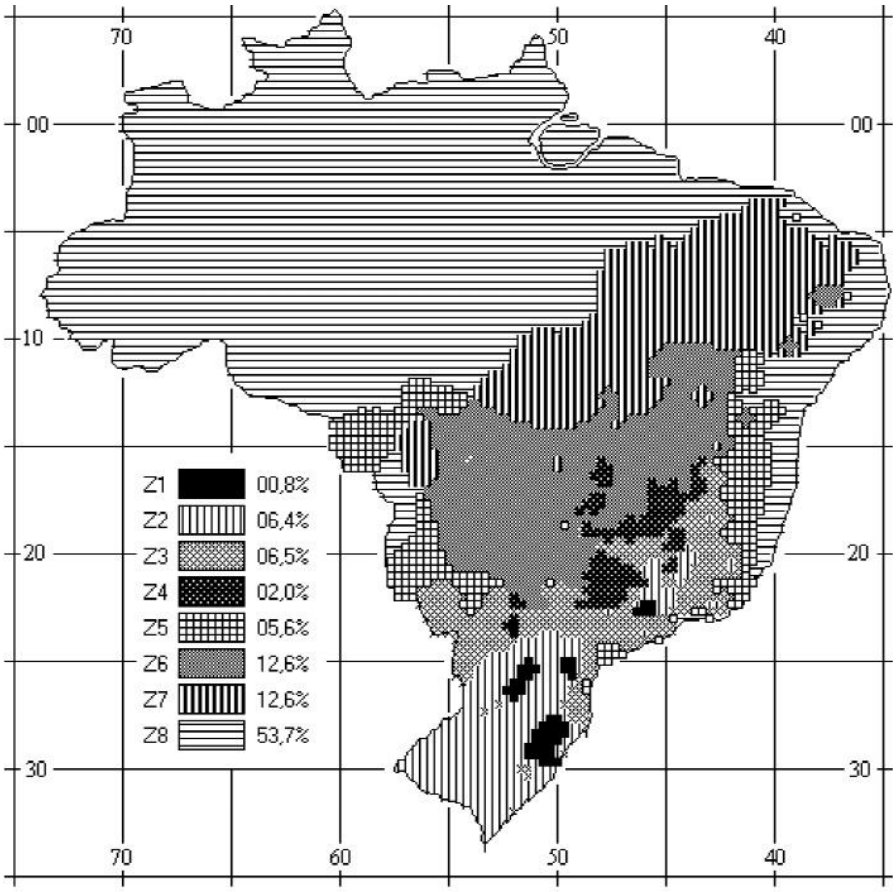
Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A norma 15220 (ABNT, 2005), traz os procedimentos e as recomendações para estabelecer critérios de desempenho térmico de uma habitação.

A parte 2 da NBR 15520 (ABNT, 2005), é a parte mais importante para este atual trabalho, pois nesta parte são apresentados o procedimento de cálculo para obter a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, e fator solar.

E na parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005), tem o mapa de zoneamento bioclimático, dividido em 8 zonas brasileiras. Em cada zona bioclimática, é apresentado os critérios para melhorar as condições de conforto destas área de acordo com a localização climática.

Figura 5 - Mapa do zoneamento bioclimático.



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

2.4 Tipologia de lajes e suas características

Este trabalho não abordará questões de resistência estrutural dos três tipos de lajes, tampouco questões referente ao concreto e armadura, que serão utilizados para a confecção destes experimentos. Porém será feita uma breve apresentação dos três tipos de lajes estudadas.

As lajes são elementos estruturais de fechamento horizontal, que influencia no custo e no cronograma da obra. Um dos objetivos na engenharia civil é a redução de custos, porém para que isso seja um objetivo alcançado é necessário um estudo aprofundado envolvendo tipos de matérias, mão de obra, maquinários, técnicas construtivas, e principalmente o tipo de laje a ser utilizada. Além de tudo é bom conhecer o mercado ao seu redor para saber qual laje está disponível em sua região, consultar prazos de entregas, vão livres, sobrecargas, entre outras (BERNARDI, 2001).

De acordo com o objetivo deste trabalho, o mesmo visa o estudo dos conceitos, aplicações e características térmicas especificamente de três tipos de lajes, que são:

- Laje pré-moldada com utilização de EPS;
- Laje pré-moldada com utilização de tavelas cerâmicas;
- Laje painel treliçada com a utilização de EPS.

Neste capítulo serão apresentados as características de cada tipo das lajes citadas acima, suas propriedades físicas e térmicas, afim de se obter um estudo completo sobre qual laje proporciona um ambiente mais confortável em questões térmicas.

As habitações devem oferecer ótimas condições térmicas, similares com as de um corpo humano. Depois da implantação nova NBR 15575 (ABNT, 2013) – Edificações habitacionais – Desempenho, foi começado a estabelecer alguns critérios para avaliação do desempenho dos principais sistemas que compõe um edifício. Dentre os diversos sistemas construtivos, e as diversas tipologias de lajes, que é caracterizado de acordo com o tamanho de vão a ser vencido, da carga, da utilização da edificação, entre outros fatores, na região sul do país as lajes mais utilizadas são as lajes pré-moldadas, que são usadas em edificações onde possuem vãos e cargas menores. As lajes pré-moldadas geralmente são preenchidas por tavelas cerâmicas ou blocos de EPS, mesmos materiais que serão utilizados neste presente trabalho. (BERNARDI, 2001).

Ainda Bernardi (2001), existem muitas falhas oriundos de projetos mal dimensionados para às condições de conforto térmico, acústico e a funcionalidade, então fica claro a importância de um estudo bem detalhado mostrando a necessidade da escolha de materiais eficientes e de sistemas construtivos mais racionais que já apresentaram aprovação através de ensaios e protótipos realizados a fim de garantir uma boa relação entre qualidade/custo para que venha proporcionar boa eficiência no conforto térmico das habitações. Através desta concepção de novos projetos, visando a eficiência energética e o conforto térmico, inevitavelmente haverá uma redução dos gastos com faturas de energia elétrica e proporcionará aos usuários, um melhor conforto térmico das habitações.

2.4.1 Lajes pré-moldadas com utilização de EPS

Usualmente, os termos pré-moldado e pré-fabricado, são empregados em muitos casos para a mesma finalidade, porém nem todas as pessoas sabem o verdadeiro significado de cada termo, segundo a NBR 9062 (ABNT, 2006) - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, o elemento pré-fabricado é um elemento pré-moldado, porém produzido dentro de uma indústria especializada ou em canteiros de obras, os quais obedecem a manuais e especificações técnicas por uma equipe devidamente treinada e qualificada, que controla através de laboratórios a qualidade dos produtos individualmente ou por lotes. Por outro lado, o elemento pré-moldado, não necessita de um controle de qualidade tão rigoroso, apenas sofre uma inspeção básica para atender as exigências da obra. Ele é produzido fora do seu local de fixação definitiva estruturalmente.

Segundo a ABRAPEX, as lajes pré-moldadas com a utilização de poliestireno expandido apresenta inúmeras vantagens, sendo as principais listadas abaixo:

- Como o EPS é um material de enchimento, automaticamente reduz a quantidade de concreto na laje, consequentemente diminuição do peso da estrutura;
- Por reduzir o volume de concreto, haverá uma diminuição de custo da laje;
- Obra mais leve em relação a uma laje maciça, diminuirá o peso da estrutura, e dependendo os cálculos, diminui o número e/ou a seção das vigas e pilares;
- Apresenta boas condições térmicas, e acústicas;
- Redução do escoramento nas lajes, e com isso facilita a locomoção pelo interior da obra;
- Eliminação de formas;
- Evita o desperdício de matérias na obra, como cimento, areia, brita, aditivos, etc.
- Material leve. O peso varia entre 10 a 25 kg/m³
- Resistência a compressão de 1000 a 2000 kg/m²
- Possibilita grandes vãos e sobrecargas nas lajes
- Fácil manuseio, e rápida colocação
- Economia do transporte
- Eliminação de material de reposição, como é o caso das tavelas
- Elimina a perda de nata do cimento e melhora a cura da laje
- Redução de cimbramentos

- Pouca absorção de água, máximo 5%
- Não serve de alimento para nenhum tipo de ser vivo

Figura 6 - Laje pré-moldada com vigota de concreto simples e blocos de EPS

Fonte: Empresa Lajes Carioca Ltda.

Figura 7 – Vigota pré-moldada

Fonte: Empresa Lajes Carioca Ltda.

Ainda segundo a Empresa Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), o EPS é utilizado em lajes pré-moldadas nervuradas em uma só direção ou em grelha, além de permitir grande economia de mão-de-obra e tempo.

Tabela 5 – Tabela comparativa de isolamento térmico de lajes

Coeficiente de condutividade térmica K (kcal/m² H °C)			
LAJE H-12	**LAJE CERÂMICA**	**LAJE MACIÇA**	**LAJE COM ISOPOR**
Isolamento	2,37	2,43	0,75

Fonte: Construpor

Segunda a Construpor (2016), a execução do acabamento inferior de uma laje construída com EPS, possibilita um fácil acabamento, que pode ser feito com uma camada de gesso, ou uma camada de chapisco rolado, que é executado com um rolo de espuma e uma argamassa dosada, e o chapisco pode ser feito da forma manual, com uma colher de pedreiro.

2.4.2 Lajes pré-moldadas com utilização de tavelas cerâmicas

A utilização de materiais cerâmicos como elementos de enchimento, é muito empregada na região sul do país, utilizada desde pequenas à grandes obras. A vigota de concreto pode ser vigotas simples ou vigotas protendida, dependendo do tipo de vão que se deseja alcançar, e a sobrecarga que deve ser suportada.

Como este trabalho não tem a objetivo de análise de resistência estrutural, e sim apenas análise do conforto térmico, sejam elas protendidas ou simples, a avaliação será a mesma. Para os protótipos foram utilizadas vigotas simples.

De acordo Borges (1997 apud Albuquerque, 1999), os elementos pré-moldados são fabricados em série, em sistemas de produção em massa, onde é feito vários em um lote, ou em um turno, para somente depois serem transportados e montados na obra, suas principais vantagens são: a rapidez para execução da obra, o peso da estrutura e o custo final da obra. Fator importante é que não precisa o uso de fôrmas para a execução das lajes.

Para enchimento das lajes, geralmente são utilizadas tavelas cerâmicas (quando se pretende construir uma lajes mais esbelta, ou seja menos espessa), ou blocos cerâmicos (quando a lajes for mais espessa), dependendo da altura em que se deseja construir a laje. Este sistema apresenta tais características listadas abaixo:

- Isolantes térmicos melhor que o concreto maciço;
- Baixo custo;
- Matéria prima abundante;
- Facilidade e rapidez na execução.

Entretanto, apresentam também algumas desvantagens:

- Peso elevado para um simples material de enchimento, comparado com o EPS;
- Alta absorção de água;
- Apresenta poucas opções de dimensões, dificultando que sejam cortados.

Figura 8 – Laje pré-moldada com utilização de tavelas cerâmicas

Fonte: Empresa Cerâmica Kaspary.

O material cerâmico é muito utilizado na construção civil, por se tratar de um material de baixo custo, matéria prima abundante neste estado do Rio Grande do Sul e possui resistência suficiente para ser utilizado em várias situações. Existem diversos tipos de materiais, de acordo com a finalidade de uso, por exemplo tavelas, tijolos, blocos de vedação e blocos estruturais. (BOTELHO; MARCHETTI, 2014).

As tavelas cerâmicas utilizadas neste trabalho tem as seguintes dimensões: altura de 8 cm, largura: 30 cm, comprimento: 20 cm e apresentam 6 furos horizontais. De acordo com essas dimensões, foram necessárias 12 peças por metro quadrado de laje. Entretanto, as vigotas de concreto armado, possuem as seguintes dimensões: altura de 8,5 cm, largura da base de 10 cm e comprimento 110 cm.

Após montadas, foram colocadas uma capa de concreto de no mínimo 5 cm de cobrimento sobre a laje pré-moldada, neste atual trabalho foi utilizado 7 cm de cobrimento, com fck de 26,36 MPa, ensaio realizado no LATEC – Laboratório de Tecnologia e Construção, tudo de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

Com esse sistema, é possível estabelecer uma melhor relação custo/benefício na fabricação de lajes pré-fabricadas, dentre várias vantagens, as principais são: rapidez na execução, fácil montagem, e principalmente um baixo consumo de concreto, que diminuirá o peso da estrutura. Por outro lado, apresenta algumas desvantagens, onde não são indicadas para atender grandes vãos ou para suportar sobrecargas, isto não é possível por vários motivos, um deles é a aderência entre o concreto de cobertura e as vigotas, que apresentam uma superfície lisa, impossibilitando a monoliticidade da estrutura (BOTELHO; MARCHETTI, 2014).

Estas vigotas de concreto apresentam geometria similar a um “T” invertido, possuem armadura passiva no seu interior, e sua quantia de barras da armadura depende do tipo da vigota, pois depende a carga e o vão que se deseja alcançar, se aumente ou diminui a quantidade de fios de armadura passiva.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, o concreto que será utilizado para capeamento, sua principal função é fazer a ligação entre a zona comprimida e a zona tracionada, e também para proteção da armadura. Em casos aonde possuem momentos negativos, esta área será submetida a compressão, por isso que o concreto deve possuir um boa qualidade para garantir a resistência da laje.

Figura 9 – Utilização de tavelas cerâmicas e vigotas de concreto.

Fonte: Universidade Feevale

Este sistema de lajes com enchimento de tavelas cerâmicas ou até mesmo com EPS, é necessário a colocação de armadura de distribuição, que é utilizada para garantir a fissuração do concreto de capeamento. É utilizado barras de 5mm, espaçadas a cada 30 cm e distribuídas no sentido transversal das vigotas. Porém na realização dos 3 protótipos não foi utilizado armadura de distribuição porque as lajes são de pequenas dimensões (110 x 100 cm).

2.4.3 Laje painel treliçada com utilização de EPS

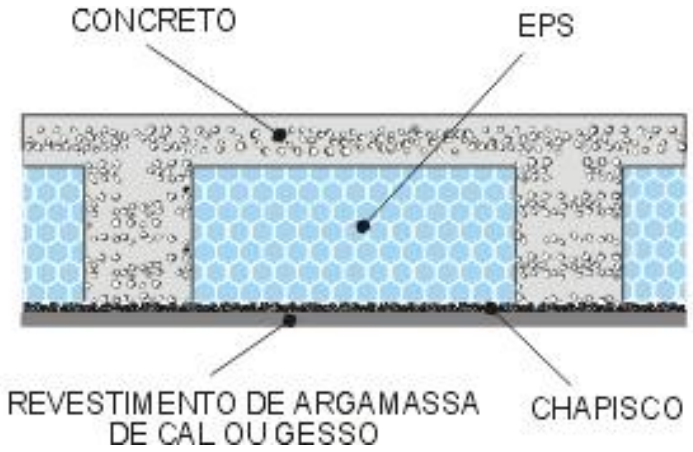
Este sistema de lajes é muito difundida e comercialmente uma das mais utilizadas, seu principal motivo é poder alcançar vãos maiores que as vigotas de concreto e também por suportar uma sobrecarga maior em relação aos sistemas apresentados anteriormente. Este sistema de painel treliçado utiliza vergalhões soldados entre si, unidos através de solda em forma de uma treliça. Devido a este reforço em sua armadura, ela pode receber cargas maiores e vencer vãos de até 12 metros. Pode ser utilizados como enchimento, materiais cerâmicos e também Poliestireno Expandido EPS. (ABRAPEX, 2016).

Segundo a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (ABRAPEX), o EPS vem sendo usado há décadas na Europa, América do Norte, da Oceania até o Oriente. Por ser um material leve, inerte, inofensivo ao meio ambiente, econômico e principalmente por possuir excelentes características térmicas e acústicas, seu uso está cada vez mais frequente em todas as áreas, em hospitais, empresas, indústrias, lar doméstico, enfim em uma série de lugares, e principalmente na construção Civil. ABRAPEX ainda comenta que o uso do poliestireno expandido na construção civil, tem vário pontos de aplicação, desde juntas de dilatação, no enchimento de lajes pré-moldadas, no piso para evitar propagação de ruído e melhorar condições térmicas, no concreto com objetivo de reduzir o peso do concreto, dentre outras utilidades.

Como fundamental para este trabalho, o EPS foi utilizado na forma de enchimento de lajes e formas para concreto, por se tratar de um material leve, pode ser utilizado até com 10kg/m³. Material resistente, alcançando 50 KPa, e deve ser produzido de acordo com a normativa NBR 11752 (ABNT, 2007) - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial

O EPS é disponibilizado no mercado através de blocos de 1 a 5 metros de comprimento, com seções que variam de tamanho de acordo com a necessidade da obra. O EPS é facilmente utilizado, onde pode ser cortado em pedaços menores para atender alguma exigência dentro da obra, como um canto, ou área mais estreita por exemplo. Ainda é recomendado seu uso em lajes nervuradas em uma só direção ou em grelha, pois reduz bastante o peso próprio da laje, gerando economia e redução de tempo (CONSTRUPOR, 2016).

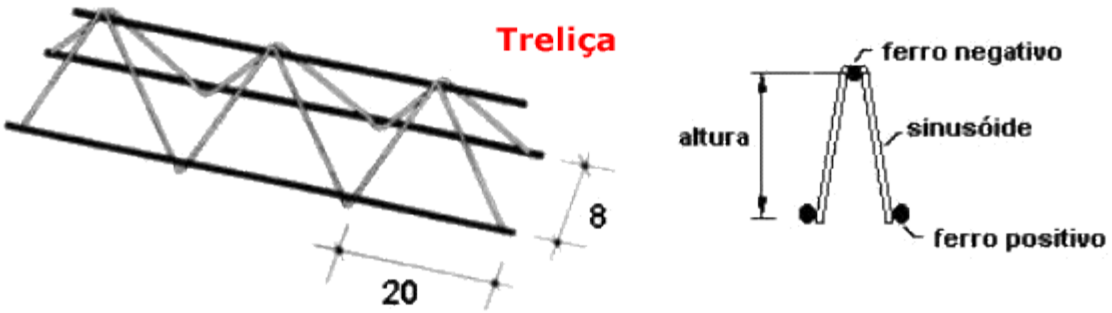
Figura 10 - Corte transversal de um sistema com EPS



Fonte: ABRAPEX (2016)

Para a produção de vigotas para as lajes de painel treliçado, assim como as vigotas de concreto também são regidas através da norma NBR 6118 (ABNT, 2014), que é considerado um material pré-fabricado e deverá atender todas as exigências de acordo com o norma.

Figura 11 - Esquema de uma treliça



Fonte: Concretofato

Existem diversos tipos e dimensões de painéis treliçados, alguns apresentam larguras diferentes e outras alturas diferentes, dependendo da espessura da laje que será executada. As lajes treliçadas surgiram basicamente para solucionar as deficiências apresentadas nas lajes pré-fabricadas convencionais, deficiências estas que eram vãos menores, menores sobrecargas, e menor quantidade de vigas. E também por questões de segurança, pois o trabalho sobre uma laje treliçada e também sobre uma laje painel treliçada é muito mais seguro do que em lajes pré-moldadas convencionais, graças ao seu reforço na armadura em forma de treliça, garantindo assim uma maior segurança de toda a equipe de obra. Além disso, por suportar maiores cargas, também é possível maiores distribuições de paredes sobre a lajes sem precisar fazer mais vigas para este fim (ABRAPEX, 2016).

