

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

GRACE TIBÉRIO CARDOSO

**Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de
mamona para isolamento térmico na construção civil**

São Carlos

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GRACE TIBÉRIO CARDOSO

Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona para isolamento térmico na construção civil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Salvador Claro Neto

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação IFSC/USP

Cardoso, Grace Tibério

Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona para isolamento térmico na construção civil/ Grace Tibério Cardoso; orientador Salvador Claro Neto.--São Carlos, 2010.

82 p.

Dissertação (Mestrado--Programa de Pós-Graduação em Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais. Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Espuma rígida de poliuretano. 2. Óleo de mamona. 3. Isolação térmica. 4. Forro na arquitetura. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Grace Tiberio Cardoso

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Aprovado(a) em 19.11.2010

Comissão Julgadora

Dr(a). Salvador Claro Neto

Instituição: IQSC/USP

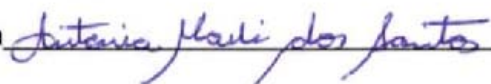
Assinatura



Prof(a). Dr(a). Antonia Marli dos Santos

Instituição: UNESP

Assinatura



Prof(a). Dr(a). Francisco Arthur da Silva Vecchia

Instituição: EESC/USP

Assinatura



Dedico esse trabalho aos meus pais, *Joel e Rita*, à minha irmã *Gheisa* e ao meu noivo *Leandro*, pelo amor, carinho e apoio durante todos os momentos.

Agradecimentos

- ✓ Ao Prof. Dr. Salvador Claro Neto, pela confiança e dedicação, que com amizade e profissionalismo me ensinou a enfrentar os desafios surgidos no decorrer desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.
- ✓ Aos Profs. Drs. Francisco Vecchia, Osny Pellegrino Ferreira e Antonia Marli dos Santos pelo importante auxílio no desenvolvimento do trabalho e pela amizade.
- ✓ Ao Prof. Dr. Wilson Nunes dos Santos, do DEMa/ UFSCar, pela colaboração em um dos ensaios – Método do Fio Quente Paralelo.
- ✓ Aos amigos do Laboratório de Conforto Ambiental: Jaime Andrés, Ludimila, Caio e, em especial aos que me ajudaram a tornar a pesquisa experimental uma realidade, Marcos José e Marcos Pereira, o meu profundo agradecimento.
- ✓ Aos amigos que fiz durante essa etapa da minha vida e a outros que sempre fizeram parte dela, pelas horas de alegria que fizeram a diferença, principalmente em momentos difíceis: Mariana Odashima, Mônica Caracanhas, Amanda Santos, Graziella Trovati, Edgar Sanches, Roberta Calefi, Rita Papa, Pietro Papa e Gláucia Maia.
- ✓ Aos amigos do escritório Recchia e Prado Arquitetura - Luciana, Angela e Leonardo, que através da amizade permitiram que eu adquirisse maior experiência profissional.
- ✓ Aos funcionários do Laboratório de Construção Civil (LCC): Sérgio, Tico e Paulo pelo apoio técnico e amizade, pois sem essa equipe competente e companheira não seria possível alcançar um dos objetivos do trabalho.
- ✓ Ao CNPq e à FAPESP pelo auxílio financeiro e de infraestrutura.
- ✓ E aos muitos amigos que nunca permitiram que eu desistisse do meu caminho, sempre intercedendo por mim junto a Deus, muito obrigada.

“Meu filho, eu nunca disse que iria ser fácil. Apenas disse que compensava.”

— Everilda Batista, pelas mãos de Francisco Cândido Xavier, em carta destinada ao filho Robson Pinheiro

Resumo

CARDOSO, G. T. *Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona para isolamento térmico na construção civil*. 2010. 82p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Este trabalho teve como objetivo o estudo da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona para aplicação como forro na isolação térmica de sistemas de cobertura. Dentro deste objetivo foram caracterizadas as suas propriedades termomecânicas e avaliado o seu comportamento térmico quando aplicada como forro em células de teste em quatro situações diferentes. As caracterizações termomecânicas da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona foram realizadas utilizando as técnicas Termogravimétrica (TGA), Dinâmico-Mecânica (DMA), e Método do Fio Quente Paralelo. A técnica Termogravimétrica (TGA) possibilitou o estudo da decomposição da espuma e uma avaliação de sua cinética. A cinética de decomposição foi realizada em quatro diferentes razões de aquecimento e os resultados foram avaliados utilizando o método baseado no modelo de Ozawa-Flynn-Wall no qual foi possível estimar o tempo de vida da espuma rígida de poliuretano para vários valores de temperatura constante. Por meio da utilização da técnica Dinâmico-Mecânica (DMA) foi possível determinar a temperatura de transição vítrea da espuma e os módulos viscoelásticos de armazenamento (E') e de perda (E'') assim como os valores de Tan Delta. O Método do Fio Quente Paralelo proporcionou a determinação do valor da condutividade térmica da espuma, que a classificou como um material muito isolante (1). A espuma rígida de poliuretano apresentou propriedades termomecânicas compatíveis para utilização como isolante térmico em temperaturas abaixo da ambiente, e em temperaturas acima de 100 °C. O estudo comparativo entre quatro células de teste para análise do comportamento térmico do forro foi feito com a coleta de dados em canteiro experimental. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência da espuma rígida de poliuretano derivada do óleo de mamona na redução da entrada de calor durante o período de radiação solar global máxima e a atenuação da perda de calor no período sem influência da radiação solar.

Palavras-chave: Espuma rígida de poliuretano. Óleo de mamona. Isolação térmica. Forro na arquitetura.

Abstract

CARDOSO, G. T. *Characterization of rigid foam polyurethane (PU) derived from castor oil for building insulation*. 2010. 82p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

This work aimed to study the rigid foam polyurethane (PU) derived from castor oil for application as lining in thermal insulation systems coverage. Within this objective we have characterized the thermomechanical properties and assessed its thermal behavior when applied as lining cells testing in four different situations. The rigid foam polyurethane's thermo characterizations, derived from castor oil, were performed using the Thermogravimetric Analysis (TGA), Dynamic Mechanical Analysis (DMA), and Hot Parallel Wire Method. The Thermogravimetric Analysis (TGA) has enabled the study of the foam's decomposition and an evaluation of its kinetics. The decomposition kinetics was carried out in four various heating reasons and the results were evaluated using the method based on Ozawa-Flynn-Wall model which it was possible to estimate the rigid foam polyurethane's lifetime for various constant temperature values. By Dynamic Mechanical Analysis (DMA) has been possible to determine the foam's glass transition temperature and the viscoelastics modules, storing module (E') and loss module (E'') well as the values of Tan Delta. The Hot Parallel Wire Method provided the valuation of foam's thermal conductivity which ranked as a very insulating material (1). The rigid foam polyurethane has been shown to thermomechanical compatible for used as an insulator heat at temperatures below ambient, and temperatures above 100 °C. The four test cells comparative study for lining's thermal behavior analysis was made with the collecting data from experimental plot. Results obtained proved the rigid foam polyurethane efficiency, derived from castor oil, in reducing the input heat during the maximum solar radiation and attenuation of heat loss in the period with no influence of solar radiation.

Keywords: Rigid foam polyurethane. Castor oil. Thermal insulation. Lining in architecture.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – (a) Preparação do molde; (b) Fita adesiva para vedação e (c) Forração do molde com plástico - molde pronto.....	42
Figura 2 – Mistura do polioli e pré-polímero e adição ao molde. (a) pesagem dos Componentes, (b) furadeira acoplada com misturador, (c) mistura realizada na garrafa PET, (d) molde com a espuma na posição vertical.	43
Figura 3 – Furador de rolha de diâmetro de 0,02 m	44
Figura 4 – Esquema da placa para retirada de amostras.	44
Figura 5 – Retificação do molde: (a) correção da irregularidade com argamassa e resina; (b) revestimento do molde para evitar aderência da espuma	45
Figura 6 – Desenho demonstrativo da colocação do termopar e da resistência no Método do Fio Quente Paralelo.	48
Figura 7 – Método do Fio Quente Paralelo: arranjo experimental – DEMa/ UFSCar. No caso do ensaio realizado na pesquisa o forno não foi utilizado, pois foi feito à temperatura ambiente (23,3°C).....	48
Figura 8 – (a) Equipamento TGA modelo SDT Q 600; (b) Equipamento DMA modelo DMA Q 800.	50
Figura 9 – Localização do canteiro experimental (em vermelho) e do Laboratório de Construção Civil – LCC/ EESC/ USP – Campus I (em verde)..	51
Figura 10 – Localização da cidade de São Carlos - SP.....	52
Figura 11 – Planta Baixa de uma célula de teste.	53
Figura 12 – Cortes A-A' e B-B' de uma célula de teste..	53
Figura 13 – (a) Colocação das placas de PU na célula 04; (b) forro de PU da célula 02..	54
Figura 14 – Estação meteorológica automática do canteiro experimental (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ EESC/ USP – Campus I).....	55

Figura 15 – Células de teste do canteiro experimental (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ EESC/ USP – Campus I)	56
Figura 16 – Célula de teste 01 após terem sido trocadas as telhas; no detalhe aparece o termopar fixado à telha de fibrocimento	57
Figura 17 – Célula de teste 02; no detalhe aparece o termopar fixado ao forro de espuma rígida de poliuretano	57
Figura 18 – Célula de teste 03; no detalhe aparece o termopar fixado à laje mista.....	58
Figura 19 – Célula de teste 04; no detalhe aparece o termopar fixado ao forro de espuma rígida de poliuretano	59
Figura 20 – Ensaio pelo Método do Fio Quente Paralelo:	
(a) colocação da resitência (seta vermelha) e do termopar (seta azul);	
(b) ajuste final da amostra de espuma rígida de poliuretano.....	63
Figura 21 – Equipamento de coleta e armazenamento dos dados	64
Figura 22 – Gráfico curvas TGA	65
Figura 23 – Gráfico curvas TGA em diferentes razões de aquecimento: 10, 15, 20 e 25°C/mim	66
Figura 24 – Gráfico Log das razões de aquecimento: 10, 15, 20 e 25°C/mim, apresentando as taxas de conversão.....	66
Figura 25 – Gráfico Tempo de Vida	67
Figura 26 – Gráfico curvas DMA	69
Figura 27 – Gráfico de Radiação Solar Global - período 06/03/2010 a 12/03/2010.....	71
Figura 28 – Gráfico de Temperatura externa do ar e Umidade Relativa do ar - período 06/03/2010 a 12/03/2010.....	71
Figura 29 – Gráfico de Pluviosidade - período 06/03/2010 a 12/03/2010.....	72
Figura 30 – Gráfico de Velocidades do vento - período 06/03/2010 a 12/03/2010	72
Figura 31 – Gráfico de Temperaturas Superficiais Internas dos elementos de interesse em cada célula te teste - período 06/03/2010 a 12/03/2010.....	73
Figura 32 – Gráfico de Temperaturas Superficiais Internas dos elementos de interesse em cada célula de teste - dia 09/03/2010	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tempo de vida em relação à temperatura, dados fornecidos pelo software da empresa TA Instruments.....	67
Tabela 2 – Valores Temperaturas Superficiais Internas Máximas e Mínimas dos elementos de interesse em cada célula de teste - dia 09/03/2010.....	74

Lista de Símbolos

H – Fluxo de energia transferida Watt (W) = (J/s)

U – coeficiente de transferência de calor [W/(m²·K)]

R – Resistência térmica do material [(m²·K)/W]

e – Espessura do material (m)

A – Área (m²)

T – Temperaturas em Kelvin (K)

ΔT – Diferença de temperaturas em Kelvin (K)

k – Condutividade térmica (W/mK)

c – calor específico do material (J/(kg·K))

Q_s – Quantidade de calor sensível (J)

Q_L – Quantidade de calor latente (J)

L – Calor latente (J/kg)

m – Massa do material (Kg)

E* – Módulo elástico dinâmico

E' – Módulo elástico de armazenamento (MPa)

E'' – Módulo elástico de perda (MPa)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	25
2	OBJETIVOS	29
3	JUSTIFICATIVA	31
3.1	A importância do estudo da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona	31
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	33
4.1	Óleo de mamona	33
4.2	Poliuretano derivado do óleo de mamona	33
4.3	Utilização de espuma rígida de poliuretano na construção civil	34
4.4	Produtos atualmente comercializados para isolamento térmica	35
4.5	Comportamento e desempenho térmicos de edificações	37
4.6	Trocas térmicas secas e úmidas	38
4.7	Inércia térmica e seus parâmetros	40
5	METODOLOGIA E MATERIAIS	41
5.1	O forro de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona	41
5.1.1	Escolha do molde e definição das placas de espuma rígida	41
5.1.2	Confecção das placas definitivas para o forro	45
5.2	Análises instrumentais para caracterização da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona	46
5.2.1	Determinação da condutividade térmica da espuma rígida de poliuretano através do Método do Fio Quente Paralelo	46
5.2.2	Análise Termogravimétrica e Análise Dinâmico-Mecânica	49
5.3	Estudo do comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona	51
5.3.1	As células de teste: localização e características	51
5.3.2	Equipamentos para coleta de dados no canteiro experimental	54
5.3.3	Instalação dos termopares nas células de teste	56
5.3.4	Análise Climática	59
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63

6.1	Método do Fio Quente Paralelo	63
6.2	Análise Termogravimétrica (TGA)	65
6.3	Análise Dinâmico-Mecânica (DMA)	68
6.4	Análise comparativa do comportamento térmico da espuma entre quatro células de teste	70
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 Introdução

A evolução da arquitetura reflete as exigências da sociedade em relação ao ambiente construído. O modo de pensar e viver da população transforma aos poucos a arquitetura oficial e vernacular de um país (2). A arquitetura tem papel fundamental na criação de espaços internos e externos, seguindo normas de habitabilidade, determinadas pelas necessidades dos indivíduos, principalmente no que diz respeito ao conforto térmico com base nos princípios do condicionamento natural. Este é um assunto importante e que contribui para a melhoria da qualidade de vida e economia de recursos no campo da energia e produtividade do trabalho. Mas pesquisas sobre a arquitetura do cotidiano no Brasil não apresentam significativa expressão de conforto ambiental, como se pode afirmar pelo vernáculo de outras culturas (3).

Quando a energia elétrica ainda não fazia parte das construções, estas buscavam conseguir o conforto necessário para o desenvolvimento das atividades humanas, por meio de recursos naturais disponíveis, adaptando as construções e os respectivos sistemas construtivos às condições climáticas locais. Com o advento da energia elétrica e o desenvolvimento de sistemas cada vez mais sofisticados de iluminação e climatização artificial, permitiu-se a realização das mais variadas funções, sem observar com rigor as solicitações térmicas do clima local. O aspecto formal da edificação passou a ter maior significado e importância para os arquitetos e usuários das edificações. A função da moradia é proteger os indivíduos das intempéries a que estão sujeitos, mantendo em seu interior uma proteção contra os rigores do clima. Uma vez que a moradia não atenda a esse princípio de conforto, os indivíduos ficam expostos ao surgimento de patologias físicas ou psíquicas. O interior das habitações apresenta condições ambientais particulares, diferentes das do ambiente externo e, teoricamente, mais adequadas à ocupação humana (4).

Rivero em 1985 (5) coloca que uma edificação é considerada arquitetura quando são solucionadas integralmente todas as exigências que cercam o indivíduo, e não enfocando unilateralmente os problemas físicos, funcionais, estéticos ou econômicos. Para ele, o século XX produziu um enorme intercâmbio de estilos e expressões arquitetônicas entre as mais afastadas regiões do planeta sem que se tenha realizado um estudo específico para as necessárias adaptações às condições ambientais de cada local. Em seu estudo Rivero (5) relata que não existe comprovação de que um meio mantido permanentemente em condições de conforto signifique benefício à saúde, mas se observa que os meios desconfortáveis a prejudicam, pois

produzem fadiga, extenuação física e nervosa, diminuição do rendimento, aumento de erros e dos riscos de acidentes no trabalho, além de facilitar a instalação de doenças no organismo.

