UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Arq. GEORGE DA CRUZ SILVA

PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS.

Natal-RN
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Arq. George da Cruz Silva

PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, área de concentração: Termociências.
Orientador: Prof. Dr. George Santos Marinho.

Natal – RN

2010

Divisão de Serviços Técnicos
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, George da Cruz (arq.)
Painéis-sanduíche com núcleo de EPS reciclado: metodologia de execução e determinação de propriedades termofísicas / George da Cruz Silva. – Natal, RN, 2010.
100 f.

Orientador: George Santos Marinho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Poliestireno expandido – Dissertação. 2. Reciclagem – Dissertação. 3. Painel-sanduíche – Dissertação. 4. Desempenho térmico – Dissertação. 5. Eficiência energética – Dissertação. I. MARINHO, George Santos. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título

RN/UF/BCZM CDU 678.746.2(043.3)

PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS.

Arq. George da Cruz Silva
Orientador: Prof. George Santos Marinho, Dr.

Dissertação de mestrado apresentada em 12 de abril de 2010, sob avaliação da banca examinadora:

Prof. Dr. Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira
UFPI - Departamento de Estruturas

Prof. Dr. Roberto Silva de Sousa
IFRN - Campus Natal.

Prof. Dr. George Santos Marinho
UFRN-PPGEM - Orientador.

Natal – RN
2010

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo exemplo do viver;

À minha família pelo apoio;

Ao prof. Dr. George Santos Marinho, meu orientador, pelo voto de confiança;

Ao prof. Dr. Roberto Silva de Sousa, grande incentivador;

A Wilza Carla Moreira Silva, minha namorada, pelo amor, compreensão e estímulo;

A Dolores do Carmo Pereira Beuttenmüller, minha prima, pelo apoio;

Aos amigos:

Gerúsia Trigueiro Beserra – IFPB;

Hugo Eduardo Assis dos Santos – IFPB;

João Damásio da Silva – IFPB;

Luciano André Cruz Bezerra - M.Sc. – CT-Gás;

Tatiana Ribeiro Ferreira - M.Sc. - UFRN;

Aos professores:

Pedro Wellington Gonçalves do Nascimento Teixeira – Dr. – UFPI – Depto. Estruturas;

Luiz Pedro de Araújo – Dr. – LABMETROL/UFRN;

Fernando Lins – Dr. – Laborat. de Geologia e Geofísica do Petróleo – LGGP/UFRN;

Dorivalda Santos Medeiros Neira - M.Sc.;

Elizângela Emídio Cunha - Dra. - CB – UFRN;

Fábio Araújo de Lima – Esp. - IFPB;

Francineide Fernandes de Lucena - M.Sc. - IFPB;

Gastão Coelho de Aquino Filho - M.Sc. - IFPB;

Marco Aurélio Rahn - M.Sc.- UFRG;

Martiliano Soares Filho – M.Sc. - IFPB;

Raphaell Maciel de Sousa – Esp. - IFPB;

Samuel Alves Silva – M.Sc. - IFPB;

A todos do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia – Paraíba. Campus Cajazeiras;

Aos companheiros do LTC- UFRN, na pessoa de Roberto França;

Ao Armazém Pará;

Ao SENAI-PB;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFRN.

”Nas ciências as convicções não têm direito de cidadania, é o que se diz com boas razões: apenas quando elas decidem rebaixar-se à modéstia de uma hipótese, de um ponto de vista experimental e provisório, de uma ficção reguladora, pode lhes ser concedida a entrada e até mesmo um certo valor no reino do conhecimento – embora ainda com a restrição de que permaneçam sob vigilância policial, a vigilância da suspeita.”

NIETZSCHE (1882)

RESUMO

Novos materiais desenvolvidos a partir de resíduos industriais vêm sendo estudados como alternativa aos modelos tradicionalmente empregados na construção civil. Para desenvolvimento desses materiais são considerados fatores como: custo, eficiência e redução de passivo ambiental. No caso específico de materiais para aplicação em habitações situadas em baixas latitudes, como no Nordeste do Brasil, a eficiência diz respeito às resistências mecânica e térmica, onde o aumento da resistência térmica, sem comprometimento da resistência mecânica, é desejável quando se buscam a isolação térmica e a eficiência energética das edificações. No presente trabalho são apresentados os resultados do estudo de um elemento construtivo composto de placas de argamassa de cimento intercaladas por placa de EPS reciclado, constituindo um painel sanduíche para emprego na indústria da construção civil. Estuda-se detalhadamente a metodologia de execução desses painéis, definindo-se parâmetros para dosagem racional dos materiais que compõem o núcleo. Foram confeccionados corpos de prova com massas específicas aparentes de 65 kg/m³ e 130 kg/m³. As propriedades termofísicas dos corpos de prova foram analisadas utilizando-se o equipamento Quick-Line – 30TM, que forneceu dados de condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica. Com base nos resultados obtidos foi possível constatar as boas características do EPS reciclado como material termoisolante, estando esse apto à substituição do EPS comercial em painéis de construção.

PALAVRAS-CHAVE: Poliestireno expandido. Reciclagem. Painel-sanduíche. Desempenho térmico. Eficiência energética.

ABSTRACT

New materials made from industrial wastes have been studied as an alternative to traditional fabrication processes in building and civil engineering. These materials are produced considering some issues like: cost, efficiency and reduction of environmental damage. Specifically in cases of materials destined to dwellings in low latitude regions, like Brazilian Northeast, efficiency is related to mechanical and thermal resistance. Thus, when thermal insulation and energetic efficiency are aimed, it's important to increase thermal resistance without depletion of mechanical properties. This research was conducted on a construction element made of two plates of cement mortar, interspersed with a plate of recycled expanded polystyrene (EPS). This component, widely known as sandwich-panel, is commonly manufactured with commercial EPS whose substitution was proposed in this study. For this purpose it was applied a detailed methodology that defines parameters to a rational batching of the elements that constitute the nucleus. Samples of recycled EPS were made in two different values of apparent specific mass ($\rho = 65$ kg/m³; $\rho = 130$ kg/m³) and submitted to the Quick-Line – 30TM that is a thermophysical properties analyzer. Based on the results of thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity obtained, it was possible to assure that recycled EPS has thermal insulation characteristics that qualify it to replace commercial EPS in building and civil engineering industry.

KEY-WORDS: Expanded polystyrene. Recycling. Sandwich-panel. Thermal performance. Energetic efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Modelo da etiqueta. 24
Figura 2.2 – Bloco de concreto leve. 35
Figura 2.3 – Fonte de radiação. 36
Figura 2.4 - Hospital Sarah Kubitschek – DF (Foto: Luis Dantas) 37
Figura 2.5 - Barco de argamassa armada (1848). Acervo do Museu de Brignoles. 38
Figura 2.6– Painel autoportante de concreto e EPS (Habitec). 39
Figura 2.7 – Montagem do painel (Habitec) 39
Figura 2.8 – Estrutura do polipainel (Foto: Irene Nóbrega). 40
Figura 2.9 – Montagem do polipainel (Foto: Irene Nóbrega). 40
Figura 2.10 – Manuseio da estrutura do polipainel. 41
Figura 2.11 – Polipainel com placa de resolitos (Foto: Irene Nóbrega). 42
Figura 2.12 – Confecção da placa resolitos 42
Figura 3.1 – HeKryos – Câmara de ensaio de desempenho térmico. 45
Figura 3.2 – Compartimento de alta temperatura. 46
Figura 3.3 – Compartimento de baixa temperatura. 46
Figura 3.4 – Material para ensaio de perda de massa por evaporação. 48
Figura 3.5 – Ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo. 49
Figura 3.6 – Forma para peças de EPS reciclado. 50
Figura 3.7 – Reforço e suporte do fundo da forma. 50
Figura 3.8 – Prensa hidráulica. 50
Figura 3.9 – Pesagem do adesivo. 51
Figura 3.10 – Mistura do material. 51
Figura 3.11 – Forma adaptada para E130 acoplada à prensa. 52
Figura 3.12 – Forma e prensa em uso. 52
Figura 3.13 – Desmoldagem de peça de E130. 53
Figura 3.14 – Placa retirada da prensa. 53
Figura 3.15 – Placa e forma após desmoldagem. 53
Figura 3.16 – Corte de material a fio quente. 54
Figura 3.17 – Grelha de aço e estrutura de madeira. 55
Figura 3.18 – Placa de EPS reciclado no interior da estrutura. 55
Figura 3.19 – Espaçador de ferragem adaptado de tampa de garrafa. 55

Figura 3.20 – Aplicação da argamassa sobre a placa. 56
Figura 3.21 – cp - painel-sanduíche..... 56
Figura 3.22 – Quick Line 30TM..... 57
Figura 3.23 – Ensaio em cp de E130. 57
Figura 3.24 – Banho térmico de bloco seco PRESYS T 35N. 58
Figura 3.25 – Ligação dos termopares à borneira. 59
Figura 3.26 – Marcação dos termopares no cp. 59
Figura 3.27 – Instalação dos termopares do CB_t na face inferior do cp. 60
Figura 3.28 – cp posicionado no CB_t. 60
Figura 3.29 – Proteção do cp – EPS e filme aluminizado. 60
Figura 3.30 – Termopares instalados no CA_t 61
Figura 3.31 – Cápsula de proteção – TP-B-01. 61
Figura 3.32 – Fonte de radiação. 62
Figura 4.1 – Perda média de massa do adesivo por evaporação..... 65
Figura 4.2 – Propriedades térmofísicas: condutividade térmica..... 68
Figura 4.3 – Propriedades térmofísicas: capacidade calorífica. 69
Figura 4.4 – Propriedades térmofísicas: difusividade térmica. 69
Figura 4.5 – Estabilização de temperatura no CB_t. 70
Figura 4.6 – Estabilização de temperatura no CA_t. 70
Figura 4.7 – CA_t – Temperatura do ar durante os experimentos. 71
Figura 4.8 – Médias de T nas superfícies dos corpos de prova. 72
Figura 4.9 – T na interface argamassa/EPS. 72
Figura 4.10 – T em regime permanente - cp de Ec..... 73
Figura 4.11 – T em regime permanente - cp de E65. 73
Figura 4.12 – T em regime permanente - cp de E130. 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.1 – Quantidade Total de RSU gerada por Macrorregião no Brasil.....27
Tabela 2.2.2 – Quantidade de RCD coletados por macrorregião e em todo o Brasil.....27
Tabela 2.2.3 – Geração e reciclagem de plástico pós-consumo - Brasil 28
Tabela 3.2.1 – Dimensionamento da fonte de radiação.....45
Tabela 3.4.1 – Corpos de prova e placas de EPS reciclado conforme finalidade. 54
Tabela 3.7.1 – Check-list para instalação dos corpos de prova.....61
Tabela 4.1.1 - Perda de massa média. 64
Tabela 4.1.2 – Proporção de EPS/adesivo para ensaio de rendimento.....66
Tabela 4.1.3 – Determinação das massas dos corpos de prova. 67
Tabela 4.1.4 - Determinação das massas das placas.....67
Tabela 4.4.1 – Parâmetros de desempenho térmico 75
Tabela 4.4.2 - Parâmetros mínimos de desempenho térmico. 75
Tabela 9.2.1 – Composição granulométrica do EPS. 90
Tabela 9.3.1 - Propriedades termofísicas do EPS comercial (ρ = 12 kg/m^3).....91
Tabela 9.3.2 - Propriedades termofísicas do EPS reciclado (ρ = 65 kg/m^3).....91
Tabela 9.3.3 - Propriedades termofísicas do EPS reciclado (ρ = 130 kg/m3) 91
Tabela 9.4.1 – Formulário padrão para calibração de termopares - CB_t 92
Tabela 9.4.2 – Formulário padrão para calibração de termopares - CA_t 92
Tabela 9.6.1 - Perda de massa do adesivo durante a secagem.....95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

CA_t - compartimento de alta temperatura;

CB_t - compartimento de baixa temperatura;

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica;

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética;

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;

cp - corpo de prova;

C_s - Constante Solar;

E130 - EPS reciclado com ρ = 130 kg/m^3

E65 - EPS reciclado com massa específica aparente ρ = 65 kg/m^3;

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia;

EPS - Poliestireno expandido;

FIEP - Federação das Indústrias do Estado da Paraíba,

HeKryos – câmara de ensaio de desempenho térmico

HIS – Habitação de interesse social;

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

LabEEE/ UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/Universidade Federal de Santa Catarina;

LPT1 – Porta de comunicação paralela;

Pirex® - marca registrada de vidro borossilicato;

PVA - acetato de polivinila;

RAC-C - Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

RCC - resíduos de construção civil;

RCD - resíduos de construção e demolição;

RSU - Resíduos sólidos urbanos;

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos.

SENAI-PB – Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial – Paraíba;

TP-A-01 a TP-A-04 – Termopares do compartimento de alta temperatura de 1 a 4;

TP-B-01 a TP-B-04 – Termopares do compartimento de baixa temperatura de 1 a 4;

LISTA DE SÍMBOLOS

$\frac{dT}{dX}$ - gradiente de temperatura (K/m)

φ - Atraso térmico (h)

α – Difusividade térmica (m²/s)

ρ – Massa especifica aparente (kg/m³)

A - área da superfície transversal ao fluxo de calor (m²)

C – Capacidade Calorífica (J/m³.K)

c_p – Calor especifico (J/Kg.K)

FS_o – Fator de ganho de calor solar de elementos opacos (%)

k, λ - condutividade Térmica (W/mK)

Q_k - taxa de fluxo de calor (W)

T – Temperatura (K)

U – Transmitância térmica

M_H - massa úmida (g);

MB_H - massa bruta úmida (g);

MB_S - bruta seca (g);

$PM_{\%}$ - percentual de perda de massa do adesivo (%);

P_mM - perda média de massa (%);

F_{PM} - fator de correção;

ME_{22} - massa específica aparente do EPS tipo 5 (kg/m³);

M_T - massa total de cada amostra (g);

V_{cp} - volume dos corpos de prova;

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 16

1.1 OBJETIVO GERAL 18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

2.1 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE 19
2.1.1 Mercado internacional de energia 19
2.1.2 Energia, desenvolvimento e sustentabilidade 20
2.1.3 Programa brasileiro de eficiência energética 23
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE 25
2.2.1 A reciclagem e ampliação do ciclo de utilização dos materiais 25
2.2.2 Resíduos de Construção Civil 26
2.2.3 Reciclagem do EPS 28
2.3 PARTIDO ARQUITETÔNICO E CONSUMO ENERGÉTICO 29
2.3.1 Materiais construtivos e consumo energético dos edifícios 29
2.3.2 Princípios de projeto e desempenho térmico dos edifícios 31
2.3.3 Ganhos térmicos dos fechamentos opacos 31
2.4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE FECHAMENTOS VERTICAIS 34
2.4.1 Alvenarias termoisolantes com EPS reciclado 34
2.4.2 Argamassa armada e concreto armado 37
2.4.3 Painel-sanduíche de concreto e poliestireno expandido 38
2.4.4 Polipainel 40
2.4.5 Polipainel com resíduos sólidos urbanos 41

3 MATERIAIS E MÉTODOS 43

3.1 METODOLOGIA 43
3.2 EXECUÇÃO DE CÂMARA DE ENSAIO DE DESEMPENHO TÉRMICO 45
3.3 OBTENÇÃO DA DOSAGEM DO TRAÇO EPS/ADESIVO 47
3.3.1 Determinação da composição granulométrica do EPS reciclado 47
3.3.2 Ensaio de perda de massa do adesivo durante a secagem 48
3.3.3 Ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo 49
3.4 FABRICAÇÃO DE CORPOS DE PROVA E PLACAS DE EPS RECICLADO 49
3.5 FABRICAÇÃO DE PAINÉIS-SANDUÍCHE COM EPS RECICLADO. 54
3.6 DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS 56
3.7 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO TÉRMICA NA CÂMARA HEKryos 58
3.7.1 Calibração dos termopares e determinação da incerteza de medição 58
3.7.2 Instalação dos corpos de prova 59
3.7.3 Operação do Compartimento de Baixa Temperatura. 62
3.7.4 Operação do Compartimento de Alta Temperatura 62

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 64

4.1 OBTENÇÃO DA DOSAGEM DO TRAÇO EPS/ADESIVO 64
4.1.1 Perda de massa do adesivo 64
4.1.2 Determinação da proporção EPS / adesivo 65
4.2 DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS 68

4.3 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO TÉRMICA NA CÂMARA HEKRYOS 70
4.3.1 Estabilização Térmica 70
4.3.2 Painéis-sanduíche – cp sob regime permanente 71
4.3.3 Comparativo de isolação térmica dos painéis-sanduíche 72
4.4 PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO 75
4.4.1 Transmitância térmica (U), atraso térmico (φ) e fator solar (FS_o). 75

5 CONCLUSÕES 77

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 79

REFERÊNCIAS 80

FONTES CONSULTADAS 84

APÊNDICES 85

INTRODUÇÃO

A manufatura de produtos com novas tecnologias têm impactos econômicos e ambientais que podem ocorrer em níveis internacionais. Do ponto de vista tecnológico, econômico e ambiental, os materiais utilizados em produtos acabados e depois descartados, passam por períodos que constituem um ciclo denominado total do material.

Considera-se que na Terra configura-se um sistema fechado quanto aos materiais constituintes onde os recursos são finitos. Esse fato nos impõe a necessidade de utilização mais eficiente da matéria prima com relação ao ciclo total dos materiais, uma vez que a energia é um bem limitado sendo necessário conservá-la e empregá-la de forma racional na produção, aplicação e disposição final dos materiais.

As interações e impactos ambientais dizem respeito a todo o ciclo de utilização dos materiais. Tem início na extração da matéria prima, passando pela fase de industrialização, seguida da fase de utilização e por fim sua disposição final. Nesse sentido, a reciclagem de produtos utilizados reduz a necessidade de extração de matéria-prima, conserva os recursos naturais e elimina impactos ambientais na fase inicial. Note-se, ainda, que a energia necessária para o processamento de materiais reciclados é normalmente menor e que a reciclagem elimina a necessidade de disposição final de materiais (CALLISTER Jr., 2007, p.192-196).

Tratando-se especificamente da construção civil, os edifícios, ao longo de sua vida útil, produzem diferentes tipos de impactos ao meio ambiente - destacadamente os relacionados à etapa de produção dos materiais construtivos, que envolvem o consumo de matérias-primas e energia produzindo emissões e resíduos sólidos. Estudos mostram que os materiais construtivos respondem por 10% a 15% de toda a energia consumida pelo edifício ao longo do seu ciclo de vida útil. Ao se contabilizar a produção dos materiais construtivos, o transporte até os canteiros de obras e a construção dos edifícios, atinge-se o consumo de 2,2% do total de energia primária envolvida na vida útil da edificação (ESIN, 2007, p. 3860).

Recentemente Esin (2007) comentou o estudo de Tormark no qual atribui aos materiais construtivos decréscimos de até 17% ou acréscimos de até 6% no total de energia envolvida na edificação.

O nível do impacto ambiental causado pela produção de um material construtivo pode variar em função da localidade ou do processo de fabricação, da indústria, resultando em materiais que são considerados sustentáveis para uma localidade e não o são para outra. O uso de materiais construtivos com qualidades ecológicas (sustentáveis) proporciona importantes benefícios ambientais e econômicos, tanto em âmbito regional como global, sendo responsabilidade de todos os segmentos da sociedade (ESIN, 2007, p. 3861).

Com esta perspectiva, no Estado da Paraíba projetou-se e construiu-se uma edificação que incorpora várias tecnologias sustentáveis, com o intuito de difundir e estimular o conceito de Casa Ecoeficiente.

Esta foi uma iniciativa da Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP), por meio do SENAI-PB/Unidade de Campina Grande, em parceria com instituições de ensino e pesquisa e empresas da região. A Casa Ecoeficiente – Laboratório de Energias Renováveis foi inaugurada no dia 28 de abril de 2006 e localiza-se no Centro de Inovação e Tecnologia Industrial do SENAI, na cidade de Campina Grande-PB.

Dentre as tecnologias construtivas empregadas na Casa Ecoeficiente destacam-se os sistemas construtivos de fechamentos verticais que envolveram técnicas distintas.

A fachada orientada para oeste foi construída com trechos de alvenaria convencional, parede monolítica de solo-cimento, alvenaria de blocos de solo-cimento e a maior parte em um sistema de painel-sanduíche autoportante denominado polipainel, que acredita-se ter elevado desempenho como isolamento térmico. Estudou-se ainda a substituição do poliestireno expandido (EPS), usado como núcleo do polipainel, por uma placa fabricada com resíduos sólidos de natureza diversa denominados resolitos.

O estudo comparativo do desempenho térmico *in loco* foi inviabilizado pela falta de uniformidade dimensional e pelas condições distintas que envolvem cada elemento construtivo. Dessa forma, partiu-se para montagem de um aparato experimental em laboratório com o intuito de estudar uma alternativa para a substituição do EPS na fabricação do polipainel.

Sabe-se que a produção de resíduos de EPS acarreta elevação dos custos de transporte e destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU). A reintrodução desses resíduos no

processo produtivo de materiais contribui para o aumento da vida útil de aterros sanitários pela redução do volume a ser aterrado.