As vantagens do uso de EPS neste tipo de laje são os mesmos dos apresentados anteriormente na laje pré-moldada com EPS. Vale ressaltar a facilidade da execução das instalações elétricas, pois pode-se abrir “sulcos” no EPS facilitando a passagem dos condutores, diferente em lajes com enchimento em tavelas cerâmicas, onde os condutores ficam sobre as lajes, enfraquencendo a estreita capa de concreto sobre a lajes executada (CONSTRUPOR, 2016).

Figura 12 – Execução de uma laje treliçada com enchimento em EPS

Fonte: Empresa Concretofato

Figura 13 - Montagem de uma laje painel treliçada com o EPS de enchimento

Fonte: Emprea Trelicon Ltda.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Este trabalho, visa a realização de um estudo comparativo da resistência térmica com a utilização de lajes pré-moldadas e laje painel treliçada através da realização de três protótipos que serão apresentados abaixo, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). O trabalho obteve resultados, conforme as questões térmicas e com estes a realização de análises das propriedades térmicas dos elementos das lajes, onde foi verificando as melhores condições de conforto térmico entre as lajes.

Inicialmente, o estudo foi escolhido devido à falta de materiais publicados a respeito do isolamento térmico das lajes. Com isso gerou uma demanda maior em buscar conhecimentos nas normativas, livros referente a conforto térmico e construção civil, dissertações sobre física e princípios de transferências de calor, e notas de aula ocorridos ao longo do curso de engenharia civil, para poder aprofundar o conhecimento e compreensão do tema. Após abordado a parte teórica, foi elaborado a confecção dos protótipos.

Os três protótipos foram construídos na rua Otto Pedro Rohenkhol, 139, Moinhos D'água, Lajeado - RS, expostos em um terreno vazio, livre de pessoas, árvores, edifícios e com ótima incidência solar para facilitar a coleta de dados, e orientados pelo sentido oeste-leste, para que a incidência solar seja igual para os 3 protótipos.

3.1 Tipo de pesquisa

Este estudo é enquadrado no âmbito de pesquisa experimental. A pesquisa experimental é caracterizada porque determina um objeto para um estudo aprofundado, e estuda-lo de forma a analisar suas variáveis que poderiam modifica-lo, e observar seu comportamento ao longo do estudo (CHEMIN, 2015).

3.2 Protótipos

Para a construção dos protótipos, foram utilizados os seguintes materiais:

- 3 estruturas de concreto armado, com espessura de 6 cm, altura de 68 cm e demais dimensões consultar figura 15;
- 3 vigotas de concreto do tipo “T”, com 10 cm de largura da base e altura 8,5 cm, para a laje pré-moldada com EPS;
- 3 vigotas de concreto do tipo “T”, com 10 cm de largura da base e altura 8,5 cm, para a laje pré-moldada com tavelas;
- 3 painéis treliçados para a laje painel treliçada com EPS, com 30 cm de largura da base, 3 cm de espessura da base e altura de 8cm;
- 14 tavelas cerâmicas, com 8 cm de altura, 30 cm de comprimento, 20 cm de largura e com 6 furos, para a laje pré-moldada com tavelas;
- 2 blocos de EPS, com comprimento de 110 cm, largura de 40 cm e espessura de 8 cm, para construção da laje pré-moldada com EPS;
- 4 blocos de EPS, com comprimento de 110 cm, largura de 20 cm e espessura de 5 cm, para a laje de painel treliçada com EPS;
- Fôrmas, para a construção das 3 lajes, sendo que foi utilizado chapas de compensado naval;
- 1 placa de concreto com 5 metros de comprimento, 1 metro de largura e 6 cm de espessura para uso como piso para os protótipos;
- Manta líquida impermeabilizante, na parte superior dos 3 protótipos;

- Concreto para a capa de cobrimento das lajes, volume aproximado total das 3 lajes de 0,30 m³ de concreto com resistência de 26,36 Mpa, traço 1:3:3 (cimento, areia, brita) e espessura de 7 cm, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014);
- Cimento, areia, brita e água, para fabricação do concreto, Demais ferramentas, como martelos, pregos, serrote, colher de pedreiro, entre outros.

Estas estruturas dos protótipos serviram como base para o apoio das lajes. As estruturas foram emprestadas de uma empresa de artefatos de cimento na qual o aluno atualmente trabalha. Estas estruturas são utilizadas para outros fins construtivos, porém se encaixa bem para a execução deste experimento, simulando a estrutura de uma residência.

As estruturas possuem uma pequena porta, facilitando a medição interna da temperatura. Não será necessário melhorar o acabamento com qualquer tipo de material. Será colocado uma porta para vedar o ambiente. Serão utilizadas ao total 3 destas estruturas, todas de mesmas dimensões, como visto na figura 14.

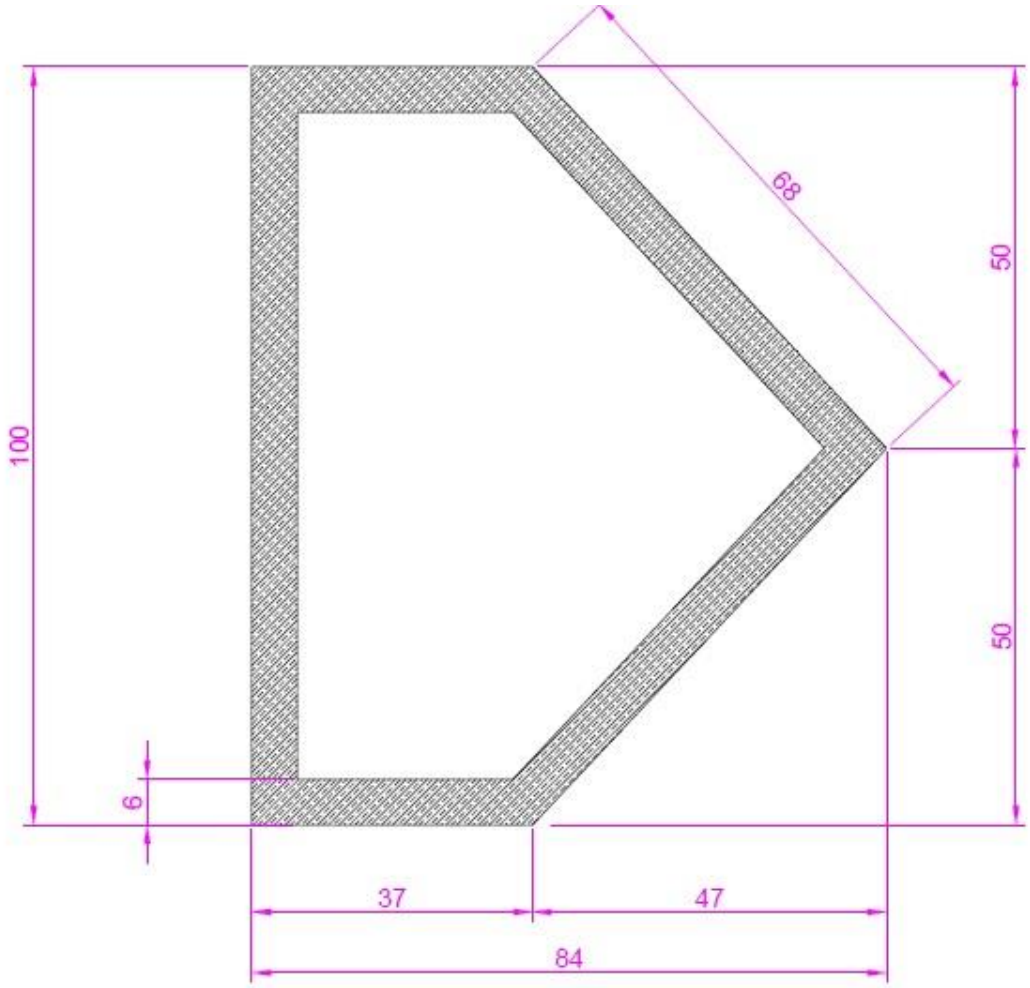
- Altura: 68 cm
- Largura: 100 cm
- Comprimento: 84 cm

Figura 14 – Estruturas de concreto armado

Fonte: Autor (2016)

As estruturas de concreto armado possuem barras de aço sobre salientes em forma de ganchos, com isso é possível realizar o içamento de maneira correta, procedimento este que é realizado na maioria dos casos em elementos pré-fabricados pesados. Após serem posicionadas no local correto, estes ganchos foram cortados para não atrapalhar o apoio da laje na estrutura. Estes protótipos foram posicionados sobre uma placa de concreto com 5 metros de comprimento, 1 metro de largura e 6 cm de espessura, afim de evitar o contato entre os protótipos e o solo para evitar infiltração.

Figura 15 – Dimensões das estruturas de concreto armado.

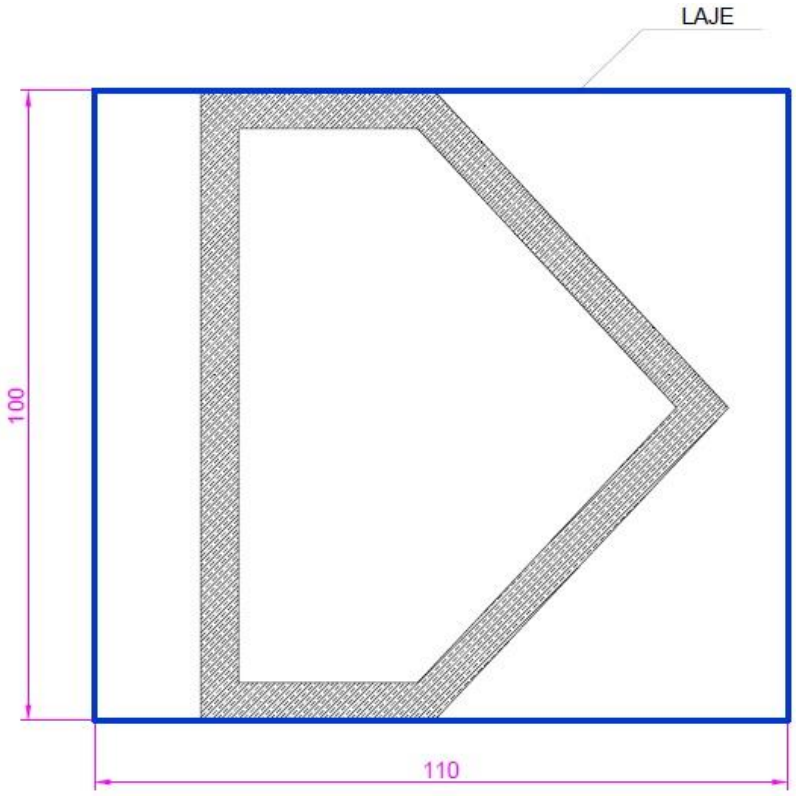


Fonte: Autor (2016)

Por serem lajes de tamanhos bem pequenos (1,1 m x 1 m), por não haver pessoas caminhando sobre elas, e também porque não haverá nenhuma sobrecarga nesta estrutura, somente o peso próprio, não foi necessário a colocação da armadura de distribuição.

Todas as lajes tem as mesmas dimensões, 1,1 metro de comprimento, 1 metro de largura e 0,15 m de espessura. Nenhum dos três protótipos foram pintados, somente foi aplicado uma manta líquida impermeabilizante na parte superior das lajes, que possui coloração branca.

Figura 16 – Dimensionamento das lajes



Fonte: Autor (2016)

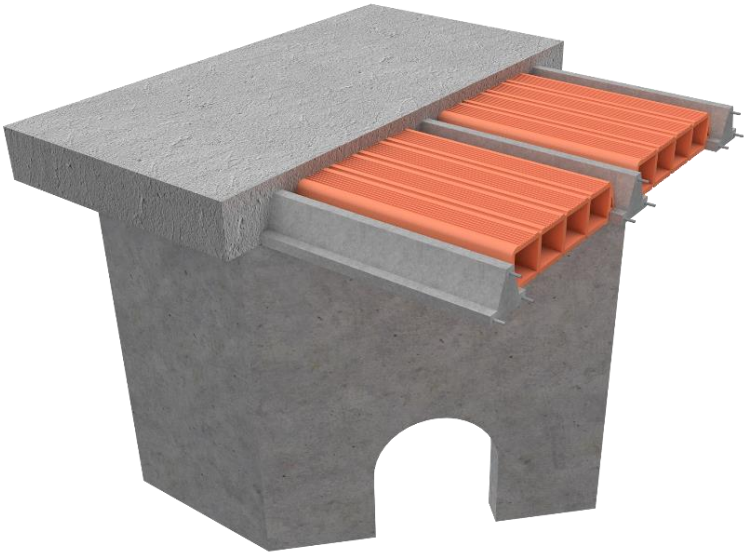
Materiais para fazer o concreto como brita, areia, foram comprados de uma empresa do município de Lajeado, onde a procedência da brita é da pedreira da empresa Conpasul Construção e Serviços Ltda, localizada em Linha Santa Rita, município de Estrela RS. E a procedência da areia é do município de Cachoeira do Sul, extraída do Rio Jacuí. O cimento que vai ser utilizado, foi o cimento Portland Pozolânico resistente à sulfatos CP IV -32 RS, da marca Supremo, comprados em sacos de 50 kg através de uma empresa do município de Lajeado RS. Os blocos de EPS são provenientes da empresa Termotécnica LTDA, cujo lote de produção é: 6541/3363027, fabricados no dia 28/01/2016, comprados através de uma empresa do município de Lajeado RS. As tavelas cerâmicas são de origem da empresa Kaspary, de Bom Princípio RS, também compradas em uma empresa do município de Lajeado RS.

Para melhor visualização dos protótipos, foram feitos desenhos em 3 dimensões de como foi executados os protótipos.

Figura 17 – Laje Pré-moldada com EPS

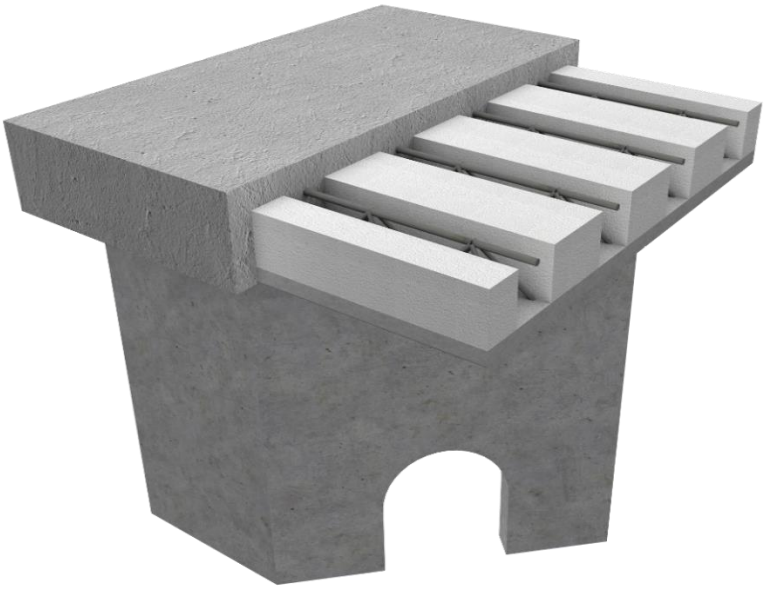
Fonte: Autor (2016)

Figura 18 – Laje Pré-moldada com tavela cerâmica



Fonte: Autor (2016)

Figura 19 – Laje de painel treliçada com EPS



Fonte: Autor (2016)

As 6 vigotas de concreto armado para as duas lajes pré-moldadas foram compradas em um empresa no município de Lajeado – RS, e os 3 painéis treliçados foram comprados em uma empresa no município de Arroio do Meio – RS. Ambos produzidos com alto padrão de qualidade.

Para a execução dos protótipos, foram observados aspectos estudados ao longo do curso de Engenharia Civil, tais como fôrmas, concretagens, cura, entre outros.

Figura 20 – Execução do protótipo A - Laje painel treliçada com EPS.

Fonte: Autor (2017)

Figura 21 - Execução do protótipo B - Laje pré-moldada com tavela cerâmica

Fonte: Autor (2017)

Figura 22 - Execução do protótipo C - Laje pré-moldada com EPS

Fonte: Autor (2017)

Para a realização da concretagem neste presente trabalho, foi usado o traço de 1:3:3 (cimento, areia, brita), que é muito usual para concretagens em lajes. Foi preciso aproximadamente 0,3 m³ de concreto para preencher as 3 lajes e para os 8 corpos de prova que foi preenchido no momento da concretagem e enviado ao laboratório da Univates para romper com 7, 14, 21 e 28 dias, atingindo resistência de 26,36 Mpa aos 28 dias, relatório está nos anexos do trabalho. Para a cura das lajes, foram molhadas durante os primeiros 5 dias para que o processo de cura se fosse de acordo com as normas técnicas. A retirada das fôrmas foi realizado no quinto dia. E somente 14 dias após a concretagem, foi realizada a camada de impermeabilização com uma manta líquida impermeabilizante, aplicada em duas demãos e em dois sentidos transversais para que a camada de impermeabilização fosse igual em todas as lajes e de mesma espessura.

Figura 23 –Protótipos concretados e aguardando a retirada das fôrmas

Fonte: Autor (2017)

Figura 24 – Aplicação das camadas de impermeabilização

Fonte: Autor (2017)

Figura 25 – Protótipos concluídos e prontos para as coletas de dados

Fonte: Autor (2017)

3.3 Métodos de avaliação de desempenho térmico

Os métodos de avaliações utilizados neste atual trabalho, foram de acordo com as duas normativas de desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005), já especificados nos capítulos anteriores.

Através dos dados coletados de temperaturas internas e externas dos 3 protótipos, foram gerados gráficos comparativos onde foi possível analisar a diferença de temperatura de todos os protótipos e comparar com os mesmos. Os dados de temperaturas internas e externas e umidades internas e externas, foram coletados através de um termo higrômetro aferido e de acordo com a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

Este aparelho denominado de Termo Higrômetro, é capaz de coletar dados de temperatura interna e externa, e a umidade relativa do ar interna e externa em display digital, que facilita a visualização de todos os dados em uma só tela. Também possui um cabo com uma ponta de aço inox de 2,8 metros para ter mais precisão nas coletas de dados. Este dispositivo é da marca Incoterm e apresenta tais características:

- Faixa De Medição Interna: 0°C À 50°C (32°F À 122°F)
- Faixa De Medição Externa: -50° À 70°C (-58°F À 158°F)
- Resolução Interna / Externa: 0,1°C / °F
- Precisão: ± 1°C / °F
- Faixa De Medição Da Umidade: 15 À 95 Ur
- Resolução: 1 Ur
- Precisão: ±5 Ur
- Dimensões: 35 X 27mm

Figura 26 - Termo-Higrômetro usado nas coletas de dados a campo

Fonte: Autor (2017)

As coletas de dados foram realizadas em vários dias, todos com as mesmas condições climáticas apresentando sol e sem a ocorrência de chuva no dia anterior, sendo que sempre foi coletado 4 medições por dia, às 09;30, 12:30, 15:30 e 18:30, sempre nos mesmos horários para todos os 3 protótipos. As coletas seguiram um procedimento padrão em todos os dias e em todas as coletas.

Figura 27 – Nomenclaturas dos protótipos e coleta de dados

Fonte: Autor (2017)

Em cada momento de coleta de dados, foi iniciado através das medições de temperatura externa e umidade relativa do ar externa, onde o termo-higrômetro precisa de 5 minutos para realizar a correta coleta de dados, tempo este descrito pelo manual do fabricante. Após passados 5 minutos, os dados de temperatura externa e umidade relativa do ar externa eram anotados em uma planilha, dados estes que se mantiveram constantes enquanto eram realizadas as coletas dos 3 protótipos.