A importância do tema em relação à saúde humana e à eficiência no trabalho não é a única questão a ser levada em consideração, mas, também, a questão da economia de energia elétrica, pois é preciso considerar a necessidade de otimização do desempenho térmico de edificações e reduzir a utilização de climatização para restabelecer o conforto nos ambientes, fato de preocupação em momentos de crise. A consciência dessa importância deve ser criada, para ressaltar o grande valor dos profissionais da construção civil.

Denomina-se Bioclimática à arquitetura que aproveita os aspectos favoráveis do clima para atender às exigências humanas de conforto térmico e evitar desperdício de energia (6). Os construtores da antiguidade, sem o saber, frequentemente adotavam soluções bioclimáticas. Enquanto a estabilidade estrutural dependia de grandes massas de materiais, estas proporcionavam como subprodutos, altos índices de isolamento e inércia térmica (7). Algumas recentes inovações tecnológicas determinaram a aparição de materiais construtivos monofuncionais, ou seja: cumprem suas funções estruturais sendo muitas vezes lamentáveis seus desempenhos térmico e acústico, ou funcionam apenas como isolantes térmicos, possuindo uma resistência mecânica desprezível (8).

Para garantir o comportamento térmico desejado, em cada ambiente, é preciso que os materiais utilizados possuam as características adequadas para as quais são solicitados, atendendo entre outros fatores às normas de segurança. No caso do desempenho de um material isolante térmico, este pode ser avaliado de acordo com a sua condutividade térmica^I. A partir desse dado é possível avaliar as trocas de calor que este propicia, estabelecendo a sua resistência térmica^{II}. É um valor que pode ser medido em laboratório ou calculado. Portanto, conhecendo-se a condutividade térmica pode-se estabelecer a espessura do material de maneira a obter o mais adequado rendimento por meio da resistência térmica do material ao ambiente em que este está sendo aplicado.

^I Condutividade térmica: propriedade física que representa a capacidade de um material de conduzir calor. Materiais como o alumínio tem alta condutividade térmica, enquanto que isolantes, como o poliestireno expandido (isopor), têm baixa condutividade térmica.

^{II} Resistência térmica: propriedade física que representa a capacidade de um material resistir à passagem de calor.

Dentre as mais variadas aplicações de isolantes térmicos, os forros são os mais utilizados, pois a cobertura das edificações é a responsável pela maior absorção de calor por radiação^{III}.

O forro constitui uma barreira que diminui o fluxo térmico originado pela insolação da cobertura, que entre as envoltentes da edificação é, geralmente, a mais exposta à radiação solar (9). Deste modo este dispositivo protege os indivíduos no interior do ambiente. O forro tende a uniformizar as condições de conforto térmico nos ambientes, independentemente de qual tipo de sistema de cobertura se tenha utilizado. Normalmente são constituídos por mais de um elemento, que atuam em conjunto para atingir uma maior eficiência térmica como no caso das placas “sanduíches”. As placas “sanduíches” mais comuns são compostas por uma malha isolante de lã-de-vidro entre duas placas de PVC.

No entanto esses materiais apesar de cumprirem com a finalidade proposta possuem inconvenientes: o PVC (poli cloreto de vinila) é um polímero derivado do petróleo, reciclável, porém não renovável e não biodegradável. A lã-de-vidro (componente fabricado a partir da sílica) também não é biodegradável. Atualmente os produtos ecológicos voltados para a construção sustentável representam uma área de grande potencial para o Brasil, mas ainda pouco explorada (10).

A idéia de pesquisar um novo material que pudesse ser utilizado como forro isolante térmico, tem seu fundamento na maioria das construções civis, que apresentam em seus sistemas de cobertura telhas cerâmicas ou de fibrocimento em conjunto com a laje mista (elementos pré-fabricados de concreto, elementos cerâmicos de enchimento e capa de concreto). Esse sistema já demonstrou em estudos anteriores que não é termicamente eficiente, ou seja, a sensação térmica nos locais em que esse sistema de cobertura acontece não é considerada “confortável”^{IV}.

A importância deste trabalho reside no fato de determinar as propriedades térmicas e mecânicas do material escolhido para confirmar a sua aplicação como forro isolante, a partir de análises instrumentais realizadas em laboratório, e avaliar o seu comportamento térmico quando aplicada como forro em células de teste em quatro situações diferentes.

^{III} Radiação ou Irradiação: É uma forma de transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas. Dois corpos em temperatura diferentes tendem ao equilíbrio térmico, mesmo que entre eles não haja nenhum meio material. Ex.: Sol esquentando a Terra (existe vácuo entre eles).

^{IV} Na Revista Construção Metálica Edição 71/ 2005, o professor Francisco Vecchia da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, apresenta o *Estudo comparativo do comportamento térmico de quatro sistemas de cobertura: um estudo experimental para reação frente ao calor*. Neste artigo ele compara de forma experimental o comportamento térmico de quatro sistemas de cobertura tradicionais utilizadas no Brasil.

As análises instrumentais envolvem três procedimentos: Análise Termogravimétrica (TGA), Análise Dinâmico- Mecânica (DMA) e a de determinação da condutividade térmica da espuma pelo Método do Fio Quente Paralelo.

As células testes foram preparadas de maneira a obter dados comparativos entre duas situações onde há aplicação da espuma como forro e outras duas sem o forro. As quatro células de teste possuem características construtivas semelhantes com telhas de fibrocimento. Dentre as duas células com o forro, uma apresenta também uma laje mista. Nestas células o forro de espuma rígida de poliuretano está aparente no interior, configurando-o como último elemento do sistema de cobertura no qual o calor precisa atravessar até atingir o interior do ambiente. As outras duas células de teste representam os sistemas de cobertura convencionais de telhado de fibrocimento, sendo uma delas apenas com o telhado de fibrocimento e a outra com o telhado semelhante e a laje mista.

Neste trabalho, é feita a análise comparativa dos dados obtidos experimentalmente em situação frente ao calor, ou seja, o episódio climático representativo e o dia típico experimental escolhido não apresentaram nebulosidade e precipitação.

Os resultados comparados são os de temperatura superficial interna medida através de termopares instalados no último elemento constituinte do sistema de cobertura de cada célula de teste, em relação à radiação solar e a temperatura externa, para verificar o comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona em situação de excepcional calor.

Toda a metodologia foi formulada em acordo com os objetivos da pesquisa, para se chegar às conclusões referentes ao trabalho realizado, bem como avaliar quais objetivos foram alcançados e as limitações enfrentadas.

2 *Objetivos*

O objetivo geral do trabalho é caracterizar a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona, e estudar o comportamento térmico desse material aplicado em forma de placas para conformar um forro isolante térmico. Para alcançar esta meta, foram estipulados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a espuma rígida de poliuretano, derivada do óleo de mamona, analisando suas propriedades térmicas e mecânicas;
- Avaliar experimentalmente o comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona aplicado em forma de placas para conformar um forro isolante térmico às células testes existentes no canteiro experimental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

3 *Justificativa*

3.1 A importância do estudo da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona

A preocupação com a preservação do meio ambiente vem crescendo em todo o mundo e o Brasil é um dos países que investe em pesquisas em busca de alternativas a materiais agressivos à natureza.

Essa questão recai sobre as proposições da Agenda 21 Brasileira (11), que é um processo e instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável e que tem como eixo central a sustentabilidade, compatibilizando a conservação ambiental, a justiça social e o crescimento econômico, lançada em julho de 2002 e está em fase de implementação.

Este projeto propõe um material de fonte renovável e não agressivo ao meio ambiente, com potencial para ser utilizado na construção civil como elemento para auxiliar no conforto térmico aplicado como forro nos sistemas de cobertura. Isto porque o material é derivado do óleo da mamona, que é matéria-prima abundante no Brasil, desenvolvida pelo de Grupo Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP), do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

As espumas rígidas de poliuretano comercializadas, geralmente derivadas de petróleo, também são utilizadas em sistemas de isolamento térmico e acústico, para modelação, ou para proteção de transportes de peças e equipamentos, no entanto, não foram encontradas na literatura referências quanto à aplicação da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona na isolação térmica em construção civil. As propriedades químicas e físicas da espuma derivada do óleo de mamona oferecem diversas vantagens como leveza, fácil manuseio e instalação, resistência, menor volume ocupado, alta durabilidade e baixa condutividade térmica, em comparação com outros materiais (12).

A espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona, além de possuir as propriedades da convencional, também é biodegradável, pois o meio ambiente requer polímeros que possam ser degradados e desapareçam por completo pela atuação de vários fatores ambientais, incluindo microrganismos (13), levantando a discussão sobre a preservação ambiental. Uma substância é biodegradável se os microrganismos presentes no meio ambiente e em condições favoráveis (meio de cultura) forem capazes de convertê-la em substâncias mais sim-

ples, existentes naturalmente no meio (14). No caso da espuma derivada do óleo de mamona, sua estrutura química (poliéster) a torna suscetível ao ataque de microrganismos, podendo ser considerada um polímero com características biodegradáveis, o mesmo não ocorrendo com a espuma poliuretana de petróleo convencional (poliéter) (15).

Assim, o produto proposto é ecologicamente correto, o que, além de ser bom para o meio ambiente é derivado de matéria prima originária da biomassa.

O estudo também inova pelo seu caráter interdisciplinar, contemplando diferentes áreas do conhecimento que se interpõem a partir de soluções derivadas da Química e a sua devida aplicação na construção civil, por meio das Engenharias Civil e Ambiental em conjunto com a Arquitetura.

4 *Considerações Gerais*

4.1 Óleo de mamona

O óleo de mamona também encontra grande aplicação na fabricação de sabão, tintas e vernizes, lubrificantes, nylon-11, fluidos para freio hidráulico e grande participação na medicina. É composto de 89,5% de triglicérideo do ácido ricinoleico, que é um ácido graxo hidroxilado. Os grupos hidroxilas do ácido ricinoleico da molécula conferem ao óleo de mamona características de um poliálcool trifuncional (16). O GQATP, por meio de reações de transesterificação e ou esterificação do óleo de mamona sintetiza polióis para síntese de espumas rígidas de poliuretano. Para a síntese da espuma derivada de óleo de mamona o GQATP desenvolveu um sistema químico que não necessita de agente de expansão físico, como no caso das espumas derivadas de petróleo. Nesse sistema a expansão se dá por meio do CO₂ (dióxido de carbono) gerado durante a reação de polimerização.

4.2 Poliuretano derivado do óleo de mamona

A quantidade de materiais desenvolvidos a partir de reações com formação de grupos uretanos, teve grande crescimento, desde que Bayer em 1947 produziu os primeiros polímeros deste tipo (16). Essa proposta, que primeiramente foi feita por Wurtz em 1849, atualmente encontra diferentes aplicações, aumentando os ramos da indústria. Por possuírem propriedades diferentes num mesmo material, os poliuretanos tornaram-se os polímeros de grande importância na sociedade do século XX. Esses novos polímeros fazem parte do cotidiano, nos mais variados lugares, como nos veículos, no vestuário, nos móveis, em fitas magnéticas, em isolamentos eletro-eletrônicos, em isolamentos térmicos (geladeiras, freezer, câmaras frias, etc.), isolamentos acústicos, em tintas e adesivos de alto desempenho, e a mais nova aplicação, como biomaterial na medicina, que é objeto de estudo de diferentes pesquisadores.

Os estudos sobre o desenvolvimento e a utilização de poliuretanos derivados de óleo de mamona possuem sua origem nos primeiros trabalhos propostos ainda na década de 1940 (16), com polímeros sintetizados para aplicações como tintas e vernizes.

No final da década de 1950, com o aparecimento dos polióis poliéteres derivados do petróleo, portanto, de baixo custo, a pesquisa com poliuretanos derivados do óleo de mamona foram restritas ao desenvolvimento de materiais mais nobres.

Atualmente a preocupação com a preservação do meio ambiente, a busca de políticas que visam o desenvolvimento sustentável, incentivam a pesquisa de materiais biodegradáveis, não poluentes e derivados da biomassa. Nesse sentido, permite também a retomada das pesquisas com poliuretanos derivados de óleo de mamona, abrindo assim novas perspectivas para seu desenvolvimento.

4.3 Utilização de espuma rígida de poliuretano na construção civil

A espuma rígida de poliuretano derivado do petróleo é o resultado da reação química de um poli-isocianato que juntamente com um gás expensor são responsáveis pelo seu alto fator de isolamento térmico. Essas propriedades são consequência de sua baixa densidade e baixo coeficiente de condutividade térmica tendo aplicação principalmente em superfícies operando a baixas temperaturas como, geladeira, freezer e câmaras frias. Atualmente as espumas rígidas de poliuretano vem ganhando grande destaque na área de construção civil, tanto como material de isolamento térmico e acústico com material de preenchimento.

Essas espumas são normalmente comercializadas em forma de peças pré-moldadas (placas e calhas) em diversas espessuras, dimensões e densidades. A vantagem de serem fornecidas assim é devido à facilidade de utilização, visto que podem ser aplicados sem a necessidade de máquinas e pessoal especializado. Elas também podem ser aplicadas através de pulverização (Spray) e por injeção. No processo de pulverização a mistura é aplicada diretamente no local, por maquinário apropriado, sobre superfície prévia e devidamente tratada, proporcionando uma superfície firme e rugosa, que poderá posteriormente receber acabamento em pintura epóxi ou tinta à base de poliuretano. Esse procedimento é frequentemente mais usado para isolamento térmico de grandes áreas de telhados, colunas, entre outros. Já pelo sistema de injeção, a mistura dos componentes que compõem o poliuretano é diretamente injetada por maquinário apropriado em cavidades previamente preparadas. Ao reagirem os componentes a

espuma expande preenchendo totalmente a cavidade e aderindo firmemente às suas paredes. Usa-se uma “camisa” de chapa metálica (alumínio, aço inox, aço galvanizado) para formar a face externa da cavidade onde o material é injetado.

Por possuir diversas maneiras de aplicação, a espuma rígida de poliuretano é muito utilizada na construção civil, tanto para isolamento de sistemas de cobertura, quanto para isolamento de paredes, com painéis sanduíches pré-fabricados.

4.4 Produtos atualmente comercializados para isolamento térmica

A idéia de utilização de materiais que auxiliem na isolamento térmica, teve seu início na década de 1940, quando se buscava reduzir os gastos com aquecimento em países com invernos mais rigorosos. Mas foi na sociedade do pós-guerra, entre as décadas de 1970 e 1980 com o preço do petróleo em alta, que a consciência da necessidade de redução no consumo de energia foi mais disseminada. Nesse período a questão do isolamento térmico passou a ter importância também para as regiões quentes, pois se gastava muito com climatização de ambientes. A importância da isolamento térmica é diferente entre as regiões frias e quentes do planeta. Em países com condições climáticas predominantemente frias o aquecimento e o isolamento térmico passam a ser questões de sobrevivência no inverno, visto que em países tropicais essa questão refere-se apenas ao grau de conforto térmico ambiental, procurando-se a redução de recursos de climatização.

No Brasil, o mercado de produtos para isolamento térmica que integra dois ou mais elementos construtivos surgiu a partir da década de 1980, inicialmente com as telhas sanduíche (duas peças de metal entremeadas por material isolante).

Atualmente pode-se considerar que a preocupação com a proteção térmica de coberturas – sempre um ponto crítico da construção, já que é a envolvente que recebe maior incidência dos raios solares – é presente em vários projetos, principalmente de edifícios industriais. Cada vez mais surgem no mercado produtos com a finalidade de isolamento térmica. Nos últimos anos, o Brasil passou a receber uma grande variedade desses produtos, que são empregados tanto em coberturas quanto para em fechamentos laterais, forros e pisos.