Dessa forma, como continuidade da investigação dos elementos de vedação utilizados na Casa Ecoeficiente, esta pesquisa propôs-se a avaliar o desempenho térmico do painel-sanduíche feito com EPS reciclado. Esse sistema construtivo utiliza placas de EPS reciclado de embalagens de alimentos como núcleo entre duas placas de argamassa armada. O sistema construtivo proposto incorpora técnicas de reuso e reciclagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) visando a aplicação em construções sustentáveis.

Estudos recentes (MEDEIROS D. S., 2003a; 2003b), comprovaram a viabilidade de reutilização de embalagens de alimentos como forro para isolamento térmico de coberturas. Contudo, não fica claro nesses estudos os procedimentos de dosagem do material ou valores de massa específica aparente utilizados.

Nesse sentido, estudou-se a formulação de um traço ideal em peso, de adesivo e EPS reciclado, levando-se em consideração ainda a possibilidade de um maior resgate de EPS dos RSU. Para tanto, fabricaram-se placas de EPS reciclado com massas específicas muito superiores à do EPS comercial, cujo maior valor equivale ao tipo 7 de ρ = 32,5 kg/m³. As massas específicas adotadas de ρ=65 kg/m^3 e ρ=130 kg/m^3, representam respectivamente o dobro e o quádruplo do EPS tipo 7.

Espera-se contribuir para a introdução, na prática da construção civil, de uma conduta de reciclagem resultante dos estudos de Tormark (2006) e Gao (2001), haja vista a possibilidade de se explorar a capacidade de reutilização do EPS, inclusive com reaproveitamento pós-demolição.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral, a avaliação do comportamento térmico do sistema construtivo em painel-sanduíche autoportante com EPS reciclado, comparando-o ao sistema construtivo denominado polipainel, utilizado nos fechamentos verticais da Casa Ecoeficiente do SENAI em Campina Grande.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Projetar e construir uma câmara de ensaio de desempenho térmico.

b) Definir o traço em peso para fabricação de placas termoisolantes de EPS reciclado.
c) Quantificar as principais propriedades termofísicas do EPS reciclado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item relaciona as iniciativas políticas mais recentes em nível mundial e nacional, que visam discutir possíveis soluções para a adequação do consumo energético com desenvolvimento econômico e sustentabilidade. Enfocam-se a inconsistência do padrão atual de desenvolvimento, as energias renováveis, a importância da reciclagem de materiais construtivos, os resíduos sólidos e seu emprego na construção civil. Por fim, discute-se a importância da escolha de tecnologias adequadas para a fabricação de elementos construtivos visando a redução do consumo energético.

2.1 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

A inevitável elevação dos custos de energia causada pela iminente escassez do petróleo inviabiliza o crescimento econômico dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A manutenção do padrão atual de desenvolvimento baseado em combustíveis fósseis representa também investimentos para a minoração dos problemas ambientais decorrentes. Como alternativa tem-se buscado alterar padrões de consumo e de produção de energia com base nos conceitos atuais de sustentabilidade.

2.1.1 Mercado internacional de energia

O inflacionário crescimento dos preços dos combustíveis fósseis ocorrido no período de 2003 a 2008 contribuiu para eclosão da crise financeira de 2009, que teve início nos EUA e comprometeu a economia mundial. Em 2008 a extrema volatilidade dos preços do petróleo, gás natural e carvão levou a uma queda de preços superior a 70%. Nos seis últimos meses de 2008 o petróleo caiu de $ 145 para $ 40 o barril (SHAFIEE e TOPAL, 2010, p.988).

Shafiee e Topal (2010, p.988) analisaram o comportamento de longo prazo dos preços real e nominal de combustíveis fósseis entre os anos de 1950 e 2008, estabeleceram relações com a deflagração da crise econômica mundial iniciada em 2009 e formularam previsões de tendência de preços futuros.

Suas conclusões prevêem uma tendência ao aumento nos preços dos combustíveis fósseis para os próximos anos, seguida do retorno aos valores históricos de longo prazo até 2018 (SHAFIEE e TOPAL, 2010, p. 1000).

Estima-se que a demanda energética mundial aumentará 71% até 2030, sendo questionável se esse crescimento ocorrerá de maneira sustentável. A alternativa para evitar a drástica redução dos padrões de vida aceitáveis é envidar esforços para a utilização mais eficiente da energia (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 837).

2.1.2 Energia, desenvolvimento e sustentabilidade

Vista como uma meta, a sustentabilidade representa um balanço entre o meio ambiente e as atividades sociais e econômicas. Um setor energético sustentável faz a equalização entre a produção de energia e seu consumo mantendo-se dentro dos limites de tolerância suportados pelo meio ambiente, possibilitando, contudo, a manutenção das atividades socioeconômicas (HOFMAN; LI, 2009, p. 407).

Um grande número de pesquisadores tem investigado se o consumo de energia promove o crescimento econômico. Os estudos têm sido desenvolvidos para diferentes países com períodos amostrais variados sem, contudo, chegarem a conclusões consistentes, haja vista a diversidade dos métodos empregados, os dados utilizados e se o país estudado é desenvolvido ou em desenvolvimento (ABOSEDRA; DAH; GHOSH, 2009, p. 429).

Hofman e Li (2009, p. 407), afirmam que o crescimento econômico e demográfico de um país está fortemente ligado ao elevado uso de energia e que um método para medir esse crescimento é a avaliação do produto interno bruto (PIB), que mede a movimentação total da economia nacional no período de um ano.

Respaldados por uma revisão crítica de literatura sobre o papel da energia na teoria do crescimento econômico Nel e Zyl (2010, p. 168-170), analisaram o impacto causado pela restrição de energia no nível de desenvolvimento. Consideram que energia é o insumo primário essencial para o ciclo econômico, e a escassez das fontes de combustíveis fosseis só poderá ser mitigada pela combinação de ganhos eficientes, conservação e substituição por energia renovável e nuclear.

Para Nel e Zyl (2010, p. 170), a ligação entre energia e os recursos naturais exauríveis está na quantidade de energia necessária para produção e beneficiamento desses recursos quando encontrados com características inferiores como: minério de baixa qualidade, minas profundas, água do mar, dentre outros.

Teoricamente, não há outra limitação para a exploração desses recursos, haja vista existirem em abundância, comparados ao nível de consumo na Terra. Assim, consideram que as reservas de combustíveis fósseis são definidas pelas condições econômicas e tecnológicas disponíveis para sua exploração (NEL; ZYL, 2010, p. 170).

No entanto, um elevado nível de desenvolvimento e autossuficiência energética não garantem desenvolvimento sustentável se não forem acompanhados de políticas governamentais.

Hofman e Li (2009, p. 407-415) analisaram o modelo de desenvolvimento canadense concluindo que o País não se desenvolve sustentavelmente e necessita de ações governamentais que ofereçam incentivos para a geração de energia renovável de elevada eficiência. Só assim pode-se assegurar um mercado energético diversificado e localizado, onde haja menor demanda de energia e maior quantidade de fontes renováveis.

O Canadá possui disponibilidade de fontes de energia seguras, confiáveis e variadas como petróleo, gás, carvão, urânio e recursos hídricos, sendo o quinto maior produtor de energia mundial, superado apenas por EUA, Rússia, China e Arábia Saudita. Sua produção é suficiente para atender à demanda interna, além de exportar energia principalmente para os EUA (HOFMAN; LI, 2009, p. 408).

O consumo energético canadense vem crescendo a 1,4% ao ano, o que representa um acréscimo na demanda total de energia de 34% em 2025, se comparada ao consumo de 2004. As principais razões para o aumento da demanda são: o crescimento populacional e o aumento do PIB, em conseqüência do volume de energia exportada principalmente para os EUA (HOFMAN; LI, 2009, p 411).

Com o objetivo de diminuir a dependência energética de fontes fósseis, o Congresso dos EUA aprovou em 2009 a Lei de Recuperação e Reinvestimento Americana que prevê investimentos superiores a 60 bilhões de dólares para alavancar a economia nacional e abrir caminho à transição para uma economia baseada em energia limpa.

Prevêem-se investimentos de 150 bilhões de dólares nos próximos 10 anos em pesquisas e desenvolvimentos para uma economia de energia limpa, de modo a minimizar a dependência de petróleo, aumentar a geração doméstica de energia e promover a eficiência energética nos setores de transportes, eletricidade, indústria, construção civil e agricultura. Para promover a eficiência energética das edificações foi anunciado um pacote de investimentos de 346 milhões de dólares (USA, 2009).

Em países industrializados os edifícios respondem por grande fração do consumo total de energia - aproximadamente 40% para o caso dos EUA -, não se considerando o montante da energia envolvida na produção do edifício. (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 838).

Com a aplicação de tecnologias adequadas os edifícios residenciais e comerciais podem se tornar até 80% mais eficientes ou mesmo autossuficientes pela geração de energia renovável (USA, 2009).

As edificações nos EUA consomem mais energia que o setor de transporte e a indústria, pois quase três quartos dos 81 milhões de edifícios foram construídos antes de 1979. Devido a limitações de projeto e construção, esses edifícios necessitarão de reformas e adaptações para atenderem às solicitações de uso atuais. As medidas apontadas podem transformar os edifícios existentes: inovações em sistemas energeticamente eficientes de envoltórias, equipamentos, iluminação; iluminação natural; sistemas de energia solar fotovoltaica, dentre outros (USA, 2009).

Wachsmann et al. (2009, p. 578), estudaram as mudanças estruturais ocorridas no setor energético brasileiro desde o período pós-crise do petróleo de 1970 até 2000. Nesse período o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu 250% a uma taxa média de 4,9% ao ano. O concomitante crescimento populacional ocorreu a uma taxa de 2,1% ao ano, passando de 93 milhões para 170 milhões de habitantes.

Na composição do PIB a participação do setor primário caiu de 13,2% para 10,5%, enquanto o setor de manufatura, que inclui a construção civil, cresceu de 35,1% para 45,5% entre 1970 e 1985, com redução para 31,5% em 2000. Já o terceiro setor em contínuo crescimento passou de 27,9% para 44,4% do PIB (WACHSMANN et al., 2009, p. 578 – 587).

Os padrões de consumo energético foram alterados. Com um crescimento de 3,7% ao ano o consumo total de energia passou de 2739 PJ para 7408 PJ. O setor residencial, quase constante, variou de 1225 PJ para 1643 PJ, enquanto o setor industrial cresceu de 1515 PJ para 5767 PJ. Esses valores demonstram que a participação do setor residencial no consumo total de energia decresceu de 44,7% em 1970 para 22,2% em 2000, caracterizando-se como responsável por apenas 9% do total das mudanças no uso de energia no Brasil (WACHSMANN et al., 2009, p. 578 – 587).

Comparado a outros países o Brasil está em condições confortáveis por possuir autossuficiência energética e abundância de recursos naturais, inclusive grandes reservas de petróleo e gás. Contudo, preocupações com os impactos ambientais decorrentes da implantação de hidrelétricas e o risco de uma extensiva ocupação de áreas - com plantio de soja e cana-de-açúcar para produção de bioenergia -, tornam o consumo energético uma questão relevante (WACHSMANN et al., 2009, p. 578 – 587).

Nesse sentido, visando a sustentabilidade e o desenvolvimento dos setores produtivos, o Governo Brasileiro por meio do Ministério de Minas e Energia, implementou em 2001 a Política Nacional Brasileira de Conservação e Uso Racional de Energia.

2.1.3 Programa brasileiro de eficiência energética

A Política Nacional Brasileira de Conservação e Uso Racional de Energia foi lançada em 2001, visando à alocação eficiente de recursos energéticos e à preservação do meio ambiente. Esta delegou ao Poder Executivo a função de estabelecer níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética para máquinas e aparelhos elétricos dentro do País, assim como a função de desenvolver mecanismos para a promoção da eficiência energética nas edificações em todo o território nacional (BRASIL, 2001a).

O Decreto nº 4059/2001 regulamenta a Lei nº 10295/2001 e institui o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) que, por meio do Grupo Técnico para “Eficientização” (sic) de Energia nas Edificações no País: a) estabeleceu procedimentos de avaliação da eficiência energética das edificações; b) propôs indicadores referenciais de consumo para certificação das edificações quanto à eficiência energética e c) definiu os requisitos técnicos para que os projetos de edificações atendam aos requisitos supracitados (BRASIL, 2001b).

Assim foram criados o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C), e o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) (BRASIL, 2009).

Para o recebimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (Figura 2.1) a edificação comercial, de serviço ou pública deve passar por avaliação segundo o RTQ-C conforme o método descrito no RAC-C. A etiquetagem é voluntária e aplica-se a edificações com mais de 500 m^2 de área útil ou pertencentes ao grupo tarifário A (alta tensão) (BRASIL, 2009).

Figura 2.1 - Modelo da etiqueta.

O selo pode ser fornecido para o edifício completo ou parcialmente. Considerando-se selo parcial quando referente apenas à envoltória ou à combinação desta com os sistemas de iluminação ou condicionamento de ar. Aos critérios estabelecidos no RTQ-C são atribuídos pesos que são ponderados em uma equação. À pontuação final podem ser somadas bonificações referentes ao uso de inovações tecnológicas, energias renováveis, cogeração de energia ou racionalização no consumo de água (BRASIL, 2009).

Prevê-se a ampliação do processo de etiquetagem para edificações residenciais. O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) está em desenvolvimento desde o ano de 2007, com previsão de implementação em 2010 (BRASIL, 2009).

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que desenvolveu a metodologia de avaliação, foi

incumbido pelo INMETRO de realizar as primeiras avaliações juntamente com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL)/Sistema Eletrobrás, enquanto paralelamente capacitam outros laboratórios (BRASIL, 2009).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE

2.2.1 A reciclagem e ampliação do ciclo de utilização dos materiais

A manufatura de produtos com novas tecnologias tem impactos econômicos e ambientais que podem ocorrer em níveis internacionais. Do ponto de vista tecnoeconômico-ambiental, os materiais utilizados em produtos acabados e depois descartados, passam por etapas que constituem o ciclo total de utilização do material. Estima-se que sejam extraídas do mundo anualmente 15 bilhões de toneladas de matéria-prima, renováveis ou não (CALLISTER Jr., 2007, p.192-196).

Portanto, maior atenção deve ser dada à aplicação mais efetiva desses recursos com relação ao ciclo de utilização dos materiais, pois, energia é um recurso limitado sendo necessário conservá-la e empregá-la de forma racional na produção, aplicação e disposição final dos materiais (CALLISTER Jr., 2007, p.192-196).

Dessa forma, a reciclagem de produtos descartados contribui para a mitigação de impactos ambientais na fase de extração de matéria-prima, conservação de energia no processamento de novos produtos e desobstrução de aterros sanitários com material aproveitável (CALLISTER Jr., 2007, p.192-196).

A escolha de materiais construtivos passíveis de reciclagem no final da vida útil, assim como a escolha apropriada do processo de beneficiamento, pode a posteriori reduzir os impactos do ciclo completo de utilização dos materiais (BLENGINI, 2009, p. 328).

Na fase de utilização dos edifícios é gerada a quase totalidade dos impactos ambientais relativos à atividade da construção civil. Contudo, há um interesse crescente de se esclarecer como ocorre o uso de energia, de matéria-prima e a geração de resíduos dentro de um contexto amplo da atividade de construção, considerando a energia intrínseca aos materiais construtivos, os impactos ambientais a ele associados, as atividades de construção e demolição e o final da vida útil do material (BLENGINI, 2009, p. 319).

2.2.2 Resíduos de Construção Civil

À medida que a cresce a importância dada aos impactos ambientais da indústria da construção civil, mais atenção se tem dado àqueles materiais construtivos que melhor atendem ao duplo objetivo de reduzir o consumo de recursos não renováveis e a geração de poluentes ao longo de sua vida útil. Nesse contexto, materiais provenientes de demolições e de resíduos de construção despertam interesse (BLENGINI, 2009, p. 319).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 307 de 05 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos de construção civil (RCC). A Resolução, que tem caráter legislativo, considera a necessidade da redução dos impactos ambientais causados pelo tratamento inadequado dos RCC, posto que representem um "significativo percentual" (sic) dos RSU.

No documento considera-se como de responsabilidade dos geradores a implantação do gerenciamento integrado de RCC, que visa reduzir, reutilizar ou reciclar esses resíduos. Define-se reutilização como a reaplicação de um resíduo, sem submetê-lo a qualquer transformação; e reciclagem, como o processo de reaproveitamento que envolve a transformação do RCC.

Para efeito de aplicação da Resolução, os RCC foram classificados como: Classe A – que inclui os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; Classe B – designa os resíduos recicláveis para diferentes destinações, dentre outros, o plástico; Classe C - são os resíduos para os quais não se dispõe de meios para "reciclagem/recuperação" (sic) e Classe D – que são os resíduos perigosos ou prejudiciais à saúde.

A Resolução estabelece para os geradores o objetivo prioritário da não geração de resíduos, e secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos RCC, que não podem ser dispostos em aterros sanitários de resíduos domiciliares (MMA, 2002, p. 1-2).

Para Andrade (2008), as dificuldades envolvendo a gestão dos RSU estão relacionadas a custos elevados, escassez de espaços para áreas de disposição final, além de riscos ambientais e de saúde pública motivados por procedimentos inadequados. Chama a atenção para os resíduos de construção e demolição (RCD), denominação usual de RCC, pelo fato de representarem uma grande parcela dos RSU devido ao padrão de desenvolvimento tradicional.

Estudos desenvolvido por Oliveira et al. (2007), apontam a reciclagem de RCD como alternativa para a sustentabilidade da construção civil por impedir a deterioração dos locais de descarte, além de reduzir a extração de matérias-primas na natureza.

No Brasil a média da produção diária de RSU por região é de 1, 106 kg/habitante/dia, o que corresponde ao total de 168.653 ton/dia dos quais 85,55% são coletados (Tabela 2.2.1). Destacam-se em posições extremas a região Sul, com média de geração de RSU de 0,749 kg/hab/dia, e o Nordeste, com média de 1,236 kg/hab/dia, mais o agravante de ser a região que possui a menor taxa de coleta (ABRELPE 2008, p. 49).

Tabela 2.2.1 – Quantidade Total de RSU gerada por Macrorregião no Brasil

Macrorregião	RSU Coletado (ton/dia)	Taxa de Coleta (%)	RSU Gerado (ton/dia)	RSU Gerado (kg/hab/dia)
Norte	7.978	73,56	10.846	0,992
Nordeste	31.422	69,51	45.205	1,236
Centro Oeste	10.181	85,96	11.844	1,040
Sudeste	77.543	92,04	84.249	1,177
Sul	13.787	83,51	16.509	0,749
Brasil	**140.911**	**83,55**	**168.653**	**1,106**

Fonte: ABRELPE, 2008.

Conforme Andrade (2008), a composição dos RCD pode varia de acordo com a fonte devido a diferenças de sistemas construtivos, costumes locais, desenvolvimento econômico, disponibilidade de recursos e treinamento de mão de obra. Estes fatores também afetam as quantidades de RCD gerados (ABRELPE 2008, p. 50), conforme se pode concluir dos resultados da pesquisa da ABRELPE em 2007 sobre a coleta de RCD por macrorregião do Brasil (Tabela 2.2.2).

Tabela 2.2.2 – Quantidade de RCD coletados por macrorregião e em todo o Brasil.

Macrorregião	População Urbana 207	Kg/hab/dia	RCD (ton/dia)
Norte	10.935.406	0,219	2.397
Nordeste	36.577.772	0,331	12.113
Centro-Oeste	11.393.402	0,808	9,208
Sudeste	71.557.902	0,507	36.295
Sul	22.032.325	0,571	12.584
Brasil	**152.496.807**	**0,476**	**72.597**

Fonte: ABRELPE, 2008.

2.2.3 Reciclagem do EPS

Considerada a origem do resíduo plástico consumido no Brasil (ABRELPE 2008, p. 98), aqueles resultantes da atividade industrial correspondem a 40,62% , enquanto os resíduos pós-consumo correspondem a 59,38%.

A comparação entre a geração do resíduo plástico pós-consumo e seu reaproveitamento demonstra que apenas 13,78% dos resíduos pós-consumo de poliestireno (PS) são reciclados (Tabela 2.2.3).

Tabela 2.2.3 – Geração e reciclagem de plástico pós-consumo - Brasil

Tipo de Resíduo Plástico	Quantidade Gerada (ton/ano)	(%)	Quantidade Reciclada (ton/ano)	(%)	Taxa de reciclagem (%)
PET	454.925	19,79	244.428	53,70	**53,73**
PEAD	335.387	14,59	51.896	11,40	**15,47**
PVC	149.736	6,51	9.742	2,14	**6,51**
PEBD/PELBD	788.713	34,30	89.995	19.77	**11,41**
PP	381.062	16,57	32.641	7,17	**8,57**
PS	133.441	5,80	18.389	4,04	**13,78**
Outros tipos	55.896	2,43	8.068	1,77	**14,43**
Total	**2.299.160**		**455.159**		

Adaptado de ABRELPE, 2008.

Assunção (2002) relata a experiência de reciclagem do EPS no estado de Santa Catarina onde a Universidade Federal de Santa Catarina e a empresa Termotécnica desenvolveram, em parceria, uma técnica que utiliza 20% de EPS reaproveitado e 80% de estireno para obtenção de EPS novo.

Embora não seja biodegradável o EPS é passível de reciclagem total, o que pode contribuir para a desobstrução e o aumento da vida útil de aterros sanitários pela diminuição dos volumes depositados.