O próximo passo foi zerar o termo-higrômetro e colocar a ponta do aparelho dentro do protótipo em uma posição interna central através de um pequeno orifício na porta lateral do protótipo, e através de seu cabo de 2 metros de comprimento com o auxílio de uma fina haste de fibra de vidro, para garantir rigidez necessária para que o sensor ficasse na área central do protótipo, foi cronometrado mais 5 minutos para coleta de dados do protótipo A, após 5 minutos, os dados foram anotados na planilha. O mesmo procedimento foi repetido para o protótipo B e C. Sempre foi iniciado pelo protótipo A, depois o protótipo B e por último o protótipo C. Sempre respeitando o tempo de 5 minutos para que o aparelho colha as informações de maneira correta e confiável.

Figura 28 – Coleta de dados dos protótipos

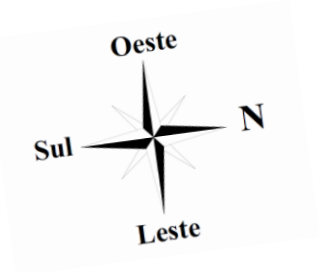
Fonte: Autor (2017)

Figura 29 - Procedimento de coleta em cada protótipo

Fonte: Autor (2017)

Os 3 protótipos ficaram distantes 1 metro um do outro, afim de não sombrear os demais, todos tem o mesmo alinhamento solar, orientados de oeste-leste e terão a mesma incidência solar sobre eles. As 3 lajes ficaram expostas, sem qualquer tipo de telhado, apenas com a impermeabilização através da manta líquida impermeabilizante com coloração branca, e nenhuma pintura foi utilizada, tanto nas laterais do protótipo, quanto nas lajes.

Figura 30 – Orientação solar (sentido leste – oeste)



Fonte: Autor (2017)

Através dos resultados obtidos provenientes dos gráficos, foi possível ter um melhor conhecimento e talvez redirecionar o modelo que apresentou melhores condições térmicas para futuras construções, oferecendo melhor conforto térmico para os ocupantes das residências, e ainda possibilitando um menor consumo de energia elétrica que é usada para condicionar as temperaturas internas das residências.

4. ANÁLISES DE RESULTADOS

4.1. Resultados dos memoriais de cálculos através da NBR 15220-5/2005

Levando em consideração as dimensões das lajes de concreto construídas em cima dos protótipos de concreto armado, e com base na metodologia de cálculos apresentados na NBR 15220-2/2005, o atual trabalho obteve os seguintes resultados dos índices de desempenho térmico, apresentados na tabela 6. O memorial completo de cálculo está no Anexo C do trabalho. A nomenclatura dos protótipos A, B e C, respectivamente são:

Protótipo A – Laje painel treliçada com utilização de EPS;

Protótipo B – Laje pré-moldada com utilização de tavelas cerâmicas;

Protótipo C – Laje pré-moldada com utilização de EPS.

Tabela 6 - Resultados das análises térmicas dos protótipos

	Protótipo A	Protótipo B	Protótipo C
Resistência Térmica Total (RT)	0,3115 (m²*k)/w	0,267 (m²*k)/w	0,4471 (m²*k)/w
Transmitância Térmica Total (U)	3,21 w/(m²*k)	3,74 w/(m²*k)	2,23 w/(m²*k)
Capacidade Térmica (CT)	271,8 KJ/(m²*k)	271,19KJ/(m²*k)	207,67KJ/(m²*k)
Atraso Térmico (ϕ)	2,8 hs	2,46 hs	2,6 hs
Fator de Calor Solar (FS)	3,85%	4,49%	2,24%

Fonte: Autor (2017)

A resistência térmica da laje, consiste em determinar através da soma das resistências das camadas da laje. Segundo Costa (2003), a resistência térmica, corresponde ao grau de dificuldade que a transmissão de calor sofre para atravessar a laje. Sua unidade de medida é (m²*K)/W. A transmitância térmica (U) da laje, é o fluxo de calor que passa através de um componente por uma unidade de área e por diferença de temperatura. Sua unidade é W/(m²*°C).

A capacidade térmica (CT) de uma laje, é quantidade de calor que precisa para aumentar uma unidade de temperatura de um componente, por unidade de área. Sua unidade de medida é KJ/m²*°C. Já o atraso térmico significa que quando a temperatura externa estiver em um valor diferente da temperatura interna, o fluxo de calor que corresponde à essa diferença, vai demorar um certo período para fazer efeito, pois a onda de calor externa está atrasada em relação a interna.

De acordo com a NBR 15575-5/2013, a mesma exige resultados máximos permitidos para o cálculo de desempenho da transmitância térmica (U) quanto a coberturas, levando em conta o fluxo térmico descendente esses resultados devem cumprir os requisitos da tabela 7.

Tabela 7 – Critério de desempenho da transmitância térmica da NBR 15575-5/2013

Transmitância térmica (U) W/(m².K)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 [1)]	
U ≤ 2,30	α [a)] ≤ 0,6	α [a)] > 0,6	α [a)] ≤ 0,4	α [a)] > 0,4
	U ≤ 2,30	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV

[a)] Na Zona Bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.
NOTA – O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.

Fonte: NBR 15575-5-2013

De acordo com o local do estudo e segundo a NBR 15220-2/2005, o município de Lajeado – RS, se enquadra na zona bioclimática 02, onde o limite máximo para transmitância térmica é de 2,3 w/(m²*k). A tabela 6 deste presente trabalho, expressa os resultados obtidos das 3 lajes; Laje painel treliçada com EPS: 3,21 w/(m²*k); Laje pré-moldada com tavelas cerâmicas: 3,74 w/(m²*k); Laje pré-moldada com EPS: 2,23 w/(m²*k). Observa-se que apenas a laje pré-moldada com a utilização de EPS, atendeu o requisito de transmitância exigido pela NBR 15575-5/2013.

A mesma norma NBR 15220-2/2005 ainda estabelece valores para o atraso térmico e também para o fator solar permitido para as vedações externas de cada zona bioclimática. Para a zona bioclimática 02 os valores são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Limites estabelecidos para a zona bioclimática 02

Vedações externas	Atraso Térmico (ϕ) hs	Fator Calor Solar (FCS) %
Cobertura: Leve e Isolada	(ϕ) < 3,3	FCS < 6,5

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2/2005

O atraso térmico (ϕ) das 3 lajes estão expostos na tabela 6, que foram: Laje painel treliçada com EPS: (ϕ) = 2,80 hs; laje pré-moldada com tavelas cerâmicas: (ϕ) = 2,46 hs; laje pré-moldada com EPS: (ϕ) = 2,6 hs. É possível analisar que todas as 3 lajes estudadas, apresentaram valores aceitáveis pela NBR 15220-2/2005, portanto o atraso térmico das 3 lajes estão obedecendo a norma de desempenho térmico.

Em relação ao Fator Calor Solar (FCS), a tabela 8 traz a valor percentual que a NBR 15220-2/2005 exige para esta zona bioclimática em estudo, que deve ser menor que 6,5%. Os resultados obtidos através dos procedimentos de cálculos da NBR 15220-2/2005 estão expostos na tabela 6 do presente trabalho. As lajes estudadas apresentaram os seguinte resultados: Laje painel treliçada com EPS: FCS = 3,85%; Laje pré-moldada com tavelas cerâmicas: FCS = 4,49%; e laje pré-moldada com EPS: FCS = 2,24 %. Todas as lajes estudadas ficaram dentro do limite estabelecido pela NBR 15220-2/2005.

A norma NBR 15575-5/2013 impõe um limite mínimo para a Capacidade Térmica (CT), que deve ser maior ou igual a 150 kJ/(m².K). Os resultados obtidos nas 3 lajes, estão expostos na tabela 6, e os resultados foram: Laje painel treliçada com EPS: 271,8 KJ/(m²*k); Laje pré-moldada com tavelas cerâmicas: 271,19KJ/(m²*k); e laje pré-moldada com EPS: 207,67KJ/(m²*k). Todas as lajes estudadas ficaram acima do limite mínimo estabelecido pela norma, portanto, estão cumprindo as exigências necessárias da NBR 15575-5/2013.

Ainda a NBR 15575-5/2013 cita que para o cálculo da resistência térmica, o mesmo deverá ser executado de acordo com os procedimento apresentados na NBR 15220-2/2005. Os resultados obtidos através do memorial de cálculo, estão apresentados na tabela 6. Cada laje,

parede interna, parede externa, e demais componentes de uma edificação, possuem resistências diferentes devido as espessuras das camadas e dos tipos de materiais.

Podemos destacar ao cumprimento das exigências das normas de desempenho, que apenas a laje pré-moldada com a utilização de EPS, atendeu todos os requisitos necessários de conforto térmico, sendo a única das três lajes que cumpriu o requisito de transmitância térmica exigido pela NBR 15575-5/2013.

4.2. Resultados das coletas de dados a campo através do Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

De acordo com o objetivo principal do atual trabalho, as coletas de dados a campo foram necessárias para analisar o principal item de conforto térmico, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). O procedimento da realização da coleta de dados, foi descrito no capítulo anterior, onde a realização das coletas de temperaturas e umidades, foram seguidos através de um procedimento padrão para todas as coletas, para não haver influências nas medições.

Como já mencionado anteriormente, através das medições à campo, foram realizados gráficos comparativos onde é possível interpretar e analisar características físicas dos protótipos. A planilha de coleta de dados de campo está inserida no Anexo 2 do trabalho, assim como os gráficos diários de temperaturas e umidades que estão no Anexo 4

Dentre as principais análises, podemos citar algumas de âmbito geral da pesquisa:

- A temperatura interna dos protótipos no período da manhã (09:30) apresentou-se mais baixa que a temperatura externa em todos os protótipos e em todos os dias;

- A temperatura externa da coleta de dados no período do meio dia (12:30) aproximou-se muito com a temperatura interna, em todos os protótipos e em todos os dias;

- No período de coleta da meia tarde (15:30) é possível notar que a temperatura começa diminuir em relação ao período do meio dia (12:30) em todos os protótipos e em todos os dias;

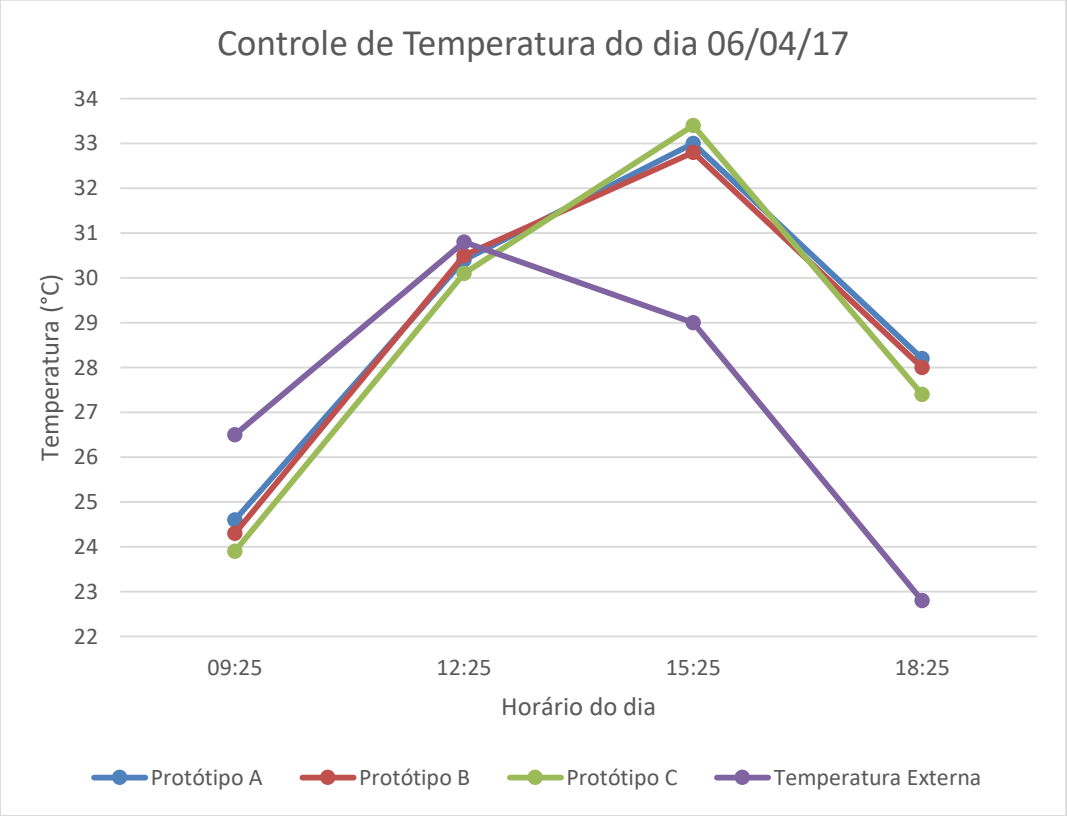
- A temperatura externa na coleta de dados das 18:30 reduz significativamente em relação a temperatura interna em todos os protótipos e em todos os dias;

Para poder analisar e julgar melhor o principal índice de conforto térmico, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), foram subdivididos em dois grupos: dias em que a temperatura externa estava mais baixa e dias em que a temperatura externa estava mais alta, para descobrir como os protótipos se comportavam em relação a temperatura externa.

4.2.1. Análises dos dias com temperaturas externas mais altas

Nos dias 06/04/2017 e 21/06/2017, foram os dias em que as temperaturas externas estavam mais altas no período da manhã (09:30), apresentando 26,5 °C (06/04/17) e 27,6 °C (21/04/17). Nestes dois dias foi possível ver que a temperatura interna do protótipo A – Laje painel treliçada com EPS, apresentou temperatura interna superior em relação ao protótipo B e C, provando que quando a temperatura externa estiver mais alta, esta laje painel treliçada absorve mais calor e eleva mais a temperatura que as outras lajes. Resultados estão expostos no Gráfico 1 e Gráfico 2.

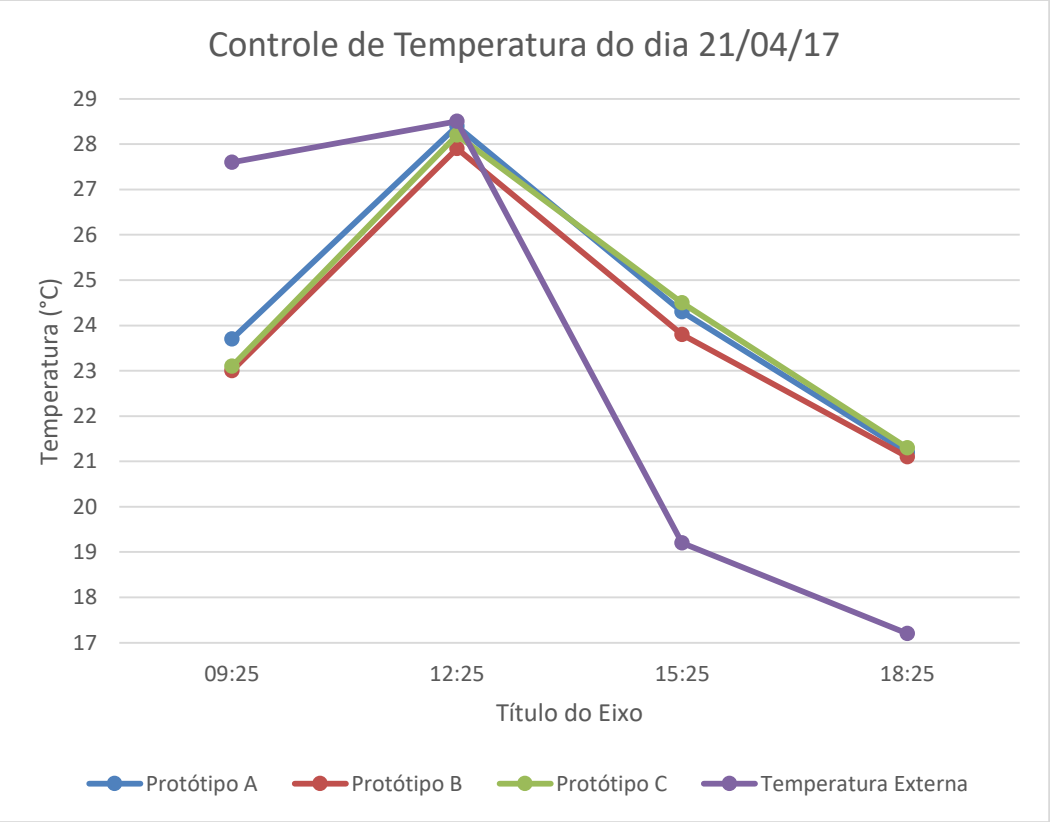
Gráfico 1 - Temperaturas externas mais altas no período das 09:30 (dia 06/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	24,6	24,3	23,9	26,5
	12:25	30,4	30,5	30,1	30,8
	15:25	33	32,8	33,4	29
	18:25	28,2	28	27,4	22,8

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 2 - Temperaturas externas mais altas no período das 09:30 (dia 21/04/17)



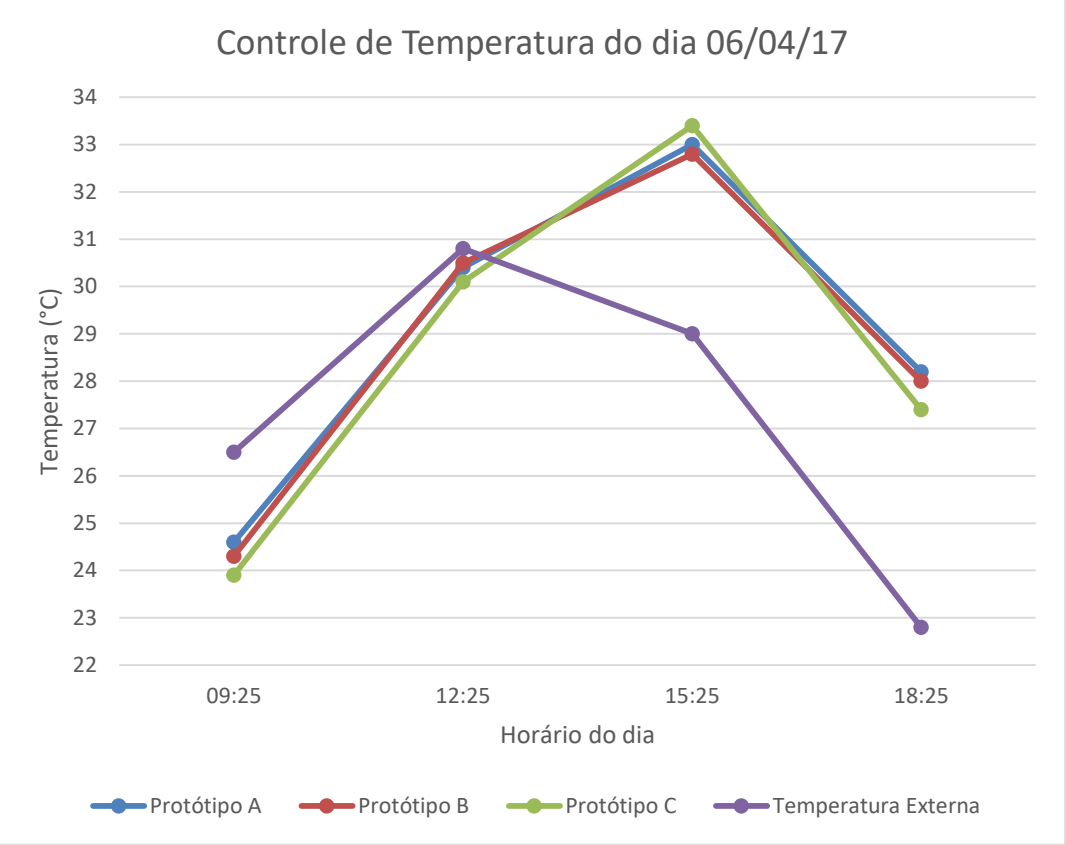
		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
21/04/2017	09:25	23,7	23	23,1	27,6
	12:25	28,4	27,9	28,2	28,5
	15:25	24,3	23,8	24,5	19,2
	18:25	21,2	21,1	21,3	17,2

Fonte: Autor (2017)

Nos dias 06/04/2017 e 07/04/2017, foram os dias em que as temperaturas externas estavam mais altas no período do meio dia (12:30), apresentando valores respectivamente de 30,8 °C e 30,7 °C. Como já mencionado anteriormente, as temperaturas interna e externas no período do meio dia (12:30) chegaram muito próximas entre si, porém pode-se destacar que o

protótipo B – Laje pré-moldada com tavelas cerâmicas, apresentou temperaturas internas superiores que os protótipos A e C nesta condição de temperatura externa mais alta neste período. Resultados estão expostos nos Gráficos 3 e 4.