De acordo com o responsável pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), engenheiro Fúlvio Vittorino, o isolamento térmico bem projetado pode proporcionar conforto

ambiental a edificações de quase todo o país, tornando muitas vezes desnecessários os sistemas de climatização (17). O engenheiro aconselha conhecer os produtos para isolamento térmico, pois não é qualquer tipo de material ou sistema construtivo que vai proporcionar o conforto térmico de uma construção. Para ele os materiais precisam ser utilizados levando em consideração suas características e propriedades, e a especificidade de cada projeto, para que se atinja um resultado eficaz e economicamente viável (17).

O ponto de partida para a escolha do melhor produto é saber se ele é adequado ou não ao clima onde será utilizado. Esse aspecto é verificado conhecendo-se a temperatura externa predominante no local do projeto. Outros fatores que influenciam na decisão do produto são a temperatura interna desejada, as fontes internas de calor, a espessura necessária do material para conseguir a conservação da energia desejada, entre outros. Após essa análise é que se pensa em outros aspectos, como os cuidados com instalação, proteção contra a entrada de água no material isolante, entre outras características de desempenho do produto.

Quando colocados no meio de outro material como no caso das placas e telhas sanduíche, tanto podem ser utilizados materiais como o poliestireno ou o poliuretano, como podem ser usadas as lãs de vidro, de rocha e até cerâmica. O poliestireno expandido e a espuma de poliuretano (derivado do petróleo) são indicados para isolamento em temperaturas mais baixas, nunca acima de 80 °C ou 90 °C, pois são suscetíveis à degradação pela ação do calor. Esses materiais são mais ou menos inflamáveis, e podem ser aditivados para ter um melhor comportamento e resistir ao fogo por mais tempo ou, principalmente, dificultar a propagação da chama. No caso de altas temperaturas, os materiais à base de lãs apresentam melhor desempenho. A lã de vidro suporta temperaturas da ordem de 250 °C, a lã de rocha suporta temperaturas mais elevadas e as lãs cerâmicas chegam a patamares acima de 1.000 °C. Esses materiais resistentes a altas temperaturas normalmente são empregados na proteção de tubulações. Já com relação à umidade, as placas de poliestireno expandido e de poliuretano com células fechadas têm um desempenho superior ao das lãs (17).

Fazer uso de dispositivos para reduzir a entrada de calor através do sistema de cobertura é sempre uma boa medida para evitar o desconforto térmico em regiões de clima predominantemente tropical, como é o caso do Brasil. Pode ser empregado um material isolante térmico externamente sobre o telhado, considerando-se as influências das intempéries e demais possibilidades de degradação desse material, quanto sob a cobertura, internamente, ou fazer uso de forros isolantes, ou ainda utilizar as já difundidas telhas sanduíche.

Os materiais destinados ao isolamento térmico são comercializados, normalmente, com espessuras que variam de 25 mm a 50 mm, dependendo da faixa de temperatura em que

ele será necessário (18). Essa espessura está relacionada à condutividade térmica, que em conjunto determinam o coeficiente de transferência de calor (U), que também é conhecido como resistência térmica do material (R). O coeficiente de transferência de calor é normalmente utilizado quando se tem camadas de materiais diferentes, com espessuras variadas, permitindo sua simples soma para obtenção de um coeficiente global de uma envolvente (parede, cobertura). Corresponde ao fluxo de energia, sob a forma de calor, que passa em um segundo, através de 1,0 m² de superfície, quando a diferença de temperatura entre o interior e o exterior é de 1 K. A equação 1 define o fluxo de energia transferida (H):

$$H = \frac{A \times (T_2 - T_1)}{\sum \frac{e}{k}} \quad (1)$$

A condutividade térmica (k) e o coeficiente de transferência de calor (U) relacionam-se através da equação 2, sendo (e) a espessura do material:

$$U = \frac{k}{e} \quad (2)$$

A resistência térmica do material é expressa pela equação 3:

$$R = \frac{e}{k} \quad (3)$$

Neste trabalho não foi calculado o coeficiente de transferência de calor do sistema de cobertura, tendo em vista que o objetivo é a caracterização das propriedades termomecânicas e a análise do comportamento térmico da espuma, ou seja, o objeto da pesquisa é a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona.

4.5 Comportamento e desempenho térmicos de edificações

A avaliação do comportamento térmico de uma edificação é feita a partir dos dados meteorológicos dos elementos climáticos (radiação solar global, temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos predominantes e pluviosidade), coletados na superfície das envoltivas dos ambientes, em função do período de exposição ao ritmo climático (19). Dentre os elementos climáticos, a radiação solar é a que mais influencia no comportamento térmico dos materiais, sobretudo nos sistemas de cobertura, já que a incidência dos raios solares é direta. Dessa maneira, é possível avaliar o comportamento térmico das envoltivas de uma edificação analisando as trocas térmicas, ou seja, os processos de transmissão de calor.

Materiais que apresentam inércia térmica alta e características isolantes são preferidos quando se deseja obter o equilíbrio térmico no interior das edificações. Esse equilíbrio térmico normalmente acontece quando o ganho de calor interno pelas envolventes é mínimo no verão, e quando existe uma perda mínima de calor, no inverno (20).

No caso de análise de desempenho térmico, são necessários padrões de referência para que possa ser feita a comparação entre situações já definidas ou anteriormente analisadas e novas proposições similares (19).

4.6 Trocas térmicas secas e úmidas

Para a compreensão do comportamento térmico de qualquer material submetido às condições do clima é necessário o estudo referente aos processos de transmissões de calor, ou mecanismos de trocas térmicas.

Existem duas condições básicas que determinam os processos de trocas térmicas: corpos em temperaturas diferentes (trocas secas) e mudança de estado de agregação de moléculas sem mudança de temperatura (trocas úmidas). Neste segundo caso, trata-se da passagem de um elemento do estado líquido para o vapor (evaporação) e o inverso (condensação).

Nas trocas secas, no qual existem variações de temperatura, os processos de transmissão de calor ocorrem através da radiação, condução e convecção. Nesses processos o calor envolvido é denominado de calor sensível. O calor sensível provoca apenas a variação da temperatura do corpo. A quantidade de calor sensível (Q_s) que um corpo de massa (m) recebe é diretamente proporcional ao seu aumento de temperatura. Logo, é possível calcular a quantidade de calor sensível usando a equação 4:

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

Onde (c) é o calor específico de um corpo e (ΔT) é a variação da temperatura. O calor específico determina a quantidade de calor que uma unidade de massa precisa perder ou ganhar para que aconteça uma redução ou elevação de uma unidade de temperatura sem, contudo, alterar sua estrutura.

O processo de transmissão de calor pela radiação acontece quando um dos corpos envolvidos tem capacidade de emitir energia térmica e outro de absorver essa energia. A radiação tem características eletromagnéticas, por isso esse mecanismo de transmissão de calor não necessita de meio para propagação, ocorrendo inclusive no vácuo (radiação solar). No caso da

transmissão por condução, a transferência de energia acontece entre dois corpos que se tocam ou até mesmo entre partes do mesmo corpo, que estejam em temperaturas diferentes. O calor é transmitido no sentido da temperatura mais alta para a temperatura mais baixa, em busca do equilíbrio térmico. A convecção também acontece entre dois corpos, sendo um deles em estado sólido e outro em estado líquido ou gasoso (fluido). Porém neste caso, a transferência de calor depende do transporte mecânico da massa fluídica. (12).

As trocas úmidas diferentemente das secas acontecem quando há uma mudança no estado de agregação das moléculas, no qual o calor envolvido é denominado calor latente. A quantidade de calor latente (Q_L) é a necessária para se variar o estado físico da matéria sem variar a temperatura. Acontece, por exemplo, no derretimento do gelo, onde podemos analisar a água no estado líquido e no estado sólido à mesma temperatura. O calor latente pode ser calculado usando a equação 5:

$$Q_L = m \cdot L \quad (5)$$

Nessa equação, a quantidade de calor (Q_L) que um corpo de massa (m) recebe é diretamente proporcional ao seu calor latente (L).

Outra característica das trocas térmicas é referente à maneira, ou melhor, à periodicidade em que elas acontecem, ou seja, é necessário saber o regime das trocas térmicas. No caso de um sistema de cobertura, que faz parte do objeto de estudo dessa pesquisa, o fluxo de calor é variável, ou seja, o fluxo de calor que entra no ambiente é diferente do fluxo de calor que sai - regime transitório. O regime transitório pode ser particularmente um caso de periodicidade, no qual as temperaturas de um mesmo ponto variam ciclicamente, como as oscilações das temperaturas em relação à cobertura de uma edificação, exposta dia e noite às condições atmosféricas (21; 22).

A radiação solar é considerada o elemento climático que mais influência os mecanismos de trocas térmicas, não só pela sua forte incidência direta nos fechamentos de uma edificação, mas também, pelas irradiações provenientes do entorno.

Na literatura, a ação de isolamento térmica é atribuída, na maioria dos casos, a materiais que normalmente apresentam alta resistência térmica, isto é, reduzem a transferência de calor por condução. Essa característica se deve principalmente à grande quantidade de espaços preenchidos por ar ou algum gás expensor. Mas também é possível reduzir os ganhos de calor pelas envolventes utilizando materiais de alta refletância ou materiais com baixa emissividade (23).

Independentemente do tipo de material escolhido para isolamento térmica, também não se desprezam as propriedades dos fechamentos opacos, pois atuam como uma barreira térmica.

ca, e são capazes de acumular energia térmica na massa dos elementos que os conformam (24). A massa térmica, em muitos casos, retarda a entrada do fluxo de calor no ambiente durante o período de forte influência da radiação solar, e por acumular essa energia, o calor é transferido ao interior do ambiente quando a radiação solar já não incide sobre a edificação, diminuindo as amplitudes térmicas no interior do ambiente. O conceito de massa térmica está ligado ao de inércia térmica, pois se trata da influência da massa dos elementos construtivos no comportamento térmico dos edifícios (25).

4.7 Inércia térmica e seus parâmetros

Como visto anteriormente, a inércia térmica é muitas vezes fator importante na determinação do comportamento térmico dos elementos construtivos de uma edificação, pois ela é uma propriedade que independe do tipo do material e sim das suas dimensões.

A inércia térmica atua, mais precisamente, de suas formas no comportamento térmico. A primeira refere-se à redução das oscilações das temperaturas internas de um ambiente – chamada de amortecimento – e a segunda é obtida pela defasagem temporal das temperaturas internas em relação às temperaturas externas – configura o atraso térmico (6). Neste sentido, a utilização de materiais pode ser pensada de maneira a favorecer melhores condições térmicas ao interior dos ambientes (20). Essa propriedade pode ser caracterizada como a capacidade que tem uma edificação de armazenar calor e liberá-lo algum tempo depois.

Os dois parâmetros para análise da inércia térmica – amortecimento e atraso térmico – se relacionam diretamente com as características térmicas do material e sua espessura (26). Da mesma forma que existem os dois parâmetros para o estudo da inércia térmica, eles também não podem ser analisados isoladamente.

Para Roriz (27), em estudos recentes a inércia térmica, dependendo do clima, pode influenciar negativamente, de maneira neutra ou positivamente sobre o desempenho térmico e o consumo energético das edificações.

Portanto, o uso de elementos construtivos com considerável inércia térmica se faz pertinente se acompanhados com outros dispositivos para controle do fluxo de calor interior-exterior de uma edificação (6).

5 *Metodologia e materiais*

Neste capítulo são descritos os procedimentos que foram adotados para alcançar os objetivos da pesquisa de mestrado.

O trabalho foi feito em duas frentes de pesquisa, uma que visou a caracterização da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona, em seus aspectos físico-químicos com definição de metodologia de Claro Neto (16), e outra que a partir dessa caracterização de material, buscou analisar o comportamento da espuma como isolante térmico, através de placas que conformaram forros em duas células de teste (02 e 04), em estudo comparativo entre quatro células de teste. Esta segunda frente de pesquisa baseou sua metodologia na tese de doutorado de Vecchia (28).

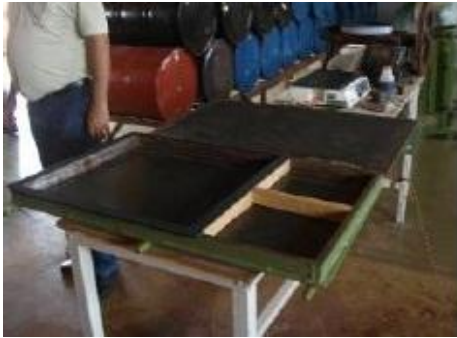
5.1 O forro de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona

Para o desenvolvimento deste trabalho o Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP), do Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo desenvolveu três tipos de formulações de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona, no qual foi avaliada a densidade e a compactação de cada uma determinando assim a que teve melhor desempenho. Os corpos de prova para os ensaios de densidade e compactação foram feitos a partir das placas com as diferentes formulações. Este estudo foi feito em conjunto com o aperfeiçoamento do molde para confecção das placas do forro.

5.1.1 Escolha do molde e definição das placas de espuma rígida

A escolha do molde e sua adaptação para a confecção das placas do forro foi importante para determinar a quantidade de material que seria necessário para cada placa, estabelecendo assim a técnica de confecção adotada.

O molde utilizado para confecção das placas foi cedido pela empresa Construquil. Ele é feito de chapa de ferro nas dimensões de 0,80 x 0,50 x 0,05 m. Como essas dimensões excediam as medidas padrões comerciais das placas de ferro, foi necessário fazer adaptação no molde, ficando este com as dimensões de 0,50 x 0,50 x 0,05 m. A Figura 1 (a), (b) e (c) mostra o molde já adaptado e forrado com um plástico para evitar aderência da espuma.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - (a) Preparação do molde; (b) Fita adesiva para vedação e (c) Forração do molde com plástico - molde pronto.

Os três tipos de formulações de espumas rígidas foram feitas a partir da mistura de dois componentes, um polioli e um pré-polímero, sendo que a diferença entre elas está na formulação do polioli. As três formulações de polioli fornecidas pelo GQATP foram misturadas ao pré-polímero nas proporções especificadas e em quantidades suficientes para o preenchimento do molde. As misturas foram feitas com agitação mecânica de aproximadamente 20 segundos utilizando-se uma furadeira manual com uma pá misturadora acoplada. A Figura 2 (a), (b), (c) e (d) mostra a sequência utilizada na mistura do polioli e pré-polímero e a adição ao molde. O tempo de espera para a desmoldagem da espuma foi de 15 minutos para cada placa.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura2- Mistura do polioli e pré-polímero e adição ao molde. (a) pesagem dos Componentes, (b) furadeira aco- plada com misturador, (c) mistura realizada na garrafa PET, (d) molde com a espuma na posição ver- tical.

Após a definição da melhor técnica de confecção foram feitas placas para teste em la- boratório com as diferentes formulações, e a partir destas foram tirados os corpos de prova para os ensaios de densidade. Os corpos de prova das espumas para o ensaio de densidade foram feitos com auxílio de um furador de rolha de diâmetro 0,02 m, como mostra a Figura 3.



Figura 3- Furador de rolha de diâmetro de 0,02 m.

As amostras foram retiradas das placas com a utilização do furador de rolha em cinco partes das placas: do centro (C) e dos cantos (1, 2, 3 e 4), de acordo com a Figura 4.