A grande quantidade e a diversidade de materiais que são consumidos pela indústria da construção civil a tornam um mercado potencial para absorver resíduos de EPS refugados de embalagens diversas. Materiais alternativos feitos a partir de tais resíduos podem ser uma alternativa de redução do custo final de moradias (TESSARI, 2006).

2.3 PARTIDO ARQUITETÔNICO E CONSUMO ENERGÉTICO

O partido arquitetônico pode ser definido como a construção mental que envolve todos os traços dominantes do futuro edifício (GRAEFF apud SILVA, 2006, p. 102). Essa síntese das características principais do projeto tem um papel decisivo na definição de seu padrão de consumo energético.

No cômputo da energia total consumida ao longo da vida útil dos edifícios, considera-se a energia operacional e a energia consumida na produção dos materiais construtivos. Isto tem motivado estudos quanto aos efeitos da substituição de materiais sobre a redução do consumo total de energia em edificações (THORMARK, 2006, p. 1019).

Neste item será discutido de que modo os materiais construtivos, as decisões arquitetônicas na fase de projeto e os elementos opacos relacionam-se com o consumo de energia ao longo da vida útil dos edifícios.

2.3.1 Materiais construtivos e consumo energético dos edifícios

Uma avaliação completa do consumo energético de edificações deve considerar todo o seu ciclo de vida. Este ciclo envolve três fases distintas e para cada uma se relaciona um consumo energético: a fase de pré-uso (energia incorporada - EI); fase de uso (energia operacional – EO) e a fase de pós-uso (demolição ou possível reciclagem e reuso) (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 838).

Considerando-se um ciclo de 50 anos para edifícios residenciais, a EO pode atingir de 85% a 95% de toda a energia consumida, o que pode ser reduzido por meio de soluções técnicas. Enquanto a EI, que é intrínseca à produção do edifício, pode atingir 40% a 60% do total de energia utilizada (THORMARK, 2006, p. 1019).

O consumo energético para a produção do edifício e de seus componentes cresceu com a industrialização das construções, destacam-se os processos de altas temperaturas utilizados na fabricação de aço, alumínio, cimento, vidro e espumas termoisolantes (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 838).

O esforço de moderar o consumo de energias não renováveis para aquecimento e arrefecimento, levou a inovações tecnológicas na eficiência térmica da envoltória dos

edifícios. Embora tal procedimento contribua para a eficiência energética na fase de uso, corresponde a um acréscimo de energia na fase de pré-uso pela utilização de materiais de elevada EI, uma vez que tetos, pisos, paredes e janelas representam grandes somas de energia (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 838).

A economia pode vir da utilização de energia renovável no processo de produção ou do reuso ou reciclagem de produtos antigos. O aproveitamento de resíduos industriais e de pós-consumo pode reduzir tanto a depleção de recursos naturais quanto a poluição resultante de um possível descarte inadequado (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008, p. 838).

Muitos benefícios podem ser alcançados quando se consideram as fases de pré-uso e de fim da vida útil dos materiais. A seleção adequada dos materiais, do projeto dos componentes do edifício e das técnicas construtivas pode influenciar positivamente a fase de utilização, por exemplo, na redução da energia requerida para a climatização de ambientes (BLENGINI, 2009, p. 319 - 328).

É importante tanto minimizar a energia de produção dos materiais quanto aumentar o poder de reciclagem dos edifícios, a fim de reduzir o consumo de energia e recursos naturais ao longo de sua vida útil (THORMARK, 2006, p. 1020).

Gao et al. (2001), estudou o potencial de economia de energia dos materiais para três projetos de edificações no Japão, focados no uso máximo de produtos e materiais reciclados. As conclusões demonstraram uma redução de aproximadamente 25% da energia para a produção dos materiais em comparação com uma edificação convencional.

Em estudo desenvolvido por Thormark (2006, p.1020) na Suécia foi estimado o potencial de reciclagem para residências de baixo consumo de energia. Os percentuais e as formas de reciclagem adotados foram determinados com base em experiências anteriores. Estimou-se o percentual de reciclagem por meio da análise de um projeto de edificação, comparado a reestudos do mesmo, para avaliar a redução ou acréscimo da energia envolvida.

Os processos considerados ao longo da vida útil da edificação foram os relacionados à produção dos materiais construtivos; transporte até a obra; estocagem; manutenção e operação. Não foi levada em consideração a energia para construção e demolição. Os resultados demonstraram economia de aproximadamente 35% de energia na produção dos materiais construtivos (THORMARK, 2006, p. 1020s).

2.3.2 Princípios de projeto e desempenho térmico dos edifícios

Os processos de adensamento urbano que criam microclimas mais quentes, aliados à influência do entorno sobre os padrões de ventos, comprometem o uso da ventilação natural no condicionamento passivo de ambientes em zonas urbanas (OLIVEIRA, 2006, p. 22).

A tentativa de reduzir os ganhos térmicos dos fechamentos verticais por meio da orientação das fachadas menores para leste e oeste, também pode levar a conflito com a melhor orientação do edifício para a ventilação (KOENIGSBERGER, Apud OLIVEIRA, 2006, p. 22).

Ademais, por não se considerar a questão bioclimática como parte integrante do projeto arquitetônico tem-se comumente comprometido a sustentabilidade das edificações com sistemas ativos de condicionamento ambiental (OLIVEIRA, 2006, p.18; 22-24).

Componentes construtivos com alta inércia térmica favorecem a diminuição da amplitude térmica interior em relação à exterior, dessa forma evita-se que os picos de temperatura externos sejam percebidos internamente.

Indica-se essa estratégia para climas quente e seco onde há uma amplitude térmica muito elevada ao longo de 24 horas, como dias muito quentes e noites muito frias. A capacidade térmica do elemento construtivo atua como retardante da onda de calor liberando a energia térmica para o ambiente interno no período noturno, quando há a necessidade de aquecimento (LAMBERTS et al, 2005, p. 28).

A adoção da correta estratégia bioclimática durante a fase de projeto pode melhorar as condições de conforto térmico e reduzir o consumo de energia de edificações (LAMBERTS et al, 2005)

2.3.3 Ganhos térmicos dos fechamentos opacos

Em um edifício as trocas térmicas entre o ambiente interno e o meio externo dependem da natureza do invólucro construtivo que sob a ação da radiação solar apresentam comportamentos distintos quanto à capacidade de transmissão da radiação.

A quantidade de radiação solar que é transmitida para o interior do edifício através de seus fechamentos irá influenciar diretamente as condições de conforto ambiental (LAMBERTS, 1997, p. 58).

O condicionamento artificial dos ambientes é responsável por expressiva parcela do total da energia consumida nos edifícios. Esses sistemas são dimensionados em função das cargas térmicas de resfriamento, que advêm principalmente dos ganhos térmicos através dos elementos opacos como tetos e paredes (AKTACIR; BÜYÜKALACA e YILMAZ, 2010, p. 599).

Em edificações térreas os ganhos térmicos ocorrem muito mais pelas cobertas que pelos fechamentos verticais. Contudo, com o aumento do número de pavimentos, altera-se essa proporção e cresce a importância de se estudar sistemas de fechamentos opacos verticais mais eficientes do ponto de vista do desempenho térmico.

As características arquitetônicas e propriedades físicas dos materiais construtivos são, juntamente com as características climáticas locais, importantes parâmetros na definição do sistema de condicionamento térmico ambiental. Contudo, em qualquer situação o uso de isolamento térmico reduz os ganhos ou perdas térmicas através da envoltória e, consequentemente, reduz a demanda por condicionamento artificial (AKTACIR; BÜYÜKALACA e YILMAZ, 2010, p. 599).

Aktacir, Büyükalaca e Yilmaz, (2010, p. 606), estudaram a influência do isolamento térmico do edifício no consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar em regiões de clima quente, e quente e úmido da Turquia. Avaliou-se a influência das diferentes espessuras de isolamentos utilizados nos fechamentos opacos externos e constatou-se uma redução de até 33% no dimensionamento do sistema de ar-condicionado.

Assegurar o isolamento térmico adequado de edifícios em regiões onde as necessidades de resfriamento predominam sobre as de aquecimento é uma medida importante para a economia de energia (AKTACIR; BÜYÜKALACA e YILMAZ, 2010, p. 600). Desse modo pode-se considerar que o desempenho térmico é um dos critérios mais importantes para a avaliação e a seleção de tecnologias apropriadas à execução de vedações na construção civil (BEZERRA, 2003, p. 02).

Para tanto, o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção é o princípio para a abordagem do tema de transferência de calor através dos fechamentos opacos das edificações (BEZERRA, 2003, p. 02).

A transformação da energia radiante recebida em energia térmica depende do comportamento do material sob comprimentos de ondas distintos. Este fenômeno está associado às características térmicas de absortância e emissividade que são função do acabamento superficial (RIVERO, 1986, p. 25; ABNT, 2005).

Em uma superfície de parede branca o coeficiente de absorção diante da radiação solar será baixo; porém, será alto diante da radiação de baixas temperaturas emitida pelos corpos circunvizinhos.

Portanto, em face de uma fonte de radiação solar a absortância de paredes será baixa para as de cores claras, e alta para as de cores escuras. No entanto, diante de uma fonte de radiação a baixa temperatura a absortância das superfícies metálicas será baixa, enquanto a das superfícies opacas será elevada. (RIVERO, 1986, p. 25 e 26).

O acúmulo de carga térmica nas faces externas dos fechamentos opacos das edificações ocorre pelos mecanismos de radiação e convecção (RIVERO, 1986), enquanto a transmissão dessa carga térmica através dos elementos construtivos se dá por condução.

No fenômeno da condução onde a transferência de calor se dá pela difusão molecular, o transporte de energia através de um meio está condicionado à existência de um gradiente de temperatura (INCROPERA, 1998, p. 25).

Na presença de um gradiente de temperatura entre as superfícies externa e interna ocorrerá um fluxo de calor, por condução, no sentido da superfície mais aquecida para a menos aquecida.

Devido à elevação de temperatura da superfície interna haverá a transferência do calor para o ambiente interno por meio de radiação e convecção.

A quantidade de calor transferido por condução é proporcional à área da seção transversal ao fluxo térmico e ao gradiente de temperatura e pode ser expresso pela equação de Fourrier (2.1).

$$Q_k = -k \times A \frac{dT}{dX} \tag{2.1}$$

Onde:

k - condutividade Térmica (W/mK)

Q_k - taxa de transferência de calor (W)

A - área da superfície transversal ao fluxo de calor (m²)

$\frac{dT}{dX}$ - gradiente de temperatura (K/m)

O sinal negativo na frente de k sinaliza que o fluxo de calor ocorre no sentido da maior para a menor temperatura (COUTINHO, 2005, p. 24).

2.4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE FECHAMENTOS VERTICAIS

Aumentar a inércia térmica dos fechamentos opacos com a utilização de materiais construtivos tradicionais representa sobrecarga nas estruturas e, conseqüentemente, aumento de custos de produção dos edifícios.

Tradicionalmente no Brasil tem-se utilizado os blocos cerâmicos como elementos de construção de fechamentos verticais. Contudo, o processo de fabricação que usa madeira como fonte de energia, gera danos ambientais por promover desmatamentos em geral descontrolados.

Isto tem motivado estudos de tecnologias menos impactantes para a execução de painéis de vedação que possibilitem o aumento das condições de conforto do ambiente construído, sem que isso represente incrementos significativos nos custos de construção.

2.4.1 Alvenarias termoisolantes com EPS reciclado

Em estudo desenvolvido em 2002, Bezerra (2008) utilizou agregados de EPS na produção de concretos leves a partir da variação do volume de EPS em relação ao da matriz cimentícia. Constatou uma relação linear e inversamente proporcional entre a resistência à

compressão do compósito e o volume de EPS aplicado ao traço. Houve aumento da resistência à compressão com a redução do tamanho dos flocos de EPS, inversamente ao ocorrido com o agregado graúdo convencional (BEZERRA, 2008, p. 18).

Pesquisou a melhoria do isolamento térmico de alvenarias de vedação com blocos cerâmicos vazados. Utilizou o resíduo industrial de plástico termofixo de poliéster, como agregado pulverulento. Preencheram-se os furos dos blocos cerâmicos com o material, visando reduzir ou eliminar o efeito das correntes convectivas no interior das cavidades, assim aumentando a resistência térmica do tijolo e reduzindo os ganhos térmicos nas habitações (BEZERRA, 2008, p. 19).

Bezerra analisou de forma quantitativa o desempenho térmico de paredes construídas com blocos de concreto leve. Os blocos empregados utilizaram EPS reutilizado em forma de flocos e placas.

Na pesquisa, que foi conduzida de forma comparativa, tomou-se por referência uma parede com blocos de concreto comum com a qual foram confrontados os resultados das demais: duas paredes de blocos de concreto leve com distintas proporções de EPS/areia; uma parede de bloco cerâmico vazado e uma parede de bloco de cimento vazado.

Os blocos de concreto leve (TECLEVE Indústria e Comércio Ltda.) são blocos do tipo sanduíche cuja seção transversal é formada por duas camadas de 0,03 m de concreto leve separadas por um miolo de 0,04 m de EPS (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Bloco de concreto leve.

Foi confeccionada uma parede divisória entre dois ambientes, mantendo-se um deles à temperatura ambiente enquanto no outro foi instalada uma fonte radiante composta por 24 lâmpadas de filamento de tungstênio com 200 W cada (Figura 2.3).

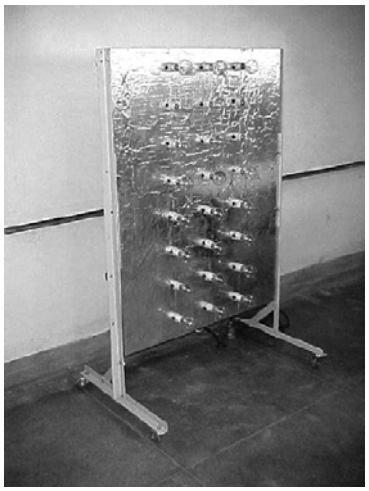


Figura 2.3 – Fonte de radiação.

O sistema de aquisição de dados foi configurado para registrar a média das temperaturas lidas nos últimos 10 segundos em intervalos de tempo de 15 minutos ao longo de 24 horas.

Calculou-se a média das temperaturas obtidas nas últimas 5 horas, e em todas as medições os valores de temperaturas registrados na superfície II mantiveram-se inferiores aos da face exposta à fonte de calor.

Realizaram-se ainda ensaios para determinar as propriedades termofísicas dos blocos de concreto (ρ – massa específica; cp – calor específico e k – condutividade térmica) e ensaios de resistência à compressão.

Os resultados demonstraram como a utilização do EPS como agregado em elementos construtivos afeta a redução da taxa de transferência de calor. Comprovou-se que isto está associado ao efeito do EPS na variação da densidade do material, interferindo também em outras propriedades térmicas e mecânicas do material (BEZERRA, 2003).

Suas conclusões atestaram que os blocos de concreto com EPS como agregado atenderam às normas técnicas podendo ser usados como elementos de alvenaria de vedação.

Quanto ao desempenho térmico a alvenaria de blocos de concreto leve mostrou-se superior às alvenarias de técnicas convencionais de tijolo cerâmico vazado e bloco de concreto. E assim comprovou-se a viabilidade de utilização do EPS reaproveitado como constituinte de elementos construtivos de alvenarias de vedação.

A diminuição da carga térmica transferida para o interior das edificações implica em economia de energia elétrica necessária para a climatização dos ambientes, enquanto o reaproveitamento do EPS como agregado na construção civil possibilita a redução do custo de produção dos blocos e a mitigação dos impactos causados ao meio ambiente pelo descarte do material (BEZERRA, 2008).

2.4.2 Argamassa armada e concreto armado

Como alternativa às tradicionais alvenarias de blocos cerâmicos tem-se a técnica de argamassa armada, já utilizada no Brasil em construções públicas racionalizadas, como os Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente (CAIC) e a rede de hospitais Sarah Kubitschek (Figura 2.4) de autoria do arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé).

Figura 2.4 - Hospital Sarah Kubitschek – DF (Foto: Luis Dantas)

Considerada apropriada para construções econômicas a técnica de construção com argamassa armada, precursora do concreto armado, é conhecida desde 1848 quando foi utilizada por Joseph-Louis Lambot na fabricação de vasos para plantas, reservatórios de água e uma embarcação (Figura 2.5). O arquiteto e engenheiro Píer Luigi Nervi resgatou o uso da técnica para a construção naval durante a II Guerra, e introduziu sua aplicação na construção civil, a princípio como vedação e formas, e posteriormente como elementos estruturais.

Essa tecnologia foi estudada e aplicada pela primeira vez no Brasil na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, que na década de 1960 utilizou-a na construção das coberturas de seus edifícios (HEHL, 1988, p. 157).

Figura 2.5 - Barco de argamassa armada (1848). Acervo do Museu de Brignoles.

Dentre as muitas vantagens de utilização da argamassa armada na construção civil estão seu elevado desempenho estrutural, a disponibilidade de insumos materiais no mercado, além do emprego da mão de obra não especializada. Contudo, aplica-se melhor às construções rurais e equipamentos urbanos que à construção de habitações, haja vista seu desempenho termoacústico deficiente (HEHL, 1988, p. 157).

Alguns autores diferenciam os materiais compostos por aço, cimento e agregado em três tipos - concreto armado, ferro-cimento e argamassa armada -, classificando-os de acordo com a superfície específica da armadura utilizada ou pelas funções que as armaduras desempenham em cada tipo de material.

Considerando-se a função da armadura no concreto armado, esta tem a finalidade de responder às tensões de tração, contribuindo para a resistência da peça aos esforços de tração, torção e compressão. No ferro-cimento a armadura e a tela de fios finos suportam o material e resistem às solicitações mecânicas. A armadura da argamassa armada, além de suportar o material e resistir a solicitações, resiste aos esforços de retração devido à secagem (HEHL, 1988, p. 158).

2.4.3 Painel-sanduíche de concreto e poliestireno expandido

Catto, Provenzano e Barth (2008), caracterizaram e analisaram o desempenho térmico dos painéis-sanduíche de concreto e EPS utilizados na construção de sete habitações de interesse social (HIS), em Canoas-RS, durante o ano de 2005.

O estudo afirma que a adoção de procedimentos industrializados é a condição para a produção de elementos construtivos de características estruturais e funcionais melhoradas. Aponta ainda a racionalização dos processos construtivos como meio para a diminuição da produção de resíduos sólidos que podem poluir e degradar o ambiente.

Os painéis desenvolvidos pela Assessoria Técnica e Habitacional Curitiba (HABITEC), são painéis autoportantes compostos por duas camadas de concreto, estruturado por uma treliça metálica perimetral, malhas de fios de aço e núcleo de EPS (Figura 2.6).

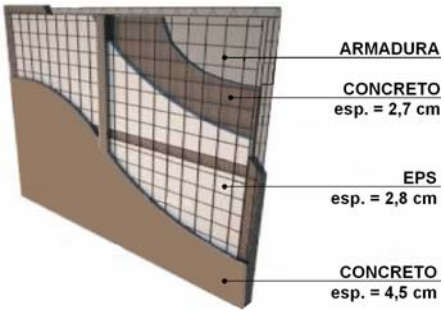


Figura 2.6– Painel autoportante de concreto e EPS (Habitec).

Todos os elementos são pré-fabricados e transportados ao local da obra para a montagem com auxílio de um guindaste (Figura 2.7). As principais características dos painéis são: massa específica aparente do concreto (2300 kg/m³); massa específica do poliestireno (25,00 kg/m³); condutividade térmica do concreto (λ = 1,75 W/m.K); condutividade térmica do poliestireno (λ = 0,04 W/m.K).

Figura 2.7 – Montagem do painel (Habitec).

Os estudos de desempenho térmico seguiram o que preconiza a NBR 15220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Calculou-se resistência térmica (R), capacidade térmica (c_p), atraso térmico (φ) e fator solar (FS_o) dos painéis de cobertura. Segundo os autores, os resultados estão de acordo com as exigências normativas.

A melhoria de desempenho térmico promovida pelo EPS contribui para a redução do consumo de energia da habitação que, segundo os autores, deve ser aferida a posteriori em uma análise pós-ocupacional.

2.4.4 Polipainel

O sistema construtivo de fechamentos verticais em polipainel utilizado nas paredes da Casa Ecoeficiente em Campina Grande-PB, consiste na fabricação *in loco* de painéis-sanduíche autoportantes onde cada peça é composta de um núcleo de EPS, revestido por duas telas de aço soldadas a um quadro de cantoneiras e revestido com argamassa em ambas as faces (Figura 2.8 e Figura 2.9).

Figura 2.8 – Estrutura do polipainel (Foto: Irene Nóbrega).

Figura 2.9 – Montagem do polipainel (Foto: Irene Nóbrega).

Considera-se que essa tecnologia proporciona economia de mão de obra, tempo de execução e alto desempenho estrutural da construção. Devido ao baixo peso os painéis são considerados de fácil instalação (Figura 2.10).

Figura 2.10 – Manuseio da estrutura do polipainel.

Os polipainéis são considerados como isolantes termoacústicos, o que confere melhores condições à argamassa armada para a utilização em edifícios habitacionais (SENAI, 2006, p. 6).

Responsável pelo desempenho térmico dos painéis-sanduíche, o EPS é um produto termoplástico com estrutura de células fechadas que se obtém pela expansão do estireno polimerizado.