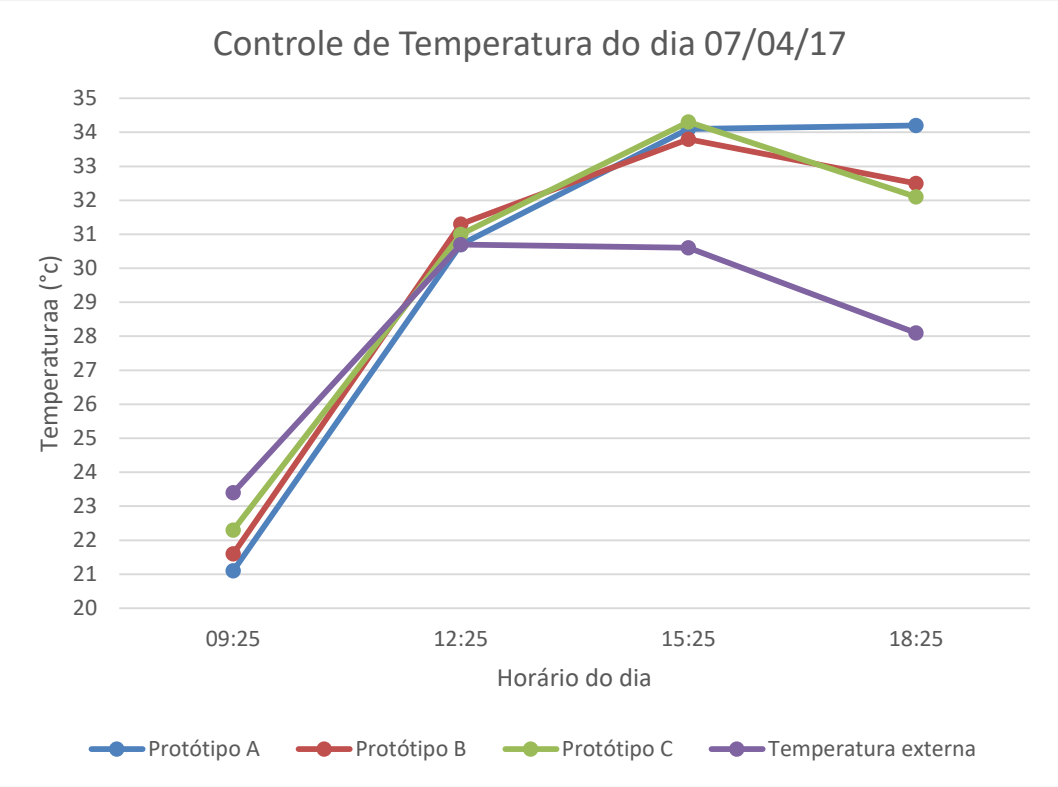
Gráfico 3 - Temperaturas externas mais altas no período das 12:30 (dia 06/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	24,6	24,3	23,9	26,5
	12:25	30,4	30,5	30,1	30,8
	15:25	33	32,8	33,4	29
	18:25	28,2	28	27,4	22,8

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 4 - Temperaturas externas mais altas no período das 12:30 (dia 07/04/17)

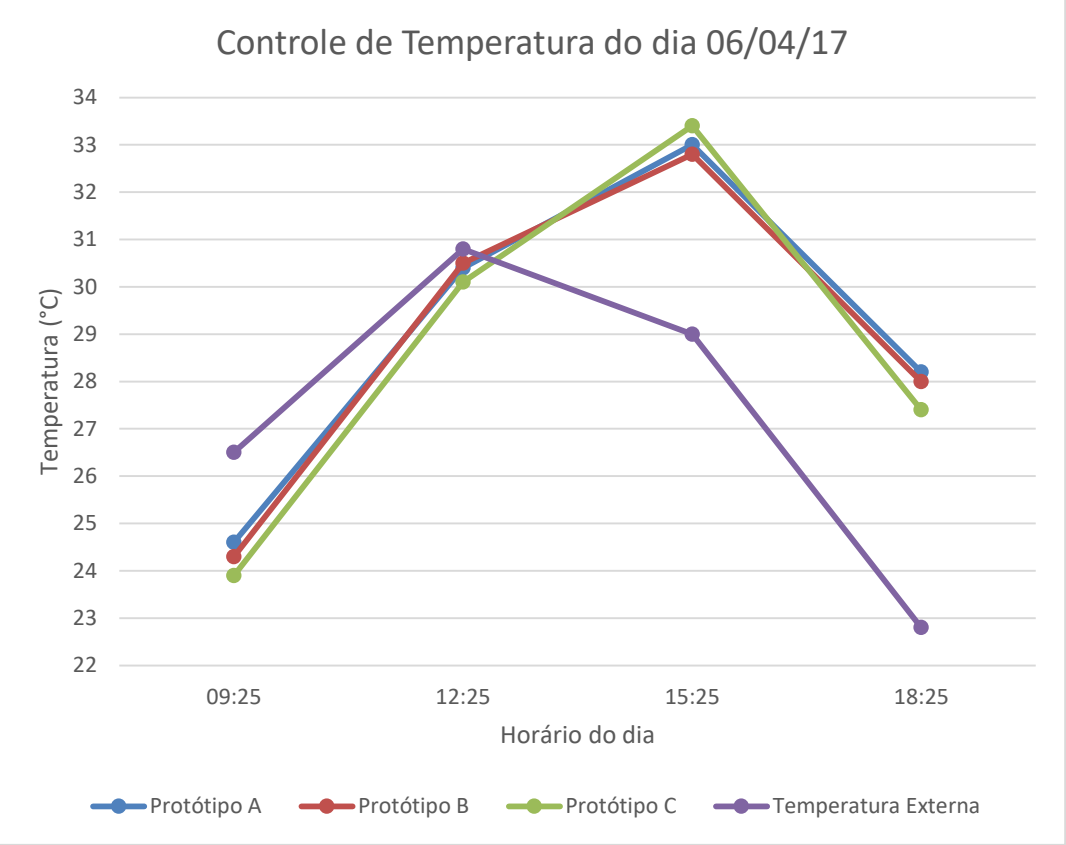


		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	21,1	21,6	22,3	23,4
	12:25	30,7	31,3	31	30,7
	15:25	34,1	33,8	34,3	30,6
	18:25	34,2	32,5	32,1	28,1

Fonte: Autor (2017)

Ainda nos mesmos dias 06/04/2017 e 07/04/2017, foram constatados os dias em que as temperaturas externas estavam mais altas no período da meia tarde (15:30), e com temperaturas externas respectivamente em 29 °C e 30,6 C, através disso, o protótipo C – Laje pré-moldada com EPS apresentou temperaturas externas mais altas em relação aos demais protótipos, nesta condição de temperatura externa mais alta neste período. Resultados estão expostos nos Gráficos 5 e 6.

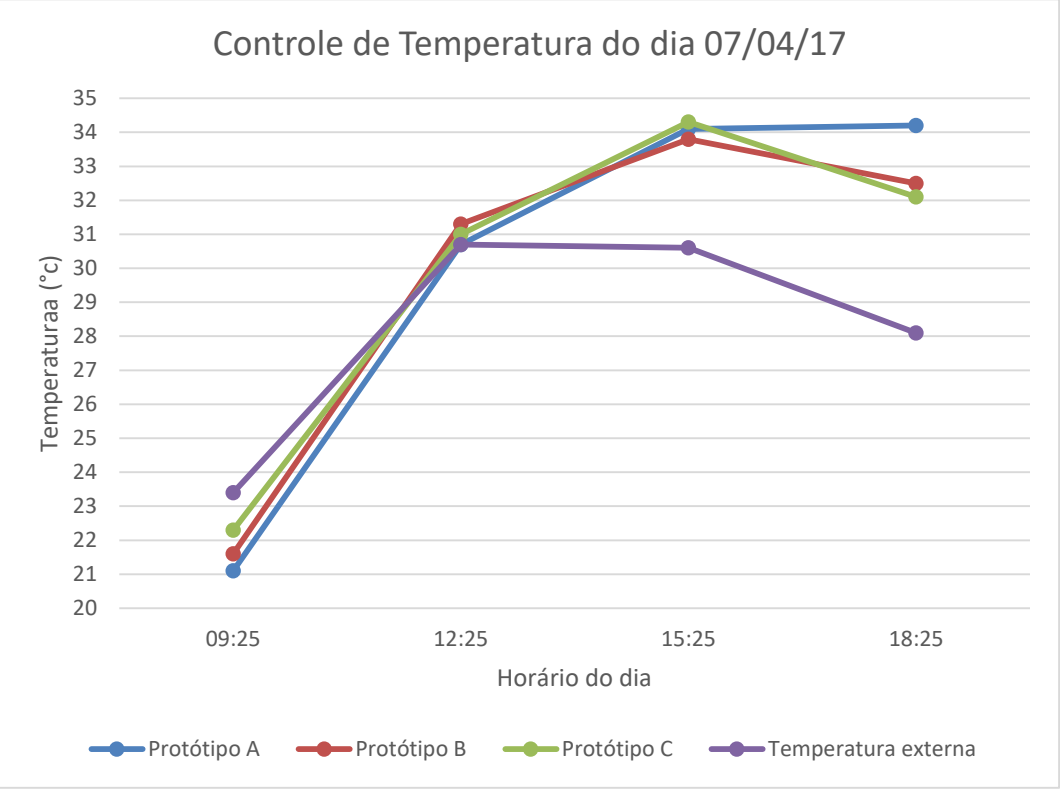
Gráfico 5 - Temperaturas externas mais altas no período das 15:30 (dia 06/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	24,6	24,3	23,9	26,5
	12:25	30,4	30,5	30,1	30,8
	15:25	33	32,8	33,4	29
	18:25	28,2	28	27,4	22,8

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 6 - Temperaturas externas mais altas no período das 15:30 (dia 07/04/17)

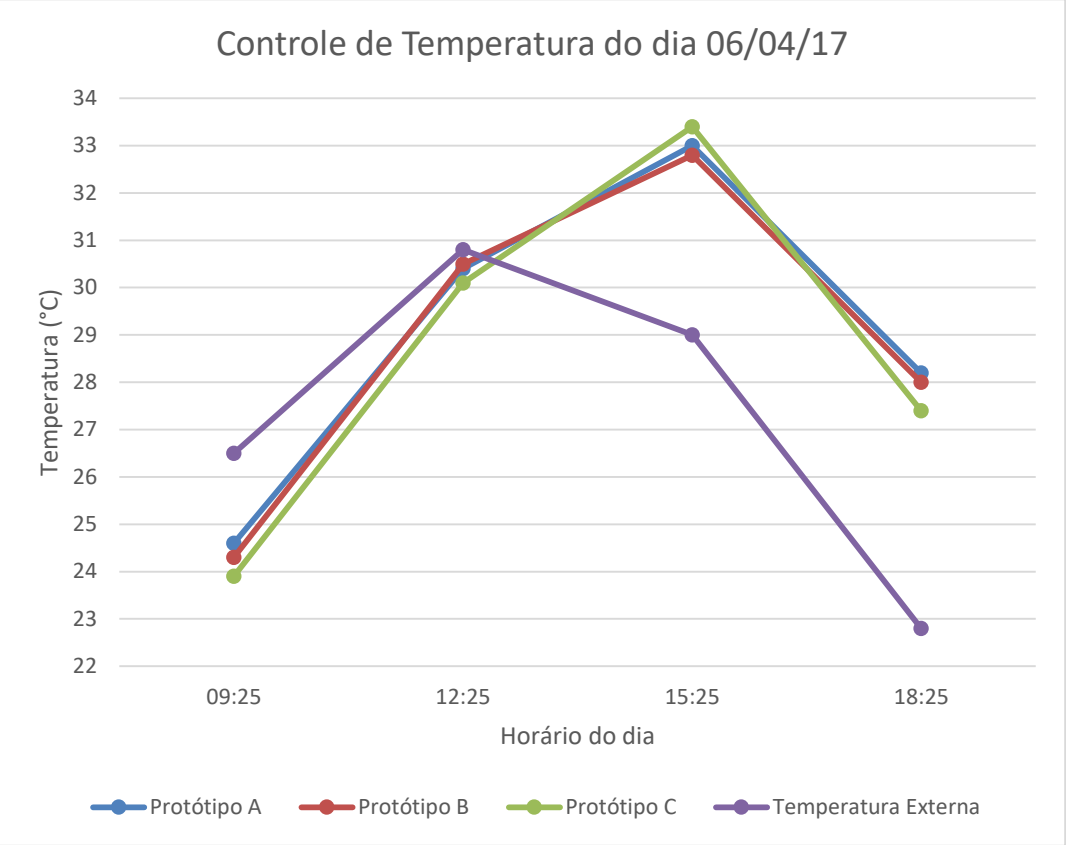


		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	21,1	21,6	22,3	23,4
	12:25	30,7	31,3	31	30,7
	15:25	34,1	33,8	34,3	30,6
	18:25	34,2	32,5	32,1	28,1

Fonte: Autor (2017)

De todos os dias das coletas de dados, os dias em que a temperatura externa apresentou valores mais altos no período das 18:30, foram os dias 06/04/2017 (22,8 °C) e 07/04/2017 (28,1 °C). No entanto, todos os protótipos mantiveram a temperatura interna superior a temperatura externa, porém destaca-se o protótipo A – Laje painel treliçada com EPS, que apresentou temperatura interna mais alta em todos os dias em relação aos demais protótipos B e C. Resultados nos Gráficos 7 e 8 deste atual trabalho.

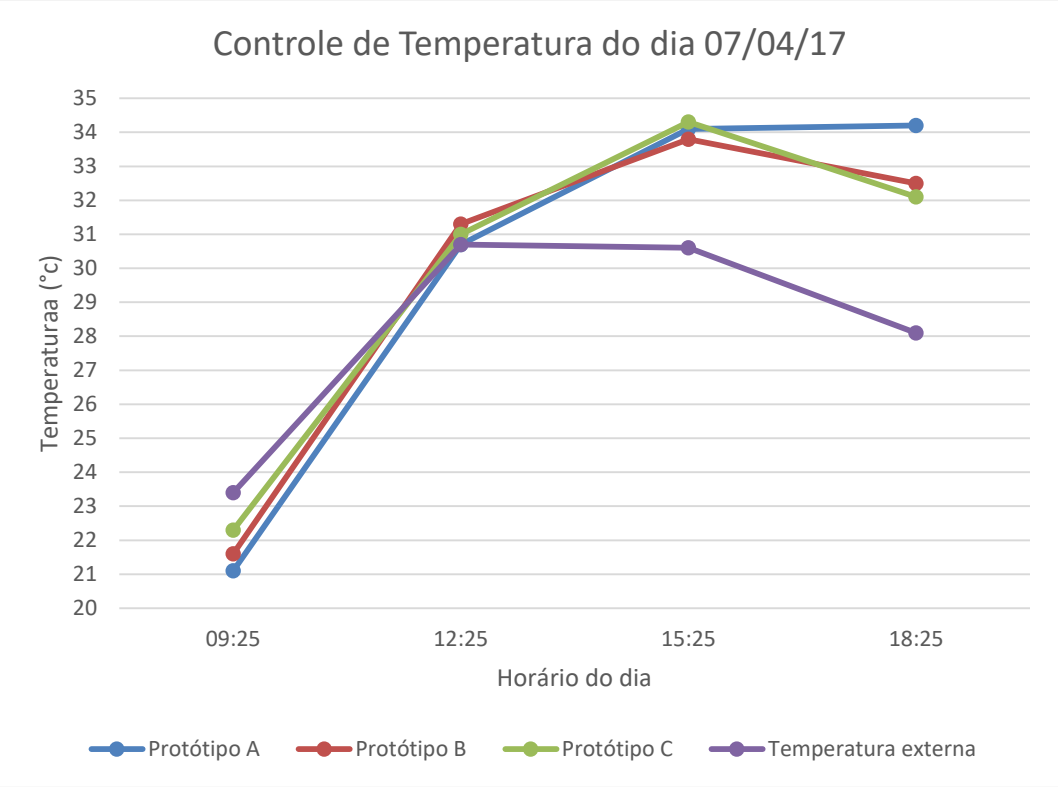
Gráfico 7 - Temperaturas externas mais altas no período das 18:30 (dia 06/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	24,6	24,3	23,9	26,5
	12:25	30,4	30,5	30,1	30,8
	15:25	33	32,8	33,4	29
	18:25	28,2	28	27,4	22,8

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 8 - Temperaturas externas mais altas no período das 18:30 (dia 07/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	21,1	21,6	22,3	23,4
	12:25	30,7	31,3	31	30,7
	15:25	34,1	33,8	34,3	30,6
	18:25	34,2	32,5	32,1	28,1

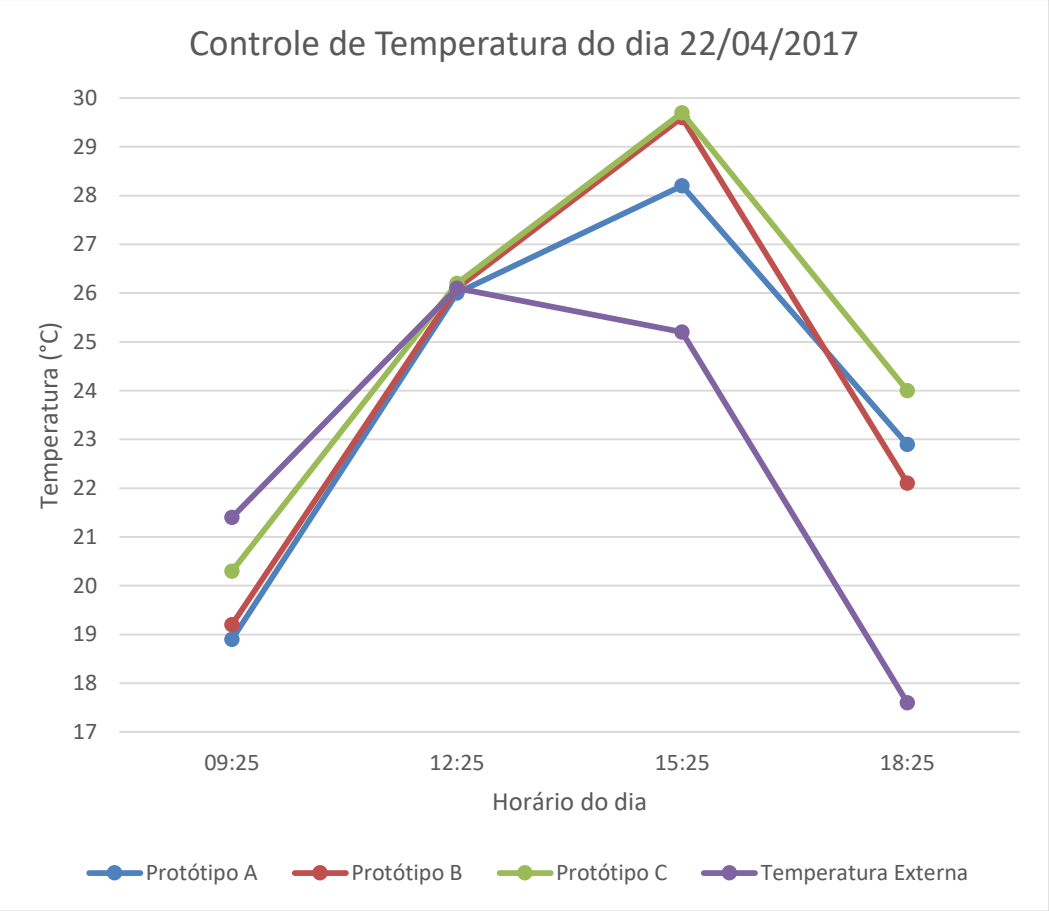
Fonte: Autor (2017)

4.2.2. Análises dos dias com temperaturas externas mais baixas

Na primeira coleta de dados da manhã, as 09:30, foram separados os dois dias com menores temperaturas externas, dentre os eles, os dias 22/04/17 (21,4 °C) e 23/04/17 (21,4 °C). Com isso foi possível notar que as menores temperaturas internas de todos os dias nestas condições climáticas, o protótipo A – Laje painel treliçada, apresentou temperatura interna mais baixa em relação aos demais protótipos, no entanto, o protótipo C – Laje pré-moldada com EPS, apresentou temperatura interna mais alta em relação aos demais protótipos. E em todas as coletas de dados a temperatura externa estava superior as temperaturas internas dos 3 protótipos.