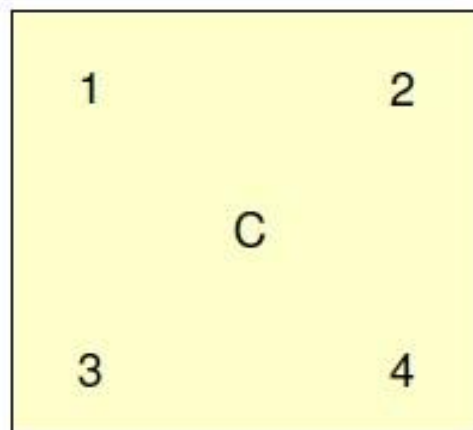


Figura 4- Esquema da placa para retirada de amostras.

O ensaio de densidade foi feito por duas técnicas diferentes. A primeira por pesagem do corpo de prova e medida do volume com paquímetro. A segunda por pesagem e cálculo do volume por diferença volumétrica quando o corpo de prova é introduzido em uma bureta com água. Os ensaios de densidades foram realizados após 24 e 72 horas da confecção das placas.

5.1.2 Confeção das placas definitivas para o forro

Para confecção das placas definitivas para a construção dos forros das células de teste 02 e 04 foi necessária a retificação do fundo do molde, pois este apresentava uma irregularidade nas suas dimensões. Após esta correção o molde ficou com as dimensões internas de 0,50 x 0,50 x 0,03 m. A Figura 5 (a) e (b) apresenta o molde após a correção das dimensões.



(a)



(b)

Figura 5- Retificação do molde. (a) correção da irregularidade com argamassa e resina; (b) revestimento do molde para evitar aderência da espuma.

A primeira tentativa para resolver o problema da irregularidade do molde foi o preenchimento da região abaulada com a resina de óleo de mamona. A resina acomodou-se a fim de corrigir o abaulamento e diminuir a profundidade do molde, mas esta não teve uma boa aderência no metal, se desprendendo em alguns pontos, ocasionando imperfeições na superfície onde a espuma seria colocada para confecção das placas. Essa camada de resina foi retirada e o molde foi limpo.

O molde foi novamente repensado. A alternativa encontrada foi a utilização da argamassa para obter o nivelamento do molde, posteriormente impermeabilizada com a resina de óleo de mamona, que criou uma camada monolítica de forma a garantir maior estabilidade térmica e mecânica à argamassa colocada no fundo do molde.

A espuma rígida de poliuretano, composta de poliól formulado à base de óleo de mamona e pré-polímero à base de MDI (Difenilmetano Diisocianato), foi obtida através da mis-

tura dos componentes na proporção em massa de 0,7 de polioli para 1,0 de pré-polímero, com agitação mecânica durante 20 segundos e vertida no molde apropriado. Após a polimerização foi obtida a espuma rígida de poliuretano com densidade em torno de 40 Kg/m^3 ou $0,04 \text{ g/cm}^3$. Para cada placa das quarenta preparadas (quantidade necessária para o recobrimento das células teste) foram usados 210 g de polioli e 300 g de pré-polímero, totalizando 510 g de material em cada placa.

A técnica empregada foi manual, ou seja, a espuma foi colocada em um recipiente de polietileno de 3 L, misturada em 20 segundos com agitador mecânico e logo despejada no molde, com processo de gelificação da massa polimérica de 2 segundos. Mas no geral as placas preencheram o molde de maneira uniforme, apresentando um peso final em torno de 400 g, e espessura de 0,03 m com uma área de $0,25 \text{ m}^2$.

5.2 Análises instrumentais para caracterização da espuma rígida de poliuretano derida de óleo de mamona

5.2.1 Determinação da condutividade térmica da espuma rígida de poliuretano através do Método do Fio Quente Paralelo

A condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica são propriedades importantes que possibilitam analisar a utilização de materiais na construção civil na busca pela melhoria das condições de conforto térmico e habitabilidade nos ambientes.

A condutividade térmica é a propriedade que estabelece os níveis de temperatura de trabalho de um material, sendo um parâmetro importante em problemas envolvendo transferência de calor em regime estacionário. A difusividade térmica é uma medida da rapidez com a qual o calor se propaga através do material e é importante em problemas envolvendo estado não estacionário de trocas de calor. O calor específico é uma quantidade termodinâmica, importante em altas temperaturas, e está associado ao consumo de energia durante o aquecimento (1).

Com o Método do Fio Quente Paralelo é possível determinar as três propriedades térmicas simultaneamente.

O Método do Fio Quente Paralelo utilizado por Wilson Nunes dos Santos (1) para determinação simultânea da condutividade térmica, da difusividade térmica e do calor específico para materiais de baixa condutividade, como cerâmicas e polímeros, não faz uso do conceito de temperatura média entre a face quente e a face fria de uma amostra, empregada em cálculos de outros métodos calorimétricos, visto que o cálculo da condutividade térmica é obtido com determinada temperatura fixa. Outra vantagem desta técnica diz respeito ao gradiente de temperatura através da amostra que é muito baixo, uma vez que um método ideal de medida de condutividade térmica seria aquele capaz de medir essa propriedade térmica segundo um gradiente de temperatura zero através da amostra. Essa técnica se aplica às amostras homogêneas, porosas (baixa densidade) ou densas (densidade superior a 500 Kg/m^3), sendo possível medir condutividades térmicas até 25 W/mK . Todavia, a técnica tem duas limitações: materiais condutores elétricos, e materiais de alta condutividade térmica. No primeiro caso a solução seria obtida isolando-se eletricamente o fio quente e as amostras. Já para o caso de materiais de alta condutividade térmica, o tempo de registro do transiente térmico torna-se bastante pequeno, comprometendo assim a confiabilidade dos resultados obtidos, a menos que as dimensões das amostras sejam suficientemente grandes, o que por outro lado inviabiliza o processo de medida.

O ensaio consiste em ajustar paralelamente a resistência e o termopar de maneira que fiquem no centro da amostra (Figura 6), para que a corrente elétrica constante que passa através do fio, libere uma quantidade constante de calor, por unidade de tempo e por unidade de comprimento, que vai se propagar através do material. Como o calor é fornecido por uma resistência elétrica fina com uma determinada capacidade térmica e a amostra é finita, existindo ainda a resistência de contato entre fio e amostra, o ensaio possui um tempo mínimo e um tempo máximo a serem utilizados no cálculo da condutividade térmica.

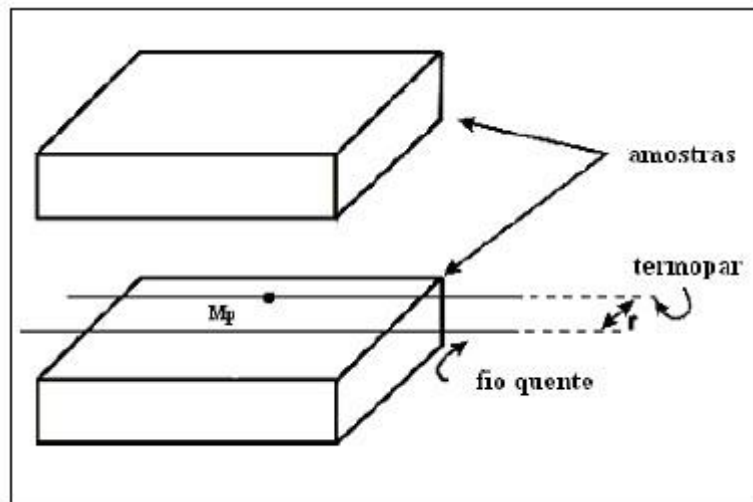


Figura 6- Desenho demonstrativo da colocação do termopar e da resistência no Método do Fio Quente Paralelo.

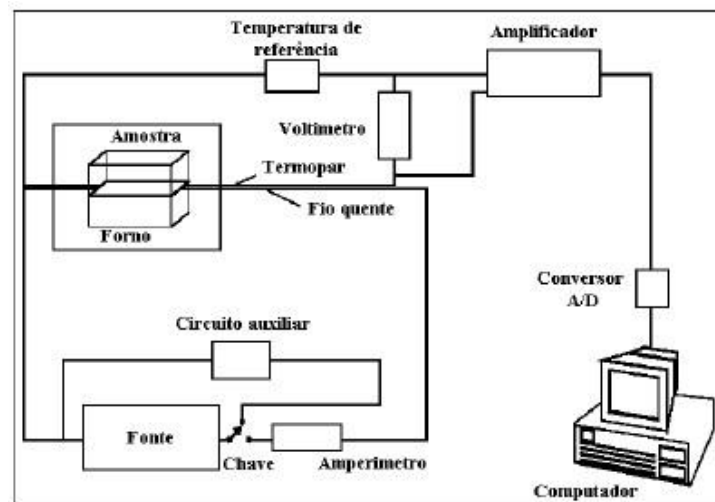


Figura 7- Método do Fio Quente Paralelo: arranjo experimental. No caso do ensaio realizado na pesquisa o forno não foi utilizado, pois foi feito à temperatura ambiente (23,3°C).

Alguns cuidados devem ser tomados ao se trabalhar com o Método do Fio Quente Paralelo para garantir resultados precisos e coerentes com o tipo de material (1):

1. Utilizar uma resistência elétrica fina, que se aproxime o máximo possível da fonte de calor linear teórica;
2. Assegurar o melhor contato possível entre ambas amostras e o fio quente, reduzindo assim os efeitos da resistência de contato;
3. Não considerar, para efeito de cálculo, o trecho inicial da curva, eliminando assim os efeitos de contato térmico entre a resistência elétrica e o material da amostra;

4. Limitar o tempo de ensaio para assegurar que o tamanho finito da amostra não afete as temperaturas medidas.

Nessa pesquisa, o ensaio possibilitou o conhecimento dos valores exatos da condutividade térmica, da difusividade térmica e do calor específico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona. Esse ensaio foi normalizado em 1978, pela norma DIN 51046-Parte 2. Na norma, o cálculo da condutividade térmica é feito utilizando-se apenas dois pontos do transiente térmico. Quando se pretende considerar um trecho do transiente térmico experimental, a condutividade térmica é calculada de dois em dois pontos e, em seguida, é feita uma simples média aritmética entre os valores calculados. Esse cálculo foi feito através do software criado pelo professor Wilson Nunes dos Santos, do Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos – SP.

5.2.2 Análise Termogravimétrica e Análise Dinâmico-Mecânica

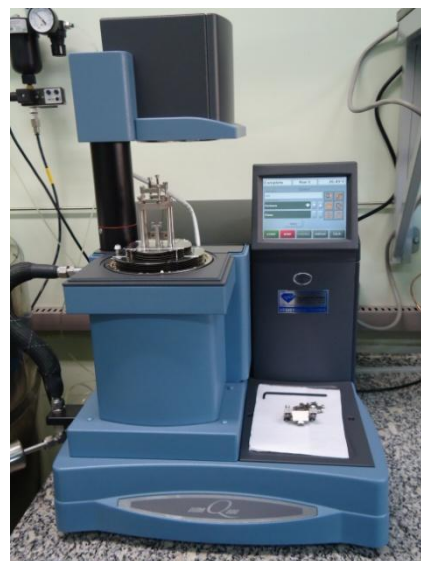
A proposta de realização das análises instrumentais Dinâmico-Mecânica (DMA) e Termogravimétrica (TGA) é estudar as propriedades termomecânicas e o processo de degradação térmica, respectivamente, de um material inovador, que possui características biodegradáveis, produzido de fonte renovável - a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona.

A técnica DMA visa a análise de propriedades mecânicas em temperaturas diferentes, verificando também a temperatura de transição vítrea. Já o ensaio termogravimétrico (TGA) é uma técnica na qual o corpo de prova a ser analisado é colocado em uma balança, sendo que esta se encontra dentro de um forno, na qual é possível ser feita a programação de temperatura, e o equipamento vai registrando a perda de massa, obtendo-se assim todo seu processo de decomposição térmica. Nesse trabalho as amostras de espuma rígida de poliuretano foram analisadas com dois objetivos, o primeiro de verificar as etapas de decomposição e o segundo de analisar a cinética do processo envolvido.

Através do estudo das etapas de decomposição é possível determinar a faixa de temperatura útil do material, ou seja, sem alteração em sua estabilidade química. O estudo das curvas termogravimétricas, quando realizadas em diferentes razões de aquecimentos, permite que seja feito uma avaliação cinética através de tratamento matemático, utilizando o modelo de Ozawa-Flynn-Wall (29).



(a)



(b)

Figura 8- (a) Equipamento TGA modelo SDT Q 600; (b) Equipamento DMA modelo DMA Q 800.

Para a Análise Termogravimétrica foi utilizado do equipamento da TA Instruments, modelo SDT Q 600 (Figura 8a). O objetivo do TGA é estudar a decomposição da espuma em diferentes temperaturas. Nos ensaios de TGA com a amostra de espuma, devido à sua baixa densidade que dificulta a colocação de uma massa apropriada na balança, optou-se por moer o material, fazendo o TGA com a espuma em forma de pó.

Para a Análise Dinâmico-Mecânica foi utilizado o equipamento da TA Instruments, modelo DMA Q 800 (Figura 8b). Neste ensaio foram preparados corpos de prova tipo retangular com dimensões 60,0 x 12,0 x 5,0 mm. Utilizou-se frequência fixa de 1,0 Hz, com razão de aquecimento de 5 °C/min, iniciando o ensaio a temperatura de -50 °C e finalizando em torno de 200 °C.

5.3 Estudo do comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona

5.3.1 As células de teste: localização e características

As células de teste são construções em alvenaria de tijolos de barro cozido sobre “radier” de concreto armado com dimensão padronizada, diferenciando apenas o sistema de cobertura.

As células de teste adotadas para a pesquisa estão localizadas no canteiro experimental do Laboratório de Construção Civil (LCC), no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, situado na cidade de São Carlos/SP (Figura 9).



Figura 9- Localização do canteiro experimental (em vermelho) e do Laboratório de Construção Civil – LCC/ EESC/ USP – Campus I (em verde).

São Carlos está localizada na região conhecida como zona tropical ou intertropical, do Hemisfério Sul, entre os paralelos 20° e 30° de Latitude Sul, mais precisamente a 21° 01' LS e

47° 53' LW, coordenadas geográficas da região central do Estado de São Paulo (Figura 10), e possui altitude de 850 m em relação ao nível do mar e clima e predominantemente tropical, considerado como tropical de altura (30).



Figura 10- Localização da cidade de São Carlos – SP.

O estudo experimental comparativo é entre quatro células de teste, sendo:

- Célula de teste 01: telha fibrocimento sem laje e forro.
- Célula de teste 02: telha fibrocimento + forro de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona.
- Célula de teste 03: telha de fibrocimento + laje mista (cerâmica e concreto armado).
- Célula de teste 04: telha fibrocimento + laje mista (cerâmica e concreto armado) + forro de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona.

As células de teste foram planejadas de forma a garantir equivalência a uma situação real na aquisição de dados. Elas possuem características construtivas similares entre si, e estão dispostas no terreno de maneira que nenhuma célula fizesse sombra à outra em relação à trajetória aparente do sol, e que tivessem as mesmas condições de igualdade perante a qualquer outro evento climático.

As quatro células de teste consideradas na pesquisa possuem dimensão interna de 2,20 x 2,70 m e altura de 2,90 m no ponto mais alto, já que o telhado é de uma água com inclinação de aproximadamente 5% (Figuras 11 e 12). Cada célula possui uma porta padrão de di-

mensões 2,10 x 0,60 m voltada para fachada Leste e uma janela 1,0 x 0,70 m com orientação Norte. As portas e janelas são feitas de embalagens acartonadas de Tetra Pak[®].