O poder de isolamento térmico do material depende da natureza dos gases contidos nas células abertas, que contribuem para variações nos mecanismos de trocas de calor. A medição da ação conjunta desses mecanismos é o que se chama de condutibilidade térmica aparente (SATO, 1988, p.511s).

2.4.5 Polipainel com resíduos sólidos urbanos

Dentre as técnicas construtivas empregadas na Casa Ecoeficiente, utilizou-se uma variação do tipo original de polipainel na qual o EPS foi substituído por uma placa composta de RSU, denominada resolitos (resol – resíduos sólidos / líthos – do grego – pedra). Essa foi uma iniciativa da Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL), fundação de apoio à Universidade de Campina Grande, uma das instituições parceiras do SENAI na execução da Casa Ecoeficiente.

Figura 2.11 – Polipainel com placa de resolitos (Foto: Irene Nóbrega).

A placa resolitos desenvolvida pela ATECEL tem em sua composição resíduos sólidos, cimento, cal e água. O material é resultado da adição de pasta de cimento e cal à massa de RSU triturado.

Figura 2.12 – Confecção da placa resolitos

Dentre os resíduos sólidos presentes na mistura pode-se citar: papel plastificado, papelão, rótulos impressos (que possuem tinta com metais pesados), embalagens plásticas, eucatex, serragem, borracha e quaisquer resíduos, com exceção de metais ou resíduos orgânicos (PEREIRA, 2007).

A natureza diversificada e não quantificada dos RSU que compõem o resolitos inviabiliza sua caracterização quanto às propriedades termofísicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

A presente pesquisa originou-se nos estudos de substituição de materiais construtivos para isolamento térmico desenvolvida nos fechamentos verticais da Casa Ecoeficiente em Campina Grande – PB. Pretende-se reunir em uma proposta de sistema construtivo alternativo, os conceitos de construção sustentável, reciclagem de RSU e eficiência energética.

O painel-sanduíche com EPS reciclado, objeto desse estudo, é composto de duas placas de argamassa armada de 40 mm de espessura, com núcleo de mesma dimensão, fabricado com EPS reutilizado de embalagens de alimentos.

Em pesquisa recente comprovou-se a viabilidade de reutilização de embalagens de alimentos como forro para isolamento térmico de coberturas (MEDEIROS D. S., 2003a; 2003b). Medeiros fabricou placas delgadas por meio da compressão da mistura de EPS picotado e adesivo. Contudo, no processo de fabricação, não se evidenciam os procedimentos de dosagem do material, a definição de massa específica aparente utilizada nem dimensões das placas confeccionadas.

Com o intuito de fabricar placas de EPS reciclado com uniformidade de características termofísicas e passíveis de reprodução, estudou-se a formulação de um traço ideal em peso, de adesivo e EPS reciclado, levando-se em consideração ainda a possibilidade de um maior resgate de EPS dos RSU. Foram confeccionadas placas de EPS reciclado com massas específicas muito superiores à do EPS comercial, cujo maior valor equivale ao tipo 7 de ρ = 32,5 kg/m³. As massas específicas adotadas de ρ=65 kg/m^3 e ρ=130 kg/m^3, representam respectivamente o dobro e o quádruplo do EPS tipo 7.

O adesivo à base de acetato de polivinila (PVA) ($(C_4H_6O_2)_n$) utilizado como aglomerante tem como solvente o álcool etílico (CH_3CH_2OH) que evapora durante a secagem, fazendo com que a massa da peça curada seja menor que a massa do material em estado fresco. Essa volatilização implica na variação da massa específica aparente ao longo do tempo, sendo necessário determinar um valor médio para a perda total de massa do adesivo no processo de cura e então corrigir sua quantidade no traço.

Foram confeccionados corpos de prova para determinação das principais propriedades termofísicas do EPS reciclado, e placas para serem usadas como material isolante na fabricação de corpos de prova de painéis-sanduíche.

O desenvolvimento da pesquisa partiu da análise quantitativa da composição do EPS reciclado, seguida da determinação das suas propriedades termofísicas. As placas feitas desse material foram utilizadas para fabricação de corpos de prova de painéis sanduíche para posterior avaliação na câmara de ensaio de desempenho térmico.

A metodologia empregada para determinação das principais propriedades termofísicas utilizou o Quick-Line - TM 30 - analisador de propriedades térmicas. O equipamento foi utilizado com uma sonda do tipo agulha com sensibilidade para condutividade térmica entre 0,015 W/m.K e 0,200 W/m.K, que foi inserida no material. Após transferir calor para o material, o equipamento analisa seu comportamento e assim determina a condutividade térmica, a capacidade calorífica e a difusividade térmica.

A metodologia utilizada para os estudos de desempenho térmico baseou-se em modelo já adotado por outros autores (MEDEIROS O. M., 2005; BEZERRA, 2003; MEDEIROS D. S., 2003a; 2003b e BORGES, 2009), que consiste na utilização de uma fonte de radiação composta por um banco de lâmpadas simulando a radiação solar sobre a superfície em estudo, onde os fenômenos térmicos são registrados por termopares conectados a um microcomputador. Contudo, o presente estudo substituiu a fonte de radiação pela câmara de ensaio de desempenho térmico, projetada e construída visando maior controle sobre as oscilações dos fenômenos térmicos e maior diferença de temperatura entre as faces opostas dos corpos de prova.

Elaborou-se um plano de ação para as atividades experimentais, de modo a atingir os objetivos propostos para a pesquisa: projetar, confeccionar e testar as ferramentas e instrumentos necessários; testar a metodologia a ser empregada nas atividades de pesquisa obtendo-se uma previsão dos resultados esperados.

3.2 EXECUÇÃO DE CÂMARA DE ENSAIO DE DESEMPENHO TÉRMICO

Para melhorar a confiabilidade das análises de desempenho térmico foi desenvolvida a câmara de ensaio denominada HeKryos (do grego *Hélios* = Sol e *Krýos* = Gelo), que possibilita ensaios de desempenho térmico de materiais mediante o estabelecimento de uma diferença de temperatura entre as superfícies superior e inferior do corpo de prova em regime permanente (APÊNDICE 1 – PROJETO: CÂMARA HEKRYOS., p. 86). É composta de dois compartimentos sobrepostos, adiabáticos, com temperaturas controladas. Confeccionada em painel de madeira compensada (15 mm), com dimensões de 1,11 m (altura) x 0,55 m (largura) x 0,75 m (profundidade), possui acabamento em pintura - esmalte sintético branco fosco - base água (Figura 3.1).

Figura 3.1 – HeKryos – Câmara de ensaio de desempenho térmico.

A câmara HeKryos é composta de:

a) Compartimento de alta temperatura (***CA*$_t$**) (parte superior), que simula a radiação solar (Figura 3.2). Com isolamento térmico feito de placas de lã de vidro revestidas com filme aluminizado e fixadas com fio níquel-cromo. Opera em 220 Vac. com fonte de radiação composta por lâmpadas incandescentes, dimensionada em função da Constante Solar (C_s) e da área de projeção horizontal da câmara (Tabela 3.2.1).

Tabela 3.2.1 – Dimensionamento da fonte de radiação

Constante solar (C_s)		Área horizontal		Potência nomimal	Pot. instalada (9 lâmpadas)
1.367 W/m^2	x	0,25 m^2	=	341,75 W	~ 40 W

Figura 3.2 – Compartimento de alta temperatura.

b) Compartimento de baixa temperatura (***CB$_t$***) (parte inferior) com isolamento térmico com placas de poliestireno expandido (4 cm) e impermeabilização com filme aluminizado e bandeja de PVC para coleta e drenagem de material condensado. O sistema de refrigeração é por ciclo de compressão de vapor de gás R-134A **(**Figura 3.3**).** A temperatura de operação estabiliza em aproximadamente – 25 °C após 6 horas de funcionamento contínuo.

Figura 3.3 – Compartimento de baixa temperatura.

c) Sistema de aquisição de dados composto por um microcomputador com placa de aquisição de dados, sensores de temperatura de contato - termopar do tipo "T" e placa de circuito eletrônico para conexão dos termopares à porta LPT1.

O software utilizado, LTC 16 TP, foi desenvolvido no Laboratório de Transferência de Calor – LTC/UFRN, com base nos recursos disponibilizados pelo fabricante da placa de aquisição de dados (National Instruments Co.). Foi escrito para o sistema operacional Windows 98, possibilitando a monitoração simultânea de 16 sensores de temperatura.

A calibração dos termopares do tipo "T", para monitoramento das temperaturas no CA_t e CB_t e nas superfícies inferior e superior dos corpos de prova, foi feita pelo Laboratório de Metrologia – LABMETROL/UFRN.

Utilizou-se o calibrador portátil de banho térmico do tipo bloco seco, modelo PRESYS T-350P, para calibração dos termopares do CA_t, que opera na faixa entre a temperatura ambiente até 350 °C, com resolução de 0,1 °C e incerteza de medição de ±(0,1°C) ou ±(0,1%) da leitura.

Para calibração dos termopares do CB_t, foi utilizado o mesmo calibrador no modelo PRESYS T-35N, que opera na faixa de temperatura de -35°C a 125°C, com resolução de 0,1°C e incerteza de medição de ±(0,1°C).

As medições foram programadas para ocorrerem durante um período de 24 horas após a entrada do sistema em regime permanente. O sistema executa as leituras dos termopares e faz o registro individual da média das temperaturas ocorridas a cada minuto.

3.3 OBTENÇÃO DA DOSAGEM DO TRAÇO EPS/ADESIVO

3.3.1 Determinação da composição granulométrica do EPS reciclado

O EPS de embalagens de alimentos foi cortado em pequenos pedaços e considerada sua natureza sólida e granular; adotou-se para o ensaio a Norma Brasileira NBR NM 248/2003 - Agregados – Determinação da composição granulométrica. O procedimento utilizado cumpriu as seguintes etapas:

a) Fez-se o quarteamento de uma amostra de 100 g de EPS granular reciclado;

b) Extraiu-se de uma das partes uma amostra de 30 g que foi introduzida na série de peneiras;

c) Levou-se ao agitador de peneiras por 20 min em nível de vibração de média intensidade;

d) Após o peneiramento, procedeu-se a pesagem das quantidades retidas em cada peneira e no fundo de peneiras;

e) Calcularam-se os valores percentuais correspondentes ao material retido em cada peneira.

Os resultados obtidos apresentaram um material de boa variação granulométrica, o que possibilita fácil adensamento pelo preenchimento dos vazios por partículas de menor tamanho. Essa característica tem maior importância na fabricação das peças de maior massa

específica haja vista o grande volume de EPS manuseado (APÊNDICE 2 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO EPS. p. 90).

3.3.2 Ensaio de perda de massa do adesivo durante a secagem

A composição química do adesivo utilizado como aglomerante é de acetato de polivinila (PVA) em solução de álcool etílico. A evaporação do álcool durante a secagem promove a perda de massa. Este ensaio visa a determinação de um fator de correção para ser aplicado à fórmula de composição das peças de EPS reciclado. O procedimento de ensaio observou as seguintes etapas:

a) Os recipientes Pirex® isentos de poeira ou resíduos foram identificados e pesados, determinando assim a tara da cápsula (Tcap) (Figura 3.4);

Figura 3.4 – Material para ensaio de perda de massa por evaporação.

b) Em cada recipiente foi despejada uma amostra de adesivo, de aproximadamente 5,00 g, correspondente à massa úmida ($\boldsymbol{M_H}$). Em seguida foi pesada a cápsula com o material determinando a massa bruta úmida ($\boldsymbol{MB_H}$).

c) As amostras foram espalhadas no interior dos recipientes e procedeu-se o acompanhamento da secagem do material pesando-se as cápsulas a 1 h; 3 h; 6 h; 12 h; 24 h; 48 h e 1 semana, a partir do momento inicial, obtendo-se os valores da massa bruta seca ($\boldsymbol{MB_S}$).

d) O ensaio foi realizado duas vezes à temperatura ambiente sem controle higrométrico ou térmico. Os resultados foram usados para calcular o percentual de perda de massa do adesivo ($\boldsymbol{PM_{\%}}$) na secagem (3.1).

$$PM_{\%} \cong \left\{ \left(\frac{MB_H - MB_S}{M_H} \right) \times 100 \right\} \% \tag{3.1}$$

3.3.3 Ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo

Para determinação da proporção EPS/adesivo a ser empregada na confecção das peças fez-se ensaios de rendimento da mistura. Foram moldadas placas com EPS reciclado e adesivo em diferentes proporções, sendo escolhida aquela em que o menor consumo de adesivo proporcionou a melhor coesão do material.

Foram confeccionadas placas com EPS e adesivo nas proporções (P): P_1 = 1:1/4; P_2 =1:1/3; P_3 = 1:1/2; P_4 = 1:1 e P_5 = 1:2 medidas em massa.

Utilizou-se uma fôrma de madeira compensada, revestida com lâmina plástica medindo 11,0 cm x 14,0 cm x 1,4 cm, cuja capacidade volumétrica corresponde ao volume dos corpos de prova (V_{cp} = 0,2156 dm³) (Figura 3.5).

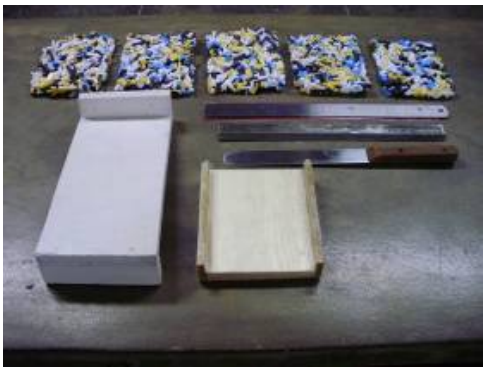


Figura 3.5 – Ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo.

O critério de coesão adotado foi estabelecido por comparação entre as amostras, o material curado foi apalpado e friccionado entre as mãos, sendo escolhido dentre os que não se fragmentaram o de menor consumo de adesivo.

3.4 FABRICAÇÃO DE CORPOS DE PROVA E PLACAS DE EPS RECICLADO

A fabricação dos corpos de prova e placas tomou como referência a NBR 11752 que trata de materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. Foram adotados dois tipos: o EPS reciclado com massa específica aparente ρ = 65 kg/m^3 (E65), e o EPS reciclado com ρ = 130 kg/m^3 (E130), que correspondem respectivamente ao dobro e ao quádruplo da massa específica do EPS comercial tipo 7 (ρ = 32,5 kg/m^3). Conforme a NBR 11752 este é ao valor máximo de massa específica aparente para EPS disponível no mercado.

Usou-se uma fôrma de madeira compensada (15 mm); com base quadrada (37 cm x 37 cm) - dimensões externas e altura 28cm; tampa e fundo removíveis (33,5 cm x 33,5 cm) – espessura (15 mm) (Figura 3.6). A base possui reforço estrutural com cantoneira de abas iguais (2,54 cm x 2,54 cm).

Figura 3.6 – Forma para peças de EPS reciclado.

Figura 3.7 – Reforço e suporte do fundo da forma.

A fôrma foi projetada para acoplar-se à prensa hidráulica Marcon, ref.: MPH 15 (Figura 3.8), a qual tem as seguintes características: capacidade para 15 toneladas; dimensões - altura 1305mm; largura frontal 548 mm; profundidade 147 mm; peso 60kg.

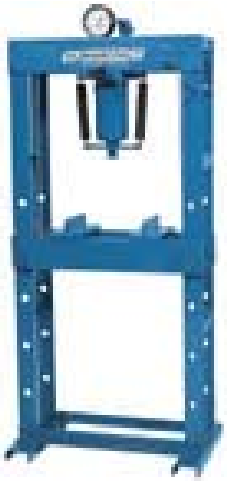


Figura 3.8 – Prensa hidráulica.

A fabricação consistiu nas seguintes etapas (Figura 3.9 a Figura 3.11):

a) Determinação da massa do material;

b) Mistura do material, nas proporções definidas pelo ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo;

c) Lançamento da mistura fresca na forma;

d) Prensagem do material.

Figura 3.9 – Pesagem do adesivo.

Figura 3.10 – Mistura do material.

Para fabricação dos corpos de prova de E130 fez-se uma adaptação na forma devido ao maior volume de material solto (Figura 3.11).

Figura 3.11 – Forma adaptada para E130 acoplada à prensa.

Para fabricação das peças de E65, submeteu-se o material a uma carga de 2 toneladas o que correspondeu à pressão de 1,78 kg/cm^2, por um período de 12 h. Para o E130, a carga aplicada foi de 5 toneladas resultando em 4,46 kg/cm^2, por igual período. Foram confeccionados blocos de (34 cm x 34 cm x 12 cm) de onde se extraíram os corpos de prova e placas de 6 cm de espessura que aparadas a esquadro geraram as placas de 4 cm para fabricação dos corpos de prova de painéis-sanduíche.

A prensagem dos corpos de prova de E130 ocorreu em duas etapas devido à grande altura da forma, em comparação ao êmbolo do macaco hidráulico da prensa (Figura 3.12).

Figura 3.12 – Forma e prensa em uso.

A forma, em sua configuração original (Figura 3.13), foi utilizada para a fabricação dos corpos de prova de E65 com espessura bruta 12 cm; e das placas de E65 e E130 com espessura bruta de 6 cm (Figura 3.13 e Figura 3.15).

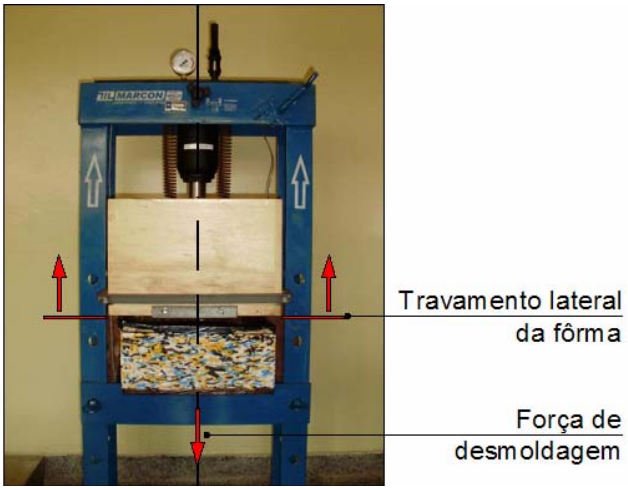


Figura 3.13 – Desmoldagem de peça de E130.

Figura 3.14 – Placa retirada da prensa.

Figura 3.15 – Placa e forma após desmoldagem.

O material bruto obtido na prensagem foi cortado em esquadro na máquina para corte de EPS a fio quente, à temperatura de aproximadamente 177 °C (Figura 3.16).

Figura 3.16 – Corte de material a fio quente.

O corte do material atendeu às dimensões e quantidades especificadas para cada ensaio a ser feito (Tabela 3.4.1).

Tabela 3.4.1 – Corpos de prova e placas de EPS reciclado conforme finalidade.

ENSAIO/FINALIDADE	DIMENSÕES Corpos de prova e placas	QUANTIDADE	
		E65	E130
Propriedades termofísicas: condutividade térmica, capacidade calorífica e difusivdade térmica	(10 cm x 10 cm x 30 cm)	03	03
Massa específica aparente	(10 cm x 10 cm x 5 cm)	05	05
Placas para painéis- sanduíche	(34 cm x 34 cm x 4 cm)	01	01

3.5 FABRICAÇÃO DE PAINÉIS-SANDUÍCHE COM EPS RECICLADO.

Para a fabricação dos corpos de prova de painéis-sanduíche foram utilizadas as placas de 34 cm x 34 cm x 4 cm de espessura, confeccionadas com E65 e E130. Com a finalidade de compará-los com os sistemas conhecidos de painéis-sanduíche, fabricou-se um corpo de prova com EPS comercial (Ec) de mesma espessura e massa específica aparente ρ = 12 kg/m^3.

Cada corpo de prova foi provido com duas grelhas de aço CA 60 (4,0 mm), em malha de 15 cm x 15 cm, soldadas a um quadro de cantoneiras de abas iguais (1” x 1/4”). A contenção foi feita por uma moldura de madeira com espessura de 12 cm (Figura 3.17 e Figura 3.18).

Figura 3.17 – Grelha de aço e estrutura de madeira.

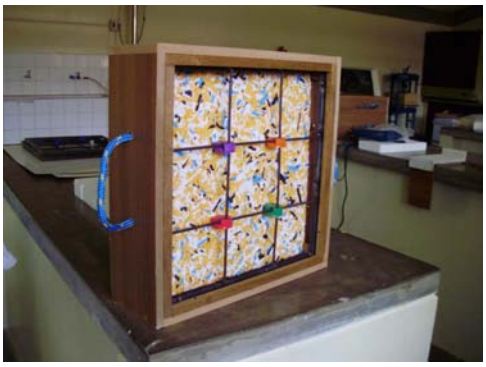


Figura 3.18 – Placa de EPS reciclado no interior da estrutura.

Os espaçadores de ferragem, que garantem correto cobrimento de argamassa à estrutura, foram substituídos por tampas de garrafas adaptadas. As tampas foram cortadas com uma ponta de aço CA 60 (4,0 mm) adaptada a um ferro de solda e em seguida aparadas com estilete. O entalhe aplicado às peças impediu a movimentação nos dois sentidos das direções horizontal e vertical (Figura 3.19).

Figura 3.19 – Espaçador de ferragem adaptado de tampa de garrafa.

Para execução das faces dos corpos de prova foi utilizada argamassa normalizada conforme classificação ABNT-NBR 13281/01 II – Alta – c, de cimento portland, agregados

minerais com granulometria controlada e aditivos químicos para aumento da aderência e redução de retração. O fator água/cimento atendeu às especificações do fabricante (Figura 3.20).