Com esta situação climática é possível perceber que inverteu os valores de quando os protótipos eram avaliados pelos dias mais quentes, onde o protótipo A – Laje painel treliçada com EPS apresentava sempre temperatura interna superior em relação aos demais protótipos, o que inverteu agora no comparativo entre os dias mais frios. Comprovando que esta laje deixa sofrer muito a influência da temperatura externa, se a temperatura externa for alta, a temperatura interna também será alta, e vice-versa. E isso é um dado fundamental para a escolha da tipologia de uma laje para a construção de uma edificação visando o conforto térmico. Resultados nos Gráficos 9 e 10.

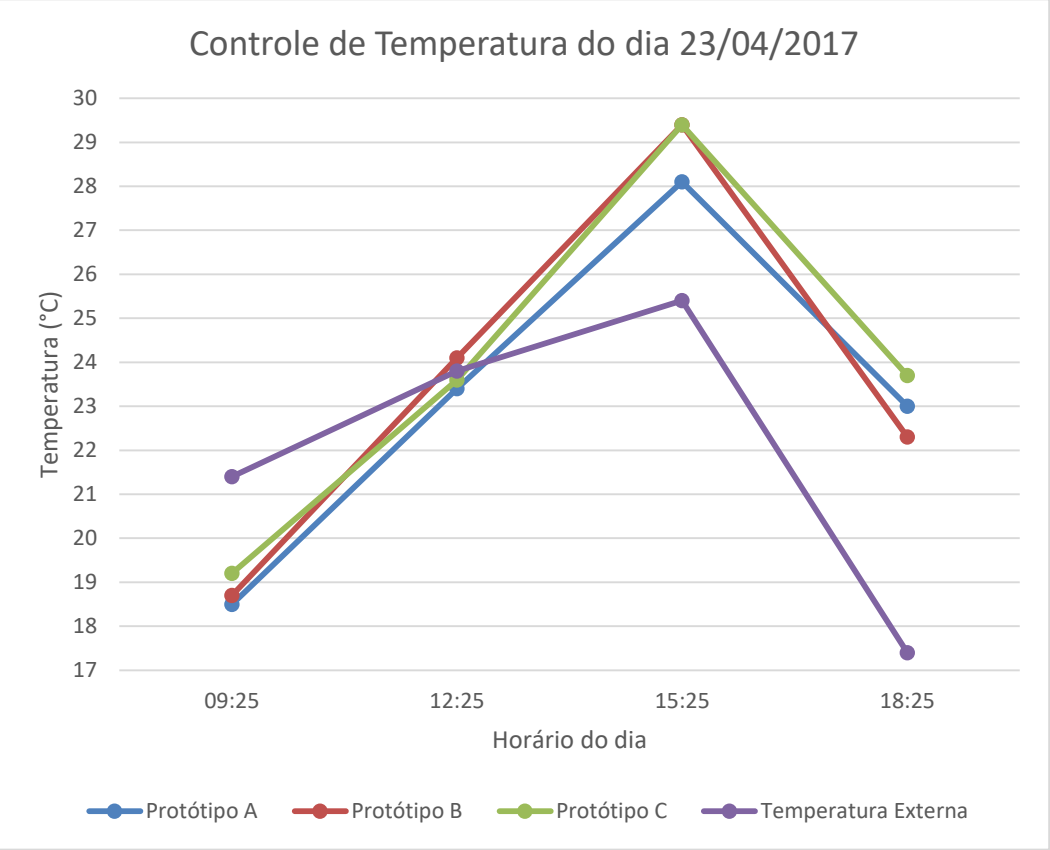
Gráfico 9 - Temperaturas externas mais baixas no período das 09:30 (dia 22/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
22/04/2017	09:25	18,9	19,2	20,3	21,4
	12:25	26	26,1	26,2	26,1
	15:25	28,2	29,6	29,7	25,2
	18:25	22,9	22,1	24	17,6

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 10 - Temperaturas externas mais baixas no período das 09:30 (dia 23/04/17)

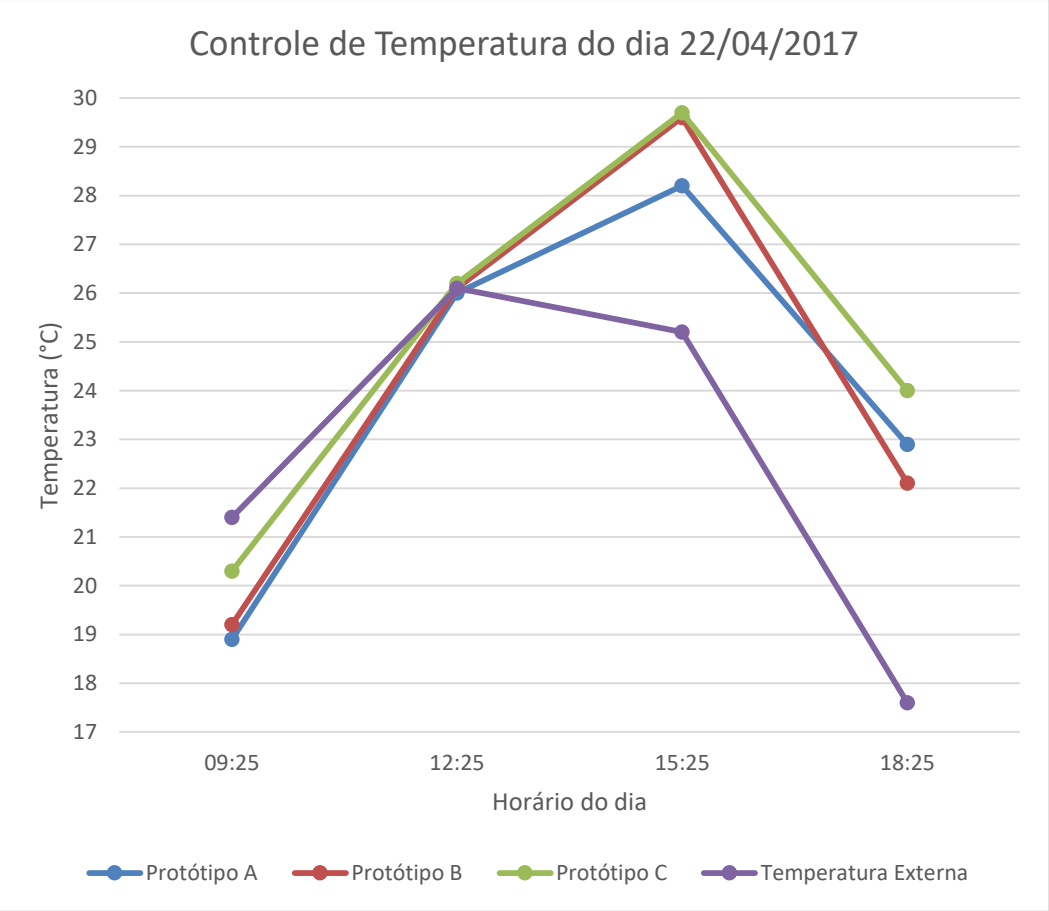


		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
23/04/2017	09:25	18,5	18,7	19,2	21,4
	12:25	23,4	24,1	23,6	23,8
	15:25	28,1	29,4	29,4	25,4
	18:25	23	22,3	23,7	17,4

Fonte: Autor (2017)

Ainda estes mesmos dias, 22/04/2017 e 23/04/2017, foram constatados os dias em que as temperaturas externas estavam mais baixas no período do meio dia (12:30), e com temperaturas externas respectivamente em 26,1 °C e 23,8 °C. Na coleta das 12:30, com isso, observa-se que o protótipo A – Laje painel treliçada com EPS por mais que as temperaturas estão próximas entre si, ela ainda mantém a temperatura interna mais baixa que os demais protótipos B e C. Resultados expressos nos Gráficos 11 e 12 do atual trabalho.

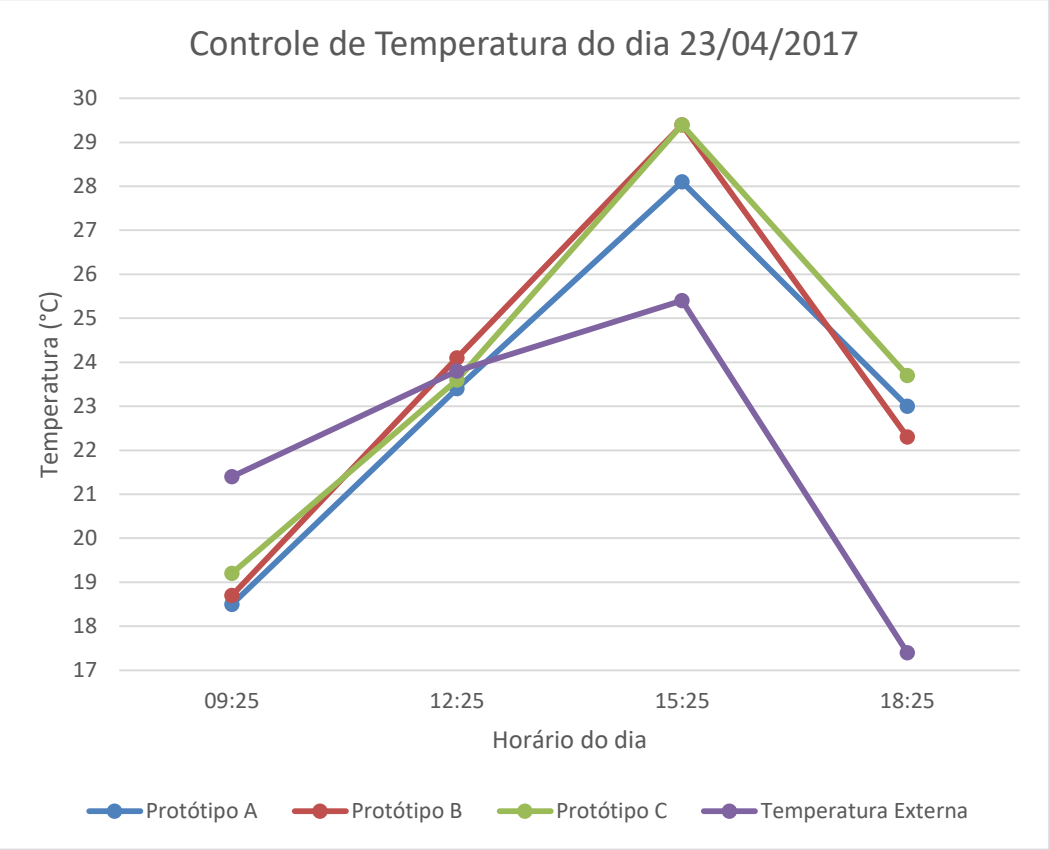
Gráfico 11 – Temperaturas externas mais baixas no período das 12:30 (dia 22/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
22/04/2017	09:25	18,9	19,2	20,3	21,4
	12:25	26	26,1	26,2	26,1
	15:25	28,2	29,6	29,7	25,2
	18:25	22,9	22,1	24	17,6

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 12 - Temperaturas externas mais baixas no período das 12:30 (dia 23/04/17)

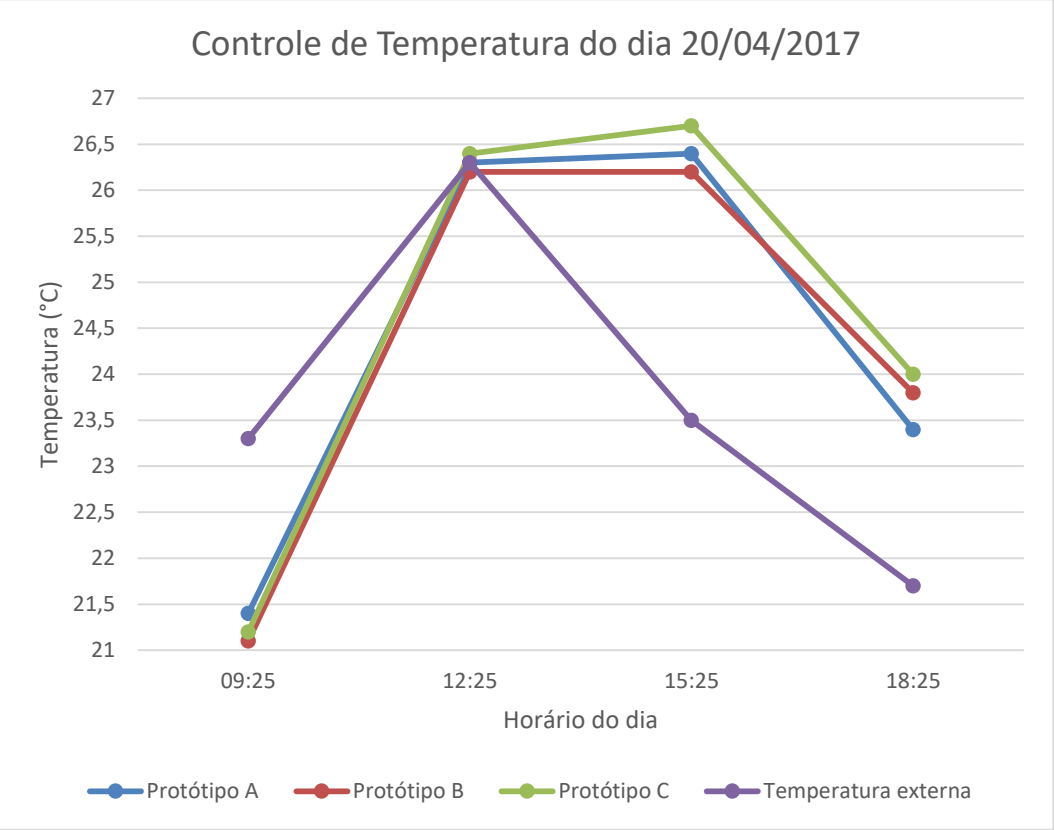


		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
23/04/2017	09:25	18,5	18,7	19,2	21,4
	12:25	23,4	24,1	23,6	23,8
	15:25	28,1	29,4	29,4	25,4
	18:25	23	22,3	23,7	17,4

Fonte: Autor (2017)

No que diz respeito as medições da meia tarde (15:30), os dias que apresentaram menores temperaturas externas, foram os dias 20/04/2017 com 23,5 °C e 21/04/2017 com 19,2 °C, onde é possível ver que o protótipo C – Laje pré-moldada com EPS, as 15:30, apresentou temperaturas internas mais altas em relação aos demais protótipos. Sendo que o protótipo B – Laje pré-moldada com tavelas cerâmicas apresentou a menor temperatura em relação ao protótipo A e C. Resultados expressos nos Gráficos 13 e 14.

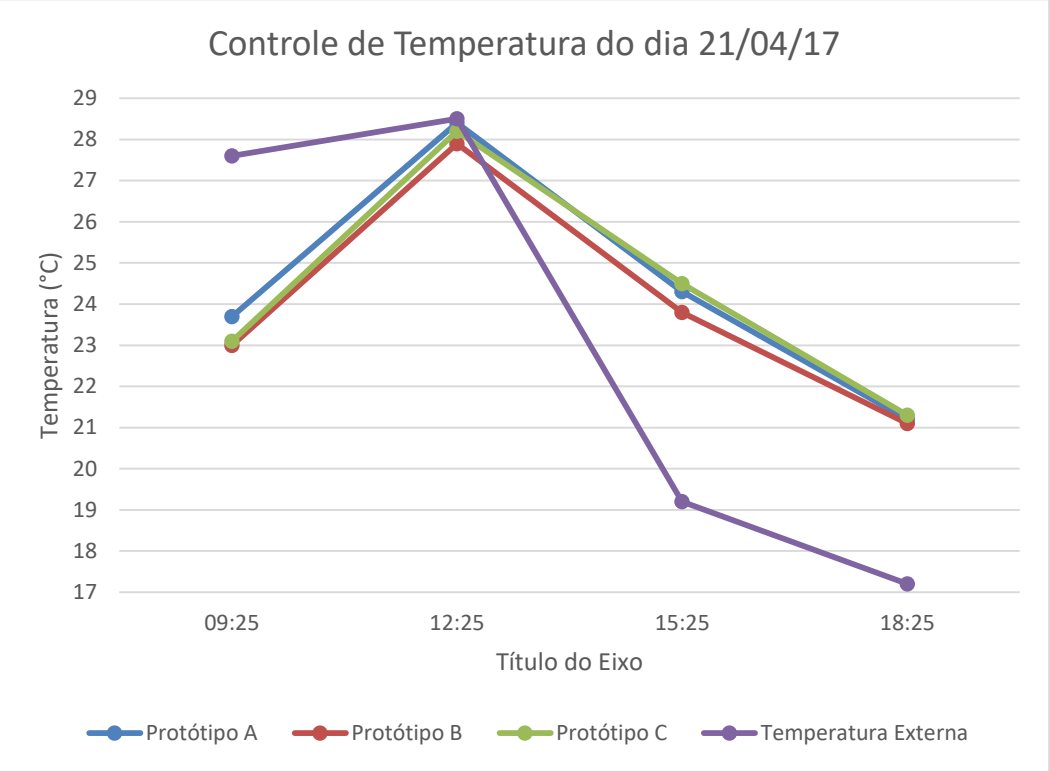
Gráfico 13 - Temperaturas externas mais baixas no período das 15:30 (dia 20/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
20/04/2017	09:25	21,4	21,1	21,2	23,3
	12:25	26,3	26,2	26,4	26,3
	15:25	26,4	26,2	26,7	23,5
	18:25	23,4	23,8	24	21,7

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 14 - Temperaturas externas mais baixas no período das 15:30 (dia 21/04/17)