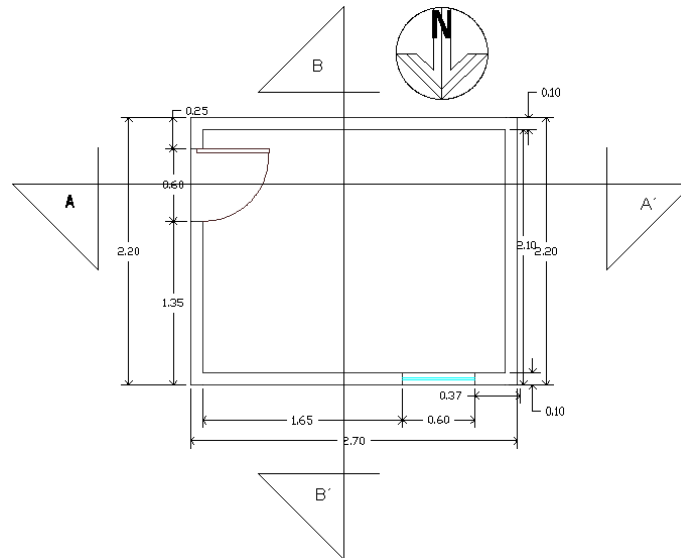


Figura 11- Planta Baixa de uma célula de teste.

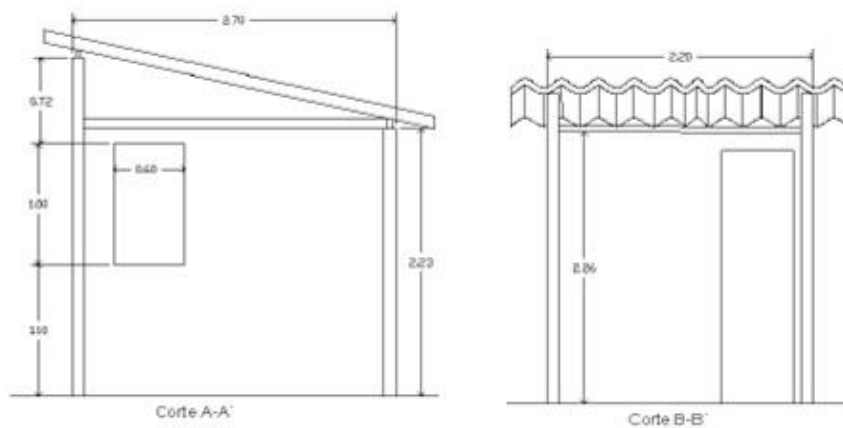


Figura 12- Cortes A-A' e B-B' de uma célula de teste.

O sistema de cobertura é parecido entre as quatro células de teste, exceto pela ausência ou não de elementos que a compõem. A célula de teste 01 possui apenas a cobertura de telhas de fibrocimento. A 02 possui a cobertura de telhas de fibrocimento e o forro composto de placas de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo mamona fixadas acima de uma estrutura em madeira em forma de grelha. A célula 03 possui cobertura de telhas de fibrocimento e a

laje mista. A célula de teste 04 é a mais completa, pois possui a cobertura de telhas de fibrocimento, a laje mista, e as placas de espuma rígida de poliuretano fixadas abaixo da laje por meio de parafusos, formando o forro (Figura 13).

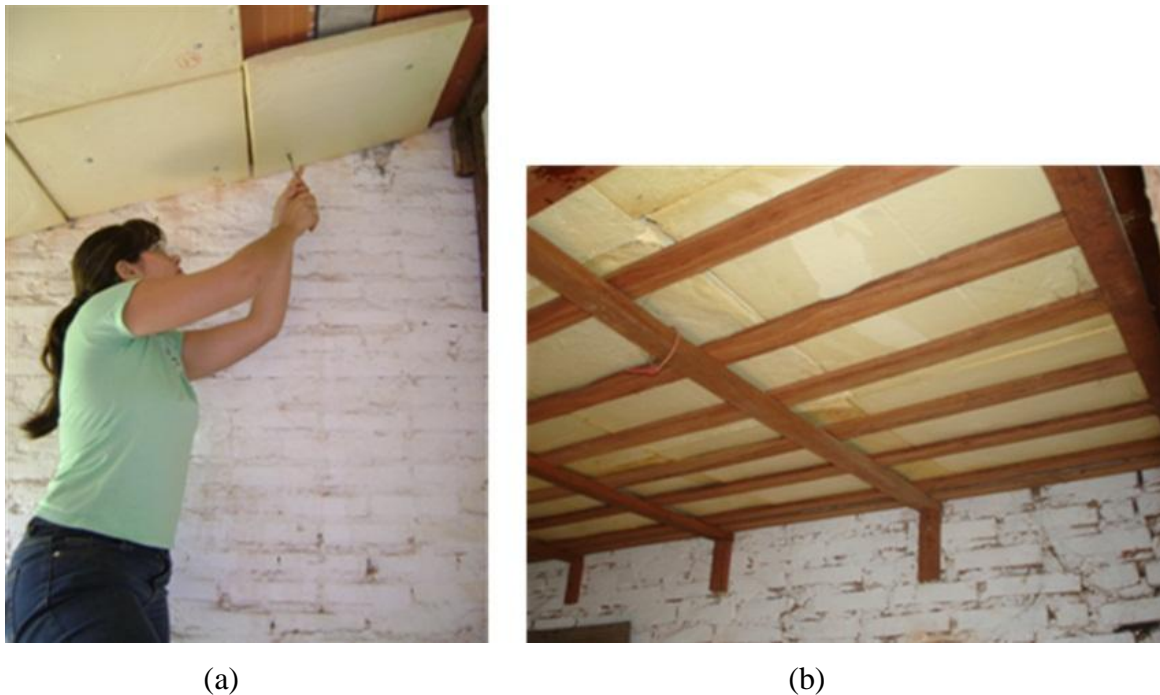


Figura 13- (a) Colocação das placas de PU na célula 04; (b) Forro de PU da célula 02.

5.3.2 Equipamentos para coleta de dados no canteiro experimental

No canteiro experimental situado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, da Escola de Engenharia de São Carlos, USP Campus I, na cidade de São Carlos^V, estão a estação meteorológica automática (Figura 14) e as células de teste (Figura 15) utilizadas na pesquisa, com os devidos equipamentos instalados para a aquisição dos dados necessários.

Os equipamentos que compõem a estação são da empresa Campbell Scientific Inc., responsáveis pela coleta e armazenamento de dados meteorológicos, como a radiação solar, a temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica e

^V Estação Meteorológica e conjunto de Protótipos construídos pelo Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira dentro do Projeto “Techos” do Programa CYTED, 1998-2008.

pluviosidade. Outros equipamentos fazem parte da estação para mantê-la em funcionamento, como bateria recarregável de 12 V, painel solar e o datalogger CR10X.

Os dados das células de teste são coletados através de medições das temperaturas superficiais, e foram realizadas por meio de termopares tipo T (cobre-constantin), 2x24 AWG, com medições em intervalos de 30 minutos, tomadas na superfície interna dos materiais, que aparecem como últimos elementos que compõem o sistema de cobertura de cada célula de teste. Os termopares foram conectados ao multiplexador e os dados armazenados no datalogger CR10X. Após esse armazenamento, os dados foram transferidos online através de modem para o computador do Laboratório de Construção Civil através de software específico PC208W.



(a)



(b)

Figura 14. Estação meteorológica automática do canteiro experimental (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ EESC/ USP – Campus I).



Figura 15- Células de teste do canteiro experimental (Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ EESC/ USP – Campus I).

5.3.3 Instalação dos termopares nas células de teste

Os termopares foram colocados em cada célula de teste em acordo com os elementos que compõem o sistema de cobertura de cada uma, pois a pesquisa avalia o comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona em estudo comparativo de quatro sistemas de cobertura.

Desta maneira em cada célula de teste o termopar foi instalado de forma a registrar a temperatura interna superficial do último elemento do sistema de cobertura, sendo:

- **CÉLULA DE TESTE 01:** nesta célula o sistema de cobertura é feito apenas com o telhado de telhas fibrocimento, sem laje e forro. O termopar neste caso foi colocado na superfície interna de uma das telhas (Figura 16).



Figura 16- Célula de teste 01 após terem sido trocadas as telhas; no detalhe aparece o termopar fixado à telha de fibrocimento.

- **CÉLULA DE TESTE 02:** o sistema de cobertura é formado pelo telhado de telhas fibrocimento, e o forro composto por placas de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona. Nesta célula, o termopar foi instalado na superfície interna de uma placa do forro (Figura 17).



Figura 17- Célula de teste 02; no detalhe aparece o termopar fixado ao forro de espuma rígida de poliuretano.

- CÉLULA DE TESTE 03: neste caso o sistema de cobertura foi feito com telhado de telhas fibrocimento e laje mista concretada in loco. A laje sendo o último elemento presente neste sistema de cobertura recebeu o termopar em sua superfície interna (Figura 18).



Figura 18- Célula de teste 03; no detalhe aparece o termopar fixado à laje mista.

- CÉLULA DE TESTE 04: a célula 04 possui o sistema de cobertura mais completo que é composto pelo telhado de telhas fibrocimento, uma laje mista concretada in loco e o forro de placas de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona. Também nesta célula o termopar foi colocado na superfície interna de uma placa do forro (Figura 19).

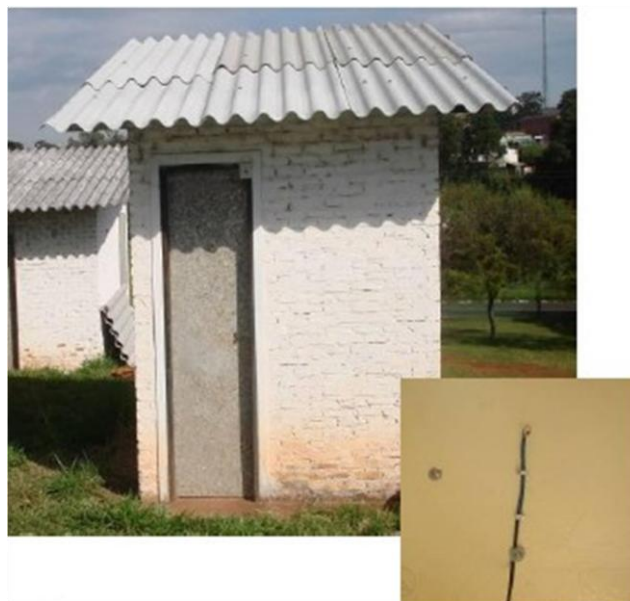


Figura 19- Célula de teste 04; no detalhe aparece o termopar fixado ao forro de espuma rígida de poliuretano.

5.3.4 Análise Climática

Para melhor entendimento da análise comparativa do comportamento térmico dos sistemas de coberturas das quatro células de teste, foi necessário o estudo dos conceitos referentes à Climatologia Dinâmica. O presente trabalho baseou-se nas considerações a respeito da abordagem dinâmica do clima na Tese de Doutorado de Vecchia (28).

A Climatologia Dinâmica relaciona os eventos sucessivos e encadeados de Tipos de Tempo Atmosférico à circulação atmosférica; trabalha com a definição de episódios representativos do fato climático, que por sua vez possibilita a escolha do dia representativo do fato climático. De acordo com Vecchia (28), na abordagem dinâmica, o que diferencia os episódios é a intensidade e duração de cada massa de ar que predomina sobre o local, polar ou tropical, tornando mais ou menos vigorosa a sua atuação sobre uma dada região. Para isso a coleta dos dados dos elementos do clima - radiação solar global, temperatura externa do ar, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos, entre outros, é de grande importância para análise dos processos atmosféricos e de fatores de modificação, que acontecem de forma sucessiva e interrelacionada, configurando o ritmo climático. Após a análise do episódio representativo do

fato climático, pode-se eleger um dia representativo das ocorrências climáticas, a partir do objeto de estudo que se pretende realizar.

A utilização correta da climatologia dinâmica, para que uma análise coerente dos dados seja feita, nos moldes dessa abordagem, depende de uma série de fatores. A visualização desses encadeamentos atmosféricos depende, basicamente, das respostas locais colhidas nas variações diárias e horárias dos elementos do clima (medições em superfície, por meio de estações e postos meteorológicos), nas cartas sinóticas do tempo (pressões reduzidas ao nível do mar e, se necessário, as dos principais níveis isobáricos) e nas imagens fornecidas por satélites meteorológicos. Entretanto, o simples acesso a esse banco de dados não é suficiente. Faz-se necessária a correta interpretação dos valores para o real entendimento dos processos. Outro grande desafio na adoção da concepção dinâmica nos estudos a respeito do clima está na aquisição dos dados.

De acordo com Monteiro (31), o ritmo climático só poderá ser compreendido "através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo". Assim, é importante reconhecer que a obtenção de dados "pelo menos diários" é extremamente difícil, sobretudo para a realidade brasileira, e praticamente inviável em muitas localidades. Portanto, os estudos que levem em conta a visão dinâmica do clima podem ser comprometidos pela falta de dados com frequência suficiente para entendimento dos processos em nível regional. Hoje, essa realidade tende a se transformar, em face de existências de inúmeros postos de observação, a exemplo das plataformas de aquisição automática de dados pertencentes ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

De modo geral para o Brasil, contudo, é extremamente difícil conseguir dados meteorológicos e fenológicos de boa qualidade, principalmente para escalas de análise de maior detalhe.

O clima da região de São Carlos–SP, segundo Monteiro (31), é controlado por massas equatoriais e tropicais, configurando a situação de transição entre uma estação seca de inverno nitidamente quente e seco, que localmente vai de abril a setembro, e uma estação chuvosa com verão úmido e quente, que abrange o período de outubro a março. A estação seca é caracterizada por apresentar pouca precipitação, baixa nebulosidade, baixa umidade relativa do ar, além de temperaturas médias menores quando comparadas com a estação chuvosa, com domínio das massas Tropical Atlântica e Polar Atlântica sobre a região. A estação chuvosa

apresenta temperaturas médias elevadas com precipitações abundantes e alta umidade relativa do ar, pois predomina massa Equatorial Continental.

Os dados coletados são referentes ao ritmo climático de janeiro a abril. A escolha dos episódios climáticos foi feita a partir da análise rítmica desse período e também porque os termopares foram recolocados nos pontos de medida das temperaturas, pois, anteriormente, apresentavam leituras com valores não confiáveis. O contratempo com os termopares delimitou o período de estudo, mas foi possível escolher um dia representativo que possuísse as condições típicas de calor, como a radiação solar global máxima, ou seja, o céu nesse dia se manteve claro, com reduzida presença de nuvens, tomando como referência os valores das Normais Climatológicas de 1960 – 1991 (32). Em sua tese Vecchia (28) enfatiza a qualidade da abordagem dinâmica do clima, pois possibilita a compreensão dos fenômenos climáticos e amplia o conhecimento para além da generalidade da visão clássica das Normais Climatológicas, já que caracteriza mais claramente as variações climáticas que ocorrem em um dado local.

O estudo do dia representativo permitiu a análise do comportamento térmico do elemento forro de espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona frente ao calor.

6 Resultados e discussões

6.1 Método do Fio Quente Paralelo

No ensaio para determinação da condutividade térmica da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo mamona, através do Método do Fio Quente Paralelo, foram utilizadas amostras medindo 0,05 m de altura, 0,23 m de comprimento, 0,14 m de largura e densidade 37,0 Kg/m. As amostras foram colocadas no aparato de modo a garantir o maior contato possível. A resistência utilizada foi do tipo KANTHAL 6,4900 ohms/m, posicionada a 0,07 m da extremidade da amostra, no sentido da largura, e o termopar tipo K paralelamente a 0,015 m da resistência (Figura 20a). Para garantir maior contato entre as amostras e o fio quente foi feita uma pressão sobre o conjunto (Figura 20b).