Figura 3.20 – Aplicação da argamassa sobre a placa**.**

O revestimento foi aplicado em duas etapas com os corpos de prova em posição horizontal, de modo a evitar trincas por tensões na argamassa fresca (Figura 3.21).

Figura 3.21 – cp - painel-sanduíche.

Cada corpo de prova foi identificado com uma plaqueta conforme a massa específica e o tipo do EPS utilizado.

3.6 DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Os corpos de prova de EPS reciclado e de EPS comercial foram analisados quanto às suas propriedades termofísicas de condutividade térmica (λ); capacidade calorífica (c_p) e difusividade térmica (α). Os experimentos foram realizados no Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo – LGGP/UFRN, utilizando o analisador de propriedades térmofísicas Quick-Line 30TM – Anter Co. (Figura 3.22), que é um instrumento de medição portátil que possibilita medição em materiais porosos por meio de sondas de agulha.

Figura 3.22 – Quick-Line 30TM.

Foram utilizados três corpos de prova com dimensões de 10 cm x 10 cm x 30 cm para cada valor de massa específica estudado (Figura 3.23). A preparação dos corpos de prova consistiu na abertura de um orifício de diâmetro e profundidade iguais aos da sonda para facilitar a introdução.

Figura 3.23 – Ensaio em cp de E130.

A sequência adotada foi padronizada para todos os corpos de prova e seguiu as orientações do manual de operação do equipamento.

Os resultados obtidos foram coligidos em tabelas e expressos em termos de suas médias (APÊNDICE 3 - PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO EPS, p. 91).

3.7 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO TÉRMICA NA CÂMARA HEKRYOS

Esse ensaio foi desenvolvido em etapas conforme descrição a seguir.

3.7.1 Calibração dos termopares e determinação da incerteza de medição

A calibração dos termopares do tipo T, do compartimento de alta temperatura (***CA$_t$***) e compartimento de baixa temperatura (***CB$_t$***), foi executada no Laboratório de Metrologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LABMETROL – UFRN), que calculou a incerteza de medição associada a cada termopar e forneceu os certificados comprobatórios.

Para calibração dos valores abaixo da temperatura ambiente foi utilizado o calibrador de banho térmico de bloco seco PRESYS T 35N, que gera temperaturas na faixa de –35 °C a 125 °C, com incerteza de medição de ± 0,1 °C (Figura 3.24). Para dar celeridade à operação, calibraram-se os termopares do ***CA$_t$*** com o PRESYS T 350P, que opera na faixa da temperatura ambiente até 350 °C, com idêntica incerteza associada.

Figura 3.24 – Banho térmico de bloco seco PRESYS T 35N.

Para os termopares do ***CB$_t$*** , foram feitas 03 (três) séries de medição para os valores de +5 °C, –5 °C e –25 °C, sendo o último o que representa a temperatura de operação do ***CB$_t$*** em regime permanente (APÊNDICE 4 – CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES., p. 92).

Os termopares do ***CA$_t$*** foram calibrados em 03 (três) séries de medição considerando-se os valores de +50 °C, + 60 °C e + 70 °C, o que compreende a temperatura de operação do ***CA$_t$*** em regime permanente (+ 65 °C).

3.7.2 Instalação dos corpos de prova

a) Os termopares (tipo T – cobre/constantan) foram conectados aos canais da placa de aquisição de dados por meio da borneira ligada à porta LPT1 (Figura 3.25) conforme a polaridade dos terminais: positivo – cobre (fio azul); negativo – constantan (fio vermelho);

Figura 3.25 – Ligação dos termopares à borneira.

b) Foi definida a posição dos pontos de medição no corpo de prova (cp) (Figura 3.26) de modo a manter uma simetria entre os pontos da face superior com os da face inferior. Assim são opostos os termopares TP-A-02/TP-B-02, TP-A-03/TP-B-03 e TP-A-04/TP-B-04. Enquanto os termopares 02 e 03 foram instalados na superfície do cp, os de número 04 foram instalados no interior do cp nas faces superior e inferior do material isolante (APÊNDICE 5 – LOCAÇÃO DOS TERMOPARES, p. 93).

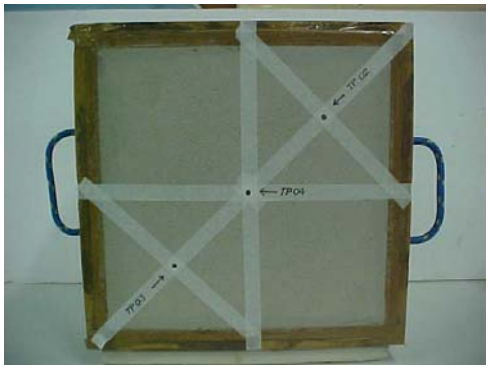


Figura 3.26 – Marcação dos termopares no cp.

c) Os termopares do CB_t foram identificados com plaquetas e instalados na face inferior do cp, que em seguida foi posicionado no interior da câmara (Figura 3.27 e Figura 3.28).

Figura 3.27 – Instalação dos termopares do CB_t na face inferior do cp.

Figura 3.28 – cp posicionado no CB_t.

d) Protegeu-se o cp com uma envoltória de EPS e filme aluminizado para evitar danos à moldura de madeira (Figura 3.29).

Figura 3.29 – Proteção do cp – EPS e filme aluminizado.

e) Os termopares do CA_t foram instalados na face superior do cp (Figura 3.30). Os termopares TP-A-01 e TP-B-01 foram envolvidos por uma cápsula de filme aluminizado para evitar a influência das correntes convectivas sobre as medições (Figura 3.31).

Figura 3.30 – Termopares instalados no CA_t

Figura 3.31 – Cápsula de proteção – TP-B-01.

Todo o procedimento descrito nas alíneas de "a" até "e" foi executado seguindo um check-list, de modo a evitar falhas de procedimento (Tabela 3.7.1).

Tabela 3.7.1 – Check-list para instalação dos corpos de prova

Procedimento	Termopar	Posicionamento do Termopar	Detalhe de instalação
Ligar ao canal 08	**TP – B - 04**	Interface – revest./EPS. (CBt)	Perfurar revestimento; introduzir termopar na superfície do EPS; preencher espaço com pérolas de EPS.
Ligar ao canal 07	**TP – B - 03**	Superfície inferior do corpo de prova.	Desbastar superfície; preencher com pasta térmica para cobrir a extremidade de contato do termopar.
Ligar ao canal 06	**TP – B - 02**	Superfície inferior do corpo de prova.	Desbastar superfície; preencher com pasta térmica para cobrir a extremidade de contato do termopar.
Ligar ao canal 05	**TP – B - 01**	Ambiente – (CBt).	Encapsulado em folha de alumínio.
Posicionar cp - CA_t			Proteger com moldura de EPS recoberta com filme aluminizado.
Ligar ao canal 04	**TP- A - 04**	Interface – revest./EPS. (CAt)	Perfurar revestimento; introduzir termopar na superfície do EPS; preencher espaço com pérolas de EPS.
Ligar ao canal 03	**TP- A - 03**	Superfície superior do corpo de prova.	Desbastar superfície; preencher com pasta térmica para cobrir a extremidade de contato do termopar.
Ligar ao canal 02	**TP- A - 02**	Superfície superior do corpo de prova.	Desbastar superfície; preencher com pasta térmica para cobrir a extremidade de contato do termopar.
Ligar ao canal 01	**TP- A - 01**	Ambiente – CAt.	Encapsulado em folha de alumínio.

f) Verificou-se a integridade do banco de lâmpadas que formam a fonte de radiação e em seguida fechou-se o $\boldsymbol{CA_t}$ (Figura 3.32).

Figura 3.32 – Fonte de radiação.

3.7.3 Operação do Compartimento de Baixa Temperatura.

Conforme as orientações do manual de operação da câmara de ensaio de desempenho térmico – HeKryos, foram adotados os seguintes procedimentos:

a) Com os disjuntores na posição desligado, ligou-se o plug de alimentação à tomada.

b) Acionou-se o sistema de ventilação do $\boldsymbol{CA_t}$ para mantê-lo em equilíbrio com a temperatura ambiente.

c) Ligou-se o microcomputador e acionou-se o software LTC – 16TP.exe.

d) Os termopares foram identificados na tela principal do software LTC – 16TP.exe e iniciou-se a gravação para registro das temperaturas iniciais dos termopares.

e) O $\boldsymbol{CB_t}$ foi acionado e monitorado até a estabilização da temperatura a aproximadamente -25 °C.

3.7.4 Operação do Compartimento de Alta Temperatura

a) Desligou-se o sistema de ventilação, fechando-se as aberturas de insuflamento/exaustão e acionou-se o disjuntor A para dar início ao aquecimento do $\boldsymbol{CA_t}$;

b) O experimento foi monitorado por um período de 24 horas, quando, enfim, foram desligadas simultaneamente os compartimentos $\boldsymbol{CA_t}$ e $\boldsymbol{CB_t}$.

c) Interrompeu-se a gravação de dados pelo software LTC – 16TP.exe, fazendo-se o backup dos arquivos conforme descrito no manual.

d) Desligou-se o plug (3p+N) da tomada de força (220 Vac) e recolheu-se o cabo de alimentação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a sequência estabelecida na seção 3 – MATERIAIS E MÉTODOS apresentam-se a seguir os resultados dos ensaios para determinação do traço EPS/adesivo, além dos gráficos e tabelas que foram construídos a partir dos dados coletados nos experimentos, de análise das variações das propriedades termofísicas, do desempenho térmico dos painéis e dos parâmetros de desempenho: atraso, inércia e resistência térmica.

4.1 OBTENÇÃO DA DOSAGEM DO TRAÇO EPS/ADESIVO

4.1.1 Perda de massa do adesivo

As cápsulas com as amostras de adesivo foram mantidas à temperatura ambiente e monitoradas em intervalos de tempo de 1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 48 h e 1 semana. Os valores foram coligidos e analisados para determinar o percentual médio de perda de massa ao longo da secagem (APÊNDICE 6 – PERDA DE MASSA DO ADESIVO NA SECAGEM, p. 95).

Os resultados foram resumidos em tabela para melhor interpretação dos dados (Tabela 4.1.1).

Tabela 4.1.1 - Perda de massa média.

Perda de massa	
Tempo	**Média (%)**
1 hora	21,45
3 horas	32,25
6 horas	37,70
12 horas	42,05
24 horas	45,95
48 horas	48,25
1 semana	44,80

Após uma semana verificou-se uma inversão no processo de perda de massa. Esse aumento na massa ensaiada se atribui a uma provável higroscopicidade das amostras (Figura 4.1).

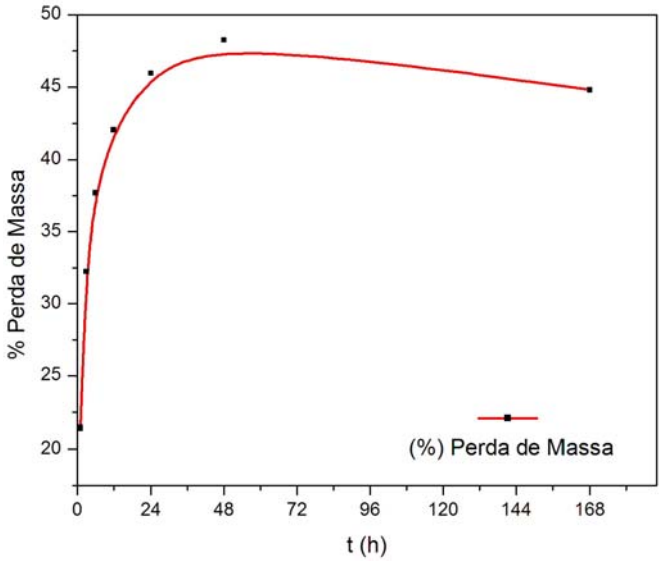


Figura 4.1 – Perda média de massa do adesivo por evaporação.

Passadas 24 horas foram feitas medições esporádicas cujos resultados mostraram variações muito pequenas quando comparadas às variações das primeiras horas, portanto adotou-se para perda média de massa (***P_mM***) o valor de 0,469. Esse valor não difere em muito do valor máximo atingido após 48 h de secagem.

A partir da ***P_mM*** calculou-se o fator de correção (***F_{PM}***) da perda média de massa do adesivo por evaporação na secagem (4.3). Esse fator de correção foi utilizado para controlar a quantidade do aglomerante na dosagem do traço em peso (EPS/adesivo).

$$F_{PM} = 1 - (P_m M) \tag{4.1}$$

$$F_{PM} = 1 - (0{,}469) \tag{4.2}$$

$$F_{PM} = 0{,}531 \tag{4.3}$$

4.1.2 Determinação da proporção EPS / adesivo

Para definição do traço EPS/adesivo a ser empregado na fabricação dos corpos de prova adotou-se como referência a massa específica aparente do EPS comercial tipo 5 (22,5 kg/m^3), que equivale ao valor intermediário dentro da classificação estabelecida pela NBR 11752 - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial.

A massa específica aparente é resultado da razão entre a massa e o volume total ocupado pelo corpo, dessa forma, a massa total de cada amostra ($\boldsymbol{M_T}$) foi determinada a partir do produto da massa específica aparente do EPS tipo 5 ($\boldsymbol{ME_{22}}$) pelo volume dos corpos de prova ($\boldsymbol{V_{cp}}$) (4.5), conforme demonstra-se a seguir:

A partir da $\boldsymbol{ME_{22}}$ (kg/m^3),

$$ME_{22} = \frac{M_T}{V_{cp}} \tag{4.4}$$

Calculou-se a $\boldsymbol{M_T}$ (kg) de cada amostra,

$$M_T = ME_{22} \times V_{cp} \tag{4.5}$$

$$M_T = 22{,}5 \times 215{,}6 \text{ x } 10^{-6} \tag{4.6}$$

$$M_T = 4{,}85 \text{ x } 10^{-3}\ kg \tag{4.7}$$

Aplicou-se o $\boldsymbol{F_{PM}}$ juntamente com a $\boldsymbol{M_T}$ para determinação das massas de EPS/adesivo em cada uma das proporções previamente definidas ($\boldsymbol{P_1}$ *a* $\boldsymbol{P_5}$),

$$M_T = 1_{EPS} + (F_{PM}) \times P_{1-5\,ADESIVO} \tag{4.8}$$

$$M_T = 1_{EPS} + (0{,}5175) \times P_{1-5\,ADESIVO} \tag{4.9}$$

Os resultados corrigidos quanto à perda de massa foram tabulados para a confecção das amostras (Tabela 4.1.2),

Tabela 4.1.2 – Proporção de EPS/adesivo para ensaio de rendimento

AMOSTRA	PROPORÇÃO EPS/ADESIVO	EPS	ADESIVO CORRIGIDO
AMOSTRA 01	1:1/4	4,28 g	1,07 g
AMOSTRA 02	1:1/3	4,12 g	1,37 g
AMOSTRA 03	1:1/2	3,83 g	1,92 g
AMOSTRA 04	1:1	3,17 g	3,17 g
AMOSTRA 05	1:2	2,35 g	4,71 g

Em análise posterior dos corpos de prova escolheu-se a proporção P_3 (1 medida de EPS para 1/2 medida de adesivo) por apresentar boa coesão para o menor consumo de adesivo conforme descrito no item 3 - MATERIAIS E MÉTODOS (3.3.3 Ensaio de rendimento da mistura EPS/adesivo, p. 49). O valor foi substituído na equação (4.9) resultando no traço em peso para confecção dos corpos de prova e placas de EPS reciclado (4.10).

$$M_{T(g)} = 1_{EPS} + (0{,}5175) \times {}^{1}\!/_{2\,ADESIVO} \tag{4.10}$$

Calcularam-se as quantidades de EPS e adesivo para a fabricação dos corpos de prova e placas pela aplicação da equação (4.9) em planilhas eletrônicas (Tabela 4.1.3 e Tabela 4.1.4).

Tabela 4.1.3 – Determinação das massas dos corpos de prova.

MASSA ESPECÍFICA kg/m³		**VOLUME BRUTO (esp.= 12 cm) (V_{CP})** dm³	**MASSA TOTAL (g)** $M_T = \rho \times V_{CP}$	PERDA DE MASSA $P_m M$ %	FATOR DE CORREÇÃO F_{PM} (1 - 0,469) %	**MASSA DE EPS (g)**	**MASSA DE ADESIVO (g)**
						$1_{EPS} + (0{,}53) \times {}^{1}\!/_{2\,ADESIVO} = M_{T(g)}$	
ρ_{65}	**65,0**	14,0	890,0	46,9	53,1	**704,0**	**352,0**
ρ_{130}	**130,0**	14,0	1781,0	46,9	53,1	**1407,0**	**704,0**

Tabela 4.1.4 - Determinação das massas das placas.

MASSA ESPECÍFICA kg/m³		**VOLUME BRUTO (esp.= 6cm) (V_{CP})** dm³	**MASSA TOTAL (g)** $M_T = \rho \times V_{CP}$	PERDA DE MASSA $P_m M$ %	FATOR DE CORREÇÃO F_{PM} (1 - 0,469) %	**MASSA DE EPS (g)**	**MASSA DE ADESIVO (g)**
						$1_{EPS} + (0{,}53) \times {}^{1}\!/_{2\,ADESIVO} = M_{T(g)}$	
ρ_{65}	**65,0**	7,0	445,0	46,9	53,1	**352,0**	**176,0**
ρ_{130}	**130,0**	7,0	891,0	46,9	53,1	**704,0**	**352,0**

Escusando-se o fato da composição de um traço ser uma contribuição modesta dentro dessa pesquisa, aquela representa, no entanto, um avanço em relação aos trabalhos anteriores, que não apresentaram relação agregado/aglomerante para fabricação das peças de EPS reciclado.

4.2 DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Os experimentos para análise das propriedades termofísicas dos Ec, E65 e E130 foram realizados com a sonda de agulha ref.: APII210402, que opera na faixa de leitura para condutividade térmica de 0,015 a 0,20 ± (5% + 0,003) W/m.K, e para capacidade calorífica - 4,0 x 10^4 − 1,5 x 10^6 ± (15% + 1 x 10^3) J/m^3.K.

Foram utilizados três corpos de prova para cada tipo de amostra nos quais se foram feitas três medições. As médias dos resultados, obtidas por tratamento em planilha eletrônica, foram apresentadas sob formato de gráficos para melhor interpretação (Figura 4.2,Figura 4.3 e Figura 4.4).

Considerando-se a faixa de incerteza de medição associada ao equipamento, os resultados de condutividade térmica (λ) obtidos nos ensaios de determinação das propriedades termofísicas podem ser considerados idênticos para os Ec, E65 e E130.

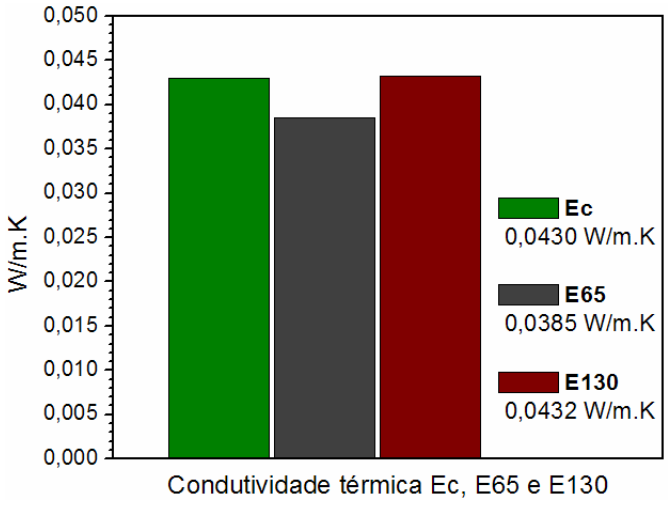


Figura 4.2 – Propriedades térmofísicas: condutividade térmica.

Uma vez que o produto da massa específica (ρ) pelo calor específico (c_p) do material representa a sua capacidade calorífica volumétrica (C), vê-se coerência nas análises dos corpos de prova. Como os valores de c_p são semelhantes para os Ec, E65 e E130, haja vista terem a mesma constituição física, atribui-se à ρ a responsabilidade pela variação de C (Figura 4.3).

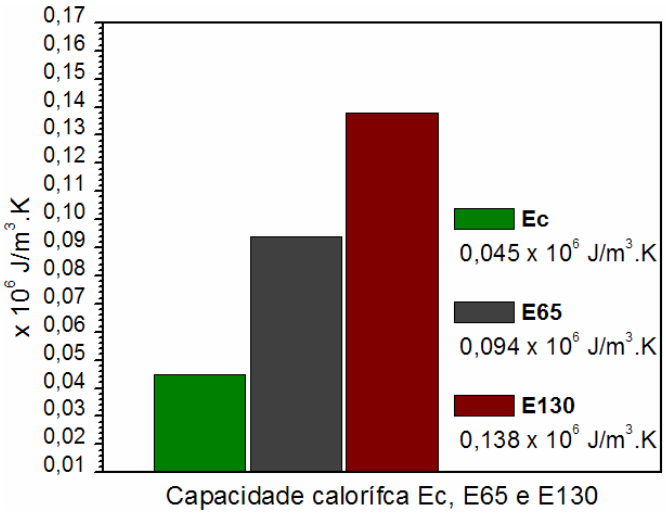


Figura 4.3 – Propriedades térmofísicas: capacidade calorífica.