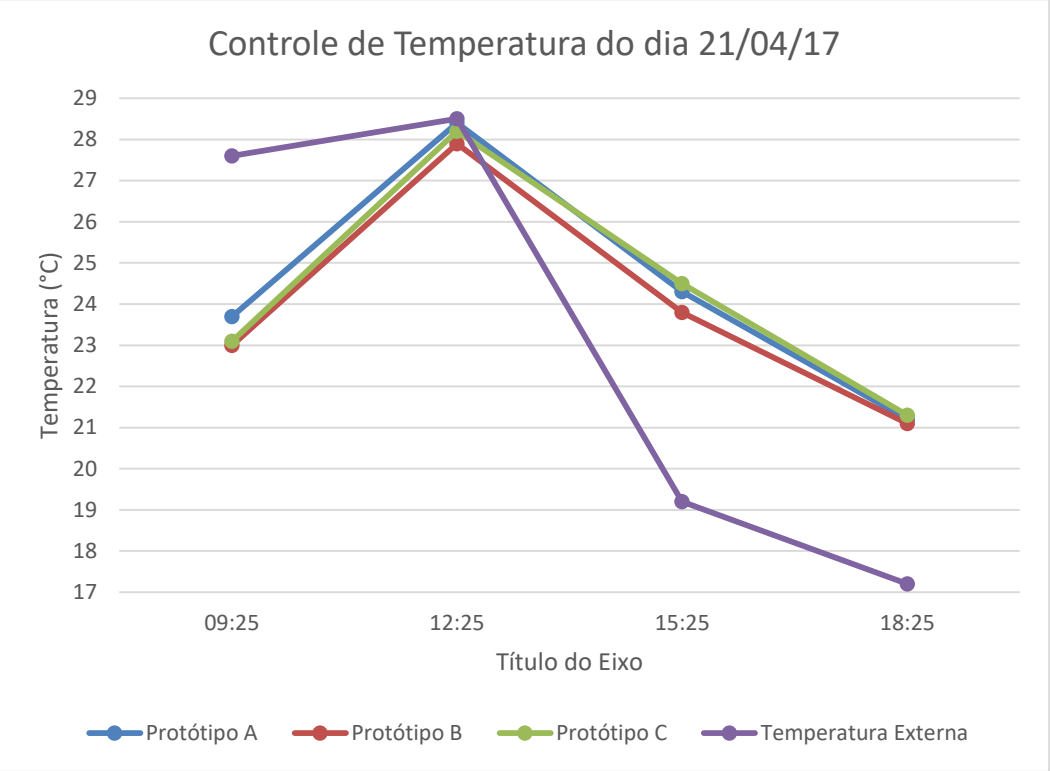


		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
21/04/2017	09:25	23,7	23	23,1	27,6
	12:25	28,4	27,9	28,2	28,5
	15:25	24,3	23,8	24,5	19,2
	18:25	21,2	21,1	21,3	17,2

Fonte: Autor (2017)

Os dias que apresentaram as menores temperaturas externas no período das 18:30, foram os dias 21/04/2017 com 17,2 °C e 23/04/2017 com 17,4 °C, onde é possível perceber que o protótipo C – Laje pré-moldada com EPS, continuou com a temperatura interna mais alta em relação aos demais protótipos, isso prova que o EPS mantém o calor interno. Resultados nos Gráficos 15 e 16.

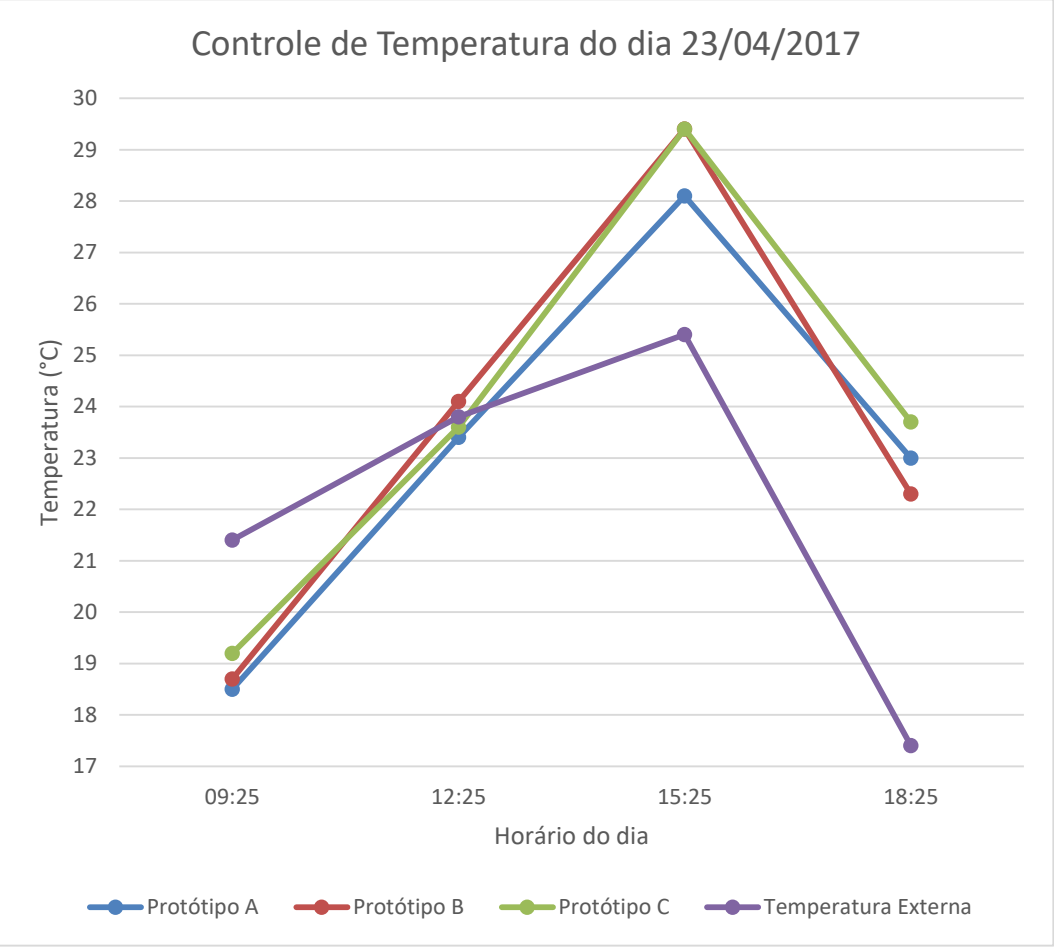
Gráfico 15 - Temperaturas externas mais baixas no período das 18:30 (dia 21/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
21/04/2017	09:25	23,7	23	23,1	27,6
	12:25	28,4	27,9	28,2	28,5
	15:25	24,3	23,8	24,5	19,2
	18:25	21,2	21,1	21,3	17,2

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 16 - Temperaturas externas mais baixas no período das 18:30 (dia 23/04/17)



		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
23/04/2017	09:25	18,5	18,7	19,2	21,4
	12:25	23,4	24,1	23,6	23,8
	15:25	28,1	29,4	29,4	25,4
	18:25	23	22,3	23,7	17,4

Fonte: Autor (2017)

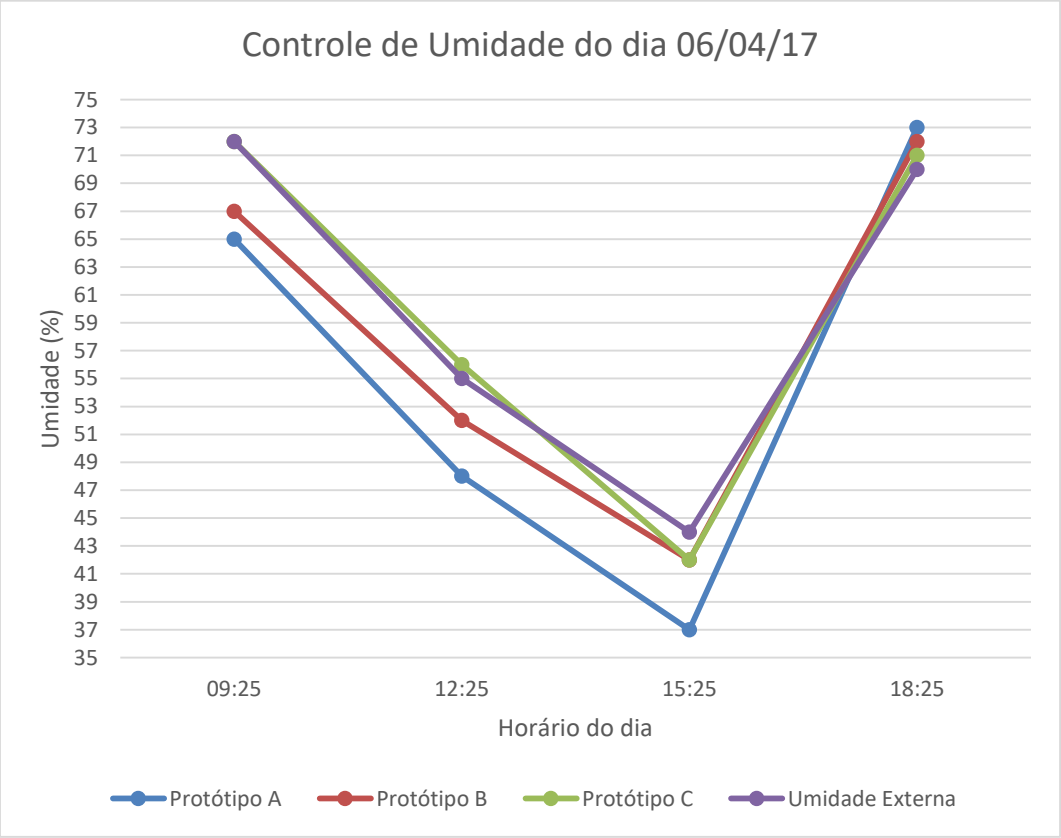
4.2.3. Análises dos índices de umidade relativa do ar

Quando a umidade relativa do ar externa possuía valores mais altos no período das 09:30, dias 06/04/2017 e 07/04/2017, o protótipo C – Laje pré-moldada com EPS, apresentou umidades mais altas em relação aos demais protótipos, e o protótipo A – Laje painel treliçada

com EPS apresentou valores de umidade relativa do ar interna mais baixa que os demais protótipos.

No entanto, no período das 12:30, o protótipo C – Laje painel treliçada com EPS, ainda mantem a umidade interna mais alta que os demais protótipos, por outro lado, o protótipo A – Laje painel treliçada com EPS, ainda manteve-se a umidade interna mais baixa em relação aos demais protótipos;

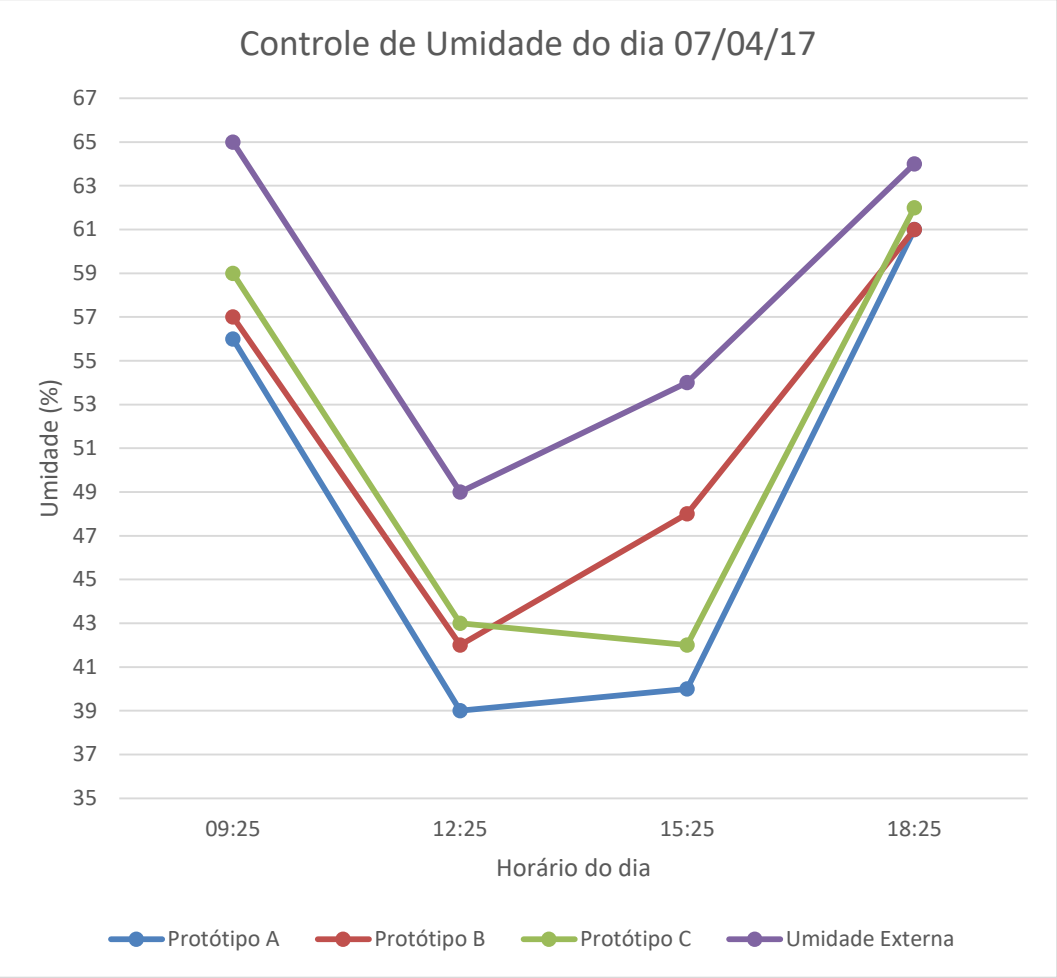
Gráfico 17 – Análises da umidade relativa do ar do dia 06/04/2017



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	65	67	72	72
	12:25	48	52	56	55
	15:25	37	42	42	44
	18:25	73	72	71	70

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 18 - Análises da umidade relativa do ar do dia 07/04/2017



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	56	57	59	65
	12:25	39	42	43	49
	15:25	40	48	42	54
	18:25	61	61	62	64

Fonte: Autor (2017)

No momento da coleta das 15:30, as umidades dos protótipos B – Laje pré-moldada com tavela cerâmica e protótipo C – Laje pré-moldada com EPS, se mantiveram muito próximas, ou iguais. E na última coleta de dados, as 18:30, os valores ficaram muito próximos entre si, devido ao entardecer. Como mencionado na capítulo anterior, os protótipos possuem paredes laterais de 6 cm de concreto armado, depois de feitas todas as coletas de dados, o aluno revestiu as paredes laterais com chapas de EPS de 2 cm de espessura, cobrindo todas as laterais dos protótipos a fim de ver se havia alguma diferença entre s medições com ou sem revestimento lateral. O procedimento de coleta de dados foi o mesmo, porém, conclui-se que não houve significativas mudanças, e por isso, não serão incluídos os resultados neste trabalho.

5. CONCLUSÃO

Ao realizar esta pesquisa, e após consultar diversos materiais, como artigos, livros, normas dentre outros, pode ser dizer que ainda há muito pouco material de estudo sobre comparação de lajes pré-moldadas com EPS, lajes pré-moldadas com tavelas cerâmicas e lajes painéis treliçados com EPS, em questões de conforto térmico.

A decisão da escolha de cada uma das lajes vai ao encontro com vários fatores, desde econômico ou até mesmo melhorar as condições de conforto térmico e/ou acústico das residências. É notório que utilizar materiais isolantes, ou aplicar técnicas de isolamento natural ou artificial melhoram as condições de conforto dentro dos ambientes, tornando o ambiente mais aconchegante a agradável, sem aumentar o consumo de energia elétrica. Materiais usados neste trabalho como o EPS, apresentou excelentes vantagens em relação a outros materiais isolantes, desde diminuição do peso próprio da estrutura, até principalmente melhorar a parte térmica e acústica de um ambiente. Por outro lado, a tavela cerâmica também apresenta bons resultados em questões de peso próprio, matéria prima abundante e isolamentos térmico e acústicos.

Após calculadas as resistências térmicas dos materiais isolantes, as transmitâncias térmicas dos materiais, as capacidades térmicas, atrasos térmicos, através dos procedimentos de cálculos da NBR 15220-2/2005, é possível decidir que a laje pré-moldada com EPS, cumpriu todos os requisitos das normas NBR 15220/2005 e NBR 15575/2013. Referente ao desempenho térmico dos protótipos, após serem analisados todos os gráficos e discutidos seus desempenhos térmicos, todas as lajes possuem boas condições térmicas, porém destaca-se a mesma laje (pré-moldada com EPS) que cumpriu os requisitos da NBR 15220-2/2005, foi a que melhor se destacou em relação aos demais protótipos, levando em consideração todas as coletas de dados a campo, sendo a que melhor oferece conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ALIAS, Herminia & JACOBO, Guillermo (2002), **"Nueva normativa de acondicionamiento térmico de edificios**: desarrollo del método de cálculo de la transmitancia térmica y condensaciones. Resistencia, Argentina.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). De Dear, R.J; Brager, G.; Cooper, D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**; Atlanta, GA, USA, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho térmico das edificações – Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

_____**NBR 15575** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15575** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 6118 -** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 9062 -** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____**NBR 11752 -** Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo, 2006.

BERNARDI, Nubia; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Avaliação da interferência comportamental do usuário para melhoria do conforto ambiental em espaços escolares:** estudo de caso em Campinas – SP. VI Encontro nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto armado eu te amo**. 4. Ed. 2014.

CHEMIN, Beatriz F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

BUFFINGTON, D. E; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. **Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows**. American Society of agricultural Enginneers, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

COSTA, Ennio C. **Física aplicada à construção civil**: conforto térmico. 4º ed. São Paulo, 2003.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

ELEOTERIO, Graziela. **Guia de Decoração, Arquitetura e Construção**, 2004.

FENILLI, R. J. **Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação**. Revista Climatização e Refrigeração. Editora Nova Técnica, ISSN 1678-6866, Jun 2008, São Paulo, SP, 2008.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual do conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo, 2007.

INCROPERA, Frank P., et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro, 2011.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre, 2010.

KARYONO, Tri Harso. **Thermal Comfort Studies in Naturally Ventilated Buildings in Jakarta, Indonesia**. Article. School of Architecture, Tanri Abeng University (TAU), Jakarta 12250, Indonesia, 2015.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress térmico.** Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Florianópolis: UFSC, 2014. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/>. Acesso em: 31/10/2016.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico.** 1º ed. Florianópolis, 2008.

LAMBERTS, Roberto. **Eficiência energética na arquitetura.** 2º ed. São Paulo, 2004.

MASCARÔ, Juan L.; MASCARÔ, Lucia. **Uso Racional de Energia em Edificações:** Isolamento térmico. São Paulo, 1992.

MOTTIN, Maurício H. **Isolamento térmico em fachadas pelo exterior**: Redução do consumo energético da edificação para fins de conforto térmico. 2015. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, UNIVATES, Lajeado – RS.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. **Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados**. Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas, Campinas, v.1, n.2, p.117-126, 2007.

SANTOS, R. D. **Estudo Térmico e de Materiais de um compósito a base de gesso e EPS para a construção de casas populares**. 2008, 92f. (Dissertação de Mestrado), PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN. 2008.

SCHMID, Aloísio L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba, 2005.

SCHMIDT, Frank W. **Introdução as Ciências Térmicas:** termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. São Paulo, 2004.

SILVA, José de C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro, 2007.