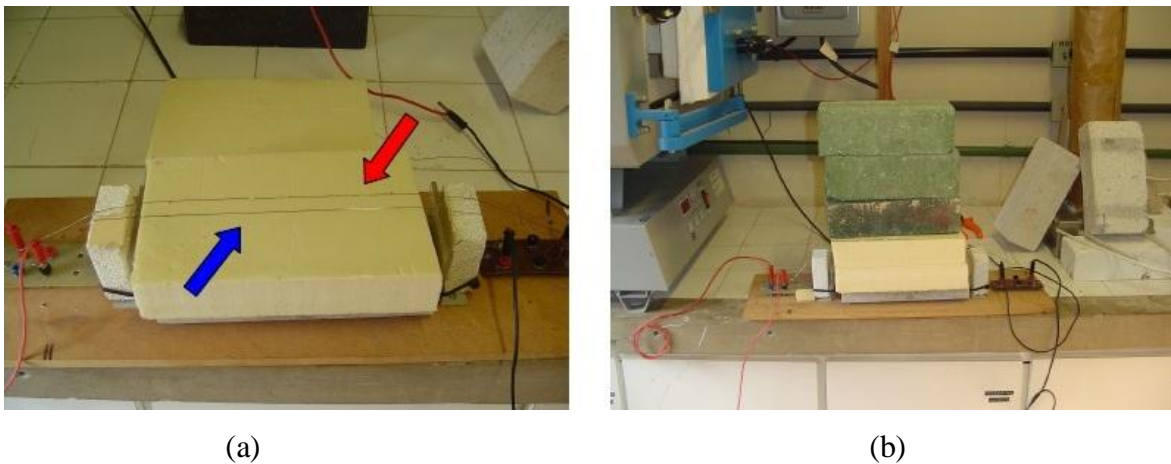


Figura 20- Ensaio pelo Método do Fio Quente Paralelo: (a) colocação da resistência (seta vermelha) e do termopar (seta azul); (b) ajuste final da amostra de espuma rígida de poliuretano.

Apesar do tempo de 15 minutos ser suficiente para o ensaio, optou-se por um período de 30 minutos para garantir um resultado mais preciso. Neste ensaio utilizou-se uma corrente elétrica de 1,1 Âmpere, sendo que o conjunto permaneceu na temperatura ambiente. Os resultados foram coletados e armazenados por software desenvolvido pelo professor Wilson Nunes

dos Santos, do Departamento de Engenharia de Materiais, Laboratório de Propriedades Térmicas, da Universidade Federal de São Carlos (Figura 21).



Figura 21- Equipamento de coleta e armazenamento dos dados.

Para as amostras de espuma rígida poliuretana derivada de óleo de mamona os resultados foram:

- CONDUTIVIDADE TÉRMICA: 0,0452 W/mK
- CALOR ESPECÍFICO: 4607,1555 J/Kg.K
- DIFUSIVIDADE TÉRMICA: $2,6540 \times 10^{-7}$ m²/s

Os resultados obtidos são próximos aos valores apresentados pela espuma rígida de poliuretano de petróleo^{VI} – 0,03 W/mK, para densidade 35 Kg/m³, comercialmente utilizada para isolamento térmico. De acordo com parâmetros seguidos pelo professor Wilson Nunes dos

^{VI} Os valores de condutividade térmica e densidade da espuma rígida poliuretano de petróleo foram retirados do livro de FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 8 ed , São Paulo: Studio Nobel, 2003.

Santos, a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona pode ser classificada como um material muito isolante (0,01 ~ 0,05 W/mK).

6.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A Análise Termogravimétrica (TGA) tem como objetivo estudar o processo de decomposição da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona. Nesta técnica a perda de massa que ocorre na amostra é monitorada em função do tempo, à temperatura constante, ou em função da temperatura.

A Figura 22 mostra a curva termogravimétrica da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona em razão de aquecimento de 10 °C/mim, em atmosfera de ar com fluxo de 100 mL/min.

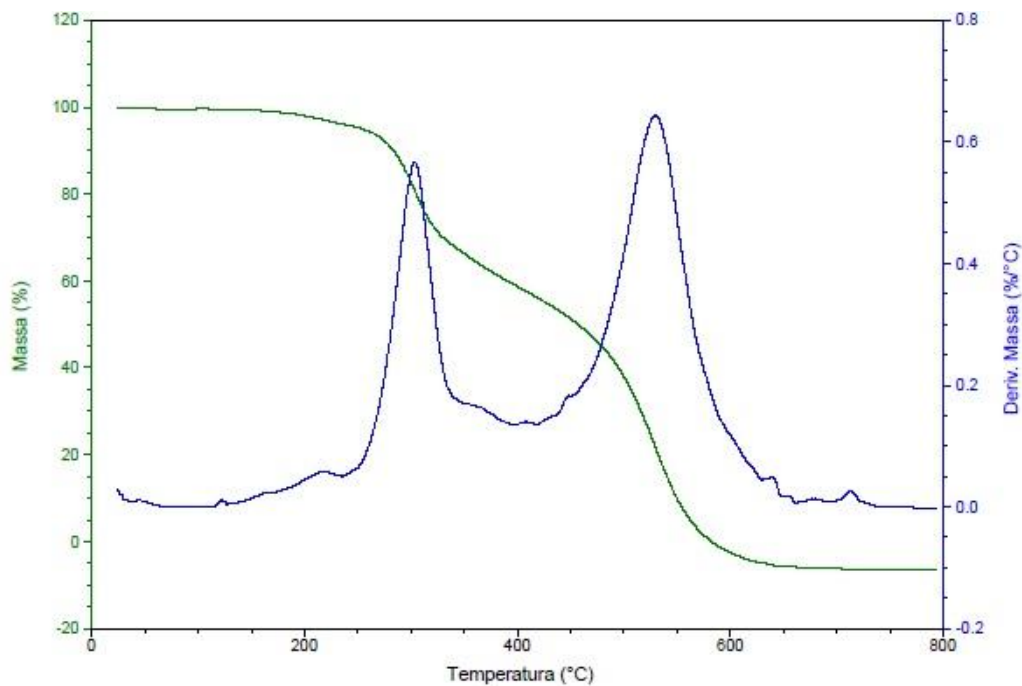


Figura 22- Gráfico curvas TGA.

Como se pode observar na Figura 22, o processo total de decomposição ocorre em duas etapas tendo início em 170 °C. De acordo com Claro Neto (16), o poliuretano derivado de óleo de mamona se decompõe em duas etapas, sendo que a primeira está associada à quebra das ligações uretanas e a segunda à quebra das ligações ésteres. Como é possível observar, a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona não sofre nenhum tipo de decomposição em temperaturas inferiores a 170 °C, o que viabiliza a sua utilização como material de isolamento até temperaturas superiores a 100 °C.

A Figura 23 mostra as curvas termogravimétricas em diferentes razões de aquecimento: 10, 15, 20 e 25 °C/mim, em atmosfera de ar com fluxo de 100 ml/min.

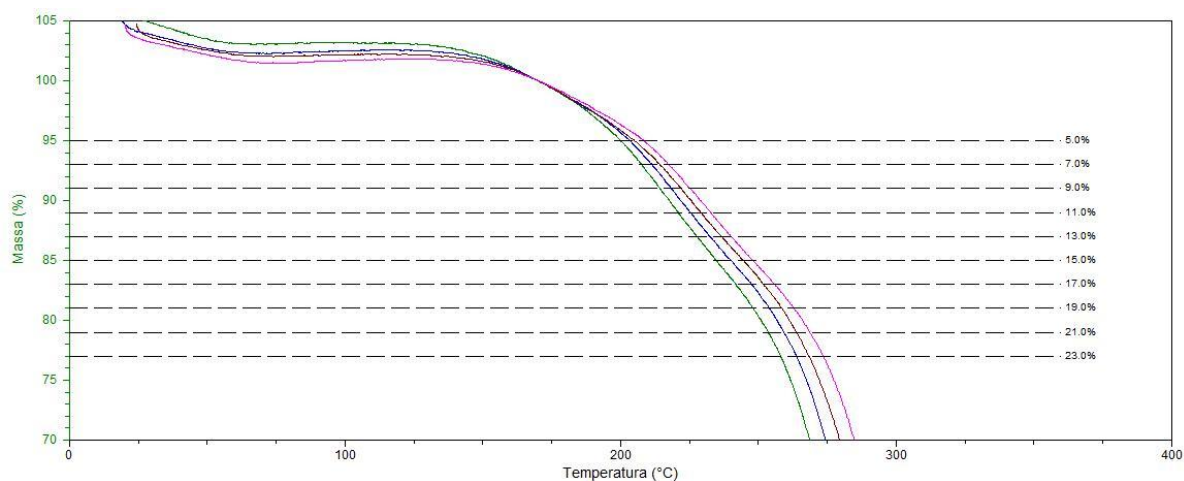


Figura 23- Gráfico curvas TGA em diferentes razões de aquecimento: 10, 15, 20 e 25°C/mim.

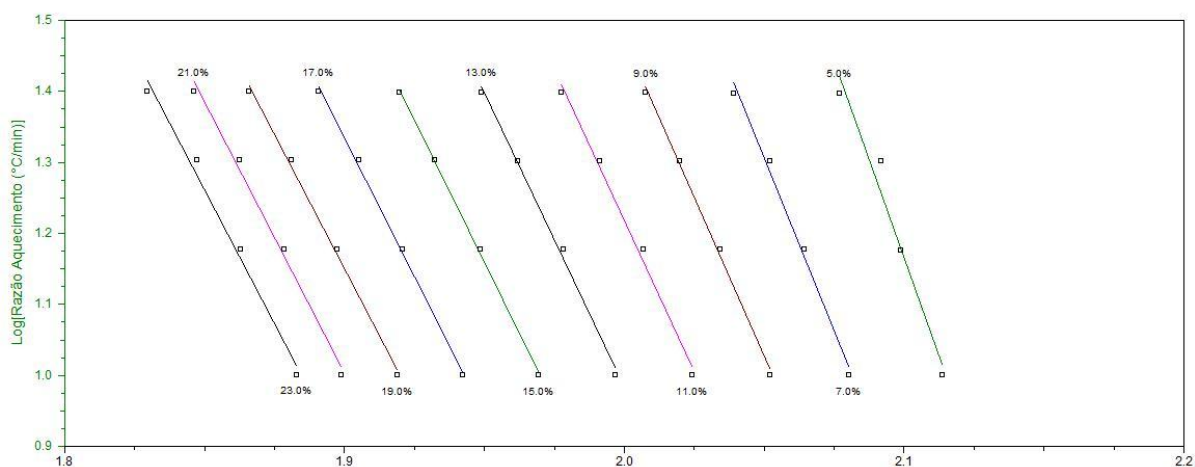


Figura 24- Gráfico Log das razões de aquecimento: 10, 15, 20 e 25 °C/mim, apresentando as taxas de conversão.

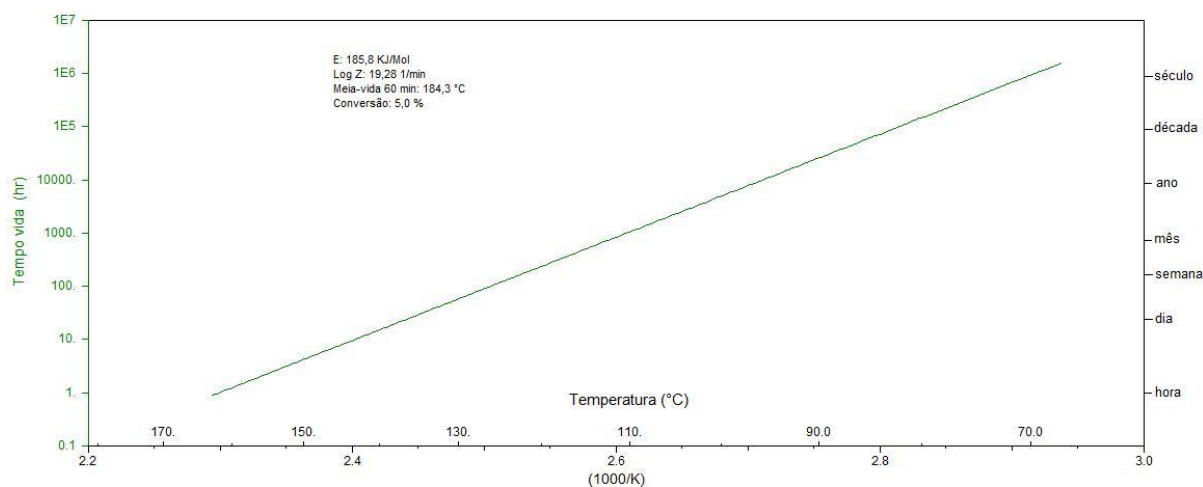


Figura 25- Gráfico Tempo de Vida.

Tabela1- Tempo de Vida em relação à temperatura - dados fornecidos pelo software da empresa TA Instruments.

Temperatura (°C)	Temperatura (K)	Tempo de Vida (Hora)
30,0	303,1	$5,05 \times 10^9$
47,0	320,1	$1,01 \times 10^8$
64,0	337,1	2990000
81,0	354,1	124000
98,0	371,1	6900
115,0	388,1	494
132,0	405,1	44,1
149,0	422,1	4,78
166,0	439,1	0,617
183,0	456,1	0,0926
200,0	473,1	0,0159

Através do tratamento matemático realizado pelo software da empresa TA Instruments (modelo de Ozawa-Fly-Wall) foram obtidos os resultados demonstrados na Tabela 1. Nessa Tabela, pode-se observar que para ocorrer uma taxa de conversão de 5% de decomposição a 170 °C, a espuma necessita de uma energia de 185,8 KJ/mol. Fazendo uma estimativa podemos inferir que o polímero precisa aproximadamente de 14 anos para atingir essa taxa de conversão a uma temperatura constante de 98 °C.

A análise termogravimétrica foi realizada para se conhecer a estabilidade da espuma rígida de poliuretano com a temperatura, no qual os resultados demonstram que na temperatu-

ra em que o material vai ser exposto não ocorre decomposição, conferindo segurança na utilização desta como forro isolante térmico na construção civil.

6.3 Análise Dinâmico-Mecânica (DMA)

A técnica DMA tem como princípio analisar a resposta viscoelástica de um material quando submetido a uma solitação mecânica oscilatória. Todo o processo é realizado dentro de um forno onde a temperatura é monitorada a um valor constante (Isoterma) ou com uma razão de aquecimento programada.

Em resposta à solitação oscilatória, o corpo de prova apresenta dois comportamentos, um em fase com a solitação (resposta elástica) e outro fora de fase (resposta viscosa). As curvas DMA geralmente são definidas em termos de módulo elástico de armazenamento (E'), módulo elástico de perda (E'') e curva Tan Delta que é a razão entre E''/E' . Portanto, o módulo elástico dinâmico pode ser caracterizado pela composição de uma parte real e uma imaginária de acordo com a equação 6:

$$E^* = E' + i \times E'' \quad (6)$$

A curva Tan Delta está relacionada com o amortecimento da resposta do material à solitação oscilatória. Seu pico é utilizado na determinação da temperatura de transição vítrea do material.