Os resultados das análises de difusividade térmica (α) reafirmam a coerência das análises anteriores, posto que α expressa a capacidade do material de conduzir a energia térmica (λ) em relação à capacidade de armazená-la (ρ x c_p) (4.11).

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \times c_p} \tag{4.11}$$

Embora nos resultados se apresente clara a distinção entre Ec, E65 e E130, esses valores são muito próximos na realidade.

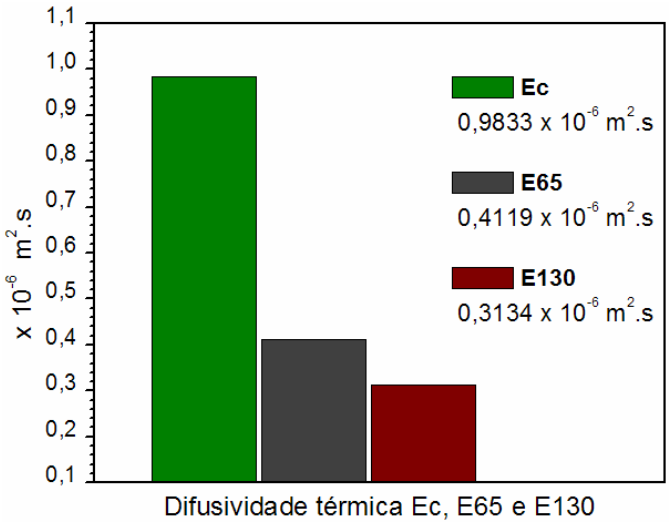


Figura 4.4 – Propriedades térmofísicas: difusividade térmica.

4.3 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO TÉRMICA NA CÂMARA HEKRYOS

4.3.1 Estabilização Térmica

Nos testes de avaliação de estabilidade térmica da câmara HeKryos observou-se que o compartimento de baixa temperatura (***CB$_t$***) atingiu regime permanente após 6 horas de operação, alcançando a temperatura (T) de aproximadamente -25,0 ºC (Figura 4.5).

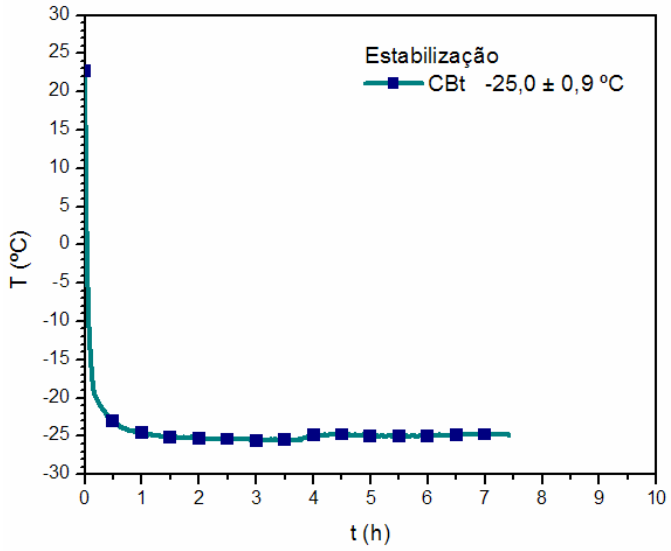


Figura 4.5 – Estabilização de temperatura no CB$_t$.

Para o compartimento de alta temperatura (***CA$_t$***) a estabilização térmica ocorreu a aproximadamente 65,0 ºC, após 8 horas de operação contínua (Figura 4.6).

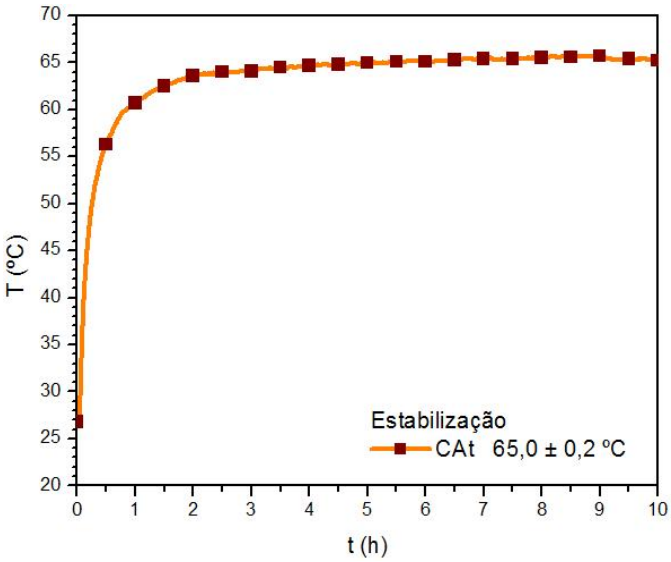


Figura 4.6 – Estabilização de temperatura no CA$_t$.

4.3.2 Painéis-sanduíche – cp sob regime permanente

Observando-se o gráfico comparativo das temperaturas no CA_t durante a realização dos experimentos (Figura 4.7), verifica-se que a temperatura ambiente foi maior para o corpo de prova de EPS comercial (Ec), em torno de 79,7 ºC.

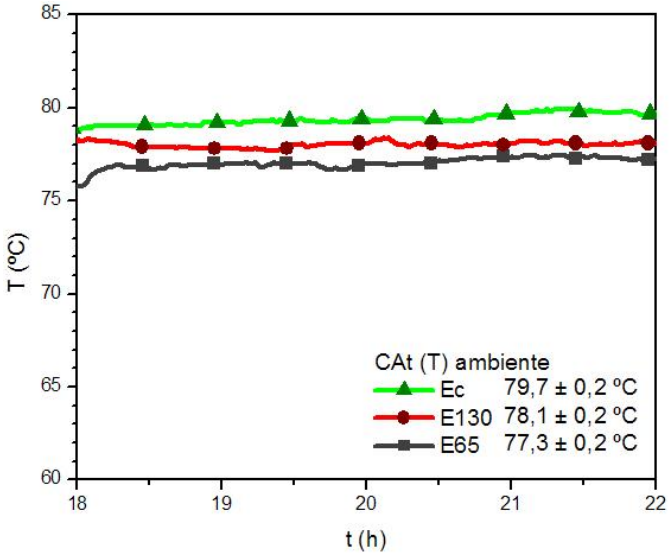


Figura 4.7 – CA_t – Temperatura do ar durante os experimentos.

Sendo a capacidade de isolação do Ec ligeiramente superior, quando comparado aos demais, menos energia passará através da amostra. Como preconiza a primeira lei da termodinâmica que a energia se conserva, o calor que não atravessou o corpo de prova (cp), retorna ao ambiente fazendo sua temperatura (T) aumentar. A diferença entre E65 e E130 foi de menos de 1 ºC, portanto dentro da faixa de incerteza classicamente adotada para termopares, o que torna seus valores tecnicamente equivalentes.

Comparando-se as médias das temperaturas superfíciais dos corpos de prova no CA_t (Figura 4.8), vê-se que o cp de Ec apresenta T aproximadamente 2 ºC maior que a dos outros corpos de prova. Isso também é consequência da lei de conservação da energia. Seguindo a tendência de comportamento da T ambiente as temperaturas dos corpos de prova de E65 e E130 coincidiram.

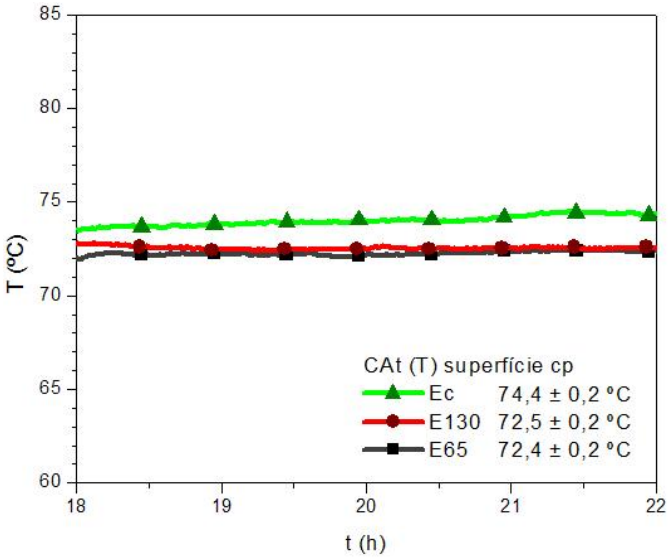


Figura 4.8 – Médias de T nas superfícies dos corpos de prova.

Os dados de temperatura coletados na interface entre a argamassa e o isolante térmico, apontam a coincidência dos valores durante o regime permanente (Figura 4.9), apesar da diferença de densidade, estando o ar confinado nos poros dos materiais, a transferência de calor se processa com praticamente a mesma eficiência.

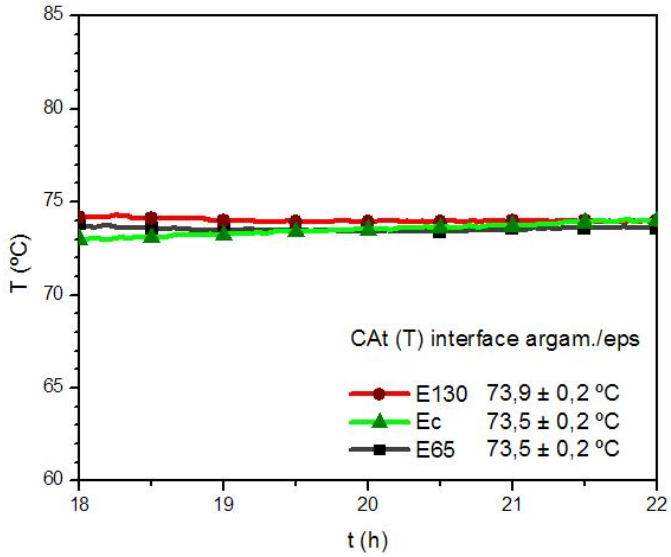


Figura 4.9 – T na interface argamassa/EPS.

4.3.3 Comparativo de isolação térmica dos painéis-sanduíche

Analisando-se o conjunto dos dados de temperatura em regime permanente, coletados em cada experimento, foi possível estabelecer comparações quanto à capacidade de isolação de cada um dos materiais estudados (Figura 4.10, Figura 4.11 e Figura 4.12).

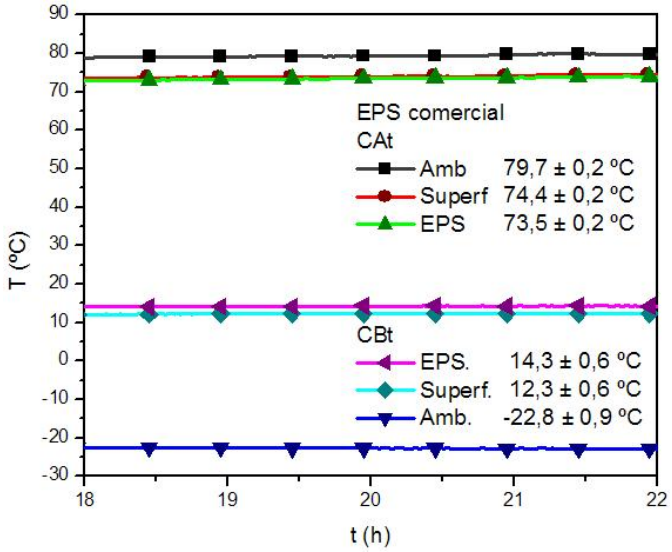


Figura 4.10 – T em regime permanente - cp de Ec.

Temperatura superficial no CA_t para o cp de Ec = 74,4 ± 0,2 ºC.

Temperatura superficial no CB_t para o cp de Ec = 12,3 ± 0,6 ºC.

Diferença de temperatura de superfície a superfície para o cp de Ec = 62,1 ºC.

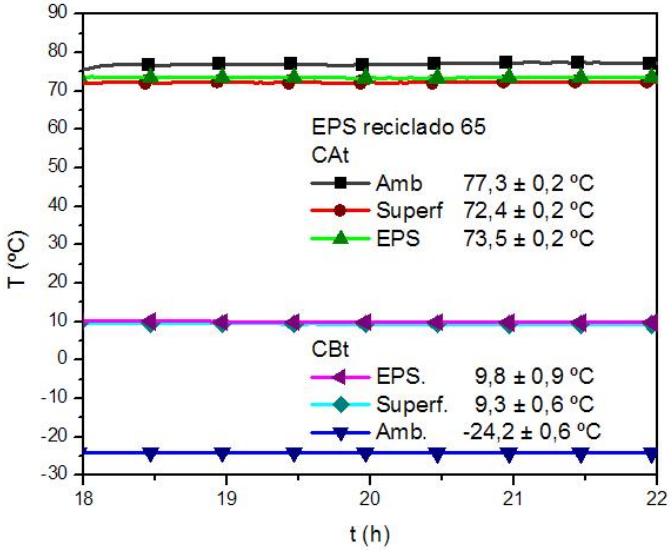


Figura 4.11 – T em regime permanente - cp de E65.

Temperatura superficial no CA_t para o cp de E65 = 72,4 ± 0,2 ºC.

Temperatura superficial no CB_t para o cp de E65 = 9,3 ± 0,6 ºC.

Diferença de temperatura de superfície a superfície para o cp de E65 = 63,1 ºC.

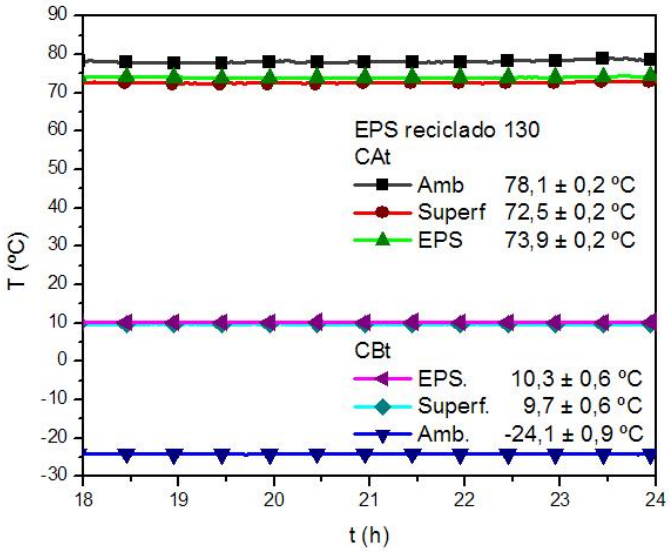


Figura 4.12 – T em regime permanente - cp de E130.

Temperatura superficial no CAt para o cp de E130 = 72,5 ± 0,2 ºC.

Temperatura superficial no CB_t para o cp de E130 = 9,7 ± 0,6 ºC.

Diferença de temperatura de superfície a superfície para o cp de E130 = 62,8 ºC.

Constatou-se que os painéis produzidos com EPS reciclado tiveram capacidade de isolação térmica praticamente idêntica aos produzidos com EPS comercial. Portanto pode-se afirmar que, do ponto de vista técnico, a proposta é viável. Quanto à viabilidade econômica, entende-se que ao tentar quantificá-la, é imprescindível considerar que a retirada de resíduos do ambiente, muitas vezes, tem valor inestimável.

4.4 PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO

4.4.1 Transmitância térmica (U), atraso térmico (φ) e fator solar (FS_o).

A NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2 estabelece métodos para cálculo de parâmetros de desempenho térmico de elementos e componentes de edificações. Conforme o que preconiza a norma, foram calculados os valores da transmitância térmica (U); atraso térmico (φ) e o fator solar (FS_o) dos painéis-sanduíche de Ec, E65 e E130 (Tabela 4.4.1), que apresentaram valores muito próximos (APÊNDICE 7 – CÁLCULOS DE DESEMPENHO TÉRMICO, p. 96).

Tabela 4.4.1 – Parâmetros de desempenho térmico

Material	Transmitância térmica – U ($W/m^2.K$)	Atraso térmico – φ (h)	Fator solar – FS_o %
Ec	0,85	5,6	1,7
E65	0,78	6,0	1,6
E130	0,86	5,8	1,7

A parte 3 da referida norma define o zoneamento bioclimático brasileiro e apresenta diretrizes construtivas para habitações de interesse social, visando adequação da edificação ao clima local (Tabela 4.4.2).

Tabela 4.4.2 - Parâmetros mínimos de desempenho térmico.

Material	Material	Transmitância térmica – U ($W/m^2.K$)	Atraso térmico – φ (h)	Fator solar – FS_o %
Paredes	**Leve**	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	**Leve isolada**	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3 – Anexo C – Tabela C.2.

Confrontando-se os resultados dos E65 e E130 com os parâmetros mínimos exigíveis para paredes e tetos, observa-se que os valores de transmitância térmica (U) e fator solar (FS_o)

os habilitam para aplicação em vedações do tipo pesada. Contudo os valores de atraso térmico (φ) não atendem à norma: Por um lado são muito elevados para serem aplicados em vedações do tipo leve refletora, cujo atraso térmico máximo deve ser $\varphi \leq 4{,}3$ h, para paredes e $\varphi \leq 3{,}3$ h para tetos. Por outro, são insuficientes para aplicação como vedações pesadas, podendo, contudo, ser corrigido com uma pequena alteração da espessura do isolamento de 4 cm para 6 cm, o que elevaria o atraso térmico do E65 para $\varphi = 7{,}3$ h e do E130 para $\varphi = 7{,}2$ h (APÊNDICE 8 – CÁLCULO DO AUMENTO DA ESPESSURA DO EPS. p. 100).

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da metodologia aplicada produziu resultados coerentes com os objetivos propostos para a pesquisa. As principais conclusões alcançadas podem ser expostas de forma concisa na descrição a seguir:

O principal resultado da pesquisa aponta para a vantagem de se aproveitar o resíduo de EPS oriundo de embalagens de alimentos substituindo o EPS industrializado na fabricação de componentes construtivos. Assim contribuindo para redução do passivo ambiental, uma vez que, do ponto de vista técnico, o material reciclado apresentou comportamento próximo ao do produto industrializado comercialmente disponível.

O fato de se ter aumentado a massa específica aparente do material reciclado, sem alterações significativas das propriedades termofísicas, representa um ponto favorável ao seu emprego em escala industrial.

Pela facilidade de processamento do material reciclado e simplicidade de execução das peças, a técnica pode ser inserida em políticas públicas governamentais de incentivo à difusão de tecnologias alternativas para uso em sistemas de autoconstrução e HIS.

Confeccionar peças com EPS reciclado com elevados valores de massa específica possibilita maior resgate de resíduos dispostos inadequadamente, além de contribuir para aumento da vida útil de aterros sanitários pela redução dos volumes a serem confinados.

A câmara HeKryos, desenvolvida para os experimentos de desempenho térmico, funcionou adequadamente, com capacidade de operar com segurança em temperaturas superiores às alcançadas nos experimentos, podendo atingir 150 ºC em uso contínuo por longos períodos.

A utilização da câmara HeKryos proporcionou significativa economia no consumo de energia elétrica se comparada ao processo tradicionalmente empregado nos ensaios de desempenho térmico de componentes construtivos.

Os ensaios realizados focaram o estudo de uma metodologia de execução de painéis-sanduíche com EPS reciclado onde a viabilidade técnica foi aferida pela determinação de propriedades termofísicas e estudos de desempenho térmico. Por esse motivo grande

quantidade de ensaios referentes a painéis-sanduíche não foram considerados por não fazerem parte dos objetivos propostos. Isso contudo, não compromete a confiabilidade da pesquisa. Dessa forma, considera-se que os objetivos propostos foram alcançados satisfatoriamente e ensejam continuidade.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Visando a continuidade da pesquisa sugere-se aprofundar a investigação de alguns aspectos complementares ao estudo dos painéis-sanduíche, que não foram aqui considerados por extrapolarem os objetivos propostos:

Estudar a produção de EPS reciclado com massa específica aparente superior à do E130.

Estudar o desempenho estrutural dos painéis-sanduiche com EPS reciclado do ponto de vista da:

a) Resistência a cargas horizontais uniformemente distribuídas e concentradas;
b) Resistência a carregamentos verticais uniformemente distribuídos e concentrados;
c) Resistência a impacto de corpo mole;
d) Resistência à flexão.

Avaliar a produção e emprego dos painéis-sanduiche com EPS reciclado, do ponto de vista econômico-financeiro, em programas de habitação de interesse social.

REFERÊNCIAS

AKTACIR, Mehmet Azmi; BÜYÜKALACA, Orhan; YILMAZ, Tuncay. A case study for influence of building thermal insulation on cooling load and air-conditioning system in the hot and humid regions. **Applied Energy**. n. 87, p. 599 – 607. Elsevier, 2010.

ANDRADE, Felipe Jordani. **Resíduos de construção e demolição: Problemas e oportunidades.** Associação dos Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de São Carlos. São Carlos, 2008.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007.** Coord. Sílvia Martarello Astolpho. São Paulo: Ed. Expressão, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ———. **NM 248/2001** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

———. **NBR 11.949** - Poliestireno expandido para isolação térmica – Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2007.

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

———. **NBR 15220-2/2005** – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto com EPS como Agregado Graúdo**. 2003. 50 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BEZERRA, Luciano André Cruz; MARINHO, George Santos. Elementos de alvenaria termo-isolante produzidos com poliestireno expandido reciclado. In.: **Mens Agitat**/ Academia Roraimense de Ciências. Vol. III, n. 2, 2008, p.17-26. ISSN 1809-4791.