SILVEIRA. J. L; GROTE, Z. V.; TRAVASSOS; S. E. P., 1998, "Análise comparativa entre materiais empregados na construção de uma câmara frigorífica: Styroblock e Alvenaria de tijolos maciços": Transferência de Calor. In: LATCYM - Congresso Latinoamericano De Transferencia De Calor Y Materia, Salta – Argentina. **Anais do 7º LATCYM**. Salta: INIQUI – Instituto de Investigaciones para la Industria Química, 1998. p.476-480.

VILA REAL, José Alexandrino M. F. **Análise técnico-económica de várias soluções de isolamento térmico a aplicar em elementos de construção.** Disponível em: < http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12539>. Acesso em: 21/10/2016.

ANEXOS

Anexo A – Resultados de resistência a compressão do concreto

LATEC

Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **16/03/2017** Hora: **08:58:25** Trabalho nº **0974**

Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **Compressao CP Cilíndrico 10x20**

Ident. Amostra: >>>>

LATEC

Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **24/03/2017** Hora: **10:50:31** Trabalho nº **0993**

Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **Compressao CP Cilindrico 10x20**

Ident. Amostra: >>>>

LATEC

Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **31/03/2017** Hora: **09:04:05** Trabalho nº **1006**

Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **Compressao CP Cilíndrico 10x20**

Ident. Amostra: >>>>

LATEC

Laboratório de Tecnologias de Construções

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: - Extensômetro: - Data: **07/04/2017** Hora: **08:17:03** Trabalho nº **1018**

Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **Compressao CP Cilindrico 10x20**

Ident. Amostra: >>>>

Anexo B – Planilha de coletas a campo

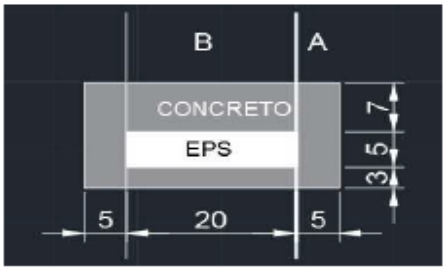
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS							
PROTÓTIPO	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	06/04/2017	09:25	24,6	65	26,5	72	Sol
B	06/04/2017	09:30	24	67	26,5	72	Sol
C	06/04/2017	09:35	23,9	72	26,5	72	Sol
A	06/04/2017	12:25	30,4	48	30,8	55	Sol
B	06/04/2017	12:30	30,5	52	30,8	55	Sol
C	06/04/2017	12:35	30,1	56	30,8	55	Sol
A	06/04/2017	15:25	32,7	37	29	44	Sol
B	06/04/2017	15:30	32,8	42	29	44	Sol
C	06/04/2017	15:35	31,8	42	29	44	Sol
A	06/04/2017	18:25	28,2	73	22,8	70	Sol
B	06/04/2017	18:30	28	72	22,8	70	Sol
C	06/04/2017	18:35	27,4	71	22,8	70	Sol
A	07/04/2017	09:25	21,1	56	23,4	65	Sol
B	07/04/2017	09:30	21,6	57	23,4	65	Sol
C	07/04/2017	09:35	22,3	59	23,4	65	Sol
A	07/04/2017	12:25	30,7	39	30,7	49	Sol
B	07/04/2017	12:30	31,3	42	30,7	49	Sol
C	07/04/2017	12:35	31	43	30,7	49	Sol
A	07/04/2017	15:25	34,1	40	30,6	54	Sol
B	07/04/2017	15:30	33,8	48	30,6	54	Sol
C	07/04/2017	15:35	34,3	42	30,6	54	Sol
A	07/04/2017	18:25	34,2	61	28,1	64	Sol
B	07/04/2017	18:30	32,5	61	28,1	64	Sol
C	07/04/2017	18:35	32,1	62	28,1	64	Sol
A	20/04/2017	09:25	21,4	61	23,3	62	Sol
B	20/04/2017	09:30	21,1	61	23,3	62	Sol
C	20/04/2017	09:35	21,2	62	23,3	62	Sol
A	20/04/2017	12:25	26,3	60	26,3	61	Sol
B	20/04/2017	12:30	26,2	59	26,3	61	Sol
C	20/04/2017	12:35	26,4	56	26,3	61	Sol
A	20/04/2017	15:25	26,4	77	23,5	75	Sol
B	20/04/2017	15:30	26,2	77	23,5	75	Sol
C	20/04/2017	15:35	26,7	76	23,5	75	Sol
A	20/04/2017	18:25	23,4	82	21,7	80	Sol
B	20/04/2017	18:30	23,8	82	21,7	80	Sol
C	20/04/2017	18:35	24	80	21,7	80	Sol

A	21/04/2017	09:25	23,7	61	27,6	64	Sol
B	21/04/2017	09:30	23	64	27,6	64	Sol
C	21/04/2017	09:35	23,1	66	27,6	64	Sol
A	21/04/2017	12:25	28,4	52	28,5	50	Sol
B	21/04/2017	12:30	27,9	53	28,5	50	Sol
C	21/04/2017	12:35	28,2	46	28,5	50	Sol
A	21/04/2017	15:25	24,3	78	19,2	79	Sol
B	21/04/2017	15:30	23,8	79	19,2	79	Sol
C	21/04/2017	15:35	24,5	79	19,2	79	Sol
A	21/04/2017	18:25	21,2	75	17,2	74	Sol
B	21/04/2017	18:30	21,1	77	17,2	74	Sol
C	21/04/2017	18:35	21,3	78	17,2	74	Sol
A	22/04/2017	09:25	18,9	56	21,4	52	Sol
B	22/04/2017	09:30	19,2	50	21,4	52	Sol
C	22/04/2017	09:35	20,3	52	21,4	52	Sol
A	22/04/2017	12:25	26	38	26,1	48	Sol
B	22/04/2017	12:30	26,1	33	26,1	48	Sol
C	22/04/2017	12:35	26,2	42	26,1	48	Sol
A	22/04/2017	15:25	28,2	36	25,2	47	Sol
B	22/04/2017	15:30	29,6	34	25,2	47	Sol
C	22/04/2017	15:35	29,7	38	25,2	47	Sol
A	23/04/2017	09:25	18,5	48	21,4	49	Sol
B	23/04/2017	09:30	18,7	46	21,4	49	Sol
C	23/04/2017	09:35	19,2	43	21,4	49	Sol
A	23/04/2017	12:25	23,4	48	23,8	58	Sol
B	23/04/2017	12:30	24,1	46	23,8	58	Sol
C	23/04/2017	12:35	23,6	45	23,8	58	Sol
A	23/04/2017	15:25	28,1	40	25,4	48	Sol
B	23/04/2017	15:30	29,4	37	25,4	48	Sol
C	23/04/2017	15:35	29,4	37	25,4	48	Sol
A	23/04/2017	18:25	23	65	17,4	63	Sol
B	23/04/2017	18:30	22,3	67	17,4	63	Sol
C	23/04/2017	18:35	23,7	68	17,4	63	Sol

Anexo C – Cálculos da NBR 15220-2/2005

CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE ACORDO COM A NBR 15220-2/2005

LAJE PAINEL TRELIÇADA COM EPS



Laje 110 x 100 cm
EPS 110 x 20 x 5 cm
Traço concreto: 1 : 3 : 3
Camada A: Concreto (5 cm)
Camada B: Concreto + EPS + Concreto (20 cm)

1.1 Resistência Térmica

Seção A (Concreto) :

Resistência Térmica A (**Ra**) = 0,085714 m².K / W
Área da Seção A (**Aa**) = 0,055 m²

R=e/k
e = espessura
k = condutividade térmica

Seção B (Concreto + EPS) :

Resistência Térmica B (**Rb**) = 1,3071 m².K / W
Área da Seção B (**Ab**) = 0,22 m²

A) Resistência térmica da laje =

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} =$$

Rt = 0,1015 m².K / W

B) Resistência Térmica Total RT **RT= R si + Rt + R se**

RT= 0,3115 m².K / W

1.2 Transmitância Térmica

U = 1/RT

U = 3,2103 W/m².K

1.3 Capacidade Térmica

Cta: (ecp) concreto: 0,15 x 1 x 2400 = 360 Kj/(m²*K)
Ctb: (ecp) concreto + (ecp) EPS + (ecp) concreto:
0,07 x 1 x 2400 + 0,08 x 1,42 x30 + 0,03 x 1 x 2400 = 242,13Kj/(m²*k)
CT: (2*Aa+Ab)/((2Aa//Cta)+(Ab/Ctb))
CT: 271,8 Kj/(m²*K)

1.4 Atraso Térmico

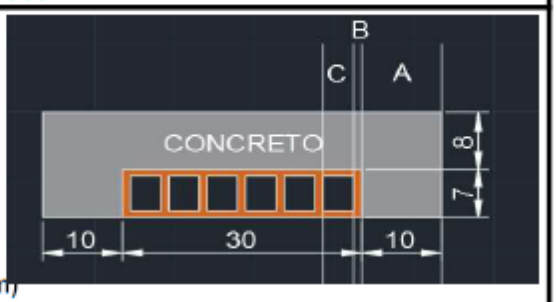
B0: Ct -Ctext: 271,8 - (0,08 x 1 x 2400) = 79,8
B1: 0,226 x B0/Rt B1 = 57,89
B2: 0,205(Ecp)ext)/Rt x (Rext - Rt -Rt Ext/10)
B2: 340,46
Q: 1,382 x Rt x Raiz B1+B2
Q: 2,8 hs

1.5 Fator Solar

Fso: RsexUxa
Fso: 4 x 2,23 x 0,3
Fso: 3,852 %

CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE ACORDO COM ANBR 15220-2/2005

LAJE PRÉ-MOLDADA COM TAVELA CERÂMICA



Laje 110 x 100 cm
Tavela: 30 x 7 x 20 cm
Traço concreto: 1 : 3 : 3
Camada A: Concreto (10 cm)
Camada B: Concreto + Cerâmica (1 cm)
Camada C: Concreto + Cerâmica + Ar + cerâmica (3,8 cm)

1.1 Resistência Térmica

Seção A (Concreto) :

Resistência Térmica A (**Ra**) = 0,085700 m².K / W
Área da Seção A (**Aa**) = 0,11 m²

R=e/k
e = espessura
k = condutividade térmica

Seção B (Concreto + Cerâmica) :

Resistência Térmica B (**Rb**) = 0,1235 m².K / W
Área da Seção B (**Ab**) = 0,01 m²

Seção C (Concreto + Cerâmica + Ar + Cerâmica) :

Resistência Térmica C (**Rc**) = 0,2479 m².K / W
Área da Seção C (**Ac**) = 0,04 m²

A) Resistência térmica da laje =

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} =$$

Rt = 0,0569 m².K / W

B) Resistência Térmica Total RT **RT= R si + Rt + R se**

RT= 0,2670 m².K / W

1.2 Transmitância Térmica

U = 1/RT

U = 3,7453 W/m².K

1.3 Capacidade Térmica

Cta: (ecp) concreto: 0,15 x 1 x 2400 = 360 Kj/(m²*K)
Ctb: (ecp) concreto + (ecp) Cerâmica: 0,15 x 1 x 2400 + 0,07 x 0,92 x 1500 = 288,6 Kj/(m²*k)
Ctc: (ecp) concreto + (ecp) cerâmica + Ar + (ecp) Cerâmica:
0,08 x 1 x 2400 + 0,01 + 0,92 + 1500 + 0,01 x 0,92 x 1500 = 219,6 kj/(m²*k)
CT: (2*Aa+7Ab+6Ac)/((2Aa//Cta)+(7Ab/Ctb)+(6Ac/ctc))
CT: 271,19Kj/9m²*K)

1.4 Atraso Térmico

B0: Ct -Ctext: 271,19- (0,07 x 1 x 2400) = 79,19
B1: 0,226 x B0/Rt B1 = 314,31
B2: 0,205(Ecp)ext)/Rt x (Rext - Rt -Rt Ext/10)
B2: 681,55
Q: 1,382 x Rt x Raiz B1+B2
Q: 2,36 hs

1.5 Fator Solar

Fso: RsexUxa
Fso: 4 x 2,23 x 0,3
Fso: 4,49 %

CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE ACORDO COM A NBR 15220-2/2005

LAJE PRÉ-MOLDADA COM EPS

Laje 110 x 100 cm
EPS 110 x 40 x 8 cm
Traço concreto: 1 : 3 : 3
Camada A: Concreto (10 cm)
Camada B: Concreto + EPS (40 cm)

1.1 Resistência Térmica

Seção A (Concreto) :

Resistência Térmica A (**Ra**) = 0,085714 m².K / W
Área da Seção A (**Aa**) = 0,11 m²

R=e/k
e = espessura
k = condutividade térmica

Seção B (Concreto + EPS) :

Resistência Térmica B (**Rb**) = 2,0400 m².K / W
Área da Seção B (**Ab**) = 0,44 m²

A) Resistência térmica da laje =

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} =$$

Rt = 0,2371 m².K / W

B) Resistência Térmica Total RT **RT= R si + Rt + R se**

RT= 0,4471 m².K / W

1.2 Transmitância Térmica

U = 1/RT

U = 2,2366 W/m².K

1.3 Capacidade Térmica

Cta: (ecp) concreto: 0,15 x 1 x 2400 = 360 Kj/(m²*K)
Ctb: (ecp) concreto + (ecp) EPS: 0,15 x 1 x 2400 + 0,08 x 1,42 x30 =171,41 Kj/(m²*k)
CT: (2*Aa+Ab)/((2Aa//Cta)+(Ab/Ctb))
CT: 207, 67 Kj/9m²*K)

1.4 Atraso Térmico

B0: Ct -Ctext: 207,67 - (0,07 x 1 x 2400) = 39
B1: 0,226 x B0/Rt B1 = 37.17
B2: 0,205(Ecp)ext)/Rt x (Rext - Rt -Rt Ext/10)
B2: 73,68
Q: 1,382 x Rt x Raiz B1+B2
Q: 2,6 hs

1.5 Fator Solar

Fso: RsexUxa
Fso: 4 x 2,23 x 0,3
Fso: 2,24 %

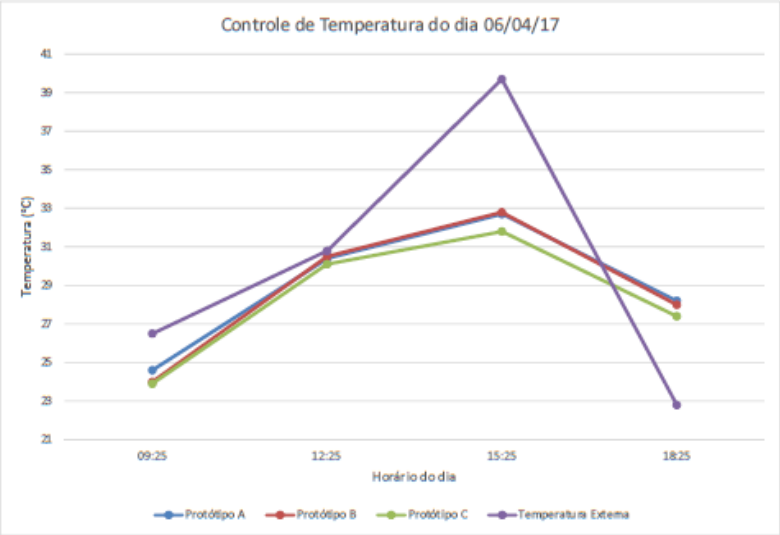
Anexo D – Gráficos das coletas de dados

06/04/2017

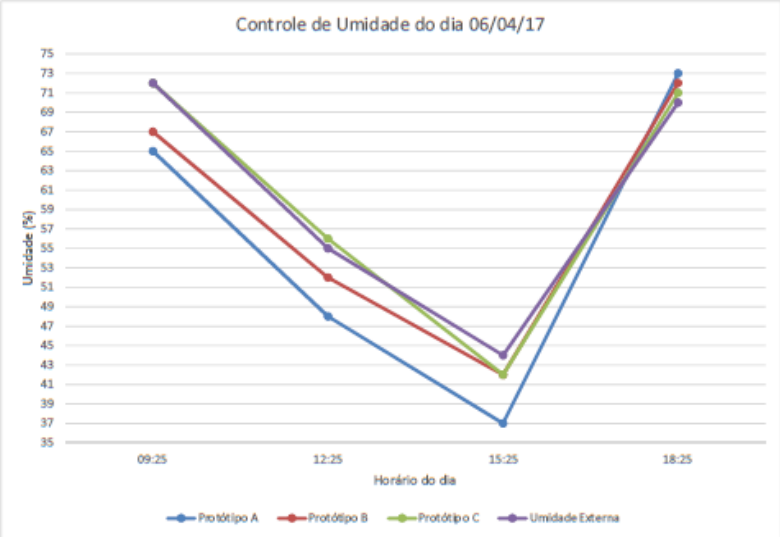
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

PROT.	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	06/04/2017	09:25	24,6	65	26,5	72	Sol
B	06/04/2017	09:30	24	67	26,5	72	Sol
C	06/04/2017	09:35	23,9	72	26,5	72	Sol
A	06/04/2017	12:25	30,4	48	30,8	55	Sol
B	06/04/2017	12:30	30,5	52	30,8	55	Sol
C	06/04/2017	12:35	30,1	56	30,8	55	Sol
A	06/04/2017	15:25	32,7	37	39,7	44	Sol
B	06/04/2017	15:30	32,8	42	39,7	44	Sol
C	06/04/2017	15:35	31,8	42	39,7	44	Sol
A	06/04/2017	18:25	28,2	73	22,8	70	Sol
B	06/04/2017	18:30	28	72	22,8	70	Sol
C	06/04/2017	18:35	27,4	71	22,8	70	Sol

		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	24,6	24	23,9	26,5
	12:25	30,4	30,5	30,1	30,8
	15:25	32,7	32,8	31,8	39,7
	18:25	28,2	28	27,4	22,8



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
06/04/2017	09:25	65	67	72	72
	12:25	48	52	56	55
	15:25	37	42	42	44
	18:25	73	72	71	70

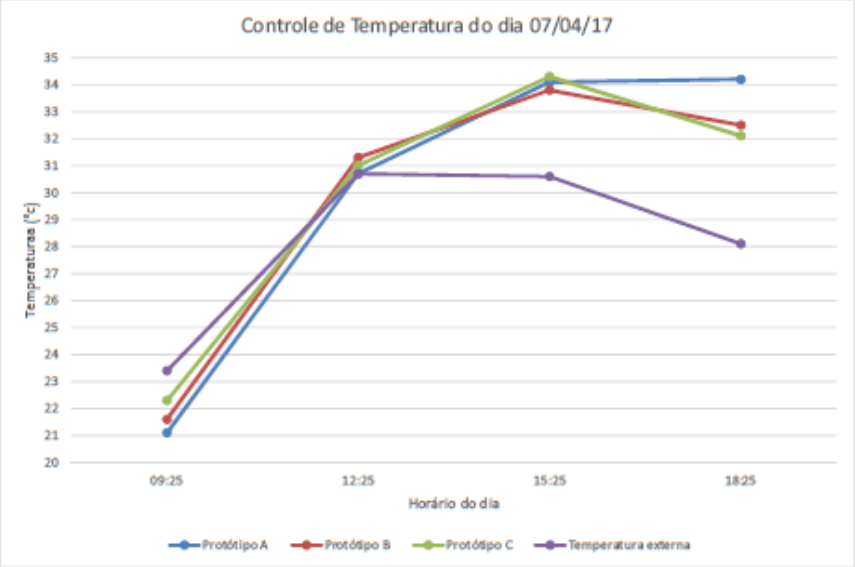


07/04/2017

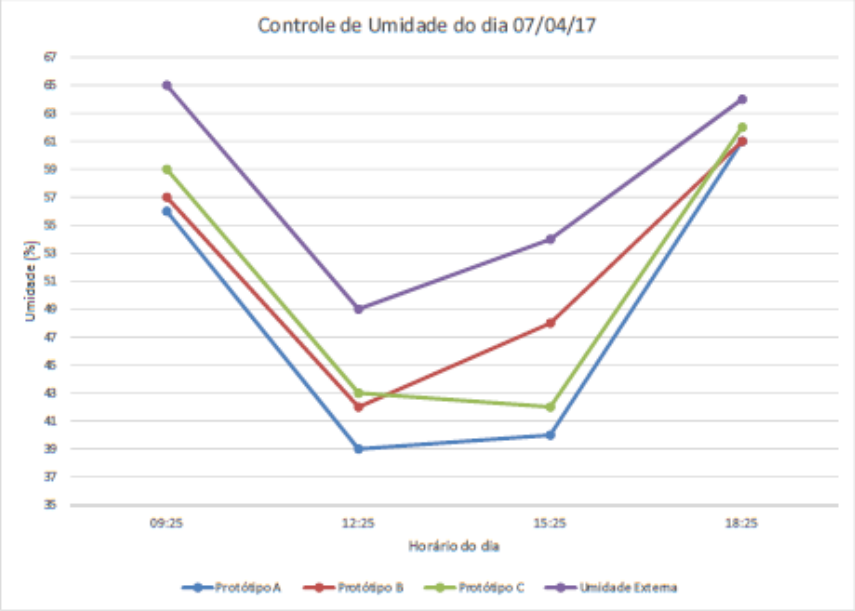
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