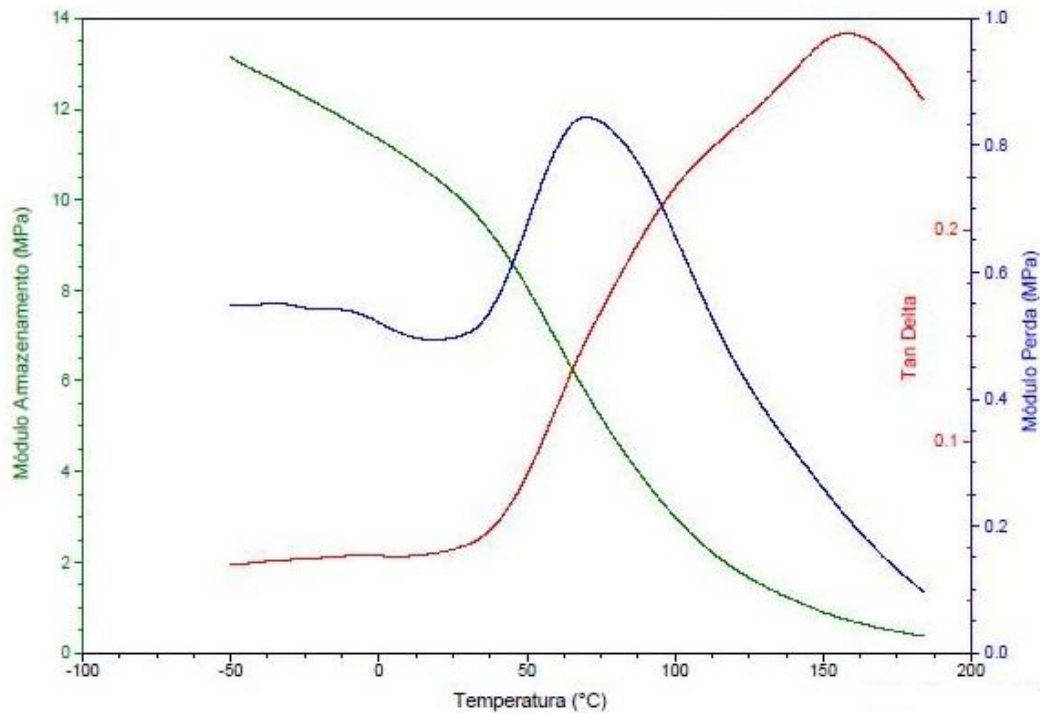


Figura 26- Gráfico curvas DMA.

A Figura 26 mostra as curvas DMA da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona no intervalo de temperatura de -50 °C a 200 °C. Na Figura 26 observa-se que o módulo de armazenamento E' é em torno de 13 MPa a -50 °C e este vai decaindo com aumento de temperatura, com um valor de 10 MPa a 25 °C e 3 MPa a 100 °C, enquanto que o módulo de perda E'' a -50 °C é de 0,5 MPa, apresentando um pico a 70,73 °C com 0,85 MPa. Já a curva Tan Delta apresenta um pico a 157,46 °C, sendo a temperatura de transição vítrea.

O fato de a espuma apresentar temperatura de transição vítrea alta e próxima da sua temperatura de decomposição demonstra que a sua estrutura é formada principalmente por sítios cristalinos.

Com relação ao seu comportamento termomecânico quando aplicada como isolante térmico, podemos observar nas curvas de DMA que na faixa de -50 °C a 100 °C, as mudanças observadas nas propriedades não comprometem a sua estrutura.

6.4 Análise comparativa do comportamento térmico da espuma entre quatro células de teste

Paralelamente aos ensaios de caracterização das propriedades físico-químicas da espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona, foi realizada a montagem e coleta dos dados para a análise do comportamento térmico da espuma através de placas que conformaram forros nas células de teste 02 e 04. Dentro desse estudo do comportamento térmico da espuma, através da análise comparativa entre as quatro células de teste, foi feito o possível dentro das condições de recursos e infraestrutura disponíveis.

A análise do comportamento térmico da espuma inicia-se com o entendimento do ritmo climático da região de São Carlos. Como foi descrito anteriormente no capítulo sobre a metodologia, a região de São Carlos possui uma estação seca com inverno quente e seco, e uma estação chuvosa com verão quente e úmido. Devido a contratempos com o sistema de coleta de dados das células de teste, o período de estudo delimitou-se de janeiro a abril. Dentro desse período foi escolhido o episódio climático que apresentasse condições climáticas de calor, com pouca nebulosidade, sem precipitações, já que o estudo do comportamento térmico da espuma seria feito frente ao calor. Portanto, foi escolhido o episódio representativo do fato climático do dia 06 de março de 2010 ao dia 12 de março de 2010, ou seja, do dia 65 ao dia 71 do ano juliano.

As Figuras 27, 28, 29 e 30 mostram dados coletados pela estação automática, relativos ao episódio representativo do fato climático estudado.

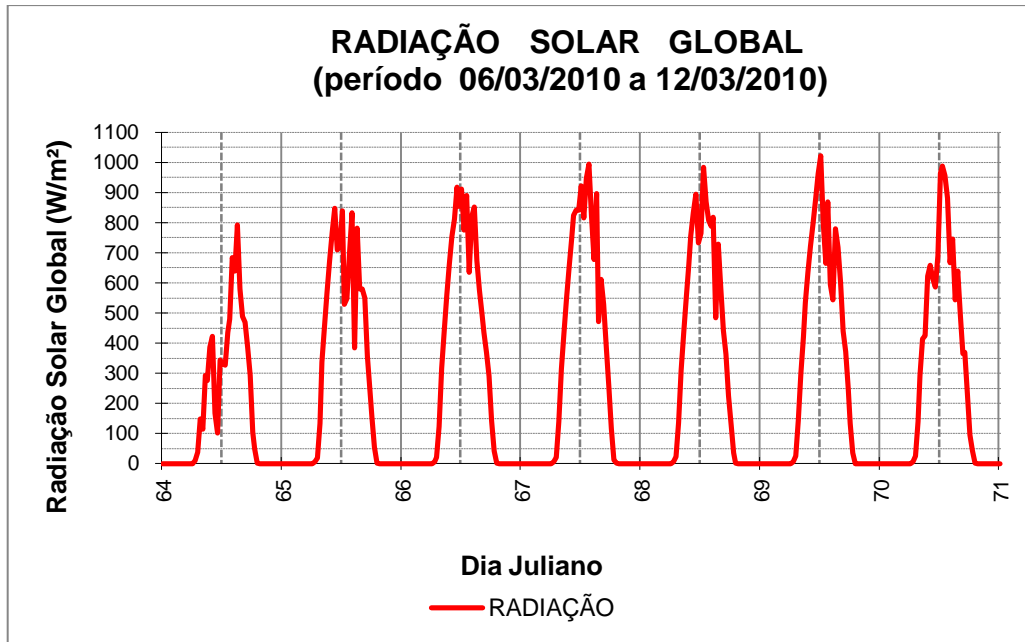


Figura 27- Gráfico de Radiação Solar Global - período 06/03/2010 a 12/03/2010.

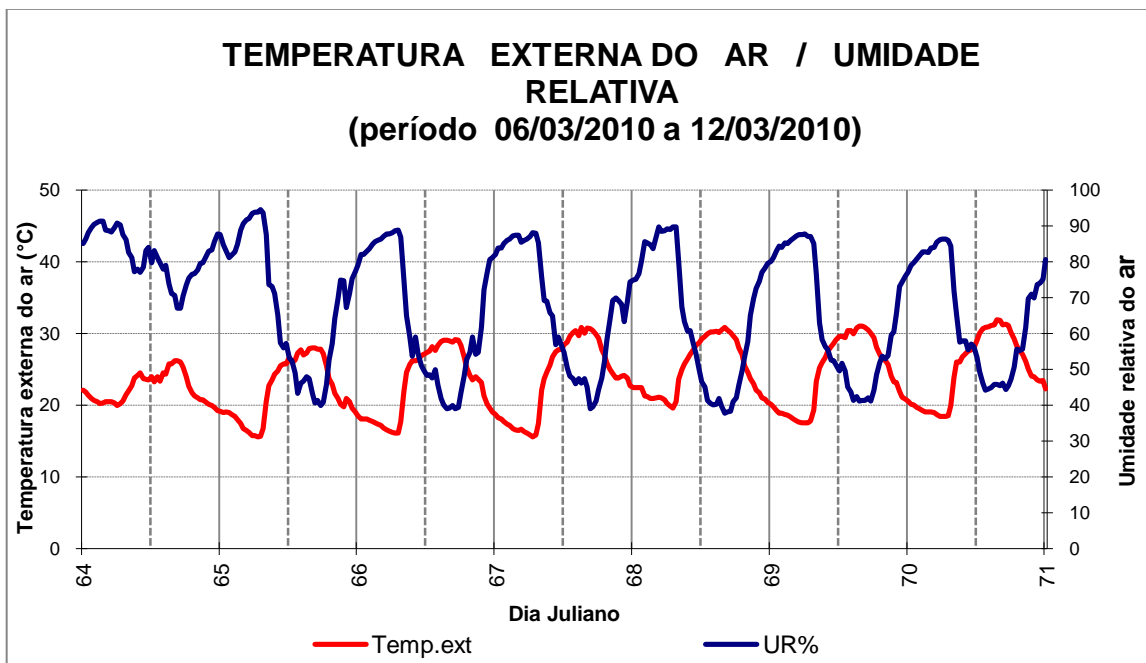


Figura 28- Gráfico de Temperatura externa do ar e Umidade Relativa do ar - período 06/03/2010 a 12/03/2010.

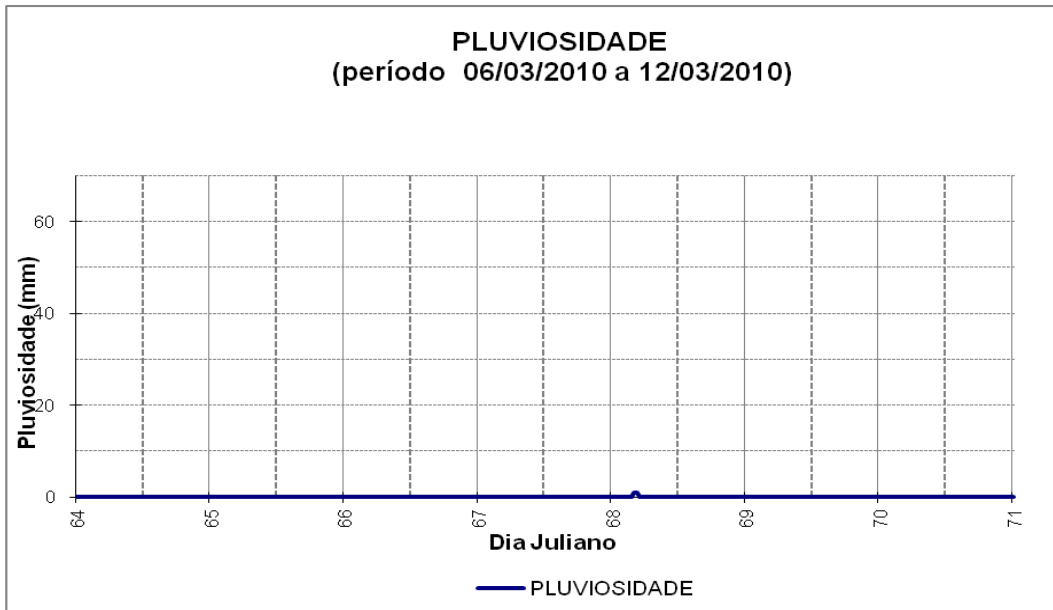


Figura 29- Gráfico de Pluviosidade - período 06/03/2010 a 12/03/2010.

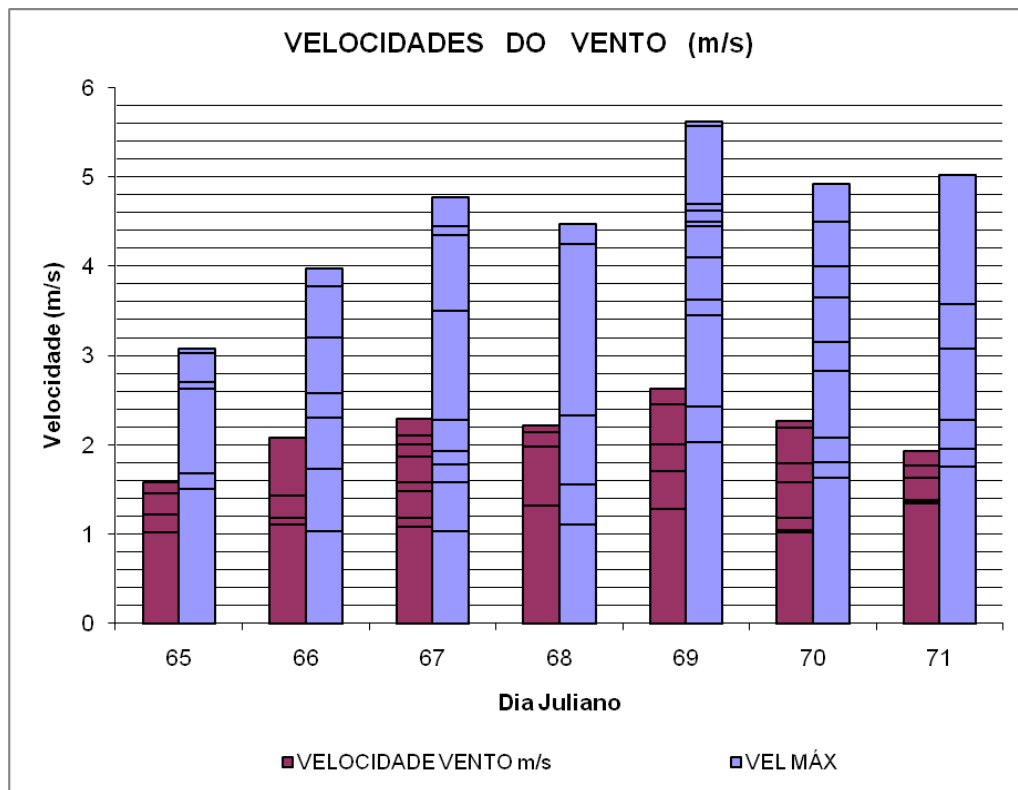


Figura 30- Gráfico de Velocidades do vento - período 06/03/2010 a 12/03/2010.

A influência do mesmo episódio nas temperaturas superficiais internas de interesse das células de teste foi registrada pelos termopares instalados em cada superfície, e é apresentada na Figura 31.

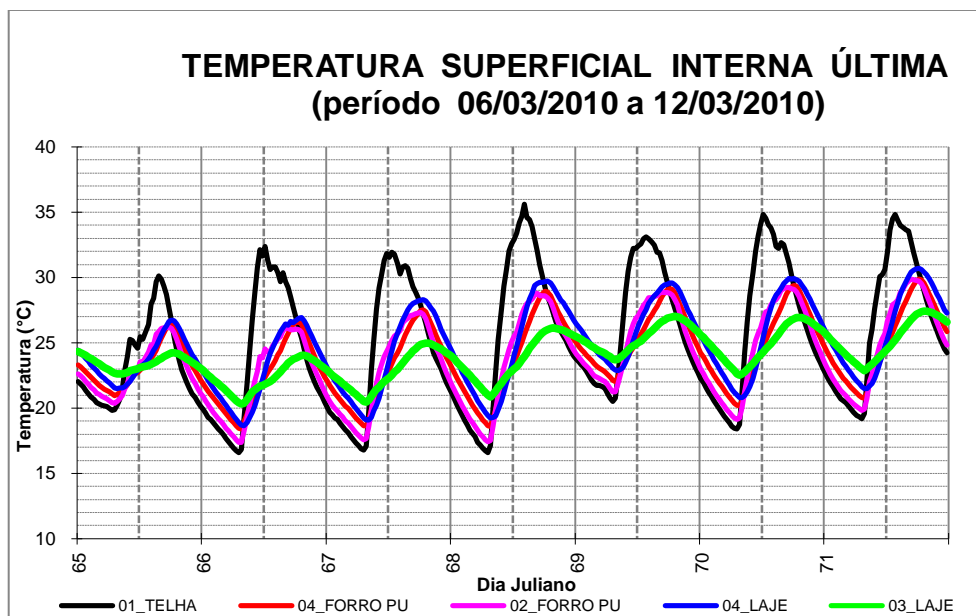


Figura 31- Gráfico de Temperaturas Superficiais Internas dos elementos de interesse em cada célula de teste - período 06/03/2010 a 12/03/2010.