BLENGINI, Gian Andrea. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. **Building and Environment**. n. 44, p. 319 – 330. Elsevier, 2009.

BORGES, Jacques Cousteau da Silva. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolação térmica.** 2009. 80 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Decreto-lei nº 4059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Publicado no D.O.U. de 20/12/2001 – Seção I – E.

———. Ministério das Minas e Energia. Lei nº 10295, de 17 de outubro de 2001. Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Publicado no D.O.U. de 18.10.2001, seção 1, p. 1, v. 138, n. 200.

———. Ministério das Minas e Energia/Grupo Técnico de Edificações/ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)/Eletrobrás – Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL)/ Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE - UFSC. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Brasília, 2009.

CALLISTER Jr., William D. 1940. **Materials science and engineering: An introduction**. 7ed. New York: John Wilei and Sons, Insc. 2007.

CATTO, Eleandro; PROVENZANO, Thaís L.; BARTH, Fernando. **Tecnologia alternativa para construção de habitação de interesse social com painéis pré-fabricados de concreto armado**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 1., 2008, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: FIEMA/PROAMB®, 2008. 1 CD-ROM.

CORDEIRO, Martha Eleonora Venâncio Mignot. CONCEIÇÃO, Patrícia Marluci da. LIMA, Thiago Vicente. **A educação ambiental e o uso do solo-cimento**. In.: **Vértices** / Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos dos Goytacazes. Vol. 8, n. 1/3 (jan/dez. 2006).

COUTINHO, Antonio Souto. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho.** 2ª ed. Ed. Universitária, João Pessoa, 2005.

ESIN, Tulay. A Study Regarding the Environmental Impact Analysis of the Building Materials Production Process (In Turkey). **Building and Environment**, n. 42. ELSEVIER. 2007.

GAO, Weijun; ARIYAMA, Takahiro; OJIMA, Toshiro; et al. Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings. **Energy and Buildings 33**, Elsevier, 2001.

HEHL, Walter Caiaffa. **Reservatórios e Biodigestores de Argamassa Armada**. In. Tecnologia de Edificações. São Paulo: PINI,1988.

HOFMAN, Karen; LI, Xianguo. Canada's energy perspectives and policies for sustainable development. **Applied Energy**. n 86, p. 407 – 415. Elsevier, 2009.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of buidings materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**. n 40, p. 837 – 848. Elsevier, 2008.

INCROPERA, Frank P.; DeWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 4º ed. Trad.: Sérgio Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1998.

KREITH, Frank; GOSWAMI, D. Yogi. **The CRC handbook of mechanical engineering**. – 2a ed. ISBN 0-8493-0866-6. London. CRC Press LLC, 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo. PW Editores, 1997.

———, Roberto. et al. **DesempenhoTérmico de Edificações (Apostila)**. UFSC – CTC - Depto. Eng. Civil – LabEEE. Florianópolis, 2005.

MEDEIROS, Dorivalda Santos; BEZERRA, Luciano André Cruz; MARINHO, George Santos. **Isolamento térmico de cobertura com EPS reaproveitado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Laboratório de Transferência de Calor. Natal, 2003a.

MEDEIROS, D. S.; MARINHO, G. S. **Recycled EPS (expanded polystyrene) from food's packaging as a thermal insulation of roofs**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Laboratório de Transferência de Calor. Natal, 2003b.

MEDEIROS, Otoniel Marcelino de. **Alternativas de uso e decomposição de resíduo plástico termofixo.** 2005. 139 fl. Tese de doutorado (Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307. **Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. DOU no 136, Seção 1, páginas 95-96 de 17 de julho de 2002.

NATIONAL GEOGRAPHIC – Brasil. **Recarregando o Planeta – Energia para o futuro**. Edição Especial – Rio de Janeiro: Ed. Abril, 2009.

NEL, Willem P.; ZYL, Gerhardus van. Defining limits: Energy constrained economic growth. **Applied Energy**. n 87, p. 168 – 177. Elsevier, 2010.

OLIVEIRA, Alexandre Gomes de. **Proposta de método para avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares em clima quente-úmido**. 2006. 172 fl. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

OLIVEIRA, Danielle; LIMA, Munique; MEIRA, Gibson; et al. **Estudo do concreto utilizando agregado miúdo reciclado: avaliação da resistência mecânica**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa. Anais, 2007. 1 CD-ROM.

PEREIRA, Edson da Costa. **Associação Técnico-científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL)**. Entrevista concedida em 28 de agosto de 2007.

RIBEIRO FILHO, José Nivaldo.; SILVA, George Cruz; LUCENA, Kennedy Flávio M.; et al. **Projeto e execução de casa ecoeficiente em Campina Grande-PB**. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Natal, 2006.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2ed rev. e ampl. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986.

SATO, Neide Matiko Nakata. **Propriedades do Poliestireno Expandido, do Poliestireno Estruturado e da Espuma de Poliuretano para Fins de Isolação Térmica**. In Tecnologia de Edificações/Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI. 1988.

SENAI-PB. Federação das Indústrias do Estado da Paraíba. Centro de Inovação e Tecnologia Industrial (CITI). **Descritivo Técnico Casa Ecoeficiente - Laboratório de Energias Renováveis**. Campina Grande, 2006.

SHAFIEE, Shahriar; TOPAL, Erkan. A long-term view of worldwide fossil fuel prices. **Applied Energy**. n. 87, p. 988 – 1000. Elsevier, 2010.

SILVA, Elvan. **Uma introdução ao projeto arquitetônico.** 2 ed. rev. e ampliada. Porto Alegre, Editora UFRGS, 2006.

SILVA, Francisco Raimundo da. **Estudo da radiação ultravioleta na Cidade de Natal-RN**. 74 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

TESSARI, Janaina. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. 2006. 102 fl. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THORMARK, Catarina. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**. n 41, Elsevier, 2006.

UNITED STATES OF AMERICA – The White House - Office of the Press Secretary - **Obama Administration Launches New Energy Efficiency Efforts**. Publicado em 29 de junho de 2009. Washington, 2009. Disponível em: http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Obama-Administration-Launches-New-Energy-Efficiency-Efforts/. Acessado em 10 de julho de 2009.

WACHSMANN, Ulrike. et al. Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996. **Applied Energy**. n 86, pages 578 – 587. Elsevier, 2009.

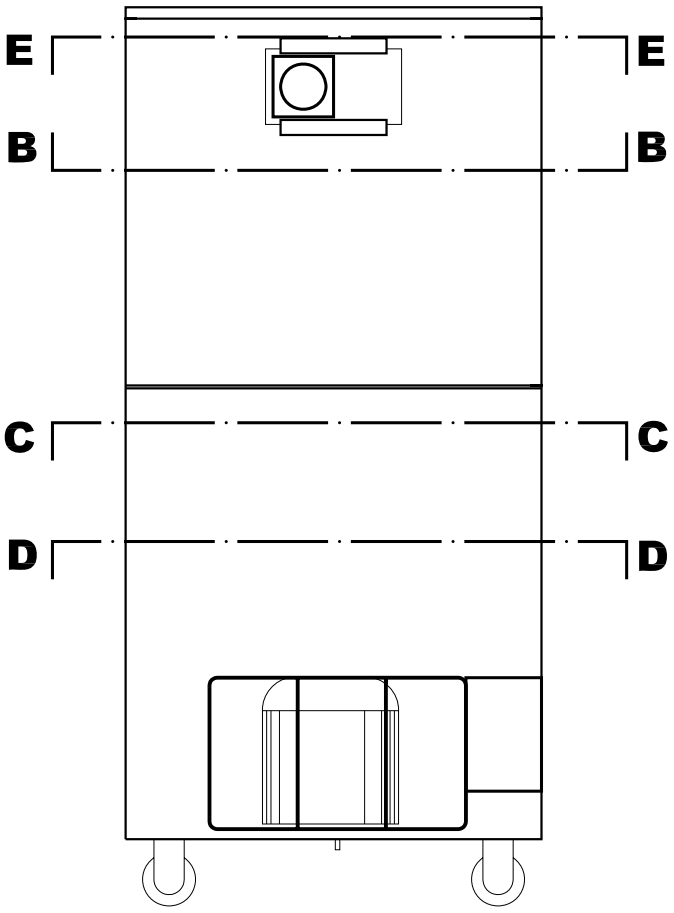
FONTES CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023/2002** – Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

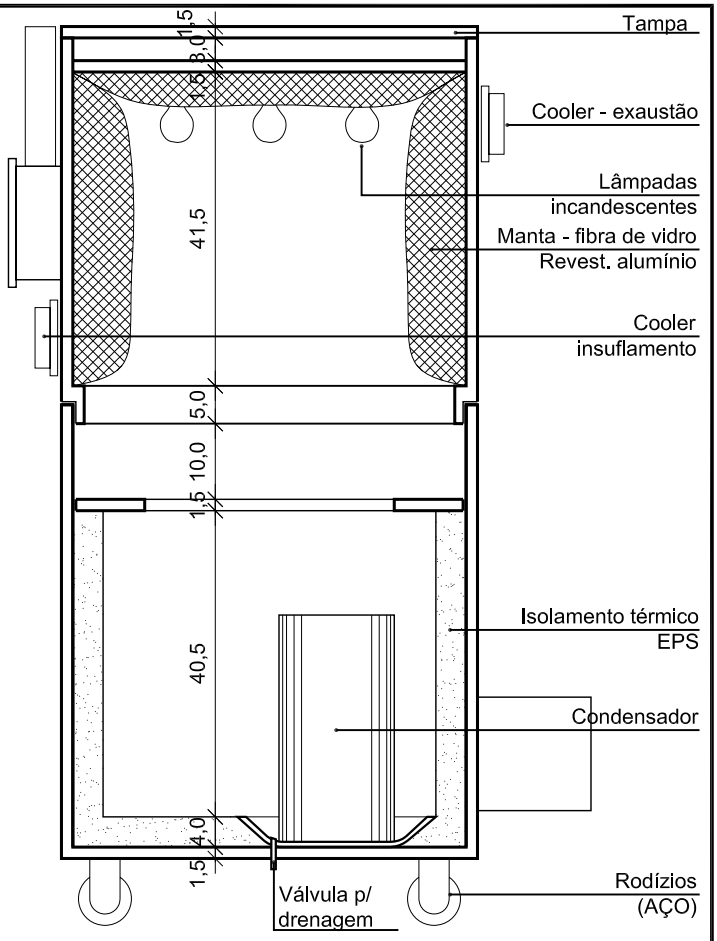
SILVA, José Maria da. **Apresentação de trabalhos acadêmicos: normas e técnicas** / José Maria da Silva, Emerson Sena da Silveira. Petrópolis-RJ: Vozes, 2007.

APÊNDICES

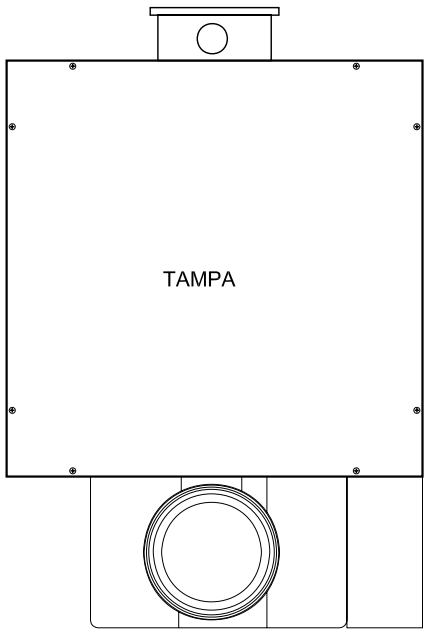
APÊNDICE 1 – PROJETO: CÂMARA HEKRYOS.



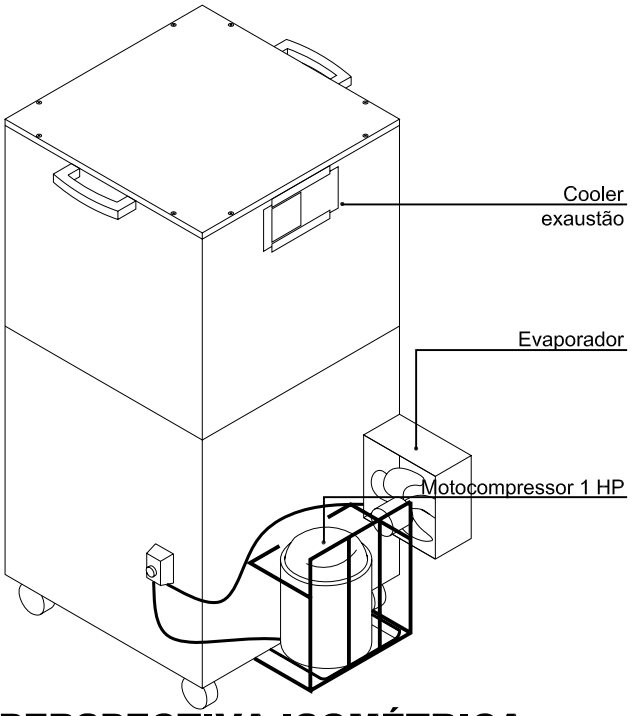
VISTA POSTERIOR
ESCALA 1/10



SECÇÃO AA
ESCALA 1/10

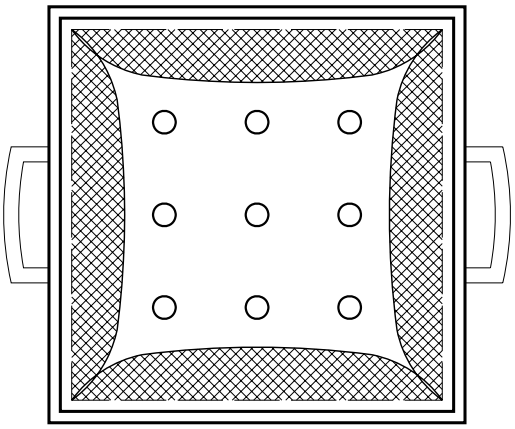


VISTA SUPERIOR
ESCALA 1/10

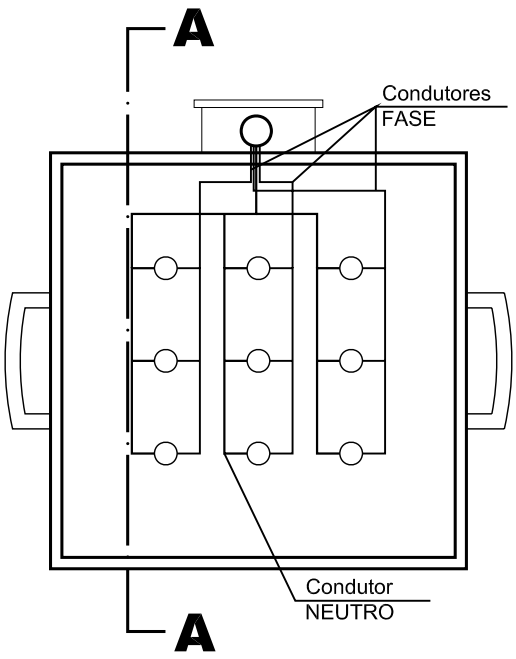


PERSPECTIVA ISOMÉTRICA
SEM ESCALA

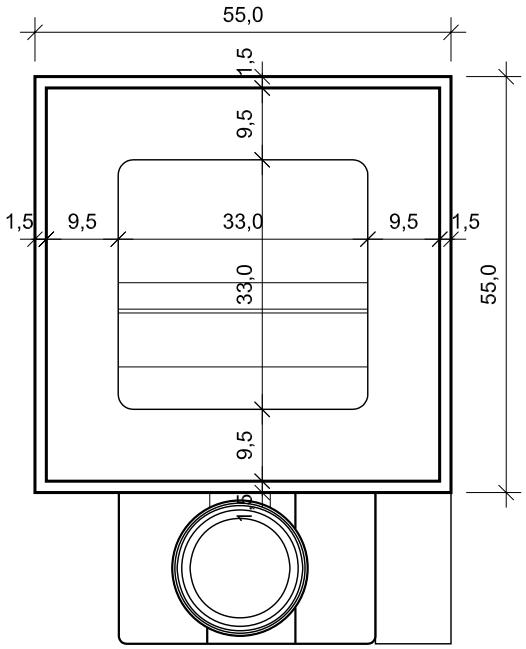
UFRN - PPGEM **PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS**	**FOLHA** **01/03**
PROJETO: HeKryos - Câmara de ensaio de desempenho térmico	



SECÇÃO BB
ESCALA 1/10

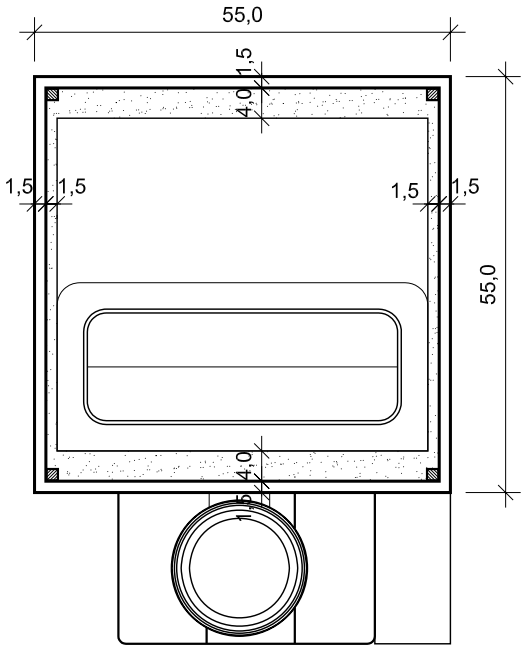


SECÇÃO EE
ESCALA 1/10



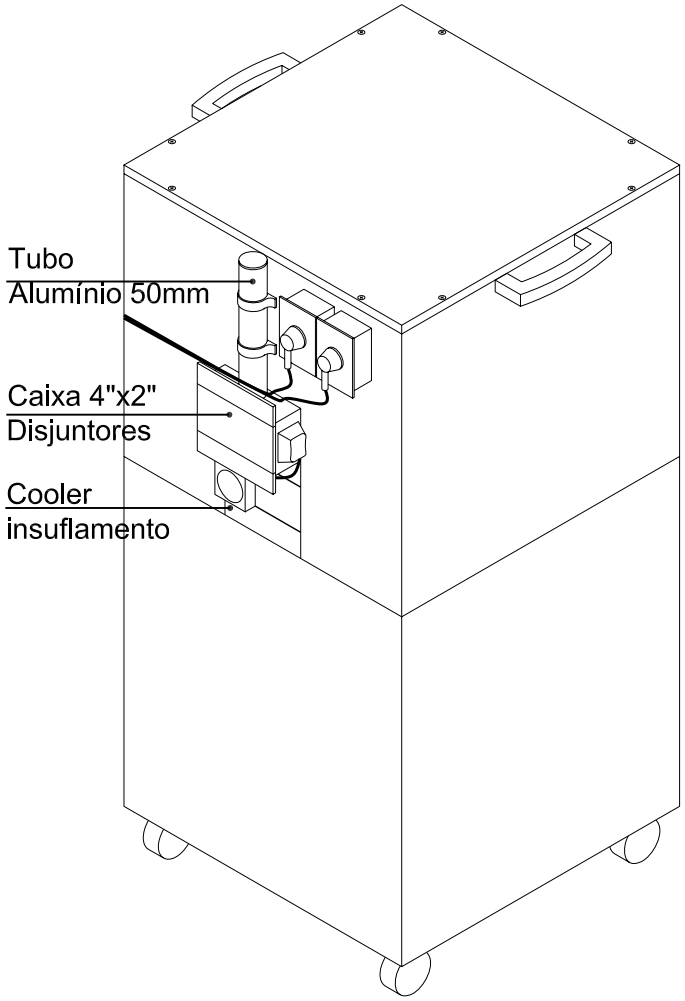
SECÇÃO CC
ESCALA 1/10

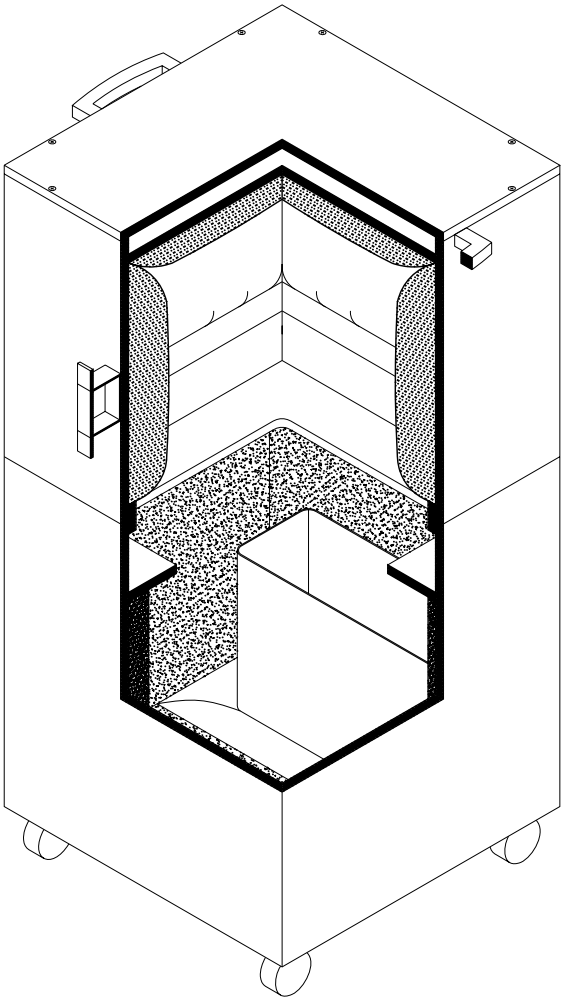
87



SECÇÃO DD
ESCALA 1/10

UFRN - PPGEM **PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS**	**FOLHA** **02/03**
PROJETO: HeKryos - Câmara de ensaio de desempenho térmico	





PERSP.
ISOMÉTRICA SEM ESCALA

CORTE ESQUEMÁTICO
SEM ESCALA

UFRN - PPGEM **PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS**	**FOLHA** **03/03**
PROJETO: HeKryos - Câmara de ensaio de desempenho térmico	

APÊNDICE 2 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO EPS.