PROT.	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	07/04/2017	09:25	21,1	56	23,4	65	Sol
B	07/04/2017	09:30	21,6	57	23,4	65	Sol
C	07/04/2017	09:35	22,3	59	23,4	65	Sol
A	07/04/2017	12:25	30,7	39	30,7	49	Sol
B	07/04/2017	12:30	31,3	42	30,7	49	Sol
C	07/04/2017	12:35	31	43	30,7	49	Sol
A	07/04/2017	15:25	34,1	40	30,6	54	Sol
B	07/04/2017	15:30	33,8	48	30,6	54	Sol
C	07/04/2017	15:35	34,3	42	30,6	54	Sol
A	07/04/2017	18:25	34,2	61	28,1	64	Sol
B	07/04/2017	18:30	32,5	61	28,1	64	Sol
C	07/04/2017	18:35	32,1	62	28,1	64	Sol

		Temperaturas Internas			Temperatura Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	21,1	21,6	22,3	23,4
	12:25	30,7	31,3	31	30,7
	15:25	34,1	33,8	34,3	30,6
	18:25	34,2	32,5	32,1	28,1



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
07/04/2017	09:25	56	57	59	65
	12:25	39	42	43	49
	15:25	40	48	42	54
	18:25	61	61	62	64

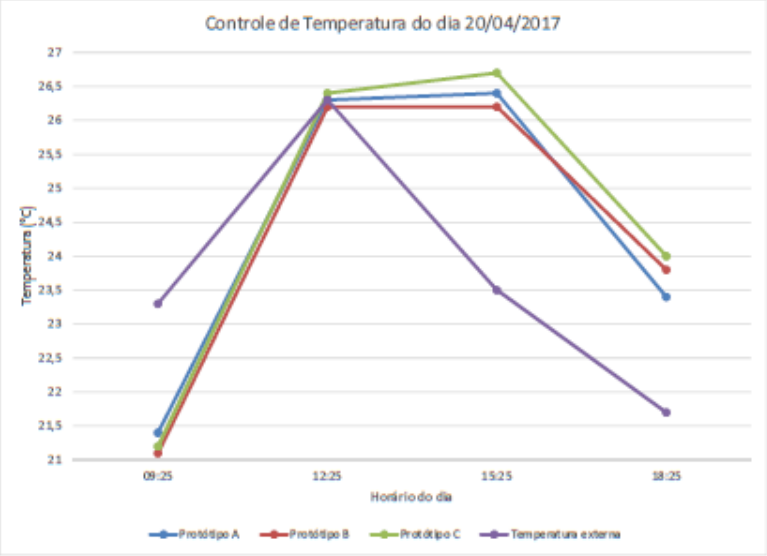


20/04/2017

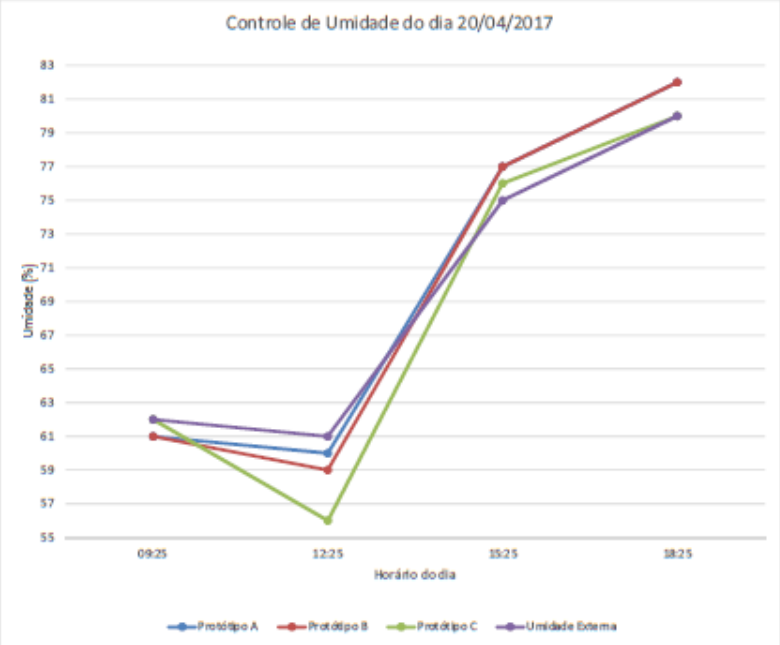
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

PROT.	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	20/04/2017	09:25	21,4	61	23,3	62	Sol
B	20/04/2017	09:30	21,1	61	23,3	62	Sol
C	20/04/2017	09:35	21,2	62	23,3	62	Sol
A	20/04/2017	12:25	26,3	60	26,3	61	Sol
B	20/04/2017	12:30	26,2	59	26,3	61	Sol
C	20/04/2017	12:35	26,4	56	26,3	61	Sol
A	20/04/2017	15:25	26,4	77	23,5	75	Sol
B	20/04/2017	15:30	26,2	77	23,5	75	Sol
C	20/04/2017	15:35	26,7	76	23,5	75	Sol
A	20/04/2017	18:25	23,4	82	21,7	80	Sol
B	20/04/2017	18:30	23,8	82	21,7	80	Sol
C	20/04/2017	18:35	24	80	21,7	80	Sol

		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
20/04/2017	09:25	21,4	21,1	21,2	23,3
	12:25	26,3	26,2	26,4	26,3
	15:25	26,4	26,2	26,7	23,5
	18:25	23,4	23,8	24	21,7



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
20/04/2017	09:25	61	61	62	62
	12:25	60	59	56	61
	15:25	77	77	76	75
	18:25	82	82	80	80

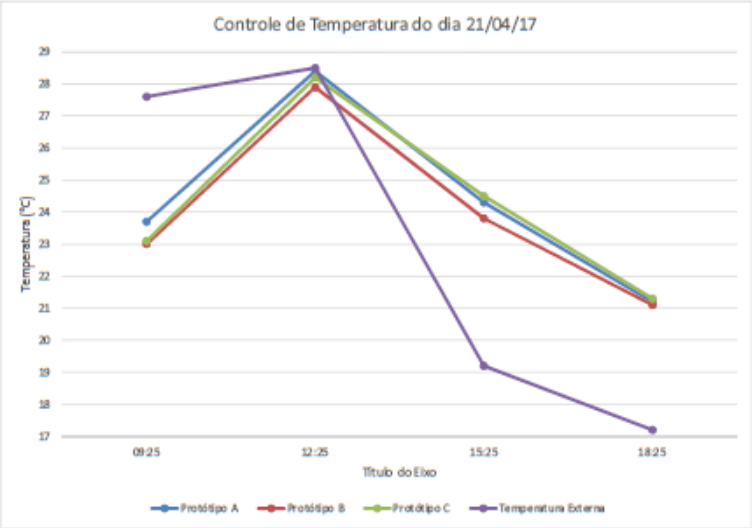


21/04/2017

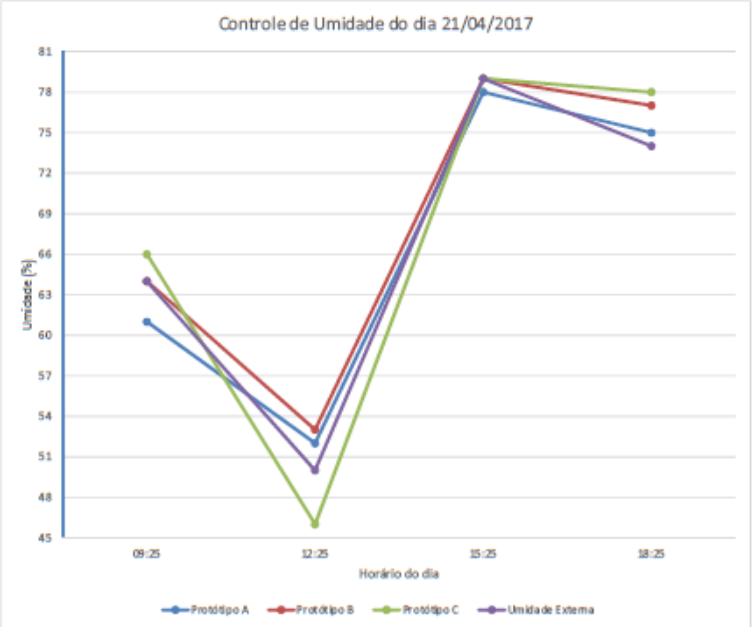
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

PROT.	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	21/04/2017	09:25	23,7	61	27,6	64	Sol
B	21/04/2017	09:30	23	64	27,6	64	Sol
C	21/04/2017	09:35	23,1	66	27,6	64	Sol
A	21/04/2017	12:25	28,4	52	28,5	50	Sol
B	21/04/2017	12:30	27,9	53	28,5	50	Sol
C	21/04/2017	12:35	28,2	46	28,5	50	Sol
A	21/04/2017	15:25	24,3	78	19,2	79	Sol
B	21/04/2017	15:30	23,8	79	19,2	79	Sol
C	21/04/2017	15:35	24,5	79	19,2	79	Sol
A	21/04/2017	18:25	21,2	75	17,2	74	Nublado
B	21/04/2017	18:30	21,1	77	17,2	74	Nublado
C	21/04/2017	18:35	21,3	78	17,2	74	Nublado

		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
21/04/2017	09:25	23,7	23	23,1	27,6
	12:25	28,4	27,9	28,2	28,5
	15:25	24,3	23,8	24,5	19,2
	18:25	21,2	21,1	21,3	17,2



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
21/04/2017	09:25	61	64	66	64
	12:25	52	53	46	50
	15:25	78	79	79	79
	18:25	75	77	78	74

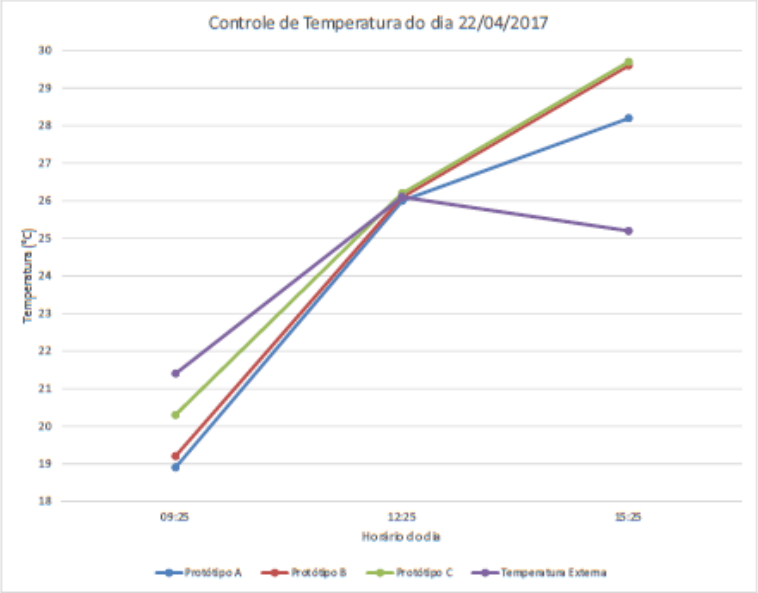


22/04/2017

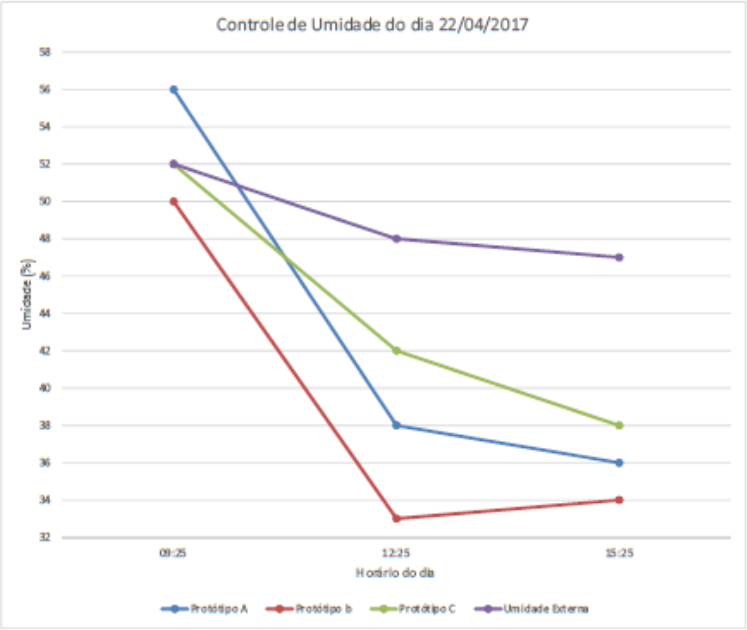
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

PROT.	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	22/04/2017	09:25	18,9	56	21,4	52	Sol
B	22/04/2017	09:30	19,2	50	21,4	52	Sol
C	22/04/2017	09:35	20,3	52	21,4	52	Sol
A	22/04/2017	12:25	26	38	26,1	48	Sol
B	22/04/2017	12:30	26,1	33	26,1	48	Sol
C	22/04/2017	12:35	26,2	42	26,1	48	Sol
A	22/04/2017	15:25	28,2	36	25,2	47	Sol
B	22/04/2017	15:30	29,6	34	25,2	47	Sol
C	22/04/2017	15:35	29,7	38	25,2	47	Sol
A	22/04/2017	18:25					Sol
B	22/04/2017	18:30					Sol
C	22/04/2017	18:35					Sol

		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
22/04/2017	09:25	18,9	19,2	20,3	21,4
	12:25	26	26,1	26,2	26,1
	15:25	28,2	29,6	29,7	25,2
	18:25				



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
22/04/2017	09:25	56	50	52	52
	12:25	38	33	42	48
	15:25	36	34	38	47
	18:25				

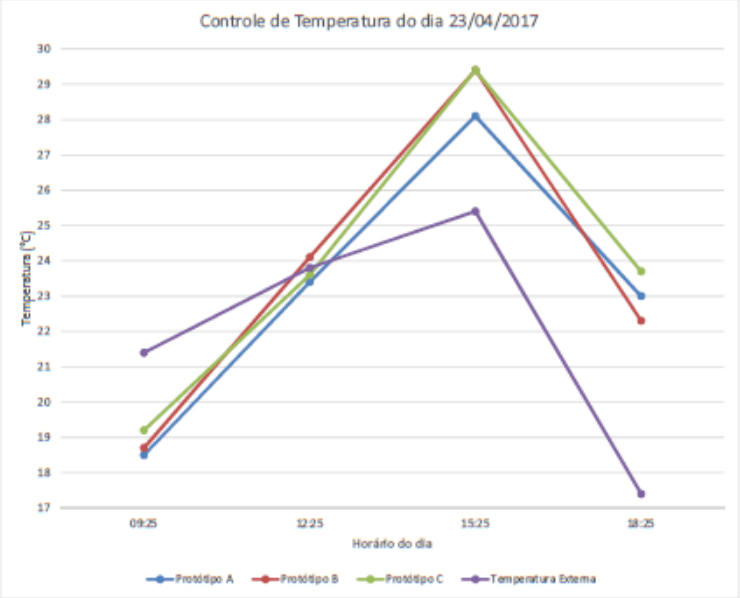


23/04/2017

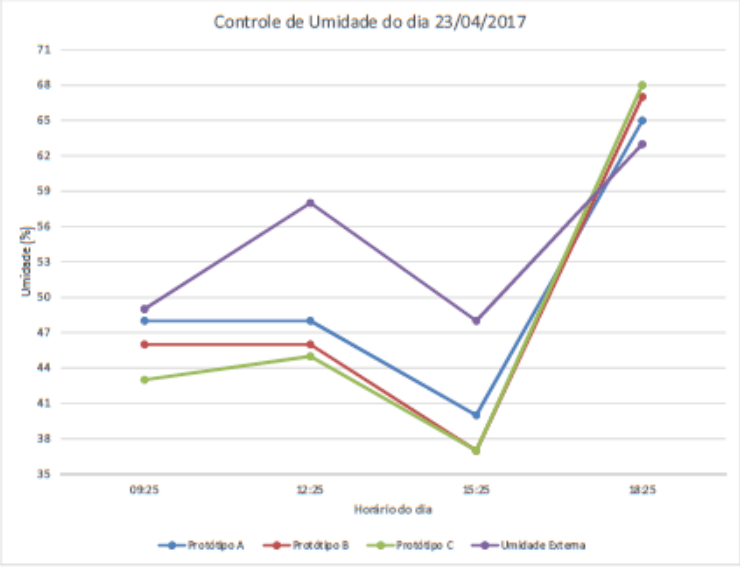
COLETA DE DADOS A CAMPO DOS PROTÓTIPOS

ROTÓTIP	DATA	HORÁRIO	TEMP. (INT)	UMIDADE (INT)	TEMP. (EXT)	UMIDADE (EXT)	COND. CLIMÁTICAS
A	23/04/2017	09:25	18,5	48	21,4	49	Sol
B	23/04/2017	09:30	18,7	46	21,4	49	Sol
C	23/04/2017	09:35	19,2	43	21,4	49	Sol
A	23/04/2017	12:25	23,4	48	23,8	58	Sol
B	23/04/2017	12:30	24,1	46	23,8	58	Sol
C	23/04/2017	12:35	23,6	45	23,8	58	Sol
A	23/04/2017	15:25	28,1	40	25,4	48	Sol
B	23/04/2017	15:30	29,4	37	25,4	48	Sol
C	23/04/2017	15:35	29,4	37	25,4	48	Sol
A	23/04/2017	18:25	23	65	17,4	63	Sol
B	23/04/2017	18:30	22,3	67	17,4	63	Sol
C	23/04/2017	18:35	23,7	68	17,4	63	Sol

		Temperaturas Internas			Temperatura externa
		A	B	C	
23/04/2017	09:25	18,5	18,7	19,2	21,4
	12:25	23,4	24,1	23,6	23,8
	15:25	28,1	29,4	29,4	25,4
	18:25	23	22,3	23,7	17,4



		Umidades Internas			Umidade Externa
		A	B	C	
23/04/2017	09:25	48	46	43	49
	12:25	48	46	45	58
	15:25	40	37	37	48
	18:25	65	67	68	63



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09