Analisando os gráficos referentes ao episódio do fato climático escolhido, levando em consideração o comportamento das variáveis climáticas (radiação solar global, temperatura externa do ar, umidade relativa do ar, pluviosidade e velocidades dos ventos), durante este período, podemos observar que houve a passagem de uma frente fria, que começa a se tropicalizar a partir do dia 07 de março, possibilitando assim a análise do comportamento térmico da espuma rígida de poliuretano em reação às condições de calor. Isso é fato porque a partir do dia 07 de março, a temperatura externa do ar (Figura 28) aumenta em relação ao dia anterior, e se mantém alta, já que a influência da radiação solar global é maior, visto que existe pouca nebulosidade e não ocorrem precipitações (Figura 29). Como o objeto de estudo não é a análise climática completa, não foi analisado o fato da passagem da frente fria pela região de São Carlos, que é dividida em fase de prenúncio, avanço, domínio e tropicalização (28).

No estudo comparativo entre as quatro células de teste, foi escolhido o dia 09 de março de 2010 como dia representativo das condições de calor que ocorrem na transição verão-outono, Figuras 32 e Tabela 2.

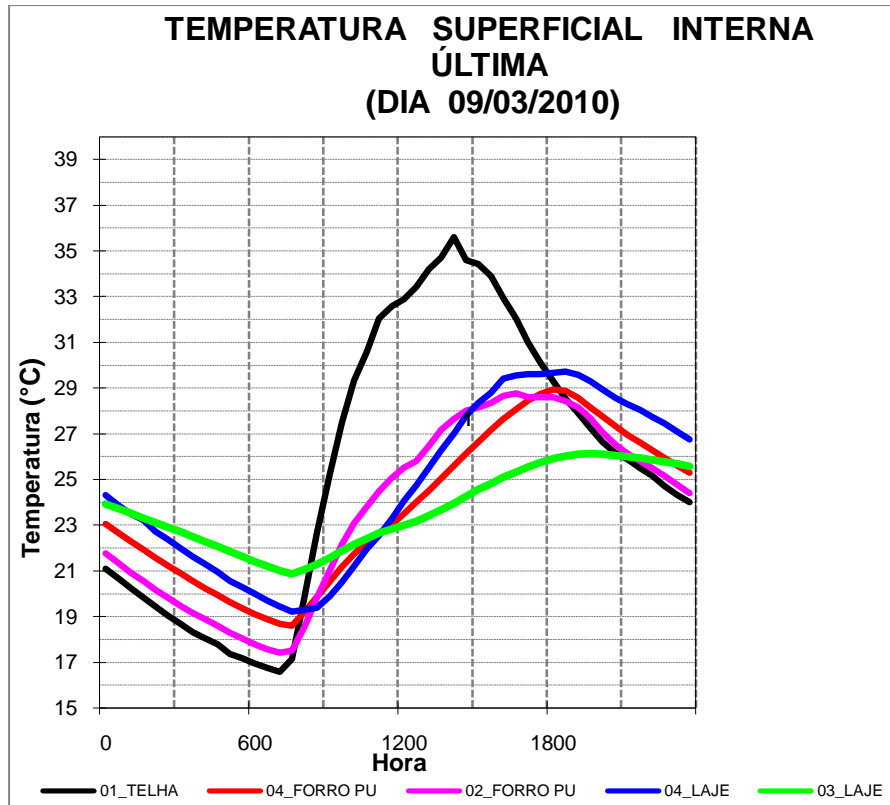


Figura 32- Gráfico de Temperaturas Superficiais Internas dos elementos de interesse em cada célula de teste - dia 09/03/2010.

Tabela 2- Valores Temperaturas Superficiais Internas Máximas e Mínimas dos elementos de interesse em cada célula de teste - dia 09/03/2010.

Temp. superficial interna (°C)	Célula 01 (Telha)	Célula 02 (Forro PU)	Célula 03 (Laje)	Célula 04 (Laje)	Célula 04 (Forro PU)
Máxima	35,61 (14h)	28,78 (16h30)	26,02 (18h30)	29,72 (18h30)	28,94 (18h)
Mínima	16,58 (7h)	17,56 (6h30)	20,87 (7h30)	19,23 (7h30)	18,61 (7h30)

- **CÉLULA DE TESTE 01** (cobertura de telhas de fibrocimento, sem laje e sem forro de espuma rígida de poliuretano): A radiação sobre as telhas é transmitida ao interior em forma de calor, rapidamente, à superfície inferior das telhas através da condução, devido a pouca inércia térmica apresentada pelas telhas e pelo fato do material que as constitui não possuir propriedades para isolamento térmica. Durante o período sem radiação solar o processo de perda de calor para o exterior ocorre de maneira parecida ao que acontece no período diurno.

- CÉLULA DE TESTE 02 (cobertura de telhas de fibrocimento e forro de espuma rígida de poliuretano): Esse sistema de cobertura foi construído de maneira a constituir um ático entre o telhado inclinado e o forro de espuma rígida de poliuretano horizontal, paralelo ao piso. Dessa forma o calor é transmitido do exterior ao interior e atinge a superfície interna do forro através da radiação, e também pela convecção do ar que fica confinado no ático. O fato dessa célula de teste possuir um ático auxilia o forro na isolamento térmica. A Figura 32 e a Tabela 2 mostram que existe uma diferença de 6,83 °C entre a temperatura máxima atingida na célula 01 (35,61 °C às 14h) e a atingida na célula 02 (28,78 °C às 16h30). No período sem radiação solar o forro consegue conter um pouco do calor existente internamente pelo fato da espuma ser muito isolante, mas devido a sua pouca espessura, a inércia térmica é baixa.

- CÉLULA DE TESTE 03 (cobertura de telhas de fibrocimento e laje mista): A célula de teste 03 representa a tipologia de sistema de cobertura utilizada em grande escala na construção civil. O telhado inclinado e a laje construída horizontalmente também criaram um ático. Essa situação assemelha-se ao que acontece na célula 02; a importante diferença é que a laje mista não é bom isolante térmico, mas no caso apresenta maior espessura que o forro de espuma, portanto, maior inércia térmica. Durante o dia, o comportamento térmico da laje frente ao calor é melhor que o do forro de espuma rígida de poliuretano, devido principalmente à inércia térmica da laje ser maior. No período sem a influência da radiação solar esse comportamento é similar.

- CÉLULA DE TESTE 04 (cobertura de telhas de fibrocimento, laje mista e forro de espuma rígida de poliuretano): Neste caso a laje foi colocada num momento posterior à construção da célula de teste, ou seja, a célula 04 foi reformada e adaptada ao projeto de pesquisa de mestrado, dentro das possibilidades financeiras e de infraestrutura disponíveis no canteiro experimental. Dessa forma, a laje foi feita acompanhando a inclinação do telhado, distante deste 0,30 m, conformando um colchão de ar. O forro de espuma rígida de poliuretano foi montado sobre a superfície inferior da laje, ou seja, face voltada ao interior da célula de teste, sem distanciamento entre esses dois elementos. Comparando as temperaturas superficiais internas dos forros de espuma rígida de poliuretano da célula 02 e 04 não existe uma diferença considerável no valor que cada superfície atinge, a diferença está no tempo em que cada superfície leva para atingir a temperatura máxi-

ma. Durante o período sem radiação solar o comportamento térmico do sistema de cobertura da célula 04 consegue reter mais o calor dentro do ambiente interior que o da célula 02, pois na célula 04 o calor precisa passar pelo forro de espuma, que é muito isolante, através da condução, chegar à laje cerâmica que possui maior inércia térmica que o forro por causa de sua espessura, e por fim chegar às telhas também pela convecção do ar confinado no colchão de ar existente entre o telhado e a laje.

Analisando os resultados obtidos nas quatro células de teste, verificou-se que a característica isolante da espuma rígida de poliuretano do forro, presente nas células de teste 02 e 04, reduz a entrada de calor durante o dia, quando a radiação solar chega à máxima, e retém por mais tempo esse calor que chegou ao interior do ambiente no período noturno. Outro fator que colabora na isolamento térmica é o ático presente nas células 02 e 03. O ar confinado no interior do ático precisa ser aquecido para poder transmitir o calor através da convecção. Esse processo de transmissão de calor requer mais tempo que o processo de condução de calor através do material. O colchão de ar existente na célula 04 também auxilia a isolamento térmica.

Comparando os resultados de 01 e 02 constatou-se que houve uma redução no valor da temperatura máxima superficial do forro de espuma rígida de poliuretano de aproximadamente 6 °C em relação à temperatura máxima superficial da telha de fibrocimento da célula 01.

Outra comparação pode ser feita entre as células 02 e 03. As duas possuem um ático que auxilia na isolamento térmica. A célula 03 obteve melhor desempenho térmico tanto durante o dia isolando o calor transmitido do exterior para o interior da célula, quanto no período noturno, minimizando as perdas térmicas no sentido interior-exterior. Esse fato deve-se a maior inércia térmica presente na laje mista; o forro de espuma rígida de poliuretano possui espessura de 0,03 m, tamanho muito menor que a espessura da laje, o que acarreta menor inércia térmica ao forro.

7 *Conclusões e sugestões para trabalhos futuros*

De acordo com os objetivos propostos no projeto de pesquisa de mestrado, chegou-se a algumas conclusões relevantes:

- A espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona possui propriedades térmicas características de materiais muito isolantes, confirmadas através do ensaio para determinação da condutividade térmica – Método do Fio Quente Paralelo;
- As análises térmicas – Análise termogravimétrica e Análise Dinâmico-Mecânica - mostraram que a espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona possui comportamento termomecânico compatível para ser utilizado tanto como isolante térmico em temperaturas abaixo da temperatura ambiente, como em temperaturas acima;
- O estudo da cinética com as curvas termogravimétricas em diferentes razões de aquecimento demonstraram que a espuma tempo de vida bastante longo;
- A utilização do forro de espuma rígida de poliuretano é uma alternativa à laje mista, pois além da facilidade de instalação (pode ser colocado após a construção do ambiente utilizando-se armação de madeira fixada à alvenaria para apoiar as placas do forro), é economicamente mais viável, visto que para se construir uma laje são necessários diferentes materiais e mão de obra especializada.
- O estudo do comportamento térmico da espuma evidenciou que o ático é um excelente isolante térmico, que aliado ao forro de espuma rígida de poliuretano proposto na pesquisa, garante redução de entrada de calor do exterior para o interior do ambiente no período diurno, e durante o período noturno reduz a perda térmica do interior para o exterior.

A partir destas conclusões foi possível obter uma visão mais ampla do material espuma rígida de poliuretano derivada de óleo de mamona.

O estudo experimental do comportamento térmico da espuma aplicada como forro para isolamento térmico, dentro dos objetivos propostos nesse trabalho, concluiu que a espuma é um material que apresenta um grande potencial para a construção civil, pois possui qualidades que viabilizam sua aplicação e é ecologicamente correto.

As sugestões para trabalhos futuros são:

- Estudo para isolamento acústico;
- Estudo da geometria das placas;
- Estudo da condutividade térmica com o aumento de temperatura

Referências

1 SANTOS, W. N. dos. Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: II o método do fio quente. *Cerâmica*, v. 51, n. 320, p. 372-381, 2005.

2 KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. Aspectos de conforto ambiental de descrições de espaços construídos na literatura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES,2,2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: COTEDI,2003. v.1, p.1333- 1340.

3 LABAKI, L.C. ; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil. *Build and Environment*, v. 33, n. 1, p.63-77, 1998.

4 SILVA, A. C; VECCHIA, F. A. S. Clima e desempenho térmico de habitações em San Antonio de Los Baños, Cuba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES,2,2003,Curitiba. *Anais...* Curitiba: COTEDI,2003.v.1, p. 401-408.

5 RIVERO, R. *Acondicionamento térmico natural, arquitetura e clima*. 2a ed. Porto Alegre: Luzzatto Editores, 1986.

6 DORNELLES, K. A; RORIZ, M. Efeitos da inércia térmica sobre as temperaturas internas de edificações na cidade de São Carlos, SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO AMBIENTE CONSTRUÍDO,4,2005, Maceió. *Anais...* Maceio: COTEDI, 2005.p. 586- 594.

7 DORNELLES, K. A; RORIZ, M. Inércia térmica, conforto e consumo de energia em edificações na cidade de São Carlos, SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES,2,2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: COTEDI,2003. v.1, p. 369-376.

8 GÁLVEZ, D. M. Impacto térmico, energético y ambiental de la envolvente arquitectónica vs confort. *Estudios de Arquitectura Bioclimática: Anuário*, v.4, p. 95-107, 2002.

9 MORAIS, C; RORIZ, M. Comparação entre desempenhos térmicos de cobertura ajardinada e laje comum em guaritas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES,2,2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: COTEDI,2003. v.1, p. 361-368.

10 PERALTA, G; SICHIERI, E; FERREIRA, O. P. Análise do comportamento térmico da telha de material reciclado e telha de aço em episódio climático. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO AMBIENTE CONSTRUÍDO,4,2005, Maceió. *Anais...* Maceio: COTEDI, 2005.p. 1455-1460.

11 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Caderno de Debate : Agenda 21 e Sustentabilidade das cidades*. Brasília, 2008. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=18&idConteudo=1178>>. Acesso em: 21 de mar. de 2008.

12 FROTA, A; SCHIFFER, S. *Manual de conforto térmico*. 8a ed. São Paulo: Studio Nobel,2003.

13 CANGEMI, J. M. *Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona*. 2006. 132f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

14 SNYDER, C.H. *The extraordinary chemistry of ordinary things*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

15 CANGEMI, J.M. et al. Biodegradation of polyurethane derived from castor oil. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 3, p. 201-206,2008.

16 CLARO NETO, S. *Caracterizações físico-químicas de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos*. 1997. 127 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

17 MOURA, E. *Conforto ambiental*. Disponível em:
<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/127/imprime64533.asp>>. Acesso em: 10 de ago. de 2010.

18 ISAR ISOLAMENTOS TÉRMICOS E ACÚSTICOS. *Isolamentos térmicos*. Disponível em: <<http://www.isar.com.br>>. Acesso em: 15 de jul. de 2010.

19 VECCHIA, F. A. S. *Comportamento térmico de sistema de cobertura*. São Paulo: Eternit S.A., 2003. v.01, 74 p.

20 OLGYAY, V. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili S. A., 1998. 203p.

21 ARAÚJO, C. *Transmissão de calor*. 2a ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1982. 442p.

22 COSTA, E. C. C. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo. Edgard Blücher, 1982. 264p.

23 VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. *Revista de Tecnologia da Construção - Techné*, São Paulo, n.75, p. 66-70, 2003.

24 SERRA, R. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gili S.A., 2002. 94p.

25 ANES, A. A. A. *A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia. Disponível em: <<http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/civil/110.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. de 2010.

26 PAPST, A. L. *Uso da inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis – SC*. 1999. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

27 RORIZ, M. *Efeitos da inércia térmica sobre o consumo de energia e as temperaturas internas de edificações submetidas ao clima semi-úmido no interior do Estado de São Paulo*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2001. Projeto de pesquisa financiado pelo CNPq. Processo CNPq 471202/01-0.

28 VECCHIA, F. A. S. *Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. 1997. 329 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

29 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E 698 – 05*: standard test method for arrhenius kinetic constants for thermally unstable materials using differential scanning calorimetry and the flynn/wall/ozawa method. Pennsylvania,USA, 2005.

30 EMBRAPA. *Dados meteorológicos*. Disponível em:
<<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/dados-meteorologicos>>. Acesso em: 08 de jun. de 2008.

31 MONTEIRO, C. A. F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*: estudo geográfico sobre a forma de atlas. São Paulo: Instituto de Geografia- USP, 1973.

32 BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)