Composição granulométrica do EPS.

SEQUÊNCIA DE PENEIRAS		MASSA RETIDA	MASSA RETIDA
Mm/μm	ABNT/ASTM	g	%
25	1”	0	0
19	3/8	0,2	0,7
9,5	3/8	4,2	14,0
6,3	1/4	14,7	49,0
4,75	4	9,1	30,3
2	10	1,2	4,0
FUNDO DE PENEIRA		0,6	2,0
TOTAL		30	100

APÊNDICE 3 - PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO EPS

Propriedades termofísicas do EPS comercial (ρ = 12 kg/m^3)

RÓTULO DA AMOSTRA	ENSAIO	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	CAPACIDADE CALORÍFICA	DIFUSIVIDADE TÉRMICA
		K (w/m.K)	Cρ.E+6 (J/m^3.K)	α.E-6 (m^2/s)
CP 01 Ref.: cpcom01	CPcom 0101	0, 0434	0,045	0,975
	CPcom 0102	0,0434	0, 046	0,987
	CPcom 0103	0, 0458	0, 044	0,988
CP 02 Ref.: CPcom02	CPcom 0201	0, 0434	0,045	0,975
	CPcom 0202	0, 0458	0, 046	0,987
	CPcom 0203	0, 0434	0, 044	0,988
CP 03 Ref.: CPcom03	CPcom 0301	0,0405	0,045	0,975
	CPcom 0302	0,0405	0, 046	0,987
	CPcom 0303	0,0405	0, 044	0,988
Média		**0,0412**	**0,045**	**0,9833**
Desvio padrão		**0,0015**	**0,0000**	**0,0063**

Propriedades termofísicas do EPS reciclado (ρ = 65 kg/m^3)

RÓTULO DA AMOSTRA	ENSAIO	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	CAPACIDADE CALORÍFICA	DIFUSIVIDADE TÉRMICA
		K (w/m.K)	Cρ.E+6 (J/m^3.K)	α.E-6 (m^2/s)
CP 01 Ref.: CP6501	CP650101	0,0397	0,100	0,397
	CP650102	0,0393	0,100	0,395
	CP650103	0,0396	0,099	0,401
CP 02 Ref.: CP6502	CP650201	0,0384	0,083	0,461
	CP650202	0,0382	0,084	0,456
	CP650203	0,0381	0,083	0,458
CP 03 Ref.: CP6503	CP650301	0,0367	0,097	0,380
	CP650302	0,0384	0,101	0,379
	CP650303	0,0385	0,101	0,380
Média		**0,0385**	**0,094**	**0,4119**
Desvio padrão		**0,0009**	**0,008**	**0,0358**

Propriedades termofísicas do EPS reciclado (ρ = 130 kg/m3)

RÓTULO DA AMOSTRA	ENSAIO	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	CAPACIDADE CALORÍFICA	DIFUSIVIDADE TÉRMICA
		K (w/m.K)	Cρ.E+6 (J/m^3.K)	α.E-6 (m^2/s)
CP 01 Ref.: CP13001	CP1300101	0,0429	0,139	0,308
	CP1300102	0,0433	0,139	0,311
	CP1300103	0,0438	0,142	0,308
CP 02 Ref.: CP13002	CP1300201	0,0430	0,127	0,338
	CP1300202	0,0430	0,130	0,331
	CP1300203	0,0432	0,130	0,332
CP 03 Ref.: CP13003	CP1300301	0,0430	0,146	0,295
	CP1300302	0,0431	0,145	0,297
	CP1300303	0,0433	0,144	0,301
Média		**0,0432**	**0,138**	**0,3134**
Desvio padrão		**0,0003**	**0,007**	**0,0161**

APÊNDICE 4 – CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES.

Formulário padrão para calibração de termopares - CB_t

CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES

Equipamento:
Calibrador de Banho Térmico de Bloco Seco - PRESYS - T - 35N

Faixa de temperatura:	**de - 35 °C a 130 °C**	Temperatura ambiente:	**23** °C	Data da calibração:	**29/7/2009**
Instrumento:	**Termopar**	Identificação Termopar:			**TP - B - 01**
Modelo:	**Termopar tipo "T"**	Faixa nominal:			**-184 °C a 371 °C**

	Indicação Padrão			Indicação Mensurando		
Valor nominal	série I	série II	série III	série I	série II	série III
+ 5 °C	5,00	5,00	5,00	4,9	4,9	4,9
- 5 °C	-5,00	-5,00	-5,00	-5,1	-5,1	-5,0
- 25 °C	-25,00	-25,00	-25,00	-24,9	-25,0	-24,9

Formulário padrão para calibração de termopares - CA_t

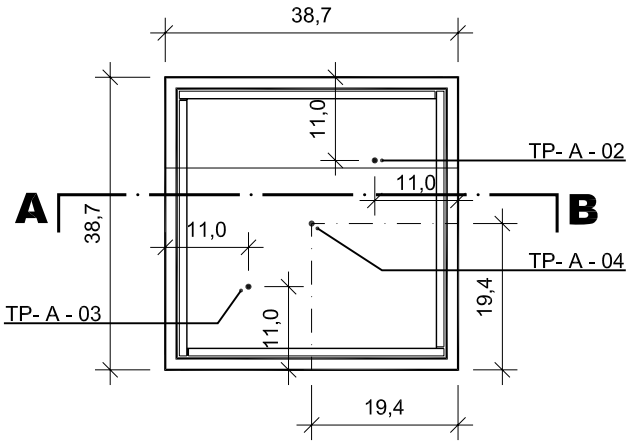
CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES

Equipamento:
Calibrador de Banho Térmico de Bloco Seco - PRESYS - T - 350P

Faixa de temperatura:	**Temp. ambiente até 350 °C**	Temperatura ambiente:	**23** °C	Data de calibração:	**29/7/2009**
Instrumento:	**Termopar**	Identificação Termopar:			**TP - A - 01**
Modelo:	**Termopar tipo "T"**	Faixa nominal:			**-184 °C a 371 °C**

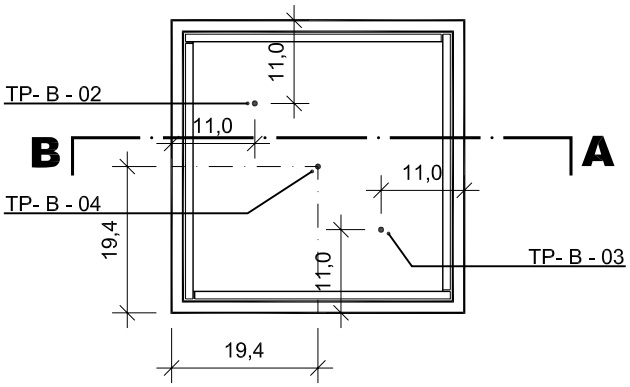
	Indicação Padrão			Indicação Mensurando		
Valor nominal	série I	série II	série III	série I	série II	série III
50 °C	50,00	50,00	50,00	49,9	50,0	50,1
60 °C	60,00	60,00	60,00	59,8	60,0	60,0
70 °C	70,00	70,00	70,00	69,8	70,0	70,0

APÊNDICE 5 – LOCAÇÃO DOS TERMOPARES



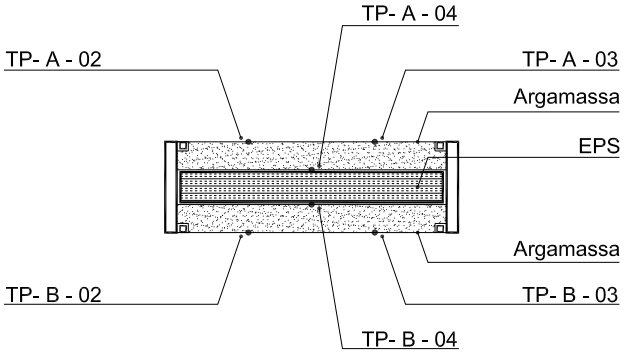
VISTA FRONTAL

ESCALA 1/10



VISTA POSTERIOR

ESCALA 1/10



SECÇÃO BA

ESCALA 1/10

UFRN - PPGEM **PAINÉIS-SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE EPS RECICLADO: METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS**	**FOLHA** **01/01**
PROJETO: Locação dos termopares no corpo de prova.	

APÊNDICE 6 – PERDA DE MASSA DO ADESIVO NA SECAGEM

Perda de massa do adesivo durante a secagem.

ADESIVO PVA	MASSA ÚMIDA (M_H) ≈5g	CAPSULA Pirex (g) (T_{cap})	MASSA UMIDA MASSA BRUTA ÚMIDA + CápsulaPirex 3180 (MB_H)		MASSA BRUTA SECA (MB_S)															
					1 HORA		3 HORAS		6 HORAS		12 HORAS		24 HORAS		48 HORAS		1 SEMANA			
			(g)	%	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)	(g)	(PM%)		
AMOSTRA 01	4,99	68,84	73,83	100,00%	72,68	23,05%	72,22	32,26%	71,97	37,27%	71,76	41,48%	71,57	45,29%	71,48	47,09%	71,60	44,69%		
AMOSTRA 02	5,01	67,23	72,24	100,00%	71,14	21,96%	70,61	32,53%	70,33	38,12%	70,10	42,71%	69,91	46,51%	69,82	48,30%	69,99	44,91%		
AMOSTRA 03	5,01	67,17	72,18	100,00%	71,04	22,75%	70,54	32,73%	70,24	38,72%	70,02	43,11%	69,83	46,91%	69,73	48,90%	69,90	45,51%		
AMOSTRA 04	4,99	71,4	76,39	100,00%	75,49	18,04%	74,82	31,46%	74,56	36,67%	74,35	40,88%	74,14	45,09%	73,96	48,70%	74,19	44,09%		
					Média	**21,45%**		**32,25%**		**37,70%**		**42,05%**		**45,95%**		**48,25%**		**44,80%**		
					Desvio padrão	**2,32%**		**0,56%**		**0,91%**		**1,04%**		**0,89%**		**0,81%**		**0,59%**		

APÊNDICE 7 – CÁLCULOS DE DESEMPENHO TÉRMICO

PAINEL-SANDUÍCHE com Ec Espessura do isolamento 4 cm.

Dados do revestimento:

Massa específica da argamassa (ρ)	1800	(kg/m^3)	Tabela B1 NBR 15220-1
Condutividade térmica da argamassa (λ)	1,15	(W/(m.K))	
Calor específico da argamassa (C).	1,00	(kJ/(kg.K))	
Espessura do revestimento (e)	0,04	(m)	

Dados do material isolante:

Massa específica do EPS (ρ)	12	(kg/m^3)	Tabela B3 NBR 15220-1
Condutividade térmica do EPS (λ)	0,043	(W/(m.K))	
Calor específico do EPS (C).	1,21	(kJ/(kg.K))	
Espessura do isolamento (e)	0,04	(m)	
R.si	0,13		
R.se	0,04		

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PAINEL **1,00**

$$R_t = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL **1,17**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$ Tabela A1 NBR 15220-1

$$R_T = 0{,}17 + 1{,}11 + 0{,}04 = 1{,}28((m^2 \times K)/W)$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA **0,85**

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{1{,}28} = 0{,}78\,(W/(m^2 \times K))$$

d)CAPACIDADE TÉRMICA **144,58** $(kJ/m^3 \times K)$

$$C_T = \sum_{i=1}^{3} e_i \times c_i \times \rho_i \qquad C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa} + (e \times c \times \rho)_{EPS} + (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa}$$

$$C_T = (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) + (0{,}04 \times 1{,}21 \times 65) + (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) = 147{,}15\,(kJ/m^3 \times K)$$

e) ATRASO TÉRMICO **5,6 h**

Rt	resist_térmica de face a face	**0,999798**	
B_0		**72,5808**	
B_1		**16,40658**	
B_2	Consid nulo caso seja negativo	-26,19572	**0**

f) FATOR SOLAR Reboco claro **1,0**; Reboco escuro **1,7**

α	absortância a radiação solar	0,3
	absortância a radiação solar	0,5
	Tabela B.2 ABNT 15220-2	
FS	reboco claro 0,30	1,025818
FS	reboco escuro 0,50	1,709697

PAINEL-SANDUÍCHE com E65

Espessura do isolamento 4 cm.

Dados do revestimento:

Massa específica da argamassa (ρ)	1800	(kg/m^3)	Tabela B1 NBR 15220-1
Condutividade térmica da argamassa (λ)	1,15	(W/(m.K))	
Calor específico da argamassa (C).	1,00	(kJ/(kg.K))	
Espessura do revestimento (e)	0,04	(m)	

Dados do material isolante:

Massa específica do EPS (ρ)	65	(kg/m^3)	Tabela B3 NBR 15220-1
Condutividade térmica do EPS (λ)	0,0385	(W/(m.K))	
Calor específico do EPS (C).	1,21	(kJ/(kg.K))	
Espessura do isolamento (e)	0,04	(m)	
R.si	0,13		
R.se	0,04		

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PAINEL **1,11**

$$R_t = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL **1,28**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Tabela A1 NBR 15220-1

$$R_T = 0{,}17 + 1{,}11 + 0{,}04 = 1{,}28((m^2 \times K)/W)$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA **0,78**

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{1{,}28} = 0{,}78\,(W/(m^2 \times K))$$

d)CAPACIDADE TÉRMICA **147,15** $(kJ/m^3 \times K)$

$$C_T = \sum_{i=1}^{3} e_i \times c_i \times \rho_i \qquad C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa} + (e \times c \times \rho)_{EPS} + (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa}$$

$$C_T = (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) + (0{,}04 \times 1{,}21 \times 65) + (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) = 147{,}15\,(kJ/m^3 \times K)$$

e) ATRASO TÉRMICO **6,0 h**

Rt	resist_térmica de face a face	**1,108526**	
B_0		**75,146**	
B_1		**15,32034**	
B_2	Consid nulo caso seja negativo	-27,78853	**0**

f) FATOR SOLAR Reboco claro **0,9**; Reboco escuro **1,6**

α	absortância a radiação solar	0,3	
	absortância a radiação solar	0,5	
	Tabela B.2 ABNT 15220-2		
FS	reboco claro 0,30	0,938581	
FS	reboco escuro 0,50	1,564301	

PAINEL-SANDUÍCHE com E130

Espessura do isolamento 4 cm.

Dados do revestimento:

Massa específica da argamassa (ρ)	1800	(kg/m^3)	Tabela B1 NBR 15220-1
Condutividade térmica da argamassa (λ)	1,15	(W/(m.K))	
Calor específico da argamassa (C).	1,00	(kJ/(kg.K))	
Espessura do revestimento (e)	0,04	(m)	

Dados do material isolante:

Massa específica do EPS (ρ)	130	(kg/m^3)	Tabela B3 NBR 15220-1
Condutividade térmica do EPS (λ)	0,0432	(W/(m.K))	
Calor específico do EPS (C).	1,21	(kJ/(kg.K))	
Espessura do isolamento (e)	0,04	(m)	
R.si	0,13		
R.se	0,04		

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PAINEL **1,00**

$$R_t = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL **1,17**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Tabela A1 NBR 15220-1

$$R_T = 0{,}17 + 1{,}00 + 0{,}04 = 1{,}17((m^2 \times K)/W)$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA **0,86**

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{1{,}17} = 0{,}86\,(W/(m^2 \times K))$$

d)CAPACIDADE TÉRMICA **150,29** $(kJ/m^3 \times K)$

$$C_T = \sum_{i=1}^{3} e_i \times c_i \times \rho_i \qquad C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa} + (e \times c \times \rho)_{EPS} + (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa}$$

$$C_T = (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) + (0{,}04 \times 1{,}21 \times 130) + (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) = 150{,}29\,(kJ/m^3 \times K)$$

e) ATRASO TÉRMICO **5,8 h**

Rt	resist_térmica de face a face	**0,995491**	
B_0		**78,292**	
B_1		**17,77413**	
B_2	Consid nulo caso seja negativo	-26,12546	**0**

f) FATOR SOLAR Reboco claro **1,0**; Reboco escuro **1,7**

α	absortância a radiação solar	0,3	
	absortância a radiação solar	0,5	
	Tabela B.2 ABNT 15220-2		
FS	reboco claro 0,30	1,029609	
FS	reboco escuro 0,50	1,716015	

APÊNDICE 8 – CÁLCULO DO AUMENTO DA ESPESSURA DO EPS.

PAINEL-SANDUÍCHE com E65 Aumento de espessura do isolamento para 6 cm.

Dados do revestimento:

Massa específica da argamassa (ρ)	1800	(kg/m^3)	Tabela B1 NBR 15220-1
Condutividade térmica da argamassa (λ)	1,15	(W/(m.K))	
Calor específico da argamassa (C).	1,00	(kJ/(kg.K))	
Espessura do revestimento (e)	0,04	(m)	

Dados do material isolante:

Massa específica do EPS (ρ)	65	(kg/m^3)	Tabela B3 NBR 15220-1
Condutividade térmica do EPS (λ)	0,0385	(W/(m.K))	
Calor específico do EPS (C).	1,21	(kJ/(kg.K))	
Espessura do isolamento (e)	0,06	(m)	
R.si	0,13		
R.se	0,04		

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PAINEL **1,63**

$$R_t = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL **1,80**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$ Tabela A1 NBR 15220-1

$$R_T = 0{,}17 + 1{,}63 + 0{,}04 = 1{,}80((m^2 \times K)/W)$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA **0,56**

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{1{,}80} = 0{,}56\,(W/(m^2 \times K))$$

d)CAPACIDADE TÉRMICA **148,72** $(kJ/m^3 \times K)$

$$C_T = \sum_{i=1}^{3} e_i \times c_i \times \rho_i \qquad C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa} + (e \times c \times \rho)_{EPS} + (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa}$$

$$C_T = (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) + (0{,}06 \times 1{,}21 \times 65) + (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) = 148{,}72(kJ/m^3 \times K)$$

e) ATRASO TÉRMICO **7,3 h**

Rt	resist_térmica de face a face	**1,628007**	
B_0		**76,719**	
B_1		**10,65014**	
B_2	Consid nulo caso seja negativo	-32,46207	**0**

f) FATOR SOLAR Reboco claro **0,7**; Reboco escuro **1,1**

α	absortância a radiação solar	0,3
	absortância a radiação solar	0,5
	Tabela B.2 ABNT 15220-2	
FS	reboco claro 0,30	0,667406
FS	reboco escuro 0,50	1,112343

PAINEL-SANDUÍCHE com E130

Aumento de espessura do isolamento para 6 cm.

Dados do revestimento:

Massa específica da argamassa (ρ)	1800	(kg/m^3)	Tabela B1 NBR 15220-1
Condutividade térmica da argamassa (λ)	1,15	(W/(m.K))	
Calor específico da argamassa (C).	1,00	(kJ/(kg.K))	
Espessura do revestimento (e)	0,04	(m)	

Dados do material isolante:

Massa específica do EPS (ρ)	130	(kg/m^3)	Tabela B3 NBR 15220-1
Condutividade térmica do EPS (λ)	0,0432	(W/(m.K))	
Calor específico do EPS (C).	1,21	(kJ/(kg.K))	
Espessura do isolamento (e)	0,06	(m)	
R.si	0,13		
R.se	0,04		

a) RESISTÊNCIA TÉRMICA DO PAINEL **1,46**

$$R_t = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

b) RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL **1,63**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Tabela A1 NBR 15220-1

$$R_T = 0{,}17 + 1{,}46 + 0{,}04 = 1{,}63((m^2 \times K)/W)$$

c) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA **0,61**

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{1{,}63} = 0{,}61(W/(m^2 \times K))$$

d)CAPACIDADE TÉRMICA **153,44** $(kJ/m^3 \times K)$

$$C_T = \sum_{i=1}^{3} e_i \times c_i \times \rho_i \qquad C_T = (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa} + (e \times c \times \rho)_{EPS} + (e \times c \times \rho)_{arg\ amassa}$$

$$C_T = (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) + (0{,}06 \times 1{,}21 \times 130) + (0{,}04 \times 1{,}00 \times 1800) = 153{,}44\,(kJ/m^3 \times K)$$

e) ATRASO TÉRMICO **7,2 h**

Rt	resist_térmica de face a face	**1,458454**	
B_0		**81,438**	
B_1		**12,61952**	
B_2	Consid nulo caso seja negativo	-31,30266	**0**

f) FATOR SOLAR Reboco claro **0,7**; Reboco escuro **1,2**

α	absortância a radiação solar	0,3	
	absortância a radiação solar	0,5	
	Tabela B.2 ABNT 15220-2		
FS	reboco claro 0,30	0,736895	
FS	reboco escuro 0,50	1,228159	

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